

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR Renato
Bresciani E APROVADA PEL
COMISSÃO JULGADORA EM 03/12/97
Célia Marina de Alvarenga Freire
ORIENTADOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

**SISTEMA DA QUALIDADE DE UMA EMPRESA INDUSTRIAL DO SETOR
QUÍMICO**

Autor: Renato Bresciani

Orientador: Profa. Dra. Célia Marina de Alvarenga Freire

Co-Orientador: Prof. Dr. Ettore Bresciani Filho

B753s

33182/BC

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

**SISTEMA DA QUALIDADE DE UMA EMPRESA INDUSTRIAL DO SETOR
QUÍMICO**

Autor: Renato Bresciani

Orientador: Profa. Dra. Célia Marina de Alvarenga Freire

Co-Orientador: Prof. Dr. Ettore Bresciani Filho

Curso: Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Materiais

Dissertação apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Campinas, 1997

S.P. - Brasil



ADDE	BC
HAMADA:	
153.4	
Ex.	
BO DO/	33182
C.	393/98
CO.	R\$ 13.00
A.	26/03/98
CPD.	

CM-00108348-1

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

B753s Bresciani, Renato
Sistema da qualidade de uma empresa industrial do
setor químico. / Renato Bresciani.--Campinas, SP:
[s.n.], 1997.

Orientadores: Célia Marina de Alvarenga Freire,
Ettore Bresciani Filho

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Análise de sistemas. 2. Controle de qualidade. 3.
ISO 9000. 4. Processos químicos. I. Freire, Célia
Marina de Alvarenga. II. Bresciani Filho, Ettore. III.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Mecânica. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

Dissertação de Mestrado

Sistema da Qualidade de uma Empresa
Industrial do Setor Químico

Autor : Renato Bresciani

Orientador: Célia Marina de Alvarenga Freire



Prof. Dr. Célia Marina de Alvarenga Freire, Presidente
FEM/UNICAMP



Prof. Dr. Odair Araújo
Rhodia/Paulínia, SP



Prof. Dr. Milton Mori
FEQ/UNICAMP

Campinas, 3 de novembro de 1997

AGRADECIMENTOS

À empresa RHODIA S.A e, mais especificamente, a USINA QUÍMICA DE PAULÍNIA pelo apoio oferecido e por ceder os dados que permitiram a realização deste trabalho.

Aos engenheiros Carlos Eduardo Marengo e José Carlos Ap. Pessorusso, Rhodia S.A, pelo estímulo e suporte oferecidos durante a realização deste trabalho.

Ao meu pai e co-orientador Prof. Dr. Ettore Bresciani Filho pelas diretrizes que permitiram a existência deste trabalho.

À amiga e orientadora Profa. Dra. Célia M. A. Freire pelo apoio e pela compreensão.

À minha esposa Helen e ao meu filho Bruno pela incansável compreensão.

SUMÁRIO:

LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS	9
RESUMO	10
ABSTRACT	11
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO - OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS	12
1.1 - Objetivos do Trabalho.	12
1.2 - Justificativas.	12
CAPÍTULO 2 - CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA SISTÊMICA	19
2.1 - Teoria do Sistema Geral e Teorias Especializadas de Sistemas.	20
2.2 - Definição de Sistema.	22
2.3 - Definição de Complexidade.	25
2.4 - Representação de Sistemas Complexos - Sistemografia.	26
2.5 - Recomendações Gerais para Modelagem de Sistemas Industriais através da Sistemografia.	35
CAPÍTULO 3 - FUNDAMENTOS DE SISTEMAS DA QUALIDADE	38
3.1 - Breve Histórico do Movimento da Qualidade.	40
3.2 - ISO9000 - Comentários Gerais (ASQC, 1996b).	43
3.3 - Tópicos de Tecnologia de Controle da Qualidade.	45
3.3.1 - Controle Automático do Processo e Controle Estatístico do Processo.	49
3.3.2 - Controle da Qualidade e Melhoria da Qualidade.	51
3.3.3 - Planejamento da Qualidade.	54
3.3.4 - Concepção dos Elementos de Controle.	58
3.4 - Tópicos sobre Custos da Qualidade.	65
3.5 - Sistemas da Qualidade e Custos da Qualidade.	69
3.5.1 - Especificações - Diretrizes.	70
3.5.2 - Abrangência do Sistema de Controle.	72
3.5.6 - Métodos de Ação de Controle.	77
3.6 - Sistemas da Qualidade em Indústrias Químicas.	78
CAPÍTULO 4 - SISTEMÓGRAFO DE UMA UNIDADE INDUSTRIAL	81
4.1-Descrição Geral da Unidade Ácido Adípico.	82

4.1.1 - Descrição Resumida do Processo Industrial da Unidade Ácido Adípico.	83
4.2-Localização do Sistema Estudado e Objetivos Desejados.	84
4.3 - Considerações na Construção dos Sistemógrafos/ Análise do Sistema da Qualidade do Adípico.	87
4.4 - Sistemógrafo do Sistema do Processo Produtivo.	93
4.5 - Sistemógrafo do Sistema da Qualidade do Adípico Atual.	95
4.6 - Análise do Sistema da Qualidade do Adípico Atual.	97
4.6.1 - Controle das Matérias-Primas.	98
4.6.2 - Inspeção da Qualidade dos Produtos Finais.	102
4.6.3 - Controle Intermediário do Processo.	107
4.6.4 - Análise do Nível dos Processadores.	111
4.6.5 - Observações Finais.	113
4.7 - Proposta de um Sistema Modificado da Qualidade do Ácido Adípico.	115
4.7.1 - Sistemógrafo do Sistema Proposto da Qualidade do Produto.	116
4.7.3 - Proposta de Atividades.	116
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS	118
5.1 - Conclusões.	118
5.2 - Sugestões para Próximos Trabalhos.	119
ANEXO A - Detalhamento do Processador Ácido Adípico (C).	121
ANEXO B - Processadores do Sistema da Qualidade da Unidade Ácido Adípico.	138
ANEXO C - Sistemógrafos do Sistema da Qualidade Modificado da Unid. Ácido Adípico.	147
ANEXO D - Estudo de caso.	157
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	160
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	163

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Localização das Principais Teorias de Sistemas.	21
Figura 2.2 - Etapas de Desenvolvimento de Modelos.	27
Figura 2.3 - Etapas de Desenvolvimento de Modelos de Sistemas Complexos.	27
Figura 2.3 - Representação de um Sistema.	27
Figura 2.5 - Conexões entre os Sistemas de um Processador.	30
Figura 2.6 - Modelo de Representação de um Sistema de Tratamento de Informação.	31
Figura 2.7 - Representação do Processador Tratamento de Informações.	31
Figura 2.8 - Representação de um Sistema baseado na Sistemografia - Sistemógrafo.	35
Figura 3.1 - Abordagens da administração da qualidade.	43
Figura 3.2-Principais Elementos de um Sistema de Controle.	46
Figura 3.3 - Sistema de Controle na Visão de MELAN.	47
Figura 3.4 - Subsistemas de Controle Inter-relacionados.	48
Figura 3.5 - Subsistemas para Definição das Metas de Qualidade.	55
Figura 3.6 - Identificação dos Objetos de Controle de um Sistema da Qualidade.	55
Figura 3.7 - Sistema de Decisão em Funcionamento.	61
Figura 3.8 - Curva Característica de Operação.	62
Figura 3.9 - Comportamento da Variabilidade com o Tamanho de Amostra.	64
Figura 3.10 - Relação dos Custos da Qualidade - Visão Tradicional.	67
Figura 3.11 - Relação dos Custos da Qualidade - Visão Crítica.	68
Figura 3.12 - Dinâmica Custos da Qualidade.	69
Figura 3.13 - Função de Perda de Taguchi	71
Figura 4.1-Limites de Contorno Análise do Sistema da Qualidade da Unidade Ácido Adípico.	81
Figura 4.2 - Cadeia Nylon	82

Figura 4.3 - Localização do Subsistema do Processo Produtivo.	84
Figura 4.4 - Subsistemas do Sistema Processo Produtivo	85
Figura 4.5- Pilares da Garantia da Qualidade do Produto.	86
Figura 4.6 - Processador de Ácido Adípico - Sistema do Processo Produtivo.	90
Figura 4.7 - Metodologia de Análise do Sistema da Qualidade do Adípico.	92
Figura 4.8 - Sistemógrafo Geral do Sistema Produtivo	93
Figura 4.9 - Focalizando o Parâmetro de Desempenho Qualidade	96
Figura A1 - Sistemógrafo do Sistema Produtivo Processador ADOH C	122
Figura A2 - Sistemógrafo do Sistema Produtivo Processador Lavagem I C4.	129
Figura A3 - Sistemógrafo do Sistema Produtivo Processador Tratamento a Carvão C5	132
Figura A4 - Sistemógrafo do Sistema Produtivo Processador Lavagem II C7.	135
Figura B1 - Sistemógrafo do Sistema Operacional do Sistema do Processo Produtivo - Simplificado	139
Figura B2 - Sistemógrafo do Sistema Informacional do Sistema da Qualidade do Adípico Atual.	140
Figura B3 - Sistemógrafo do Sistema Decisional do Sistema da Qualidade do Adípico Atual.	141
Figura C1 - Sistemógrafo do Sistema Produtivo - Simplificado	150
Figura C2 - Sistemógrafo do Sistema Informacional do Sistema Modificado da Qualidade do Adípico.	151
Figura C3 - Sistemógrafo do Sistema Decisional do Sistema Modificado da Qualidade do Adípico.	152

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Comparação Produtividade/ Qualidade Brasil-Japão-Mundo.	13
Tabela 1.2 - Evolução do Número de Certificados ISO9000.	14
Tabela 1.3 - Números de Certificados ISO9000 por Setores de Atividade.	15
Tabela 3.1 - Diferenças entre o Velho e Novo Conceito de Qualidade.	41
Tabela 3.2 - Série de Normas ISO9000.	44
Tabela 3.3 - Principais Funções do CEP e do CAP.	51
Tabela 3.4 - Passos Universais da Trilogia Juran.	53
Tabela 3.5 - Categorias de Custos da Qualidade.	66
Tabela 4.1 - Redundância nas Informações da Qualidade das Matérias-Primas.	101
Tabela 4.2 - Acompanhamento do Número de Ocorrências de Produto Não-Conforme de 1994 a 1996.	105
Tabela 4.3 - Capacidade do Processo (Cpk) para atender as especificações das características do Ácido Adípico Seco - Acompanhamento 1996.	105
Tabela 4.4 - Capacidade do Processo (Cpk) para atender as especificações das características do Ácido Adípico Purificado ou Suspensão - Acompanhamento 1996.	106
Tabela 4.5 - Comparação dos Níveis dos Processadores do Sistema Produtivo (X) e do sistema da Qualidade do Adípico (O).	111
Tabela 4.6 - Principais Ações em Curso para Melhoria da Qualidade do Ácido Adípico.	115

RESUMO

BRESCIANI, Renato, *Sistema da Qualidade de uma Empresa Industrial do Setor Químico*, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1997, 164p. Tese (Mestrado)

A abertura do mercado brasileiro à competição internacional vem provocando nas empresas brasileiras uma busca intensa por competitividade. Uma das formas escolhidas para aumentar a competitividade tem sido a implantação de sistemas da qualidade baseados na série ISO9000. Apesar de proporcionar uma melhoria sensível na competitividade das indústrias brasileiras, a implantação de sistemas da qualidade baseados na série ISO9000 vem sendo realizada sem a devida atenção aos custos da qualidade gerados e a melhoria contínua da qualidade, buscando num primeiro momento a diminuição do número de produtos não-conformes e a própria certificação para fins de marketing. Portanto, uma análise de um sistema da qualidade poderá permitir a identificação de diversas melhorias, reduzindo o denominado custo da qualidade e incentivando a melhoria contínua. O objetivo deste trabalho é analisar um sistema da qualidade de uma unidade industrial de uma empresa do setor químico, identificando as operações, as informações e as decisões pertinentes a esse sistema e verificando sua eficácia e eficiência na atividade de asseguramento da qualidade do produto final, bem como as possíveis incoerências, incompletudes e redundâncias presentes. A unidade industrial em questão possui certificação ISO9000 e é considerada um exemplo de sucesso na implantação deste sistema, reduzindo drasticamente a frequência de ocorrência de produtos não-conformes. Para realização desta análise, foi utilizada uma ferramenta proposta pela sistêmica, denominada sistemografia. A sistemografia é uma ferramenta de modelagem de sistemas complexos que possibilita a inserção do conceito de complexidade na análise de sistemas industriais. Os resultados obtidos permitem concluir que o sistema da qualidade estudado possui diversos aspectos que podem ser desenvolvidos e melhorados, diminuindo sensivelmente o custo desta atividade e proporcionando um ambiente de melhoria contínua entre fornecedores e clientes.

PALAVRAS CHAVES:

Análise de sistemas, Controle de qualidade, ISO 9000, Processos químicos.

ABSTRACT

BRESCIANI, Renato, *Quality System of a Industrial Company of the Chemical Sector*, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1997, 164p. Tese (Mestrado)

The opening of the Brazilian market to the international competition is provoking, in the Brazilian companies, an intense search for the competitiveness. One way that has been used to increase the competitiveness is the introduce of quality systems based on the ISO9000 series. In spite of providing a sensitive improvement in the competitiveness of the Brazilian industries, the introduce of quality systems based on the ISO9000 series, comes being accomplished without the due attention to the increment of the costs, generated for the continuous improvement of the quality , looking for in a first moment, the decrease of the number of products no conform, and the own certification for marketing ends. Therefore, an analysis of the quality system can allow the identification of several improvements, reducing the called “cost of the quality” and motivating the continuous improvement. The objective of this work is to analyze a quality system of an industrial unit of a chemical company, identifying the operations, infomations and pertinent decisions to that system, and verifying its efficiency and effectiveness in the activity of warranty of the quality of the final product, as well as the possible incoherence, absences and present redundancies. The industrial unit in subject possesses ISO9000 certificate, and is considered a success example, reducing the frequency of products drastically no conform. For accomplishment of this analysis, will be used a proposed tool by the general system theory, denominated “systemography”. The obtained results allow to conclude that the system of the studied quality possesses several aspects that can be developed and improved, decreasing sensibly the cost of this activity, and providing an atmosphere of continuous improvement between supplier and customers. One of the difficulties found in the introduction of improvements in the quality system control of this industrial unit, is the inherent complexity of the involved chemical process, common fact in industries of continuous processes.

KEY WORDS:

Systems Analysis, Quality Control, ISO 9000, Chemical Process.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO - OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS

1.1 - Objetivos do Trabalho

Avaliar um sistema da qualidade de uma empresa do setor da indústria química, e propor melhorias nesse sistema, utilizando-se o modelo de representação concebido pela Sistêmica (Teoria do Sistema Geral) denominado Sistemógrafo.

1.2 - Justificativas

A década de 90 vem sendo denominada a Era Qualidade - Produtividade (PURI, 1994). Quando focalizamos o Brasil, essa é uma realidade ainda maior. A abertura do mercado brasileiro à competição internacional a partir de 1988 com a revisão de tarifas aduaneiras, a eliminação de barreiras não-tarifárias às importações e a simplificação do comércio exterior, fez com que um país reconhecidamente atrasado em relação a qualidade e competitividade de seus produtos começasse uma revolução. As empresas nacionais, acostumadas ao mercado fechado e às margens de lucro arbitradas pelo extinto CIP¹, estagnadas tanto pela ausência de investimentos tecnológicos como pelo desinteresse em modificar a forma de gestão, acabaram expostas, sem maiores preparos, ao atual cenário da economia global (DEL CHIARO, 1996).

Um levantamento realizado em 1994 (FOLHA DE SÃO PAULO, 13/03/1994), mostrava que o desempenho das empresas brasileiras estava bem abaixo do padrão mundial, trazendo prejuízos e baixa competitividade e qualidade (vide tabela 1.1) em relação ao mercado mundial. Embora muito se tenha avançado, uma pesquisa realizada no final de 1996 sobre a percepção dos consumidores a respeito da qualidade dos produtos originários de 19 países, coloca o Brasil em último lugar, atrás do México e da Rússia (FOLHA DE SÃO PAULO, 13/01/1997).

Portanto, o esforço empreendido pelas empresas nacionais para tornarem-se competitivas ainda precisa ser grande, a questão agora é *sobrevivência* (PETRO&QUÍMICA, 1996). Esta busca pela competitividade tem sido realizada pela adoção de novas técnicas de

¹ CIP, Conselho Interministerial de Preços

administração da produção (Qualidade Total, “Just-in-Time”, Terceirização, Re-engenharia), pela melhoria nas relações trabalhistas e pelo aumento do esforço de pesquisa e desenvolvimento (NÓBREGA, 1994).

O parque industrial brasileiro, considerado a pouco tempo como atrasado, vem recuperando gradativamente o terreno perdido para os países ditos desenvolvidos. O pânico, criado pela abertura do mercado e deixando num primeiro momento muitos empresários desesperados, aos poucos vem sendo substituído por ações práticas de enfrentamento da falta de competitividade da indústria brasileira. O resultado destas ações pode ser verificado através dos dados apresentados no final de 1996, indicando que a produtividade da indústria brasileira está crescendo a uma taxa de 7,6% ao ano, um ritmo bem maior que os dos países industrializados, cuja a média é de 2% (FRIEDLANDER, 1996.).

Tabela 1.1 - Comparação Produtividade/ Qualidade Brasil-Japão-Mundo (FOLHA DE SÃO PAULO, 1994)

	Média Brasil	Média Mundial	Média Japão
Nº de Peças Rejeitadas por milhão fabricadas	23 a 28 mil	200	10
% de Gastos na Assistência Técnica por Valor Bruto das Vendas	2,7%	0,15%	0,05%
% de Peças Corrigidas por Peças Fabricadas	30%	2%	1%
Nº de Dias para Entrega Pedidos	35	3	2
Participação dos Empregados na Melhoria dos Processos Organizacionais	0,1%	60%	95%
% de Horas Trabalhadas gastas em Treinamento dos Empregados	1%	6%	10%

Outra fonte de confirmação desta busca desenfreada pela competitividade é o número de certificados ISO9000 emitidos pelos órgãos certificadores autorizados para a industria brasileira. De 1987, quando da primeira empresa a obter o certificado no país (Siemens), a 1996, foram emitidos 1292 certificados ISO9000, correspondente a um investimento de R\$ 1

bilhão em gestão da qualidade (FOLHA DE SÃO PAULO, 25/08/96e). Esta é a melhor marca entre os países membros do Mercosul (FOLHA DE SÃO PAULO, 25/08/1996a) e mesmo entre os países de economia emergente (VEJA, 02/10/96). A ISO9000 não se restringe às áreas industriais; multiplicam-se o número de empresas do setor de serviço que já estão certificadas ou em via de se certificar. A tabela 1.2 apresenta a evolução do número de certificados por ano e a tabela 1.3 o número de certificados ISO9000 emitidos até o mês de agosto de 1996 por setor de atividade.

Como se pode observar, a melhoria na qualidade dos produtos e serviços através da implantação de sistemas da qualidade tem sido um dos principais meios escolhidos para se atingir a competitividade requerida pela abertura do mercado brasileiro à concorrência internacional. Considerando que os principais dados encontrados na literatura nacional apresentam somente os números relativos a implantação de sistemas da qualidade baseados na série de Normas ISO9000, pode-se considerar que o número de empresas que tem investido na melhoria da qualidade é muito maior. Segundo uma pesquisa realizada pela consultoria Price Waterhouse (EXAME, 1996), somente 4% das empresas consultadas (médio porte) não desenvolviam algum tipo de programa voltado para a melhoria da qualidade.

Tabela 1.2 - Evolução do Número de Certificados ISO9000 (PETRO & QUÍMICA, 1996; FOLHA DE SÃO PAULO, 1997)

Ano	Número de Certificados
1990	18
1991	17
1992	61
1993	129
1994	370
1995	353
1996	636

Tabela 1.3 - Números de Certificados ISO9000 por Setores de Atividade (FOLHA DE SÃO PAULO, 1997)

Setor	No de Certificados
Eletrônica e ótica	299
Química de base, produtos químicos e fibras sintéticas	224
Metais de base e produtos metálicos	179
Máquinas e equipamentos não-especificados	140
Equipamentos de transporte	125
Atividades imobiliárias, locação e prestação de serviços	95
Produtos minerais não-metálicos e outros	67
Artigos de borracha e de plástico	42
Comércio, conserto de veículos automotivos, bens pessoais	40
Celulose, papel, papelão e produtos, edição e impressão	40
Produtos alimentícios, bebidas e fumo	35
Intermediação financeira	32
Transportes, armazenagens e telecomunicações	21
Coque, refinados de petróleo e combustível nuclear	21
Indústria extrativa (exceto produtos energéticos)	18
Construção	17
Indústria têxtil	13
Educação	6
Atividades de serviços sociais e comunitários	4
Hotéis e restaurantes	4
Indústria de transformação, outras	2
Extração de produtos energéticos	1
Madeira, cortiça e seus produtos	1
Agricultura, pecuária, caça, silvicultura	1
Saúde e serviço social	1
Total(*)	1428

Número de empresas com certificados** - 901 Número de certificados válidos** - 1292

(*) Obs.: algumas empresas certificadas atualmente em mais de uma área

Segundo diversos autores (ASKEY, DALE, 1994; STRUEBING, 1996), a ISO9000 é um conjunto de regras uniformizadas para estabelecimento de sistemas de qualidade assegurada. A ISO9000 estabelece um padrão mínimo ou o controle mínimo necessário (controle nas matérias-primas, produto final e controle de processo) para que o processo produtivo atinja os requisitos da qualidade desejados pelos clientes, através da padronização e documentação de procedimentos operacionais e gerenciais. Só pelo fato de uniformizar os procedimentos e técnicas de gestão do processo produtivo, muitas empresas vêm relatando ganhos consideráveis no seu desempenho, medido pela queda da porcentagem de produtos fabricados não-conforme (CRAIG et al., 1992; SHEPHERD, 1996).

Se por um lado a certificação baseada na ISO9000 vem oferecendo uma grande redução no número de não-conformidades no produto final e de reclamações de clientes, reduzindo o denominado custo da não-conformidade, a sua implantação obriga um investimento considerável em atividades de prevenção e análise (inspeções), conhecidas como custo da conformidade.

O custo da conformidade, soma dos gastos realizados principalmente em inspeções (matérias-primas, produtos intermediários e produtos acabados), treinamento e manutenção preventiva, depende fundamentalmente da intensidade do controle que será estabelecido.

A ISO9000, por dar maior ênfase na conformidade do produto com os requisitos do que na melhoria contínua, permite uma intensidade variável de controle, principalmente para aqueles relacionados com o controle de materiais e de processo. Por exemplo: para controle da matéria-prima pode-se realizar inspeção 100%, inspeção por amostragem ou nenhum tipo de inspeção, baseando-se somente na confiança que se tem no fornecedor; para o controle do produto final, pode-se realizar inspeção completa, inspeção por amostragem ou ainda através de controle intermediário de processo.

Muitas empresas têm implantado sistemas de controle baseados na ISO9000 sem a devida atenção para o seu custo e para a melhoria contínua, objetivando numa primeira etapa a certificação (para fins de marketing) e a queda no número de não-conformidades (PETRO&QUÍMICA, 1996; FOLHA DE SÃO PAULO, 25/08/1996b, 25/08/1996c). Embora muitas destas empresas, como relatado anteriormente, apresentem ganhos consideráveis no

desempenho da qualidade, chegando a “zerar” o número de não-conformidades, uma análise no seu sistema de controle poderá permitir a identificação de diversas melhorias, reduzindo o denominado custo da conformidade e incentivando a melhoria contínua (BEECROFT et al., 1995; BAJARIA, 1994).

O objetivo deste trabalho é analisar o sistema da qualidade de uma das unidades de produção de uma empresa do setor químico., a unidade de produção de Ácido Adípico, matéria-prima da cadeia Nylon 6.6. A unidade Ácido Adípico foi escolhida por já possuir certificação ISO9000 e ser considerada um exemplo, tanto interna como externamente, de sucesso na implantação deste sistema, reduzindo drasticamente o número de não-conformidades (internas e externas). O foco desta análise será, portanto, a identificação das operações, as informações e as decisões pertinentes ao sistema de controle da qualidade, e se essas são as necessárias e suficientes para a condução eficaz e eficiente da atividade de asseguramento da qualidade do produto final, bem como as possíveis incoerências, incompletudes e redundâncias..

Para a realização desta análise, será utilizada uma ferramenta proposta pela sistêmica (Teoria do Sistema Geral), a sistemografia. A sistemografia é uma ferramenta de “modelagem de sistemas complexos”, como normalmente podem ser considerados os sistemas industriais. Da mesma forma que um fluxograma ou diagrama de blocos, a sistemografia é a atividade de construção de um conjunto de subsistemas ou processadores interligados, denominado sistemógrafo.

Devido a sua forma de estruturação (discutida no capítulo 2), a utilização desta ferramenta na análise do sistema da qualidade da unidade Ácido Adípico permitirá o estudo das informações disponíveis, diferenciando-se as informações tipicamente de comando (decisões) das informações de controle (informações para tomada de decisão).

A utilização do pensamento sistêmico em estudos de sistemas industriais, objetivando a resolução de problemas práticos, mas complexos, ainda não foi amplamente difundida (WOOD, 1993). Na indústria química, e mais especificamente, na indústria de processo em contínuo, o elevado número de ciclos e de estoques intermediários e a sua alta sensibilidade à variáveis externas, dentre outras características, tendem a agregar complexidade ao sistema,

dificultando a resolução de problemas através do estabelecimento de relações diretas de causa-efeito.

Como um objetivo secundário deste trabalho, serão apresentadas as características específicas da Unidade Ácido Adípico, sendo um exemplo típico de indústria de processo em contínuo, que dificultam estudos de causa-efeito e, portanto, de melhorias no controle da qualidade.

Na literatura consultada não foram encontradas aplicações da Sistemografia na análise de sistemas industriais.

CAPÍTULO 2 - CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA SISTÊMICA

Atualmente vive-se em um mundo cercado de fenômenos e comportamentos complexos². Cientistas, engenheiros e administradores deparam-se quase que diariamente com problemas percebidos como complexos, sem aparente solução. O tradicional método analítico, caracterizado pela compreensão do todo através da análise de seus componentes menores, acabam não gerando os resultados esperados (WOOD, 1993), criando a sensação de que nada pode ser feito ou que tudo que era possível foi feito. A atual complexidade dos problemas vividos pelas organizações, tais como as constantes mudanças tecnológicas, a intensiva competição pelo mercado e os impactos causados por decisões governamentais, faz impossível a procura por soluções isoladas. É preciso ver o problema a partir de uma visão do sistema como um todo, a partir da sistêmica.

A necessidade da utilização da sistêmica ou, mais especificamente, de métodos de tratamento de problemas complexos em diferentes atividades de negócios (administrativas e tecnológicas) tem sido relatada por diversos autores (MELAN, 1988; SCHODERBEK et al., 1990; SNEE, 1993; WOOD, 1993; MURDOCK, 1994; HUTCHISON, 1994; HARDIE, 1995; LEACH, 1996). Como LEACH (1996) comenta, “Uma organização é um sistema complexo, não-linear e dinâmico, assim como qualquer operação de negócios envolvendo clientes, fornecedores e competidores”.

Conforme será discutido nos itens a seguir, a sistêmica oferece um novo modelo para estudos de sistemas complexos. Essa mudança de paradigma exige, evidentemente, o desenvolvimento de novas ferramentas para a concepção e modelagem de sistemas complexos em contraposição às tradicionais oferecidas pelo método cartesiano. O que se procura são métodos que possam permitir a compreensão do comportamento do sistema complexo e, portanto, a solução do problema, através da construção, se possível, de um modelo matemático. Dentre os diversos estudiosos da sistêmica, LE MOIGNE (1990a, 1990b) desenvolveu um novo modelo de representação de sistemas complexos, permitindo que estes sejam compreendidos e tratados como tal. A essa nova ferramenta deu-se o nome de

sistemografia. Sistemografar é construir um modelo de representação de um fenômeno percebido como complexo.

O objetivo deste capítulo é introduzir os principais conceitos da sistêmica e apresentar a sistemografia de LE MOIGNE (op. cit). A proposta é a utilização desta ferramenta na análise de um sistema da qualidade de uma empresa do setor químico, apresentada no capítulo 4.

2.1 - Teoria do Sistema Geral e Teorias Especializadas de Sistemas.

Apesar de poder ser considerada uma metodologia nova com restrita utilização pelas organizações atuais, o estudo da sistêmica data da década de 30. Foi nesta década que o biólogo Ludwig von Bertalanffy, preocupado com a dificuldade de explicar o comportamento complexo apresentado pelos organismos vivos, começou a desenvolver e advogar uma nova metodologia denominada Teoria do Sistema Geral (TSG)³. A TSG surgiu com o objetivo de compreender o comportamento dos sistemas complexos em termos da relação existente entre os seus diversos componentes e o meio-ambiente. Uma teoria criada na tentativa de modelagem de sistemas abertos (que interagem com o meio-ambiente), em contrapartida ao tradicional método analítico (tratamento de sistemas fechados) (SCHODERBEK et al., 1990).

Mesmo tendo a sua origem na década de 30, a TSG somente começou a ser desenvolvida a partir de 1945, principalmente nas ciências da engenharia e da vida (LE MOIGNE, 1990a, p. 7). Além da TSG, outras teorias de sistemas também tiveram seu desenvolvimento acentuado a partir da década de 50. Dentre as mais populares, cabe destacar a Cibernética, a Engenharia dos Sistemas, a Pesquisa Operacional e a Análise de Sistemas.

A cibernética⁴, tal como é atualmente conhecida, surgiu em 1947 através de um texto considerado clássico de autoria de Norbert Wiener, significando uma ciência de controle e de

². A palavra “atualmente” pode passar a impressão que no passado recente o mundo era bem mais simples, com fenômenos e comportamentos previsíveis. Na verdade a palavra “atualmente” é colocada com o sentido que só agora tem-se a percepção de complexidade de alguns fenômenos e comportamentos.

³ Na verdade Ludwig von Bertalanffy só denominou sua metodologia como Teoria do Sistema Geral em 1950 (BLANCHARD; FABRYCKY, 1990)

⁴Previamente a cibernética foi considerada como um caso particular da teoria de sistemas. Entretanto, a cibernética pode ser também vista como uma das leis generalizadas da TSG.

comunicação num animal e numa máquina. O conceito cibernético⁵ pode ser resumido como sendo a ciência de controle ótimo e intencional aplicável aos sistemas complexos presentes na natureza e na sociedade. A cibernética defende a auto-regulação como ferramenta de controle de um sistema, ou seja, o sistema é controlado de forma a atingir um estado desejado através da realimentação de informação de seu estado atual (feedback).

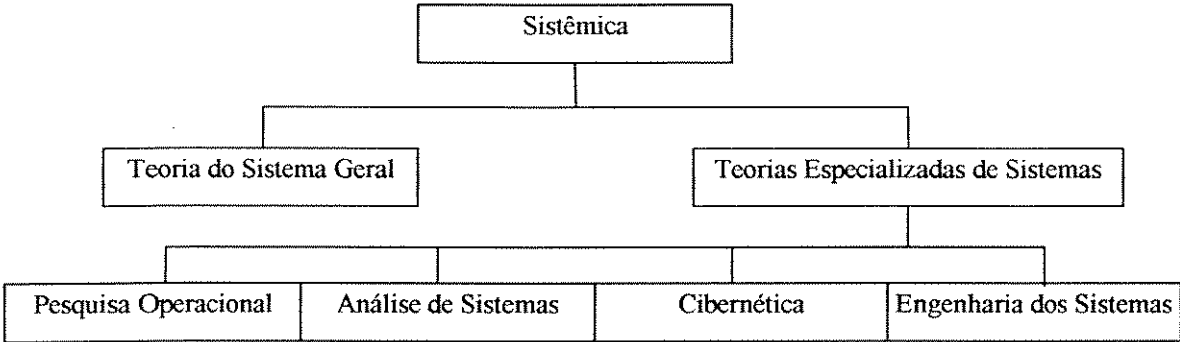


Figura 2.1 - Localização das Principais Teorias de Sistemas (SCHODERBEK op. cit., p.10).

O termo engenharia dos sistemas foi pela primeira vez utilizado no início da década de 50 pelos cientistas do Bell Laboratories da AT&T, sendo definida como a invenção, o projeto e a integração de toda montagem de um equipamento de forma a atingir a realização ótima da missão do produto. Foi a engenharia dos sistemas que introduziu as noções de sistemas, subsistemas, objetos, relacionamentos, meio-ambiente e outros conceitos tradicionais da teoria de sistemas. O principal conceito defendido pela engenharia de sistemas é que um item final deve ser visto a partir da visão total do sistema. A engenharia dos sistemas eliminou o vazio existente entre os conceitos sistêmicos e os sistemas operacionais.

A pesquisa operacional pode ser definida como a aplicação de métodos quantitativos da ciência física para as operações representadas pelas atividades de homens e máquinas. A pesquisa operacional disponibiliza um corpo de técnicas computacionais, que são utilizadas na tentativa de simulação de modelos de situações reais da vida.

A análise de sistemas tornou-se popular no mesmo período que a engenharia de sistemas e foi definida por um grupo de engenheiros e cientistas da Rand Corporation como uma

⁵ No capítulo 3, Fundamentos de Sistemas da Qualidade, alguns dos conceitos defendidos pela cibernética serão utilizados para descrever a tecnologia de controle, utilizada neste trabalho com o foco no conceito de qualidade.

combinação de técnicas obtidas da engenharia e de outras disciplinas para a definição e o desenvolvimento de algoritmos necessários para resolução de um problema, particularmente de algoritmos que possam ser resolvidos por meios computacionais. O termo análise de sistemas vem sendo utilizado de maneira similar ou dissimilar, muitas vezes associados com a TSG ou ainda com a engenharia de sistemas, causando uma grande dificuldade na uniformidade de sua definição (SCHODERBEK op. cit., p. 143).

Diferentemente das teorias de sistemas citadas que podem ser classificadas como casos particulares, a TSG é uma teoria que pode ser utilizada em todas as áreas do conhecimento (uma teoria multidisciplinar). Essa disciplina vem sendo denominada mais recentemente de “sistêmica”. Foi a partir da TSG ou da sistêmica que LE MOINGE (op. cit.) concebeu e desenvolveu a sistemografia como modelo de representação de sistemas complexos.

2.2 - Definição de Sistema.

Um sistema dentro da sistêmica pode ser definido como um conjunto de objetos com afinidades entre si e entre seus atributos, interagindo em um meio ambiente e se comportando como uma entidade unitária global (SCHODERBEK op. cit, p. 13). Essa definição pode ser melhor entendida através da compreensão de cada um dos conceitos chaves acima sublinhados.

Conjunto

O conceito de conjunto deve ser entendido como uma coleção de objetos que realizam ações de forma a atingir objetivos comuns, como por exemplo uma linha de produção: uma coleção de recursos materiais e humanos (objetos) realizando ações de forma a obter um determinado produto dentro dos padrões pré-estabelecidos.

Objetos

Os objetos são os elementos de um sistema, são os agentes que realizam as ações. Os objetos podem ser classificados em três grupos: objetos de entrada, objetos de processo e objetos de saída.

Os objetos de entrada são as necessidades requeridas pelo sistema para realizar as ações que permitirão atingir os seus objetivos. Dentre os possíveis objetos de entrada tem-se matéria,

energia, homens ou informação. Considerando-se um sistema de produção, pode-se definir como objetos de entrada as matérias-primas, os insumos (energia elétrica, vapor, catalisadores), as peças de reposição ou de manutenção, as informações relativas ao volume de produção necessário e a qualidade do produto.

Os objetos de processo são os responsáveis pela transformação dos objetos de entrada em objetos de saída. Considerando-se um sistema de produção, tem-se os equipamentos (reservatórios, reatores, filtros), os computadores (controle das operações) e os homens.

Os objetos de saída são o resultado da ação do objeto de processo para atingir objetivo do sistema. Considerando-se um sistema de produção, tem-se o produto principal, o custo de processamento, a qualidade real do produto e os efluentes/ resíduos gerados.

Conforme poderá ser observado no item 2.4, LE MOINGE op. cit. propõe uma denominação diferenciada e mais completa para classificação de objetos.

Afinidade

A afinidade é o vínculo entre os objetos, ou ainda, as conexões existentes entre os objetos. São as conexões que permitem identificar os objetos como sendo um conjunto, indicando a existência de fluxos de matéria, energia e/ou informação entre eles.

Atributos

Os atributos são as propriedades ou as qualidades dos objetos e de suas conexões. Por exemplo, pode-se considerar como atributo de um reator a sua capacidade de produção, a sua eficiência de homogeneização de energia, a sua durabilidade em operação e o material utilizado na sua concepção.

Meio-Ambiente

O meio-ambiente de um sistema pode ser definido como tudo que não faz parte deste sistema mas, ao mesmo tempo, que de alguma forma influencia o seu comportamento. Pode-se considerar como meio-ambiente de um sistema qualquer objeto que exerça uma determinada influência e que não possa ser controlado diretamente. Focalizando-se um sistema industrial,

pode-se considerar como meio ambiente, por exemplo, as condições climáticas, os competidores, o governo e a comunidade local.

Entidade Unitária Global

O conceito de entidade unitária global é de extrema importância na sistêmica, pois incorpora a idéia que o todo é maior que a soma das partes. Ao invés de dividir para compreender, o conceito de entidade global coloca a necessidade de visualizar o todo para permitir a sua compreensão⁶. O sistema precisa ser analisado através das conexões existentes entre os seus diversos elementos e entre os demais sistemas considerados, definindo, sempre que possível, o meio-ambiente que o circunda. Por exemplo, para conceber um sistema da qualidade de um sistema industrial é necessário considerar, além do próprio processo industrial, as conexões existentes com os demais sistemas, como os fornecedores e os clientes, definindo e conhecendo o seu meio-ambiente, como o seus concorrentes diretos e as necessidades do mercado.

Para complementar a definição de sistema, é importante considerar o conceito de hierarquia de sistemas fornecido por BLANCHARD; FABRYCKY (1990, P. 3). Esses autores propõem que cada objeto de um sistema pode também ser considerado como um sistema. Por sua vez, o objeto pode ser “quebrado” em objetos menores e, da mesma forma, esses objetos menores também podem ser definidos como sistemas e assim por diante. Ou seja, dentro de um determinado sistema pode-se conceber quantos subsistemas em qualquer nível hierárquico que se faça necessário: uma empresa, sistema maior, pode ser apresentada pelos subsistemas de produção, de administração e de vendas; por sua vez, o subsistema de produção pode ser quebrado nos subsistemas de manutenção, de processo produtivo, de atividades de apoio, e assim por diante. Não existe um critério único a ser utilizado para a concepção dos sistemas e subsistemas, no entanto, deve-se compreender que o sistema estudado está inserido de alguma forma num sistema maior (a noção de hierarquia de sistemas), sendo este representado pelo seu meio ambiente.

⁶ Foi a partir deste conceito que surgiu o jargão “visão sistêmica”, muito utilizado atualmente pelos administradores de empresa.

2.3 - Definição de Complexidade.

Existem diversas definições disponíveis de complexidade. As mais tradicionais, encontradas nos dicionários em geral, podem ser resumidas como sendo a qualidade designada ao que abrange muitos elementos ou partes ou ainda, ao que é confuso ou complicado (FERREIRA, 1986). Embora sejam corretas, essas definições são simplistas e podem provocar vários equívocos, pois nem sempre um sistema que possua muitos elementos ou que seja complicado é necessariamente considerado complexo: a mecânica de um carro não pode ser considerada como um sistema complexo pois, apesar de possuir milhares de componentes, qualquer problema no seu funcionamento pode ser tratado e equacionado facilmente por uma pessoa especializada (no limite, pode ser considerada como um sistema complicado); por outro lado, a vida em casal deve ser considerada um sistema complexo pois, apesar de possuir somente dois elementos, a solução de um problema de relacionamento de um casal não é única e muito menos facilmente equacionável.

Utilizando-se como base LE MOIGNE (op. cit.) e SCHODERBEK (op. cit.), pode-se concluir que o conceito de complexidade é tratado pela sistêmica como sendo a qualidade de falta de previsão do comportamento do objeto, do fenômeno ou do sistema observado, a não ser que seja de forma probabilista⁷. Portanto, um sistema complexo é considerado como sendo um sistema aberto, onde fatores externos, além dos internos, interferem no seu comportamento de forma combinada e aleatória, tornando-se impossível o seu completo equacionamento e, por consequência, a sua completa previsibilidade. Conforme colocado anteriormente (conceito de entidade unitária global), para a sua compreensão faz-se necessário a modelagem do seu comportamento, realizada através da observação de seu funcionamento como um todo (conceito de caixa-preta) e, portanto, inviabilizando a sua compreensão através da observação de seus elementos de forma independente (observar o todo para compreender). De forma diferente, um sistema dito complicado pode ser compreendido através de sua simplificação e, portanto, da observação de seus elementos de forma independente (dividir em quantas partes seja necessário para explicar, como é o caso, p. ex., da mecânica de um carro ou de um relógio mecânico).

⁷ Dentro da matemática, complexidade é definida como a probabilidade de um sistema estar num estado específico num determinado momento.

Uma definição técnica mais completa de complexidade é oferecida por SCHODERBEK (op. cit., p. 94), parecendo ser adequada ao tratamento do conceito de complexidade defendido pela sistêmica e discutido no parágrafo anterior: “complexidade é a qualidade ou a propriedade de um sistema, sendo o resultado combinado de quatro principais determinantes: o número de elementos do sistema; o número de inter-relações entre os elementos do sistema; os atributos dos elementos do sistema; o grau de organização inerente ao sistema. Os dois primeiros determinantes, o número de elementos e de suas inter-relações, são quantitativos, enquanto os demais, os atributos e o grau de organização do sistema, podem ser considerados qualitativos e subjetivos. Essa definição permite, ao menos de forma comparativa, observar o grau de complexidade de cada um dos sistemas considerados: duas fábricas produzindo os mesmos produtos podem apresentar graus de complexidade diferentes se por exemplo uma delas tiver um procedimento documentado e seguido pelos operadores (aumento do grau de organização), ou se o número de operações necessárias de uma delas for reduzido (diminuição do número de elementos e de inter-relações).

Resumindo, um sistema complexo é caracterizado pela imprevisibilidade de seu comportamento provocada pela ação conjunta e aleatória de fatores internos e externos. Desta forma, ele só pode ser compreendido com a simulação de seu comportamento, realizada através da observação do todo. O grau de complexidade de um determinado sistema pode ser identificado através do levantamento do número de seus elementos, o número de inter-relações entre os elementos, os seus atributos e o seu grau de organização.

2.4 - Representação de Sistemas Complexos - Sistemografia.

O método tradicional utilizado na concepção de um modelo para modelagem de um determinado sistema propõe a utilização de três etapas distintas: descrição do problema (ou do sistema a ser estudado), construção de um diagrama de blocos (representação do sistema) e detalhamento do modelo matemático, conforme é apresentado na figura 2.2. Aliado a sua versatilidade e simplicidade, o diagrama de blocos permite a apresentação da estrutura do sistema e das interrelações entre os seus componentes, facilitando o trabalho de construção, por exemplo, de um modelo matemático (como é realizado no desenvolvimento de programas de computação).



Figura 2.2 - Etapas de Desenvolvimento de Modelos

Quando o sistema estudado é considerado como complexo, SCHODERBEK (op. cit., p.86) coloca a necessidade da inclusão do modelo da TSG no método tradicional, conforme é apresentado na figura 2.3. A inclusão do modelo da TSG permite a construção de um diagrama de blocos ou de um modelo de representação de um sistema (objeto ou fenômeno) complexo com as considerações necessárias para a sua modelagem.

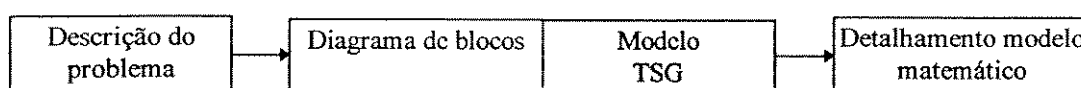


Figura 2.3 - Etapas de Desenvolvimento de Modelos de Sistemas Complexos (adaptado de SCHODERBEK et al., 1990, p. 86).

SCHODERBEK (op. cit.), utilizando-se da definição de sistema discutida no item 2.2, oferece um modelo de representação de um sistema complexo, conforme apresentado na figura 2.4. Nele observa-se a introdução do conceito de realimentação (feedback) defendido pela cibernética: o sistema corrige os seus desvios de comportamento através da realimentação de informação.

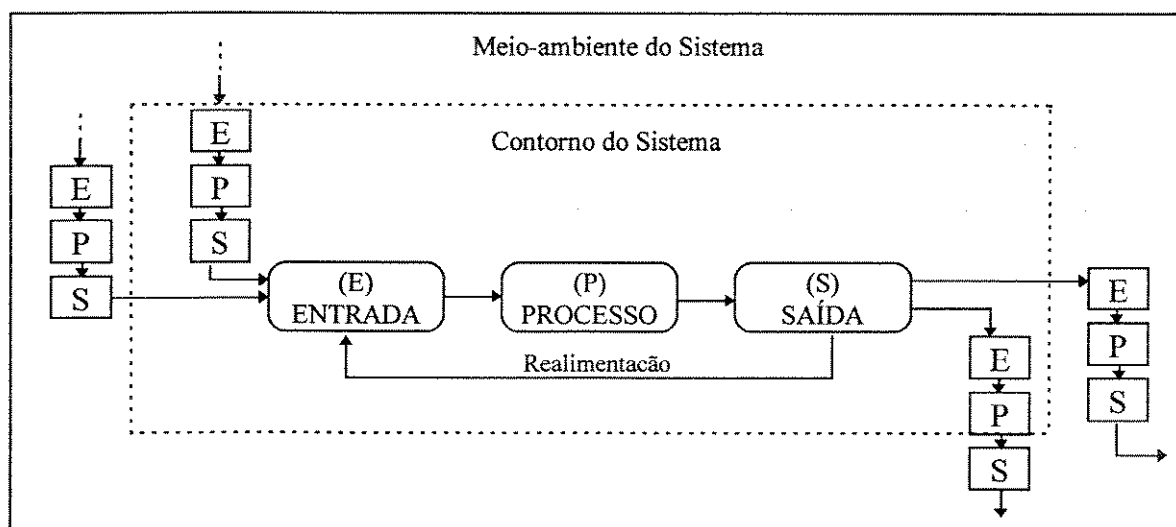


Figura 2.4 - Representação de um Sistema (adaptado de SCHODERBEK et al., 1990, p.25)

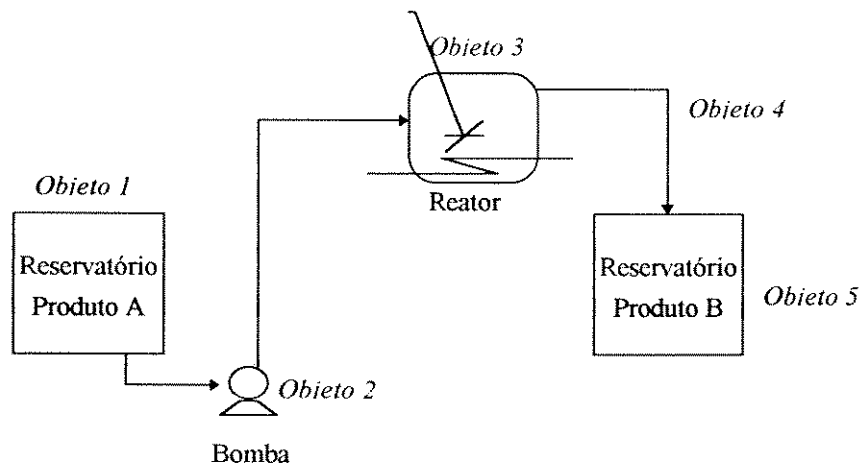
O modelo concebido por LE MOIGNE (op. cit.), a sistemografia, permite um maior detalhamento do modelo acima apresentado, principalmente em relação à classificação e descrição dos objetos que compõem um sistema. Ao invés de apenas diferenciar os objetos por objeto de entrada, de processo e de saída, LE MOIGNE propõe distingui-los por família (objetos processados ou objetos processadores) e classificá-los por tipo (Forma, Espaço e Tempo) e por nível de complexidade (de 1 a 9), conforme será apresentado a seguir.

Classificação por família e por tipo

Em relação a diferenciação entre objetos processadores e processados, LE MOIGNE (1990b, p.93) coloca: “uma hipótese fundamental da TSG é que todo modelo de um objeto dentro de seu contexto pode ser concebido como um processo... ... a fórmula não precisa se o objeto dentro de seu contexto deve ser considerado como o objeto processador ou o objeto processado”. Em outras palavras, o objeto, sendo processador ou processado, é representado pelo seu comportamento (ou função), pelo que ele faz e não pelo que ele é. O objeto processador deve ser considerado como uma caixa-preta, com a sua constituição interna não definida e, portanto, não necessária para sua compreensão.

Esse conceito torna-se mais claro quando se insere a idéia de classificação do objeto processador pelos tipos Tempo, Espaço e Forma. A definição do tipo do objeto processador (ou simplesmente processador) deve ser feita a partir das alterações no comportamento do objeto processado em relação aos referenciais tempo (estoque, armazenagem), espaço (transporte, deslocamento) e forma (transformação, produção). Um determinado objeto pode ainda ser classificado como de um ou mais tipos, dependendo da sua alteração em relação aos três referenciais (vide exemplo quadro 2.1).

Quadro 2.1 - Exemplo de Classificação por Tipo



Considere um sistema de produção do produto B: o produto A, estocado em reservatório (objeto 1) é enviado por bomba e tubulação (objeto 2) ao reator (objeto 3). No reator, o produto A é aquecido de forma a ser convertido no produto B. Por transbordo através de tubulação (objeto 4), o produto B é resfriado e estocado no reservatório de produto final (objeto 5). Classificando-se os objetos por tipo:

Objeto	Função	Referencial alterado
Objeto 1 - Reser. Produto A	Estocagem	Tempo
Objeto 2 - Bomba e Tubulação	Transporte	Espaço
Objeto 3 - Reator	Transformação	Forma
Objeto 4 - Tubulação	Transporte	Espaço
Objeto 5 - Reser. Produto B	Estocagem/ Resfriamento	Tempo e Forma

A função do objeto 1 é de estocagem, alterando o referencial Tempo do objeto processado (produto A). A função do objeto 2 é de transporte, alterando o referencial Espaço (mudança de localização) do objeto processado (produto A). A função do objeto 3 é a transformação do objeto processado (produto A em produto B), alterando o seu referencial Forma. A função do objeto 4 é de transporte, alterando o referencial Espaço do objeto processado (agora produto B). A função do objeto 5 é de resfriamento e estocagem do objeto processado (produto B), alterando o seu referencial Tempo (estocagem) e Forma (resfriamento).

Portanto, considerar todo o objeto processado como um processador é uma colocação justificada, pois no mínimo sua condição é modificada em um dos referenciais tempo, espaço ou forma: uma matéria-prima, normalmente considerada com objeto processado, pode estar sendo estocada (processador do tipo Tempo, pois sua posição é modificada no referencial tempo), ou sendo transportada (processador do tipo Espaço, pois sua posição é modificada no referencial espaço) ou ainda sendo transformada (processador do tipo Forma, pois sua posição é modificada no referencial forma); a matéria-prima por si só não representa um objeto, é

preciso colocá-la no seu contexto. Como o exemplo colocado no quadro 2.1, tanto o produto A quanto o produto B são representados somente através de processadores.

Classificação por nível de complexidade

Além da sua condição no referencial Tempo-Espaço-Forma, o processador deve ser classificado em um dos nove níveis progressivos de complexidade. Mas para apresentar a classificação por nível de complexidade cabe antes ressaltar a existência de três sistemas que podem compor um processador: o sistema operacional, o sistema informacional e o sistema decisional.

O sistema operacional é o responsável pelas ações mecânicas, pelo processamento de energia e de matéria e pela geração de informações sobre sua atuação. O sistema informacional é responsável pelo registro, pela memorização e pelo processamento das informações disponibilizadas pelo sistema operacional ou por um outro processador inter-relacionado. O sistema decisional é o responsável pela reflexão, pela avaliação da informação memorizada pelo sistema informacional, elaborando suas próprias decisões e corrigindo o comportamento do processador através do envio de informações de comando ao sistema operacional.

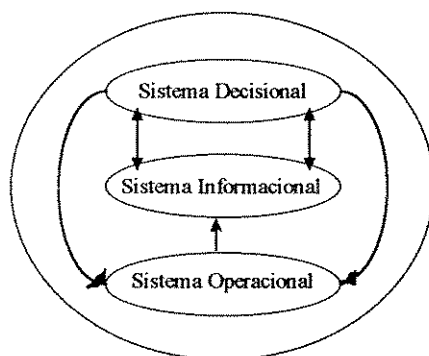


Figura 2.5 - Conexões entre os Sistemas de um Processador

Um processador é caracterizado pela existência de no mínimo um sistema operacional, podendo, dependendo do nível de complexidade, possuir sistema informacional e sistema decisional. LE MOIGNE (1990a, p. 82) oferece um exemplo que permite a melhor compreensão do papel de cada um dos sistemas apresentados, o modelo de representação de um sistema de tratamento de informação, conforme apresentado na figura 2.6: a informação recém chegada passa pelo sistema A para ser lida (tradução); a informação lida é enviada ao

sistema C para ser armazenada por curto período (memorização), esperando que o sistema B faça a análise da informação; o sistema B compara e modifica a informação levando-se em conta o banco de dados (memorização a longo prazo) contido no sistema C, enviando ao sistema A a informação que deve ser transmitida; o sistema A transcreve a informação modificada (tradução), disponibilizando-a ao exterior. Considerando-se o sistema de tratamento de informações como um processador, tem-se o sistema A como o sistema operacional, o sistema B como o sistema decisional e o sistema C como o sistema informacional (vide figura 2.7).

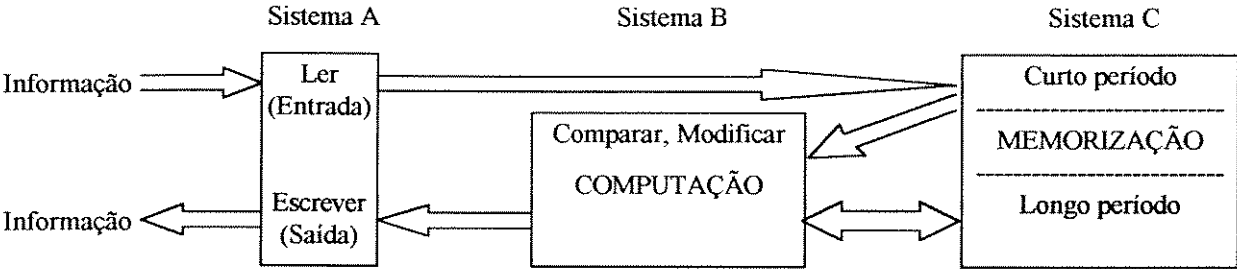


Figura 2.6 - Modelo de Representação de um Sistema de Tratamento de Informação
(Adaptado de LE MOIGNE, 1990a, p. 82)

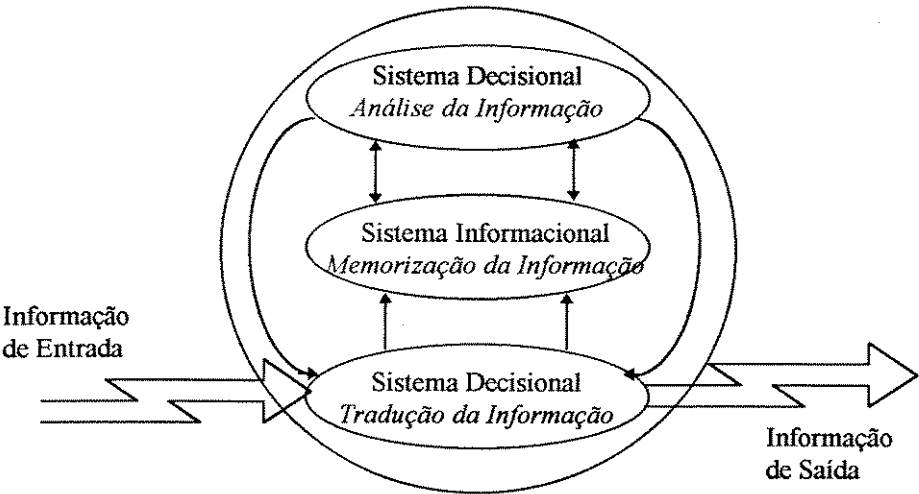


Figura 2.7 - Representação do Processador Tratamento de Informações

A identificação do nível de um objeto (sistema ou processador), função de seu comportamento, nem sempre é uma tarefa fácil. Esta dificuldade é reconhecida pelo próprio LE MOIGNE (1990a, p. 58): “a identificação a priori dos níveis pertinentes para organizar o modelo de um sistema complexo é um exercício difícil... ele deve ser adequado ao projeto

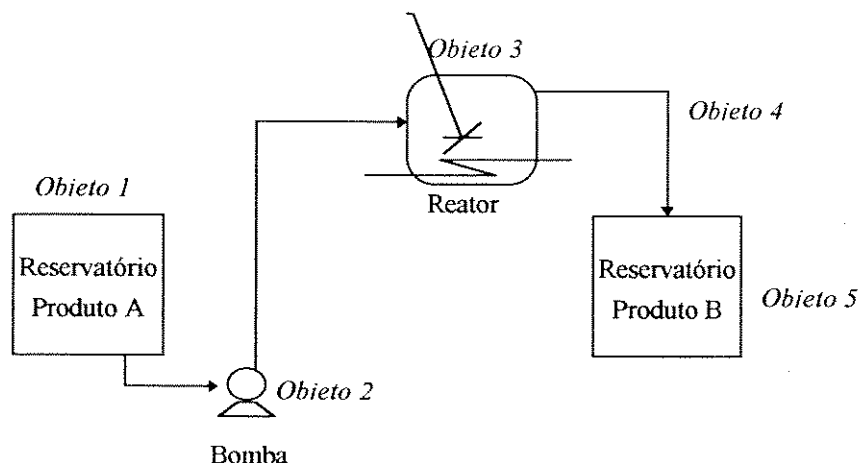
do modelador”. É importante ressaltar que o nível deve ser dado em função do contexto em que o objeto foi colocado, desconsiderando-se as atividades por ele realizadas que não exerçam influência no comportamento estudado. Os nove níveis de complexidade são apresentados e exemplificados a seguir (LE MOIGNE, 1990a, p.58-64; 1990b, p.129-147).

- **1º NÍVEL-Objeto Passivo:** o objeto é inerte e não exerce qualquer processamento. Este é o nível das estruturas estáticas. Mesmo que seja dinâmico (exerça qualquer tipo de atividade), esta não está sendo considerado no contexto colocado pelo observador. Dentre alguns possíveis exemplos, pode-se considerar como de 1º nível a anatomia humana e um determinado equipamento de um sistema produtivo que não exerça uma função dentro do contexto considerado.
- **2º NÍVEL-Objeto Ativo:** o objeto processa, realiza e exterioriza um comportamento de forma suficientemente estável ao longo do tempo mantendo a sua identidade. Este é o nível dos sistemas dinâmicos simples, que tendem ao equilíbrio. Dentre os possíveis exemplos, pode-se considerar como de 2º nível as máquinas em geral, as teorias da física e da química.
- **3º NÍVEL-Objeto Regulado:** o objeto manifesta regularidade na sua atividade que é obtida por uma relação fechada, que recicla parte da saída na entrada, reduzindo ou anulando a sensibilidade a determinados eventos. Este é o nível de manutenção de um dado equilíbrio dentro de certos limites. O objeto busca um objetivo pré-determinado, não possuindo a habilidade de alterá-lo. Dentre os possíveis exemplos, pode-se considerar como de 3º nível o controle de temperatura de um reator e o próprio controle de temperatura do ser humano.
- **4º NÍVEL-Objeto Informado:** o objeto processa informação, a sua regularidade é mantida através da realimentação de informação (feedback da cibernética). Este é o nível onde começa aparecer os sistemas vivos mais simples, como uma célula.
- **5º NÍVEL-Objeto com Decisão:** o objeto tem capacidade de tomar decisão com base em uma informação que provoca uma ação predefinida e conhecida, distinguindo a informação de representação da informação de decisão. Este é o nível dos objetos com capacidade de divisão de trabalho, como as plantas e os insetos com vida coletiva (formigas, p. ex.).

- **6º NÍVEL-Objeto com Memória:** o objeto além de tomar decisão apoia-se em um processo de memorização. Este é o nível do sistema animal.
- **7º NÍVEL-Objeto com Pilotagem:** o objeto (sistema geral) se articula segundo 03 subsistemas agregados e fundamentais: decisional, informacional e operacional; o sistema interno de pilotagem (que engloba coordenação) é de natureza hierarquizada no qual o processador decisional deve ter a capacidade de coordenação que implica: a capacidade relacional (ou seja, número de outros processadores com os quais se conecta) e a capacidade de tratamento de informação (no caso de seres humanos capacidade cognitiva). Em adição ao 6º nível, o objeto tem consciência própria e capacidade de formulação de suas próprias metas e de desenvolvimento dos meios para atingi-las, como os seres humanos.
- **8º NÍVEL-Objeto com Inovação:** o objeto tem a capacidade de inovação (imaginação, seleção, concepção, criação e invenção) de gerar informação simbólica, de aprendizagem, de inteligência, e de se auto-organizar. Este é o nível das organizações sociais, onde seres humanos interagem entre si, cada um realizando suas próprias atividades de uma forma organizada, como as empresas em geral.
- **9º NÍVEL-Objeto com Auto-Finalização:** o objeto passa a ter no seu sistema de pilotagem um subsistema de finalização que lhe dá a capacidade de gerar os seus próprios objetivos e de ter consciência da sua existência e identidade; e, ainda, esse objeto no seu sistema de pilotagem engloba o sistema de diagnóstico, e no seu sistema de operação o sistema de manutenção. Este é o nível dos objetos que incluem diversas organizações distintas que interagem entre si, como uma cadeia produtiva onde se inclua o fornecedor, o produtor e o cliente.

O quadro 2.2 complementa o exemplo apresentado no quadro 2.1, introduzindo a classificação por nível de complexidade.

Quadro 2.2 - Exemplo de Classificação por Nível de Complexidade



Os Objetos 1 e 5, reservatórios do produto A e do produto B, respectivamente, são processadores do 3º nível, pois manifestam uma regularidade no seu volume de produto mantida por um controlador automático. Os objetos não têm a habilidade de alterar o volume de produto estocado, cabendo essa atividade a um agente externo (no caso um operador).

Os Objetos 2 e 4, bomba de envio do produto A e tubulação de transbordo do produto B, respectivamente, são processadores do 2º nível, pois apesar de manterem uma certa regularidade, não possuem um meio de controle automático, podendo sofrer alterações de comportamento provocadas por algum fator externo (como por exemplo um aumento na tensão da energia elétrica da bomba).

O Objeto 3, reator, é um processador de 7º nível, pois tem a capacidade de alterar os consignes de operação de forma a produzir o produto B da melhor maneira, buscando informações memorizadas de operações passadas (neste caso o operador é considerado como componente do objeto).

Quanto a atividade de representação, é importante ressaltar que esta deve ser isomórfica (correspondência biunívoca entre os elementos, preservando suas operações) ao sistema. O conceito de isomorfismo obriga que a representação tenha uma correspondência ponto-a-ponto com o sistema estudado, ou seja, cada elemento representado deve corresponder apenas e somente a um elemento do sistema estudado e vice-versa.

Resumindo, todo o objeto pode ser considerado como um processador, devendo ser representado pelo seu comportamento, pelo o que ele faz e não pelo o que ele é (conceito caixa-preta). A sua representação deve ser isomórfica ao sistema geral. O processador deve ser classificado pelo tipo (condição nos referencias Tempo, Espaço e Forma) e pelo nível de

complexidade (de 1 a 9). O sistema é caracterizado pela existência de no mínimo um processador.

Portando, adaptando-se o modelo discutido por SCHODERBEK (op. cit.) (vide figura 2.4), obtêm-se um modelo de representação de um sistema diferente, apresentado na figura 2.8, denominado sistemógrafo. É importante destacar que as conexões entre os processadores é neutra, nada deve processar (nem espaço, no sentido de transporte).

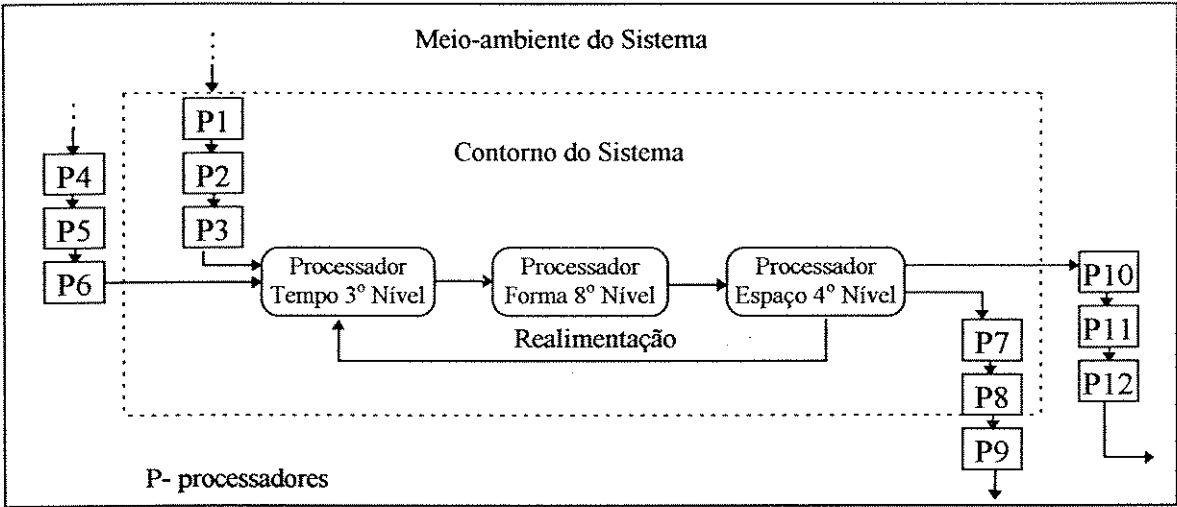


Figura 2.8 - Representação de um Sistema baseado na Sistemografia - Sistemógrafo.

2.5 - Recomendações Gerais para Modelagem de Sistemas Industriais através da Sistemografia.

A construção do sistemógrafo exige a utilização de algumas recomendações básicas e gerais. Por serem gerais, muitas dessas recomendações podem ser complementadas ou detalhadas. LE MOIGNE (op. cit.) não discute esse detalhamento das recomendações, que normalmente aparecem na atividade de construção do sistemógrafo, permitindo um alto grau de liberdade. Na literatura consultada, LE MOIGNE (1990b, p. 285) apresenta somente um exemplo de sistemógrafo (uma operação de adição e exponencial) e comenta: “...será possível conceber e construir sistemógrafos diferentes do mesmo objeto...”.

As principais recomendações oferecidas por LE MOINGE (op. cit.) para a construção de um sistemógrafo estão mais direcionadas à forma de concepção do objeto a ser modelado do

que à concepção de um modelo de um sistema de qualquer natureza. As consideradas neste trabalho, apresentadas no item anterior e resumidas no quadro 2.3, mostram-se insuficientes para o estabelecimento de um plano ou estratégia para modelagem de sistemas industriais.

Quadro 2.3 - Recomendações para Construção de Sistemógrafos - LE MOIGNE (1990a, 199b).

- a representação deve ser isomórfica (correspondência biunívoca entre os elementos, preservando suas operações) ao sistema geral.
- o observador deve escolher seu objetivo para melhor representar a realidade do sistema ou processador estudado.
- o processador deve ser representado pelo o que faz e não pelo o que é. Todo processador será representado pelas suas transações, pela sua função, conforme o objetivo do modelador. O processador é uma caixa preta, ou seja, com constituição interna desconhecida.
- o processador pode processar matéria, energia e/ou informação.
- a conexão entre processadores é neutra, nada deve processar (nem espaço, no sentido de transporte).
- o processador deve ser caracterizado pelo seu tipo (ou tipos), Espaço, Forma e Tempo, e pelo seu nível de complexidade (1 a 9).

Essa questão é melhor tratada por BRESCIANI (1997), o qual sugere um conjunto de etapas para a utilização da sistemografia na modelagem de sistemas industriais, vide quadro 2.4, e destaca: “Em face da amplitude e da complexidade desses sistemas convém iniciar o estudo de modelagem destacando um subsistema; contudo, não se deve esquecer que o subsistema selecionado para o estudo está intimamente conectado, através de seus diferentes elementos ou conjunto de elementos (processadores) aos demais elementos dos outros subsistemas, influenciando e sendo influenciado por eles.”

As regras ou hipóteses específicas utilizadas como complementação das apresentadas neste capítulo poderão ser observadas no capítulo 4, quando a sistemografia será aplicada a um estudo de um sistema industrial.

Quadro 2.4 - Etapas de Desenvolvimento de Estudo de Sistemas Industriais (BRESCIANI, 1997)

1. definir a fronteira do sistema a ser modelado, caracterizando os processadores responsáveis pelas entradas e saídas do sistema.
2. construir o sistemógrafo do sistema operacional do universo definido no passo 1, representando as etapas de fabricação por processadores elementares (espaço, tempo e forma) com o seu respectivo nível (1 a 9) de atividade dispostos em um fluxograma (diagrama de blocos).
3. construir o sistemógrafo informacional do sistema de produção da mesma maneira descrita no passo 2.
4. construir o sistemógrafo decisional do sistema de produção da mesma maneira descrita no passo 2.
5. classificar os processadores em categorias tipos e níveis., buscando a racionalização do sistema através do estudo mais detalhado de cada processador e da estrutura do sistema.
6. identificar e introduzir no sistema as possíveis influências de “campo” de forças positivas e negativas na forma de processadores que atuam nos demais acima definidos.
7. relacionar os problemas em ordem de prioridade, adotando critérios qualitativos e aplicar as técnicas de análise de problemas para identificar e encontrar soluções.
8. buscar utilização de métodos de modelagem matemática para modelagem dos processadores individuais ou dos subsistemas/ sistema geral.
9. propor soluções dos problemas na forma de recomendação de procedimentos e, numa fase posterior, implantar, acompanhar e aprimorar as mudanças propostas.

CAPÍTULO 3 - FUNDAMENTOS DE SISTEMAS DA QUALIDADE

A implantação de sistemas da qualidade, como citado no capítulo 1, vem sendo um dos principais métodos adotados para o tratamento do problema de falta de competitividade da indústria brasileira. Mesmo que o objetivo principal não seja esse, muitas vezes a implantação de sistemas da qualidade está ligada a questões comerciais (marketing) ou modismos, o resultado obtido, por um conjunto desta e outras técnicas, tem sido animador: a produtividade da indústria brasileira está crescendo a uma taxa de 7,6% ao ano, um ritmo bem maior que os dos países industrializados, cuja média é de 2% (FRIEDLANDER, 1996).

Um sistema da qualidade pode ser desenvolvido na prática através da implantação de sistemas formais da qualidade e/ ou de programas ou processos da qualidade⁸. Os sistemas formais da qualidade mais conhecidos são os baseados na série de Normas ISO9000, nos prêmios nacionais da qualidade (Malcolm Baldrige National Quality Awards e Deming Application Prize) e, já mais recentemente, na denominada QS9000 (a ISO9000 da indústria automobilística). Por apresentar uma série de regras e exigências, os sistemas formais da qualidade facilitam a implantação (dizem o que precisa ser feito na prática) e estabelecem uma uniformização de sistemas da qualidade, possivelmente sendo esses os principais motivos de sua ampla adoção pelas empresas.

Já os programas ou processos baseados nas idéias ou conceitos de alguns especialistas de qualidade, tais como JURAN, DEMING e CROSBY, não permitem a criação de regras e formas definidas de implantação de sistemas da qualidade, apenas estabelecem conceitos ou processos gerenciais que, uma vez bem seguidos e aplicados, devem conduzir à melhoria contínua da qualidade em produtos e serviços.

Enquanto os sistemas da qualidade formais, como por exemplo a ISO9000, estão mais direcionados ao estabelecimento de um sistema de controle (principalmente de documentação) para garantir a conformidade do produto em relação a sua especificação, os sistemas da qualidade baseados nos conceitos dos principais especialistas de qualidade estão mais

preocupados em estabelecer um processo contínuo de melhoria da qualidade (ASKEY, DALE, 1994).

Embora seja muito criticada por isso, muitos autores consideram a ISO9000 como uma ótima base para um sistema da qualidade, desde que esteja inserida num programa maior (ASKEY, DALE, 1994; KALINOSKY, 1990; STEPHENS, 1994), baseado nos modernos conceitos da denominada Gerência da Qualidade Total (TQM). Na prática isso vem ocorrendo através da adoção combinada: utilizando os conceitos de um especialista de qualidade como prática gerencial e adotando os sistemas formais para o estabelecimento de sistemas de controle nas unidades de produção.

Portanto, um sistema formal da qualidade baseado na ISO9000 deve ser considerado como um modelo básico de sistemas de controle da qualidade, devendo ser complementado pela inserção dos principais conceitos defendidos na literatura para a melhoria contínua do processo produtivo, foco principal deste trabalho. A melhoria contínua da qualidade caracterizará o controle da qualidade como sendo um sistema “vivo”, modificando-se constantemente de forma a garantir a satisfação do cliente (as suas necessidades mudam constantemente numa economia globalizada) e diminuir os custos de produção (uma questão de sobrevivência e competitividade numa economia globalizada).

O problema é que, na realidade, a implantação de sistemas da qualidade formais nas unidades de produção tem sido realizada através da documentação das atividades já praticadas, complementadas pela adoção de atividades de prevenção e avaliação exigidas pela ISO9000 (ASKEY, DALE, 1990)⁸. Como num primeiro momento o objetivo principal é a obtenção do certificado e como normalmente o período compreendido entre o início do processo e a obtenção da certificação é relativamente curto, muitas empresas não procuram analisar o real valor agregado de cada uma das atividades, normas e procedimentos adotados, ou mesmo realizar estudos específicos para a definição dos parâmetros realmente importantes no controle do sistema de produção; acabam adotando atividades de prevenção e avaliação de forma

⁸ Algumas empresas e autores preferem utilizar a palavra Processo ou invés de Programa, pois esta última pode passar o conceito de algo finito, com fim determinado. Um verdadeiro Programa de Qualidade que busque a melhoria contínua não pode ter um fim pré-determinado, a não ser na etapa de sua implantação.

⁹ Alguns consultores em implantação de sistemas da qualidade, como DREBTCHINSKY (1996), aconselham a utilização desta prática.

excessiva (fator de segurança) e ineficiente, aumentando o denominado custo da conformidade além do necessário e não implementando melhorias no sistema produtivo.

O objetivo deste capítulo é apresentar como um sistema da qualidade, ou ainda, um sistema de controle da qualidade com o foco no processo produtivo deve ser concebido de forma a incentivar a melhoria e a redução dos custos da qualidade continuamente, garantindo a conformidade do produto. Para atender este objetivo, neste trabalho foi considerado que na concepção de um sistema de controle da qualidade deve-se contemplar dois aspectos interrelacionados: os aspectos tecnológicos da atividade de controle e os aspectos de custos gerados pela atividade de controle da qualidade.

3.1 - Breve Histórico do Movimento da Qualidade

A utilização dos conceitos do controle da qualidade, baseado na estatística moderna, teve seu início nos anos 30 com a aplicação industrial do gráfico de controle inventado por W. A. Shewhart, da Bell Laboratories (ISHIKAWA, 1993). Durante a Segunda Guerra Mundial, diversas indústrias dos Estados Unidos e da Inglaterra começaram a aplicar gráficos de controle para a condução do processo produtivo, visto que outras tentativas de reorganização dos sistemas de produção eram inadequadas para atender às exigências das condições do período da guerra¹⁰.

A melhoria da qualidade, vista somente como controle estatístico do processo¹¹, foi amplamente difundida a partir da Segunda Guerra Mundial, chegando a ser adotado em diversas partes do mundo e diversos ramos de atividade, além da industrial. O conceito de qualidade só começou a ser modificado no início da década de 50¹², com o aparecimento de três personalidades atualmente muito conhecidas, Armand Feigenbaum, W.E. Deming e J.M. Juran. Eles são considerados os pais da qualidade moderna, pois introduziram no tradicional conceito de controle da qualidade “chão de fábrica”, a preocupação global com toda a administração. O conceito antigo de qualidade, direcionado a fábricas, bens manufaturados e

¹⁰ Alguns autores consideram que a Segunda Guerra Mundial foi vencida pelos aliados devido a introdução do controle da qualidade e da estatística moderna, o que não deixa de ser um exagero.

¹¹ Utilização de gráficos de controle e inspeção por amostragem.

¹² Em 1950, Deming realizou o tão conhecido seminário no Japão, apresentando o ciclo PDCA (Plan, Do, Check e Act) e em 1954, Juran apresentou aos japoneses o novo conceito de qualidade, baseado na preocupação global com toda administração e em 1957, Feigenbaum introduz a noção de administração da qualidade total.

processos produtivos, ainda predominou no pensamento dos gerentes ocidentais em geral até o início da década de 80. A partir desta década, quando houve a denominada “crise da qualidade”¹³, teve-se o início da aplicação do novo conceito de qualidade pelo mundo ocidental¹⁴.

Tabela 3.1 - Diferenças entre o Velho e Novo Conceito de Qualidade (JURAN, 1992).

Tópico	Conteúdo Q Pequeno	Conteúdo Q Grande
Produtos	Bens manufaturados	Todos os produtos, bens e serviços, à venda ou não.
Processos	Processos diretamente ligados à manufatura de bens	Todo os processos; apoio à manufatura; negócios, etc...
Visão de qualidade	Um problema tecnológico	Um problema de negócios
Clientes	Aqueles que compram os produtos	Todos aqueles que são impactados, externos e internos.
Metas de qualidade	Metas de fábrica	Plano de negócios da empresa
Custo da má qualidade	Custos associados a bens manufaturados deficientes	Todos os custos que desapareceriam se tudo fosse perfeito
Aperfeiçoamento/ Melhoria	Desempenho departamental	Desempenho da empresa
Avaliação da qualidade	Conformidade com especificações, procedimentos e padrões de fábrica.	Resposta às necessidades dos clientes
Treinamento	Concentrado no departamento de qualidade	Disperso por toda empresa
Coordenação	Gerente de qualidade	Conselho composto por gerentes de nível superior

A aplicação da palavra qualidade, hoje em dia, não pode estar restrita à área industrial (ao produto e ao processo produtivo), deve também incluir a área administrativa, a área comercial, a área financeira, a área de recursos humanos, ou seja, a empresa por completo. Pelas palavras de DEMING (1990): “...a administração precisa tomar conhecimento de suas responsabilidades...”; “...dispomos agora de uma teoria de administração para a melhoria da qualidade, da produtividade e da competitividade...”.

¹³ Período representado, década de 80, pela perda de vendas dos produtos americanos para competidores estrangeiros devido a qualidade e preço de vendas dos produtos.

¹⁴ Os japoneses já o estavam utilizando desde a década de 50.

Com o sucesso obtido pelas empresas japonesas, muitos autores procuraram encontrar as diferenças entre o estilo japonês e o ocidental de administração da qualidade. A idéia predominante era de que o estilo ocidental estaria mais voltado para a área industrial enquanto os japoneses estariam mais preocupados em desenvolver um programa voltado ao atendimento dos desejos dos seus clientes. SULLIVAN (1986), trabalhando com essa questão, procurou organizar os diversos tratamentos existentes da administração da qualidade, propondo um desenvolvimento em sete estágios, conforme apresentado no quadro 3.1. O estilo de administração da qualidade japonês estaria entre o 4º e o 7º estágios, enquanto o estilo dos americanos não passaria do 3º estágio, sendo esse o principal motivo do sucesso dos produtos japoneses.

Quadro 3.1 - Os Sete Estágios da Qualidade

- 1º Estágio - Orientado ao Produto: inspeção após produção, auditorias no produto acabado e atividades de solução de problemas.
- 2º Estágio - Orientado ao Processo: garantia da qualidade durante a produção, incluindo controle estatístico de processo.
- 3º Estágio - Orientado ao Sistema: garantia da qualidade envolvendo todos os departamentos.
- 4º Estágio - Orientado ao Ser Humano: mudança da forma de pensar dos trabalhadores através de educação e treinamento.
- 5º Estágio - Orientado à Sociedade : projetos de processos e produtos otimizados para funções mais robustas e baixo custo.
- 6º Estágio - Orientado ao Custo: função da perda de qualidade.
- 7º Estágio - Orientado ao Cliente: desdobramento da função qualidade para definir a voz do cliente nos termos operacionais.

Esse conceito pode ser considerado desatualizado atualmente, visto que na verdade a administração da qualidade envolve todos os estágios preconizados por SULLIVAN op. cit. A inspeção do produto final e o controle de processo continuam sendo ferramentas essenciais ao desenvolvimento de produtos de qualidade, assim como é a orientação ao custo e ao cliente. Esse conceito pode ser observado na proposta de SLACK (1997): cada estágio do desenvolvimento deve incluir o anterior, ao invés de minimizar a sua importância dentro da administração da qualidade, conforme é apresentado na figura 3.1.

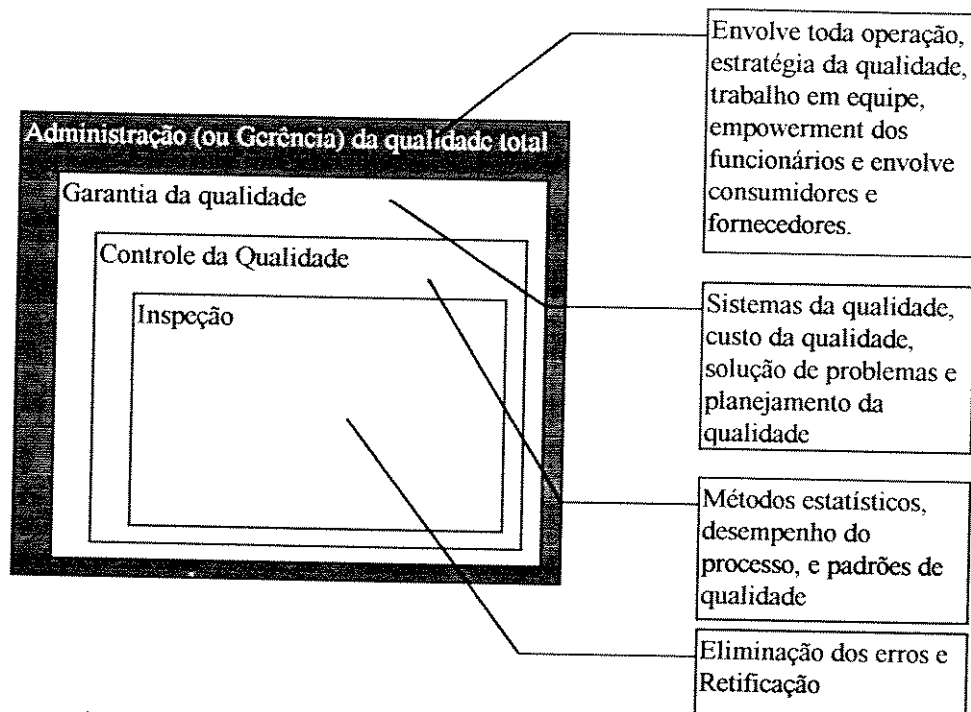


Figura 3.1 - Abordagens da administração da qualidade (SLACK, 1997)

3.2 - ISO9000 - Comentários Gerais (ASQC, 1996b)

A série ISO9000, criada em 1987, é um conjunto de normas de gestão de qualidade nas empresas, padronizadas pela ISO (International Organization for Standardization), entidade com sede em Genebra, na Suíça, fundada em 1946. No Brasil ela é representada pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), uma entidade privada sem fins lucrativos.

A série ISO9000 é composta por quatro normas, ISO9000 a ISO9004, sendo que a ISO9000 e ISO9004 têm caráter consultivo, conforme pode ser observado na tabela 3.2.

A ISO9002 é utilizada quando o objetivo é a garantia quanto a conformidade do produto através da demonstração da capacidade do produtor em produção, instalação e serviços associados. A sua diferenciação em relação a ISO9001 é a não inclusão das etapas de projeto e desenvolvimento de produto no sistema da qualidade.

Além das burocráticas (procedimentos, registros, auditorias) e administrativas (política da qualidade, responsabilidades), as exigências colocadas pela ISO9002 para o controle da qualidade podem ser resumidas nos seguintes pontos:

- necessidade de controle da qualidade das matérias-primas antes de serem utilizadas no processo produtivo quanto a sua conformidade à especificação.
- necessidade de controle do processo produtivo através da monitorização e controle de parâmetros adequados do processo e das características do produto.
- necessidade de controle da qualidade do produto final quanto a sua conformidade à especificação.

Esses controles devem ser realizados através:

- de inspeção e ensaios das matérias-primas, produto final e produtos intermediários.
- de manutenção preventiva de equipamentos e instrumentos considerados críticos.
- da implantação de ações corretivas e preventivas.
- da utilização de ferramentas estatísticas.

Tabela 3.2 - Série de Normas ISO9000 (PURI, 1994).

Norma ISO	Significado
ISO9000	Normas sobre Gestão da Qualidade e Garantia da Qualidade - Diretrizes para Seleção e Uso
ISO9001	Sistema da Qualidade - Modelo para Garantia da Qualidade nas áreas de Projeto/ Desenvolvimento, Produção, Instalação e Assistência Técnica
ISO9002	Sistemas de Qualidade - Modelo para Garantia da Qualidade na Produção e na Instalação
ISO9003	Sistema da Qualidade - Modelo para Garantia da Qualidade na área de Inspeção e Ensaios Finais
ISO9004	Gestão da Qualidade e Elementos do Sistema da Qualidade - Diretrizes.

As regras colocadas pela ISO9000 permitem um alto grau de liberdade na concepção de um sistema de controle da qualidade, mesmo porque o objetivo é garantir a conformidade dos

produtos junto aos requisitos estabelecidos pelos cliente e não reduzir ou otimizar os custos da qualidade e incentivar a melhoria contínua.

3.3 - Tópicos de Tecnologia de Controle da Qualidade.

A variabilidade é inerente a vida. Ela está presente, por exemplo, entre as pessoas, nos produtos, nos processos industriais e nos serviços prestados (DEMING, 1990). Percebe-se a existência da variabilidade pela diferença entre um resultado desejado de uma atividade e o resultado real obtido. Independentemente do que se faça, ela sempre existirá.

Apesar da sua inevitável existência, a variabilidade pode ser mantida dentro de limites pré-determinados. A atividade de manter a variabilidade dentro de limites pré-determinados é denominada controle, sendo realizada através do estabelecimento de um sistema de controle. O sistema de controle pode ser definido como um conjunto de atividades e técnicas operacionais usadas para preencher os requerimentos exigidos (ou limites requeridos) (ASQC, 1987).

MELAN (1988) considera que ação de controle (cita gerenciamento de processo) é a atividade de definição do sistema de medição dos parâmetros que descrevam o processo e de tomada das ações corretivas sobre os desvios percebidos.

SCHODERBEK et al. (op. cit.) propõem, ao dissertar sobre a sistêmica na visão cibernética (vide capítulo 2), que um sistema de controle é composto por quatro elementos básicos (vide figura 3.2) (esses mesmos elementos são propostos por BLANCHARD; FABRYCKY, op. cit., p. 306):

- um objeto de controle ou uma variável a ser controlada.
- um detector
- um comparador
- um atuador.

O objeto de controle é a variável do comportamento do sistema ou processo que se deseja monitorar. O detector¹⁵ (ou sistema de detecção) é alimentado pelas informações

¹⁵ Também denominado de Sistema de Gerenciamento de Informação.

obtidas do objeto de controle, tendo a função de seleção, de avaliação e de transmissão das informações. O comparador (ou sistema de organização) tem a função de comparar o comportamento observado pelo detector em relação ao padrão predeterminado ou norma. O atuador é o verdadeiro tomador de decisão (ou sistema de decisão), tendo a função de avaliar as diversas alternativas de ação de correção do desvio transmitido pelo comparador. Portanto, toda vez que se cita uma atividade de controle de qualquer natureza, existirá um objeto de controle, um sistema de detecção, um sistema de organização e um sistema de decisão.

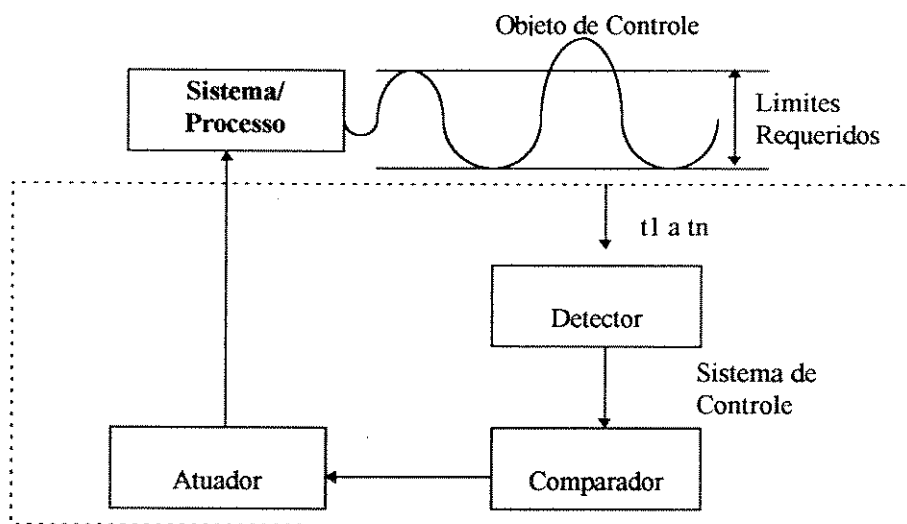


Figura 3.2-Principais Elementos de um Sistema de Controle (adaptado de SCHODERBEK et al., 1990)

Mesmo que a princípio pareça simples, a concepção de um sistema de controle é uma atividade complexa, ainda mais quando se trata de sistemas com um elevado número de elementos ou objetos internos e externos (meio ambiente) que mudam constantemente e interferem no resultado requerido, como o caso dos sistemas industriais (MELAN, 1988).

Um sistema industrial é composto por vários subsistemas inter-relacionados que contribuem para a produção de um determinado produto. Da mesma forma, um sistema de controle é composto por diversos subsistemas de controle inter-relacionados, cada um monitorando os objetos ou elementos necessários para que o resultado esperado seja atingido (por exemplo, um sistema de controle de uma unidade industrial pode ser dividido em subsistemas de controle de produção, de pessoal, de vendas e de qualidade, dentre outros). Os sistemas e seus subsistemas de controle são criados de acordo com a necessidade de controle

de um determinado objeto ou elemento do sistema considerado. Para cada objeto de controle é necessário estabelecer os sistemas de detecção, organização e decisão.

MELAN (op. cit.) sugere, ao descrever uma experiência vivida na implantação de um sistema de controle (cita gerenciamento de processos) na IBM utilizando-se dos conceitos da sistêmica, um método de representação de um sistema de controle que complementa o apresentado na figura 3.2, exatamente por considerar um sistema como sendo composto de subsistemas (cita processo e sub-processos) inter-relacionados. As diferenças mais importantes são que MELAN considera a necessidade de detecção de objetos de controle também na entrada do sistema e que o sistema de decisão (cita análise), além de determinar a ação de correção do desvio no próprio sistema, deve informar (ou corrigir, MELAN não explicita a função do sinal de saída) os demais sistemas inter-relacionados (vide figura 3.3).

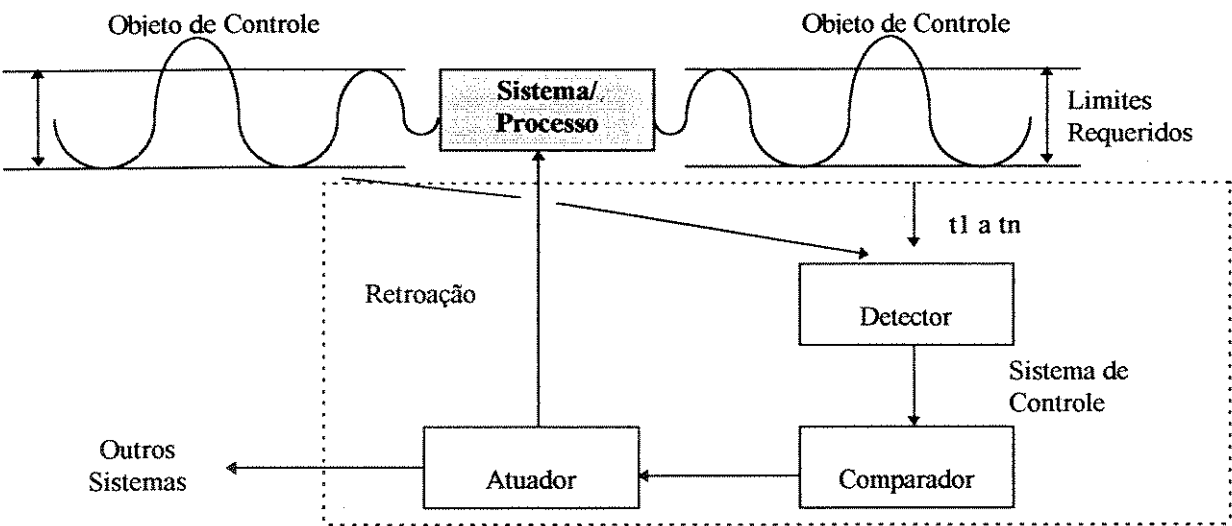


Figura 3.3 - Sistema de Controle na Visão de MELAN (adaptado de MELAN, 1988)

Um sistema de controle da qualidade segue o mesmo raciocínio apresentado, ou seja, deve controlar os objetos de controle definidos para o produto final de forma a garantir que sua variabilidade esteja dentro dos limites estabelecidos e negociados com os clientes. Para cada objeto de controle é necessário estabelecer um sistema de controle, sendo que este pode ser subdividido em subsistemas de controle inter-relacionados (controlando os subsistemas do sistema), conforme a necessidade identificada (vide figura 3.4). Esse conceito será detalhado no item 3.3.3 - Planejamento da Qualidade.

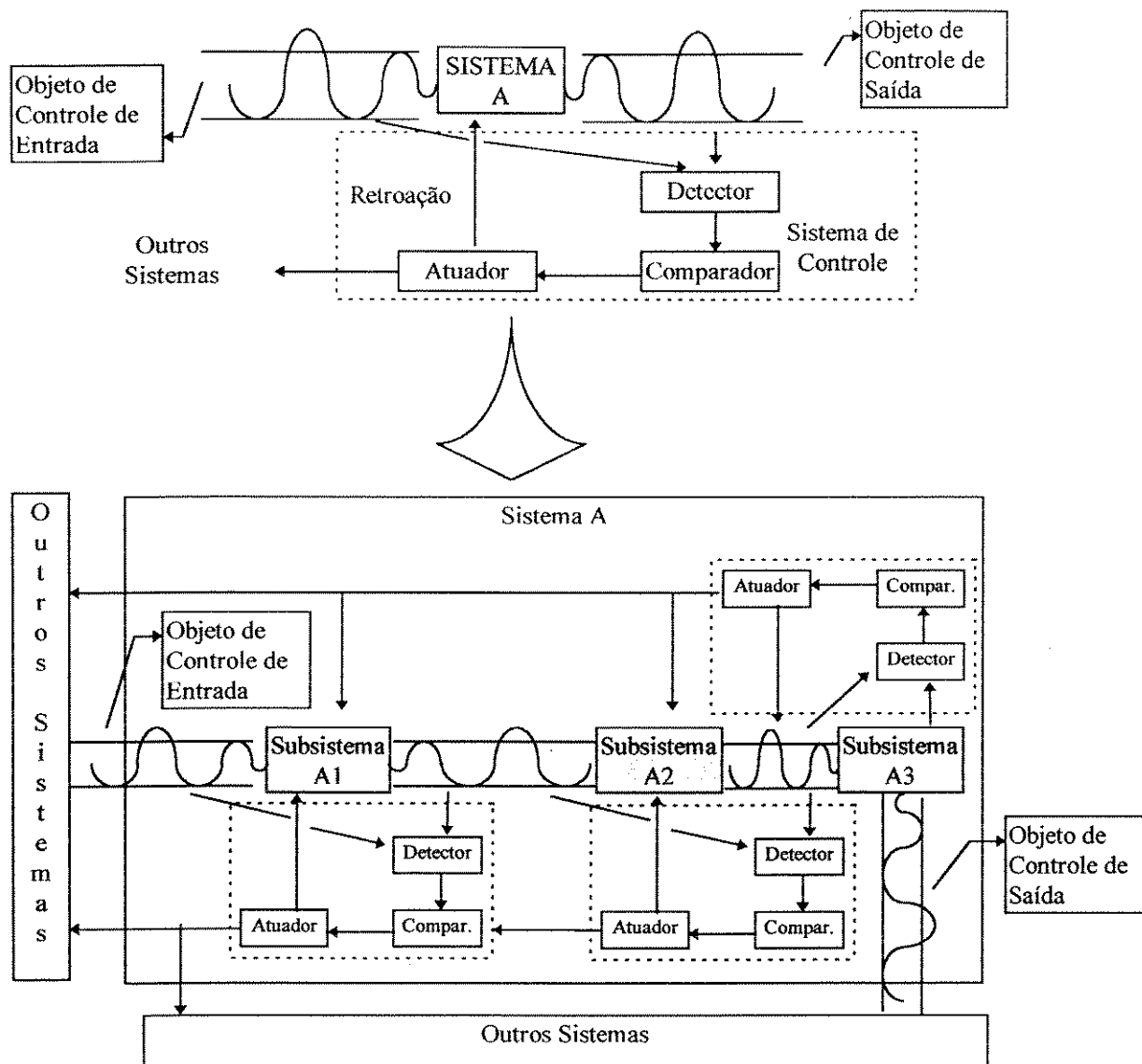


Figura 3.4 - Subsistemas de Controle Inter-relacionados.

Para que o controle seja realmente efetivo, diversos aspectos particulares ao assunto controle da qualidade precisam ser discutidos. Neste trabalho definiu-se as seguintes etapas necessárias para a concepção de um sistema de controle da qualidade, sendo o foco principal de discussão dos tópicos a seguir:

- 1) Planejamento da qualidade (identificação dos objetos ou das variáveis de controle): nesta etapa se define a especificação técnica do produto, os tipos de controle (produto final, processo produtivo, matéria-prima) e os níveis de abrangência do controle (quais elementos e subsistemas serão considerados).

2) Concepção dos elementos de controle (identificação do sistema de detecção, de organização e de decisão).

- Identificação do sistema de detecção: nesta etapa se define a forma que será detectado o objeto de controle (em contínuo ou por amostragem, com suas respectivas particularidades, tais como tempo de resposta, forma de amostragem, confiabilidade do resultado, dentre outras).
- Identificação do sistema de organização: nesta etapa se define o conjunto de ferramentas que serão utilizadas para avaliar o comportamento do sistema (ferramentas estatísticas ou deterministas).
- Identificação do sistema de decisão: nesta etapa é que se define as ações necessárias de ajuste do sistema.

Embora a separação por etapas facilite o trabalho de concepção de um sistema de controle, a sua realização na prática não é independente: o objeto de controle pode ser alterado se o sistema de detecção não conseguir medir a sua variação que, por sua vez, pode ser alterado devido às necessidades do sistema de organização (necessidades de acordo com a ferramenta utilizada); dependendo do caso, o próprio sistema gerador do objeto de controle (processo produtivo) poderá ser modificado para que o objetivo seja atingido (alterações no projeto do processo produtivo, p. ex.). Ou seja, é a própria atividade de controlar que identificará a melhor configuração dos elementos básicos de controle e as alterações necessárias no processo produtivo para que os requisitos estabelecidos sejam atendidos.

3.3.1 - Controle Automático do Processo e Controle Estatístico do Processo

Dentre os tipos de controle existentes, cabe destacar os dois mais empregados em sistemas de controle da qualidade: controle automático do processo (CAP) e controle estatístico do processo (CEP).

O CAP é caracterizado pelo controle automático e contínuo do processo, ou seja, detectando o comportamento do objeto de controle, comparando com o valor desejado e atuando no processo de forma automática e contínua. Basicamente, o CAP é empregado

quando a causa da variação não foi identificada ou sua eliminação é impossível ou ainda, mesmo que seja possível, sua eliminação é muito cara (BOX et al, 1990). Os exemplos mais comuns de utilização do CAP são os utilizados para operar o processo de forma segura, manter o objeto de controle perto do valor alvo e melhorar a dinâmica do processo, compensando as perturbações observadas (PALM, 1990). O sistema de decisão determina atuações de compensação, não agindo na causa do desvio e nem na sua eliminação, apenas compensando as perturbações percebidas.

O CEP é caracterizado pelo tratamento estatístico do comportamento do objeto de controle, buscando a diferenciação das causas especiais das comuns e atuando no processo de forma pontual e não automática. Diferentemente do CAP, o CEP é empregado no monitoramento da estabilidade do processo devido a causas comuns e na detecção de causas especiais. O sistema de decisão somente atua no processo se o comportamento do objeto de controle sofrer mudanças estatísticas significativas. A forma de atuação pode ser do tipo corretiva (ajuste da causa), preventiva (eliminação da causa) ou compensativa (da mesma forma que o CAP, não atuando na causa), embora seja recomendada a preventiva.

Normalmente os sistemas de controle da qualidade utilizam um conjunto de controles do tipo CEP e CAP, sendo a sua escolha definida pela própria característica do controle e do processo. BOX et al (op. cit.) apresentam alguns aspectos que ajudam a determinar o tipo de controle mais apropriado:

- a natureza das causas que afetam o sistema e se elas podem ou não ser eliminadas.
- o dinamismo e o atraso em ajustar o sistema.
- a possibilidade de uma determinada entrada do sistema poder ser manipulada para compensar os desvios observados.
- o desvio observado ser parcialmente ou completamente determinado por uma entrada no sistema que pode ser medida e utilizada como controle.
- o custo de se estar fora do valor alvo.
- o custo de se fazer ajustes.
- o custo de observação do processo (detecção e comparação).

Alguns autores, como BOX et al. (op. cit.), colocam ainda a possibilidade de se utilizar o CEP no CAP, ou seja, incorporar no CAP o tratamento estatístico dos valores do objeto de controle.

Conforme colocado por BOX et al. (op. cit.) e PALM (op. cit.), muito se discute sobre qual é o melhor tipo de controle para permitir a melhoria do processo. Os críticos ao CEP colocam a ineficiência das cartas de controle (ou cartas de Shewhart) em regular um processo. Por sua vez, os críticos ao CAP o acusam de compensar os desvios ao invés de eliminá-los e de esconder a variabilidade do processo que permitiria a identificação de melhorias. Na opinião destes autores, tanto o CEP quanto o CAP são indispensáveis para o controle e melhoria do processo, sendo as críticas normalmente não justificadas quando se reconhece o papel que cada um exerce em um sistema de controle da qualidade (vide tabela 3.3)

Tabela 3.3 - Principais Funções do CEP e do CAP.

Controle Automático do Processo (CAP)	Controle Estatístico do Processo (CEP)
Reduz efeitos de desvios que não podem ser eliminados	Identifica e remove desvios mais aparentes
Melhora a dinâmica do processo	Monitora o desempenho do processo
Analisa e controle medidas on-line de alta velocidade	Analisa e controla infreqüentes medidas
Efetua estratégias de controle complexas	Melhora procedimentos e métodos tanto quanto equipamentos
Coordena operações independentes	Obtém o melhor desempenho de um equipamento existente com baixo investimento
Executa controle multivariável e otimização do processo	Envolve todo mundo na atividade de melhoria do processo

3.3.2 - Controle da Qualidade e Melhoria da Qualidade

Antes de se iniciar a discussão sobre os elementos de controle, é necessário colocar o aspecto de melhoria do sistema no contexto de uma atividade de controle.

A própria implantação de um sistema de controle da qualidade, quando bem concebido, já é uma atividade de melhoria do sistema. Se o objetivo do controle for atingido, o objeto de controle será melhor monitorado, diminuindo-se a sua variabilidade. O conceito de que melhoria da qualidade deve ser feita através da redução da variabilidade é o que DEMING

(1990) sempre defendeu, e essa redução da variabilidade só pode ocorrer através da implantação de um efetivo sistema de controle. SULLIVAN (1987) também defende esse conceito, definindo o significado de melhoria da qualidade como redução da variabilidade em torno de um valor alvo.

Outra melhor forma de mostrar a relação entre controle e melhoria da qualidade é através da denominada Trilogia de Juran. JURAN (1986; 1992) defende que uma organização deve estar voltada ao gerenciamento para qualidade, o qual é definido pela utilização de três processos gerenciais:

- *Planejamento da qualidade*: atividade de desenvolvimento de produtos e processos exigidos para a satisfação das necessidades dos clientes.
- *Controle da qualidade*: atividade de asseguarção da conformidade da condução das operações com os planos e procedimentos da qualidade estipulados.
- *Melhoria da qualidade*: atividade de elevação do desempenho da qualidade a níveis sem precedentes.

Esses três processos gerenciais, denominados Trilogia Juran, devem se estender por toda empresa, para todas atividades e funções. Cada um desses processos gerenciais possui uma seqüência universal de passos que devem ser seguidos, conforme está apresentado na tabela 3.4.

JURAN (1992) coloca que não há como estabelecer um plano de melhoria sem que haja um correto planejamento da qualidade (definição dos objetos de controle e seus limites) e um sistema de controle capaz de manter os ganhos aferidos. Apesar de JURAN separar a atividade controle da atividade de planejamento e melhoria, pode-se perceber que esta atividade está inserida nos passos universais de cada processo gerencial. Nesta trabalho foi considerado que tanto o planejamento quanto a melhoria contínua da qualidade são aspectos essenciais e internos aos sistemas de controle da qualidade¹⁶.

¹⁶ Muitos autores consideram que a atividade de planejamento e controle da qualidade é que são aspectos essenciais e internos à melhoria contínua, como p. ex. JURAN (1992), conforme foi apresentado.

Tabela 3.4 - Passos Universais da Trilogia Juran (JURAN, 1992).

Planejamento da Qualidade	Controle da Qualidade	Melhoria da Qualidade
* Identificar quem são os clientes	* Escolher os objetos de controle. Saber o que controlar.	* Provar a necessidade de melhoria.
* Determinar as necessidades dos clientes	* Escolher as unidades de medição	* Identificar os objetos de melhoria
* Desenvolver as características do produto que atendam às necessidades dos clientes	* Estabelecer a medição e padrões de desempenho.	* Organizar para conduzir os projetos e para fazer diagnósticos.
* Estabelecer metas de qualidade para as necessidades dos clientes e para os fornecedores	* Avaliar o desempenho real	* Diagnosticar para encontrar as causas.
* Desenvolver processos capazes de produzir as características no produto	* Comparar o desempenho real com os padrões de desempenho.	* Implantar ações corretivas e provar sua eficiência sob condições de operação.
* Provar que o processo pode atingir as metas e qualidade nas condições de operação. Estabelecer controles do processo; transferir os planos para as forças operacionais	* Agir sobre a diferença	* Estabelecer controles para manter os ganhos

A oportunidade de melhoria (ou necessidades de mudança) pode surgir de duas fontes: necessidades internas e/ou necessidades externas. As necessidades internas são aquelas que o próprio sistema identifica, se modificando de forma a atingir o novo resultado requerido. As necessidades externas são provenientes do meio ambiente do sistema, tais como necessidades do mercado e do cliente. Portanto, utilizando-se do modelo cibernético de sistemas de controle (SCHODERBEK op. cit., p.125), um sistema de controle da qualidade de uma empresa deve ser um sistema aberto (o sistema deve circundar ele mesmo e o seu meio ambiente) e auto-regulável (deve ter autonomia dentro do sistema¹⁷), permitindo que este possa perceber uma necessidade de mudança (ou melhoria) e se modificar.

¹⁷ Ser auto-regulável não significa ser completamente autônomo, significa ser autônomo dentro de certos limites ou políticas colocadas pela direção da empresa.

3.3.3 - Planejamento da Qualidade

A primeira etapa na concepção de um sistema de controle, denominada como definição das metas da qualidade, é a identificação do que se quer (ou precisa) controlar (identificação dos objetos de controle) e a definição da variabilidade permitida (incluindo o valor alvo).

O trabalho de definição das metas da qualidade inicia-se pela definição dos limites de contorno do sistema estudado. Dentro de um sistema industrial, os limites de contorno normalmente incluem, além do próprio produtor, o fornecedor e o cliente. Dentro deste limite de contorno, pode-se definir três subsistemas principais: o subsistema Produtor-Cliente, o subsistema Produtor e o subsistema Fornecedor-Produtor (vide figura 3.5).

A definição das metas da qualidade para subsistema Produtor-Cliente estará direcionada ao produto, para o subsistema Produtor, ao processo produtivo e para o subsistema Fornecedor-Cliente, às matérias-primas. Embora os subsistemas possam ser tratados de forma independente, eles são influenciados pelos demais (o motivo da linha tracejada da figura 3.4). Portanto, o resultado da atividade de definição das metas da qualidade será os objetos e seus limites de controle, representados pela especificação técnica do produto, do processo produtivo e da matéria-prima.

Na literatura consultada (TUNNER, 1995; JURAN, 1986, 1992; BRANCHE, REMMLER, 1988; WHITE, HILL 1987; MELAN, 1988) é colocado uma seqüência ótima para a definição das metas da qualidade (alguns não incluem o subsistema Fornecedor-Produtor): o subsistema Produtor-Cliente é o primeiro que deve ser tratado, seguido do subsistema Produtor e, por último, o subsistema Fornecedor-Produtor. Quando se fala em sistemas de controle da qualidade, essa seqüência parece evidente pois, qualidade é definida como características do produto que atendam às necessidades do cliente (JURAN, 1992), ou ainda, como conformidade aos requisitos estabelecidos pelos clientes (CROSBY, 1996). São as características do produto esperadas pelos clientes que precisam ser controladas e, serão elas que direcionarão a atividade de identificação dos objetos e dos limites de controle do processo produtivo e da matéria-prima (BRANCHE; REMMLER 1988).

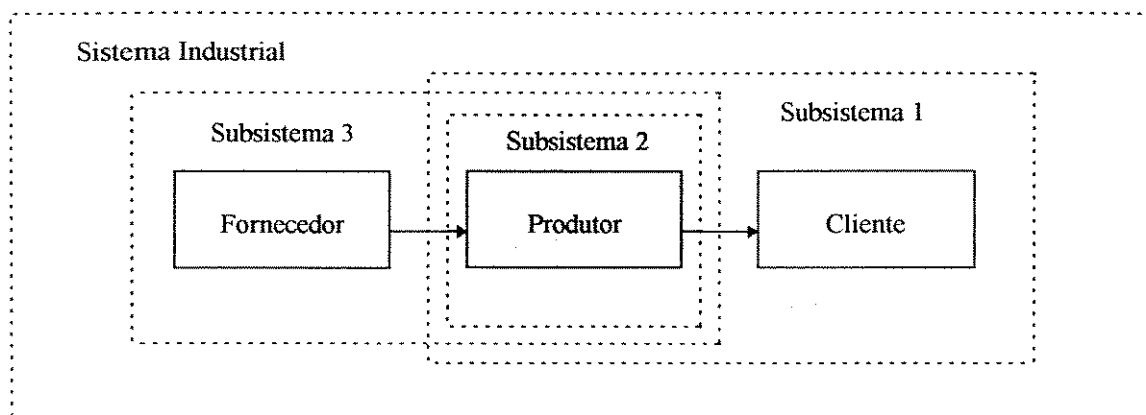


Figura 3.5 - Subsistemas para Definição das Metas de Qualidade

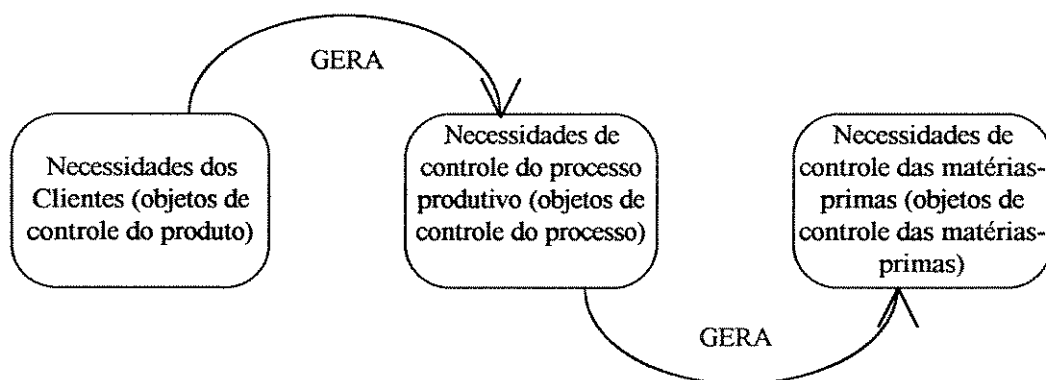


Figura 3.6 - Identificação dos Objetos de Controle de um Sistema da Qualidade

Embora o tratamento dos três subsistemas seja considerado essencial por diversos autores, existem muitos sistemas de controle que só consideram o subsistema Produtor-Cliente, definindo um plano de inspeção que elimine os produtos não conformes enviados aos clientes (os produtos não-conforme ou retornam ao sistema produtivo ou são simplesmente descartados). As considerações sobre o impacto deste procedimento nos custos produtivos serão discutidas no item 3.5 - Sistemas da Qualidade e Custos da Qualidade.

Definição dos Objetos e Limites de Controle - Subsistema Produtor-Cliente

Os objetos e os limites de controle podem ser denominados como a especificação técnica do produto final. A especificação é um conjunto de unidades de medida padrão que pretendem

corresponder as expectativas do cliente (ASQC, 1996a). Sem a sua definição em unidades de medida, não há como estabelecer um sistema de controle. Por isso, entre o que o cliente deseja e a especificação do produto existe um caminho crítico a ser seguido; a tradução das expectativas dos cliente em unidades de medida não é uma tarefa fácil.

Diversos autores colocam uma série de etapas para a determinação da especificação, podendo ser resumidas nas especificadas pela ASQC (1996a):

1. Determinar as necessidades do cliente ou do mercado - Geração da descrição geral do produto.
2. Determinar as propriedades de comportamento do produto - Geração da literatura técnica/ propriedades do produto.
3. Determinar as características (objetos e limites de controle) aceitáveis do produto - Geração da especificação técnica do produto.

Entre as etapas de identificação das características e a geração da especificação do produto, a ASQC (1996a) coloca a necessidade de verificação da capacidade do processo produtivo em produzir o produto desejado (caso não seja, ações de desenvolvimento de tecnologia devem ser adotadas, ou seja, adoção de melhorias, ou de negociação com o cliente). Dependendo do caso, a própria implantação de um sistema de controle pode permitir a produção do produto desejado.

A passagem da etapa de identificação das necessidades dos cliente para a etapa de determinação das características técnicas normalmente é crítica, pois passa-se de uma informação geral para uma informação traduzida por unidades de medida (em alguns casos, quando o cliente também é um produtor e não o consumidor final, as discussões já são colocadas em base técnica, facilitando o trabalho de planejamento da qualidade).

SLACK et al. (1997) definem essa dificuldade em quatro tipos de lacunas encontradas entre as expectativas do cliente e a sua percepção em relação ao produto: a primeira lacuna é definida pela diferença entre a especificação do cliente e a do produto; a segunda lacuna é percebida pela diferença entre o projeto (ou literatura técnica) e a especificação do produto; a terceira lacuna é percebida pela diferença entre a especificação do produto e o resultado real

obtido; a quarta lacuna é percebida pela diferença entre as promessas feitas aos clientes e o resultado real obtido.

O gerenciamento das etapas acima citadas deve ser feito de forma a eliminar essas lacunas. Lembrando que, por ser o início do processo de construção de um sistema de controle, uma especificação deficiente levará, num primeiro momento, a um controle da qualidade deficiente. Como SCHODERBEK et al. (op. cit., p. 110) colocam: “a escolha do objeto de controle é a mais importante consideração no estudo e no projeto de sistemas de controle”.

Segundo BRANCHE; RUMMLER (1988), o resultado final deve ser a identificação de todas as características requeridas pelo cliente, dentre estas, a identificação das mais importantes (as que mais impactam no processo produtivo do cliente) e o nível de variação possível.

Definição dos Objetos e Limites de Controle - Subsistema Produtor

Uma vez definida a especificação técnica do produto final, a próxima etapa é a definição dos objetos e limites de controle do processo produtivo, ou simplesmente as especificações do processo produtivo (ASQC, 1996a).

Da mesma forma que são identificados os objetos e limites de controle do subsistema Produtor-Cliente, deverão ser os do subsistema Produtor. Existem diversas práticas de como realizar esse trabalho, já que o processo produtivo normalmente é composto de diversas seções, etapas, equipamentos, instrumentos, dentre outros.

BRANCHE; RUMMLER (op. cit.) propõem que o sistema produtivo deve ser dividido em subsistemas e esses em subsistemas, tendo como resultado um conjunto de objetos de controle alocados nas suas articulações. Cada subsistema (ou os seus subsistemas) deverá ser considerado como sendo fornecedor e cliente ao mesmo tempo de outros subsistemas, questionando-se quais são os objetos de controle que causam impacto nos subsistemas subseqüentes e como é impactado pelos subsistemas anteriores. Desta maneira, além de criar a base para o controle do processo produtivo, a divisão em subsistemas permitirá a identificação

e a resolução de problemas de qualidade. Essa mesma metodologia é sugerida por MELAN (op. cit.) e DEMING (op. cit.).

Dentro do conjunto de objetos de controle identificados, poderá ser conveniente, dependendo do número encontrado, selecionar aqueles mais críticos. SLACK et al. (op. cit.) colocam algumas situações que podem ajudar a selecioná-los:

- antes de uma etapa do processo particularmente custosa.
- antes de uma série de processos durante os quais a verificação pode ser difícil.
- imediatamente após uma etapa do processo com alta taxa de defeitos ou pontos de falhas.
- antes de uma etapa do processo que possa esconder problemas ou defeitos prévios.
- antes de um “ponto sem volta”, depois do qual a recuperação e/ou a retificação possam ser impossíveis.
- antes que um dano em potencial ou perturbações possam ser causados.
- antes de uma mudança de responsabilidade funcional.

Definição dos Objetos e Limites de Controle - Subsistema Fornecedor-Produtor

As especificações das matérias-primas só devem ser estabelecidas após a identificação dos objetos de controle do subsistemas anteriores. Os objetos de controle das matérias-primas devem ser aqueles que proporcionem algum tipo de impacto nos objetos de controle do subsistema Produtor e, conseqüentemente, do subsistema Produtor-Fornecedor.

3.3.4 - Concepção dos Elementos de Controle

Com o planejamento das metas da qualidade definidas, ou seja, os objetos de controle e os limites requeridos identificados, começa-se a desenvolver os demais elementos do sistema de controle: o sistema de detecção, o sistema de organização e o sistema de decisão. Para cada objeto de controle identificado em cada um dos subsistemas anteriormente definidos será estabelecido um sistema de detecção, um sistema de organização e um sistema de decisão. Embora seja necessário estudar caso a caso, algumas recomendações e discussões gerais em relação a esses elementos de controle se fazem necessárias.

Sistema de Detecção

Como o próprio nome diz, o sistema de detecção é o responsável pela leitura do comportamento do objeto de controle e deve garantir uma consistente base para o sistema de decisão e organização. Nenhuma decisão pode ser melhor que a informação na qual é baseada (BOSER et al., 1990).

A leitura de um determinado objeto de controle pode ser contínua ou descontínua. A leitura contínua é caracterizada pelo acompanhamento quase que instantâneo do comportamento do objeto de controle (p. ex. um medidor de temperatura). A leitura descontínua é caracterizada por amostragens do comportamento do objeto de controle. A detecção pode ser realizada medindo-se diretamente o objeto de controle, por exemplo a composição de um determinado fluxo, ou indiretamente, por exemplo a temperatura de uma coluna de destilação para se verificar a composição de um determinado fluxo.

A escolha por leitura descontínua, contínua, direta ou indireta dependerá, basicamente, do tempo de resposta requerido, do custo e do próprio comportamento do objeto de controle (SLACK et al., op. cit; BOX et al., op. cit.).

Outro aspecto que precisa ser considerado é a própria variabilidade do sistema de detecção. A variabilidade não está somente presente no objeto de controle, razão da existência da atividade de controle, mas também no próprio sistema de detecção. A sua não consideração poderá levar a um resultado inverso ao esperado: um aumento na variabilidade do objeto de controle. Os principais erros da sua não consideração serão discutidos na descrição do sistema de decisão.

Portanto, qualquer que seja o tipo escolhido de detecção, é importante considerar a eficiência, a precisão e a exatidão do equipamento utilizado. Quando a detecção é realizada por amostragem, alguns cuidados especiais precisam ser tomados, tais como representatividade da população, tamanho da amostra, frequência e método de retirada da amostra.

Como ISHIKAWA (1993, p.46) coloca: “se alguém lhe mostrar dados obtidos pelo uso de instrumentos de medição e análises químicas, desconfie deles”.

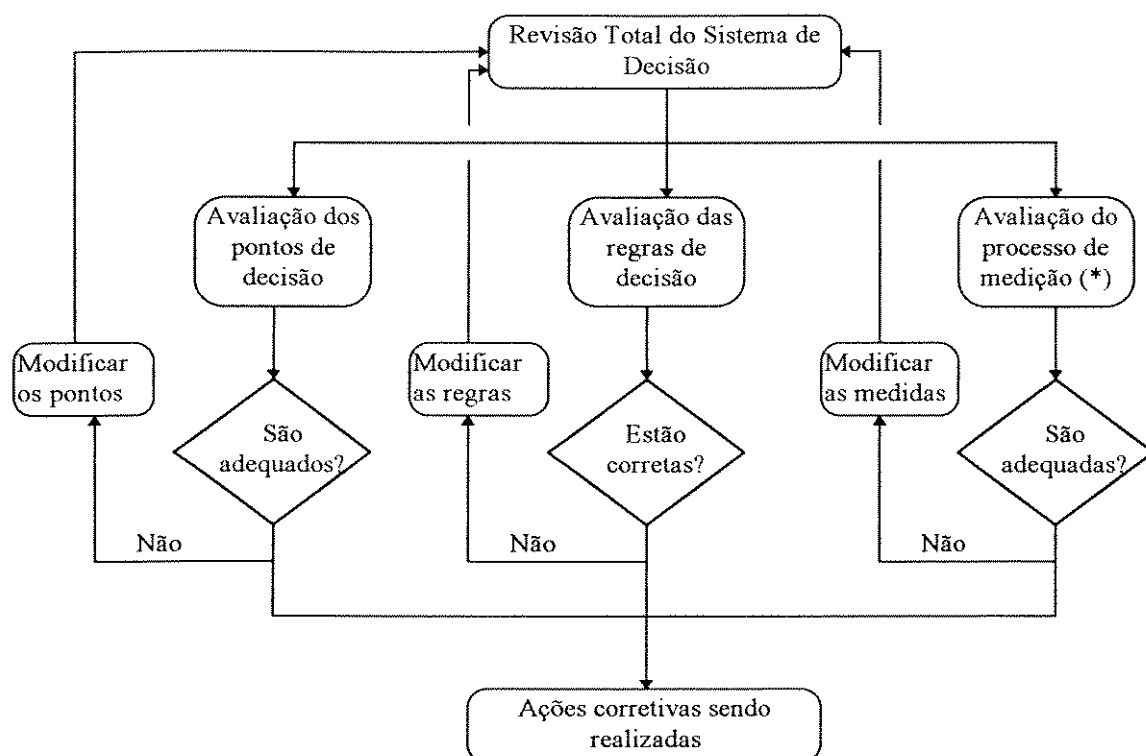
Sistema de Organização

O sistema de organização é o responsável pela avaliação do comportamento real em relação ao esperado, fornecendo um instrumento de auxílio para tomada de decisão (sistema de decisão). Existem diversos métodos que podem ser utilizados separadamente e em conjunto para a atividade de comparação, dependendo da necessidade requerida pelo sistema de decisão. Dentre todos, os métodos estatísticos são os mais empregados, tais como cartas de controle, análise de experimentos, índices de capacidade e análise de regressão.

Neste trabalho não serão discutidos os métodos e ferramentas existentes para a atividade de comparação, discutidos a exaustão em diversos livros e artigos (vide referências bibliográficas e bibliografia consultada). Entretanto é importante ressaltar que esta atividade deve ser realizada através da utilização de ferramentas estruturadas (estatísticas ou deterministas, conforme o tipo de controle) e não somente de percepções ou experiências. Conforme colocado por SCHOLTES; HACQUEBORD (1988), “a organização voltada para a qualidade usa informações e métodos científicos para planejar o trabalho, resolver problemas, tomar decisões e permitir melhorias”.

Sistema de Decisão

Uma vez identificados os objetos de controle (produto, matéria-prima e processo produtivo) e os sistemas de detecção e de organização, passa-se para a concepção do sistema de decisão. Além da própria correção do desvio observado, o sistema de decisão deve ter por objetivo a verificação do seu próprio desempenho e da acurácia dos sistemas de detecção e organização (SCHODERBEK et al, op. cit.). Essa mesma idéia é defendida por BOSER et al. (op. cit.), apresentada pela figura 3.7, denominada revisão total do sistema de decisão.



* sistemas de detecção e organização

Figura 3.7 - Sistema de Decisão em Funcionamento.

BOSER et al.(op. cit.) colocam que o primeiro passo para a concepção de um sistema de decisão é a identificação dos pontos de atuação e como essa atuação deve ser realizada, ou seja, as regras das decisões. De uma forma geral, a atuação no processo pode ser realizada por três métodos básicos (WHITE, HILL, 1987):

- ação de prevenção
- ação de correção
- ação de compensação

A ação de prevenção e de correção é utilizada quando a causa do desvio foi identificada e, desta forma, passível de eliminação. A ação de prevenção é caracterizada pela antecipação ao evento do desvio e a ação de correção é caracterizada pela eliminação do evento do desvio já ocorrido. A ação de compensação é utilizada quando não há conhecimento da causa do desvio, ajustando o processo de forma compensatória (a escolha do melhor método a ser utilizada será discutida no item 3.5-Controle da Qualidade e Custos da Qualidade).

Um outro aspecto considerado essencial pela ASQC (1996a) para a concepção de um sistema de decisão apoiada em planos de amostragens estatísticas é o conhecimento da existência da variabilidade no próprio sistema de detecção, principalmente para as decisões relativas a conformidade de um produto quanto os seus limites de especificação, denominada amostragem de aceitação. O não conhecimento do conceito variabilidade, neste caso, pode acarretar em pelo menos dois tipos de erros: 1) a decisão é de conformidade do produto e, na verdade, não é conforme (risco para o cliente); 2) a decisão é de não-conformidade do produto e, na verdade, é conforme (risco para o produtor). Esses erros normalmente ocorrem devido a falta de conhecimento da diferença entre a curva característica de operação (OC) ideal (considerando-se a inexistência da variabilidade da amostragem) e a real (considerando-se a variabilidade da amostragem).

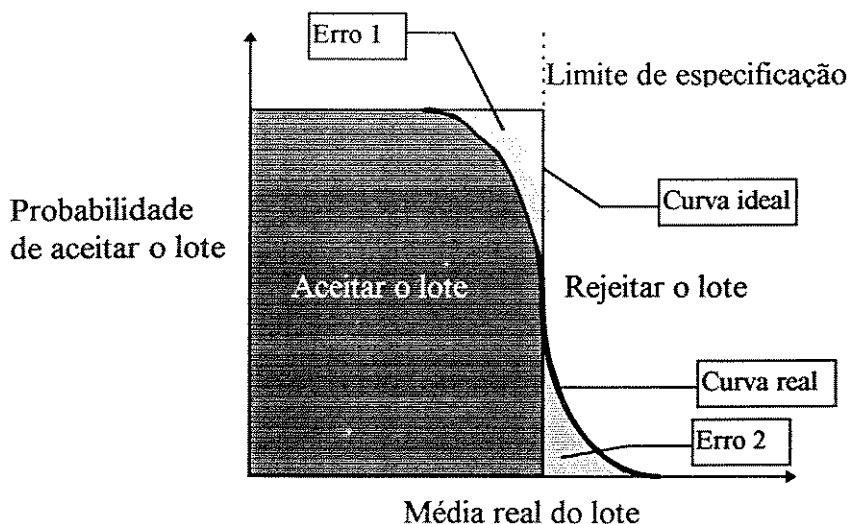


Figura 3.8 - Curva Característica de Operação (ASQC, 1996a).

O sistema de decisão deve considerar os riscos aceitáveis de ocorrências dos erros 1 e 2, modificando os limites de aceitação (abaixo ou acima da especificação) e/ou aumentando o número de amostras representativas de um lote (aproximação da curva ideal). Segundo SLACK et al. (op. cit), a utilização da amostragem de aceitação é muito criticada, pois assume que um nível de falha e defeito é aceito pela organização. Ao invés de aceitar a falha, a organização deveria escolher pelo “fazer correto da primeira vez” (essa idéia é muito defendida por CROSBY, 1996). Independentemente se o plano de amostragem deve ou não ser utilizado como informação para definição de especificação, o conceito de variabilidade do sistema de

detecção precisa ser considerado pelo sistema de decisão, inclusive para saber se deve ou não agir no processo.

Quando o assunto é atuar ou não no processo, o conceito de variabilidade no sistema de detecção por amostragem é ainda mais importante. Além de garantir que o sistema de detecção indique um desvio real do objeto de controle (retirando-se a interferência da variabilidade da amostragem), é necessário verificar o seu comportamento por um período de tempo para que a atuação no processo seja efetiva. A verificação do seu comportamento deve ser realizada através do tratamento estatístico dos valores do objeto de controle. O acompanhamento estatístico do processo antes de uma atuação é o que caracteriza o controle do tipo CEP (vide 3.3.1). A não diferenciação entre causas comuns e especiais¹⁸ pode acarretar em atuações que aumentem a variabilidade do objeto de controle. Conforme DEMING (op. cit., p. XX-XXI) coloca com propriedade:

“Existem dois erros quando se pretende melhorar um processo. Ambos custosos:

Erro n.º 1 - Tratar como causa especial qualquer falha, reclamação, erro, parada accidental, acidente, deficiência, etc., quando realmente são procedentes de causas comuns (interferência enganosa).

Erro n.º 2 - Atribuir a causas comuns qualquer falha, reclamação, erro, parada accidental, acidente, deficiência, etc., quando realmente são procedentes de causas especiais”

Outro ponto que precisa ser discutido em relação a decisões baseadas em amostragens é o efeito provocado pelo aumento ou diminuição do tamanho da amostra (número de alíquotas ou resultados que compõem a amostra). A alteração no tamanho da amostra altera a variabilidade percebida do objeto de controle: quanto maior o tamanho da amostra, menor será a variabilidade percebida e vice-versa (GRANT; LEAVENWORTH, 1988, P. 57-58), conforme é apresentado na figura 3.9.

¹⁸ As variações provocadas por causas comuns são consideradas inerentes ao processo, presentes mesmo que todas as operações sejam executadas conforme o padrão. Já as variações por causas especiais são caracterizadas pela sua aparição esporádica, provocando um comportamento diferente do usual (WERKEMA, 1995, P.5)

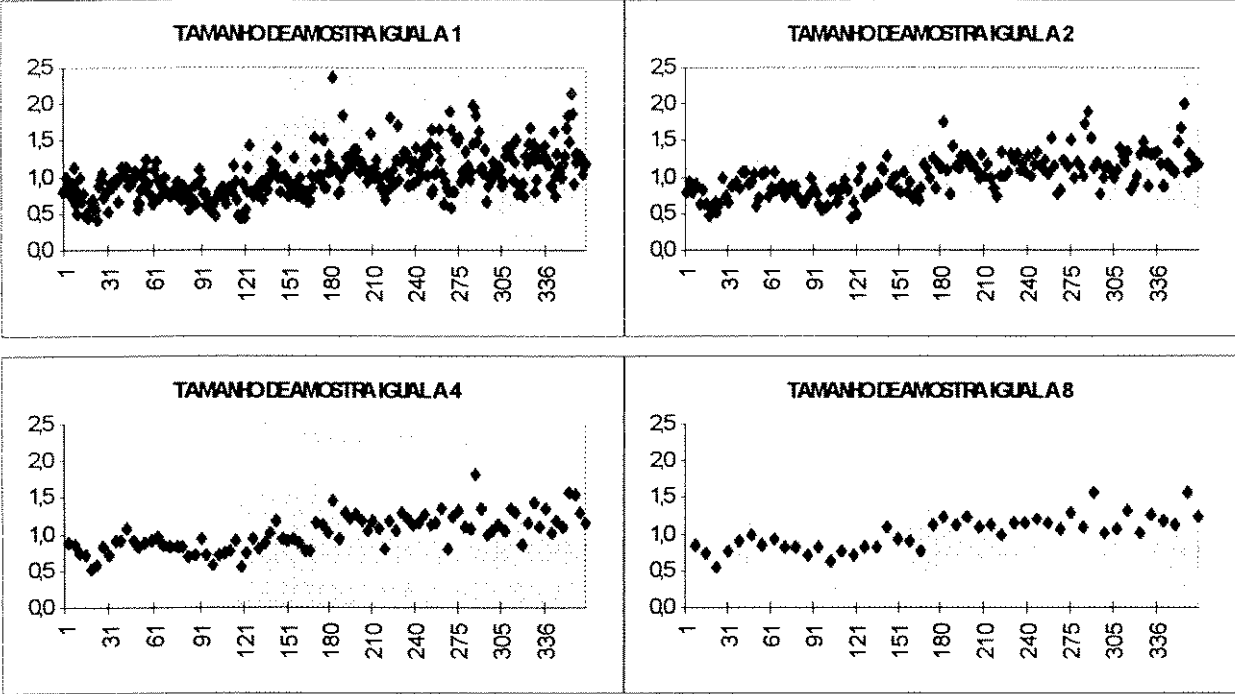


Figura 3.9 - Comportamento da Variabilidade com o Tamanho de Amostra.

Quando um resultado está acima ou perto do limite de especificação, indicando a existência de uma perturbação anormal no objeto de controle (denominada causa especial), um sistema de decisão pode determinar o aumento da frequência de detecção. Esse aumento da frequência de detecção tem por objetivo garantir uma melhor avaliação da qualidade do produto até o retorno a normalidade do processo produtivo. O problema é que, ao alterar a frequência de detecção, muitas vezes o tamanho da amostra também é alterado, tendo como consequência a alteração da variabilidade percebida nos resultados: utilizando-se, por exemplo, amostragens instantâneas (tamanho da amostra igual a 1), enquanto que a amostragem normal é composta por várias alíquotas dentro do lote (tamanho da amostra maior que 1). Como os valores dos limites de controle e, muitas vezes, o próprio valor de especificação foram determinados utilizando-se a variabilidade obtida com um tamanho de amostra maior que 1, o resultado obtido pela amostragem instantânea pode indicar ao sistema decisional uma perturbação adicional no objeto de controle, quando na verdade a variabilidade percebida é inerente ao processo e estava encoberta pelo tamanho da amostra, ou seja, pela média dos resultados pontuais.

É importante ressaltar que os limites de especificação acordados com o cliente são baseados em unidades (por exemplo uma peça, no caso de produtos líquidos, uma carreta, no

caso de produtos sólidos, um saco) e não na média das unidades. O tamanho da amostra para definição da sua conformidade ou não com a especificação também precisa ser acordado com o cliente (este autor acredita que esta informação deveria constar na especificação fornecida ao cliente, normalmente denominada de folheto comercial).

3.4 - Tópicos sobre Custos da Qualidade

Os ganhos relativos a implantação de processos, programas ou sistemas da qualidade são amplamente reconhecidos pelos atuais gerentes e operários. Não há como sobreviver sem que haja qualidade no produto produzido. Os ganhos contabilizados não são só aqueles ligados a sobrevivência das empresas, muitas vezes de difícil mensuração, mas também ao próprio crescimento da empresa, traduzido por aumentos significativos nas vendas e nos lucros. Os aumentos dos lucros, além daqueles devido ao valor de mercado do produto, vem sendo conseguido através de uma brusca redução dos custos operacionais, que estão intimamente ligados a melhoria da qualidade.

Da mesma forma que sistemas, programas ou processos da qualidade tendem a reduzir os custos operacionais de uma atividade industrial, denominado custo da não-conformidade, a implantação e manutenção exigem investimentos consideráveis (SLACK et al., op. cit.), o denominado custo da conformidade. A utilização do conceito de custos da qualidade, iniciado na década de 50, ajuda a entender como eles se relacionam.

Os custos da qualidade podem ser classificados em quatro categorias (JURAN et al., 1974; SLACK et al., op. cit.):

- custos de falhas internas: custos associados aos erros detectados na operação interna.
- custos de falhas externas: custos associados aos erros detectados fora da operação, pelos clientes.
- custos de prevenção: custos associados às atividades de prevenção de problemas, de falhas e de erros.
- custos de avaliação: custos associados com a investigação da qualidade do produto acabado, matérias-primas e processo produtivo.

Os dois primeiros, custos de falhas internas e externas, são considerados como custos da não-conformidade e os dois restantes, custos da prevenção e avaliação, como os custos da conformidade¹⁹. A tabela 3.5 apresenta as principais atividades normalmente incluídas em cada categoria.

A teoria tradicional do custo da qualidade indica que com o aumento dos custos da conformidade, os custos da não-conformidade serão reduzidos. Quando se considera os custos totais (custos da conformidade e da não-conformidade), existirá um valor ótimo, acima do qual não há mais o benefício monetário no aumento dos custos da conformidade: os custos da conformidade ultrapassam os ganhos obtidos com a redução dos custos da não-conformidade (vide figura 3.10).

Tabela 3.5 - Categorias de Custos da Qualidade (JURAN et al., 1974; SLACK et al., 1997; EDMONDS et al., 1989)

Categoria	Exemplos de Custos
Custos de Falhas Internas	Desperdício de material
	Retrabalho
	Reinspeção
	Interrupções na produção
Custos de Falhas Externas	Cancelamentos de vendas.
	Garantia pós-venda.
	Indenizações
Custos de Prevenção	Treinamento (instrutores, horas de trabalho)
	Manutenção preventiva
	Estudos, Projeto e Implantação de melhoria no produto e no processo produtivo
Custos de Avaliação	Inspeção de matérias-primas, produto acabado e processo produtivo
	Avaliação da qualidade do produto junto aos clientes

¹⁹EDMONDS et al. (1989) utilizam a denominação custo voluntário e custo da falha.

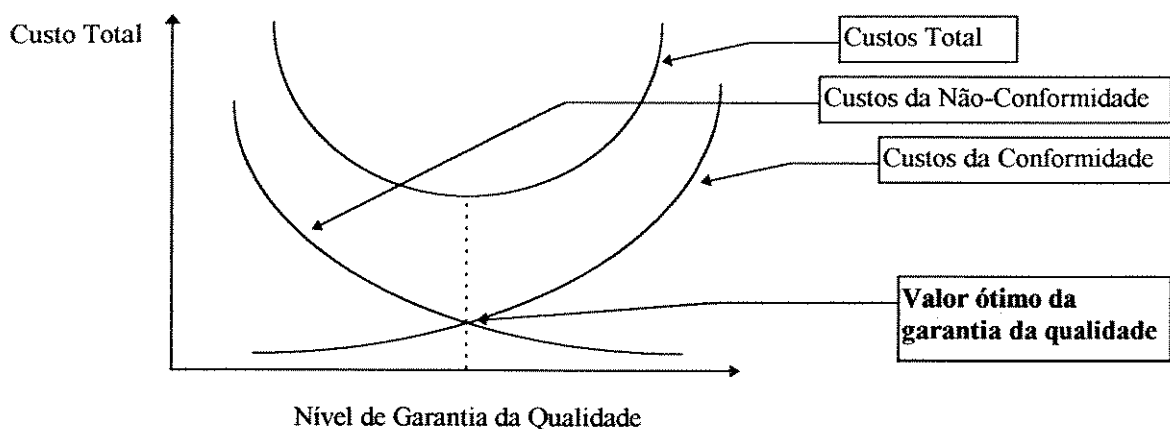


Figura 3.10 - Relação dos Custos da Qualidade - Visão Tradicional (SLACK et al, 1997, pg. 660)

O conceito de valor ótimo entre os custos de conformidade e não-conformidade tem sido utilizado como justificativa contrária ao conceito de zero-defeito (defendido principalmente por CROSBY, 1996). Um estudo de caso realizado por EDMONDS et al. (1989) em uma empresa americana, comprova tal afirmação, defendida por um levantamento das curvas reais de cada categoria de custos. EDMONDS et al. acrescentam: “analisando-se isoladamente as curvas de custos da conformidade e não-conformidade, um gerente pode ter uma expectativa irreal que o nível de garantia da qualidade deve ser 100%.... enquanto o conceito zero defeito pode ser um bom slogan, ele, na realidade, é impraticável, pois custa muito caro”.

A estratégia defendida pelos seguidores do tradicional conceito de valor ótimo se resume em ajustar os custos da conformidade no valor ótimo, mesmo que o nível de 100% de conformidade não seja atingido.

As críticas feitas ao conceito de valor ótimo são inúmeras. SLACK et al. (op. cit., p. 660-661) resumem as principais:

- insere o conceito de que a falha e a má qualidade são aceitáveis.
- assume que os custos são conhecidos e mensuráveis, quando na verdade não são.
- na prática se subestima os custos da não-conformidade e se superestima os custos da conformidade.
- não cria o desafio aos gerentes e operários de melhorar a qualidade.

- implica que os custos da conformidade são elevados, quando na verdade, se houver participação de todos e melhoria contínua no sistema de controle da qualidade (aumentado-se o conhecimento do processo, diminui-se a necessidade de diversos controles), haverá uma redução, mesmo que o esforço aumente.

Em contrapartida às tradicionais curvas de custos da qualidade, apresentadas na figura 3.10, os críticos, conforme colocado por SLACK et al. (op. cit., p. 661), ao conceito de valor ótimo negam a existência do ponto de mínimo da curva de custo total. Mesmo que exista, esse ponto de mínimo está bem mais deslocado para a direita, conforme apresentado pela figura 3.11, pois a inclinação da curva do custo da qualidade é bem menor e a curva da não-conformidade, embora tenha o mesmo comportamento, está bem acima. Outros, como WASSERMAN; LINDLAND (1994), argumentam que as curvas de custos da qualidade são dinâmicas, deslocando continuamente o valor ótimo para a direita na medida que as exigências dos clientes aumentam (aumentando os custos da não-conformidade) e a melhoria contínua do processo diminui os custos da conformidade, conforme apresentado na figura 3.12.

O efeito da redução do custo da conformidade através de investimentos em melhoria contínua também é defendido por SLACK et al. (op. cit., p. 662): conhecendo-se e aperfeiçoando-se o processo e o produto, menor será o número de objetos de controle e as possíveis causas de desvios, com conseqüente redução do custo despendido no controle da qualidade.

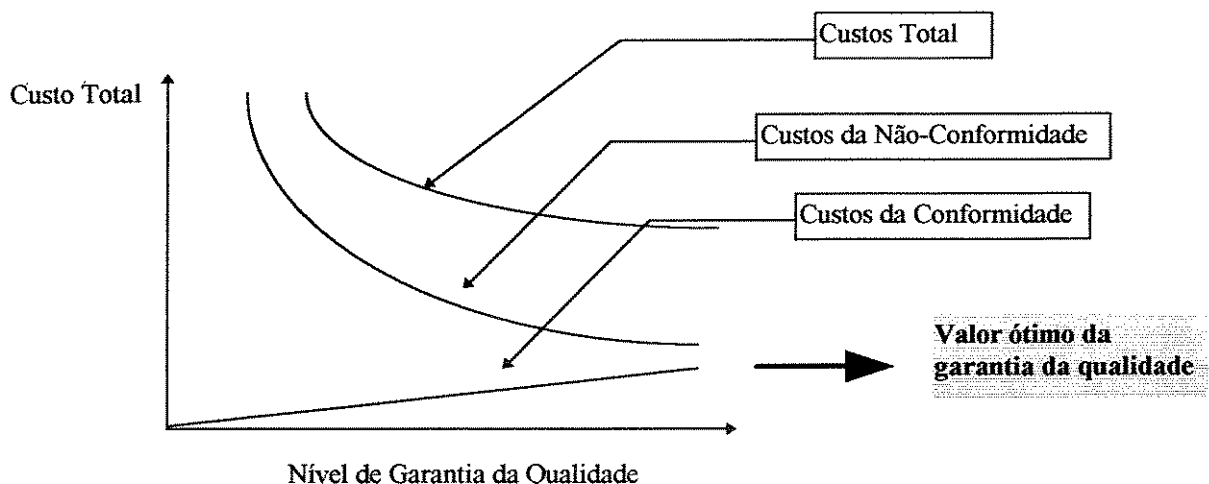


Figura 3.11 - Relação dos Custos da Qualidade - Visão Crítica (SLACK et al, 1997, p. 662).

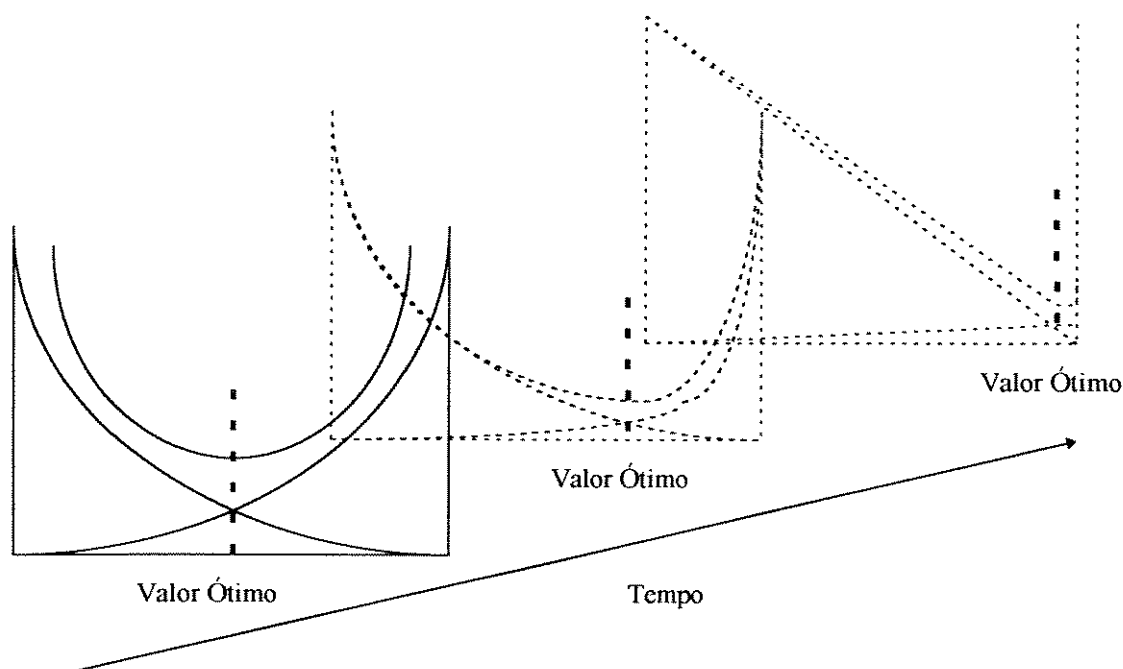


Figura 3.12 - Dinâmica Custos da Qualidade (WASSERMAN; LINDLAND, 1994).

Independentemente do enfoque que se coloque, o que se espera é a redução do custo total, conseguida tanto para o custo de conformidade e de não-conformidade quanto para os demais custos da empresa através da melhoria contínua da qualidade (ASKEY, DALE, 1994; SULLIVAN, 1986). A apresentação do conceito de custo da qualidade permite a visualização do impacto gerado pelo custo da conformidade no custo total de um sistema da qualidade, muitas vezes esquecido pelos gerentes das empresas no momento de ansiedade pela certificação. A atividade de concepção de um sistema da qualidade deve dar a devida importância ao custo da conformidade que se está gerando: o propósito não é a localização do valor ótimo (nem mesmo detectar a sua existência), mas como, onde e quando investir em atividades de conformidade de forma a maximizar os ganhos sobre os custos totais e permitir a melhoria contínua do sistema, conforme será discutido no item a seguir.

3.5 - Sistemas da Qualidade e Custos da Qualidade

A concepção de um sistema da qualidade não pode ficar somente restrita aos aspectos da tecnologia de controle, apresentados no item 3.3, ou aos aspectos do custo da qualidade, apresentado no item 3.4. Um sistema de controle tecnicamente correto pode não significar um sistema eficaz e eficiente do ponto de vista dos custos gerados, e vice-versa: o resultado obtido com a implantação de um sistema de controle pode ser ótimo, como a eliminação de

ocorrências de produto não-conforme, mas o custo gerado por esse controle pode ser proibitivo.

Muitos autores, conforme será discutido a seguir, acreditam que, mesmo que inicialmente esteja longe do ideal, um sistema de controle da qualidade bem concebido permitirá a melhoria da qualidade dos produtos e a redução dos custos inerentes a essa atividade de forma gradual e contínua.

O objetivo deste item é apresentar as principais idéias defendidas na literatura consultada de como as atividades de prevenção e avaliação de um sistema de controle da qualidade devem ser empregadas, considerando-se o seu impacto no denominado custo da qualidade e na atividade de melhoria contínua. Os aspectos discutidos podem ser agrupados em três tópicos gerais:

- Especificações.
- Abrangência do Sistema de Controle.
- Métodos de Ação de Controle.

3.5.1 - Especificações - Diretrizes

Como já discutido, a especificação do produto final é o primeiro passo na concepção de um sistema de controle, portanto, dela dependerá a sua eficiência e eficácia, medidas pela satisfação do cliente e pela redução dos custos produtivos ligados a qualidade.

Normalmente, como é colocado por DEMING (op. cit., p. 107), as especificações exigidas pelos clientes são muito mais rígidas do que a sua real necessidade, muitas vezes devido ao “fator de segurança” ou ao próprio desconhecimento do comportamento do produto no seu processo produtivo. Embora a princípio pareça conveniente para o cliente estabelecer uma rígida especificação, mesmo que não a precise, ela gera um custo adicional ao fornecedor, o qual terá que repassá-lo ao preço do produto (o próprio cliente pagará pelo excesso) ou diminuir sua margem de lucro (desviando recursos que poderiam ser melhor empregados). Como DEMING (op. cit., p. 107) coloca: “seria interessante perguntar a um cliente como ele chegou às suas especificações, e por que precisa das tolerâncias que especificou”.

Mesmo que a especificação seja adequada às necessidades do cliente, nem todas as características exigidas tem o mesmo nível de impacto e importância no seu processo produtivo. BRANCHE; RUMMLER (1988), ao dissertarem sobre os principais passos para o controle do processo de manufatura total, colocam a necessidade de identificar, dentre todas as características de especificação, as mais importantes para o cliente. A identificação das características de especificação mais importantes permitirá a sua devida priorização no sistema de controle da qualidade (estabelecendo-se estudos de melhorias, frequências de inspeção específicas e tipos de ações de controle, p. exemplo), centrando os esforços e os recursos disponíveis.

Outro aspecto importante em relação às especificações é a definição do valor alvo das características. Muitas especificações utilizadas pelas empresas são do tipo maior/ menor e/ou igual a determinado valor limite, não existindo um valor alvo definido. A importância do valor alvo pode ser verificada através da Função de Perda de Taguchi (figura 3.13). Segundo a ASQC (1996a), a Função de Perda de Taguchi enfatiza que quanto mais distante os valores das características estão do seu valor alvo, maior será o custo para o produtor e o cliente devido a complexidade da compensação de um desvio. A definição do valor alvo permite o melhor direcionamento das ações do sistema de controle, reduzindo a diferença observada entre o valor real obtido e a sua variabilidade, com a conseqüente redução dos custos da qualidade (diminuição da frequência de inspeção, do número de correções de desvios, p. ex.).

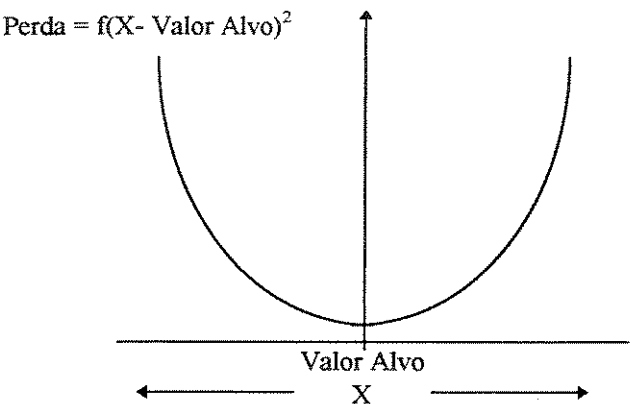


Figura 3.13 - Função de Perda de Taguchi (ASQC, 1996a)

3.5.2 - Abrangência do Sistema de Controle.

A abrangência ou o limite de contorno de um sistema de controle da qualidade é um dos pontos que mais impactam no custo da qualidade e na melhoria da qualidade. Conforme apresentado no item 3.3.3, um sistema de controle da qualidade deve no mínimo incluir o subsistema Produtor-Cliente, podendo incorporar os demais subsistemas subsequentes Produtor e Fornecedor-Produtor. Na verdade, todos os sistemas de controle acabam abrangendo os três subsistemas, de uma forma mais ou menos intensa.

Um sistema de controle com o limite de contorno no subsistema Produtor-Cliente é caracterizado pela intensiva inspeção do produto final e pelo reprocesso ou rejeição de produtos não-conformes. O controle é realizado a partir do resultado da inspeção do produto final (objeto de controle), determinando as atuações ou melhorias necessárias no processo produtivo ou na matéria-prima.

Um sistema de controle com o limite de contorno nos subsistemas Produtor-Cliente e Produtor tende a descaracterizar a importância da inspeção²⁰ e investir em controle interno ao processo produtivo, evitando a ocorrência de produtos não-conformes. Conhecendo-se os objetos de controle internos ao processo que impactam na qualidade do produto final, estabelece-se sistemas específicos de controle.

Um sistema de controle com o limite de contorno nos subsistemas Produtor-Cliente, Produtor e Fornecedor-Cliente tem como característica adicional ao anterior a inclusão da importância da qualidade da matéria-prima (ou do próprio fornecedor) no controle dos objetos de controle do processo produtivo e do produto final. Na prática significa eliminar uma possível causa de desvio (ou de não-conformidade) antes que ela seja sentida (cause uma perturbação) pelo processo produtivo.

²⁰ Não significa a completa extinção da inspeção do produto final que, conforme colocado por SCHILLING (1994) e MEHTA; SCHEFFLER (1996), sempre será necessária, muitas vezes utilizada para avaliar o próprio sistema de controle.

Embora os três limites de contorno possam permitir um sistema de controle da qualidade que elimine a ocorrência de produtos não-conformes do ponto de vista do cliente, os custos e a intensidade da melhoria da qualidade não são coincidentes.

W. E. Deming é um dos maiores críticos aos sistemas que são dependentes da inspeção em massa. Segundo DEMING (op. cit., p. 22), uma rotina de inspeção de 100% para aprimorar a qualidade equivale a planejar defeitos, reconhecendo que o processo não está capacitado a satisfazer às especificações; a inspeção feita com o sentido de melhorar a qualidade ocorre tarde demais, é ineficaz e dispendiosa, além de não ser uma ferramenta confiável para garantia da qualidade. Essa mesma opinião é compartilhada por ISHIKAWA (1993, p.78-80), o qual acrescenta: “ quando são encontrados defeitos, a única atitude que o fabricante pode tomar é fazer ajustes, reprocessar o produto ou jogá-lo fora; em qualquer dos casos, a produtividade sofre e o custo aumenta”.

É fácil verificar que um sistema de controle da qualidade baseado apenas em inspeção do produto final não diminui os custos relativos às falhas internas, pelo contrário, dependendo da forma que são colocados, incentivam que estas continuem ocorrendo.

Em contrapartida aos sistemas baseados em inspeção do produto final, DEMING (op. cit.) e ISHIKAWA (1993) propõem a melhoria contínua do sistema de produção (ou o sistema Produtor), incluindo inclusive a qualidade já na etapa de projeto. Esses mesmos dois autores enfatizam a necessidade da inclusão do cliente e do fornecedor no desenvolvimento de um processo de melhoria contínua.

Fica também evidente que um sistema de controle da qualidade que inclua o controle da qualidade matérias-primas deve reduzir os custos das falhas internas, evitando que o produto não-conforme provocado por uma má qualidade da matéria-prima seja detectado pela inspeção do produto final ou ainda pelo controle do sistema produtivo, quando um considerável investimento já foi realizado.

Não são poucos os trabalhos publicados, dentre estes MELAN (op. cit.); BOSER et al. (op. cit.), SCHOLTES et al. (1988) e a própria série ISO9000 (mais explicitamente ISO9004), que enfatizam a necessidade de estabelecer como limite de contorno o conjunto dos três

subsistemas, ou seja, o sistema Fornecedor-Produtor-Cliente, para que o custo de falha interna e externa seja minimizado.

Conforme colocado no item 3.4, se por lado o custo da falha interna e externa diminui ao se considerar o sistema Fornecedor-Produtor-Cliente, o custo em prevenção e análise aumenta na medida em que se estabelece diversos novos pontos de controle²¹. Apesar do provável aumento, o custo em atividades de prevenção e avaliação podem ser minimizados, ou ainda, melhor alocados se algumas diretrizes na concepção de sistemas de controle da qualidade fossem seguidas, permitindo inclusive a sua redução gradual na medida em que se conhece melhor o processo produtivo (os efeitos reais de cada ponto de controle) e se estabelece melhorias no sistema de controle (permitindo redução no número de objetos de controle, redução do número de detecções, dentre outras).

Um aspecto a ser considerado é que nem sempre o investimento em controle no sistema Produtor e Fornecedor faz-se necessário quando se tem uma visão sistêmica do conjunto. CAFFREY (1990) oferece um exemplo prático da importância da visão sistêmica na concepção de um sistema de controle, demonstrando que, no caso estudado, um eventual ajuste ou mesmo o controle de um determinado item de especificação de um produto teria um melhor resultado se fosse realizado pelo próprio cliente, visto os aspectos tecnológicos envolvidos.

Mesmo a não inspeção 100% do produto final é questionável quando se está no início da concepção de um sistema de controle. SCHILLING (1994), dissertando sobre a importância da amostragem na inspeção, coloca que quando o conhecimento sobre as causas de não-conformidade ou mesmo dos objetos de controles necessários é ainda insuficiente, pode ser apropriado a realização de inspeção 100% para garantir a conformidade do produto final. Essa alternativa é válida desde que seja realizada com o objetivo de, além de garantir a conformidade do produto, se conhecer o processo para implantação de controles internos e mais econômicos.

²¹ Alguns autores, como DEMING (1990), colocam que especificamente o custo de avaliação diminui com o devido controle do processo produtivo, ao invés de aumentar. Eles argumentam que o efetivo controle do processo produtivo diminui substancialmente o número de inspeções em produtos finais e intermediários.

Mesmo que no início o custo de avaliação e prevenção seja elevado (devido ao excesso de inspeção do produto final e de produtos intermediários, por exemplo), a própria atividade de controle permitirá a sua redução gradual à medida em que se conhece melhor o processo produtivo. Numa etapa inicial, o custo de prevenção e avaliação deve ser visto como investimento em conhecimento e não como custo adicional, utilizando-se como medida de avaliação a sua redução contínua no tempo. Um exemplo real deste fato é apresentado por WASSERMAN; LINDLAND (1994), conforme pode ser observado no quadro 3.11.

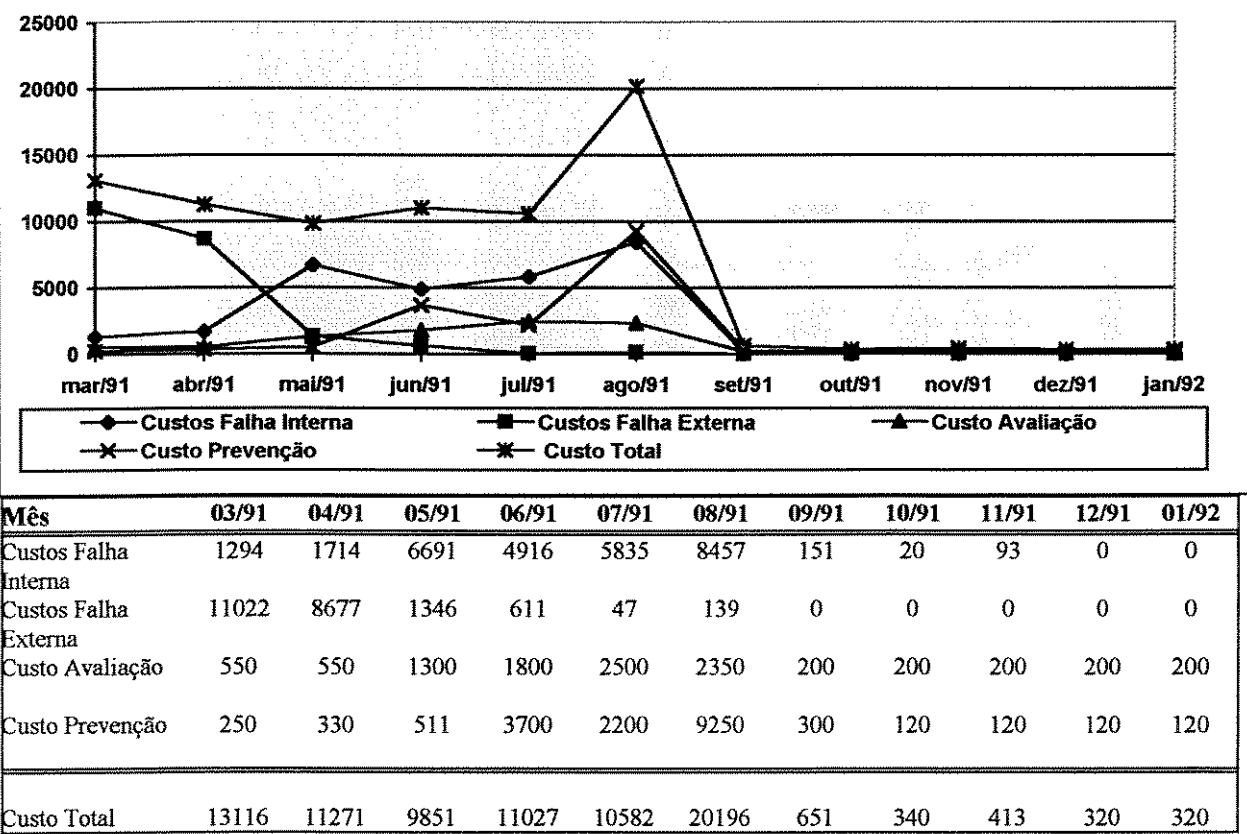
A falta de conhecimento do processo produtivo aliado à ansiedade de implantação de atividades de prevenção, exigidas pela ISO9000, e de redução do custo de avaliação pode criar controles desnecessários ou insuficientes, aumentando os custos de prevenção sem necessidade, e o pior, sem diminuir o custo das falhas internas e externas e sem garantir a conformidade do produto. Na prática o que acaba acontecendo é o retorno ao nível anterior de inspeção, para garantir a conformidade do produto, sem a eliminação das atividades de prevenção já implantadas e não efetivas, pois a certificação estaria em risco. Mais uma vez é colocado em evidência a importância de investimentos em conhecimento do processo produtivo antes de se estabelecer controles ao longo do processo (a não ser que também seja para esse fim).

O relacionamento entre fornecedores e clientes é um outro fator que impacta na qualidade do sistema de controle e nos custos inerentes a essa atividade. Além de permitir a detecção do que realmente é importante controlar, conforme discutido nos itens anteriores, um forte e duradouro relacionamento entre clientes e fornecedores permitirá a redução de atividades que não agregam valor, gerando custos adicionais para ambos os lados. RADDATZ; LONDE (1996) colocam alguns exemplos de atividades realizadas pelos clientes que geram custos adicionais e são causadas normalmente pelo fraco relacionamento com os fornecedores: inspeção de matérias-primas (p. ex. análises de laboratório, pessoal, tempo de espera para processamento), rejeição de matérias-primas e recebimento de matérias-primas já rejeitadas (custo de inspeção duplicada e riscos de perdas devido a utilização de matérias-primas não conformes). Conforme colocado apropriadamente por SCHOLTES; HACQUEBORD (1988), “proximidade significa mais do que visitas e entrevistas, significa conhecer em detalhe o trabalho que o cliente faz, como ele utiliza o produto e quais são os problemas que ele tem; preocupar-se não somente com os problemas resultantes diretamente de defeitos nos produtos,

mas também com os problemas relatados pela experiência do cliente, mesmo que o produto esteja funcionando apropriadamente”.

Concluindo, um sistema de controle da qualidade deve ter como visão a cadeia Fornecedor-Produtor-Cliente, deve incentivar a visão sistêmica. A dependência na inspeção do produto final é válida desde que seja para permitir a garantia da qualidade durante a fase inicial de implantação de um sistema de controle. Todas as ações devem ser direcionadas ao melhor controle do processo produtivo de forma a minimizar os custos de avaliação e prevenção ao longo do tempo, além dos custos de falha interna e externa. A melhoria do controle do processo produtivo está intimamente ligada a atividades de aprofundar o conhecimento do processo produtivo e de se estabelecer um forte relacionamento (ou parceria) com clientes e fornecedores.

Quadro 3.2 - Acompanhamento dos custos da qualidade (WASSERMAN; LINDLAND, 1994).
WASSERMAN; LINDLAND (1994) apresentam um caso real de implantação de um sistema de controle da qualidade em um fornecedor de plásticos para a indústria automotiva. Como forma de verificação do esforço realizado para redução do custo da qualidade, eles acompanharam a evolução mensal das diversas categorias, conforme apresentado na figura abaixo.



continuação quadro 3.2

Março e abril representam o período antecedente ao início da implantação de um sistema de controle. O foco inicial em maio foi aumentar os esforços de avaliação utilizando-se pessoal e equipamentos extras. O maior investimento em atividades de avaliação foi acompanhado por uma significativa queda dos custos de falha externa (abril a julho) e um significativo aumento dos custos de falha interna (aumento da identificação de itens defeituosos, gerando retrabalho, desperdício, etc...). Em junho e julho, uma equipe para resolução do problema foi formada e diversas despesas em treinamento, salários, estudos, atividades de prevenção, dentro outras, foram realizadas, aumentando o custo de prevenção. Em agosto, a causa raiz do problema foi identificada e eliminada, levando a zero o custo de falha interna e externa e mantendo-o neste patamar até o final do estudo, ou seja, até janeiro/92. Durante este período, os custos de prevenção e avaliação retornaram aos patamares originais, sendo que o custo da qualidade remanescente ficou associado com o monitoramento do processo e manutenção preventiva de equipamentos.

3.5.6 - Métodos de Ação de Controle.

Relembrando das definições colocadas no item 3.3.4: “A ação de prevenção e correção é utilizada quando a causa do desvio foi identificada e, desta forma, passível de eliminação. A ação de prevenção é caracterizada pela antecipação ao evento do desvio e a ação de correção é caracterizada pela eliminação do evento do desvio já ocorrido. A ação de compensação é utilizada quando não há conhecimento da causa do desvio, ajustando o processo de forma compensatória”

Embora os três tipos de ação de controle possam ser eficazes e eficientes do ponto de vista de um sistema de controle, diminuindo ou eliminando o efeito de uma perturbação no objeto de controle, os custos da qualidade a estes associados diferem entre si.

As ações de prevenção eliminam a possibilidade de uma nova ocorrência do desvio, eliminando a causa de origem preventivamente. O resultado é a não ocorrência de produto não-conforme e, conseqüentemente, a minimização do custo de falha interna e externa e do custo de avaliação (elimina a necessidade de avaliação da qualidade do produto).

As ações corretivas também agem da mesma forma que as preventivas, com uma ressalva: esperam o desvio ocorrer para atuar. Neste caso, o custo de falha interna e externa e o custo de avaliação são relativamente maiores, já que é o resultado da avaliação que detectará

o desvio que provocou um produto não-conforme. Em muitos casos, a ação corretiva é utilizada até que seja estabelecida uma ação preventiva que elimine a possibilidade de uma nova ocorrência

As ações compensativas são as mais custosas, em relação ao custo da qualidade. Além de continuar a exigir atividades de avaliação, inserem mais uma variável (ou mais) ao sistema de controle, dificultando a redução da variabilidade do objeto de controle (as vezes aumenta) e permitindo a ocorrência de produto não-conforme. Portanto deve ser adotada somente em último caso: quando a ação preventiva ou de correção exige investimentos consideráveis ou quando não se conhece as causas do desvio observado.

3.6 - Sistemas da Qualidade em Indústrias Químicas

Conforme é comentado por SCHODERBEK et al. (op. cit.), um sistema de controle da qualidade pode ser considerado como sistemas probabilísticos simples e não complexos. O uso de técnicas estatísticas simples podem ser utilizadas para controlar o sistema produtivo.

Quando se define o controle da qualidade como uma atividade que, além de controlar o comportamento de um determinado objeto, é obrigada, conforme discutido nos itens anteriores, a interagir com diversos fatores externos ao sistema, tais como, fornecedores, clientes e competidores, não se pode considerá-la como um sistema probabilísticos simples e não complexo, pelo contrário.

Mesmo se o conceito de controle da qualidade ficasse restrito aos aspectos tecnológicos de controle, a afirmação colocada por SCHODERBEK não pode ser generalizada. As indústrias de processo em contínuo, ou especificamente, as indústrias químicas possuem algumas particularidades que as tornam sistemas extremamente complexos, de difícil previsibilidade de seu comportamento. Os sistemas de processo em contínuo, caracterizados pela existência de fluxos não intermitentes ou parcialmente intermitentes (produção por batelada), possuem alguns aspectos técnicos que agregam ainda mais complexidade ao sistema.

Segundo WOOD (1993), um sistema de produção em contínuo possui uma dinâmica marcada por pulsos (eventos esporádicos e com tempo limitado, mas com efeito prolongado),

ciclos (eventos com frequência determinada) e inércias. Essa dinâmica ocorre devido principalmente ao grande número de ciclos e retroalimentações (características marcantes de processos em contínuo), criando uma dependência muito grande entre os elementos. Além do alto grau de dependência entre os elementos, o sistema é impactado fortemente pelas variáveis externas, como por exemplo temperatura e pressão ambiente.

Complementando as dificuldades encontradas em sistemas de produção em contínuo, a ASQC (1987) acrescenta:

- As matérias-primas são geralmente materiais naturais e, portanto, dependem das forças da natureza. Essa particularidade obriga a ajustes de compensação (ação de compensação) no processo para manter um consistente nível de qualidade do produto final.
- A tecnologia de amostragem de produtos químicos são complexas devido às considerações químicas e a variedade de unidades de produtos, indo de alguns gramas à milhares de toneladas.
- Um processo químico ocorre em nível molecular e os desvios de seu comportamento são geralmente percebidos por informações secundárias.
- A medição por si só já é um processo complexo, o qual deve ser cuidadosamente padronizado e controlado.
- Controles automáticos de processo são altamente desenvolvidos com retroalimentações de informações computadorizadas.
- Uma vez produzido, as propriedades dos produtos geralmente mudam com o tempo, assim como com as mudanças nas condições ambientais.
- Pode não existir uma relação direta entre as propriedades medidas e o seu desempenho durante o uso.
- Produtos não-conforme são raramente detectados pelo produtor, mas a não uniformidade entre lotes de produto é geralmente percebida pelo cliente.
- O impacto do processo e do produto na segurança e no meio ambiente é importante e não pode ser esquecido.
- Muitos dos parâmetros químicos apresentam comportamento não normal (não pode ser utilizado a distribuição normal da população) e muitas amostras apresentam

dependência das anteriores. A utilização de cartas de controle, apesar de ser muito indicada, deve ser vista com cuidado, suplementando e complementando o controle automático do processo (não o eliminando).

CAPÍTULO 4 - SISTEMÓGRAFO DE UMA UNIDADE INDUSTRIAL

Como exemplo de aplicação dos sistemógrafos na análise de sistemas produtivos foi escolhido o sistema da qualidade da unidade industrial de produção de Ácido Adípico pertencente a um importante grupo industrial do ramo químico.

A escolha da unidade Ácido Adípico e de seu sistema de qualidade foi definida devido a esta já possuir um sistema implantado e considerado maduro (reconhecido tanto interna quanto externamente): o sistema de produção de Ácido Adípico é certificado pelo órgão BVQI (Bureau Veritas Quality International) quanto a sua conformidade à norma ISO9002 de sistemas de qualidade desde 1993. Essa maturidade permite uma melhor análise crítica do sistema da qualidade, pois disponibiliza a experiência adquirida durante esses três anos de certificação.

A descrição do sistema da qualidade será baseada nas informações contidas na documentação formal exigida pela ISO9002. O foco da análise será o sistema estabelecido para o controle da qualidade do produto. O limite de contorno (fronteira) definido é o mesmo estabelecido pelo sistema da qualidade da unidade Ácido Adípico, ou seja, os fornecedores das matérias-primas que de alguma forma interferem ou podem interferir na qualidade do produto final, o processo produtivo de Ácido Adípico e clientes do produto final, conforme é indicado na figura 4.1.

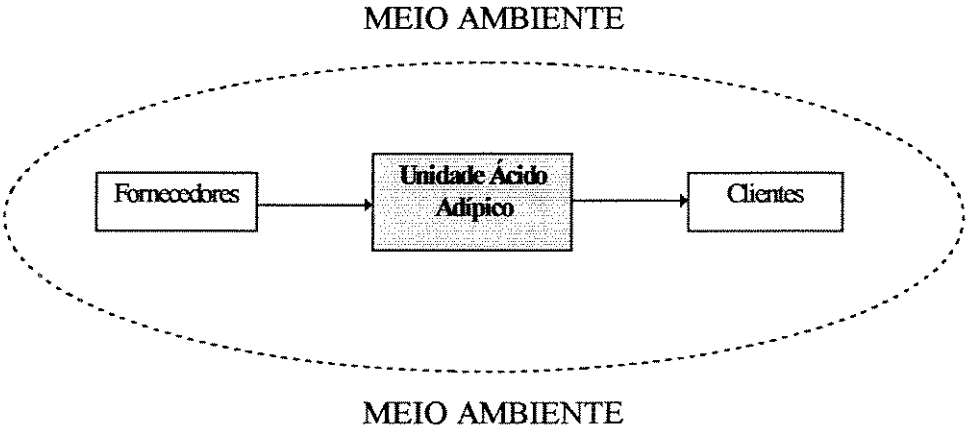


Figura 4.1-Limites de Contorno Análise do Sistema da Qualidade da Unidade Ácido Adípico.

Mesmo sendo o objeto de estudo a unidade Ácido Adípico, esses limites, incluindo os fornecedores e clientes, foram estabelecidos de forma a permitir o estudo das suas interconexões, ou seja, de que maneira são tratadas as informações disponibilizadas e as decisões tomadas, permitindo uma visão sistêmica de todo conjunto diretamente ligado ao sistema da qualidade estudado.

4.1-Descrição Geral da Unidade Ácido Adípico

A unidade industrial de Ácido Adípico é integrante da Cadeia Nylon da referida empresa, responsável pela produção do Nylon 6.6, produto largamente utilizado, por exemplo, na confecção de fios e fibras, resinas e plásticos de engenharia. Como a maioria dos fabricantes de Nylon 6.6, essa empresa produz as principais matérias-primas da cadeia produtiva, com o objetivo de torná-la mais competitiva, como pode ser observado na figura 4.2.

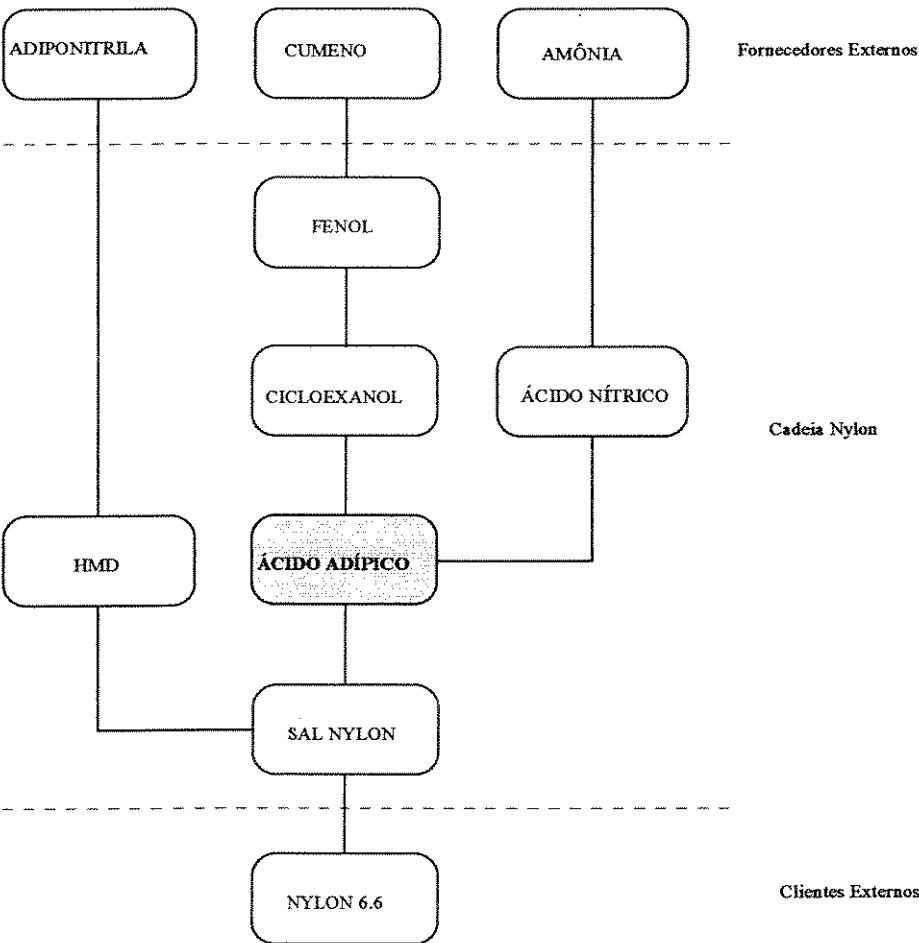


Figura 4.2 - Cadeia Nylon

A cadeia Nylon desta empresa parte das matérias-primas adiponitrila, cumeno e amônia fornecidas pelos fornecedores externos. Na própria empresa são produzidos o fenol, o cicloexanol, a HMD (Hexametilenodiamina), o ácido nítrico, o Ácido Adípico e o sal nylon. Nos clientes externos é produzido o Nylon 6.6.

Focalizando a unidade Ácido Adípico, as matérias-primas principais são o ácido nítrico e o cicloexanol (a oxidação do cicloexanol pelo ácido nítrico formando Ácido Adípico), tendo como produtos o Ácido Adípico Purificado (Ácido Adípico em suspensão aquosa para produção de Sal Nylon, cliente interno) e o Ácido Adípico seco (destinado a clientes externos).

Em termos de mercado consumidor, além da sua utilização na cadeia Nylon, representando 60% do volume de produção, o Ácido Adípico produzido atende o mercado de Poliuretanas e Poliéster (conhecidos como mercado Não-Nylon), com 20%. O volume restante, 20%, é destinado a cadeia Nylon de uma outra empresa.

4.1.1 - Descrição Resumida do Processo Industrial da Unidade Ácido Adípico.

O processo/ tecnologia de produção de Ácido Adípico adotado é a partir da oxidação do cicloexanol, tendo como agente oxidante o ácido nítrico e como catalisadores da reação os metais cobre e vanádio. A reação produz, além de Ácido Adípico, subprodutos tais como ácido glutárico e ácido succínico, conhecidos como diácidos inferiores, e N_2O , N_2 , CO e CO_2 , liberando vapores nitrosos (NO_2 , NO). O Ácido Adípico é separado do banho reacional (conhecido como ácidos mães), contendo catalisadores, ácido nítrico e subprodutos da reação (principalmente diácidos inferiores), através da sua cristalização e posterior filtração. Esse Ácido Adípico, conhecido como Ácido Adípico Técnico, passa por diversas etapas de purificação para produzir o Ácido Adípico em suspensão, conhecido como Ácido Adípico Purificado. O Ácido Adípico Purificado pode ser enviado à produção de Sal Nylon (consumo interno - Cliente Sal Nylon) ou à produção de Ácido Adípico Seco (vendas externas). Os ácidos mães retornam ao início do processo após uma etapa de concentração, retirando-se o excesso de água provocado pelo consumo do ácido nítrico. Os subprodutos, diácidos inferiores, são retirados do processo através do desvio de parte dos ácidos mães do processo (conhecida como purga de diácidos). A purga de diácidos passa por diversas etapas de recuperação de componentes do banho reacional antes de ser descartada, recuperando-se o

Ácido Adípico não cristalizado, o cobre, o vanádio e o ácido nítrico. Os vapores nitrosos são recuperados através da oxidação dos NO em NO₂ e a absorção do NO₂ em água formando ácido nítrico que retorna ao processo. Os gases de N₂O, N₂, CO e CO₂, não recuperáveis, são eliminados juntamente com os vapores nitrosos não recuperados.

4.2-Localização do Sistema Estudado e Objetivos Desejados

Utilizando-se da denominação dada por BLANCHARD; FABRYCKY (op. cit.), pode-se definir um sistema como, *um conjunto de componentes formando um todo complexo ou unitário, sendo que estes componentes podem ser quebrados em componentes menores ou em subsistemas interrelacionados*. Desta forma, o sistema da qualidade é um subsistema ou componente do sistema maior denominado sistema Ácido Adípico, que por sua vez é um subsistema do sistema Empresa Setor Químico.

O sistema da qualidade da unidade Ácido Adípico também pode ser “quebrado” em subsistemas menores ou componentes, tais como, subsistema de documentação, subsistema do processo produtivo, subsistema de apoio (geração de resultados de análises químicas, manutenção, apoio técnico, etc...), conforme indicado na figura 4.3

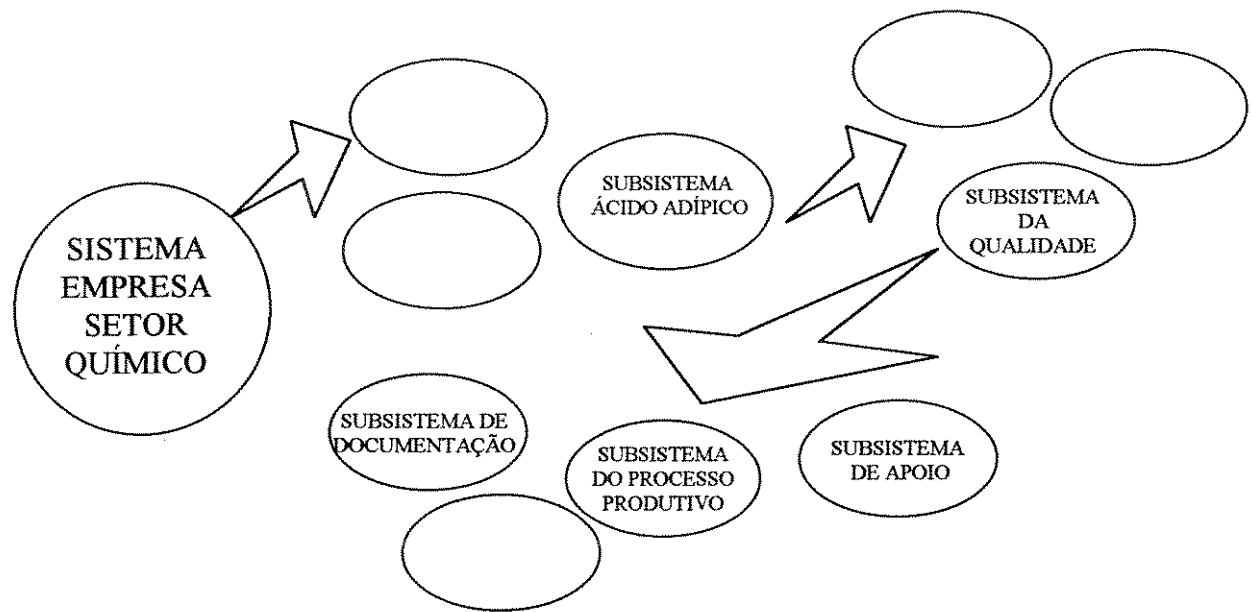


Figura 4.3 - Localização do Subsistema do Processo Produtivo.

O subsistema do processo produtivo foi definido neste trabalho como tendo o objetivo de gerenciamento de quatro parâmetros de medida de desempenho na atividade industrial:

- Parâmetro de Qualidade do Produto (gerenciamento da qualidade).
- Parâmetro de Produtividade da Unidade Industrial (gerenciamento da taxa de disponibilidade²², da capacidade de produção e dos recursos materiais e humanos)
- Parâmetro de Segurança Pessoal e da Unidade Industrial (gerenciamento da integridade física dos recursos humanos e materiais)
- Parâmetro de Higiene Industrial (gerenciamento do ambiente de trabalho e das consequências da atividade industrial ao meio-ambiente).

Portanto, o subsistema do processo produtivo pode ser apresentado como o conjunto de quatro componentes ou subsistemas interrelacionados, conforme é apresentado na figura 4.4.

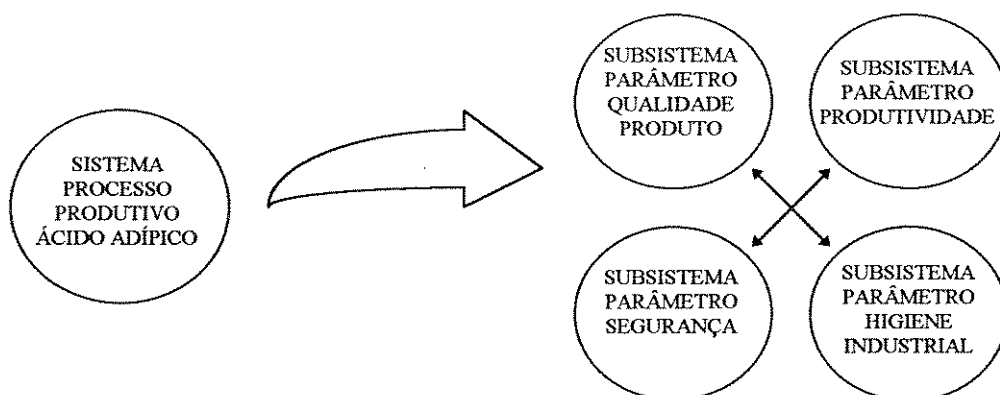


Figura 4.4 - Subsistemas do Sistema Processo Produtivo

Uma análise na documentação do sistema da qualidade ISO9002 da unidade Ácido Adípico permite a identificação de diversas atividades de gerenciamento do processo produtivo que incluem os quatro parâmetros de desempenho. O foco deste estudo de aplicação de sistemógrafos será o parâmetro de desempenho de qualidade do produto, que por simplificação será denominado sistema da qualidade do Adípico. Esse sistema tem o objetivo de garantir a qualidade padronizada do produto final através de ações e decisões padronizadas de correção de desvios do processo produtivo, incluindo-se matérias-primas e produtos intermediários, baseadas em informações também padronizadas. Portanto, para a análise do sistema da

²²Taxa de disponibilidade é definida como a disponibilidade da unidade industrial em operar na capacidade máxima de produção. Necessidade de manutenção (prevista ou imprevista) e problemas de processo (previstos ou imprevistos) diminuem a taxa de disponibilidade da unidade industrial.

qualidade do Adípico foram selecionadas somente as informações disponíveis na documentação existente pertinentes ao controle da qualidade do produto.

O controle da qualidade do Ácido Adípico, de uma forma geral, é feito através da realização de três atividades²³:

- Controle do processo produtivo.
- Inspeção da qualidade das matérias-primas.
- Inspeção da qualidade do produto final.

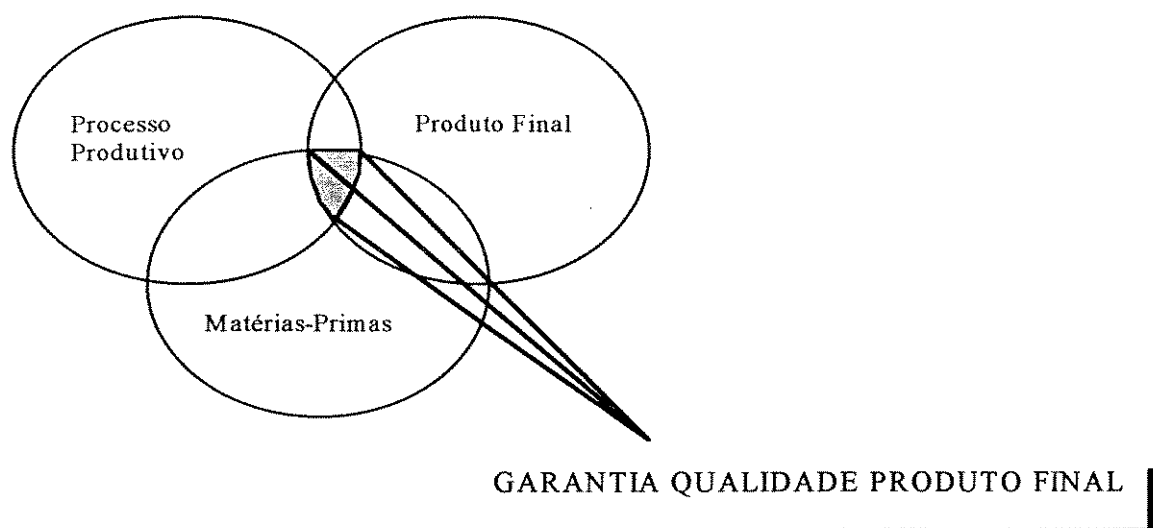


Figura 4.5- Pilares da Garantia da Qualidade do Produto.

Portanto, utilizando-se da Trilogia de Juran (JURAN, 1986, 1992) para a organização do trabalho apresentado, tem-se : a atividade *planejamento*, desenvolvimento de produtos e processos exigidos para a satisfação das necessidades dos clientes, não será discutida ou abordada neste trabalho, pois parte-se do princípio que atualmente já é atendida; a atividade *controle*, condução das operações de forma a atingir as metas propostas pela atividade planejamento, que será o foco principal deste estudo, apresentada nos itens 4.4, 4.5 e 4.6; a atividade *melhoria*, elevação do desempenho do sistema, que será abordada através da

²³ Dentro destas atividades estão inseridas as manutenções e aferições preventivas de equipamentos e instrumentos, atividades não consideradas neste trabalho.

apresentação de uma proposta de modificação do sistema da qualidade do Adípico, apresentada no item 4.7.

Resumindo, o sistemógrafo será utilizado para visualização das ações, das decisões e das informações do sistema da qualidade do Adípico no processo produtivo, de forma facilitar a sua análise crítica. A análise crítica terá por objetivo identificar:

- as operações, as informações e as decisões pertinentes ao sistema da qualidade (atividades de prevenção e avaliação - custo da conformidade) e se estas são necessárias e suficientes para a condução eficaz e eficiente da atividade de controle da qualidade do produto final, bem como as possíveis ambigüidades, incoerências e redundâncias que contribuam para reduzir a eficiência ou mesmo impedir a eficácia, baseando-se nos conceitos defendidos de controle da qualidade e custos da qualidade apresentados no capítulo 3.

e propor:

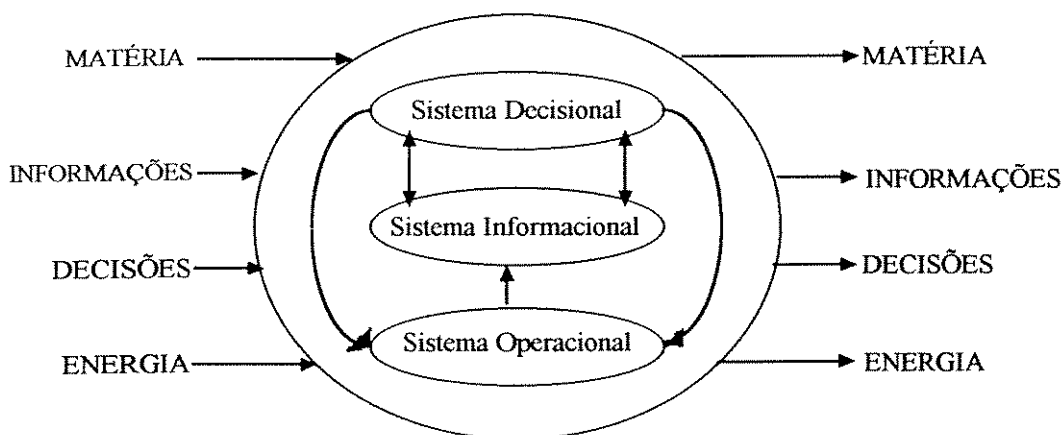
- um novo sistema da qualidade do Adípico baseado na análise crítica do sistema atual.

4.3 - Considerações na Construção dos Sistemógrafos/ Análise do Sistema da Qualidade do Adípico.

O tema “aplicação de sistemógrafos ou da sistemografia para análise de sistemas industriais” não foi encontrado na literatura consultada. Apesar das regras básicas apresentadas no capítulo 2, existem várias formas de abordar o assunto e, certamente, a mais correta será aquela que satisfizer as necessidades do “modelador”. As considerações aqui apresentadas tem por objetivo definir as “regras” utilizadas neste trabalho para a construção dos sistemógrafos e a forma utilizada para realizar a análise do sistema da qualidade do Ácido Adípico.

Definindo o Sistema do Processo Produtivo de Ácido Adípico a luz da Teoria Geral de Sistemas, tem-se um grande processador de matéria, energia, informações e decisões (vide quadro 4.1). Um processador do tipo forma, espaço e tempo do 9º nível - objeto auto-finalizante, contendo um sistema decisional e informacional, além do sistema operacional.

Quadro 4.1- Processador/ Produtor de Matéria, Energia, Informações e Decisões



Na visão sistêmica, a unidade Ácido Adípico é um processador de tempo (possui estocagens intermediárias e de produto final, armazena informações, etc.), de espaço (possui transporte de produto, comandos de decisão e comunicação) e de forma (processa produtos, informações e decisões) do 9º nível, um objeto auto-finalizante. Um objeto ativo, consumidor, processador e produtor de matéria, energia, informações e decisões, capaz de registrar informações, armazená-las e colocá-las a disposição, de elaborar suas próprias decisões de comportamento e inclusive de decidir sobre sua decisão (daí vem o termo auto-finalizante). A unidade Ácido Adípico é um sistema complexo, composto de homens, máquinas, informações e comandos, onde coexistem e interagem um sistema operacional (produção), um sistema informacional (memória) e um sistema decisional (decisão). A interação dos 3 sistemas é que permite a obtenção do produto desejado: Ácido Adípico com qualidade, alta produtividade, segurança e respeito ao meio-ambiente.”

O sistema operacional é responsável pelo processamento de matéria e energia e obtenção de informações que alimentarão o sistema informacional, que por sua vez alimentará o sistema decisional. Com base nas informações disponíveis, o sistema decisional interfere no sistema operacional, via informações de comando, para o planejamento, o controle e a melhoria dos quatro parâmetros de medida de desempenho citados no item 4.2 (qualidade do produto, produtividade da unidade industrial, segurança pessoal e da unidade industrial e higiene industrial), conforme apresentado na figura 4.6.

É evidente que esta subdivisão dos sistemas informacional e decisional em subsistemas de controle, implantação e melhoria dos parâmetro de desempenho não é tão clara e simples como apresentado, pois as informações muitas vezes são comuns e as decisões são opostas (muitas vezes uma decisão de manutenção da segurança da unidade afeta a produtividade ou qualidade do produto), exigindo um nível superior ou externo de decisão. De qualquer forma essa subdivisão é válida quando se deseja estudar separadamente cada parâmetro de controle, sem se preocupar com as sobreposições das subdivisões.

Como já citado anteriormente, o foco deste estudo é a análise do sistema do processo produtivo para o parâmetro de desempenho de qualidade do produto final na atividade *controle*²⁴ através da utilização de sistemógrafos, portanto apenas de um dos quatro parâmetros de desempenho.

A forma escolhida para realizar a análise do sistema da qualidade do Adípico Final foi através da construção de dois sistemógrafos básicos:

- O Sistemógrafo do Sistema do Processo Produtivo.
- O Sistemógrafo do Sistema da Qualidade do Adípico.

²⁴ Os outros três parâmetros de desempenho, Produtividade, Segurança e Higiene Industrial não fazem parte do escopo inicialmente definido para a dissertação da tese.

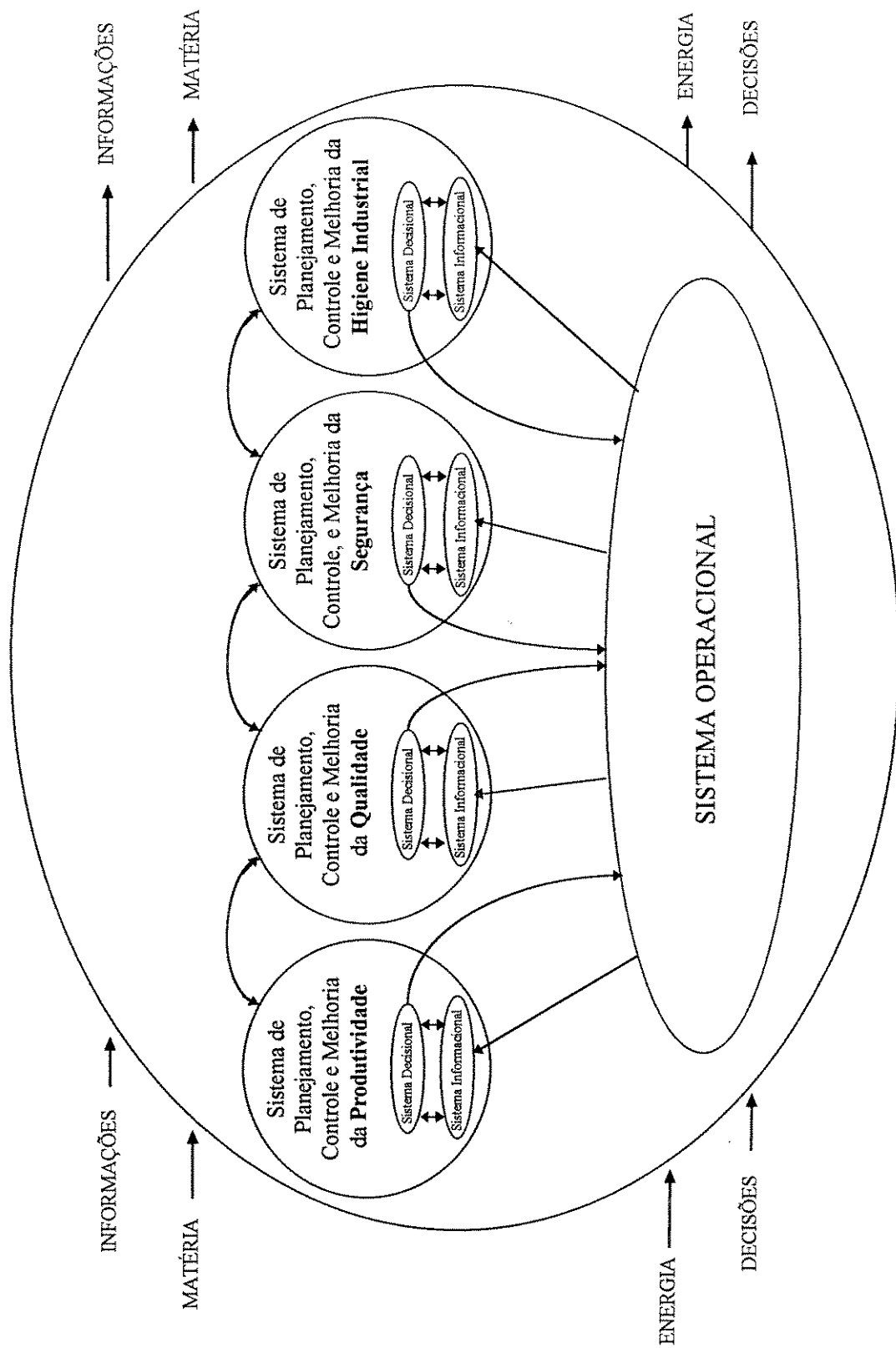


Figura 4.6 - Processador de Ácido Adípico - Sistema do Processo Produtivo.

O sistemógrafo do sistema do processo produtivo apresenta os processadores “menores”(conceito de abrir a caixa-preta) do processador de Ácido Adípico. Esses processadores têm a mesma estrutura do processador de Ácido Adípico apresentada na figura 4.6; eles possuem sistemas operacional, informacional e decisional, sendo que os sistemas informacional e decisional podem ser subdivididos (quebrados) nos sistemas de planejamento, controle e melhoria dos parâmetros de medida de desempenho²⁵. O objetivo deste sistemógrafo é apresentar de forma superficial ou detalhada, conforme necessidade imposta para compreensão do sistemógrafo do sistema da qualidade do Adípico, o processo de produção de Ácido Adípico. As interconexões entre os processadores apresentadas serão somente do tipo matéria/ energia. Essa simplificação foi definida para facilitar a visualização do sistema produtivo, visto o elevado número de interconexões do tipo “informações e decisões” e a complexidade do sistema como um todo.

O sistemógrafo do sistema da qualidade do Adípico é apresentado através da sobreposição dos sistemógrafos do sistema operacional do processo produtivo e do sistemas informacional e decisional do sistema da qualidade do Adípico com foco no controle da qualidade do produto, apresentados separadamente.

Portanto, a metodologia adotada neste trabalho para a construção dos sistemógrafos parte do princípio que o processador de Ácido Adípico (ou o sistema do processo produtivo de Ácido Adípico) é composto por diversos processadores “menores”(que também pode ser subdivididos no nível de detalhamento desejado ou exigido) que formam o seu sistema operacional, informacional e decisional, sendo que estes podem ser apresentados separadamente. Essa estrutura permite ao mesmo tempo a análise dos três sistemas (operacional, informacional e decisional) de forma separada e conjunta (obtida através da sua sobreposição)²⁶.

Por definição, só será dado nível aos processadores no sistemógrafo do sistema produtivo e no sistemógrafo do sistema da qualidade do Adípico (sobreposição dos três

²⁵ O sistema operacional também poderia ser quebrado nos quatro parâmetros de desempenho, mas como o processo operacional de produção é comum para todos, diferenciando-se basicamente no tipo de informação necessária, essa necessidade não foi detectada.

sistemógrafos). Não se pode considerar o nível de um processador puramente decisional ou informacional, será necessário analisá-los juntamente com o operacional (por mais insignificante que seja, todo processador possui um sistema operacional). Podem ocorrer casos onde o nível do mesmo processador no sistemógrafo do sistema produtivo seja diferente no sistemógrafo do sistema da qualidade do Adípico. Isso ocorre devido ao nível ser definido, no segundo caso, somente com foco no controle da qualidade do produto, desconsiderando-se todos os outros controles dos parâmetros de desempenho existentes. Outro aspecto que poderá ser observado é que o nível de um processador muitas vezes é maior que o observado nos sub-processadores que o compõe. A ação de dividir o processador em processadores menores pode provocar, dependendo da forma utilizada, a perda de informação para a definição do nível, pois alguns aspectos de gerenciamento são gerais e não encontrados separadamente nos sub-processadores²⁷.

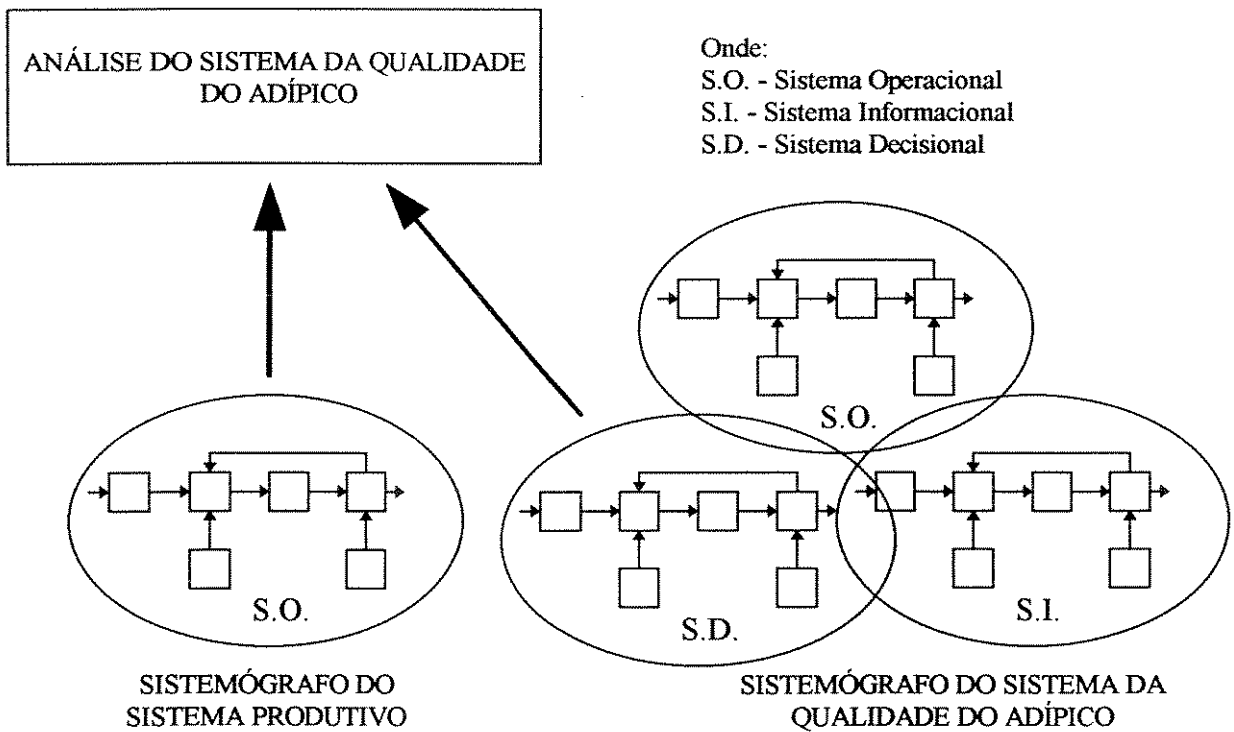


Figura 4.7 - Metodologia de Análise do Sistema da Qualidade do Adípico.

²⁶ Apesar da separação proposta, os sistemas informacional e decisional não existem individualmente. Não existe sentido considerar um sistema decisional ou informacional sem que haja um sistema operacional, pois esses são complementos dos processadores (dependendo do nível).

²⁷ Caso haja a necessidade, essa perda de informação pode ser minimizada ou até eliminada através da criação de um processador que abordasse todos os aspectos gerais de gerenciamento.

4.4 - Sistemógrafo do Sistema do Processo Produtivo

Os limites de contorno (fronteiras) estabelecidos por este estudo incluem os fornecedores, os clientes finais e a unidade Ácido Adípico. Portanto, o sistema estudado, de uma forma global, foi definido como composto por cinco grandes processadores: o processador denominado Fornecedor Interno, o processador denominado Fornecedor Externo, o processador denominado Cliente Interno, o processador denominado Cliente Externo e o processador denominado Ácido Adípico. O sistemógrafo geral do sistema produtivo é apresentado na figura 4.8.

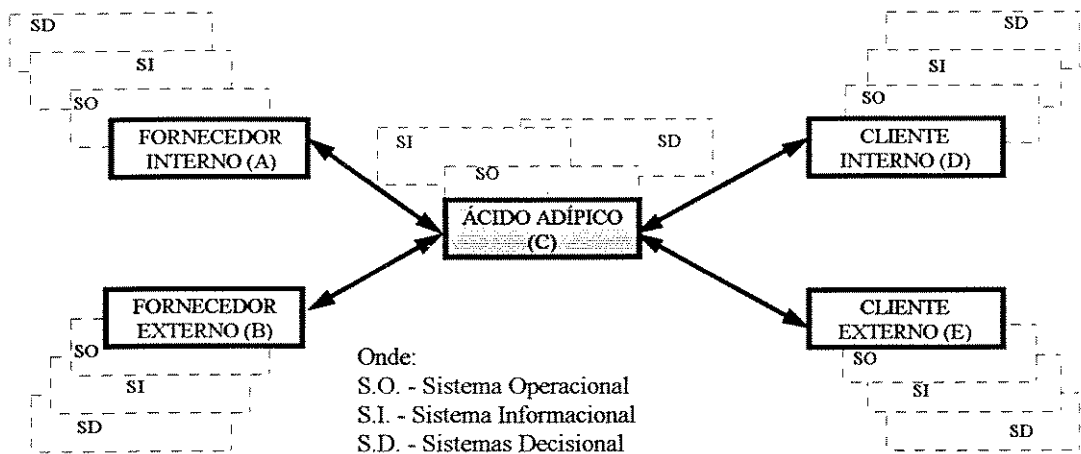


Figura 4.8 - Sistemógrafo Geral do Sistema Produtivo

Descrevendo os processadores:

Processador Fornecedor Interno (A): processador do tipo Forma, Espaço e Tempo de 9º nível. O processador tem um sistema operacional produzindo as matérias-primas necessárias para o processador ADOH: cicloexanol, ácido nítrico, água bidesmineralizada e demais utilidades (vapor, energia elétrica, ar de serviço e ar de instrumentação). O processador possui sistema informacional e sistema decisional.

Processador Fornecedor Externo (B): processador do tipo Forma, Espaço e Tempo de 9º nível. O processador tem um sistema operacional produzindo as matérias-primas necessárias para o processador ADOH: catalisadores (cobre e vanádio), carvão ativo, rhodorsil (anti-espumante), filtros de papel e demais suprimentos (materiais de manutenção). O processador possui sistema informacional e sistema decisional.

Processador Cliente Interno (D): processador do tipo Forma, Espaço e Tempo de 9º nível. O processador tem um sistema operacional para produzir sal Nylon a partir das matérias-primas Ácido Adípico Purificado (ou suspensão), fornecida pelo processador ADOH, e HMD (Hexametilenodiamina). O processador possui sistema informacional e sistema decisional.

Processador Cliente Externo (E): processador do tipo Forma, Espaço e Tempo de 9º nível. O processador tem um sistema operacional para produzir produtos a partir da matéria-prima Ácido Adípico seco, fornecida pelo processador ADOH. O processador possui sistema informacional e sistema decisional.

Processador ADOH (C): processador do tipo Forma, Espaço e Tempo de 9º nível. O processador tem um sistema operacional para produzir Ácido Adípico Purificado e Ácido Adípico seco a partir das matérias-primas principais cicloexanol e ácido nítrico e de insumos (catalisadores, carvão ativo, rhodorsil, filtros de papel, água bidesmineralizada, etc...). O processador possui sistema informacional e sistema decisional. O sistema informacional é responsável pela coleta, armazenamento e análise de informações geradas pelo sistema operacional, disponibilizando-as ao sistema decisional, o qual é responsável pelas informações tipicamente de comando para controle do processo produtivo (controle dos quatro parâmetros de desempenho).

Para que se possa compreender o sistema da qualidade da unidade Ácido Adípico é preciso conhecer melhor o seu sistema produtivo, abrindo o processador Ácido Adípico (C) em processadores menores. Partindo-se do sistemógrafo apresentado na figura 4.8, o anexo A apresenta o processador Ácido Adípico (C) mais detalhado, considerando-se os seus principais processadores, ou seja, os principais conjuntos de equipamentos/ operações unitárias. Os processadores Fornecedor Interno (A) e Fornecedor Externo (B) contemplam somente os processadores das principais matérias-primas do processador Ácido Adípico (C) que fazem parte do seu sistema da qualidade. Neste mesmo anexo, poderão ser encontrados os sistemógrafos dos subprocessadores do processador Ácido Adípico (C) denominados C4-Lavagem I, C5-Tratamento a Carvão e C7-Lavagem II, apresentados em detalhe devido a sua importância dentro do sistema da qualidade da unidade Ácido Adípico.

4.5 - Sistemógrafo do Sistema da Qualidade do Adípico Atual

Da mesma forma que para o sistema do processo produtivo, o sistema da qualidade do Adípico será apresentado através da utilização de sistemógrafos. Para melhor defini-lo e facilitar a sua análise, o sistema da qualidade do Adípico será representado pelos sistemógrafos dos sistemas operacional, informacional e decisional do sistema do processo produtivo, separadamente, com foco na qualidade do produto (vide anexo B). A superposição dos três sistemógrafos permite a visualização do sistema da qualidade como um todo, indicando o fluxo (conexões entre os processadores) de matéria/ energia, de informações e de decisões (informações de comando) relativo ao controle da qualidade do produto.

O sistemógrafo do sistema operacional apresentado na figura B1 do anexo B é uma simplificação do apresentado na figura A1 do anexo A, indicando apenas os processadores diretamente envolvidos com a produção de Ácido Adípico²⁸ e as suas principais conexões (indicando o fluxo principal do produto).

²⁸ Os demais processadores, Recuperação de Vapores Nitrosos, Concentração Nítrica e Recuperação das Purgas, não estão diretamente ligados a qualidade do produto, ou seja, ao parâmetro de desempenho Qualidade.

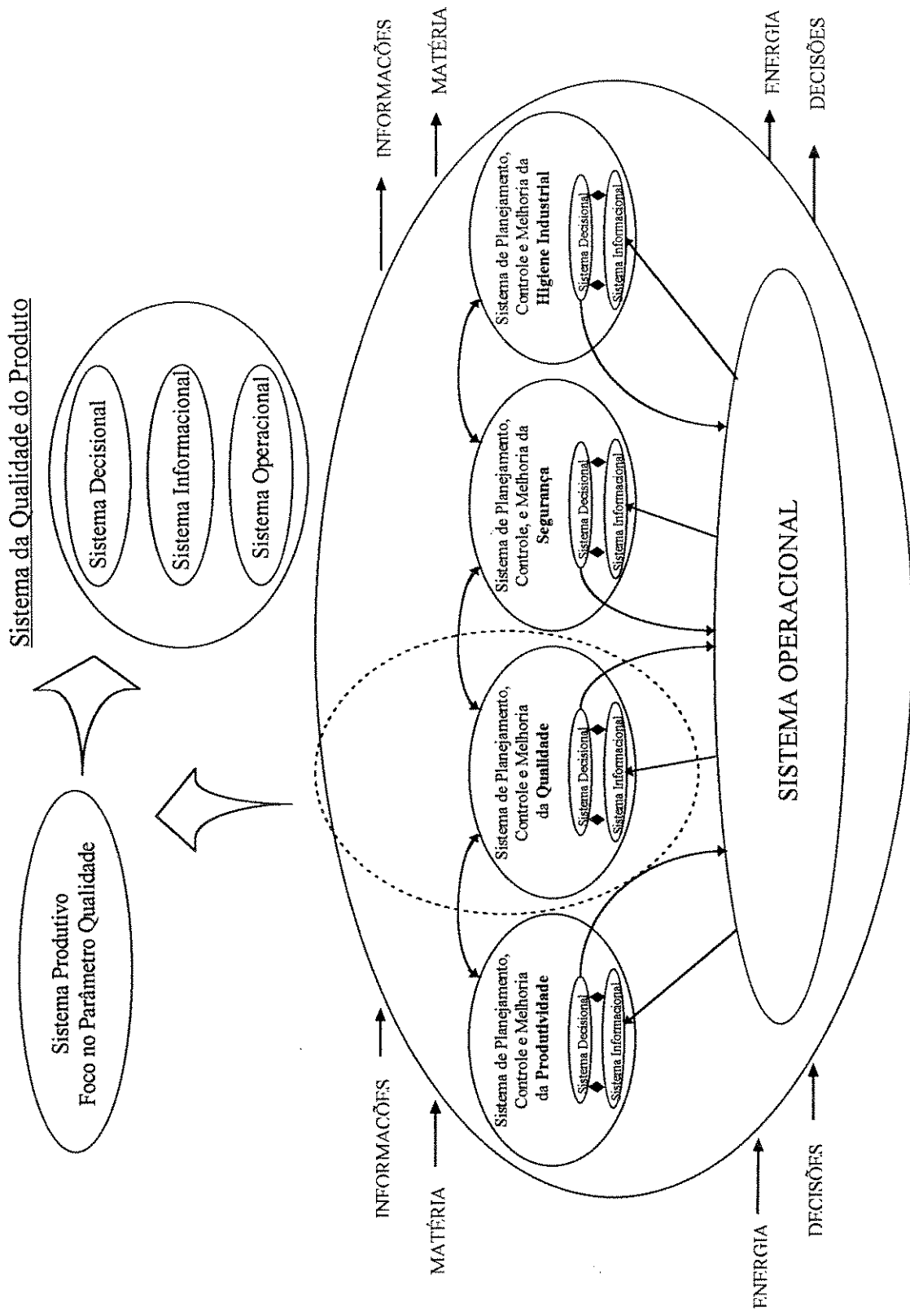


Figura 4.9 - Focalizando o Parâmetro de Desempenho Qualidade

4.6 - Análise do Sistema da Qualidade do Adípico Atual

A análise do sistema da qualidade do Adípico estará focada no objetivo descrito no item 4.2-Localização do Sistema Estudado e Objetivos Desejados: *“identificar as operações, as informações e as decisões pertinentes ao sistema da qualidade e se estas são necessárias e suficientes para a condução eficaz e eficiente da atividade de controle da qualidade do produto final, bem como as possíveis ambigüidades, incoerências e redundâncias que contribuam para reduzir a eficiência ou mesmo impedir a eficácia, baseando-se nos conceitos de controle da qualidade e de custos da qualidade”*.

A análise será baseada, além dos conceitos apresentados no capítulo 3, na experiência adquirida por este autor na utilização do sistema atual para o controle da qualidade do produto final, utilizando-se, quando possível, os dados disponíveis na unidade Ácido Adípico para sua confirmação.

Relembrando as principais características desejáveis²⁹ de sistemas da qualidade apresentados no capítulo 3 e que serão consideradas nesta análise:

- todo sistema de qualidade deve exigir especificações para as matérias-primas que impactem de alguma forma na qualidade do produto.
- todo sistema de qualidade deve conter especificações para os produtos produzidos.
- todas as especificações devem incluir um valor alvo, um objetivo.
- as especificações de matérias-primas e produtos devem respeitar as necessidades dos clientes. Não há padrões, sejam nacionais, internacionais ou de uma empresa, que sejam perfeitos. As exigências dos clientes mudam continuamente, exigindo uma qualidade também diferente.
- dentre todas as características (itens) de especificação, deve-se identificar e priorizar as mais importantes.
- o fornecedor deve garantir a qualidade das matérias-primas de forma a eliminar a necessidade de inspeção por parte do cliente.

²⁹ Lembrando que o foco do estudo é o Sistema do Processo Produtivo para o parâmetro de medida de desempenho Qualidade do Produto.

- o controle ou a garantia da qualidade do produto deve ser voltada para o controle do processo produtivo (em toda sua extensão) e não para a inspeção do produto final. A inspeção é válida para num primeiro momento garantir a conformidade do produto, conhecer o processo produtivo (identificação dos objetos de controle) e mesmo para avaliar a eficácia e eficiência do sistema de controle estabelecido.
- deve-se incentivar a visão sistêmica da cadeia Fornecedor-Produtor-Cliente. Trabalhar para o aprimoramento do relacionamento entre Fornecedores, Produtor e Clientes permitirá a otimização dos recursos disponíveis.
- a garantia da qualidade deve ser dada através do efetivo controle dos objetos de controle que impactam na qualidade do produto final, considerando-se tanto o processo produtivo quanto as matérias-primas.
- as causas principais dos desvios devem ser identificadas e corrigidas, minimizando a possibilidade de uma nova ocorrência. A ênfase deve ser dada às ações de prevenção.
- o controle do processo produtivo deve estar voltado para ações que eliminem as causas e não os efeitos, eliminando a necessidade de um controle específico. Quando a eliminação das causas é inviável (ação de prevenção), o controle deve estabelecer atuações a montante (ação de correção) e não a jusante do processo produtivo (ação de compensação).
- o controle do processo produtivo deve ser realizado através do uso de ferramentas de modelagem deterministas ou estatísticas. A intuição e a experiência adquirida, embora sejam válidas, não devem ser as únicas ferramentas disponíveis para análise de desvios.
- o controle dos objetos de controles realizado através de detecção por amostragem deve considerar o efeito da variabilidade da própria amostragem e do processo produtivo antes da decisão de atuação no processo. Análises de tendências e cuidados na alteração do tamanho da amostra devem ser considerados.

4.6.1 - Controle das Matérias-Primas

Analisando-se o sistemógrafo do sistema da qualidade do Adípico apresentado no anexo B, observa-se que as principais características do sistema de controle de matérias-primas são:

Objetos de controle,

- especificação definida para todas as matérias-primas (características do produto exigidas) do tipo menor ou maior a determinado resultado.

Deteccção,

- análise química para confirmação da sua conformidade com a especificação requerida (não existem conexões entre os processadores Fornecedores Internos/ Externos e os processadores de Ácido Adípico; vide figura B2 , anexo B, Sistemógrafo do Sistema Informacional).

Organização,

- comparação do resultado pontual obtido com a especificação requerida do tipo maior/ menor e igual.

Decisão,

- comunicação com os fornecedores via informação de comando (aceita-se ou não aceita-se a matéria-prima), exigindo-se do fornecedor, caso ocorrência de produto não conforme, ações corretivas para melhoria da qualidade (vide figura B3, anexo B, Sistemógrafo do Sistema Decisional).
- desencadeamento, dependendo da sua qualidade, de diversas ações de controle adicionais no processo produtivo (aumento da frequência de inspeção dos produtos finais Ácido Adípico Purificado ou Suspensão e Ácido Adípico Seco; vide figura B2, anexo B, Sistemógrafo do Sistema Informacional).

A primeira característica, *especificações definidas para matérias-primas*, embora seja essencial para qualquer sistema de controle em qualquer tipo de atividade, precisa ser muito bem estudada para não ser excessiva ou insuficiente, conforme discutido no capítulo 3. No caso da unidade Ácido Adípico, a real importância das características de especificação das matérias-primas requeridas pelo sistema da qualidade não é facilmente verificada na prática, seja porquê as características controladas de especificação do produtos finais não são as adequadas para verificar o impacto, seja porquê realmente não interferem na qualidade dos produtos finais.

O problema maior deste “desconhecimento” é que ele acaba gerando uma infinidade de análises extras tanto do lado do fornecedor quanto da unidade Ácido Adípico enquanto a

“não-conformidade” persistir. Como exemplo disto, tem-se a matéria-prima cicloexanol: a cada ocorrência de cicloexanol não-conforme, a unidade Ácido Adípico (o sistema decisional) determina um aumento na frequência das análises químicas para determinadas características de especificação do Ácido Adípico Purificado ou Suspensão e Ácido Adípico Seco (além do aumento da frequência das análises químicas previstas no sistema da qualidade do fornecedor), gerando um custo adicional muitas vezes desnecessário.

Como exemplo deste fato, as quadros D1 e D2 do anexo D apresentam o acompanhamento realizado de uma determinada característica de especificação do cicloexanol e do carvão ativo na qualidade correspondente (nas características de especificação que se acredita interferir) dos produtos finais Ácido Adípico Purificado ou Suspensão e Ácido Adípico Seco.

A segunda característica descrita, *obrigatoriedade de análise para conferência da sua conformidade com a especificação requerida*, cada vez mais está sendo substituída por certificados de análise ou qualidade fornecidos pelos próprios fornecedores, eliminado-se o custo adicional da reanálise. No caso da unidade Ácido Adípico essa obrigatoriedade, independentemente do controle realizado pelos fornecedores internos e externos, surgiu com a implantação do sistema ISO9000, já que muitos dos fornecedores não estavam preparados para fornecer certificados de análise ou de qualidade (mesmos os internos) ou para controlar as características exigidas para o produto. A fórmula encontrada na época foi analisar todas as matérias-primas sem exceção.

Com o passar do tempo, os fornecedores internos (caso do cicloexanol, água bidesmineralizada e ácido nítrico), alguns com sistemas de qualidade implantados formalmente outros não, criaram procedimentos de controle de seus produtos finais, disponibilizando ao sistema da qualidade da unidade Ácido Adípico a mesma qualidade e quantidade de informações que este requeria (vide tabela 4.1).

A terceira característica, *comparação do resultado pontual com a especificação do tipo maior/ menor e igual*, indica que, apesar de exigir o seu cumprimento, o sistema estudado não questiona a variabilidade dos resultados das características de especificação das matérias-primas e nem estabelece um valor alvo. Se determinada característica é realmente importante

para o controle da qualidade, a sua variabilidade poderá ser transferida para os resultados da característica correspondente no produto final e, dependendo do caso, ter a sua amplitude aumentada. Mesmo que a variabilidade diminua, se o valor médio sofreu um aumento, novamente a qualidade do produto final pode ser afetada.

A quarta característica, *comunicação com os fornecedores via informação de comando e exigência de ações corretivas para melhoria da qualidade*, é uma prática comum nos sistemas da qualidade implantados com base na ISO9000. O ato de exigir do fornecedor justificativas e ações corretivas para a não-conformidade observada, obriga, pelo menos em teoria, um estudo da parte do fornecedor para eliminar a possibilidade de uma nova ocorrência e melhorar a qualidade de seu produto. O problema normalmente observado é que esse ato é pontual, não exigindo do fornecedor um constante esforço na melhoria da qualidade (ao invés de ações corretivas, ações preventivas) de seus produtos, não considerando apenas o número de ocorrências de produto não-conforme, mas também a diminuição da variabilidade das características de especificação.

Tabela 4.1 - Redundância nas Informações da Qualidade das Matérias-Primas

Matéria-Prima	Características das Matérias-Primas exigidas e controladas pela Unidade	Características das Matérias-Primas Controlas pelo Fornecedor
Ácido Adípico		
Cicloexanol	<i>Frequência 1 x dia</i>	<i>Frequência 1 x dia</i>
	Cicloexano	Cicloexano
	TLNI (Total de Leves Não Identificados)	TLNI (Total de Leves Não Identificados)
	Cumeno	Cumeno
	Benzeno	Benzeno
Carvão Ativo	SBB+TBB	SBB+TBB
		Água
		TPNI (Total de Pesados Não Identificados)
Água	<i>Frequência Lote recebido</i>	<i>Frequência Lote Fabricado</i>
	Ferro	Ferro
Bidesmineralizada	<i>Frequência 1 x dia</i>	<i>Frequência 1 x dia</i>
Ácido Nítrico	Resistividade	Resistividade
	<i>Frequência 1 x dia</i>	<i>Frequência 1 x 4 hs</i>
	Título	Título
		Ferro
		Compostos Nitrosos

A quinta característica observada, *desencadeamento de diversas ações de controle adicionais no processo produtivo*, é de grande valia para qualquer sistema implantado, desde que se saiba o que, o quando, o porquê e a onde controlar. Essa capacidade preditiva de se

saber os efeitos de uma matéria-prima não-conforme no processo (e consequentemente na qualidade do produto final), permitirá o seu consumo controlado através de ações de compensação no processo produtivo (esse é um exemplo onde ações do tipo compensação são interessantes), que em um momento de crise (falta de disponibilidade de matéria-prima, por exemplo) poderá ser de grande utilidade. O problema normalmente identificado é a dificuldade de se obter esse tipo de informação, devido à complexidade de seus efeitos no processo produtivo e ao alto investimento necessário para realizar um estudo deste porte, principalmente em indústrias de processos químicos, como é o caso. No caso da unidade Ácido Adípico, os efeitos detectados estão baseados em alguns estudos teóricos e principalmente no conhecimento (ou sentimento) prático das pessoas. Conforme apresentado nos quadros D1 e D2 do anexo D, embora não seja conclusivo, não se pode afirmar que esses efeitos sejam reais.

Outro aspecto importante é a decisão de aumento da frequência analítica dos produtos Ácido Adípico Purificado ou Suspensão e Ácido Adípico Seco. Conforme discutido no capítulo 3, o aumento ou diminuição do tamanho da amostra resulta em diminuição ou aumento da variabilidade observada, respectivamente. No caso específico, a amostra normal é realizada pela composição de quatro alíquotas retiradas a cada quatro horas, e sendo este o resultado normalmente utilizado para verificação da sua conformidade com a especificação. Quando da decisão de aumento da frequência analítica, o tamanho da amostra é reduzido a um (amostra instantânea). O risco de redução do tamanho da amostra está em se considerar um produto conforme como não-conforme (ou vice-versa) e, ainda, utilizar esse dado como prova da interferência da qualidade da matéria-prima na qualidade do produto final, quando na verdade o resultado nada mais é que o imposto pela variabilidade normal do processo.

4.6.2 - Inspeção da Qualidade dos Produtos Finais

As características principais do sistema de confirmação da qualidade dos produtos finais, analisando-se o sistemógrafo do sistema da qualidade do Ácido Adípico apresentado no item 4.5, são:

Objetos de controle,

- especificação definida para os produtos Ácido Adípico Purificado ou Suspensão e Ácido Adípico Seco.

Detecção,

- inspeção completa das características de especificação do Ácido Adípico Purificado ou Suspensão e Ácido Adípico Seco com frequência definida.

Organização,

- comparação do resultado pontual obtido com a especificação requerida do tipo maior/ menor e igual.

Decisão,

- comunicação com os clientes (interno ou externos) do tipo informação de comando (produto conforme ou não-conforme, aceita-se ou não aceita-se), obrigando-se, caso ocorrência de produto não conforme, a identificar e executar ações corretivas para melhoria da qualidade (vide figura B3, anexo B, Sistemógrafo do Sistema Decisional).

A primeira característica, *especificação definida para os produtos Ácido Adípico Purificado ou Suspensão e Ácido Adípico Seco*, é a base para implantação de um sistema de controle da qualidade, acreditando-se que esta represente a qualidade requerida pelo cliente. O problema normalmente observado em se fixar especificações é o acomodamento do produtor, acreditando que basta eliminar a possibilidade de produto não-conforme para se estar seguro quanto a satisfação do cliente (vide conceitos qualidade apresentados no Capítulo 3). No caso da unidade Ácido Adípico, embora também haja uma maior preocupação em atender as especificações, existem diversos estudos e ações já realizadas (algumas com investimentos superiores a 10 MUS\$ no período de 1990 a 1997) com o objetivo de melhorar a qualidade dos produtos finais (tanto na média dos resultados quanto na sua variabilidade). Mesmo para o caso do Ácido Adípico Purificado ou Suspensão, que por ser consumido internamente poderia ter uma exigência menor, o esforço investido na melhoria dos resultados das características de especificação é enorme³⁰, não havendo diferenciação com relação a atenção dada ao Ácido Adípico Seco (vendido para clientes externos, onde a concorrência existente é muito forte).

³⁰ Relembrando que a Cadeia Nylon é a razão da existência da unidade Ácido Adípico.

A segunda característica, *inspeção completa das características de especificação do Ácido Adípico Purificado ou Suspensão e Ácido Adípico Seco com frequência definida*, é a garantia final que o produto fornecido está em conformidade com a especificação exigida pelos clientes. Conforme discutido no capítulo 3, um erro normalmente observado é o produtor acreditar que realizando a inspeção completa de todos os lotes de produto produzido e, portanto, garantindo a qualidade do seu produto, o seu problema já está resolvido. O custo envolvido em sistemas da qualidade baseados somente na inspeção do produto final normalmente são muito maiores do que os custos em sistemas da qualidade baseados em controles intermediários do processo produtivo (considerando-se não só o custo da própria inspeção, mas como também o custo do reprocesso ou da perda do produto). Na indústria química, o controle de intermediário do processo muitas vezes é dificultado devido a complexidade das operações envolvidas (caso de reações químicas, por exemplo) que, por isso mesmo, são pouco dominadas, tendo a inspeção do produto final um papel importante na garantia da qualidade. Esse é o caso específico da unidade Ácido Adípico: a inspeção do produto final é utilizada para confirmar o controle intermediário realizado (discutido no item 4.6.3).

Partindo-se da premissa que a inspeção completa do Ácido Adípico Purificado ou Suspensão e do Ácido Adípico Seco seja a forma mais adequada para garantir a sua qualidade, uma análise da forma utilizada para inspeção e os resultados dela obtidos faz-se necessária.

A inspeção da qualidade dos produtos finais, Ácido Adípico Suspensão e Ácido Adípico Seco, é realizada pela análise química de uma amostra média representativa de 24 h de produção (ou um lote), composta por alíquotas em uma frequência definida.

Para o caso do Ácido Adípico Seco, todo o lote fica segregado até a confirmação do resultado da inspeção. Se o resultado indicar produto fora de especificação, todo lote é reprocessado ou vendido por concessão do cliente. Os estudos realizados demonstram que a frequência de retirada de alíquotas para compor a amostra média do lote são as adequadas, portanto garantindo um resultado representativo da qualidade real do produto. Além disso o número de ocorrências de produto não-conforme é quase nulo (devido a alta capacidade do

processo - vide tabelas 4.2 e 4.3) e na história recente da unidade (após implantação do sistema ISO 9002, 1993) não há registro de reclamações de clientes quanto a produto não-conforme.

Tabela 4.2 - Acompanhamento do Número de Ocorrências de Produto Não-Conforme de 1994 a 1996

	1994	1995	1996
Ocorrências de Produto Não-Conforme	2	1	0

Tabela 4.3 - Capacidade do Processo (Cpk) para atender as especificações das características do Ácido Adípico Seco - Acompanhamento 1996

Característica de Especificação do Ácido Adípico Seco	Capacidade do Processo (Cpk) (2)
Nitratos	> 1,33
Água	> 1,33
Título	> 1,33
Cinzas	> 1,33
Nitrogênio redutível	> 1,33
Bases Voláteis Totais	< 1,33
Ponto de Fusão	> 1,33
Ferro	> 1,33
Densidade Ótica (1)	< 1,33

Obs: (1) característica determinante para aumento da frequência analítica da característica correspondente no produto Ácido Adípico Seco

(2) considerando-se válida a utilização do Cpk como índice da capacidade do processo.

Para o caso do Ácido Adípico Purificado ou Suspensão, independentemente do resultado da inspeção, este é continuamente consumido pelo cliente Sal N. Isso ocorre devido aos estoques intermediários serem pequenos (no máximo estocam o correspondente a duas horas de produção), designando a inspeção pontual do lote uma importância maior para a indicação de necessidade de ajustes no processo do que para a garantia da qualidade do

produto enviado ao cliente Sal N (quando o resultado da inspeção chega, o produto já foi consumido). A garantia teria de vir da capacidade do processo em produzir produto conforme, que para o caso das características Densidade Ótica e Nitratos não é possível (vide tabela 4.4). Apesar do baixo valor da capacidade do processo para essas características, mais uma vez reforçando o discutido no item 4.2.1, várias ocorrências de Ácido Adípico Purificado ou Suspensão não-conforme, não provocaram o mesmo efeito na qualidade do Sal N. Outro aspecto a ser ressaltado é que por possuir uma capacidade de estoque mais elevada, muitas vezes as alterações na qualidade do Sal N provocadas pelo Ácido Adípico Purificado ou Suspensão são amortecidas pelo volume de produto já estocado³¹.

A terceira característica, *comparação do resultado pontual obtido com a especificação requerida do tipo maior/ menor e igual*, segue o mesmo raciocínio desenvolvido para o controle das matérias-primas: não é considerada a variabilidade e nem existe um valor alvo definido. A diferença em relação ao controle das matérias-primas é a realização de um estudo semestral para avaliação do desempenho da qualidade do produto Ácido Adípico Seco (cálculo da média e capacidade do processo, Cpk e Cp).

Tabela 4.4 - Capacidade do Processo (Cpk) para atender as especificações das características do Ácido Adípico Purificado ou Suspensão - Acompanhamento 1996

Característica de Especificação do Ácido Adípico Purificado	Capacidade do Processo (Cpk) (2)
Nitratos	< 1,33
Cinzas	> 1,33
Ferro	> 1,33
Densidade Ótica	< 1,33
Bases Voláteis Totais (1)	> 1,33
Nitrogênio Redutível (1)	> 1,33

Obs: (1) característica determinante para aumento da frequência analítica da característica correspondente no produto Ácido Adípico Seco.

(2) considerando-se válida a utilização do Cpk como índice da capacidade do processo.

³¹a propriedade de homogeneização que os produtos químicos líquidos possuem, facilita tanto a correção de uma não-conformidade quanto a amortização da variabilidade da qualidade do produto instantâneo

A quarta característica do sistema de inspeção dos produtos finais, *comunicação com os clientes do tipo informação de comando e identificar e executar ações corretivas para melhoria da qualidade*, tem os mesmos problemas identificados para o caso do sistema de controle de matérias-primas, discutido no item 4.6.1, não garantindo que a unidade Ácido Adípico tenha oportunidade de melhoria contínua da qualidade de seus produtos, pois a obrigatoriedade do contato (técnico) com o cliente é pontual e não contínua (o pior é que o contato é realizado sempre para tratar de uma possível não-conformidade já ocorrida).

4.6.3 - Controle Intermediário do Processo

As características principais do sistema de controle intermediário do processo produtivo, analisando-se o sistemógrafo do sistema da qualidade do Adípico apresentado no item 4.5, são:

Objeto de controle,

- variáveis críticas do processo produtivo para auxílio no controle da qualidade dos produtos finais.

Detecção,

- inspeção por amostragem de produtos intermediários e controle automático de processo.

Organização,

- comparação dos resultados pontuais das variáveis intermediárias críticas com a especificação.

Decisão,

- variáveis críticas determinando atuação com ações de prevenção, de correção e de compensação.

A primeira característica, *variáveis críticas do processo produtivo para auxílio no controle da qualidade dos produtos finais*, como citado no item 4.6.2-Controle dos Produtos Finais, é a forma usualmente indicada para o controle da qualidade do produto, diminuindo os custos da inspeção completa do produto final e permitindo atuações no processo produtivo antecipadamente a ocorrência de produto não-conforme (redução dos custos de continuidade

na produção de um item não-conforme). O problema geralmente encontrado em indústrias químicas é a dificuldade de se identificar quais variáveis intermediárias (objetos de controle) realmente são as críticas e, dentre as críticas, quais são as melhores para antecipar problemas de qualidade no produto final. Essa dificuldade reside principalmente na complexidade e nas características específicas dos processos químicos, conforme colocado no capítulo 3 (item 3.6 - Sistemas da Qualidade em Indústrias Químicas).

Outra característica de boa parte dos processo químicos industriais é que muitas vezes uma não conformidade observada em uma variável intermediária crítica do processo produtivo, não significa que o produto final estará também não-conforme e vice-versa, ou seja, o seu controle é necessário mas não é suficiente. Da mesma forma, um produto não-conforme pode não representar problemas aos clientes, pois pode não existir uma relação direta entre a sua especificação e o seu desempenho no cliente.

Na maioria dos casos o controle das variáveis intermediárias serve como um alerta, indicando um desvio que pode gerar produto não-conforme.

No caso da unidade Ácido Adípico, a escolha foi realizada com base em alguns estudos realizados e principalmente na experiência das pessoas envolvidas nesta atividade industrial. Resgatando-se os dados apresentados no item 4.5 - Sistemógrafo do Sistema de Controle da Qualidade do Produto (vide anexos A e B), tem-se as seguintes variáveis críticas de controle:

- Vazão de Água de Lavagem dos cristais no processador C4-2 - 1ª Lavagem do Ácido Adípico (figura A2, anexo A).
- Vazão de Água de Lavagem dos cristais no processador C7-2 - 2ª Lavagem do Ácido Adípico (figura A4, anexo A).
- Qualidade do Ácido Adípico Técnico, produto do processador C4-2 - 1ª Lavagem do Ácido Adípico (figura A2, anexo A).
- Qualidade do Ácido Adípico Dissolvido e Tratado, produto do processador C5-5 - Filtração de Carvão Ativo (figura A3, anexo A).
- Produção Teórica, calculada a partir da alimentação de matéria-prima cicloexanol no processador C2-Oxidação do Cicloexanol (figura B1, B2 e B3, anexo B).

Para o controle da qualidade do Ácido Adípico Seco tem-se:

- Qualidade do Ácido Adípico Purificado ou Suspensão para as características Bases Não Voláteis (BVT) e Nitrogênio Redutível (Nred), produto do processador C7-2 - 2ª Lavagem do Ácido Adípico (figura A4, anexo 4).
- Temperatura do gás de secagem, controle interno do processador C8-Secagem do Ácido Adípico (figura B1, B2 e B3, anexo B).

A utilização destas variáveis intermediárias do processo produtivo tem-se mostrado necessária, mas com certeza não suficiente (vide a capacidade do processo para produção de Ácido Adípico Suspensão apresentada na tabela 4.4). Com a experiência adquirida durante o período de certificação ISO9002 no controle do processo produtivo, muitos dos processadores, inicialmente subestimados quanto a sua influência na qualidade do produto final, possuem também variáveis críticas que deveriam ser controladas. O quadro D3 (anexo D) apresenta um exemplo identificado através do acompanhamento de uma determinada característica de especificação do Ácido Adípico Seco por CEP.

A segunda característica, *inspeção por amostragem de produtos intermediários e controle semi-automático de processo*, é normalmente encontrada em processos químicos. Conforme colocado no capítulo 3 (item 3.3.1), um sistema de controle da qualidade em uma indústria química é composto por um conjunto de variáveis medidas continuamente e medidas por amostragem. A unidade Ácido Adípico não foge a regra.

A terceira característica observada, *comparação dos resultados pontuais das variáveis intermediárias críticas com a especificação*, são normalmente utilizadas para as variáveis com medição contínua e controle automático (principalmente para aquelas com atuação de correção imediata, por exemplo uma determinada vazão de um fluxo do processo) ou para aquelas onde um resultado não-conforme seja do tipo “ligado-desligado” (por exemplo um motor ligado ou desligado ou filtro retendo impurezas ou não). Para as variáveis obtidas por amostragem, onde o resultado esperado não seja do tipo “ligado-desligado”, normalmente é indicado a atuação no processo produtivo somente após análise do comportamento de uma sequência de resultados (por ex. através de cartas de controle). No caso da unidade Ácido Adípico, as únicas variáveis críticas conhecidas que poderiam determinar uma atuação no

processo por estudo das tendências dos resultados seriam a qualidade do Ácido Adípico Purificado ou Suspensão para as características Bases Não Voláteis (BVT) e Nitrogênio Redutível (Nred). Mesmo assim, pouco se conhece da origem destas impurezas e, portanto, não se saberia onde atuar para restabelecer um processo estável (neste caso a carta de controle poderia ajudar na identificação das possíveis causas dos desvios). Mais uma vez essas variáveis acabam sendo utilizadas como alerta para possíveis problemas na qualidade do Ácido Adípico Seco, determinando o aumento da frequência da inspeção das suas características correspondentes.

A quarta característica, *variáveis críticas determinando atuação com ações de prevenção, de correção e de compensação*, é geralmente encontrada em sistemas de controle de qualidade de processos químicos. Quando não existe domínio da sua origem ou da forma de como atuar diretamente para corrigir uma determinada não-conformidade de uma variável crítica, tende-se a procurar corrigir os seus efeitos no processo produtivo, ou seja, com atuações a jusante da etapa do processo produtivo onde foi detectada a não-conformidade. Para a indústria química de processo contínuo, mesmo que se conheça as origens e forma de atuação a montante do processo produtivo, a atuação a jusante muitas vezes ainda é necessária. Por ser um processo contínuo de fluidos, uma não-conformidade quando detectada, mesmo que seja pontual, pode ocasionar a contaminação de toda estocagem de produtos intermediários, sendo necessário estabelecer ações de ajuste do processo produtivo a jusante para permitir a continuidade da operação da unidade industrial³² e, evidentemente, para não gerar produto final não-conforme. No caso da unidade Ácido Adípico, um exemplo deste tipo de variável é a qualidade do Ácido Adípico Técnico: além de determinar uma ação de correção no próprio local de origem da não-conformidade, enquanto não se identifica a origem do problema (ação de prevenção), indica a necessidade de uma ação de compensação no processador a montante C7-2 - 2ª Lavagem do Ácido Adípico (figura A4, Anexo 4).

³² Em processos contínuos de fluidos a tática de parada da linha de produção e reprocesso do produto intermediário não-conforme, a não ser em casos especiais, é inviável. Muitas vezes, pelos ciclos existentes, o processo só volta a normalidade quando em funcionamento completo.

4.6.4 - Análise do Nível dos Processadores

Uma análise comparativa entre os níveis dos processadores do Sistema Produtivo e do sistema da qualidade do Adípico (vide tabela 4.5) pode indicar alguns aspectos relevantes:

- os processadores Fornecedores e Clientes não pertencem ao sistema da qualidade do Adípico.
- alguns processadores do sistema produtivo não são considerados ou possuem um papel secundário no sistema da qualidade do Adípico.
- os processadores do sistema da qualidade têm um nível inferior em relação ao sistema produtivo.

A não consideração dos processadores Fornecedores e Clientes pode, num primeiro momento, ser entendida como a exclusão dos Fornecedores e Clientes do sistema da qualidade da unidade Adípico, o que não ocorre na realidade (vide itens 4.6.1 e 4.6.2). O que ocorre é que o sistema de controle da qualidade não considera as informações disponibilizadas continuamente (somente pontual) por esses processadores; tanto os clientes como os fornecedores são considerados como pertencentes ao meio ambiente que circunscreve os limites de contorno do sistema de controle da qualidade, influenciando e modificando esse sistema.

A não consideração de alguns processadores do sistema produtivo deve-se em parte ao desconhecimento da sua influência na qualidade do produto final, se é que existe, conforme discutido nos itens 4.6.1 a 4.6.3, e em parte devido a sua concepção baseada nas atividades que já eram realizadas (evidentemente que de uma forma não tão estruturada).

A diminuição dos níveis dos processadores do sistema da qualidade em relação aos do sistema produtivo deve-se principalmente a tentativa de se diminuir a complexidade do sistema. A padronização das atividades para o controle do processo produtivo com a implantação de um sistema de qualidade baseado na ISO9000 busca a simplificação da operação (a mecanização da operação), permitindo que todos os operadores possam

participar e serem incluídos no sistema de decisão já previamente definido. Mesmo com a simplificação, o 6º nível ainda apresenta uma complexidade elevada em comparação com o esperado com a padronização (o que levaria abaixo do 5º nível, no qual os sistemas informacional e decisional não são claramente definidos ou simplesmente não existem devido a necessidade de operações quase mecânicas), devido as incertezas da eficácia das atividades documentadas no controle da qualidade da unidade Ácido Adípico. Muito se discute se a melhor solução para o gerenciamento de sistemas complexos é mesmo a redução da sua complexidade.

Tabela 4.5 - Comparação dos Níveis dos Processadores do Sistema Produtivo (X) e do sistema da Qualidade do Adípico (O).

Nível	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º
Processador									
A1									X
A2									X
A3									X
A4									X
A5									X
B1									X
C1						O			X
C2						O			X
C3	O								X
C4						O			X
C5						O			X
C6	O								X
C7						O			X
C8						O			X
C9									X
C10									X
C11									X
D									X
E									X

4.6.5 - Observações Finais

Resumindo as características discutidas nos itens 4.6.1 a 4.6.4:

- o controle de matérias-primas, variáveis intermediárias do processo produtivo e produtos finais é baseado em inspeção pontual dos lotes recebidos ou fabricados. Não existe, claramente, um processo que obrigue a diminuição da variabilidade das características das matérias-primas e dos produtos finais.
- a interferência de determinadas características de especificação das matérias-primas na qualidade dos produtos finais não é totalmente conhecida.
- as atuais variáveis intermediárias críticas do processo produtivo são necessárias mas não suficientes para o controle da qualidade.
- as variáveis intermediárias críticas do processo produtivo são utilizadas como alerta para possíveis alterações na qualidade dos produtos finais.

Essas características são principalmente conseqüências de:

- um sistema concebido em 1993, quando diversos fornecedores ainda não estavam preparados para responder às novas necessidades de controle e, de forma correspondente, a unidade Ácido Adípico não era cobrada por melhor controle de seus produtos finais (ficar dentro dos valores de especificação já era o necessário e o suficiente).
- dificuldades de se estabelecer inter-relações entre variáveis de entrada e de saída em processo químicos industriais (seja via modelagem determinista ou estatística), devido a complexidade das operações e fenômenos envolvidos e ao elevado número de ciclos do processo produtivo. Muitas vezes é mais fácil e menos custoso a atuação por ações de correção e de compensação do que por ações preventivas.
- dificuldades na utilização de ferramentas estatísticas aplicadas para o controle do processo produtivo (número de causas do efeito normalmente muito grande e dependência de valores anteriores, por exemplo).
- grande variabilidade das causas de desvios do processo produtivo devido a, normalmente, este não ser/ estar estável. Esta não-estabilidade ocorre principalmente devido a fatores naturais (temperatura e pressão ambiente) e fatores intrínsecos ao

processo químico envolvido (número elevado de ciclos e dependência de outras etapas do processo produtivo).

Apesar das dificuldades colocadas, diversos estudos e modificações no sistema de qualidade da unidade Ácido Adípico (vide tabela 4.6) estão sendo realizados para aprimorar os resultados excelentes já obtidos (resultados estes medidos e reconhecidos pelos clientes). A unidade Ácido Adípico tem sido reconhecida pelos seus clientes e fornecedores como exemplo na área química a ser seguido.

Os ganhos relatados pelas pessoas que estiveram envolvidas no processo de concepção e implantação do sistema da qualidade baseado na ISO9002 são animadores. Dentre os problemas encontrados anteriormente a implantação da ISO9002, cabe destacar os seguintes:

- Não existia aferição periódica de instrumentos.
- A manutenção preventiva de equipamentos não era organizada e com uma periodicidade definida.
- Redução significativa no número e frequência de análises químicas de produtos intermediários e produto final.
- Não era controlada a qualidade de todas as matérias-primas.
- Não existiam regras comuns para operação da unidade e muito menos regularidade na operação.
- Não havia um treinamento periódico e estruturado para operadores.
- Produto não-conforme era destinado à clientes não preferenciais. Não existia uma regra clara e definida para tratamento de produto não-conforme.
- As decisões eram centralizadas em algumas pessoas, não existindo procedimentos claros para tratar casos especiais (produto não-conforme, problemas operacionais, dentre outras).
- Não existia um sistema de controle definido; as variáveis críticas não eram controladas.

Tabela 4.6 - Principais Ações em Curso para Melhoria da Qualidade do Ácido Adípico.

Ação	Objetivo
Estudo para determinar a origem química das impurezas do Ácido Adípico: Bases Voláteis e Nitrogênio Redutível	Estabelecer ações de controle no processo produtivo e de redução no valor médio e na variabilidade atual.
Projeto para modificação do processo de secagem de Ácido Adípico (investimento aprox. de 10MUS\$ de 1995 a 1997)	Melhorar a qualidade física do produto (aumentar a granulometria facilitando o escoamento do produto seco).
Estudo de revisão das variáveis críticas do processo produtivo através da utilização de ferramentas estruturadas (Árvore das Falhas e FMEA)	Permitir a identificação de novas variáveis críticas no processo produtivo (inter-relações entre as diversas variáveis) e determinar uma seqüência (por prioridade) de ações de correção do desvio.
Projeto de implantação de sistema informatizado para controle das principais variáveis de processo (Controle Estatístico on-line com sistema especialista integrado)	Facilitar a identificação de desvios no processo produtivo e a realização de ações corretivas pelos operadores da unidade.
Incentivo a formação de equipes operacionais para identificação e tratamento de problemas de qualidade	Conscientizar os operadores da importância da qualidade na sobrevivência do negócio Ácido Adípico

4.7 - Proposta de um Sistema Modificado da Qualidade do Ácido Adípico.

A proposta de um sistema modificado da qualidade do Adípico será baseada na análise realizada no item 4.6, focando principalmente o controle das matérias-primas e produtos finais. As possíveis modificações no controle das variáveis intermediárias do processo produtivo não serão abordadas neste trabalho, pois ainda não existem dados disponíveis para isso.

Além da proposta de modificação do sistema da qualidade do Adípico, será apresentado uma série de ações que provavelmente possibilitarão a melhoria do sistema de controle da qualidade e a redução dos custos da qualidade de forma gradual e contínua. É importante

ressaltar que a maioria dessas ações, algumas inclusive já iniciadas, demandam um certo tempo para se verificar seus primeiros efeitos na prática³³.

4.7.1 - Sistemógrafo do Sistema Proposto da Qualidade do Produto.

As modificações sugeridas estão mais direcionadas aos sistemas informacional e decisional. O sistema operacional, por consequência, será modificado para atender as novas necessidades de geração de informação (incluindo as modificações na forma de como são obtidas as já disponíveis) exigidas pelos sistemas informacional e decisional.

O anexo C apresenta o sistemógrafo dos sistemas operacional, informacional e decisional do sistema modificado da qualidade do produto.

4.7.3 - Proposta de Atividades.

De uma forma resumida, o que se propõe é um sistema da qualidade onde a interação da tríplice Fornecedor-Produtor-Cliente seja o ponto de partida. Um fornecedor que forneça matéria-prima na qualidade realmente necessária ao produtor, participando ativamente de seu sistema da qualidade. Um produtor que conheça as necessidades dos seus clientes e a qualidade requerida das matérias-primas, desenvolvendo continuamente melhorias no seu processo produtivo e trabalhando em parcerias com clientes e fornecedores. Um cliente que auxilie o produtor na melhoria da qualidade de seus produtos e, portanto, na sua própria sobrevivência.

Esse é o objetivo da lista (não exaustiva) de possíveis ações a serem desenvolvidas apresentada a seguir:

- Estudar possibilidade de eliminação das análises de confirmação da qualidade das matérias-primas. Quem deve controlar, mesmo porque é o que mais conhece, é o fornecedor, liberando esforços para ações que realmente se tenha domínio.
- Estudar a possibilidade de redução do número de amostras de inspeção das características de especificação do Ácido Adípico Purificado ou Suspensão e Ácido Adípico Seco baseados em estudos de capacidade do processo produtivo. Verificar

³³ Na verdade essas ações não devem ter fim, permitindo a melhoria contínua do sistema.

se é realmente necessário analisar todas as características correspondentes no Ácido Adípico Purificado ou Suspensão e no Ácido Adípico Seco.

- Estudar a real necessidade de controle das características de especificação das matérias-primas. Dentre as necessárias, identificar aquelas mais importantes para possibilitar concentração de esforços por parte do fornecedor na melhoria da qualidade de seu produto.
- Identificar as características de especificação do Ácido Adípico Purificado ou Suspensão e Ácido Adípico Seco que realmente representem a qualidade requerida pelo cliente. Verificar se é necessário trabalhar somente com uma única especificação.
- Revisar, via modelagem determinista ou estatística, as atuais e identificar novas variáveis intermediárias críticas para a qualidade dos produtos finais. É melhor atuar o quanto antes do que ter de reprocessar o produto final.
- Estabelecer valores alvo para as características de especificação, permitindo o desenvolvimento de atividades de aproximação ao valor alvo e diminuição da variabilidade.

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS

5.1 - Conclusões.

No trabalho apresentado, dois tópicos principais foram foco de discussão:

- a utilização dos conceitos de controle da qualidade e custos da qualidade na concepção de sistema da qualidade.
- a utilização da sistemografia na análise de sistemas industriais, mais especificamente, na análise de um sistema da qualidade de uma unidade industrial da área química.

Quanto a utilização dos conceitos de controle e custos da qualidade cabe ressaltar:

- mesmo podendo ser considerado como um problema de baixa complexidade por alguns autores, um sistema da qualidade, quando aliado a diversas particularidades do sistema industrial estudado, mostra-se, pelo contrário, um problema complexo e de difícil solução pelos métodos tradicionais. O conceito de complexidade torna-se ainda mais importante na medida que os novos conceitos da qualidade colocam o enfoque direcionado à questões mais organizacionais do que tecnológicas.
- a concepção de um sistema da qualidade deve considerar os aspectos tecnológicos de controle e de custos da qualidade. Um sistema da qualidade tecnicamente correto pode não significar um sistema eficaz e eficiente do ponto de vista dos custos gerados.
- os sistemas de qualidade devem ser concebidos de forma a se comportar como sistemas abertos e auto-reguláveis, permitindo que este possa perceber uma necessidade de mudança (ou melhoria) e se modificar.
- os sistemas formais da qualidade tendem a diminuir a complexidade do controle da qualidade ao invés de considerá-lo como tal. O tratamento de problemas complexos através da utilização das tradicionais ferramentas analíticas pode não surtir o efeito desejado.

Quanto a utilização da sistemografia cabe ressaltar:

- a utilização da técnica de descrição e de representação independente dos sistemas operacional, informacional e decisional facilita a análise do sistema industrial estudado na medida que permite a diferenciação do tipo de conexão existente entre os processadores (comando, informação e operação). Dentre outros aspectos positivos, essa diferenciação facilita a identificação do nível de relacionamento entre processadores e permite o estudo independente dos sistemas operacional, informacional e decisional.
- a utilização dos níveis de complexidade (de 1 a 9) na descrição dos processadores introduz o conceito de complexidade na análise de sistemas, permitindo o seu tratamento como tal.
- a forma de como deve ser descrito o processador, pelo o que faz e não pelo o que é, aliada a definição do tipo do processador (Tempo, Espaço ou Forma) permite a identificação da real importância de uma determinada etapa para o cumprimento do objetivo do sistema estudado.
- a utilização do sistemógrafo permite a identificação de incoerências, incompletudes e redundâncias do sistema estudado.

5.2 - Sugestões para Próximos Trabalhos.

A dissertação de mestrado não teve por objetivo somente uma discussão dos conceitos apresentados: a idéia principal era a inserção desses conceitos dentro da atividade de concepção de sistemas da qualidade em sistemas industriais. Contudo, a complexidade do assunto exige uma discussão mais aprofundada do sistema da qualidade da unidade Ácido Adípico, que poderá ser conduzida numa segunda etapa de estudos. Dentre os possíveis assuntos, cabe destacar os seguintes:

- levantamento/ concepção de outras ferramentas para a representação e simulação de sistemas complexos além da sistemografia.
- detalhamento dos componentes de um sistema de controle (sistemas de detecção, de organização e de decisão).

- detalhamento dos componentes que compõem os custos da qualidade e levantamento/ concepção de ferramentas para a sua quantificação.
- análise dos demais parâmetros de desempenho de unidade industrial (Produtividade, Segurança e Higiene Industrial).

ANEXO A - Detalhamento do Processador Ácido Adípico (C).

Descrevendo os processadores do sistemógrafo do processo produtivo - processador Ácido Adípico (C)

Processadores Fornecedor (A) e (B):

A1-Processador Fornecedor de Ácido Nítrico.

Processador do tipo Forma, Espaço e Tempo do 9º Nível. O processador tem a função de fornecer as matérias-primas ácido nítrico ao processador C1 na qualidade e na quantidade desejada.

A2-Processador Fornecedor de Cicloexanol e Rhodorsil.

Processador do tipo Forma, Espaço e Tempo do 9º Nível. O processador tem a função de fornecer cicloexanol e rhodorsil (anti-espumante) ao processador C2 na qualidade e na quantidade desejada.

A3-Processador Fornecedor de Água Bidesmineralizada.

Processador do tipo Forma, Espaço e Tempo do 9º Nível. O processador tem a função de fornecer água bidesmineralizada aos processadores C7-Lavagem II e C9-RVN na qualidade e na quantidade desejada.

A4-Processador Fornecedor de Gás Inerte.

Processador do tipo Forma, Espaço e Tempo do 9º Nível. O processador tem a função de fornecer gás inerte ao processador C8-Secagem na quantidade e na qualidade desejada.

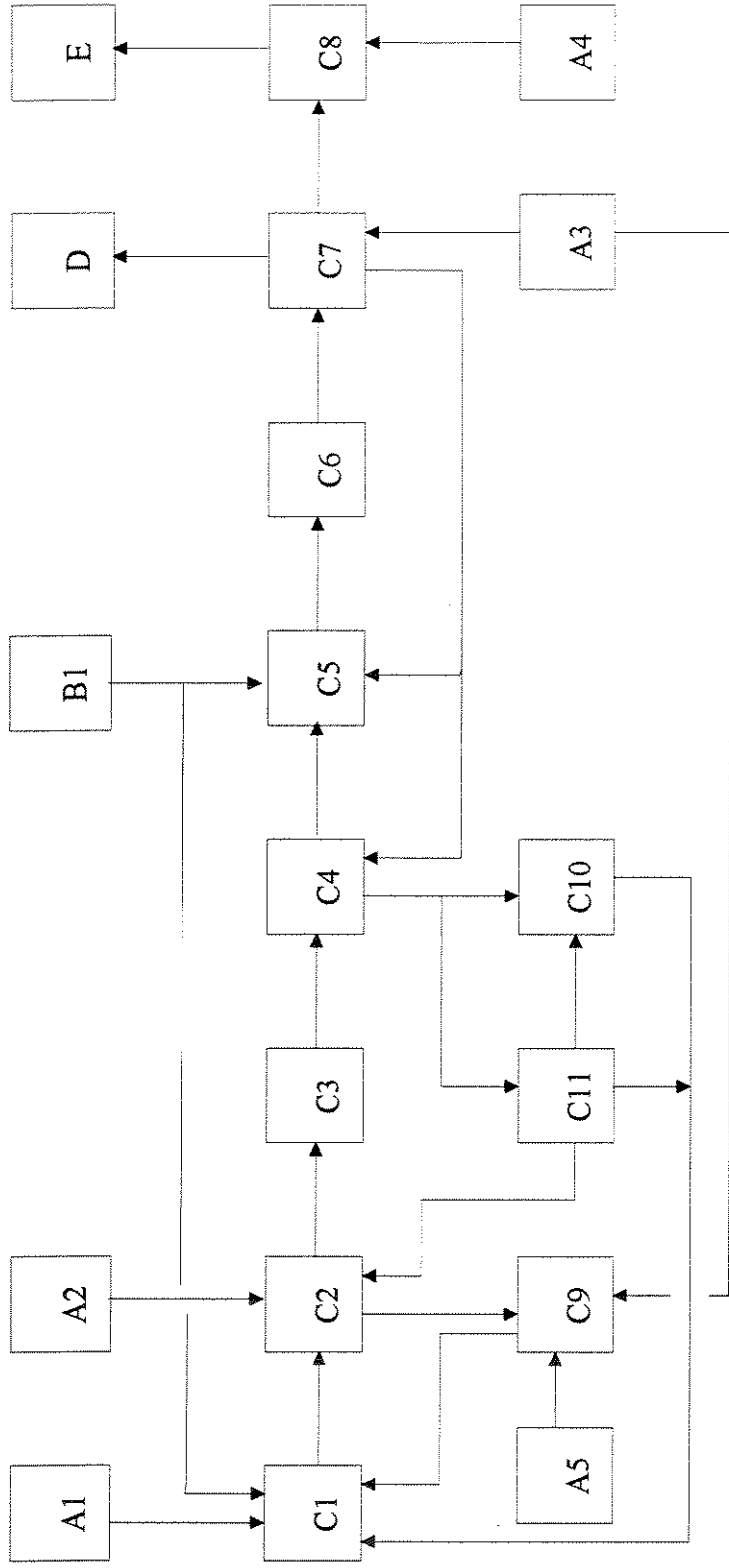


Figura A1 - Sistemógrafa do Sistema Produtivo Processador ADOH C

A5-Processador Fornecedor de Ar de Serviço.

Processador do tipo Forma, Espaço e Tempo do 9º Nível. O processador tem a função de fornecer ar de serviço ao processador C9-RVN na quantidade e na qualidade desejada.

B1-Processador Fornecedor de Carvão Ativo, Filtro de Papel e Catalisadores.

Processador do tipo Forma, Espaço e Tempo do 9º Nível. O processador tem a função de fornecer carvão ativo e filtro de papel para o processador C4-Tratamento a Carvão na qualidade e na quantidade desejada.

Processadores ADOH (C)

C1-Processador de Preparação de Catalisadores.

Processador do tipo Forma e Tempo do 9º Nível. O processador realiza a mistura das matérias/ energias recebidas dos processadores C11-Eflaad, C10-CCN e C9-RVN e prepara o meio reacional adicionando catalisadores fornecidos pelo processador B1 e ácido nítrico novo fornecido pelo processador A1 de acordo com as decisões do sistema decisional. Por ser um processador de tempo, estoca o meio reacional, garantindo a continuidade operacional do processador a jusante (processador C2-Oxidação), e, conseqüentemente, amortece as variações do processo (concentrações, vazões e temperaturas) provocadas pelos processadores a montante.

O processador recebe matéria/ energia do processador C11 - Eflaad (vanádio e cobre recuperados), do processador C10 - CCN (ácido nítrico reconcentrado), do processador C9 - Recuperação de Vapores Nitrosos (ácido nítrico recuperado), do processador A1 (ácido nítrico novo). Envia matéria/ energia ao processador C2 - Oxidação (meio reacional contendo ácido nítrico, cobre e vanádio).

C2-Processador de Oxidação do Cicloexanol.

Processador do tipo Forma e Tempo do 9º Nível. O processador promove a reação de formação de Ácido Adípico continuamente adicionando cicloexanol e rhodorsil (anti-espumante para evitar arraste de produto para o processador C9-RVN), controlando as variáveis pressão e temperatura, conforme decisões do sistema decisional. O processador também tem a função de estocagem de produto para o processador a jusante (C3-Cristalização) garantindo a sua própria estabilidade (como o processador C3-Cristalização trabalha em modo descontínuo, se não tivesse essa função teria que esperar a disponibilidade deste para o envio de matéria/ energia).

O processador recebe matéria/ energia do processador C1-Preparação Catalisadores (meio reacional contendo ácido nítrico, cobre e vanádio) e do processador C11-Eflaad (Ácido Adípico recuperado) e envia matéria/ energia aos processadores C3- Cristalização (Ácido Adípico dissolvido no meio reacional) e C9 - RVN (vapores nitrosos gerados na reação).

C3-Processador de Cristalização do Ácido Adípico.

Processador do tipo de Forma e Tempo do 9º Nível. O processador promove a cristalização do Ácido Adípico dissolvido no meio reacional por resfriamento com operações em descontínuo (batelada) seguindo uma rotina preestabelecida pelo sistema decisional (essa seção é comandada por CLP - Controle Lógico Processado, tendo o homem basicamente uma função de supervisão do sistema). A cristalização do Ácido Adípico permite a sua separação do meio reacional. O processador também tem a função de estocagem de produto cristalizado de forma a permitir a passagem de um processo em descontínuo para contínuo (processador C4-Lavagem I).

O processador recebe matéria/ energia do processador C2 - Oxidação e envia matéria/ energia ao processador C4 - Lavagem I.

C4-Processador de 1ª Lavagem do Ácido Adípico.

Processador do tipo Forma e Tempo do 9º Nível. O processador promove a separação dos cristais de Ácido Adípico do meio reacional e uma primeira lavagem destes cristais de forma contínua conforme decisões do sistema decisional. O processador armazena os cristais

lavados, o meio reacional separado dos cristais (denominado ácidos mões) e água residual da lavagem dos cristais (denominada águas mões) de forma a estabilizar os processadores a jusante (processador C10 - CCN, processador C-11 - Eflaad e processador C5 - Tratamento a Carvão). Seguindo as orientações do sistema decisional, o processador promove o aumento ou a diminuição da vazão dos ácidos mões para o processador C11 - Eflaad (controle da concentração de subprodutos, diácidos inferiores), da mesma forma para os processadores C10 - CCN e C5 - Tratamento a Carvão.

O processador recebe matéria/ energia dos processadores C3-Cristalização)Ácido Adípico cristalizado no meio reacional) e C7-Lavagem II (água para lavagem dos cristais) e envia matéria/energia aos processadores C5-Tratamento a Carvão (Ácido Adípico técnico), C10-CCN (ácidos mões) e C11-Eflaad (ácidos mões e águas mões)

C5-Processador de Dissolução do Ácido Adípico Técnico e de Tratamento a Carvão.

Processador do tipo Forma e Tempo do 9º Nível. O processador retira os cristais do Ácido Adípico técnico recebido do processador C4 - Lavagem I, dissolve os cristais com água proveniente do processador C7 - Lavagem II e purifica o adípico dissolvido através da passagem por carvão ativo. O processador também tem a função de armazenamento de produto purificado para garantir a estabilidade do processador a jusante (C6-Recristalização, operação em descontínuo).

O processador recebe matéria/energia dos processadores C7-Lavagem II (água para dissolução), C4-Lavagem I (Ácido Adípico técnico) e envia ácido ao processador C6 - Recristalização (Ácido Adípico dissolvido e tratado).

C6-Processador de Recristalização do Ácido Adípico.

Processador do tipo de Forma e Tempo do 9º Nível. O processador promove a recristalização do Ácido Adípico dissolvido por resfriamento com operações em descontínuo (batelada) seguindo uma rotina preestabelecida pelo sistema decisional (essa seção é comandada por CLP - Controle Lógico Processado, tendo o homem basicamente uma função de supervisão do sistema). O processador também tem a função de estocagem de produto cristalizado de

forma a permitir a passagem de um processo em descontinuo para contínuo (processador C7-Lavagem II).

O processador recebe matéria/ energia do processador C5 - Tratamento a Carvão (Ácido Adípico dissolvido e tratado) e B1 (carvão ativo e filtro de papel em batelada) e envia matéria/ energia ao processador C7-Lavagem II (Ácido Adípico recristalizado).

C7-Processador de 2a Lavagem do Ácido Adípico.

Processador do tipo Forma e Tempo do 9º Nível. O processador promove a separação dos cristais de Ácido Adípico da água utilizada para dissolução no processador C5-Tratamento a Carvão e uma última lavagem destes cristais de forma contínua através de injeção de água nova do processador A3 e água recuperada do processador C8 - Secagem, controlando a concentração de cristais no produto Ácido Adípico Purificado, conforme decisões do sistema decisional. O processador armazena os cristais lavados e água residual da lavagem dos cristais e da separação de forma a estabilizar os processadores a jusante (processador C8- Secagem, processador C4 - Lavagem I e processador C5 - Tratamento a Carvão).

O processador recebe matéria/ energia dos processadores C6-Recristalização (Ácido Adípico recristalizado), C8-Secagem (água recuperada) e A3 (água bidesmineralizada nova) e envia aos processadores C8-Secagem (Ácido Adípico Purificado), C5-Tratamento a Carvão (água para dissolução), C4-Lavagem I (água para lavagem dos cristais) e D-Cliente Interno (Ácido Adípico Purificado para Sal N). O Ácido Adípico Purificado ou Ácido Adípico suspensão já é um dos produtos finais do processador Ácido Adípico (C), sendo a matéria-prima da unidade Sal N.

C8-Processador de Secagem do Ácido Adípico Purificado.

Processador do tipo Forma de 9º Nível. O processador retira a água do Ácido Adípico Purificado fornecido pelo processador C7-Lavagem II, seca e envasa o produto nas embalagens de Mag-Sac ou Sacos de 25 kg, de acordo com as decisões do sistema decisional. O sistema decisional determina, quando necessária, a correção da temperatura do gás de secagem (gás inerte)

O processador recebe matéria/ energia dos processadores C7 - Lavagem II (Ácido Adípico Purificado) e A4 (gás inerte), enviando a água recuperada para o processador C7-Lavagem II (água para lavagem) e obtendo o produto final Ácido Adípico seco para o processador E-Cliente Externo.

C9-Processador de Recuperação de Vapores Nitrosos (RVN).

Processador do Tipo Forma do 9º Nível. O processador recupera os vapores nitrosos gerados nos processadores C1-Oxidação, convertendo-os em ácido nítrico de forma contínua através da introdução de ar e água bidesmineralizada. O processador controla a concentração do ácido nítrico obtido através da introdução de água conforme decisão do sistema decisional.

O processador recebe matéria/energia dos processadores C2-Oxidação (vapores nitrosos), A5 (ar de serviço) e A3 (água bidesmineralizada) e envia ao processador C1-Preparação de Catalisadores (ácido nítrico recuperado).

C10-Processador de Concentração Nítrica (CCN).

Processador do tipo Forma do 9º Nível. O processador realiza a concentração em ácido nítrico dos ácidos mães e recupera o ácido nítrico presente nas águas mães provenientes do processador C4 - Lavagem I e recebe o ácido nítrico recuperado do processador C11 - Eflaad, eliminado o excesso de água na unidade e impurezas leves presentes (leves em relação ao ácido nítrico) de forma contínua através de evaporação. Controla a concentração de ácido nítrico no produto enviado ao processador C1-Preparação de Catalisadores através de decisões do sistema decisional.

O processador recebe matéria/ energia dos processadores C4-Lavagem I (águas mães e ácidos mães) e C11-Eflaad (ácido nítrico recuperado) e envia ao processador C1-Preparação de Catalisadores (ácido concentrado), além da retirada da unidade da água em excesso.

C11 - Processador de Recuperação das Purgas (Eflaad).

Processador do tipo Forma do 9º Nível. O processador elimina o excesso de subproduto (diácidos inferiores) contido nos ácidos mães, recuperando o ácido nítrico, o cobre, o vanádio e o Ácido Adípico presentes. A quantidade de produto a ser purgado é decidido pelo sistema decisional.

O processador recebe matéria/ energia do processador C4-Lavagem I e envia aos processadores C1-Preparação de Catalisadores (cobre e vanádio recuperados), C2-Oxidação (Ácido Adípico recuperado) e C10-CCN (ácido nítrico recuperado) e retira do processo os diácidos para queima.

Processadores Clientes Interno e Externo:

D-Processador Cliente Interno.

Processador do tipo Forma, Espaço e Tempo do 9º Nível. O processador recebe o Ácido Adípico Purificado (ou suspensão) do processador C7-Lavagem II na quantidade e qualidade exigida para produção de sal nylon.

E-Processador Cliente Externo.

Processador do tipo Forma, Espaço e Tempo do 9º Nível. O processador recebe o Ácido Adípico seco do processador C8-Secagem na quantidade e qualidade exigida pelo mercado externo.

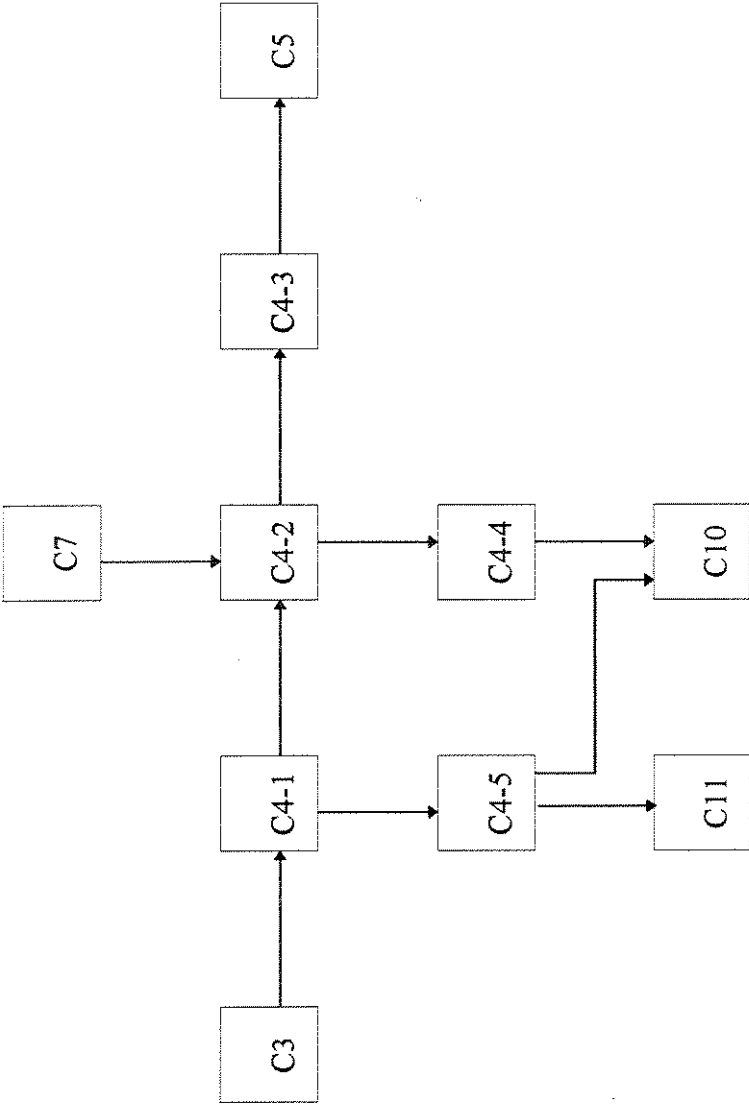


Figura A2 - Sistemógrafa do Sistema Produtivo Processador Lavagem I C4.

Descrevendo os processadores do processador Lavagem I - C4:

C4-1 - Processador de Filtração do Ácido Adípico.

Processador do tipo Forma (filtro) de 5º Nível (objeto com decisão). O processador separa o Ácido Adípico cristalizado dos ácidos mães permitindo uma pré retirada de impurezas do produto (Ácido Adípico), recuperando o ácido nítrico colocado em excesso e reciclando os catalisadores da reação (vanádio e cobre), mantendo os parâmetros de controle dentro do especificado pelo sistema decisional.

O processador recebe matéria/energia dos processadores C3-Cristalização (Ácido Adípico cristalizado) e C4-4 (águas mães) e envia aos processadores C4-2 (Ácido Adípico filtrado) e C4-5 (ácidos mães).

C4-2 - Processador de Lavagem do Ácido Adípico.

Processador do tipo Forma (lavador) de 7º Nível (objeto coordenado). O processador lava os cristais de Ácido Adípico, permitindo a retirada de impurezas. O processador tem a capacidade de coordenação, tratando e selecionando as informações necessárias/ suficientes para o controle do sistema operacional.

O processador recebe matéria/ energia dos processadores C4-1 (Ácido Adípico filtrado) e C7 - Lavagem II (água para lavagem dos cristais) e envia aos processadores C4-3 (Ácido Adípico técnico) e C-4-4 (águas residuais de lavagem, águas mães).

C4-3 - Processador de Estocagem do Ácido Adípico Técnico.

Processador do tipo Tempo (estocagem) de 2º Nível (objeto ativo): o processador recebe o Ácido Adípico lavado (Ácido Adípico técnico) de forma a garantir a estabilidade tanto dos processadores a montante quanto dos a jusante.

O processador recebe matéria/ energia do processador C4-2 e envia ao processador C5 - Tratamento a Carvão

C4-4 - Processador de Estocagem de Águas Mães.

Processador do tipo Tempo (estocagem) de 2º Nível (objeto ativo). O processador estoca as águas residuais da lavagem, águas mães, de forma a garantir a estabilidade tanto dos processadores a montante quanto dos a jusante.

O processador recebe matéria/ energia dos processador C4-3 (águas mães) e envia ao processador C10-CCN (recuperação do ácido nítrico)

C4-5 - Processador de Estocagem de Ácidos Mães.

Processador do tipo Tempo (estocagem) de 7º Nível (objeto ativo). O processador estoca os ácido mães (contendo além de água e nítrico, cobre, vanádio, diácidos inferiores e Ácido Adípico arrastado/ não cristalizado), de forma a garantir a estabilidade tanto dos processadores a montante quanto dos a jusante. De acordo com os comandos do sistema decisional, o processador decide pelo valor de repartição de envio de ácidos mães aos processadores C10-CCN e C11-Eflaad.

O processador recebe matéria/ energia do processador C4-1 e envia aos processadores C10 - CCN e C11 - Eflaad.

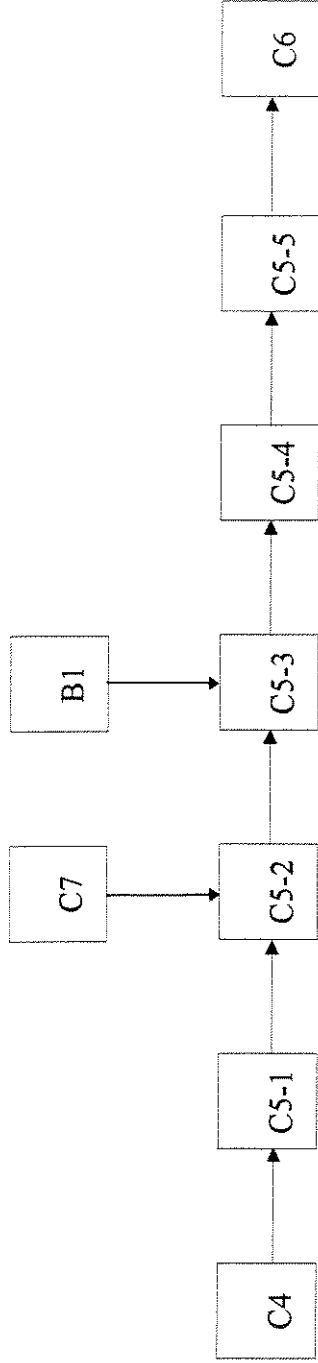


Figura A3 - Sistemógrafo do Sistema Produtivo Processador Tratamento a Carvão C5

Descrevendo os processadores do processador Tratamento a Carvão - C5:

C5-1 - Processador de Filtração de Ácido Adípico Técnico.

Processador do tipo Forma (filtro) de 5º Nível (objeto com decisão). O processador separa os cristais de Ácido Adípico técnico das águas mães, promovendo mais uma etapa de purificação do produto, de acordo com os parâmetros de controle especificados pelo sistema decisional.

O processador recebe matéria/ energia do processador C4-Lavagem I (Ácido Adípico técnico) e envia ao processador C5-2 (Ácido Adípico técnico “seco”).

C5-2 - Processador de Dissolução de Ácido Adípico.

Processador do tipo Forma (dissolutor) de 7º nível (objeto coordenado). O processador dissolve os cristais de Ácido Adípico permitindo a operação do processador a montante (C5-3 - Tratamento a Carvão). O processador controla a concentração de Ácido Adípico dissolvido (produto) e a temperatura da solução seguindo as informações de comando do sistema decisional.

O processador recebe matéria/ energia dos processadores C5-1 (Ácido Adípico técnico “seco”) e C7 - Lavagem II (água p/ dissolução) e envia aos processador C5-3 (Ácido Adípico dissolvido).

C5-3 - Processador de Tratamento a Carvão.

Processador do tipo Forma (filtro) de 5º Nível (objeto com decisão). O processador purifica o Ácido Adípico através da sua passagem por um leito de carvão ativo. O processador realiza a troca do leito de carvão (saturação do leito) conforme informações de comando do sistema decisional (baseadas na consulta do sistema informacional).

O processador recebe matéria/ energia dos processadores C5-2 (Ácido Adípico dissolvido) e B1-Fornecedor de Carvão Ativo (leito novo de carvão ativo) e envia ao processador C5-4 (Ácido Adípico dissolvido e tratado).

C5-4 - Processador de Filtração do Carvão Ativo.

Processador do tipo Forma (filtro) de 5º Nível (objeto com decisão). O processador retém a carvão ativo presente no Ácido Adípico dissolvido e tratado através da sua passagem por um filtro de papel. O processador realiza a troca do filtro de papel conforme informações de comando do sistema decisional.

O processador recebe matéria/ energia dos processadores C5-3 (Ácido Adípico dissolvido e tratado) e do B1-Fornecedor de Filtro de Papel (novo conjunto de filtros de papel) e envia ao processador C5-5 (Ácido Adípico dissolvido, tratado e filtrado).

C5-5 - Processador de Estocagem de Ácido Adípico Dissolvido e Tratado.

Processador do tipo Tempo (estocagem) do 2º Nível (objeto ativo). O processador estoca o Ácido Adípico dissolvido, tratado e filtrado permitindo a passagem de um sistema contínuo para um descontínuo.

O processador recebe matéria/ energia do processador C5-4 (Ácido Adípico dissolvido, tratado e filtrado) e envia ao processador C-6 - Recristalização.

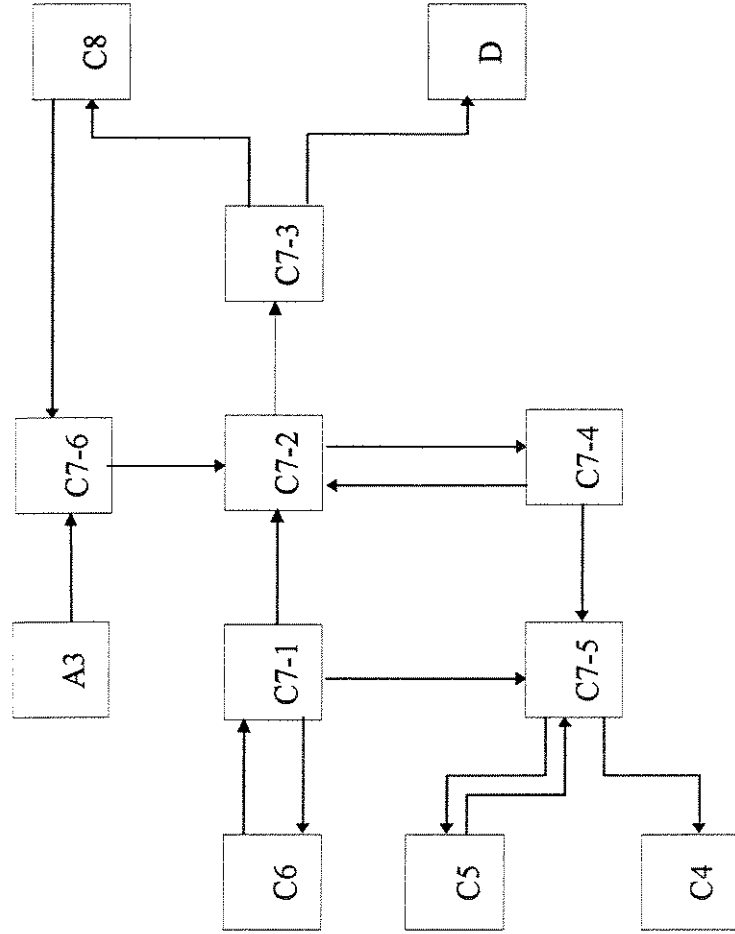


Figura A4 - Sistemógrafa do Sistema Produtivo Processador Lavagem II C7.

Descrevendo os processadores do processador Lavagem II - C7:

C7-1 - Processador de Filtração de Ácido Adípico Recristalizado.

Processador do tipo Forma (filtro) de 5º Nível (objeto com decisão). O processador separa os cristais de Ácido Adípico recristalizado da água utilização para dissolução, promovendo mais uma etapa de purificação do produto, de acordo com os parâmetros de controle especificados pelo sistema decisional.

O processador recebe matéria/ energia do processador C6-Recristalização (Ácido Adípico recristalizado) e envia ao processador C7-2 (Ácido Adípico filtrado).

C7-2 - Processador de Lavagem do Ácido Adípico.

Processador do tipo Forma (lavador) de 7º Nível (objeto coordenado). O processador lava os cristais de Ácido Adípico, permitindo a retirada de impurezas finais neles contidas (é a última etapa de purificação). O processador tem a capacidade de coordenação, tratando e selecionando as informações necessárias/ suficientes para o controle do sistema operacional.

O processador recebe matéria/ energia dos processadores C7-1 (Ácido Adípico filtrado) e C7 - Lavagem II (água para lavagem dos cristais) e envia aos processadores C4-3 (Ácido Adípico técnico) e C-4-4 (águas residuais de lavagem, águas mães).

C7-3 - Processador de Estocagem de Ácido Adípico Purificado ou Suspensão.

Processador do tipo Tempo (estocagem) do 2º Nível (objeto ativo). O processador estoca o Ácido Adípico Purificado ou Suspensão (produto final).

O processador recebe matéria/ energia do processador C7-2 (ácido purificado ou suspensão) e envia aos processadores C-8 - Secagem e ao cliente interno D - Sal Nylon.

C7-4 - Processador de Estocagem da Água de Lavagem.

Processador do tipo Tempo (estocagem) do 2º Nível (objeto ativo). O processador estoca as águas residuais da lavagem dos cristais de Ácido Adípico para sua posterior recuperação no processo produtivo.

O processador recebe matéria/ energia dos processadores C7-2 (águas residuais) e envia ao processador C7-5.

C7-5 - Processador de Estocagem de Águas Residuais.

Processador do tipo Tempo (estocagem) do 2º Nível (objeto ativo). O processador estoca as águas residuais originárias da filtração do Ácido Adípico recristalizado e da lavagem dos cristais de Ácido Adípico (via processador C7-4) para sua recuperação no processo produtivo.

O processador recebe matéria/ energia dos processadores C7-1 (águas residuais da filtração) e C7-4 (água residual da lavagem) e envia aos processadores C5-Tratamento a Carvão (água para diluição) e C4-Lavagem I (água para lavagem dos cristais de Ácido Adípico).

ANEXO B - Processadores do Sistema da Qualidade da Unidade Ácido Adípico.

Descrevendo os processadores do sistema da qualidade da unidade Ácido Adípico:

C1 - Processador de Preparação de Catalisadores.

Processador do tipo Forma (análise química, cálculo e reflexão), Tempo (memória) e Espaço (transporte, comunicação e comando) do 6º Nível (Objeto Coordenado). O processador possui sistema operacional, informacional e decisional.

Sistema Operacional: o processador realiza a análise química da qualidade do ácido nítrico consumido com uma frequência definida pelo sistema decisional.

Sistema Informacional: o processador coleta as informações relativas a qualidade do ácido nítrico geradas pelo sistema operacional e as fornece, juntamente com especificação e frequência requeridas, ao sistema decisional.

Sistema Decisional: o processador compara o resultado da qualidade do ácido nítrico consumido com a especificação requerida do sistema informacional. Se o resultado da comparação indica matéria-prima fora de especificação, decide pela continuidade do consumo ou não através da experiência adquirida (consulta ao sistema informacional), informando da sua decisão ao processador A1-Fornecedor de Ácido Nítrico.

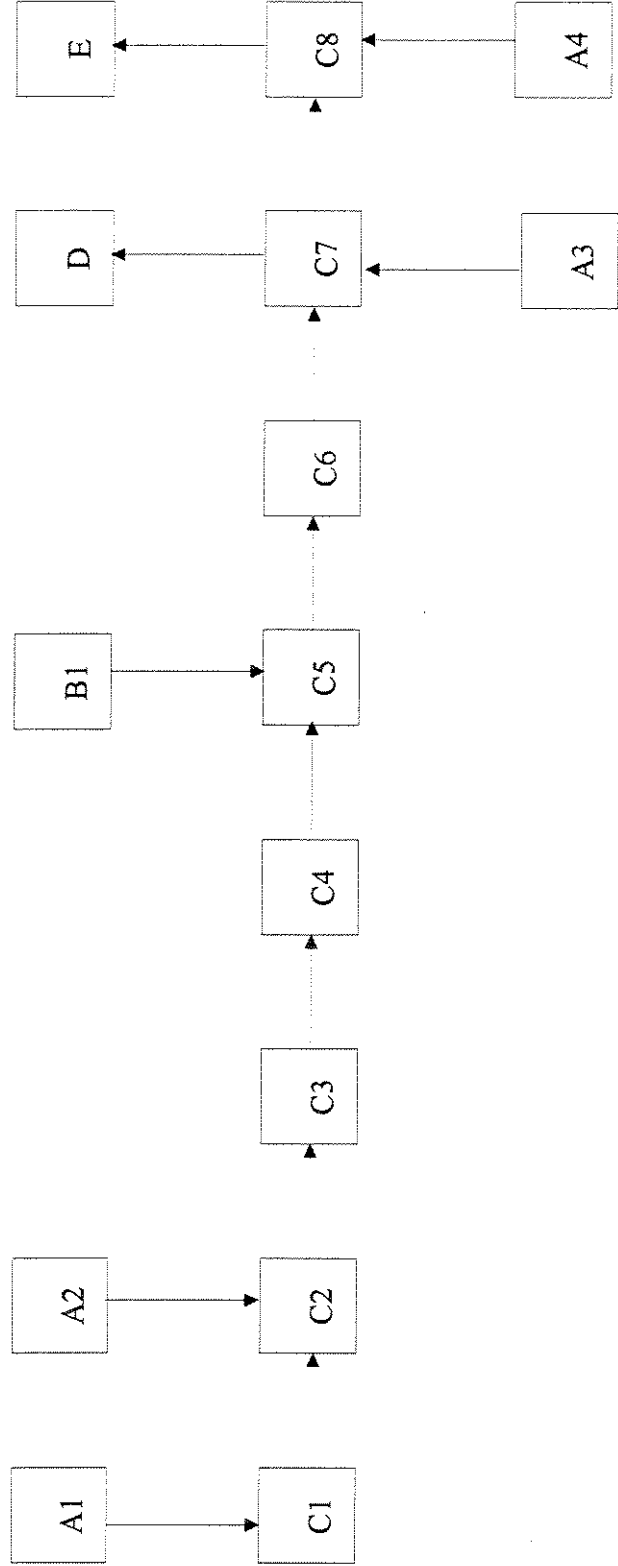


Figura B1 - Sistemógrafo do Sistema Operacional do Sistema do Processo Produtivo - Simplificado

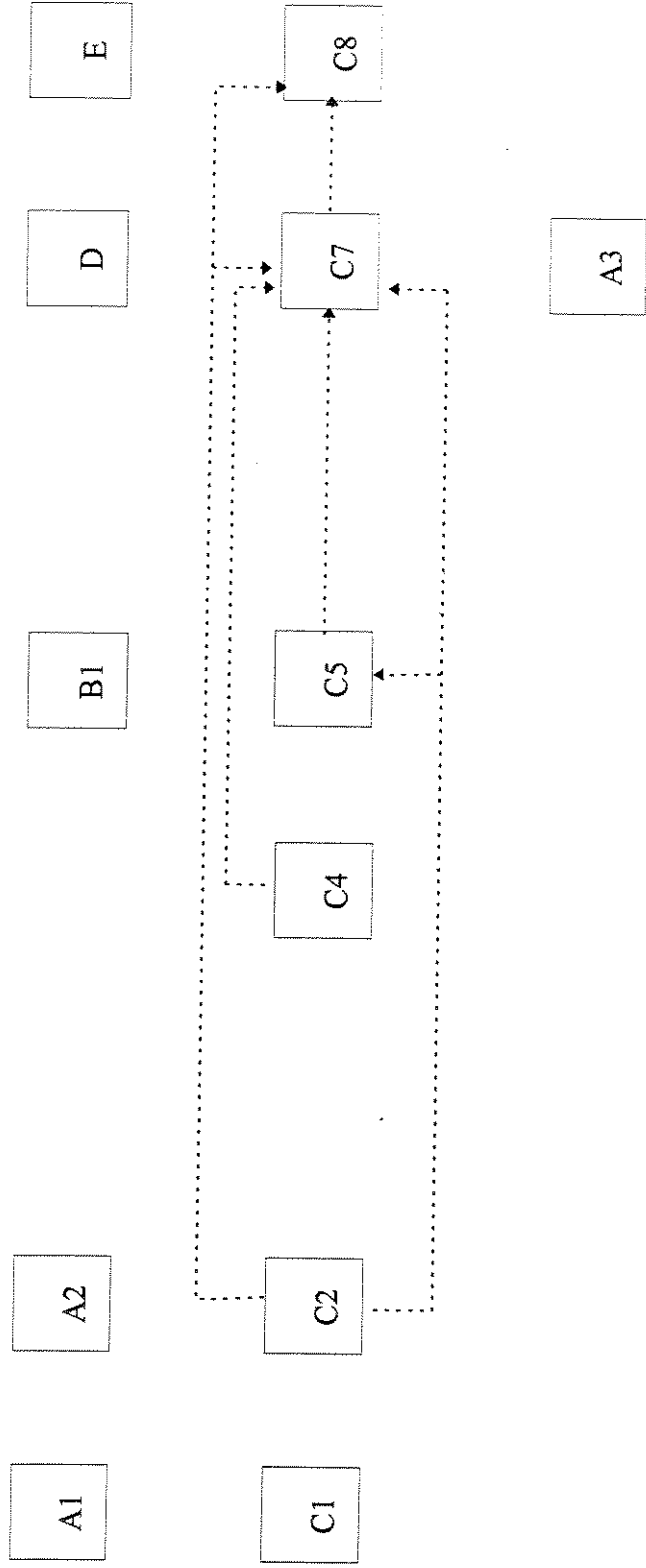


Figura B2 - Sistemógrafo do Sistema Informacional do Sistema da Qualidade do Adípico Atual.

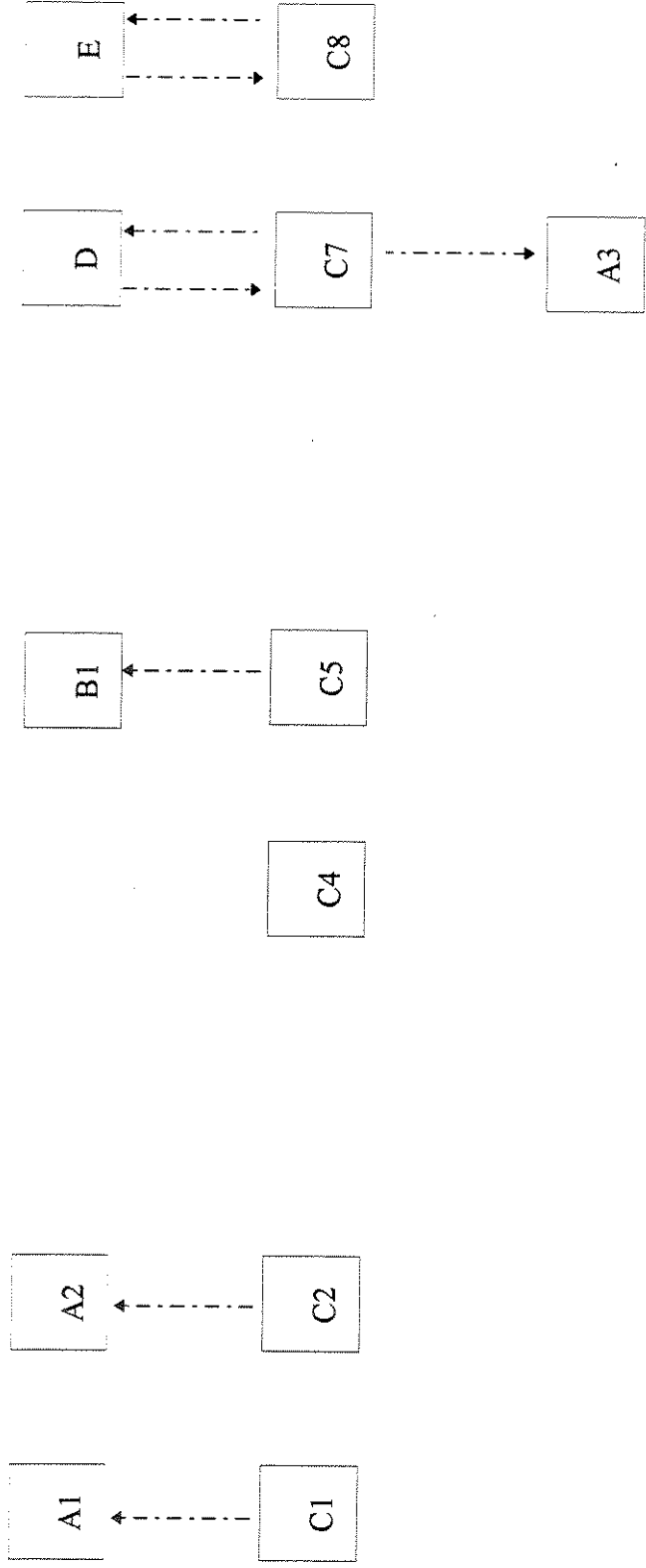


Figura B3 - Sistemógrafo do Sistema Decisional do Sistema da Qualidade do Adípico Atual.

C2 - Processador de Oxidação do Cicloexanol.

Processador do tipo Forma (análise química, cálculo e reflexão), Tempo (memória) e Espaço (transporte, comunicação e comando) do 6º Nível (Objeto Coordenado). O processador possui sistema operacional, informacional e decisional.

Sistema Operacional: o processador realiza a análise química da qualidade cicloexanol consumido com uma frequência definida pelo sistema decisional.

Sistema Informacional: o processador coleta as informações relativas a qualidade do cicloexanol geradas pelo sistema operacional e as fornece, juntamente com especificação e frequência requeridas, ao sistema decisional. O processador disponibiliza aos sistemas informacionais dos processadores C5-Processador de Dissolução do Ácido Adípico Técnico e de Tratamento a Carvão e C7-Processador de 2ª Lavagem de Ácido Adípico a produção teórica do dia (calculada a partir do cicloexanol consumido), e aos sistemas informacionais dos processadores C7-2ª Lavagem do Ácido Adípico e C8-Processador de Secagem de Ácido Adípico Purificado o resultado da comparação com a especificação do cicloexanol, fornecida pelo sistema decisional.

Sistema Decisional: o processador compara o resultado da qualidade do cicloexanol consumido e a especificação requerida do sistema informacional. Se o resultado da comparação indica matéria-prima fora de especificação, decide pela continuidade do consumo ou não através da experiência adquirida (consulta ao sistema informacional), informando da sua decisão ao sistema informacional e ao processador A2-Fornecedor de Cicloexanol.

C3 - Processador de Cristalização do Ácido Adípico.

Processador do 1º Nível (Objeto Passivo). O processador é inerte quanto ao Sistema da Qualidade.

C4 - Processador de 1ª Lavagem de Ácido Adípico.

Processador do tipo Forma (análise química, cálculo e reflexão), Tempo (memória) e Espaço (transporte, comunicação e comando) do 6º Nível (Objeto Coordenado). O processador possui sistema operacional, informacional e decisional.

Sistema Operacional: o processador realiza a análise química da qualidade do Ácido Adípico técnico produzido (vide figura A2, anexo A - processador C4-2 - Lavagem do Ácido Adípico) com uma frequência definida pelo sistema decisional.

Sistema Informacional: o processador coleta as informações relativas a qualidade do Ácido Adípico técnico produzido geradas pelo sistema operacional e as fornece, juntamente com especificação e frequência requeridas, ao sistema decisional. O processador disponibiliza ao sistema informacional do processador C7 - 2ª Lavagem de Ácido Adípico o resultado da comparação com a especificação, fornecido pelo sistema decisional.

Sistema Decisional: o processador compara o resultado da qualidade do Ácido Adípico técnico produzido e a especificação requerida do sistema informacional. Se o resultado da comparação indica produto intermediário fora de especificação, decide pelo ajuste da vazão de lavagem (vide figura A2, anexo A - processador C4-2 - Lavagem do Ácido Adípico) e pelo registro da ocorrência no sistema informacional.

C5 - Processador de Dissolução de Ácido Adípico Técnico e de Tratamento a Carvão.

Processador do tipo Forma (análise química, cálculo e reflexão), Tempo (memória) e Espaço (transporte, comunicação e comando) do 6º Nível (Objeto Coordenado). O processador possui sistema operacional, informacional e decisional.

Sistema Operacional: o processador realiza a análise de observação da qualidade do Ácido Adípico dissolvido e tratado, verificando a existência ou não de pontos negros na amostra (presença de carvão ativo). O processador realiza a análise química da qualidade de cada novo lote de carvão ativo com uma frequência definida pelo sistema decisional.

Sistema Informacional: o processador coleta as informações relativas a qualidade do Ácido Adípico dissolvido e do novo lote de carvão ativo geradas pelo sistema operacional e as fornece, juntamente com especificação e frequência requeridas, ao sistema decisional. O processador disponibiliza ao sistema informacional do processador C7-Processador de 2ª Lavagem de Ácido Adípico o resultado da comparação com a especificação do novo lote de carvão ativo, fornecido pelo sistema decisional.

Sistema Decisional: o processador compara o resultado da qualidade do Ácido Adípico dissolvido e tratado e do novo lote de carvão ativo com a especificação requerida do sistema informacional. Se o resultado da comparação indica Ácido Adípico dissolvido e tratado fora de especificação, decide pelo reprocessamento do produto, pela troca do filtro de papel do processador C5-4 - Processador de Filtração do Carvão Ativo (vide figura 3.2.5) e pelo aumento da frequência de observação da amostra. Se resultado da comparação indica novo lote de carvão ativo fora de especificação, decide pela aceitação ou não baseado na experiência vivida e pelo registro da ocorrência e da decisão no sistema informacional.

C6 - Processador de Recristalização de Ácido Adípico.

Processador do 1º Nível (Objeto Passivo). O processador é inerte quanto ao Sistema da Qualidade.

C7 - Processador de 2ª Lavagem do Ácido Adípico.

Processador do tipo Forma (análise química, cálculo e reflexão), Tempo (memória) e Espaço (transporte, comunicação e comando) do 6º Nível (Objeto Coordenado). O processador possui sistema operacional, informacional e decisional.

Sistema Operacional: o processador realiza a análise química da qualidade do Ácido Adípico Purificado e da água bidesmineralizada consumida.

Sistema Informacional: o processador coleta as informações relativas a qualidade do Ácido Adípico Purificado e da água bidesmineralizada geradas pelo sistema operacional e as fornece,

juntamente com especificação e frequência requeridas, ao sistema decisional. O processador confere a marcha teórica da unidade, qualidade do cicloexanol consumido, do Ácido Adípico técnico e do novo lote de carvão ativo junto ao sistema informacional dos processadores C2-Oxidação do Cicloexanol, C4-1ª Lavagem do Ácido Adípico e C5-Dissolução do Ácido Adípico e Tratamento a Carvão, disponibilizando essas informações ao sistema decisional. O processador disponibiliza ao sistema informacional do processador C8 - Secagem do Ácido Adípico o resultado da comparação com a especificação do Ácido Adípico Purificado.

Sistema Decisional: o processador compara o resultado da qualidade do Ácido Adípico Purificado e da água bidesmineralizada com a especificação requerida disponíveis no sistema informacional. Se o resultado da comparação indica Ácido Adípico Purificado fora de especificação, decide pela correção do processo (busca de problemas), pelo aumento da frequência analítica e pela comunicação da ocorrência ao processador D-Cliente Interno (sendo que este decide se pode ou não aceitar o produto), registrando a ocorrência no sistema informacional. Se o resultado da comparação indica água desmineralizada fora de especificação, decide pela parada de consumo (conseqüente parada de produção), pelo aumento da frequência analítica e pela comunicação da ocorrência ao processador A3 - Fornecedor de Água Bidesmineralizada. Com base na qualidade do cicloexanol consumido e do novo lote de carvão ativo, decide pelo aumento da frequência analítica da qualidade do Ácido Adípico Purificado. Com base na produção teórica e qualidade do Ácido Adípico técnico, decide pela correção da vazão de lavagem do Ácido Adípico no processador C7-2 - Lavagem do Ácido Adípico (vide figura A2, anexo 2).

C8 - Processador de Secagem de Ácido Adípico.

Processador do tipo Forma (análise química, cálculo e reflexão), Tempo (memória) e Espaço (transporte, comunicação e comando) do 6º Nível (Objeto Coordenado). O processador possui sistema operacional, informacional e decisional.

Sistema Operacional: o processador realiza a análise de química da qualidade do Ácido Adípico seco e corrige a temperatura do gás de secagem do Ácido Adípico conforme decisões do sistema decisional.

Sistema Informacional: o processador coleta as informações relativas a qualidade do Ácido Adípico Seco e Ácido Adípico Purificado ou Suspensão (gerada no processador C7) e fornece, juntamente com especificação e frequência requeridas, ao sistema decisional. O processador disponibiliza ao sistema decisional o valor da temperatura do gás de secagem de Ácido Adípico juntamente com o valor de especificação. O processador confere a qualidade do cicloexanol consumido e do Ácido Adípico Purificado fornecida pelos sistemas informacionais dos processadores C5 - Dissolução de Ácido Adípico Técnico e de Tratamento a Carvão e C7 - 2ª Lavagem do Ácido Adípico e disponibiliza essa informação ao sistema decisional. O processador registra a ocorrência de produto fora de especificação e o número do lote não conforme.

Sistema Decisional: o processador compara o resultado da qualidade do Ácido Adípico seco com a especificação requerida disponível no sistema informacional. Se o resultado da comparação indica Ácido Adípico seco fora de especificação, decide pela segregação do Ácido Adípico seco e pelo registro da ocorrência de produto não conforme (o produto poderá ser re-processado ou vendido sob concessão ao cliente externo se este assim decidir). O processador, se o resultado da comparação com a especificação indica necessidade de ajuste, decide pela correção da temperatura do gás de secagem de Ácido Adípico. Com base na qualidade do cicloexanol consumido e do Ácido Adípico Purificado ou Suspensão, decide pelo aumento da frequência analítica da qualidade do Ácido Adípico Seco.

ANEXO C - Sistemógrafos do Sistema da Qualidade Modificado da Unidade Ácido Adípico.

Descrevendo os processadores do sistema da qualidade modificado:

A1 - Processador Fornecedor de Ácido Nítrico.

Processador do tipo Forma (análise química, cálculo e reflexão), Tempo (memória) e Espaço (transporte, comunicação e comando) do 9º Nível (Objeto com Pilotagem). O processador possui sistema operacional, informacional e decisional.

Sistema Informacional: o processador fornece ao processador Ácido Adípico (C) as informações relativas a qualidade do ácido nítrico, disponibilizando todas as informações de interesse do processador Ácido Adípico. O processador recebe do sistema informacional do processador Ácido Adípico (C) as informações sobre o comportamento do processo produtivo ao consumir o ácido nítrico fornecido.

Sistema Decisional: o processador compara o resultado da qualidade do ácido nítrico fornecido com a especificação requerida pelo processador Ácido Adípico. Se o resultado da comparação indica matéria-prima fora de especificação, decide, juntamente com o processador Ácido Adípico, pela continuidade do consumo ou não através da experiência adquirida e disponibilizada nos respectivos sistemas informacionais (a soberania continua sendo do processador Ácido Adípico). Com as informações relativas ao comportamento do processo produtivo do processador Ácido Adípico (disponibilizadas pelo seu sistema informacional) decide por ações de melhoria da qualidade do ácido nítrico, registrando a decisão e os resultados obtidos no seu sistema informacional.

A2 - Processador Fornecedor de Cicloexanol.

Processador do tipo Forma (análise química, cálculo e reflexão), Tempo (memória) e Espaço (transporte, comunicação e comando) do 9º Nível (Objeto com Pilotagem). O processador possui sistema operacional, informacional e decisional.

Sistema Informacional: o processador fornece ao processador Ácido Adípico (C) as informações relativas a qualidade do cicloexanol, disponibilizando todas as informações de interesse do processador Ácido Adípico. O processador recebe do sistema informacional do processador Ácido Adípico (C) as informações sobre o comportamento do processo produtivo ao consumir o cicloexanol fornecido.

Sistema Decisional: o processador compara o resultado da qualidade do cicloexanol fornecido com a especificação requerida pelo processador Ácido Adípico. Se o resultado da comparação indica matéria-prima fora de especificação, decide, juntamente com o processador Ácido Adípico, pela continuidade do consumo ou não através da experiência adquirida e disponibilizada nos respectivos sistemas informacionais (a soberania continua sendo do processador Ácido Adípico). Com as informações relativas ao comportamento do processo produtivo do processador Ácido Adípico (disponibilizadas pelo seu sistema informacional) decide por ações de melhoria da qualidade do cicloexanol, registrando a decisão e os resultados obtidos no seu sistema informacional.

A3 - Processador Fornecedor de Água Bidesmineralizada.

Processador do tipo Forma (análise química, cálculo e reflexão), Tempo (memória) e Espaço (transporte, comunicação e comando) do 9º Nível (Objeto com Pilotagem). O processador possui sistema operacional, informacional e decisional.

Sistema Informacional: o processador fornece ao processador Ácido Adípico (C) as informações relativas a qualidade da água bidesmineralizada, disponibilizando todas as informações de interesse do processador Ácido Adípico. O processador recebe do sistema informacional do processador Ácido Adípico (C) as informações sobre o comportamento do processo produtivo ao consumir a água bidesmineralizada fornecida.

Sistema Decisional: o processador compara o resultado da qualidade da água bidesmineralizada fornecida com a especificação requerida pelo processador Ácido Adípico. Se o resultado da comparação indica matéria-prima fora de especificação, decide, juntamente com o processador Ácido Adípico, pela continuidade do consumo ou não através da experiência

adquirida e disponibilizada nos respectivos sistemas informacionais (a soberania continua sendo do processador Ácido Adípico). Com as informações relativas ao comportamento do processo produtivo do processador Ácido Adípico (disponibilizadas pelo seu sistema informacional) decide por ações de melhoria da qualidade da água bidesmineralizada, registrando a decisão e os resultados obtidos no seu sistema informacional.

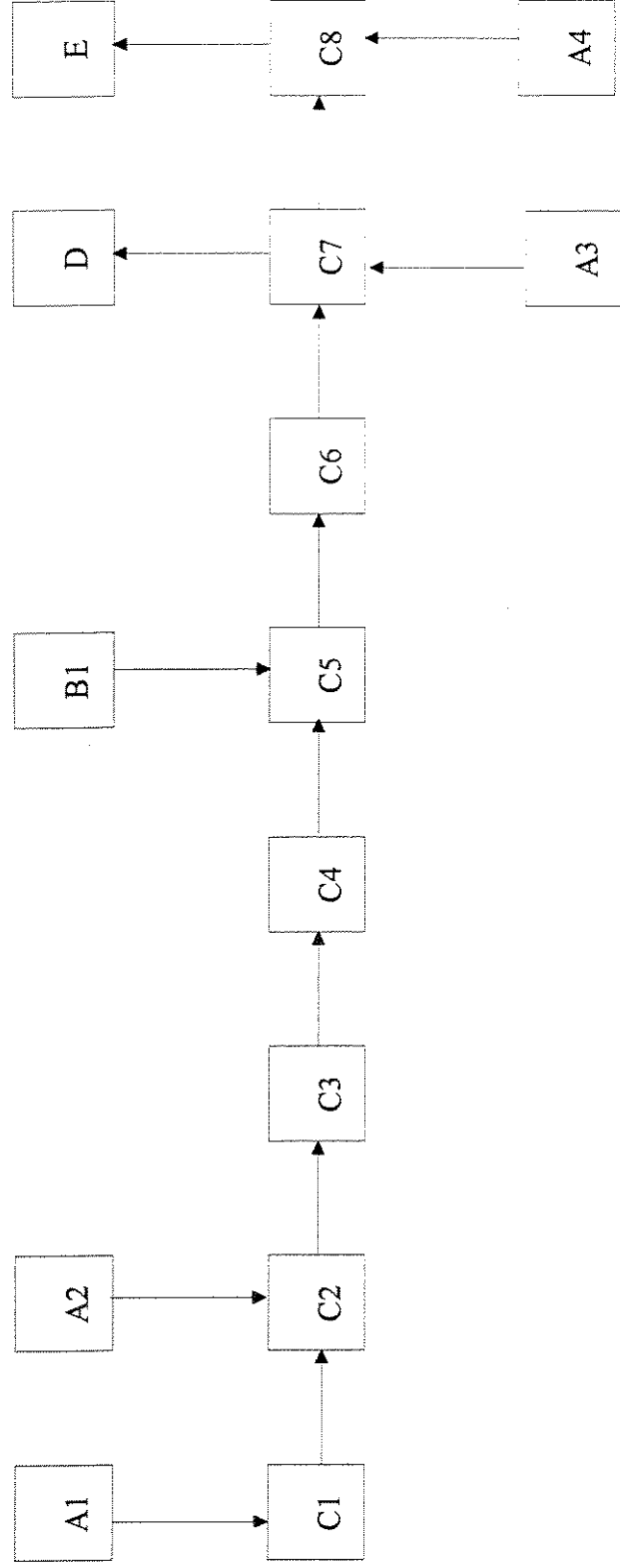


Figura C1 - Sistemógrafo do Sistema Produtivo - Simplificado

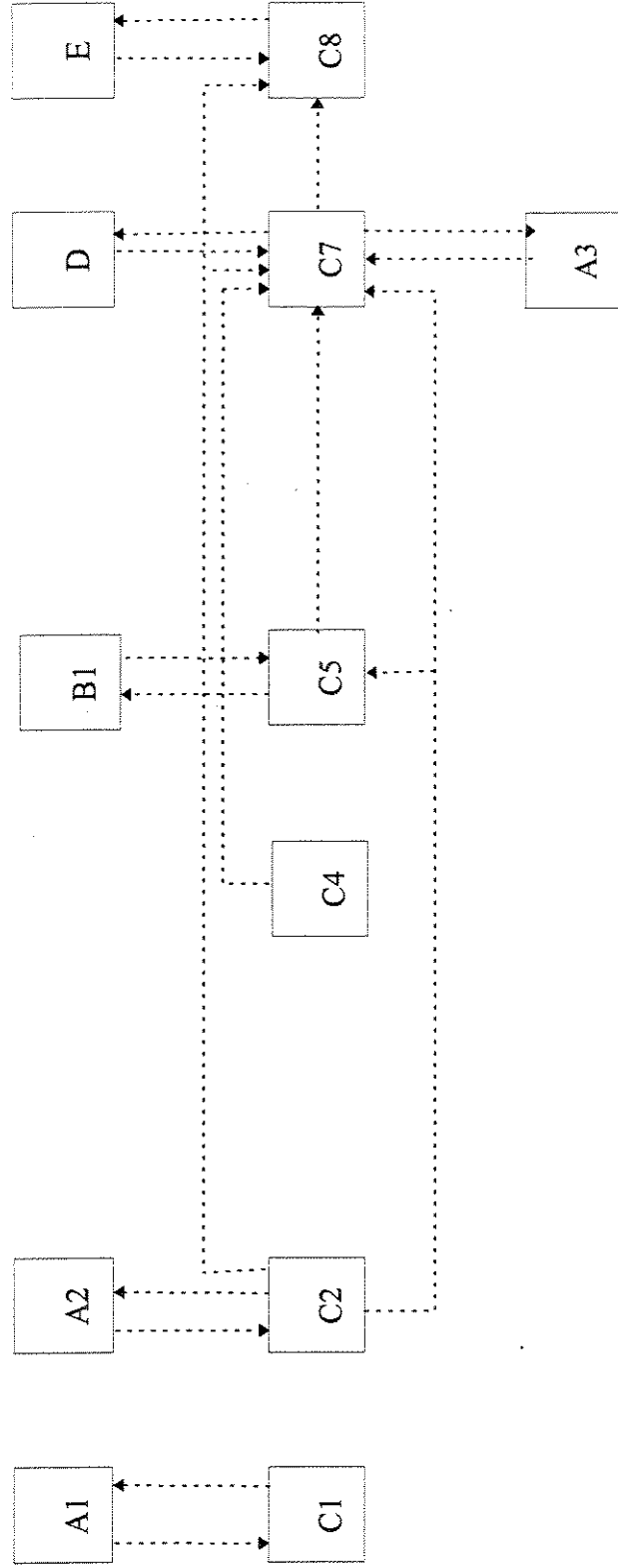


Figura C2 - Sistemógrafa do Sistema Informacional do Sistema Modificado da Qualidade do Adípico.

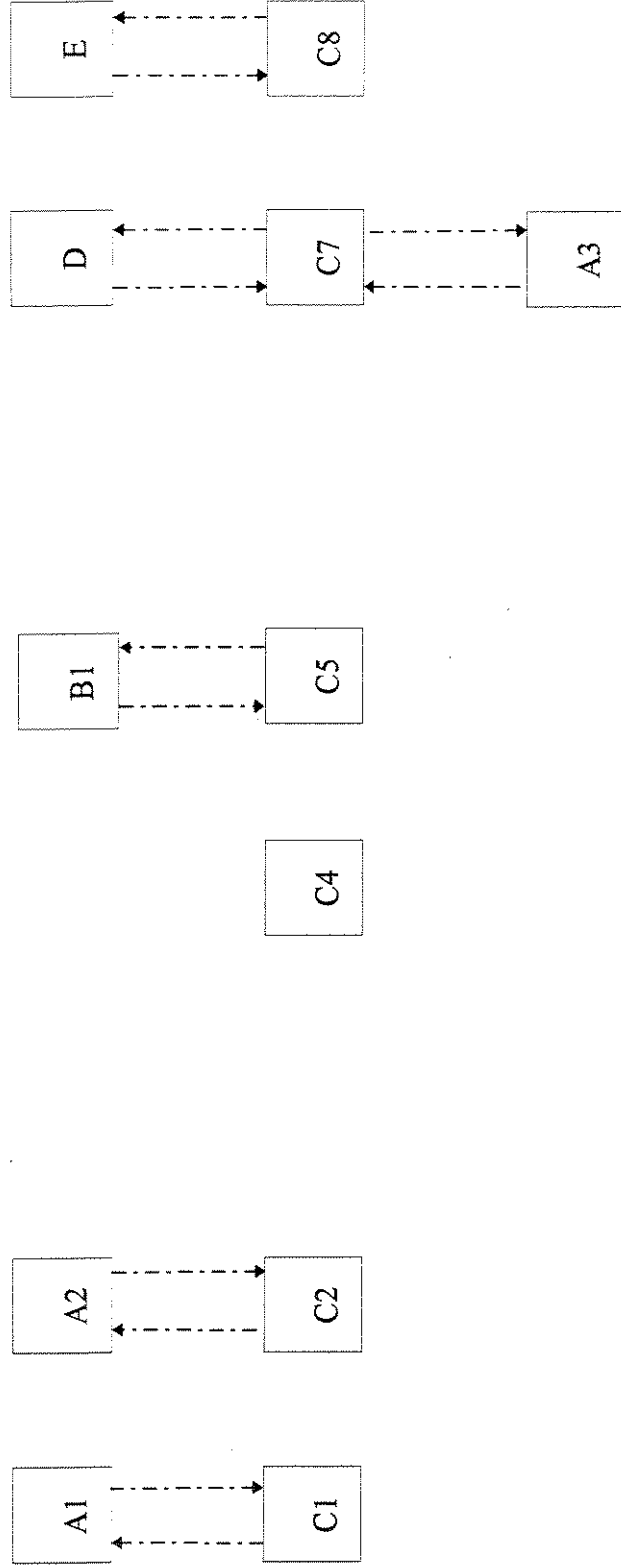


Figura C3 - Sistemógrafo do Sistema Decisional do Sistema Modificado da Qualidade do Adipico.

B1 - Processador Fornecedor de Carvão Ativo.

Processador do tipo Forma (análise química, cálculo e reflexão), Tempo (memória) e Espaço (transporte, comunicação e comando) do 9º Nível (Objeto com Pilotagem). O processador possui sistema operacional, informacional e decisional.

Sistema Informacional: o processador fornece ao processador Ácido Adípico (C) as informações relativas a qualidade do carvão ativo, disponibilizando todas as informações de interesse do processador Ácido Adípico. O processador recebe do sistema informacional do processador Ácido Adípico (C) as informações sobre o comportamento do processo produtivo ao consumir o carvão ativo fornecido.

Sistema Decisional: o processador compara o resultado da qualidade do carvão ativo fornecido com a especificação requerida pelo processador Ácido Adípico. Se o resultado da comparação indica matéria-prima fora de especificação, decide, juntamente com o processador Ácido Adípico, pela continuidade do consumo ou não através da experiência adquirida e disponibilizada nos respectivos sistemas informacionais (a soberania continua sendo do processador Ácido Adípico). Com as informações relativas ao comportamento do processo produtivo do processador Ácido Adípico (disponibilizadas pelo seu sistema informacional) decide por ações de melhoria da qualidade do carvão ativo, registrando a decisão e os resultados obtidos no seu sistema informacional.

Obs.: Para cada tipo de utilização, o carvão ativo exerce uma função específica devido as particularidades do processo produtivo. Como normalmente o número de clientes de carvão ativo é muito grande e seu consumo individualmente pequeno, acredito seria inviável para o fornecedor estabelecer uma relação mais estreita, conforme proposto.

D - Processador Cliente Interno

Processador do tipo Forma (análise química, cálculo e reflexão), Tempo (memória) e Espaço (transporte, comunicação e comando) do 9º Nível (Objeto com Pilotagem). O processador possui sistema operacional, informacional e decisional.

Sistema Informacional: o processador recebe do processador Ácido Adípico (C) as informações relativas a qualidade do Ácido Adípico Purificado ou Suspensão, disponibilizando todas as informações de interesse do processador Cliente Interno. O processador recebe do sistema informacional do processador Cliente Interno as informações sobre o comportamento do processo produtivo ao consumir o Ácido Adípico Purificado ou Suspensão fornecido.

Sistema Decisional: o processador decide, se o resultado da comparação indica matéria-prima fora de especificação, juntamente com o processador Ácido Adípico, pela continuidade do consumo ou não através da experiência adquirida e disponibilizada nos respectivos sistemas informacionais (a soberania continua sendo do processador Cliente Interno). O processador identifica possíveis melhorias na qualidade do Ácido Adípico Purificado ou Suspensão que possibilitem melhorias na qualidade do Sal Nylon produzido, informando o processador Ácido Adípico (C) e registrando no seu sistema informacional.

Obs.: Por ser um Cliente Interno, essa proximidade pode ser até mais forte, permitindo, por exemplo, otimizações na inspeção dos respectivos produtos finais (eliminando análises redundantes).

E - Processador Cliente Externo.

Processador do tipo Forma (análise química, cálculo e reflexão), Tempo (memória) e Espaço (transporte, comunicação e comando) do 9º Nível (Objeto com Pilotagem). O processador possui sistema operacional, informacional e decisional.

Sistema Informacional: o processador recebe do processador Ácido Adípico (C) as informações relativas a qualidade do Ácido Adípico Seco de seu interesse. O processador recebe do sistema informacional do processador Ácido Adípico as informações sobre o comportamento do processo produtivo ao consumir o Ácido Adípico Seco fornecido.

Sistema Decisional: o processador decide, se o resultado da comparação indica matéria-prima fora de especificação, juntamente com o processador Ácido Adípico, pela continuidade do consumo ou não através da experiência adquirida e disponibilizada nos respectivos sistemas

informacionais (a soberania continua sendo do processador Cliente Externo). O processador identifica possíveis melhorias na qualidade do Ácido Adípico Purificado ou Suspensão que possibilitem melhorias na qualidade do seu produto final ou do seu processo produtivo (englobando os quatro parâmetros de medida de desempenho já citados), informando o processador Ácido Adípico (C) e registrando no seu sistema informacional.

Obs.: Como no caso do carvão ativo, existem diversos clientes de Ácido Adípico Seco. A diferença é que poucos clientes consomem mais de 90% da produção total. Talvez seja mais interessante concentrar esforços nos principais clientes ou nos mercados considerados estratégicos.

C - Processador de Ácido Adípico.

Processador do tipo Forma (análise química, cálculo e reflexão), Tempo (memória) e Espaço (transporte, comunicação e comando) do 9º Nível (Objeto com Pilotagem). O processador possui sistema operacional, informacional e decisional.

Sistema Informacional: o processador recebe dos processadores Fornecedores Internos e Externos as informações relativas a qualidade das matérias-primas e as demais informações de comum interesse. O processador recebe do sistema informacional do processador Cliente Interno e do processador Cliente Externo as informações sobre o comportamento do processo produtivo ao consumir o Ácido Adípico Purificado ou Suspensão e Ácido Adípico Seco fornecidos. O processador disponibiliza aos processadores Fornecedores Internos e Externos, as informações relativas ao comportamento das suas respectivas matérias-primas no seu processo produtivo (principalmente na qualidade de seus produtos finais).

Sistema Decisional: o processador decide, se o resultado da comparação indica matéria-prima fora de especificação, juntamente com os processadores Fornecedores Internos e Externos, pela continuidade do consumo ou não através da experiência adquirida e disponibilizada nos respectivos sistemas informacionais (a soberania continua sendo do processador Ácido Adípico). O processador identifica possíveis melhorias na qualidade do Ácido Adípico Purificado ou Suspensão baseado na consulta das informações disponibilizadas pelos

processadores Clientes Interno e Externo, informando-os e registrando no seu sistema informacional.

ANEXO D - ESTUDOS DE CASO

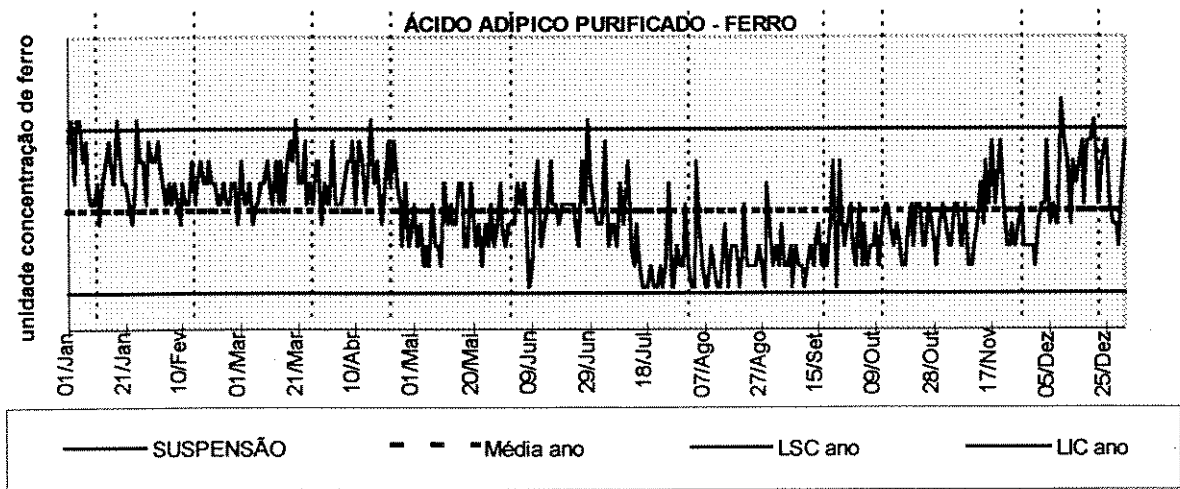
Quadro D1 - Estudo de Caso: Qualidade do Carvão Ativo

O sistema da qualidade têm uma preocupação especial com a qualidade do carvão ativo utilizado no processador C5-3 - Tratamento a Carvão, mais especificamente com a concentração da característica de especificação *ferro*. Acredita-se que o ferro contido no carvão acaba sendo transferido para o produto intermediário *Ácido Adípico tratado* e, como não existe nenhuma etapa do processo produtivo a montante que elimine o componente ferro, provoque aumento da sua concentração no *Ácido Adípico Purificado ou Suspensão*. Esse aumento poderia provocar a ocorrência de produto final não-conforme quanto a característica *ferro*.

Acredita-se que o maior risco é o início da operação da nova carga de carvão ativo, pois seria neste momento que liberaria a maior da quantidade de ferro presente.

Para se verificar a real existência destes efeitos no processo produtivo, foram realizados dois estudos: 1) acompanhamento da característica *ferro* de especificação do produto final *Ácido Adípico Purificado ou Suspensão*, observado-se alterações quando do momento de partida de uma nova carga de carvão ativo, e 2) análise da concentração de ferro presente no carvão ativo novo e após sua utilização no processo produtivo (denominado fim da campanha).

1) Acompanhamento da Característica Ferro no Ácido Adípico Purificado ou Suspensão.



O gráfico acima apresenta o comportamento da característica de especificação ferro para o Ácido Adípico Purificado ou Suspensão para o ano de 1996. As marcas indicadas (linhas pontilhadas) significam o momento logo após a partida de uma nova carga de carvão (início de uma nova campanha).

Analisando-se as tendências, percebe-se que realmente o carvão ativo têm alguma influência na característica ferro (pode-se observar saltos de concentração entre as diversas campanhas de carvão ocorridas durante o ano), mas não se verifica ocorrência de aumento da sua concentração no período logo após a partida da nova carga. Pelo contrário, em alguns casos o valor após a substituição foi menor que o período final da campanha anterior.

Continuação quadro 4.1

2) Análise da concentração de ferro presente no carvão ativo novo e após o fim de campanha.

Carvão Ativo Novo

<100

Carvão Ativo Usado

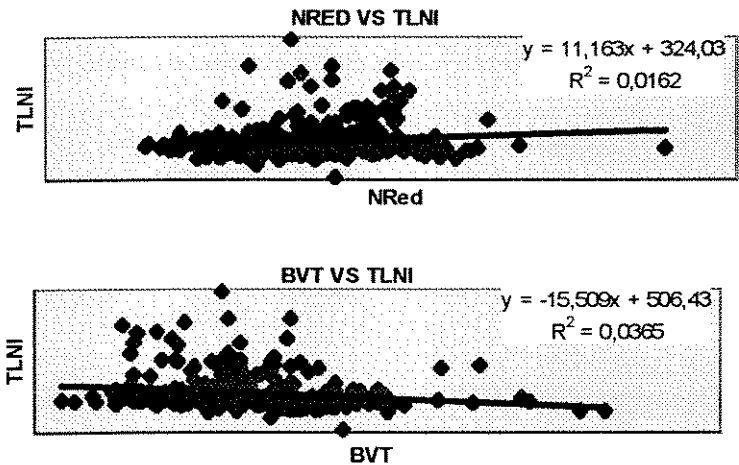
123

Observado-se o resultado apresentado acima, não houve indícios de que o ferro presente no carvão ativo novo foi transferido para o Ácido Adípico Tratado, pelo contrário, aparentemente o carvão reteve o ferro presente no produto de alimentação do processador.

Quadro D2 - Estudo de Caso: Qualidade do Cicloexanol

O cicloexanol é a principal matéria-prima para produção de Ácido Adípico. A sua qualidade é vista, pelo sistema, como essencial para o bom funcionamento da unidade, ou seja, essencial para o controle dos 4 parâmetros de medida de desempenho (Qualidade, Produtividade, Segurança e Higiene-Industrial). Para o parâmetro Qualidade, o sistema tem uma preocupação especial: a unidade aumenta o nível de controle de seus parâmetros principais (vide item 3.5) a cada ocorrência de não conformidade. Acredita-se que a qualidade das características de especificação do cicloexanol está diretamente ligada a qualidade das características de especificação BVT (Bases Voláteis Totais) e Nred (Nitrogênio Redutível) do Ácido Adípico Purificado ou Suspensão e, conseqüentemente, do Ácido Adípico Seco.

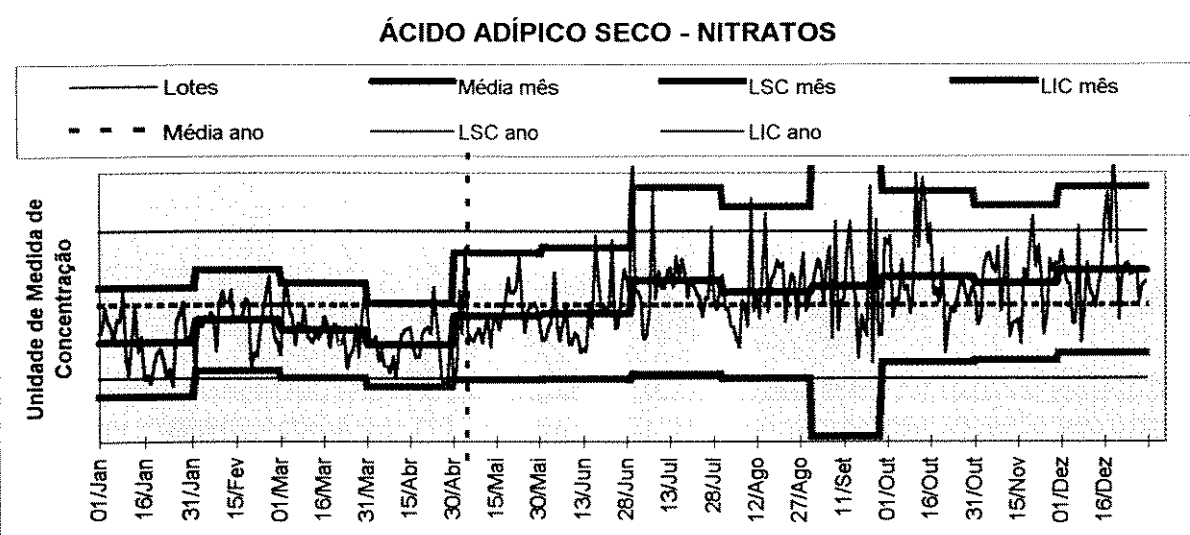
Com o objetivo de se verificar a dimensão deste impacto, foi realizado um estudo comparativo entre os resultados das impurezas presentes no cicloexanol e das impurezas presentes no Ácido Adípico Purificado ou Suspensão (BVT e Nred). Os gráficos de dispersão entre a característica TLNI de especificação do cicloexanol e as características BVT e Nred são um exemplo do resultado obtido.



Analisando-se as curvas de regressão e os coeficiente de determinação (R^2), não se pode afirmar se existe ou não uma relação direta entre as características apresentadas.

Quadro D3 - Estudo de Caso: Comportamento da Característica de Especificação Nitratos do Ácido Adípico Seco.

Durante a realização de um estudo sobre o comportamento da característica de especificação Nitratos do Ácido Adípico Seco foi verificado que, a partir de um determinado momento (maio/96- vide gráfico), os seus resultados haviam sofrido uma evolução sem que qualquer alteração significativa no processo produtivo tivesse sido registrada.



Um grupo de trabalho foi formado para identificar a causa (ou as causas) e propor soluções para corrigi-la. Durante o levantamento das possíveis causas (brainstorming) pelos integrantes do grupo, uma delas chamou atenção, pois tinha ocorrido na mesma época que o desvio surgiu: houve uma modificação no sistema de controle de velocidade de rotação do filtro de Ácido Adípico Técnico (processador C5-1, vide figura A3). Através do resultado de uma análise da umidade do Ácido Adípico Técnico após filtro (resultado bem acima do esperado), foi confirmada esta causa como a principal responsável pela degradação dos resultados da característica Nitratos. Até esse momento, não se acreditava que o efeito na umidade do Ácido Adípico Técnico após o filtro (processador C-5-1) fosse tão importante para a qualidade dos produtos finais e, portanto, não sendo considerada como uma variável crítica pelo Sistema de Controle da Qualidade do Produto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASQC. Quality Assurance for The Chemical and Process Industries: A Manual of Good Practices. ASQC Chemical and Process Industries Division, Chemical Interest Committee, 1987.
- ASQC. Specifications for the Chemical and Process Industries: A Manual for Development and Use. ASQC Chemical and Process Industries Division, Chemical Interest Committee, 1996a.
- ASQC. ISO9000 Guidelines for the Chemical and Process Industries. ASQC Chemical and Process Industries Division, Chemical Interest Committee, 1996b.
- ASKEY, J.M., DALE, B.G. From ISO9000 Series Registration to Total Quality Management: An Examination. *Quality Management Journal*, Summer, p. 67-76, 1994.
- BAJARIA, H.J. Statistical Process Control (SPC) and Automation. ASQC Quality Congress Transactions, 40th Annual Quality Congress, p. 76-83, 1986.
- BAJARIA, H.J. Quality Behind The Scene. ASQC Quality Congress Transactions, 44th Annual Quality Congress, p. 955-964, 1994.
- BEECROFT, G.D., SCHOTTMILLER, J.C., BRAUN, L.J., RONINSON, J. Quality Cost and ISO9000 Panel Discussion. ASQC Quality Congress Transactions, 49th Annual Quality Congress, p. 290-292, 1995.
- BLANCHARD, B.S., FABRYCKY, W.J. Systems engineering and analysis. EUA, Editora Prentice Hall, 1990.
- BOSER, R.B., CROCKER, K.E., MEISEL, R.M. A Guide to Quality Decision Making. ASQC Quality Congress Transactions, 44th Annual Quality Congress, p. 501-505, 1990.
- BOX, G.E.P. et al. Industrial Process Control: A multifaceted problem. ASQC Quality Congress Transactions, 44th Annual Quality Congress, p. 86-95, 1990.
- BRACHE A.P., RUMMLER G.A. The Three Levels of Quality. *Quality Progress*, nº 10, p. 46-51, 1988.
- BRESCIANI, E. F. Sistemas, Sistêmica e Sistemografia. Monografia, Unicamp/ Puccamp, Campinas, S.P., 3ª revisão, 1997.
- CAFFREY, S.J. Chemical Batch adjustment strategy. ASQC Quality Congress Transactions, 44th Annual Quality Congress, p. 368-373, 1990.
- CRAIG, R.J. Reflections: Life Beyond ISO9000 Registration. ASQC Quality Congress Transactions, 46th Annual Quality Congress, p. 1103-1109, 1992.
- CROSBY, P. B. Quality is still free: making quality certain in uncertain times, 2ª Ed.. Editora McGraw-Hill, 1996.
- DEL CHIARO, J. Ataque ao Cade e retrocesso. *Folha de São Paulo*. São Paulo, Seção Dinheiro - Opinião Econômica, p. 2-2, 28/02/1996.
- DEMING, W.E. Qualidade: A Revolução da Administração. Rio de Janeiro, Editora Marques Saraiva, 1990.

- DREBTCHINSKY, J. Implementação de sistemas da qualidade (série ISO9000). São Paulo, Editora Saraiva, 1996.
- EDMONDS, T. P. Analyzing Quality Costs. Management Accounting, vol. 71, nº 05, 1989.
- EXAME. A ordem é ganhar qualidade. São Paulo, Seção Monitor , ed. 600, p. 35, 01/1996.
- FERREIRA, A. B. H. Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa. 2ª ed. Rio de Janeiro, Editora Nova Fronteira, 1986,.
- FOLHA DE SÃO PAULO. Deixar de Lado a Qualidade Custa Caro. São Paulo, Caderno Especial, p. 3, 13/03/1994.
- FOLHA DE SÃO PAULO. Brasil lideram ISO9000 no Mercosul. São Paulo, Seção Dinheiro, p. 2-16, 25/08/1996a.
- FOLHA DE SÃO PAULO. Competição acelera a busca pela ISO. São Paulo, Seção Dinheiro, p. 2-1, 25/08/1996b.
- FOLHA DE SÃO PAULO. Certificados não garante sucesso. São Paulo, Seção Dinheiro, p. 2-16, 25/08/1996c.
- FOLHA DE SÃO PAULO. Companhias investiram R\$1 bilhão em ISO9000. São Paulo, Seção Dinheiro, p. 2-6, 25/08/1996e.
- FOLHA DE SÃO PAULO. Mais certificados. São Paulo, Seção Paineis S/A, p. 2-2, 03/01/1997
- FRIEDLANDER, D. Qualidade - A febre da ISO. Veja. São Paulo Ed.1464, p. 88, 1996.
- GRANT, E. L., LEAVENWORTH, R. S. Statistical Quality Control. Singapura, Editora McGraw-Hill, 6ª Ed., 1988.
- HARDIE, N. Complexity, Categories and Leadership. . ASQC Quality Congress Transactions, 49th Annual Quality Congress, p. 227-233, 1995.
- HUTCHISON, D. Chaos Theory, Complexity Theory, and Health Care Quality Management. Quality Progress, vol. 27, nº 11, p. 69-72, 1994.
- ISHIKAWA, K. Controle de Qualidade Total: A Maneira Japonesa. Rio de Janeiro, Editora Campus, 1993.
- JURAN, J. M. A qualidade desde projeto: novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços. São Paulo, Editora Pioneira, 1992.
- JURAN, J.M. The Quality Trilogy. Quality Progress, vol. 19, nº 08, p. 19, 1986.
- JURAN, J. M., GRYNA, F. M., BINGHAM, R. S. Quality Control Handbook, Editora McGraw-Hill, 3ª Ed., 1974.
- KALINOSKY I.S. The Total Quality System: Going Beyond ISO9000. Quality Progress, nº 06, p. 50-54, 1990.
- LEACH, L.P. TQM, Reengineering, and the Edge of Chaos. Quality Progress, vol. 29, nº 2, p. 85-90, 1996.
- LE MOINGE, La modélisation des systèmes complexes. Paris, Editora Dunod, 1990 a.
- LE MOINGE, La théorie du système général: théorie de la modélisation. Paris, 3ª Ed., Editora Presses Universitaires de France, 1990 b.

- MELAN, E.H. Focusing on The Process: Key to Quality Improvement. ASQC Quality Congress Transactions, 42th Annual Quality Congress, p. 15-21, 1988.
- MEHTA, P.V., SCHEFFLER, J.M. Quality Improvement Through a Traditional Approach. ASQC Quality Congress Transactions, 50th Annual Quality Congress, p. 743-751, 1996.
- MURDOCK, M. Extending The Boundaries of Quality in Primary Care. ASQC Quality Congress Transactions, 48th Annual Quality Congress, p. 710-717, 1994.
- NÓBREGA, M. Pequenos são agente das transformações. Folha de São Paulo. São Paulo, Caderno Especial, p. 2, 2 4/04/1994.
- PALM A.C. SPC versus Automatic Process Control. ASQC Quality Congress Transactions, 44th Annual Quality Congress, p. 694-699, 1990.
- PETRO & QUÍMICA. maio/ junho, p. 24-26, 1996.
- PURI, SUBHASH C. Certificação ISO Série 9000 e gestão da qualidade total. Rio de Janeiro, Editora Qualitymark, 1994.
- RADDATZ, J.R., LONDE, P.C. Build Value into Customer-Supplier Relationships. ASQC Quality Congress Transactions, 50th Annual Quality Congress, p. 752-755, 1996.
- SCHILLING, E.G. The importance of sampling in inspection. ASQC Quality Congress Transactions, 48th Annual Quality Congress, p. 809-812, 1994.
- SCHODERBEK, P.P., SCHODERBEK C.G., KEFALAS A.G. Management Systems: conceptual considerations. Boston, 4º Ed., Editora IRWIN, 1990.
- SCHOLTES, P.R., HACQUEBORD, H. Beginning the Quality Transformation: Part 1. Quality Progress, nº 07, p. 50-54, 1988.
- SHEPHERD, N. A. Integration of Service Measurement with an ISO9000 Based Quality System under ISO9004-2. ASQC Quality Congress Transactions, 50th Annual Quality Congress, p. 794-800, 1996.
- SLACK, N., CHAMBERS, S., HARLAND, C., HARRISON, A., JOHNSTON, R. Administração da Produção. São Paulo, Editora Atlas S.A., 1997.
- SNEE, R.D. Creating Robust Work Processes. Quality Progress, vol, 26, nº 02, p. 37-41, 1993.
- STEPHENS K.S. ISO9000 and Total Quality. Quality Management Journal, Fall, p. 57-71, 1994.
- STRUEBING, L. 9000 Standards?. Quality Progress, nº 1, 1996.
- SULLIVAN, L.P. The Seven Stages in Company-Wide Quality Control. Quality Progress, nº 05, p. 77-83, 1986.
- SULLIVAN, L.P. The Power of Taguchi Methods. Quality Progress, nº 06, p. 76-79, 1987.
- TUNNER, J.R. Total Manufacturing Process Control: The High Road to Product Control. Quality Progress, nº 10, p. 43-50, 1987.
- VEJA. Ed. 1463, p. 50, 1996.
- WASSERMAN G.S., LINDLAND, J.L. Minimizing The Cost of Quality over Time: A Dynamic Quality Cost Model. ASQC Quality Congress Transactions, 48th Annual Quality Congress, p. 73-81, 1994.

- WERKEMA, M.C.C. Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos. Belo Horizonte, Fundação Christiano Ottoni, Escolha de Engenharia da UFMG, 1995.
- WHITE, J.R., HILL, H.M. Solving Process Problems: Using the Right Tools. ASQC Quality Congress Transactions, 41th Annual Quality Congress, p. 564-568, 1987.
- WOOD, T.J., Teoria Sistêmica Avançada e Terceira Onda da Qualidade. Revista Politécnica, nº 211, out/ dez, 1993.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- BOX, G.E.P., BISGAARD S. The Scientific Context of Quality Improvement: A look at the use of scientific method in quality improvement. Quality Progress, nº 06, p. 53-61 1987.
- BRANDÃO, R. A, FURLAN, R. P., PELIKAN, I. QS9000: Requisitos do sistema da qualidade QS9000. Controle de Qualidade, nº 44, 01/1996.
- BRANDÃO, R. A, FURLAN, R. P., PELIKAN, I. QS9000: Requisitos do sistema da qualidade QS9000-BR. Controle de Qualidade, nº 45, 02/1996.
- BRANDÃO, R. A, FURLAN, R. P., PELIKAN, I. QS9000: Requisitos do sistema da qualidade QS9000-BR (Parte 3). Controle de Qualidade, nº 47, 04/1996.
- DAVIDOW, W. H., UTTAL, B. Serviço Total ao Cliente. Rio de Janeiro, Editora Campus, 1991.
- DRUKER, P. Administrando para o futuro: os anos 90 e a virada do século. São Paulo, Editora Pioneira, 1992.
- DRUKER, P. Uma Era de Descontinuidade. São Paulo, Editora Círculo do Livro S.A., 1968.
- FALCONI, V.C. TQC: Controle da Qualidade Total (no estilo japonês). 4ª Ed. Belo Horizonte, Fundação Cristiano Ottoni, Editora Bloch, 1992.
- FLYNN, B.B., SCHROEDER R., SAKAKIBARA, S. Determinants of Quality Performance in High and Low Quality Plants. Quality Management Journal, Winter, p. 08-25, 1995.
- FOLHA DE SÃO PAULO. Qualidade é um ótimo negócio. São Paulo, Caderno Especial, p. 1, 20/03/1994.
- FOLHA DE SÃO PAULO. Qualidade Total para as pequenas e média empresas. São Paulo, Caderno Especial, p. 2, 27/03/1994.
- FOLHA DE SÃO PAULO. Como direcionar sua empresa para o cliente. São Paulo, Caderno Especial, p. 1, 10/04/1994.
- FOLHA DE SÃO PAULO. Alimentar esperança . São Paulo, Seção Dinheiro, p. 2-2, 19/02/1996.
- FOLHA DE SÃO PAULO. Como é que funciona o processo de certificação. São Paulo, Seção Dinheiro, p. 2-16, 25/08/1996d.
- FOLHA DE SÃO PAULO. Maioria das diplomadas é exportadora. São Paulo, Seção Dinheiro, p. 2-7, 25/08/1996f.
- FOLHA DE SÃO PAULO. Qualidade Total. São Paulo, p.2.1, 25/08/1996g.

- FOLHA DE SÃO PAULO. País é o 6º em crescimento. São Paulo, Seção Dinheiro, p. 2-6, 25/08/1996h.
- FOLHA DE SÃO PAULO. A estabilidade e o desemprego. São Paulo, Seção Dinheiro, p. 2-2, 23/12/1996.
- FOLHA DE SÃO PAULO. Abaixo todas as barreiras. São Paulo, Seção Dinheiro - Opinião Econômica, p. 2-2, 29/12/1996.
- FOLHA DE SÃO PAULO. Repassando a ineficiência. São Paulo, Seção Editorial, , p. 1-2, 06/03/1997.
- HOERL, R.W. Enhancing The Bottom-Line Impact of Statistical Methods. Quality Management Journal, Summer, p. 58-74, 1995.
- ISHIKAWA, K. Guide to Quality Control. Tokyo, Editora Asian Productivity Organization, 2ª Ed., 1982.
- JURAN, J.M. A History of Managing for Quality, vol. 28, nº 08, p. 125-129, 1985.
- JURAN, J. M. World War II and the Quality Movement. Quality Progress, vol. 24, nº 12, , p. 19-24, 1991
- KUME, H. Métodos Estatísticos para Melhoria da Qualidade. São Paulo, Editora Gente, 1993.
- MORGAN, G. Imagens da organização. São Paulo, Editora Atlas, 1996.
- SCHERKENBACH, W.W. O caminho de Deming para a qualidade e produtividade: rotas e mapas. Rio de Janeiro, Editora Qualitymark, 1990.
- SMITH, G.F. Quality Problem Solving: Scope and Proppects. Quality Management Journal, Fall, p. 25-40, 1994.
- SOMERTON, D.G., MLINAR, S.E What's the key? Tools Approaches for Determining Key Characteristics. ASQC Quality Congress Transactions, 50th Annual Quality Congress, p. 364-369, 1996.
- WITCHER, B. The Changing Scale of Total Quality Management. Quality Management Journal, Summer, p. 09-29, 1995.