

GLÁUCIA APARECIDA PRATES

**ECODESIGN UTILIZANDO QFD, MÉTODOS
TAGUCHI E DFE.**

**Tese apresentada como requisito parcial
à obtenção do título de Doutor. Programa
de Pós-Graduação em Engenharia da
Produção, Departamento de Engenharia
de Produção e Sistemas, Universidade
Federal de Santa Catarina.**

Orientador:

Prof. Dr. Luiz Fernando Jacintho Maia

**FLORIANÓPOLIS/SC
1998**

ECODESIGN UTILIZANDO QFD , MÉTODOS DE TAGUCHI E DFE.

GLÁUCIA APARECIDA PRATES

**ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“DOUTOR EM ENGENHARIA ”
ESPECIALIDADE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO EM SUA FORMA FINAL
PELO PROGRAMA DE PÓS- GRADUAÇÃO.**



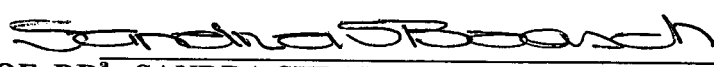
**PROF. RICARDO MIRANDA BARCIA, PHD.
COORDENADOR DO PROGRAMA**



**PROF. DR. LUIZ FERNANDO JACINTHO MAIA-
EPS.UFSC -ORIENTADOR**



PROF. DR. MIGUEL FIOD NETO. EPS.UFSC.



**PROF. DR^a . SANDRA SULAMITA NAHAS BAASCH.
ENG. AMBIENTAL- UFSC.
(MODERADORA)**

EXAMINADORES EXTERNOS:



**PROF. DR^a GRACIELA INES BOLZON MUNIZ-
ENG. FLORESTAL- UFPR.**



**PROF. DR^a. GHISLAINE MIRANDA BONDUELLE-
ENG. FLORESTAL – UFPR**

DEDICO

AO MEU PAI ALUIZIO E AO
MEU FILHO WASIM ALUIZIO ,
'A ELES PELO O SIMPLES FATO DE EXISTIREM
PREECHEM MINHA VIDA DE ALEGRIA E TERNURA.

AGRADECIMENTO

AO PROF. DR. PLINIO STANGE (*in memorian*), POR SUA COMPREENSÃO, CARINHO E ATENÇÃO EM TODOS OS MOMENTOS EM QUE NECESSITEI.

AO PROF. DR. LUIZ FERNANDO JACINTHO MAIA, QUE PRONTAMENTE ACEITOU-ME COMO ORIENTANDA FAZENDO COM QUE EU PUDESSE CONTINUAR O MEU TRABALHO.

AO PROF. DR. MIGUEL FIOD NETO PELA ORIENTAÇÃO, AMIZADE E CARINHO.

AOS MEUS IRMÃOS JORGE E JOEL PELA VIDA COM MUITO AMOR QUE COMPARTILHAMOS JUNTOS AO NOSSO QUERIDO PAI

AO MEU FILHO E AO MEU PAI PELO AMOR QUE SINTO POR ELES.

AO CNPq, À JICA (JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY) PELO PATROCÍNIO.

AOS AMIGOS E COLEGAS QUE AJUDARAM SEJA DE FORMA DIRETA OU INDIRETA NA ELABORAÇÃO DESTA TESE.

INDICE:	
ABSTRACT	I
RESUMO	II
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 ESTRUTURA DO TRABALHO	2
1.2. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	3
1.3 OBJETIVOS	6
1.4. LIMITAÇÕES DO TEMA	7
2. QFD- A METODOLOGIA DE “QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT”. DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE	9
2.1.INTRODUÇÃO	9
2.2.DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE (QFD)	12
2.2.1.DEFINIÇÕES	
2.3CONSIDERAÇÕES FINAIS.	23
3.MÉTODOS DE TAGUCHI	24
3.1INTRODUÇÃO	24
3.1.1VARIABILIDADE	26
3.1.FUNÇÃO PERDA	27
3.3.1.OBTENÇÃO DA FUNÇÃO PERDA	29
3. 4.TIPOS DE TOLERÂNCIAS	30
3.5.DESENVOLVENDO UM PRODUTO E/OU PROCESSO ROBUSTO	34
3.4.5.ETAPAS DE PROJETO	34
3.5.1.PROJETO DE PARÂMETROS	37
3.6.1.ANÁLISE DE VARIÂNCIA	59
4. ANÁLISE DO CICLO DE VIDA	64
4.1INTRODUÇÃO	64
4.1.AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO PRODUTO (ACV)	65
4.1.AS FASES DO PRODUTO E AS ACVS	68
4.1.APLICAÇÕES DA ACV	71
4.2. PROJETO PARA O MEIO AMBIENTE -DFE. UMA NOVA VISÃO DE PROJETO DE PRODUTO E PROCESSO	76
4.2. 1 .INTRODUÇÃO	76
4.2.2.DFE- ESTRUTURA CONCEITUAL	78
4.3.OBJETIVOS INICIAIS DO PROJETO	83
5. TECNOLOGIA DE CELULOSE, PAPEL E EMBALAGEM	94
5.1. PARTES DE UMA FABRICA DE CELULOSE PAPEL	94
5.2. PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE CELULOSE	95
5.3. VARIÁVEIS DO PROCESSO	99
5.4. DESLIGNIFICACAO POR OXIGENIO	102
5.5. POLUICAO EM INDUSTRIAS CELULÓSICAS E PAPELEIRAS	103
5.6.METODOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES	104

6. METODOLOGIA PROPOSTA	108
6.1. INTRODUÇÃO	108
6.2. ESTUDO DE CASO	108
6.3. RESULTADOS E DISCUSSAO	116
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	162
7.1. VISÃO GERAL	162
7.2. CONCLUSOES RELATIVAS À APLICAÇÃO DO QFD	165
7.3. CONCLUSÕES RELATIVAS À APLICAÇÃO DE METODOS DE TAGUCHI	166
7.4. CONCLUSÕES RELATIVAS À APLICAÇÃO DO DFE	166
7.5. SUGESTOES PARA APLICAÇÕES FUTURAS	168
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	170

ÍNDICE DE FIGURAS

1.MATRIZ DE PLANEJAMENTO DO PRODUTO	16
2.RELAÇÃO ENTRE PERDA DA QUALIDADE E DESVIO DO VALOR NOMINAL(M)	28
3.FUNÇÃO PERDA QUANTO MENOR MELHOR	32
4.QUANTO MAIOR MELHOR	33
5.DIAGRAMA DOS PARÂMETROS	37
6.ARRANJO ORTOGONAL	44
7.GRÁFICOS LINEARES DO ARRANJO ORTOGONAL L8	47
8.GRÁFICOS LINEARES	49
9.PLANEJAMENTO DO PROJETO DE PARÂMETROS EXPERIMENTAL	54
10.ESTÁGIOS DO CICLO DE VIDA	67
11.FASES DO ACV	70
11.1.CICLO DE VIDA DO PRODUTO	71
13.MATRIZ DO ACV	75
14.CARACTERÍSTICAS DO DFE	80
15. METODOLOGIA PROPOSTA PARA DESENVOLVIMENTO DE ECODESIGN UTILIZANDO QFD, TAGUCHI E DFE.	115
16 GRÁFICO ALVO DO DFE PARA EMBALAGEM DE POLYFOAN	126
17. GRÁFICO ALVO DO DFE PARA EMBALAGEM DE PAPEL	127
18 MATRIZ I DO QFD . CASA DA QUALIDADE	129
19.GRÁFICO RESULTANTE DOS EXPERIMENTOS DEMONSTRANDO O COMPORTAMENTO DE CADA FATOR E SEUS RESPECTIVOS NÍVEIS	
20.PORCENTAGEM DE INFLUENCIA DE CADA FATOR NA VARIÁVEL RESPOSTA : DBO	144
20.1 EFEITO DA INTERAÇÃO TIPO DE TRATAMENTO DOS EFLUENTES E TIPO DE DESLIGNIFICACAO	147
21.GRAFICO ALVO DO DFE PARA EMBALAGEM DE PAPEL RESULTANTE DO PROJETO REALIZADO ATRAVES DA METODOLOGIA PROPOSTA QFD, DFE E METODO DE TAGUCHI	159

ÍNDICES DE TABELA

1. RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA	63
2. CLASSIFICAÇÃO PELA ANÁLISE D PRODUTO ECOLOGICAMENTE CORRETO DO CICLO DE VIDA	90
4. PARTES DE UMA FABRICA DE CELULOSE E PAPEL	94
5. LIMITES PROPOSTOS PELA EPA	106
6. COMPARAÇÃO DOS DETALHES DE RECURSOS E CÁLCULOS ENVOLVIDOS NO ACV	121
7. ANÁLISE DOS PRODUTOS VOLTADOS PARA CONSCIÊNCIA ECOLÓGICA. MATRIZ DE ANÁLISE COMPARATIVA DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DAS DUAS EMBALAGENS PAPEL X POLYFOAN	125
8. FATORES E NÍVEIS DO PROJETO DE PARÂMETRO	137
9. ESTRUTURA PARA AS VARIÁVEIS	139
10. MATRIZ FINAL DE DELINEAMENTO PARA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO	140
11. VALOR MÉDIO DAS AMOSTRAS PARA CADA EXPERIMENTO	142
12. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS FATORES ESTUDADOS PELO MÉTODO DE TAGUCHI	144
13. ÍNDICES DE RESPOSTA PARA CADA MUDANÇA DE NÍVEL ASSOCIADO A CADA FATOR	146
14. PROJETO DE PARÂMETROS PARA A EMBALAGEM COM BAIXO ÍNDICE DE DBO	148
15. MATRIZ DO ACV DO PRODUTO PROJETADO	149
16. CONDIÇÕES UTILIZADAS NA SEQUÊNCIA DE BRANQUEAMENTO C/DEODED	152
17. DIMENSÕES DAS FIBRAS DE PINUS TAEDA E EUCALIPTUS GRANDIS	154
18. CONDIÇÕES DE COZIMENTO E CARACTERÍSTICAS DAS CELULOSES KRAFT DE EUCALIPTUS E PINUS	155
19. CARACTERÍSTICAS DAS CELULOSES DE PINUS E EUCALIPTUS ANTES E APÓS BRANQUEAMENTO PELA SEQUÊNCIA OC/DEODED	157
20. CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES DO BRANQUEAMENTO DAS CELULOSES KRAFT PRE-DESLIGNIFICADAS DE PINUS E EUCALIPTUS	158
21. CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES APÓS O TRATAMENTO ENZIMÁTICO	158

Abstract:

The aim of this present thesis is to describe some utilities and limitations of a product with a goal to get solutions against environmental impacts. The main targets are: to prevent through a clean product, to reduce the residues and to avoid environmental damages during the product life cycle and process. Therefore, we can understand QFD, Taguchi Methods and DFE as some dependent sequence following some harmonic criterions which provide a global effects view, through all stages of a product and production life cycle process. This thesis describes a development of a product: a hamburger paper packing, which is considered as harmful product. However, by using the proposed methodology, it could decrease the BOD level from 18 at 4.2, which is less than the EPA limit.

RESUMO:

O objetivo desta tese é descrever algumas utilidades e limites de um produto a fim de evitar impactos ambientais. Os principais objetivos são: prevenir por projetar um produto limpo, reduzir os resíduos, e evitar impacto ambiental durante o ciclo de vida do processo e produto. Entretanto, nós podemos entender que o QFD, DFE e MÉTODOS TAGUCHI são ferramentas de uso seqüencial dependente seguindo alguns critérios harmônicos os quais fornecem uma visão dos efeitos globais, através de todos os estágios da vida de um produto e do processo. Esta tese descreve o desenvolvimento de um produto : embalagem de papel para hambúrgueres , o qual é considerado como nocivo quanto ao processo e descarte. Foi realizada uma comparação entre embalagens de polyfoam e papel e pelo fato do papel ser biodegradável , esta foi considerada melhor e merecedora de estudos aprofundados de melhoria continua. Assim utilizando a metodologia proposta conseguiu-se reduzir o índice de DBO em efluentes do experimento de 18.0 para 4.1. abaixo do nível considerado limite pela EPA.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO:

A capacidade de desenvolver e lançar produtos com sucesso é fundamental para se manter a competitividade de uma empresa, seja ela de bens duráveis, de produtos perecíveis ou de prestação de serviços.

O sucesso de um produto, desde uma simples engrenagem até um satélite de comunicação baseia-se na experiência vivida pelo cliente com o produto ou serviço medida contra suas exigências anunciadas ou não, conscientes ou sensoriais, tecnicamente operacionais ou inteiramente subjetivas, sempre representando um alvo móvel no mercado. Portanto, o sucesso de um produto não é uma determinação do engenheiro, do departamento de marketing e nem da alta gerência, mas sim de “sua excelência o cliente”.

A tarefa com que se defronta o engenheiro no projeto e desenvolvimento é em última análise produzir um bem que incorpore o maior benefício para o usuário final.

Dessa maneira, na maioria das ocasiões torna-se difícil projetar um produto que atenda as necessidades funcionais e a exigência crescente por parte da sociedade e do consumidor de um produto não agressivo ao meio ambiente, chamado de “produto verde”.

O conceito de produto total amplia a dimensão do que venha a ser um novo produto ou peça, conjunto ou máquina. Enquanto o engenheiro projeta um alimento ou um papel, o consumidor está interessado em sabor, estética ou a idéia de não estar comprando algo que possa ser chamado de “predador”.

Soluções efetivas para a maioria dos problemas atuais requerem novas abordagens como resultado de novos paradigmas da sociedade aos quais tanto a administração e gerência, quanto as engenharias tradicionais não correspondem. São necessárias abordagens holísticas para os novos paradigmas, daí surgirem conceitos como Qualidade Total,

Marketing Total e Verde, Reengenharia, aos quais juntamos nossa proposta de Produto Total e Projeto Total.

Devemos considerar o fato de que projetando um produto que aparentemente não é nocivo ao ambiente local da produção , isso não significa que este não possa ser em outro ambiente, pois os produtos são mais universais que os processos em si, e se não calcularmos os riscos ambientais podemos cometer vários enganos. Assim devemos considerar características mais abrangentes do que somente a funcionalidade de um produto e a eficiência de um processo. Para realizarmos isto podemos utilizar ferramentas como o QFD, DFE, Gerenciamento de Riscos e Métodos Taguchi, todos voltados para uma nova visão universal de projeto de produto e processo.

Para atingir este objetivo viu-se a imensa necessidade de se incorporar qualidade desde a concepção do produto para depois e então manter-se essa qualidade durante o uso até o seu descarte.

Observando a evolução dos sistemas de qualidade e adequando-se modernas ferramentas para gerenciamento da qualidade, busca-se para as fábricas de bens a partir da madeira, através de um sistema para o gerenciamento tanto da qualidade industrial como ambiental, tornar esse tipo de empresa mais competitivo.

1.1. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho foi dividido em 8 capítulos:

O presente capítulo apresenta as limitações , objetivos divididos em geral e específicos do tema.

Capítulo II mostra a estrutura do QFD, mas aprofunda-se na Matriz I, Casa da Qualidade.

Capítulo III, aborda o Método Taguchi, procurando apresentar as principais características e critério de estratégia e tática para obter qualidade no projeto e desenvolvimento de produtos.

Capítulo IV, é apresentado ACV- (Análise do Ciclo de Vida) e o DFE (-Design for Environment), onde o trabalho tem como base em aspectos ambientais.

Capítulo V, trata as partes e operações de uma fábrica de celulose e papel, e testes de qualidade de embalagens de papel.

Capítulo VI, apresenta a metodologia proposta para o desenvolvimento do produto e do trabalho de tese com um estudo de caso.

Capítulo VII- Conclusões e Recomendações.

Capítulo VIII. Referências Bibliográficas.

1.2. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O consumismo desenfreado e o desenvolvimento tecnológico têm gerado novos mercados e despertado necessidades latentes. Entretanto, a informação destas necessidades, na maioria dos casos, é bastante vaga e subjetiva, além do que para ser competitivo tem-se que projetar e desenvolver produtos com qualidade, em menor tempo, bem como emitir baixas taxas de toxidez.

Mostram-se indispensáveis , para isso, as atividades desde a concepção do produto até o consumidor final , guiadas por uma metodologia sistemática, visando a produção de produtos causadores de menor impacto ambiental possível. Porém, esta metodologia deve estar apta a evoluir com as idéias e ferramentas.

Vê-se, hoje, grande parte das empresas produtoras de bens de consumo e prestadoras de serviços, preocupadas com a imagem junto ao público consumidor de um produto no que tange o impacto desse ao meio ambiente.

O departamento de projeto necessita de um longo tempo para pesquisar , saber o que realmente precisa ser efetuado, escolher a melhor maneira de se fazer, colocar a idéia no papel e, finalmente, testar e ver se atende as necessidades dos clientes.

Posteriormente, tem-se que elaborar um roteiro de processo, saber o que fazer e o que vai ser adquirido de terceiros. Finalmente, produz-se o artigo e o mesmo é montado e repassado ao consumidor, existindo um departamento de garantia e assistência técnica que atenda ao consumidor.

Se os setores forem independentes, uma idéia inicial do produto pode chegar descaracterizada ao consumidor, ou as necessidades primárias dos consumidores e exigências quanto à preservação do meio ambiente também podem não ser capturadas pela empresa na concepção do produto. Fixa-se então tolerâncias que resultam em montagem com problemas ou em processos de produção especiais desnecessários, etc. Enfim, resulta numa perda de qualidade e produtividade e, além disso, se impõe um prejuízo à sociedade a partir do momento em que o produto é liberado para a venda.

Nota-se também que, muitas vezes , o produto não cumpre as funções requeridas, devido além de algumas características de desempenho, à uma toxidez ou outro tipo qualquer de danos à saúde dos usuários como foi o caso da talidomida, provocando o nascimento de milhares de crianças deformadas por ocasião da utilização por parte das mães.

A qualidade de um produto , segundo JURAN (1992) , é uma combinação de desempenhar funções requeridas pelo mesmo e a posse de características que levem o consumidor a optar por esse produto.

A qualidade já na fase de projeto e a eficiência desta atividade, atualmente, são a base de toda a empresa competitiva. As tecnologias e as práticas aplicadas nas maiores empresas do mundo, nestes últimos anos, tem sido essenciais na fase de projeto do processo e do produto, YUKIMURA (1993).

Segundo REIS (1996) “Só existe qualidade total com qualidade ambiental”: A aproximação entre ecologia e economia é irreversível. As empresas vêm percebendo que é mais barato fazer direito, desde o início, do que consertar depois, até mesmo porque pode não haver mais conserto, o que levará a custos insuportáveis. A preocupação das empresas com consciência ecológica tem levantado questões como as seguintes:

- . Como gerenciar o relacionamento entre as atividades produtivas e o meio ambiente?
- . Quanto e em que investir para garantir conformidade legal e normativa , sem perder a competitividade?
- . Como manter uma atividade diante de leis cada vez mais rigorosas?
- . Equilíbrio ecológico ou emprego?

Segundo STANGE (1996) que apresenta uma nova definição de qualidade . “ Qualidade é a não agressão ao meio ambiente”, pois o mesmo considera características do produto desde sua produção até o descarte.

Dentro desta filosofia de se obter um produto com qualidade e eficiência desde a sua concepção destacam-se o Método Taguchi e o Desdobramento da Função Qualidade (QFD), que associados ao Projeto para o Meio Ambiente (DFE) Design for Environment , tornam-se uma associação de ferramentas modernas para se lançar produtos .

1.3 OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo geral desenvolver e propor uma metodologia de desenvolvimento de produto e processo utilizando tanto ferramentas de desenvolvimento de produtos para o meio ambiente com a metodologia de Taguchi de desenvolvimento de produto e processo apoiado pelo QFD -Desdobramento da Função Qualidade, DFE (Design for Environment, produzindo assim produtos com qualidade e contribuindo para um meio ambiente sadio tanto para o consumidor final quanto para a sociedade que o rodeia. As empresas alvo deste trabalho são as utilizadoras de recursos naturais para geração de produtos industriais em geral, pois todas são causadoras de algum tipo de poluição ambiental, podendo ser de menor ou maior magnitude.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Pretendeu-se neste trabalho os seguintes pontos:

1. Mostrar a importância do desenvolvimento do produto utilizando metodologias modernas de gestão de qualidade aliadas a projetos de produtos e processos para que sejam alcançadas qualidade tanto ambiental quanto de desempenho funcional. Demonstrar a possibilidade da união das três ferramentas quando voltadas para o meio ambiente.

2. Reduzir a perda total para o consumidor e à sociedade como um todo, obtendo um produto e um processo robusto com os teores menores de emissões tóxicas possíveis .

3. Através da obtenção de informações referentes ao ciclo de vida de um produto, desde a sua concepção ate o seu descarte, demonstrar os pontos críticos da produção, trabalhando esses para a melhoria contínua da qualidade ambiental.

4. Aumentar a interface entre os departamentos de marketing e de projeto.

5. Através do estudo de caso demonstrar que a utilização de embalagens de papel é eficiente e produz menor impacto ambiental.

1.4. LIMITAÇÕES DO TEMA

Este trabalho, desde a sua concepção, visava minimizar um problema comum em fábricas que utilizem recursos naturais e emissoras de poluentes no meio ambiente. Pois as reclamações de poluição por parte da sociedade ocorriam por deficiência de seus projetos, também por uma utilização do produto nocivo ao usuário.

Notou-se que, grande parte das reclamações a respeito da qualidade ambiental ocorrem devido a uma produção ou uso nocivo do produto, situação em que a fábrica não garantia um meio ambiente sem um ciclo de vida poluente do produto, gerando uma insatisfação ao consumidor direto e a sociedade como um todo.

A partir disto viu-se a necessidade de se fazer um planejamento para a qualidade do produto, desde a sua concepção, para o processo e durante o uso do produto, conseguir-se, um desempenho e utilização que também incorporem qualidade ao produto e agreguem um valor com características ecologicamente corretas.

Este trabalho trará resultados a médio prazo e os reflexos das medidas a serem efetuadas, chegarão no Departamento de Projeto, também a médio prazo, pois a análise de um Ciclo de Vida (ACV) leva um longo período para ser concluído, no que se refere ao ciclo completo de vida de um produto, inter-relacionado com outros fatores e produtos imersos ao meio ambiente como um todo.

O trabalho foi voltado restrito ao setor celulósico, mas precisamente à fase de manufatura e tratamento dos efluentes, porém tem como objetivo ser aplicado a outros setores como uma opção para o gerenciamento ambiental e de produtos.

CAPÍTULO 2

QFD. A METODOLOGIA DE “QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT”- DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE. (CASA DA QUALIDADE)

2.1.INTRODUÇÃO

O QFD teve início há mais de 20 anos no Japão como um sistema da qualidade voltado para a entrega de produtos e serviços que satisfizessem o cliente. Para agregar valor é necessário ouvir a “Voz do Cliente” durante o processo de desenvolvimento do produto ou do serviço. O Dr. Yoji Akao e outros especialistas em qualidade no Japão desenvolveram as ferramentas técnicas do QFD e as organizaram em um estruturado sistema da Qualidade de fácil compreensão e aplicação de produtos e serviços garantindo assim a qualidade aos seus clientes.

QFD é mais que uma metodologia da qualidade baseada em matrizes; é uma importante ferramenta de planejamento, comunicação e documentação do desenvolvimento de novos produtos e melhoria dos existentes, que auxilia a redução de custos e garante a melhoria da qualidade. A metodologia do **Quality Function Deployment** é um instrumento poderoso para a melhoria da qualidade. Uma de suas propriedades mais importantes é a visualização de dados e seus inter-relacionamentos. O QFD atualmente é parte essencial da Gestão da Qualidade Total para toda organização competitiva.

A metodologia de QFD é muito eficaz e eficiente aos seus imensos benefícios no desenvolvimento de produtos e serviços de excelência no mercado. A prática de QFD; prove um método para “projetar qualidade” pró-ativamente; reduz modificações de produto/processos em desenvolvimento; identifica modificações necessárias antes de se realizar

maiores despesas ; reduz riscos durante o tempo de desenvolvimento; resulta em menos problemas no início da produção; reduz custos iniciais de produção; reduz problemas de campo reduz custos da garantia; cria uma base de conhecimento de projeto; introduz a voz do cliente no processo de desenvolvimento.

QFD permite que uma grande quantidade de informações seja reunida de maneira concisa em um pequeno número de documentos (diagramas QFD). Seu formato gráfico é muito eficaz para simplificar conjuntos de informações complexas. A aplicabilidade de QFD no desenvolvimento de produtos e processos é quase ilimitada .

Todo e qualquer risco assumido, que vise a um produto ou serviço envolve “clientes “ . Frequentemente, estes clientes são diferentes em cada um dos inúmeros passos necessários para se levar um produto ou serviço para o mercado. Durante o desenvolvimento de um empreendimento existem expectativas e necessidades de clientes, internos e externos à organização, que devem ser satisfeitas. Um empreendimento somente terá sucesso se satisfizer ou exceder as necessidades de seus clientes . Caso possa satisfazer seus clientes , melhor e mais completamente do que seu competidor, então terá , inquestionavelmente , uma vantagem competitiva.

Dentro de uma organização, as expectativas e necessidades dos “clientes internos” devem ser atendidas. “ Clientes internos” são as pessoas que trabalham na empresa, que estão envolvidas com o produto ou com o serviço até que chegue ao usuário final. Entre eles, estão os trabalhadores da linha de montagem, projetistas de embalagem, engenheiros, etc. Em uma grande organização, “clientes internos ” podem ser divisões inteiras. A divisão de Engenharia pode ser o cliente interno da divisão de marketing. A divisão de Engenharia tem necessidades específicas que poderiam incluir, por exemplo, colher informações de marketing que definam como um produto será utilizado pelo usuário final. Da mesma maneira, o grupo de Engenharia de Projeto tem como um de seus “clientes internos” a Engenharia de Fabricação. O projeto do produto deve atender às necessidades do grupo encarregado de fabricá-lo.

A satisfação dos “clientes internos” funciona como apoio ao objetivo global de satisfazer às necessidades e expectativas dos usuários finais. Estes, externos à organização, fazem parte do

ciclo de vida do empreendimento. São os “clientes externos”, também chamados de usuários finais” ou “clientes finais”. Em uma organização poderiam ser chamados de “clientes externos” ou distribuidores, os vendedores independentes, os proprietários de lojas, etc.

É evidente que o desenvolvimento da maioria dos produtos ou serviços não envolve apenas um cliente, mas um conjunto complexo de clientes, cada qual com um conjunto distinto de expectativas e necessidades e, conseqüentemente, de requisitos. Os empreendimentos mais prósperos são aqueles que compreendem as expectativas e necessidades traduzindo-as em requisitos destes clientes, em cada etapa do desenvolvimento, garantindo, assim, sucesso ao seu término.

Como visto anteriormente, esforços para desenvolver novos produtos e a melhoria dos produtos já existentes é crucial para a sobrevivência das empresas.

Apresenta-se, aqui, o QFD como uma ferramenta capaz de assegurar a qualidade requerida pelo consumidores em todas as fases do processo de desenvolvimento do produto, assim como na fase de pós venda do mesmo, como uma forma de garantir que a qualidade incorporada ao produto durante todas as fases de produção se garanta também na sua utilização pelo usuário.

Um importante aspecto que também se considera é que no serviço de pós venda pode-se obter o retorno do mercado em relação ao produto. As informações que retornariam da assistência técnica e garantia do produto serviriam de realimentação para execução de um novo trabalho de QFD, num processo de melhoria contínua.

2.2. DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE (QFD)

Para melhor compreender QFD, algumas considerações se tornam fundamentais.

DESDOBRAMENTO DA QUALIDADE (QUALITY DEPLOYMENT)

Atualmente no Japão se denomina Quality Function Deployment (Desdobramento da Função Qualidade) de Quality Deployment (Desdobramento da Qualidade), pela maior abrangência, sendo que o Desdobramento da Função Qualidade é considerado apenas uma parte do Desdobramento da Qualidade.

Desdobramento da Qualidade refere-se às cartas, tabelas e matrizes descritivas usadas para projetar a qualidade necessária no produto ou serviço. No ocidente nós chamamos estas cartas de QFD, AKAO (1988).

DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO (FUNCTION DEPLOYMENT)

O desdobramento da função é freqüentemente um passo à frente no QFD, onde as funções básicas do produto ou serviço são identificadas pela experiência das pessoas da produção da companhia. Certos produtos ou serviços iniciam com estas funções básicas porque seu produto ou serviço é transparente para o consumidor, AKAO (1988).

Desdobramento da função tem sido comparado como a "voz do engenheiro", identificando o "deve ser" atribuído ao produto ou serviço. Estas funções básicas ou "deve ser" são incompreensíveis para o consumidor, a não ser que o consumidor tenha experimentado a falta da qualidade.

Neste trabalho utiliza-se o termo QFD (Quality Function Deployment ou Desdobramento da Função Qualidade), de uma forma geral, para se designar também o que é considerado para os japoneses e alguns estudiosos ocidentais o Desdobramento da Qualidade.

2.2.1 DEFINIÇÕES

AKAO (1988) define QFD como: “a conversão das demandas dos consumidores em características de qualidade e no desenvolvimento de um projeto de qualidade para o produto acabado ao sistematicamente desdobrar as relações entre demandas e características, começando com a qualidade de cada componente funcional e estendendo o desdobramento para a qualidade de cada parte ou processo. AKAO (1988) ainda diz que a qualidade será formada por esta rede de informações.”

KING (1987) define QFD como: “uma ferramenta multifuncional que permite as organizações priorizar as demandas dos consumidores, desenvolver respostas inovadoras para suas necessidades, que são confiáveis e de custo efetivo. E, ainda, direcionar uma implementação bem sucedida envolvendo todos os departamentos da empresa.”

Para EUREKA (1992) QFD é “um sistema que traduz as necessidades dos clientes em apropriados requisitos para a empresa, em cada estágio do ciclo de desenvolvimento de um produto ou serviço, desde a pesquisa e desenvolvimento até engenharia, produção, marketing, vendas e distribuição.”

HAUSER e CLAUSING (1988) definem o QFD ou "Casa da Qualidade" como: “uma classe de mapa conceptual que provê os meios para planejamento e comunicação interfuncional.”

FORTUNA (1988) escreveu que o QFD é “um meio sistemático de assegurar que a demanda do consumidor ou mercado (requisitos, necessidades ou desejos) seja traduzida de forma

precisa em especificações técnicas relevantes e ações, através de cada estágio do ciclo de projeto e desenvolvimento do produto.”

O modelo é demonstrado como a seguir:

- MATRIZ 1 ⇒ REQUISITOS DO CONSUMIDOR X REQUISITOS TÉCNICOS

- MATRIZ 2 ⇒ REQUISITOS TÉCNICOS X CARACTERÍSTICAS DAS PARTES

- MATRIZ 3 ⇒ CARACTERÍSTICAS DAS PARTES X CARACTERÍSTICAS DO
PROCESSO

- MATRIZ 4 ⇒ CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO X MÉTODOS DE CONTROLE DO
PROCESSO.

A seguir é demonstrada a matriz I :

MATRIZ 1 – MATRIZ DO PLANEJAMENTO

É chamada de matriz de planejamento do produto ou a "Casa da Qualidade" e contém os requisitos gerais do consumidor. É utilizada para se traduzir esses requisitos dos consumidores (tirados de avaliações de mercado, comparações com competidores e planos de marketing) em requisitos técnicos de projeto. Essa matriz é a parte mais executada do QFD e, em consequência disto, a mais conhecida.

Segundo KING (1987), a proposta da matriz é listar os requisitos dos consumidores e desenvolver o plano inicial de como eles serão satisfeitos no atual nível de desempenho comparado com o desempenho dos competidores. A matriz prioriza a importância de cada requisito do consumidor e leva em consideração potenciais pontos de vendas. Também revela as características de qualidade que são os itens controláveis, tornando assim possível satisfazer os requisitos dos consumidores.

Entradas: requisitos dos consumidores, características de qualidade, classificação dos competidores, classificação da companhia.

Saídas: três ou quatro características de qualidade chaves, prioridades para o projeto, planos da companhia.

A seguir mostra-se a matriz e descreve-se a sua construção, Figura 1.

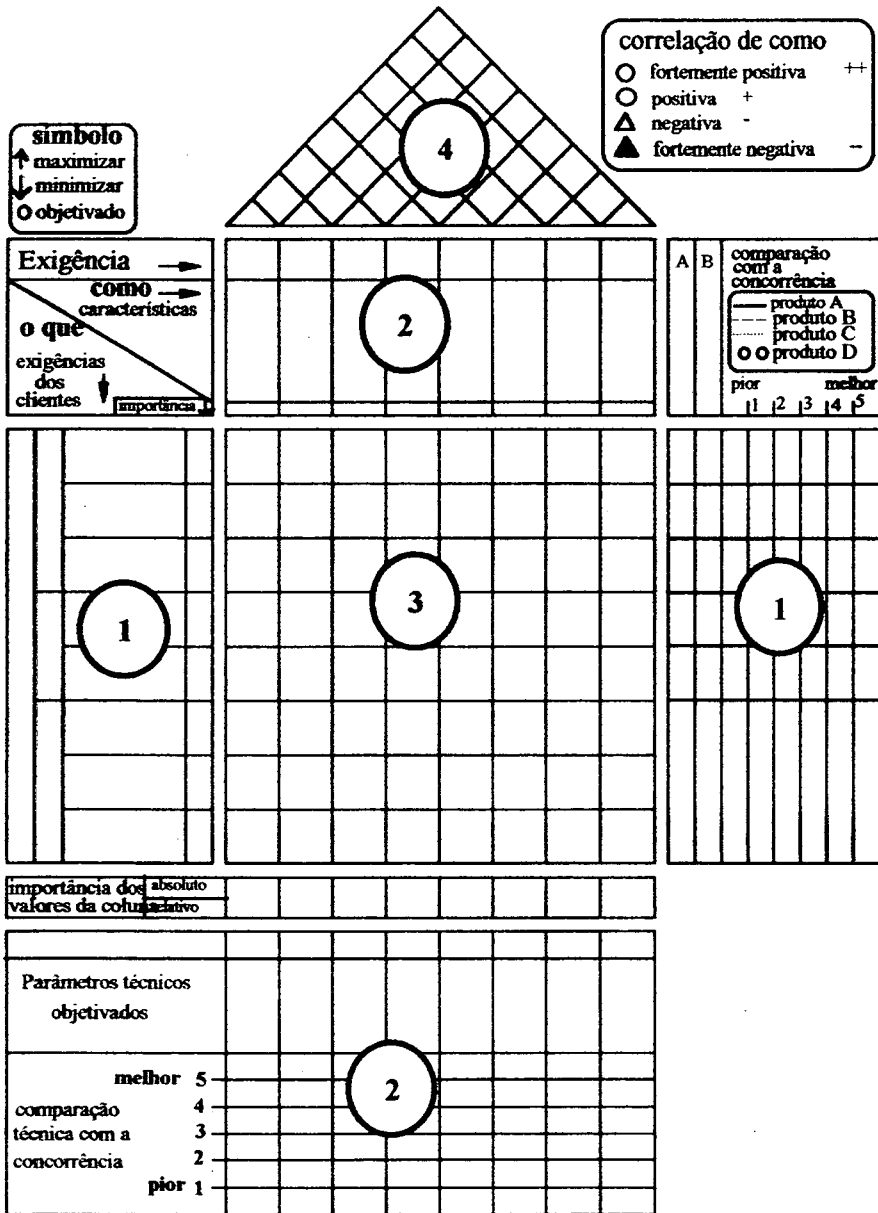


FIGURA 1 - MATRIZ DE PLANEJAMENTO DO PRODUTO

PASSO 1

Requisitos do consumidor - é por onde se inicia qualquer trabalho de QFD. Defini-se o mercado-alvo e então se faz a coleta das informações. Pode-se retirar estas informações (requisitos dos consumidores) usando ferramentas como a Matriz de Análise de Dados, Estudo Estruturado do Consumidor e Análise e Segmentação do Ponto de Vista do Consumidor. Sendo que outras fontes destas informações podem ser as necessidades como as expressadas em jornais de negócios, reclamações de garantia, análise de falhas, entrevistas face a face, exposição do produto ou serviço para a utilização do consumidor e se fazer a coleta das informações, e outros.

Os requisitos dos consumidores devem ser na linguagem do consumidor, descrevendo a importância para o mesmo, precisos, positivos e, se possível, não devem ser números.

Nesta fase, a atenção a todas as reações do cliente ao produto é fundamental, sendo que para a avaliação destes requisitos dos consumidores devemos levar em consideração que, conforme KANO (1984), existem três níveis na qualidade percebida pelo consumidor: o primeiro é a qualidade atrativa que quando incorporada ao produto causa grande satisfação ao consumidor, porém se está ausente ou é parcialmente incorporada causa a insatisfação com o produto, o consumidor não pede diretamente por não saber da sua possível existência; o segundo é a qualidade linear, que se está presente ao produto causa satisfação e se está ausente traz a insatisfação; e o terceiro é a qualidade esperada que quando presente traz pouca ou nenhuma satisfação ao consumidor, e quando ausente gera insatisfação com o produto. Existem outras abordagens para os níveis de qualidade percebida pelo consumidor que essencialmente têm as mesmas características do enfoque de Kano.

Para se organizar os requisitos dos consumidores utiliza-se o diagrama de afinidades e para se arranjar e se colocar em diferentes níveis esses requisitos utiliza-se o diagrama de árvore.

Por ser a fase inicial em um trabalho de QFD e a satisfação do cliente o principal objetivo de um sistema de qualidade, encontrar as necessidades dos consumidores e traduzir em requisitos técnicos de maneira correta torna-se fundamental para o referido trabalho.

Grau de importância - retornando novamente aos clientes se faz uma priorização dos requisitos dos consumidores, atribuindo-se numa escala de 1 a 10 a importância do requisito, sendo que o 1 é para o requisito pouco importante e 10 para o muito importante.

Comparação companhia X concorrentes - trata-se de uma avaliação de quanto o produto da companhia e o produto dos concorrentes atendem às necessidades dos consumidores. Com dados obtidos através de pesquisas atribui-se valores numa escala de 1 a 5.

Análise Gráfica - é o local destinado da matriz para se fazer a análise gráfica de cada uma das companhias avaliadas no estudo (a companhia fabricante do produto e as competidoras).

PASSO 2

Requisitos Técnicos - (Características de Qualidade) - são os itens controláveis, determinados na companhia (equipes multifuncionais), para garantir que os requisitos dos consumidores sejam satisfeitos. São gerados a partir dos requisitos dos consumidores e devem indicar o que é mensurável e controlável e não devem incluir partes ou nomes de testes. Pode-se usar os diagramas de afinidades, árvore e causa e efeito.

PASSO 3

Matriz de Correlações - é o local onde se realiza a correlação entre os requisitos dos consumidores e os requisitos técnicos. E, se utiliza a simbologia característica das matrizes de QFD, que é:

⊙ forte correlação = 9

○ moderada correlação = 3

△ fraca correlação = 1

Peso de Importância - é o valor de cada requisito técnico, que servirá como um critério na priorização destes requisitos, e é calculado pela fórmula:

$PI = \text{grau de importância} \times \text{valor dado na matriz de correlações}$

Peso Relativo - é referente aos requisitos técnicos e nos fornece o valor de cada requisito em porcentagem. Com o peso relativo podemos encontrar os três ou quatro requisitos técnicos que utilizaremos nas fases posteriores (desdobramento).

Comparação Técnica - nos dá a situação que se encontra a companhia e seus concorrentes em relação aos requisitos técnicos.

Movimento do Valor-Meta - indica o sentido da modificação planejada para o requisito técnico. Usa-se:

↑ quando a companhia deseja aumentar o valor

↓ quando a companhia deseja diminuir o valor

quando deseja encontrar um valor nominal especificado

Valor-Meta - é estabelecido para que os requisitos técnicos tenham metas claras e possíveis de serem alcançadas.

PASSO 4

Matriz de Correlação entre os Requisitos Técnicos - também chamada de "o telhado da casa da qualidade". Nos dá a relação que um requisito técnico tem com o outro, para apontar além das afinidades as áreas onde serão necessários trade-offs no projeto. Usa-se a notação:

fortemente positiva

pouco positiva

pouco negativa

fortemente negativa

LINHAS OU COLUNAS OPCIONAIS NESTA MATRIZ

Nível Planejado - numa escala de 1 a 5 a companhia planeja que nível pretende atingir, levando em consideração a sua capacidade produtiva e o planejamento estratégico da companhia.

Taxa de Melhoria - é obtida dividindo-se o nível planejado(4) pela companhia pelo nível atual (3) em que a mesma se encontra.

Pontos de Vendas - são os requisitos identificados como mais atraentes para a venda do produto sob a ótica do cliente e considerados importantes pela companhia. Usa-se os seguintes valores para os símbolos:

⊙ muito importante = 1,5.

○ pouco importante = 1,2.

Peso de Importância - fornece a importância relativa de cada requisito do consumidor, e é calculado da seguinte forma:

Peso = grau de importância X taxa de melhoria X valor do ponto de venda

Peso Relativo - dá o peso em percentual de cada requisito em relação aos outros, e é calculado da seguinte forma: em primeiro lugar soma-se os pesos de importância; após divide o peso de importância de cada requisito pelo total e; por último, multiplica-se por 100, para se ter o peso percentual de cada requisito do consumidor.

Requisitos Especiais - são normas ou leis que devem ser consideradas no projeto.

Finalmente, se faz uma revisão geral da matriz e é de fundamental importância observar que: uma linha em branco significa que um requisito do consumidor não foi atendido, então é necessário se colocar requisito(s) técnico(s) que atenda(m) este requisito. E uma coluna em branco significa que um requisito técnico não se relacionou com nenhum dos requisitos dos consumidores, por isso deve ser eliminado

2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O QFD: suas tendências e conclusões

Existem várias formas de se abordar um sistema QFD, visto que a filosofia QFD oferece um amplo espectro de aplicações. No seu desenvolvimento o QFD não tem-se restringido somente ao planejamento organizacional, planejamento de empresas de serviço, planejamento estratégico, etc. HAUSER & CLAUSING (1988).

O QFD tem-se destacado pela sua grande utilidade no planejamento das atividades dos que afetam a qualidade do produto na empresa. No aspecto de multidisciplinaridade do projeto e a necessidade de interface eficiente entre projeto e outros departamentos, o QFD se destaca por oferecer uma ferramenta de planejamento da qualidade do produto, dentro dos parâmetros estabelecidos pelo consumidor, gerando um processo suave das atividades de projeto e desenvolvimento do produto. A fase de projeto com o QFD resulta num processo de comunicação eficiente do que o consumidor quer do produto a todos os que afetam a qualidade do produto de uma ou de outra maneira. Chama-se a atenção que, principalmente, o projeto é a fase chave para obter sucesso com o QFD numa organização.

OVERBY (1991) cita o QFD juntamente com o Método Taguchi uma associação de ferramentas poderosíssima para ajudar-nos a perceber quanto é importante fazer as coisas certas” nos estágios iniciais do projeto, pois pode-se usar a função de prevenção de defeitos com prevenção da poluição, pois os consumidores tem expandido com seus “querer “ exigindo produtos “ verdes ou ecologicamente amigos”.

CAPÍTULO 3

MÉTODOS DE TAGUCHI

3.1. INTRODUÇÃO

Os Métodos Taguchi tratam de controle de qualidade na linha e fora de linha de produção.

Foram criados pelo engenheiro Genichi Taguchi e começaram a ser divulgados principalmente pela indústria automobilística no início dos anos 80. No Brasil a aplicação do método é ainda incipiente.

O núcleo fundamental dos métodos Taguchi para o engenheiro da qualidade é o conceito da perda. Quando pensamos em perda para a sociedade, imediatamente pensamos em poluição, ruído excessivo nos automóveis, vazamentos químicos, etc. O Dr. Taguchi vê a perda para a sociedade num conceito mais amplo. Ele associa essa perda com os custos incorridos na produção, e também os custos sofridos pelos consumidores no decorrer da vida útil do produto (reparos, perdas dos negócios, lucros cessantes, etc.). Minimizar a perda para a sociedade é a estratégia que irá incentivar produtos uniformes e reduzirá custos na hora de produção e da utilização.

Os métodos Taguchi têm dois conceitos fundamentais:

1. Perdas de qualidade devem ser definidas como desvio dos valores objetivos, e não conformidade com especificações; assim são medidas em um sistema mais amplo de custos e não por custos locais nos pontos de detecção de defeitos.

2. Obter um sistema com altos níveis de qualidade requer que a qualidade seja projetada, em outras palavras desde o projeto. Através dos resultados práticos alcançados, os métodos Taguchi têm encontrado grande aceitação entre os engenheiros, porém algumas críticas entre os estatísticos-matemáticos, embora estes reconheçam sua contribuição com os conceitos de função perda, projeto robusto.

Taguchi divide o processo de controle de qualidade global em duas etapas - controle de qualidade "off-line" o "on-line". A primeira fase, cobre as atividades de controle de qualidade e custos, conduzidas na fase de projeto do produto o processo, e a segunda, são todas as atividades de controle de qualidade realizadas na fase de fabricação.

O método de Taguchi utiliza de duas ferramentas que se sobressaem: a função perda e o uso do delineamento de experimentos. A primeira determina as perdas monetárias pagas pela sociedade, devido ao desvio da característica de desempenho do produto do seu valor ideal e a segunda é a utilização do delineamento de experimentos de uma maneira diferenciada, procurando os níveis dos parâmetros que tornam o produto robusto às fontes de variabilidade e o projeto de tolerâncias de menor custo.

O método Taguchi é considerado como uma das abordagens que assegura a qualidade através do projeto, neste caso através da identificação e controle de variáveis críticas (ou ruídos) que fazem ocorrer desvio na qualidade do produto e/ou processo.

De acordo com PHADKE (1989), se dividir o ciclo de vida de um produto em duas partes principais: antes da venda e após a venda para o consumidor, todos os custos ocorridos antes da venda do produto são adicionados ao custo de fabricação por unidade, enquanto todos os custos ocorridos após a venda são considerados juntamente como perda de qualidade. A Engenharia da Qualidade foi idealizada para reduzir estes dois custos e, assim, é uma ciência interdisciplinar, envolvendo a engenharia de projeto, operações de fabricação e economia.

Neste capítulo discute-se o método Taguchi, dando ênfase à função perda e ao projeto por parâmetros..

3.2.VARIABILIDADE

Como viu-se anteriormente, no capítulo 3 sobre QFD, durante o desenvolvimento de um produto, as necessidades do consumidor são traduzidas em termos funcionais, e então, em características de desempenho ou de qualidade. Estas características são especificadas em valores ideais que proporcionam a máxima satisfação ao usuário.

Não se pode melhorar a qualidade de um produto sem que as características de qualidade do produto possam ser identificadas e medidas. Além disso, um programa de contínuo desenvolvimento depende de se conhecer os valores ideais destas características de qualidade. Cada característica de qualidade é uma variável. Seu valor pode ser diferente para cada diferente unidade de produto, e também pode mudar com o tempo por uma unidade obtida. O objetivo de um programa de desenvolvimento contínuo da qualidade é reduzir a variação das características de qualidade de um produto de seus valores desejáveis, KACKAR (1986).

A variabilidade é um elemento inerente dos sistemas (produtos e processos) e relevante em relação à qualidade, por isso é necessário encará-la como um problema desde os primeiros passos de desenvolvimento do produto.

A vivência fez com que as características, de qualidade dos produtos, sejam especificadas em termos de níveis nominais e tolerâncias em torno destes níveis, tornando determinados valores alvos unicamente em termos de intervalos, uma prática difundida na indústria. Esta prática transmite uma idéia errônea de que um consumidor permanece igualmente satisfeito com todos os valores das características de qualidade, no intervalo da especificação, e então, subitamente torna-se descontente quando o valor da característica de qualidade se desvia do intervalo especificado.

É essencial na qualidade de um produto o grau da variação de seu desempenho, desse modo, quanto menor o desvio do desempenho do produto, de seu valor meta, melhor a qualidade deste.

Segundo TAGUCHI et al.(1990) e ROSS (1991), as fontes causadoras de variabilidade são chamadas de "fatores de ruído".

3.3.A FUNÇÃO PERDA

O ponto essencial do Método Taguchi é sua definição do termo "qualidade" como a característica que evita perda para a sociedade depois que o produto é remetido. "Perda da qualidade é a perda financeira imposta à sociedade depois que um produto é enviado para ser comercializado", BARKER (1986).

Muitas companhias usam ainda como medida do nível da qualidade a porcentagem não-conforme. Produtos não-conformes, entretanto geralmente não são enviados. Somente produtos que são entregues causam problemas de qualidade aos consumidores. Por esta razão, uma perda causada pela não expedição de produtos não-conformes deve ser considerada como custo e não como perda da qualidade.

Segundo TAGUCHI et al. (1990), a perda da qualidade ocorre quando a característica funcional de um produto (designada por y) desvia-se do valor nominal (designado por m), não importando o tamanho do desvio. A figura 2 abaixo mostra a relação simplificada entre perda da qualidade e valor do desvio.

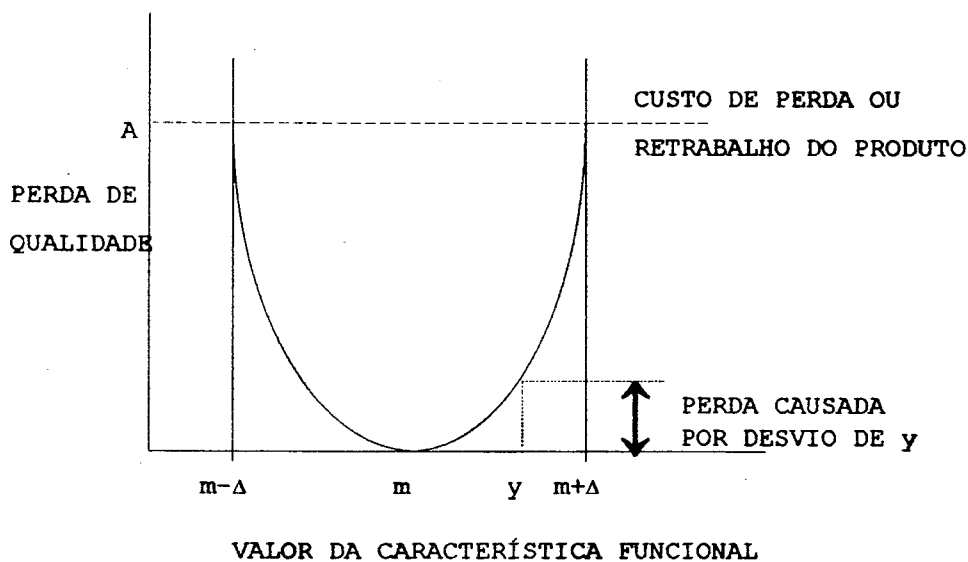


FIGURA 2 - RELAÇÃO ENTRE PERDA DA QUALIDADE E DESVIO DO VALOR NOMINAL (m)

Como mostra a figura 2, a perda da qualidade causada por desvio equivale a zero quando $y = m$; a perda aumenta quando o valor da característica funcional se desloca de m tanto para valores maiores quanto para menores. Quando o valor da característica funcional excede qualquer um dos limites $m + \Delta$ ou $m - \Delta$ (onde Δ é definido como tolerância), a perda na qualidade é igual ao custo de perda ou de fabricação do produto.

3.3.1. OBTENÇÃO DA FUNÇÃO PERDA

Suponha que a perda devido a um item não-conforme, por causa de inutilização, de conserto ou de reclassificação (segunda linha), seja A. Neste caso, designa-se a função perda por $L(y)$ e transforma-se a mesma numa série de Taylor, em torno do valor nominal m :

$$L(y) = L(m + y - m) \quad \text{ou}$$

$$L(y) = L(m) + \left[\frac{L'(m)}{1!} \right] (y - m) + \left[\frac{L''(m)}{2!} \right] (y - m)^2 + \dots \quad (3.1)$$

Visto que $L(y) = 0$ quando $y = m$ (por definição, perda da qualidade é zero quando $y = m$), e atinge-se o valor mínimo da função neste ponto (ver figura acima), sua primeira derivada com relação a m , $L'(m)$, é zero. Os dois primeiros termos da equação (3.1) são, então, iguais a zero. Quando se despreza os termos de ordem superior a 2, a equação é reduzida a

$$L(y) = \left[\frac{L''(m)}{2!} \right] (y - m)^2 \quad (3.2)$$

$$\text{ou} \quad L(y) = k(y - m)^2 \quad (3.3)$$

onde k é uma constante de proporcionalidade desconhecida que se pode calcular por meio do conhecimento da $L(y)$ para qualquer valor de y . É normal se obter a constante k pelo conhecimento das perdas causadas ao se ultrapassar as tolerâncias (custos ou perdas representadas pelo refugo ou reelaboração).

Uma das utilidades da função perda é a especificação ótima das tolerâncias. Quando y supera as tolerâncias devido ao desvio de y , a perda do consumidor devido a um item não-conforme é, como dito anteriormente, A unidades monetárias, assim substituindo y pelo intervalo $(m - \Delta)$ na equação (3.3), tem-se:

$$A = k(m - \Delta - m)^2 \quad (3.4)$$

de onde

$$k = \frac{A}{\Delta^2} \quad (3.5)$$

3.4. TIPOS DE TOLERÂNCIAS

Utilizando o conceito da função perda avalia-se o nível da qualidade para os seguintes tipos de tolerâncias:

1. Nominal é melhor (tipo N)
2. Quanto menor melhor (tipo S)
3. Quanto maior melhor (tipo L)

3.4.1 NOMINAL É MELHOR

Exige-se este tipo de tolerância para muitos produtos, peças, elementos e componentes quando se prefere um tamanho (ou característica) nominal.

Se retornar mais uma vez à função perda, para a situação nominal é melhor:

$$PERDA = k(y - m)^2 \quad (3.6)$$

A equação é constituída por dois elementos: variância e posição relativa da média da característica de desempenho de uma série de produtos. Portanto, para se minimizar a perda para a sociedade, a característica do produto deve estar centralizada no valor nominal e a variância daquela característica precisa ser reduzida.

3.4.2 QUANTO MENOR MELHOR (TIPO S)

Tolerância do tipo "quanto menor melhor" envolve uma característica não-negativa, cujo valor ideal é zero. Um exemplo típico de tal característica é a impureza. Desgaste, encolhimento, deterioração e nível de perturbação são também bons exemplos deste tipo.

Função perda para a característica menor é melhor é mostrada na figura (3.2). A constante de custo k pode-se calcular de modo similar à situação nominal é melhor. Existe determinada perda associada a um valor específico de y . A perda pode ser, então, calculada para qualquer valor de y baseando-se no valor de k . Esta função perda é idêntica à situação nominal é melhor com $m = 0$, que é o menor valor para a característica menor é melhor (sem valores negativos). E a equação é:

$$PERDA = k.(y)^2 \quad (3.7)$$

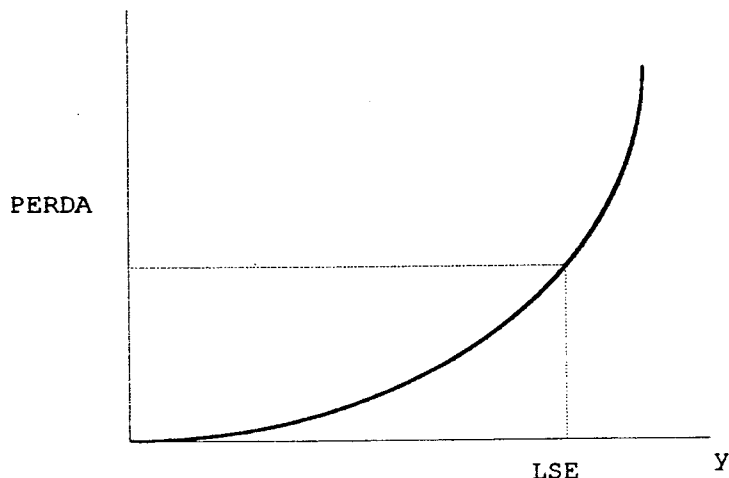


FIGURA 3 - FUNÇÃO PERDA QUANTO MENOR MELHOR

0.293.638-0

Biblioteca Universitária
UFSC

3.4.3 QUANTO MAIOR MELHOR (TIPO L)

Há casos onde o "quanto maior melhor" é aplicável a características tais como a resistência dos materiais e o rendimento de combustíveis. Nestes casos, não há valores nominais pré-determinados e quanto maior for o valor da característica, melhor será.

Novamente, pode-se calcular a constante de custo tomando-se como base determinada perda associada a um valor específico de y . E a equação é:

$$PERDA = \frac{1}{y^2} \quad (3.8)$$

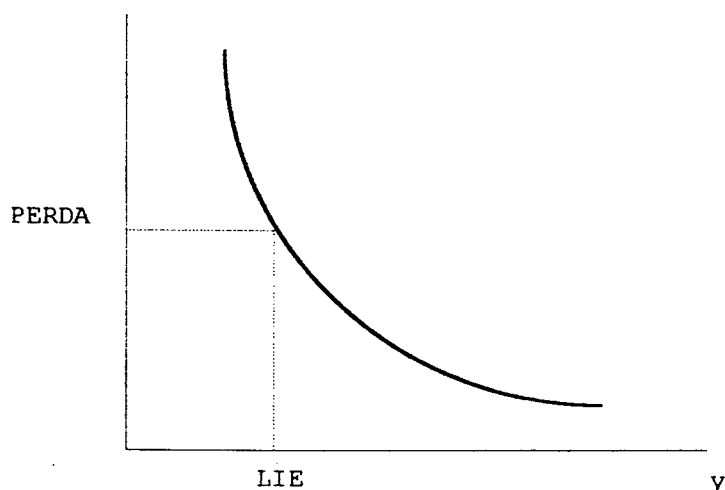


FIGURA 4 - QUANTO MAIOR MELHOR

3.5.DESENVOLVENDO UM PRODUTO E/OU PROCESSO ROBUSTO

4.5.1 ETAPAS DO PROJETO

Segundo ROSS (1991), para se alcançar a robustez, esforços de controle de qualidade devem começar na fase de projeto de produto e continuar durante as fases de engenharia de produção e fabricação. O autor considera também o projeto do produto ou processo como um programa de três etapas:

1. Projeto do Sistema
2. Projeto dos parâmetros
3. Projeto das tolerâncias

Primeiramente se fará uma breve descrição do que consiste cada etapa do projeto, e posteriormente se tratará do projeto por parâmetros mais detalhadamente, devido ao fato de nesta etapa do projeto se realizar atividades experimentais (físicas ou por computador) de forma a se verificar e a se reconhecer os efeitos dos parâmetros, sobre a característica de qualidade do produto.

O PROJETO DO SISTEMA

Esta etapa depende da fase em que está o produto no seu ciclo de vida. No projeto de produtos, o projeto do sistema denota desenvolvimento de um protótipo básico que desempenha as funções que se deseja e exige de um produto, com desvio mínimo de valores nominais de desempenho. Inclui seleção de materiais, de peças, de componentes e o sistema de montagem.

O projeto do sistema em processos industriais determina o que se exige para executar uma certa etapa do trabalho de transformação parcial para outro estágio mais avançado. Durante os processos de fabricação, energia é adicionada aos itens em processo com o objetivo de se modificar as formas, se remover material das mesmas ou se alterar as propriedades físicas e funções. Geralmente, existem muitos processos industriais que podem desempenhar a mesma função em cada processo.

O objetivo principal do projeto do sistema em processos industriais é determinar processos que possam fabricar o produto dentro dos limites e das tolerâncias especificadas com menor custo. Esta função geralmente é desempenhada pela produção e pelas engenharias de processo industrial.

Em suma, o projetista ou a equipe de projeto examina uma variedade de concepções, arquiteturas e tecnologias para se alcançar a função desejada do produto. Através de um processo de tomada de decisão de viabilidade, se escolhe a concepção mais apropriada.

PROJETO DOS PARÂMETROS

Nesta etapa, níveis (valores) de fatores controláveis (parâmetros do projeto) são selecionados para minimizar efeito de fatores perturbadores nas características funcionais do produto, procurando não afetar os custos de manufatura, ou seja, determina-se os níveis dos diferentes parâmetros que dão ao produto as suas qualidades funcionais e que minimizam a perda de qualidade.

Em outras palavras, procura-se estabelecer os níveis dos parâmetros do produto de modo que a característica de qualidade deste torne-se insensível ou robusta às fontes de variação (fatores de ruído), mantendo o valor médio da resposta sobre o valor objetivo de maneira consistente.

De acordo com KACKAR (1985), uma técnica que reduz a variação reduzindo a sensibilidade de um projeto de engenharia para as fontes de variação, antes que pelo controle destas fontes, é chamado de projeto do parâmetro.

Uma utilização, também importante, do projeto do parâmetro é para se desenvolver o desempenho de um produto em serviço. O desempenho de um produto em serviço é afetado por variáveis ambientais, deterioração do produto e imperfeições de fabricação. Pode-se usar o projeto do parâmetro para fazer um projeto do produto robusto contra estas fontes de variação e, portanto, melhorar o desempenho em campo.

PROJETO DAS TOLERÂNCIAS

Aplica-se esta etapa se a redução na variação das características funcionais alcançada por meio do projeto de parâmetros for insuficiente. Especifica-se, então, tolerâncias reduzidas para desvios de parâmetros do projeto em relação aos níveis que se determinou pelo projeto dos mesmos.

No projeto das tolerâncias realiza-se um balanceamento criterioso entre a redução da perda de qualidade, devido à variação da característica de qualidade, e o aumento no custo de manufatura, isto é, a utilização de tolerâncias mais apertadas pode implicar em matéria prima ou processo de manufatura mais caros.

Taguchi denomina à abordagem do controle de qualidade, na fase de projeto, como controle de qualidade *off-line*, onde o objetivo principal é melhorar a confiabilidade e a fabricabilidade do produto e reduzir custos durante todas as fases do ciclo de vida de um produto.

3.5.2 PROJETO DOS PARÂMETROS

Conforme visto no item anterior, é nesta etapa do projeto que se encontra os valores ou níveis dos parâmetros do projeto de um produto ou de um processo de manufatura, que reduzem a sensibilidade ao ruído. Para melhor entender esta importante etapa do projeto, na figura (4.4) mostra-se o diagrama dos parâmetros que representam a funcionalidade de um sistema, segundo PHADKE (1989).

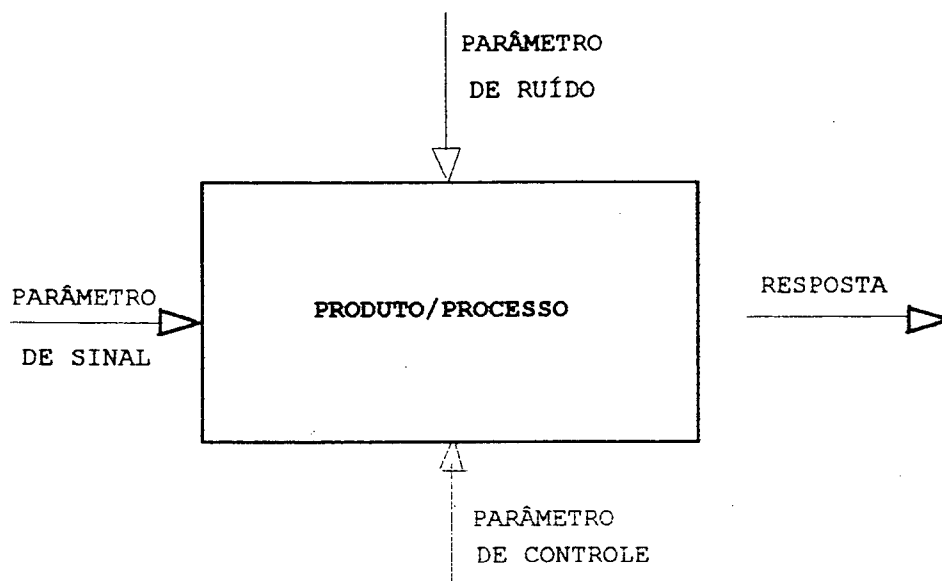


FIGURA 5 - DIAGRAMA DOS PARÂMETROS

A resposta do produto é denominada y . A resposta é o *output* do produto ou qualquer outra característica própria. Recorda-se que a resposta considerada para o propósito de otimização em um delineamento de experimento robusto é chamada de característica de qualidade.

Vários parâmetros podem influenciar a característica de qualidade ou resposta do produto. Estes parâmetros classificam-se dentro das seguintes três classes (note que a palavra parâmetro equivale à palavra fator na literatura de Projeto Robusto):

1. **FATOR DE SINAL (M)**: este é o grupo de parâmetros para o usuário ou operador expressar o valor pretendido para a resposta do produto. Os fatores de sinal são selecionados pelo engenheiro de projeto baseado no conhecimento da engenharia do produto que está se desenvolvendo. Algumas vezes dois ou mais fatores são usados combinados para expressar a resposta desejável.

2. **FATORES DE RUÍDO (X)**: Certos parâmetros não podem ser controlados pelo projetista, estes parâmetros são chamados fatores de ruído. Parâmetros cuja a situação é difícil controlar-se em campo, ou cujo os níveis são caros para se controlar são também considerados fatores de ruído. Os níveis dos fatores de ruído mudam de uma unidade para a outra, de um meio ambiente para outro e de tempo em tempo. Pode-se conhecer ou especificar apenas as características estatísticas (tal como média e variância) dos fatores de ruído, mas não se pode conhecer o valor atual na situação específica. Os fatores de ruído causam a resposta desviada da meta especificada pelo fator de sinal M , levando a perda de qualidade.

3. **FATORES DE CONTROLE (Z)**: Estes são parâmetros que o projetista pode especificar livremente. De fato, é responsabilidade do projetista determinar o melhor valor destes parâmetros. Cada fator de controle pode ter múltiplos valores, chamados níveis. Quando se muda os níveis de certos fatores de controle, o custo de fabricação não muda; contudo, quando se muda o nível dos outros, o custo de fabricação muda também. Tratar-se-á como fatores de

controle que afetam o custo de fabricação como *fatores de tolerância*, e os outros fatores se chamarão simplesmente *fatores de controle*.

Identificar respostas importantes, fatores de sinal, fatores de ruído e fatores de controle em um projeto específico são questões importantes. Em um Delineamento de Projeto Robusto é também importante se reconhecer quais os fatores de controle que mudam o custo de fabricação e quais não. A melhor situação, dos parâmetros que não afetam o custo de fabricação, é determinada através do projeto do parâmetro. E a melhor situação dos outros fatores é determinada através do projeto da tolerância. (Algumas vezes fatores de tolerância são também otimizados durante o projeto do parâmetro).

A seguir trata-se mais detalhadamente dos fatores de controle e de ruído, assim como da relação sinal/ruído, devido à importância dos mesmos para um projeto robusto.

3.5.3 RAZÃO SINAL-RUÍDO

PARÂMETROS DE CONTROLE E DE RUÍDO

Como visto no item anterior, conforme ROSS (1991), Taguchi distingue os parâmetros em dois grupos principais: parâmetros de controle e de ruído. Parâmetros de controle são aqueles estabelecidos pelo fabricante e que não podem ser diretamente modificados pelo consumidor. Parâmetros de ruído são aqueles sobre os quais o fabricante não possui controle direto, mas que variam de acordo com o ambiente e hábito do consumidor. Em geral, os fatores de ruído são aqueles para os quais o fabricante deseja não ter controle nenhum.

Parâmetros de ruído podem ser classificados em três categorias:

1. Ruído externo
2. Ruído interno
3. Ruído do produto

Ruídos externos são os dos fatores ambientais como temperatura ambiental, umidade, pressão ou pessoas. Até mesmo os diferentes lotes de materiais podem ser considerados como ruído externo num processo de produção. Ruídos externos estão relacionados com a função e com o tempo, tais como deterioração, desgaste, desaparecimento gradual da cor, encolhimento e dessecação. Ruídos externos provocam variações externamente ao produto; ruídos internos causam variação no interior do produto; o ruído do produto manifesta-se como variação de peça para peça. Produtos podem apresentar simultaneamente sensibilidade a todas as formas de ruído. A qualidade do projeto do produto ou processo resulta em variação menos funcional em decorrência de ruído externo ou interno. Qualidade da produção proporciona menos variação funcional de uma peça para outra e próxima ao valor nominal.

SINAL-RUÍDO

Os parâmetros de controle que contribuem na redução de variação (aperfeiçoamento da qualidade) podem ser rapidamente identificados observando o quanto de variação aparece como resposta. Taguchi idealizou uma transformação dos dados da repetição em outro valor, que representa a variação da medição existente. Designa-se a transformação como relação sinal-ruído (S/R). A relação S/R combina diversas repetições (exige-se, no mínimo, dois valores observados) em um valor que reflete o quanto de variação está presente.

A medida de desempenho S/R é derivada em função da natureza da resposta do sistema e do fator do sinal. Entende-se como resposta do sistema a característica de qualidade. A medida S/R depende basicamente do problema encontrado e de suas relações com as características de qualidade do produto, parâmetros de sinal e parâmetros de ajuste e escala.

Existem diversas relações S/R disponíveis, de acordo com o tipo de característica; menor é melhor, ou maior é melhor, ou nominal é melhor.

RELAÇÕES S/R

As equações para o cálculo das relações S/R para as características são:

1. Menor é melhor:

$$S/R = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (3.9)$$

onde n = número de repetições num ensaio (número de repetições independente dos níveis de ruído)

2. Nominal é melhor

$$S/R = -10 \log V_e \quad (3.10)$$

$$S/R = 10 \log \left(\frac{V_m - V_e}{nV_e} \right)$$

onde, na primeira fórmula inclui-se somente a variância e na segunda a média e a variância.

3. Maior é melhor

$$S/R = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (3.11)$$

As relações S/R para menor é melhor e maior é melhor são fáceis de se calcular; cada repetição está associada a uma equação. No entanto, a relação S/R para nominal é melhor necessita de uma explicação adicional. A relação contém V_e (variância do erro) e V_m (variância da média). Estes valores são determinados através da utilização da ANAVA sem

fator, em todas as repetições ocorridas em um ensaio. Ainda que o método da ANAVA sem fator não mostre possuir propósito real dentro da discussão da análise, a relação S/R emprega este conceito de decomposição. (maiores informações nas referências TAGUCHI (1988); ROSS (1991) e YUKIMURA (1991)).

3.5.4 ARRANJOS ORTOGONAIS

Na busca por projetos eficazes normalmente realiza-se determinados experimentos, observa-se o desempenho do produto e toma-se uma decisão quanto a se utilizar ou se rejeitar um novo projeto. É a qualidade desta decisão que se pode aperfeiçoar quando são utilizadas estratégias eficientes nos experimentos.

Não tendo em mãos estratégias de experimentos eficientes e adequadas, recorre-se a conceitos como avaliação do efeito de um parâmetro sobre o desempenho do produto, e se isto falhar, tende-se a experimentar outros fatores, mesmo assim não conseguindo, acontece a situação mais crítica, que consiste em se apegar a qualquer coisa, em desespero, e se alterar muitas outras, todas simultaneamente.

No primeiro caso citado acima, experimento com fator único, avalia-se o efeito de um parâmetro sobre o desempenho, enquanto mantém o restante rigidamente constante. Se, porventura ocorrer interação do fator estudado com algum outro fator, não se poderá examinar a interação. Além disso, o experimento com fator único não utiliza os dados de modo efetivo.

No caso de diversos fatores isolados, a limitação principal reside no fato de não se poder observar a interação entre os fatores estudados. Além disso, esta estratégia utiliza os dados de ensaio de modo limitado ao avaliar os efeitos do fator.

Estudando-se diversos fatores simultaneamente torna-se impraticável a separação dos efeitos dos fatores principais, sem considerar-se quaisquer efeitos de interação. Alguns fatores podem

proporcionar contribuição positiva e outros contribuição negativa; porém, não se terá nenhuma informação sobre este fato.

Para se evitar uma ineficiente utilização dos dados de ensaio e uma situação não ortogonal, e também, estimar interações mantendo a ortogonalidade deve-se utilizar experimentos fatoriais saturados ou arranjos ortogonais específicos.

Se o experimento por fatorial fracionado for utilizado há um mínimo de combinações possíveis (2^M) que devem ser ensaiadas (M = número de fatores cada um com dois níveis). No entanto, tempo e limitações financeiras impedem a utilização de experimentos fatoriais saturados. Para investigar de forma eficiente estes fatores de projeto, os estatísticos desenvolveram planejamentos mais eficientes, designados como frações de fatorial. Estes utilizam apenas uma parte de todas as combinações possíveis para estimar os efeitos principais do fator e alguns (não todos) efeitos das interações. Certas condições são selecionadas a fim de manter a ortogonalidade entre os diversos fatores e interações.

Taguchi desenvolveu um tipo de matriz especial (arranjo ortogonal) que se pode empregar em várias situações. O arranjo ortogonal permite que todos os graus de liberdade do erro possam ser trocados com graus de liberdade para fatores e proporcionem combinações específicas, que sejam compatíveis com este conceito. Quando se atribui um fator (diferente) a cada uma das colunas, designa-se isto como projeto saturado. O valor real da utilização do arranjo consiste na capacidade de se avaliar diversos fatores com um número mínimo de testes. Este experimento é considerado eficiente, visto que se adquire grande quantidade de informações proveniente de poucos ensaios.

Segundo ROSS (1991), os arranjos ortogonais se constituem numa invenção matemática, cujo o registro mais antigo data de 1897, por Jacques Hadamard, matemático francês. A utilidade destes arranjos ainda não havia sido explorada, até que na Segunda Guerra Mundial, Plackett e Burman, estatísticos ingleses, empregaram o conceito de projeto saturado. As matrizes de Hadamard são matematicamente idênticas às matrizes de Taguchi, onde colunas e linhas são rearrumadas. A atribuição de fatores a um fatorial saturado não é difícil; um fator é atribuído a

cada coluna. No entanto, os experimentos que não sejam totalmente saturados podem se tornar mais complexos para serem projetados.

ARRANJO ORTOGONAL L_8

A Figura (6) é chamada de arranjo de distribuição ortogonal L_8 .

Col No.	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

FIGURA 6 - ARRANJO ORTOGONAL L_8

O número à direita de cada fila é chamado de número do experimento ou número da distribuição, e vai de 1 a 8. Os alinhamentos verticais são chamados de colunas do arranjo ortogonal, e todas as colunas contêm quatro vezes os numerais 1 e 2. Desde a combinação dos

numerais de qualquer coluna e aquelas de qualquer outra coluna são feitas com os numerais 1 e 2, e existem quatro combinações possíveis.

Quando cada uma das duas colunas consiste de numerais 1 e 2 e as quatro combinações (11), (12), (21) e (22) aparecem com a mesma frequência, diz-se que estas duas colunas estão balanceadas ou ortogonais. Selecionar-se quaisquer duas colunas entre as sete colunas do arranjo ortogonal e se contar o número de combinações de (11), (12), (21) e (22), descobre-se que todas são ortogonais.

Assume-se então que o número de fatores é, quando muito, sete e que cada um tem dois níveis para um arranjo ortogonal L_8 . Para estes sete fatores que são A, B, C, D, E, F, e G, corresponde as colunas de 1 a 7 do arranjo ortogonal L_8 e executa-se oito rodadas de experimentos sucessivamente.

Visto que a combinação dos numerais de quaisquer duas colunas são combinações de 1, 2 e 3 para arranjos de três níveis, existem nove pares ordenados. As nove combinações de duas colunas são (11), (12), (13), (21), (22), (23), (31), (32) e (33) aparecendo com a mesma frequência. Duas colunas são ditas ortogonais ou balanceadas, tal como no caso de L_8 .

Existem várias críticas à eficiência dos arranjos ortogonais, considerados como experimentos fatoriais de repetição fracionada altamente saturados. Em outras palavras, utiliza-se os arranjos experimentais para estudar vários fatores, ocupando todas as colunas da matriz por fatores individuais, de tal forma a interessar-se somente nos efeitos principais dos fatores e desprezar-se as interações entre eles. Sendo que o motivo desta crítica baseia-se em que para se usar as matrizes ortogonais, na maioria dos casos requer que todas as interações de dois fatores sejam consideradas nulas. Este problema é conhecido por confusão, em outras palavras os feitos principais podem ser confundidos pelo efeitos de interação. A interação acontece entre dois fatores quando a mudança de nível de um fator influencia no comportamento dos efeitos do outro. Quanto maior é esta influência, maior é a interação entre eles.

Observando-se também que os já feitos arranjos ortogonais são para dois ou três níveis, pode ocorrer que apenas fatores de dois ou três níveis possam ser usados na experimentação. O fato é que estes arranjos ortogonais são raramente usados como são; é possível se executar complicadas distribuições de experimentos nas quais diferentes números de níveis existem juntos, utilizando-se de técnicas que facilitem a experimentação, como os gráficos lineares, TAGUCHI (1988).

Os gráficos lineares são propostos por Taguchi para vencer as críticas, eles propiciam meios para estipular e alocar os fatores dos quais se estudará as interações, através de informações gráficas.

Além disso, Taguchi propõe também o uso de um planejamento minucioso do experimento, a escolha criteriosa das características de qualidade a se estudar, o uso da transformação das variáveis pela razão sinal/ruído e a verificação experimental dos níveis ótimos encontrados.

3.5.5 GRÁFICOS LINEARES

Para melhor se compreender os gráficos lineares e suas aplicações, far-se-á a explicação através de uma aplicação dos mesmos, no arranjo ortogonal L_8 .

GRÁFICOS LINEARES DO ARRANJO ORTOGONAL L_8 E SUAS APLICAÇÕES

Dois gráficos lineares acompanham o arranjo ortogonal L_8 . Os dois gráficos da Figura (4.6) apresentam as seguintes informações.

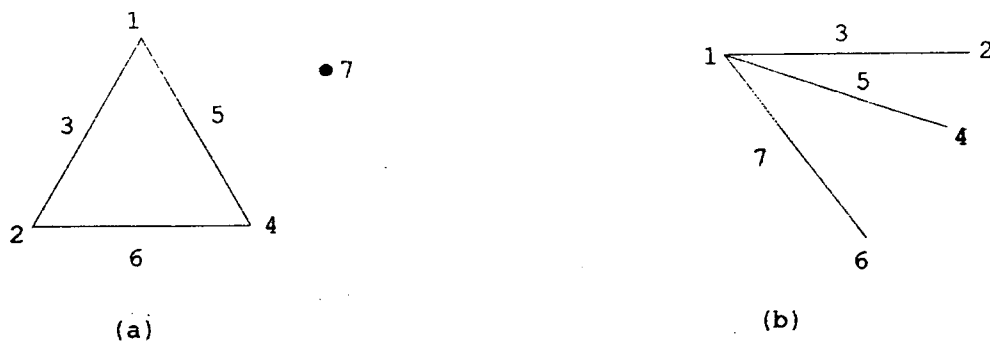


FIGURA 7 - GRÁFICOS LINEARES DO ARRANJO ORTOGONAL L8

a. Gráfico Linear (1). Este mostra que a coluna de interação entre a coluna 1 e a coluna 2 aparece na coluna 3, que a interação entre a coluna 2 e a coluna 4 aparece na coluna 6, e que a interação entre a coluna 1 e a coluna 4 aparece na coluna 5. A coluna 7 está desconcertada do triângulo e mostra-se como um ponto independente. Se existem quatro fatores de dois níveis, eles são expressados como A, B, C e D. Quando eles são transferidos para o arranjo ortogonal L_8 , três colunas serão colocadas na esquerda. Neste caso, erros entre experimentos pode-se obter das três colunas extras. Contudo, a avaliação da reprodutibilidade dos principais efeitos ou, em outras palavras, aditividade dos efeitos, vem a ser mais certo se em vez de vagamente buscar-se o erro, distribuir-se os dados, assim que se possa obter as interações entre fatores que se acredite ter um grande efeito e se comprove que estas interações são reduzidas. Portanto é melhor por de lado o fator D, cujo efeito se acredita ser o menor entre os quatro fatores A, B, C, e D, e faz-se suas distribuições assim que as interações entre os outros fatores possam ser construídas (encontradas). Se usar o gráfico linear e colocar-se:

A correspondendo à coluna 1

B correspondendo à coluna 2

C correspondendo à coluna 3

e se colocar D correspondendo à coluna 7, pode-se mostrar que se obtêm a:

Interação A x B na coluna 3

Interação A x C na coluna 5

Interação B x C na coluna 6.

Portanto, a solução para o problema de distribuição, neste caso, pode-se obter simplesmente pelo uso do gráfico linear (1).

b. Gráfico Linear (2) - usa-se quando interações entre um fator específico e vários outros fatores são importantes. Por exemplo, suponha-se que existam dois tipos de matéria prima, A1 e A2, e dois métodos de tratamento térmico, B1 e B2. Então assume-se que para encontrar o melhor valor para temperatura e tempo deve selecionar-se dois níveis de cada um dos fatores: temperatura e tempo. Denominar-se-á estes C1, C2 e D1 e D2, respectivamente. Desde o forno e o modo de operação diferem consideravelmente se B1 ou B2 é usado, pode-se prever que a melhor condição de temperatura e de tempo também será diferente. Por outro lado, no caso de um bom material, pode-se assumir que o produto final será bom sempre que um método de tratamento é usado; portanto o principal efeito basta para o material A. Então, neste caso, junto dos principais efeitos de A, B, C e D, necessita-se de duas interações B x C e B x D.

Para isso, necessita-se de um gráfico linear, tal como é mostrado na figura 8 abaixo.

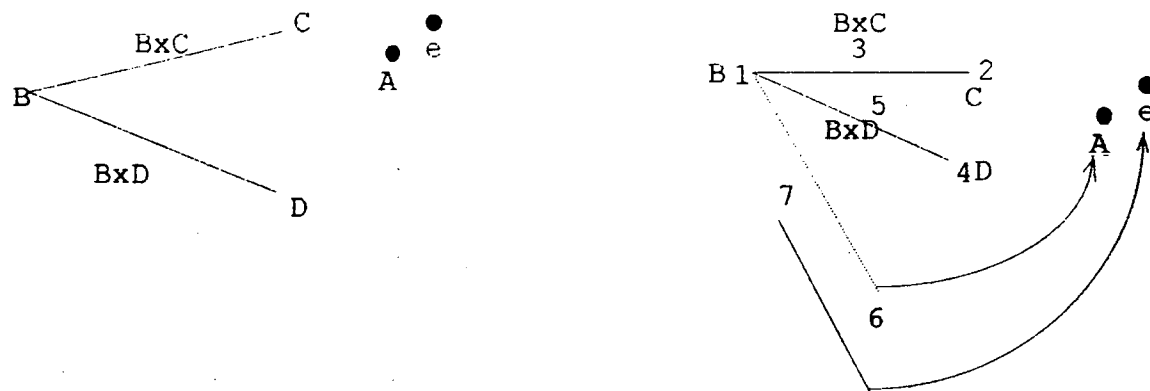


FIGURA 8 - GRÁFICOS LINEARES

A distribuição requerida pode-se obter facilmente pelo gráfico linear (2). Usa-se apenas duas linhas entre as três linhas radiais do gráfico (2). Então, para um segmento extra, neste caso, (o qual conecta coluna 1 e coluna 6), separa-se as colunas 6 e 7, como mostrado na figura, e mostra-se os pontos independentes. Visto que os principais efeitos podem ser obtidos dos pontos independentes, permite-se ao fator A, do qual se deseja apenas o principal efeito, corresponder-se a um deles.

A mesma distribuição pode-se também obter do gráfico linear (1). Quando se usa o gráfico linear (1), separa-se o segmento que conecta a coluna 2 e a coluna 4 e deixa-se a coluna 6 correspondendo à A como um ponto independente igual à coluna 7.

3.6.A EXPERIMENTAÇÃO E A ANÁLISE

Gasta-se um grande tempo de engenharia para se gerar informações de como diferentes parâmetros de projeto afetam o desempenho sob diferentes condições de uso. A metodologia do Delineamento Robusto permite ao engenheiro gerar as informações necessárias para tomar decisões com pouco esforço experimental.

Segundo PHADKE (1989), existem duas importantes questões para serem desenvolvidas no Delineamento Robusto:

1. Para mensurar a qualidade durante o projeto e desenvolvimento - necessita-se de um indicador principal de qualidade pelo qual pode-se avaliar o efeito de uma mudança em um parâmetro de projeto sobre o desempenho do produto.
2. Experimentação eficiente para encontrar informações confiáveis sobre os parâmetros de projeto - é crítico se obter informações confiáveis sobre os parâmetros de projeto tal que alterações no produto durante a fabricação e uso do consumidor possam ser impedidas. Também, deve-se obter a informação com o mínimo de tempo e recursos.

Os efeitos estimados dos parâmetros de projeto devem ser válidos mesmo quando outros parâmetros são alterados durante um posterior esforço de projeto, ou quando o projeto dos subsistemas relacionados mudam. Isto pode se realizar pelo emprego da razão sinal/ruído (S/N) para mensurar a qualidade e pelo arranjos ortogonais para se estudar muitos parâmetros de projeto simultaneamente. Ferramentas descritas anteriormente.

O projeto do parâmetro tem, como essencial, a possibilidade de se investigar a influência dos diferentes fatores de ruído sobre a resposta do sistema. À medida que são investigados os efeitos das fontes de variação e feitas as respectivas mudanças, o projeto do parâmetro torna o

sistema (produto e/ou processo) robusto, por meio da escolha de parâmetros de controle que insensibilizem o sistema às fontes de variabilidade.

A seguir mostra-se como se realiza o delineamento de experimentos pelo método Taguchi. Primeiro se mostrará como realizar o planejamento do experimento, e posteriormente se tratará das estimativas dos efeitos e análise da variância. O assunto é tratado por vários autores com pequenas alterações nos termos e/ou nas etapas a serem seguidas, sendo que, na essência, as propostas são iguais. Para maior aprofundamento no tema, recomendamos as referências bibliográficas TAGUCHI (1988), ROSS (1991), PHADKE (1989), KACKAR (1985) e MONTGOMERY (1983).

3.6.1 PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO

Antes de se iniciar a experimentação, é importante estabelecer um planejamento da experimentação e se fazer a identificação dos parâmetros, tais como: seleção dos parâmetros de controle e de ruído e/ou interações, características de qualidade, seleção de níveis para os parâmetros, a função principal do produto e/ou processo (sistema).

A determinação de quais os parâmetros que serão investigados está subordinada às características de qualidade do produto ou processo, ou respostas de interesse. O consumidor que eventualmente utiliza um produto espera ou necessita de alguma função deste produto. Se durante os estágios iniciais de desenvolvimento do produto esta função não é proporcionada, ou proporcionada de forma inconsistente, a característica de qualidade deverá ser aperfeiçoada. Diversos métodos são úteis na determinação de quais fatores se incluirão nos experimentos iniciais. Os principais são:

1. Brainstorming;
2. Fluxogramas (especialmente para processos);
3. Diagrama de causa-efeito.

É necessário que se especifique as características de qualidade quanto à forma como estas serão medidas durante a experimentação. Muitas vezes os meios de medição convencionais utilizados nas empresas e laboratórios não se mostram apropriados para uma experimentação pelo método Taguchi, principalmente devido às questões de necessidade de aditividade ou superposição dos efeitos dos parâmetros a se investigar. Phadke e Taguchi apresentam algumas regras para alcançar aditividade por meio da escolha apropriada das características de qualidade, TAGUCHI (1988).

Uma outra etapa importante no planejamento do experimento é selecionar-se os níveis dos parâmetros. As etapas iniciais da experimentação podem envolver muitos parâmetros em poucos níveis; recomenda-se dois níveis para minimizar a dimensão inicial do experimento. Torna-se importante salientar também que o número de graus de liberdade para um parâmetro é o número de níveis menos um, aumentar o número de níveis para um parâmetro, aumenta os graus totais de liberdade, que é função direta do número total de ensaios. A etapa inicial da experimentação eliminará muitos parâmetros da discussão e os poucos restantes poderão ser investigados com níveis múltiplos sem causar crescimento excessivo no tamanho do experimento, que provocaria um aumento de custo e/ou tempo.

Faz-se a escolha dos níveis utilizando a experiência da equipe nas questões de projeto de engenharia. Chama-se a atenção para esta fase por ser muito particular, visto que depende do corpo técnico que pretende realizar a experimentação, é relevante que o trabalho seja realizado em equipe, YUKIMURA (1991).

Além dos parâmetros de controle, o projetista precisa identificar os parâmetros de ruído. Os parâmetros de ruído são escolhidos conforme a percepção do projetista sobre estes parâmetros incontroláveis ou que se decidiu não controlar. Assim, são escolhidos e estabelecidos os parâmetros de ruído mais importantes e suas faixas, através da investigação do seu comportamento estatístico.

Para estudar os parâmetros de controle e de ruído Taguchi recomenda o uso de matrizes ortogonais. A seleção do arranjo ortogonal a ser utilizada depende do:

1. Número de parâmetros e interações de interesse;
2. Número de níveis para os parâmetros de interesse.

Estes dois itens determinam os graus totais de liberdade exigidos para todos os experimentos. Os graus de liberdade para cada parâmetro consistem no número de níveis menos 1.

$$v_A = k_A - 1, \quad (3.12)$$

onde, k_A é o número de níveis do parâmetro.

O número de graus de liberdade para uma interação é o produto dos graus de liberdade dos parâmetros nessa interação.

$$v_{AxB} = (v_A)(v_B) \quad (3.13)$$

Graus de liberdade mínimos exigidos em série de experimentos consistem na somatória de todos os graus de liberdade de parâmetro e interação.

O número na designação do arranjo indica o número de ensaios contidos no mesmo; por exemplo, um L27 possui 27 ensaios. O número de graus de liberdade disponíveis num certo arranjo é equivalente ao número de ensaios menos 1.

$$v_{T_N} = N - 1 \quad (3.14)$$

Quando se seleciona um arranjo específico para um experimento, deve-se satisfazer a seguinte desigualdade:

$$N v_{T_N} > v, \quad (3.15)$$

onde v é os graus de liberdade exigidos para fatores e interações.

O número de níveis empregado nos fatores deve ser utilizado para selecionar tipos de arranjos com dois ou três níveis. Uma vez que se toma a decisão entre dois ou três níveis, conseqüentemente, o número de ensaios para aquele tipo de arranjo deverá fornecer os graus

totais de liberdade adequados. Muitas vezes, os graus de liberdade exigidos vão ficar entre os graus de liberdade fornecidos por dois dos arranjos. Deve-se, então, seleccionar-se o arranjo com maior grau de liberdade.

Um projeto de parâmetros completo é formado de duas matrizes experimentais chamadas, segundo KACKAR (1985), matrizes de projeto e de ruído (Taguchi denomina essas matrizes de interior e exterior, respectivamente).

As colunas da matriz de projeto representam os parâmetros de controle, em cima de cada coluna está representada a posição do teste do parâmetro de controle, e cada fila da matriz (também chamada de uma rodada de testes) representa um parâmetro de controle. A coluna de uma matriz de ruído representa os parâmetros de ruído, e as filas da matriz representam diferentes combinações dos níveis dos parâmetros de ruído. Mostra-se na figura (4.8) um modelo de arranjo de um projeto de parâmetros experimental pelo método Taguchi, de modo a exemplificar como se monta um arranjo de projeto de experimentos.

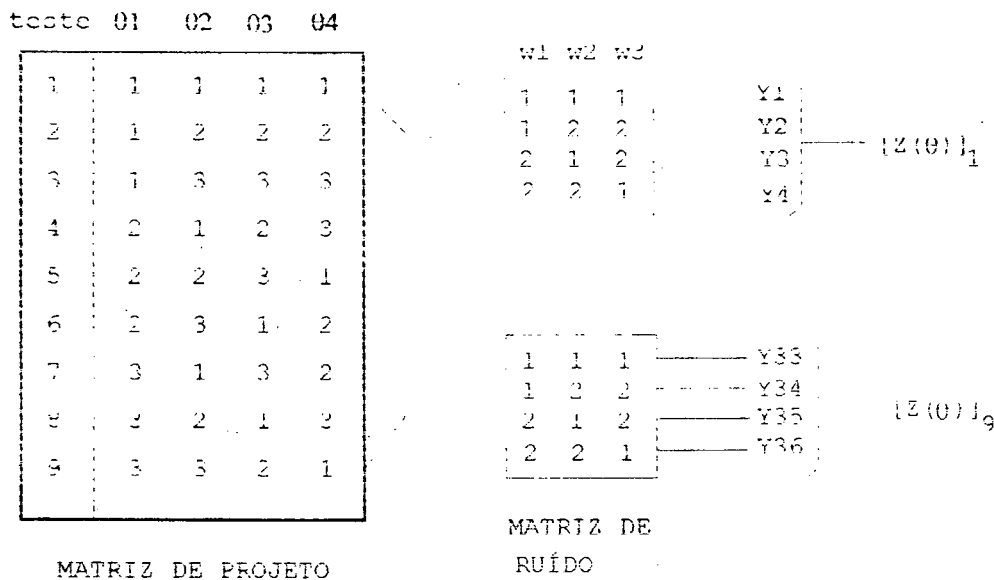


FIGURA 9 - PLANEJ. PROJETO DE PARÂMETROS EXPERIMENTAL

Se a matriz de projeto tem m linhas, e a matriz de ruído tem n linhas, o número total de linhas no combinado projeto do parâmetro experimental é $m \times n$. Para cada uma das m linhas da matriz de projeto, as n linhas da matriz de ruído dão n ou mais repetições de observações sobre o desempenho da característica. Os níveis dos parâmetros de ruído e a matriz de ruído são mudados assim que estas repetições de observações representem os efeitos de todos os níveis possíveis dos parâmetros de ruído.

As repetições de observações sobre o desempenho da característica de qualidade para cada rodada de teste na matriz do projeto são então usadas para computar um critério chamado *razão sinal/ruído*. Os m valores da razão sinal/ruído associados com as m rodadas de testes na matriz de projeto são usados, então, para predizer situações dos parâmetros de projeto que minimizam a expectativa de perda.

3.6.2 ESTIMATIVA DOS EFEITOS

A relação sinal/ruído estima o efeito do parâmetro de ruído na característica de qualidade (ver seção 4.3). Segundo KAKCAR (1985), uma eficiente relação sinal/ruído aproveita-se de um anterior conhecimento da engenharia sobre o produto, da função perda e da distribuição da característica de qualidade.

Tem-se $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$ representando os parâmetros de projeto e $w = (w_1, w_2, \dots, w_i)$ representando os parâmetros de ruído incluídos no projeto do parâmetro experimental. Assume-se que a característica de qualidade Y é uma função de θ e w , isto é, $Y = f(\theta, w)$. Os

parâmetros de projeto θ são os parâmetros da distribuição de Y , e para um dado θ os fatores de ruído geram a distribuição.

Tem-se

$$\eta(\theta) = E[Y] \text{ e} \quad (3.16)$$

$$\sigma^2(\theta) = E\{[Y - \eta(\theta)]^2\} \quad (3.17)$$

representando a média e a variância de Y , respectivamente. Com este modelo expectativas de perdas são função de θ .

Uma medida de desempenho é uma função de θ , selecionando-se assim que maximização da medida de desempenho, com possíveis ajustes de engenharia, minimiza a expectativa de perda. Usa-se, então, a medida de desempenho como um critério para comparar diferentes situações dos parâmetros de projeto. Uma eficiente medida de desempenho aproveita-se do conhecimento da engenharia sobre o produto e a função perda. Uma expectativa de perda é uma medida de desempenho, contudo, alguma vezes isto é mais complicado do que o necessário porque não se aproveita do conhecimento da engenharia. Diferentes projetos de engenharia podem levar a diferentes medidas de desempenho. KACKAR (1985).

Taguchi definiu mais do que sessenta diferentes relações sinal/ruído (estimadas das medidas de desempenho) para aplicações de engenharia no parâmetro do projeto. Enquanto uma medida de desempenho é função de θ , em geral a função não é conhecida. Deve-se, portanto, estimá-la, e esta estimativa é que é usada como o critério a se otimizar. Taguchi usa o termo razão sinal/ruído para a estimativa estatística de uma medida de desempenho.

Conforme colocado na seção 3.3, a relação sinal/ruído de Taguchi pode ser escrita como segue:

Nominal é melhor

$$S/R = -10 \log V_e \quad (3.10)$$

$$S/R = 10 \log \left(\frac{V_m \cdot V_e}{n V_e} \right)$$

Maior é melhor:

$$S/R = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (4.11)$$

Menor é melhor:

$$S/R = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (3.9)$$

É importante salientar que a decisão de qual situação, dentre as propostas acima, melhor se adapta ao caso em estudo, toma-se antes do início do experimento.

Com as medidas $Z(\theta)$ calculadas para cada teste da matriz de projeto, são calculados os efeitos principais dos parâmetros de controle. Antes disso, é importante que se calcule o fator de correção (FC) e a média geral (m), que são dados como segue:

$$FC = \sum_{i=1}^n Z(\theta)_i \quad (3.18)$$

$$m = 1/n \sum_{i=1}^n Z(\theta)_i \quad (3.19)$$

onde n = número de testes.

O efeito principal de um parâmetro define-se como a causa de desvio da média geral m . Como exemplo, utilizando a figura (9), se mostrará como se calcula o efeito do fator θ_1 no nível 1. O parâmetro θ_1 no nível 1 encontra-se nos testes 1, 2, e 3 da matriz de projeto. A média será dada por:

$$m(A_3) = 1/3 [Z(\theta_1)_1 + Z(\theta_1)_2 + Z(\theta_1)_3] \quad (3.20)$$

Deste modo o efeito do parâmetro θ_1 no nível 1 é dado por $(m(A_3) - m)$.

Como já mencionado anteriormente, o principal propósito do método Taguchi é de otimizar os parâmetros de projeto do produto e/ou processo, isto é, determina-se os níveis dos fatores que maximizam a razão sinal/ruído na região experimental, de modo a diminuir a sensibilidade do produto e/ou processo aos ruídos. Desse modo, pode-se usar os efeitos principais estimados como níveis ótimos de projeto. De forma a ter-se uma melhor referência para o processo de escolha dos níveis ótimos, os efeitos calculados pode-se plotar num gráfico.

Conforme ROSS (1991), calcula-se os efeitos dos parâmetros para se classificar os parâmetros de controle conforme quatro classes:

Classe I: Parâmetros que influenciam a média e variação

Classe II: Parâmetros que influenciam somente a variação

Classe III: Parâmetros que influenciam somente a média

Classe IV: Parâmetros sem influência.

A estratégia do projeto por parâmetros consiste em se selecionar os níveis apropriados das classes I e II para reduzir a variação da classe III para ajustar a média ao valor nominal. A classe IV pode ser estabelecida dentro do nível mais econômico, já que nem a média nem a variação sofrem influência.

3.6.3 ANÁLISE DA VARIÂNCIA

Como a variação abrange grande parte da discussão referente à qualidade, o método estatístico a se utilizar para interpretar dados experimentais e tomar decisões necessárias será o da análise da variância (ANAVA). ANAVA é uma ferramenta de decisão estatisticamente formulada para detectar quaisquer diferenças no desempenho médio da série de testes. A decisão, longe de considerar somente o julgamento, leva em consideração a variação, ROSS (1991).

A análise da variância consiste em uma técnica matemática que decompõe origens que justificam a variação total; a variação total é decomposta em seus componentes apropriados.

Obtém-se a variabilidade total dos dados pela soma dos quadrados desvios do valor médio. Estima-se, assim, a contribuição de cada parâmetro e do residual com relação à variabilidade.

$$SQT = \sum [Z(\theta)_i - m]^2 \quad \text{ou} \quad (3.21)$$

$$SQT = [\sum Z(\theta)_i]^2 - (FC)^2/n \quad (3.22)$$

A variação ocorrida devido a cada parâmetro calcula-se, mais usualmente, para qualquer número de níveis do parâmetro por:

$$SQP = [\sum (P_i^2)] - FC^2/n \quad (3.23)$$

onde, P= parâmetro em estudo

Supondo que $(A \times B)_i$ representa a somatória de dados sob a i -ésima condição das combinações de parâmetros A e B; considerando-se também c o número de combinações possíveis dos parâmetros que interagem e $n(A \times B)_i$ o número de valores observados sobre esta condição, tem-se, para calcular a variação devido à interação dos supostos parâmetros A e B, utilizado com maior freqüência, a seguinte fórmula.

$$SQ_{A \times B} = \sum [(A \times B)_i / n(A \times B)_i] - FC^2/n - SQA - SQB \quad (3.27)$$

Segundo ROSS (1991), o modo mais fácil para se calcular a variação do erro, é utilizando a técnica lenta. Qualquer variação usada para considerações futuras, além da que é justificável, consiste em erro, onde

$$SQT = [SQ_{P1} + SQ_{P2} + \dots + SQ_{Pi}] + [SQ(P1 \times P2) + \dots + SQ(Pi \times Pj)] + SQ_e \quad (3.28)$$

logo,

$$SQ_e = SQT - [SQ_{P1} + \dots + SQ_{Pi}] - [SQ(P1 \times P2) + \dots + SQ(Pi \times Pj)] \quad (3.29)$$

SQ_e - Soma Quadrática do Erro

$SQ(Pi \times Pj)$ - Soma Quadrática das Interações

SQ_{Pi} - Soma Quadrática dos Parâmetros

GRAUS DE LIBERDADE

Calculam-se os graus de liberdade da seguinte forma:

$$v_T = n - 1 \quad (3.30)$$

igualmente

$$v_T = [v_{P1} + \dots + v_{Pi}] + [v_{(P1 \times P2)} + \dots + v_{(Pi \times Pj)}] + v_e \quad (3.31)$$

onde, v_{P_i} é o grau de liberdade dos parâmetros:

$$v_{P_i} = k_{P_i} - 1, \quad (3.32)$$

k_{P_i} = número de níveis do parâmetro.

Graus de liberdade das interações (Pi x Pj):

$$v_{(P_i P_j)} = (v_{P_i}) \times (v_{P_j}) \quad (3.33)$$

Graus de liberdade do erro:

$$v_e = v_T - v_{P_i} - v_{(P_i P_j)} \quad (3.34)$$

VARIÂNCIA

A variância (V) será encontrada dividindo-se a soma dos quadrados (SQ) pelo graus de liberdade, conforme cada caso. Então tem-se:

$$V_T = SQ_T / v_T, \quad (3.35)$$

$$V_{P_i} = SQ_{P_i} / v_{P_i}, \quad (3.36)$$

$$V_{(P_i \times P_j)} = SQ_{(P_i \times P_j)} / v_{(P_i \times P_j)}, \quad (3.37)$$

$$V_e = SQ_e / v_e \quad (3.38)$$

TESTE F PARA COMPARAÇÃO DE VARIÂNCIAS

Estatisticamente, existe uma ferramenta que proporciona uma decisão com um certo nível de confiança quanto ao fato de estas estimativas serem significativamente diferentes. Esta ferramenta é chamada de teste F. O teste F consiste simplesmente na razão de variância de amostras:

$$F_{Pi} = V_{Pi}/V_e, e \quad (3.39)$$

$$4. F(P_i \times P_j) = V(P_i \times P_j)/V_e \quad (3.40)$$

A interpretação dos resultados da ANAVA se apresenta inicialmente em duas categorias:

1. Parâmetros que possuem razão F superior a determinado valor crítico;
2. Parâmetros que possuem razão F inferior a determinado valor crítico;

Acredita-se que os parâmetros que possuam razão F maior que a crítica (razão F das Tabelas) exerçam influência sobre o valor da média, e fatores que possuam razão F menor que a crítica não causem efeito algum sobre a média.

Na tabela abaixo temos um resumo da ANAVA, que constitui as técnicas analíticas básicas utilizadas. Para melhor compreender, vamos supor que a tabela se refira a um experimento com apenas dois parâmetros:

<i>A</i>	SQA	f_A	SQA/f_A	VA/Ve
<i>B</i>	SQB	f_B	SQB/f_B	VB/Ve
<i>A x B</i>	SQA x B	$f_{A \times B}$	$SQA \times B/f_{A \times B}$	$VA \times B/Ve$
<i>e</i>	SQe	f_e	SQe/f_e	
<i>T</i>	SQT	f_T	SQT/f_T	

TABELA 1 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIANÇIA

com a análise fatorial, a análise de variância e o experimento de confirmação. O objetivo principal da análise de variância é construir a estrutura da análise de conclusões adquiridas em experimentos de planejamento. As técnicas de análise são empregadas para fatores e níveis de fatores, e os resultados são analisados estatisticamente para determinar a importância de cada fator no experimento de confirmação comparando a média estimada, baseada nos fatores de planejamento. O objetivo principal é confirmar os resultados em uma decisão e não de gerar hipóteses.

CAPÍTULO 4

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV) E DESIGN FOR ENVIRONMENT (DFE)- PROJETO PARA O MEIO AMBIENTE.

4.1. ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DO PRODUTO

4.1.1- INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda por produtos e serviços exigiu-se que houvesse um aumento na produção e por consequência uma extração rápida e desordenada dos recursos naturais mundiais, na produção de subprodutos e beneficiamento de materiais naturais, que provocou um aumento na formação e liberação de resíduos na água, no solo e no ar.

Segundo GRAEDEL & ALLEMBY (1995) , para que a população da terra apresentasse hoje o mesmo padrão de consumo de materiais dos americanos, o consumo mundial de recursos naturais teria de aumentar de 4 a 6 vezes. Um aumento dessa ordem teria consequências desastrosas para a natureza.

Com as dificuldades crescentes de conviver com resíduos das nossas atividades, o esgotamento de alguns recursos naturais não renováveis provoca serias consequências para as futuras gerações. Isto tem levado a sociedade a exigir dos produtores de bens de consumo buscar novas soluções para minimizar ou eliminar, quando possível, tais problemas.

Os problemas ambientais são típicos de uma sociedade industrializada e contemporânea, as soluções exigem a participação de todos na sociedade, principalmente no contexto do desenvolvimento dos produtos e a participação da alta gerência que, além de estar totalmente envolta na filosofia da qualidade, deve também estar buscando sistemas eficazes para o desenvolvimento dos produtos aliados a tecnologia mais “limpas”, ou seja, compatíveis com a satisfação dos clientes e o crescimento organizacional.

Escolher as opções de projeto mais viáveis no ponto de vista ambiental exige o conhecimento de todas as etapas de vida do produto, além de considerar os fatores e níveis dos componentes do processo de manufatura, considerando também os custos da não qualidade.

Sem esse conhecimento é possível resolver apenas problemas parciais, sendo que os resultados às vezes não são os esperados sob o ponto de vista mais global. Por exemplo, a substituição de papéis comuns por reciclados, pode ser uma solução para a poluição local nas nossas cidades. Entretanto, se o método de branqueamento e formação da folha necessários para a sua manufatura são muito poluentes e devastadores, de nada adianta a reciclagem pois o problema da poluição global ainda permanece.

O exemplo acima, como tantos outros, evidencia a necessidade de levar em conta todas as etapas do ciclo de produto, desde a extração das matéria-primas até o seu descarte no meio ambiente, quando se trata de minimizar ou eliminar os impactos ambientais associados a cada uma dessas etapas.

4.1.2. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO PRODUTO (ACV)

Os primeiros estudos sobre a avaliação do ciclo de vida (ACV) foram realizados na Europa e nos EUA, nos anos setenta, nos quais se observavam os efeitos ambientais de todas as fases da vida de um produto, avaliando desde o processo de extração da matéria-prima até o seu descarte final.

A avaliação do ciclo de vida (ACV), segundo REIS (1995), é um processo de avaliação dos produtos ambientais associado a um sistema de produtos e serviços, que permite identificar e avaliar os impactos dos produtos no meio ambiente ao longo do seu ciclo de vida do produto (desde a extração dos materiais, produção, transporte, uso e descarte após o uso). Cada uma das fases do processo produtivo é avaliada, sendo que a profundidade dependerá da finalidade do estudo.

A definição da EPA (Environmental Protection Agency) envolve o controle de descarga no meio ambiente e os impactos de um produto específico pelo desenvolvimento de uma matéria-prima, passando por sua produção ate descarte final (EPA, 1991). Outros dados para a ACV incluem o balanço, análise do começo ao fim, e análise do perfil dos recursos e meio ambiente.

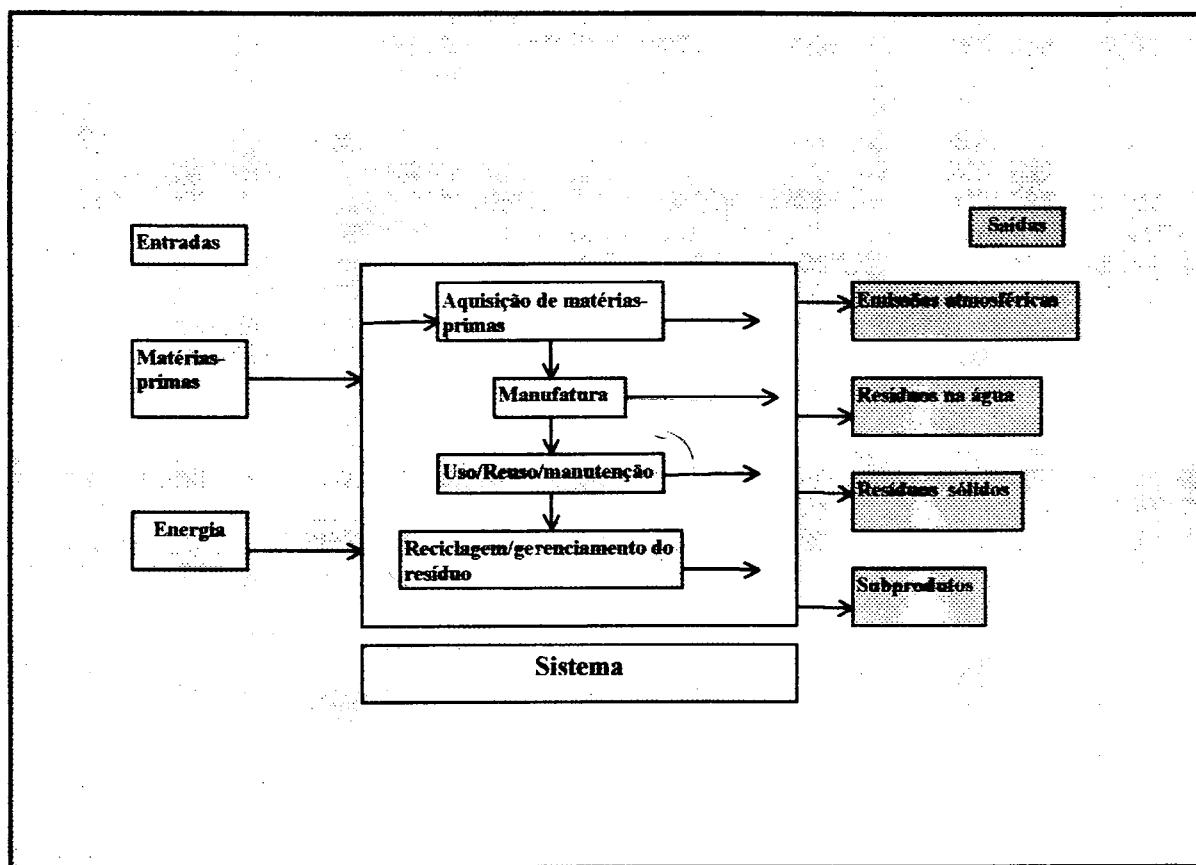
A Sociedade Americana de Toxicologia e Química define a ACV como uma visão holística das conseqüências ambientais associadas ao ciclo e vida do produto ou do processo desde o berço ao túmulo (FAVA , 1990).

A companhia 3M define sua abordagem de ciclo de vida como uma busca de como os resíduos podem ser reduzidos ou eliminados, partindo-se do ponto de geração na operação de manufatura, passando pelo processamento, tratamento e por último pelo risco dos resíduo acumulados (HUNTER , 1990).

A ACV é uma abordagem holística que analisa o sistema como um todo, em torno de um produto específico. Ela considera a extração, o processamento da matéria prima , a manufatura, o transporte e distribuição; uso e reuso; manutenção; reciclagem e o gerenciamento de resíduos (FAVA , 1990). Também analisa os fatores que influem na sua produção e o efeito de seu uso (HUNTER, 1990).

Os impactos ambientais são determinados pelas entradas e saídas durante o seu ciclo de vida, no qual pode-se obter uma série de efeitos ambientais quantificáveis, tais como: Entrada; matérias-primas ou energia. Saídas; emissões totais dos gases, lançamento total dos efluentes, consumo total de energia, geração total de resíduos e contaminação total do

solo, e outras liberações como: ruído, vibrações, radiações, calor, etc., como mostra na figura 10.



Fonte: Curran (1993)

Fig. 10- ESTÁGIO DO CICLO DE VIDA

Embora a ACV tenha sido usadas por indústrias, órgãos do governo e outras organizações, o interesse por ela tem crescido desde da última década na Europa e nos EUA em alguns outros países (FAVA, 1991). A análise de inventário do ciclo de vida teve seu início nos anos 60. Os interesses sobre o decréscimo de matéria-prima e recursos energéticos despertaram interesse em encontrar maneiras de gerenciar o uso de energia e o fornecimento de recursos para o futuro.

Em 1969, os pesquisadores do Instituto de Pesquisa Midwest (Kansas City, MO) iniciaram um estudo para a Coca-Cola, que foi o início dos métodos atuais de análise do inventário do ciclo de vida nos EUA. O processo de quantificar o uso de recursos e descargas no ambiente tornou-se conhecido como Análise do Perfil dos Recursos do Meio Ambiente. Com a formação de grupos de interesse público que encorajaram as indústrias a garantir que o público receba informação exata sobre os efeitos ambientais de um produto, e com a crise do petróleo no início dos anos 70, aproximadamente 15 análises foram realizadas entre 1970 e 1975.

De 1975 até o início dos anos 80, o interesse por estes estudos diminuiu por causa de um final aparente na crise do petróleo, e o interesse ambiental mudou para questões de gestão de resíduos de risco. Entretanto, neste tempo, as análises de inventário do ciclo de vida continuaram a ser conduzidas, melhorando assim sua metodologia, quando o resíduo sólido tornou-se uma questão mundial para análise dos problemas ambientais. Com o renascimento da ACV entre 1988 e 1991, o total conduzido nos EUA chegou a mais de 100.

4.1.4- AS FASES DO PRODUTO E AS ACVs.

Para o estágio de aquisição de matéria-prima, a ACV considera as atividades que envolvem remoção dos materiais do solo, tais como vários tipos de argila para a formação de pisos e azulejos.

O segundo estágio é a_ manufatura do material, o qual inclui processamento da matéria-prima, por exemplo, combinação em percentagens dos vários tipos de argilas para a obtenção da massa cerâmica. No estágio de fabricação do produto, a matéria-prima é processada e transformada em produtos. Por exemplo, a massa é transformada em azulejos e pisos de vários tamanhos.

Muitas atividades tomam lugar durante o próximo estágio: classificação, embalagem, estocagem para transporte e distribuição para venda. O transporte, entretanto, ocorre completando os dois primeiros estágios de vida do produto e não como uma única atividade durante a distribuição. O próximo estágio, uso, reuso, e manutenção incorpora como o produto é usado depois do ponto de venda. O último estágio reciclagem e gerenciamento do resíduo refere-se a como o produto é descartado , incluindo a reciclagem.

A ACV é formada por quatro fases, como mostra a fig. 11:

- **ESCOPO:** É uma ferramenta para avaliar os impactos ambientais desde a fase da extração das matérias-primas até a disposição final, ou seja, define que matérias, processos e produtos serão considerados e qual a abrangência das alternativas.

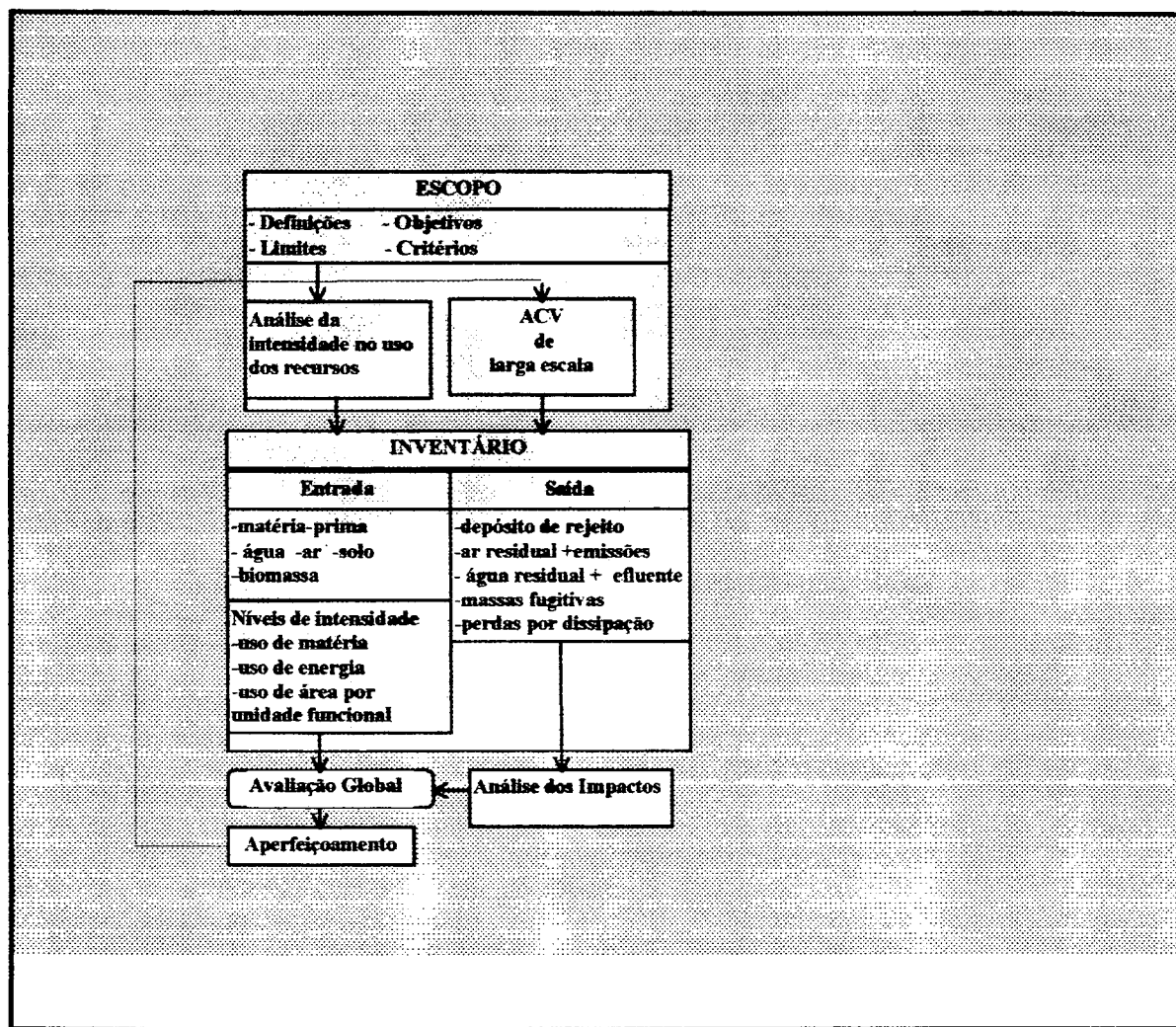
- **INVENTÁRIO:** Consiste em acompanhar os materiais utilizados nos produtos através do seu ciclo de vida, determinando e quantificando o uso dos materiais, o consumo de energia, considerando as entradas e saídas para o meio ambiente.

- **ANÁLISE DOS IMPACTOS:** Analisa a importância das entradas e saídas dos produtos, verificando as consequências sobre o meio ambiente. Esta fase se caracteriza pela introdução dos valores sobre os dados obtidos pelo inventário.

- **APERFEIÇOAMENTO DA ANÁLISE:** Avalia sistematicamente as reduções dos impactos ambientais ao longo do ciclo de vida, permitindo identificar, determinar e relatar as opções que tem maior potencial para reduzir o impacto ambiental do sistema em que está inserido o produto.

A análise dos impactos ambientais agrega os poluentes com impactos similares em potencial de equivalência (medido em Kg) e usa a análise de decisão para ponderar esses

potenciais. O sistema de prioridade ambiental determina o dano causado pelos potenciais equivalentes e então expressa as perdas em termos monetários, baseado em economia ambiental.



Fonte: Reis (1995)

FIGURA 11.FASES DA ACV.

De todas essas etapas, a fase do inventário é mais trabalhada, pois depende desta avaliação e informações para analisar e avaliar os impactos e também para identificar oportunidades

de melhoria e direcionar as ações. O uso destes dados do inventário requer uma abordagem abrangente para identificar onde os dados podem ser minimizados, isto é, onde se pode reduzir a quantidade de poluentes ou quantidade de energia.

O próximo passo é analisar as quantidades de poluentes lançados, de energia e matérias-primas consumidas e o impacto ambiental se positivo ou negativo. Isto deve incluir efeitos na saúde humana, na saúde ecológica, e no bem estar em geral. A análise de impacto também provoca em outros níveis, como as conseqüências relativas ao meio ambiente.

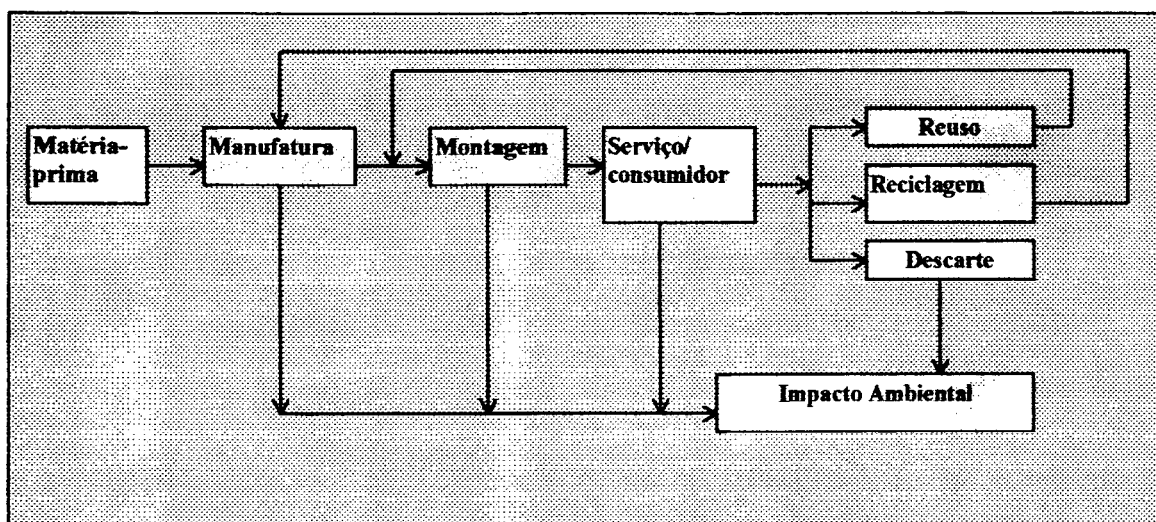


FIGURA 11. *CICLO DE VIDA DO PRODUTO*

4.1.5- APLICAÇÕES DA ACV.

Pode ser utilizada para uma variedade de situações, tais como: aprimorar o desempenho dos produtos e serviços e no meio ambiente, dando apoio às reivindicações de rótulos de qualidade ambiental, e vários outros casos. Também pode ser usada como uma

ferramenta para identificar os impactos ambientais, associados a um produto específico, a um processo e uma atividade, auxiliar nas tomadas de decisão, tanto no que se refere à formulação dos regulamentos comunitários como na identificação dos principais efeitos ambientais dos processos e produtos considerados mais importantes e ainda pode auxiliar na avaliação das mudanças propostas ao projeto do produto ao processo de produção. Por exemplo: uma melhoria aparente de um produto que diminua os poluentes aéreos, mas resulta no aumento dos poluentes da água, pode ser identificado pela ACV, i. e. qualquer efeito dos poluentes na água poderia ser observado na análise global do ambiente afetado pelo produto.

As aplicações e usos dependem de vários fatores: definições dos objetivos e do escopo em estudo, da decisão de utilizar os resultados e do grau de educação que os resultados da ACV deverão exprimir.

Com a aplicação do ACV podemos coletar e organizar informações para uma variedade de propósito, tais como:

- Tomada de decisão na indústria (planejamento estratégico, projetos de produtos e outros) ou no governo (para regulamentação ou financiamento de pesquisas e desenvolvimento).

- Na seleção de indicadores ambientais relevantes para a avaliação de desempenho.

- No marketing de uma reivindicação de qualidade ou para rotulagem ambiental.

A ACV é uma dentre as várias técnicas existente de gestão ambiental, sendo que, nem sempre esta ferramenta é a mais apropriada para o uso em todas as determinada situação. Entretanto, esta ferramenta tem algumas limitações que devem ser considerada e estendidas ao desenvolvimento de um estudo:

- em restrições por confidencialidade;

- em questões de inconsistência de dados: tipos de dados, agregações, média/indústria específicas;
- em questões locais muitas vezes não são apropriado, para uma aplicação regional ou global, ou seja pode não ser representativa as condições regionais ou globais;
- na falta de acordo sobre as questões de valorização;
- em determinado problemas , a ACV pode não abranger todos os aspectos ambientais, podendo sim ser utilizada através da combinação de ACV, análise de risco, auditoria ambiental, e outros;
- no aspectos subjetivos às escolhas feitas no processo de ACV, tais como: definição dos limites, seleção dos dados e categoria dos impactos ambientais, escolha dos métodos de cálculos para a caracterização de impacto, etc.;
- As informações obtidas numa ACV, geralmente devem ser utilizada como parte de um processo decisório muito mais abrangente, ou empregar para a compreensão de inter-relações amplas e gerais. Sendo que, a comparações dos resultados de ACV exige grande cautela e considerações, devido às peculiaridades das pressuposições e do contexto de cada estudo.

Entretanto para realizar o ACV é extremamente complicado atualmente pois não existem ferramentas ainda robustas para tal. CALLAHAN (1995) descreve em seu artigo uma matriz denominada de Matriz de Analise do Ciclo de Vida, que segue a seguinte idéia.

O objetivo é realizar um ACV rapidamente, ou seja , gastar um dia para um produto e uma semana para uma fabrica.

Deve ser explicitamente tratado todos os estágios do ciclo de vida desse. Estagio 1: Escolha de Materiais;

Estagio 2: Manufatura

Estágio 3: Embalagem e Transporte

Estágio 4: Uso pelo consumidor

Estágio 5: Descarte

A característica central do sistema de análise é uma matriz 5 x 5 , sendo uma dimensão é o estágio do ciclo de vida e o outro é o interesse ambiental (Figura 13).

Para o uso do DFE (Design for Environment) ,é analisado cada estágio e classificado por um índice variando de 0 (mais alto impacto) a 4 (m menor impacto).

Uma vez realizada a avaliação para cada elemento da matrizes, é assim computada a soma dos valores dos elementos da matriz:

$$PEC = \sum_i \sum_j M_{ij}$$

onde : i = valores no eixo x

j = valores no eixo y

M = matriz ACV

A soma da matriz será 100 pois possui 25 elementos.

Após tal análise , deve-se considerar alguns check-lists do DFE para verificar onde deve-se melhorar, introduzir ou modificar o projeto para alcançar a Qualidade desejada.

Abaixo está a matriz do ACV , Figura 13.

	Interesse Ambiental				
	Escalas de Matéria	Escalas de Energia	Escalas de Saúde	Escalas de Líquido	Escalas de Gás
Fabricação	(1,1)	(1,2)	(1,3)	(1,4)	(1,5)
Manufatura de Produtos	(2,1)	(2,2)	(2,3)	(2,4)	(2,5)
Empacotamento e Transporte	(3,1)	(3,2)	(3,3)	(3,4)	(3,5)
Uso de Produtos	(4,1)	(4,2)	(4,3)	(4,4)	(4,5)
Descarte Reciclagem	(5,1)	(5,2)	(5,3)	(5,4)	(5,5)

FIGURA 13 . MATRIZ DO ACV.

4.2 .PROJETO PARA O MEIO AMBIENTE- DFE (DESIGN FOR ENVIRONMENT

4.2.1. INTRODUÇÃO

As escolhas que os projetistas fazem durante o desenvolvimento de um produto novo ou melhorado, determinarão o impacto ambiental durante cada fase do ciclo de vida do produto, desde a aquisição de materiais passando pela manufatura, uso, reuso e finalmente o descarte final do produto.

Todos os produtos, processos, serviços afetam o meio ambiente em todos os estágios de seus ciclos de vida. Sua introdução no meio ambiente pode originar emissões aérea, líquida ou sólida que são descarregadas no solo ou na água.

Considerações tradicionais tais como desempenho do produto, custos de manufatura, confiabilidade do produto tem de ser balanceado com objetivos ambientais tais como: minimização da redução de recursos, aumento na eficiência energética e reciclabilidade, e os gerenciamentos de riscos associados aos danos ao meio ambiente. Uma falha pode resultar em uma perda de recursos naturais e decrescer então a biodiversidade, degradar a qualidade do ar e da água, além da perda de materiais reusáveis e recicláveis.

O profissional de *Design* pode ajudar a eliminar essas falhas. Os mesmos podem avaliar também o desempenho ambiental de seus produtos e propor soluções muito originais aos interesses ambientais, ou eles podem ainda ajudar a sintetizar as melhorias que agora incluem interesses ambientais .

A prática de realizar formalmente esse processo de melhoramento do projeto é conhecido como Projeto para o Meio-Ambiente (DFE).

O DFE integra o critério ambiental com diretrizes usuais de critérios de desempenho, custo, cultura, legal e técnicos. O DFE inclui considerações ambientais para definir a função e especificação para os produtos.

O DFE usa os conceitos de ciclo de vida juntamente com alguns princípios-chave a fim de reduzir o impacto ambiental gerado pela aquisição de matéria-prima, manufatura, uso e descarte de um produto. O DFE identifica e avalia interações ambientais com *checklists* os quais servem para dar oportunidade de otimização do projeto do produto. CSA _ Canadian Standard Association, norma Z762 (1993).

4.2.2. DFE - ESTRUTURA CONCEITUAL

◆ GENERALIDADES:

Essa seção demonstra as questões chaves do Meio-Ambiente, demanda pública para prevenção de poluição. Um conjunto de princípios chaves para o DFE tem sido formulado para responder a tais questões e ajudar a estruturar uma revisão ambiental de opções de projeto de produto ou alternativas.

As técnicas do ACV (Análise do Ciclo de Vida) são também descritas com uma visão para apoiar o papel para o qual o ACV pode lidar com o conceito estrutural do DFE. Os vários componentes de uma estrutura são definidas a seguir como guia dos processos.

Princípios- Chave do DFE

O objetivo final do DFE é ajudar no projeto de produtos , o qual apoiará o desenvolvimento sustentável, GRAEDEL et alii (1995).

Em uma definição a grosso modo, o desenvolvimento sustentável envolve encontrar as necessidades do presente sem comprometer a habilidade de gerações futuras de encontrar suas próprias necessidades. Autoridades reconhecidas no assunto dizem que o crescimento econômico fornece as condições nas quais a proteção ao Meio-Ambiente pode ser mais bem alcançada, e que a proteção ambiental balanceada com outros objetivos humanos, é necessária para alcançar o crescimento sustentável. A figura 14 demonstra as características do DFE.

Redução de recursos- Material e Energia.

Refere-se ao processo de diminuição de estoques de recursos naturais e capacidade. Tais estoques não são estáticos: são considerados como não renováveis os depósitos minerais, fósseis e a diversidade biológica.

A redução de recursos não renováveis pode ser influenciada pela reciclabilidade do produto após o uso. Tais questões acerca da redução de recursos levam à formulação dos 2 primeiros “princípios-chave” do DFE.

Princípio-Chave 1: Recursos Materiais.

Minimizar o uso de recursos materiais não renováveis (por ex.: recursos semi-renováveis e não renováveis).

Princípio-Chave 2: Energia

Minimizar o uso de energia, sendo então, maximizar o uso de formas renováveis de energia.

Conceito de produto/
necessidade

Estratégia de
melhoria

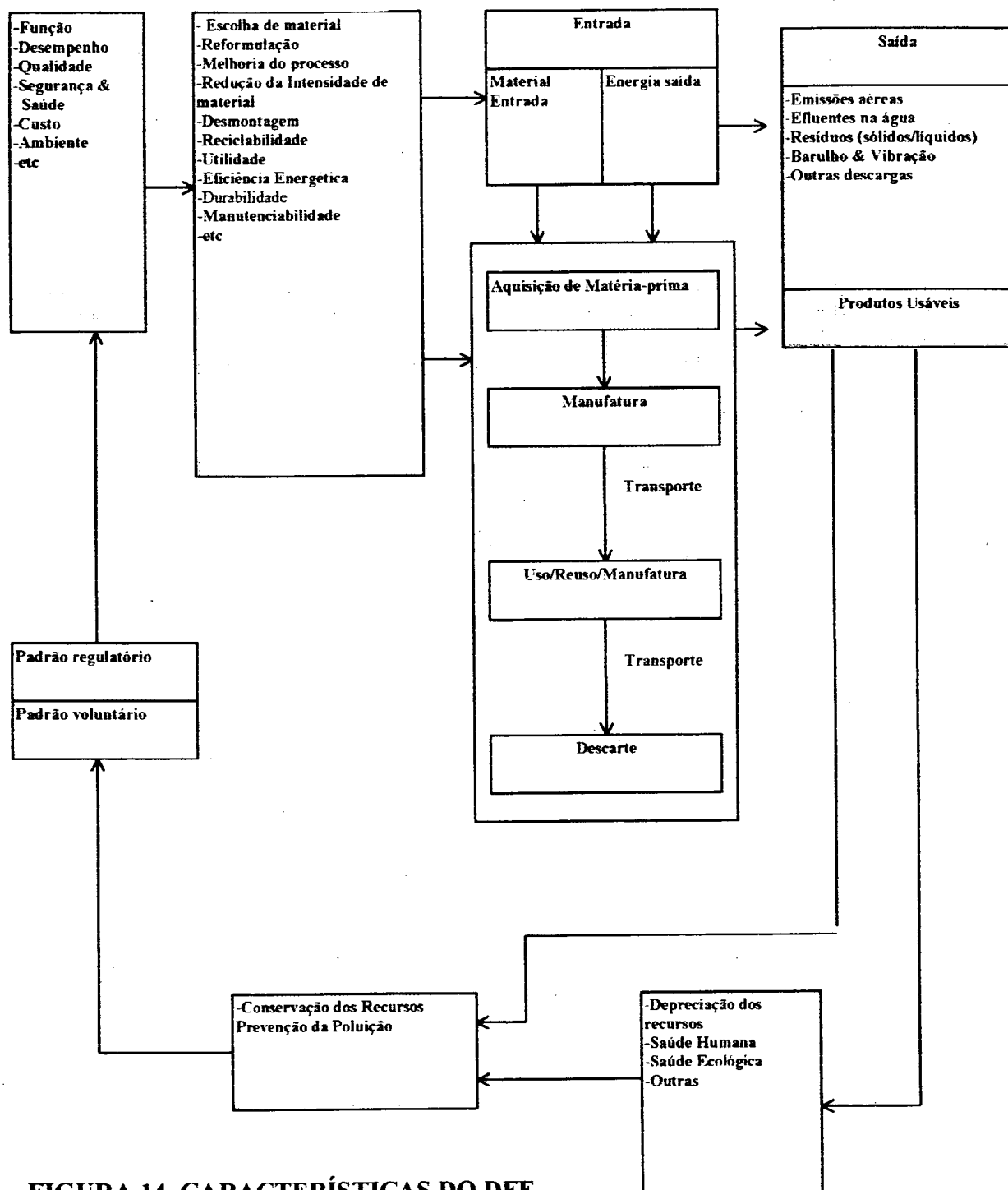


FIGURA 14. CARACTERÍSTICAS DO DFE

Análise de Impacto

◆ **INTERESSES GLOBAIS:**

A taxa de hoje de expansão industrial está gerando descarga industrial de emissões atmosféricas, as quais estão colocando em perigo os sistemas globais naturais, por ex.: o consumo de energia na forma de hidrocarbonos que leva à geração de dióxido de carbono e óxido de nitrogênio, os quais são suspeitos de contribuir com o efeito estufa ou aquecimento global, e óxido de enxofre, o qual leva à acidificação. Além disso, alguns componentes feitos pelo homem, tais como o CFC, têm sido identificados como uma causa significativa de redução de ozônio. Assim, discussões de cientistas e da sociedade estão tornando-se comuns a fim de minimizar essas descargas.

Princípio -Chave 3: Interesses Globais.

Minimizar o uso de materiais ou processos os quais são conhecidos como contribuintes ao aquecimento global, redução de ozônio ou acidificação.

◆ **MATERIAIS TÓXICOS:**

A inovação industrial tem resultado no desenvolvimento de componentes muito fortes, pesados e úteis que serviram para aumentar a produtividade de processos manufatureiros e a qualidade dos produtos finais. O manuseio especial, uso e práticas de descarte deveriam ser desenvolvidas, a possibilidade de descargas acidentais e exposição aos seres humanos e ao Meio-Ambiente.

Princípio- Chave 4: Materiais Tóxicos.

Minimizar o risco associado ao uso de materiais tóxicos e/ou processos os quais resultam em exposições humanas ou ecológicas.

◆ **INTERESSES LOCAIS:**

Existem também questões as quais são de um interesse mais regional ou local. Atividades humanas e industriais resulta em descargas ambientais no ar, terra , as quais poderem ter efeitos deteriorantes. Por exemplo, emissões de ar localizada podem causar um aspecto de neblina.

Princípio- Chave 5:

Eliminar ou minimizar o uso de materiais ou processos os quais são conhecidos em comprometer a terra, ar , e/ou água local, através de redução apropriada de efluentes, contaminantes, reuso ou reciclagem, recuperação e atividade de descarte.

Tais princípios são adicionais ou suplementares às práticas existentes que têm sido estabelecidas através de organização e regulamentos.

Essas práticas incluem :

- a. segurança do produto
- b. segurança do local de trabalho
- c. desempenho do produto (necessidades técnicas e de uso tais como: ruído, facilidade de uso , habilidade de desempenho das funções requisitadas);
- d. custo; e
- e. análise dos riscos.

4.3. OBJETIVOS INICIAIS DO PROJETO:

Os objetivos iniciais do projeto é estabelecer uma listagem completa de desempenho do produto com opções de projeto identificadas.

Nesta fase, os produtos são avaliados em termos de funcionalidade para o usuário, variáveis de desempenho, custo e condições de operações, esta avaliação leva ao desenvolvimento de conceitos de projeto preliminar que delinea algumas das alternativas que leva a elaboração dos objetivos do projeto.

◆ ANÁLISE DO PROJETO:

A análise do projeto inclui um número de atividades inter-relacionadas, as quais pretendem avaliar sistematicamente as opções de projeto descritos no item anterior. Os projetistas podem também rever cada opção de projeto através de uma série de questionário de ciclo de vida.

As respostas às questões do questionário podem então envolver uma identificação de estratégias de melhoria para cada opção de projeto. O resultado final é a lista de prioridade de opções de projeto melhorado.

A dificuldade em completar a análise de projeto é entender as interações entre os vários ciclos de vida para um produto. Mudanças feitas em um estágio freqüentemente influirão no impacto dos outros estágios, por ex.: uma substituição de matéria-prima terá um efeito nas próximas fases do ciclo de manufatura, uso ou descarte.

Para ajudar o projetista e evitar repetições custosas em revisão de projetos, os conceitos de perfil ambiental e estratégias de melhorias tem de ser desenvolvido.

O conceito de perfil dominante ambiental identificará o estágio mais apropriado do ciclo de vida, a ser considerado quando começar o processo de revisão. As estratégias de melhoria fornecem uma diretriz que estrutura o desenvolvimento dos questionário de ciclo de vida para avaliação.

As respostas do questionário podem então ser consolidadas para completar a análise do projeto.

◆ IDENTIFICAR O PERFIL AMBIENTAL:

Mesmo quando os dados de inventário de ciclo de vida não estão disponíveis, os projetistas de produto podem ser capazes de determinar intuitivamente os perfis ambientais dominantes de cada opção de projeto. Em cada caso, a proporção de perfis características de uso de material e uso, emissões aéreas, efluentes na água e resíduos sólidos são alocados aos estágios do ciclos de vida nos quais eles ocorrem.

Por exemplo, o perfil de matéria-prima representa o desempenho de ciclo de vida que é esperado de um produto não durável tais como garrafa de refrigerante.

O perfil de uso representa o desempenho do ciclo de vida de um bem durável tal como máquina de lavar, com uma carga mais significativa ocorrendo na fase de uso.

Os perfis ambientais fornecem ao projetista com uma boa indicação por onde começar a revisão de possíveis estratégias de projetos. No caso da máquina de lavar , o foco deveria estar voltado para estratégias de melhoria juntamente com o aumento de eficiência energética, redução do consumo de água ou consumo de detergentes.

Se o projetista começar pela otimização de matérias-primas usadas nesta situação , esta pode incluir uma opção importante relacionada ao uso.

Igualmente , o maior retorno ambiental para um tipo de perfil de matéria-prima de produto e/ou serviço viria com a exanimação de estratégias de projetos relacionados à matéria-prima.

Em cada caso, focalizar no perfil ambiental mais apropriada economizará tempo na revisão de projeto e apoiará e prevenirá o projetista de considerar as estratégias de projeto o qual poderia sub-otimizar a opção de projeto sob consideração.

◆ **ESTRATÉGIA DE MELHORAMENTO:**

Uma vez que a fase de ciclo de vida dominante é identificada , o projetista deverá avaliar as opções de projeto inicial juntamente com os princípios -chave mostrado anteriormente. Assim os princípios- chaves são aplicáveis à cada estágio do ciclo de vida, sendo as estratégias de melhoramentos identificadas são específicas à uma fase em particular.

◆ **CHECK-LIST DE CICLO DE VIDA PARA O DFE**

Esses questionário são desenvolvidos para ajudar os projetistas a incluir as considerações ambientais associadas com as estratégias de melhoria citadas acima. Não existe fórmulas ou respostas certas ou erradas.

O formato do questionário permite os projetistas resumir os atributos ambientais das opções de projeto com respostas qualitativas tais como : sim/não/não sei/ não aplicável. Além disso, um espaço é fornecido para comentários relevantes a estratégias específicas de melhoria.

◆ ANÁLISE DE OPÇÃO DE PROJETO

Baseado nas respostas do questionário, cada opção de projeto não precisa ser quantitativo nesta fase. A proposta é atentar para identificar as opções de projeto com o maior potencial para a competitividade ambiental.

A classificação pode ser tanto qualitativo e quantitativo, dependendo da qualidade e natureza de informação disponível.

Opções (escolhidas) devem ser identificadas. O projetista terá então uma série de opções de estratégias de melhoria potencial que podem ser incorporados em suas descrições de opção.

◆ OTIMIZAÇÃO DE PROJETO

Cada uma das opções de projeto analisada pode ser acoplada com outras considerações e avaliadas juntamente com os objetivos do projeto. Fazer escolhas entre as opções é uma característica regular da atividade de projeto.

Existem uma variedade de métodos os quais podem ser usados para classificar as várias opções baseadas na importância relativa de cada objetivo de projeto.

◆ ESPECTRO DE COMPLEXIDADE DA ANÁLISE

Embora os princípios-chave cubram uma variedade de questões ambientais importantes, eles não incluem todos os interesses ambientais que podem ser considerados na avaliação de um perfil ambiental do produto. Esses princípios foram desenvolvidos através de um processo de consenso como questões-chaves para considerar a avaliação de um produto e as marcas ambientais gerada por esse produto.

Inicialmente as estratégias de melhorias com os mais altos níveis de aceitação no resultado esperado será aqueles que eliminar ou reduzir os impactos ambientais associados com um dos princípios-chave.

O conhecimento sobre um efeito ambiental colateral pode ser um indicador que em dados futuros e pesquisa são necessários para acertar o grau ao qual o impacto pode crescer de interesse na hierarquia dos objetivos de melhoria.

Incerteza sobre efeitos de um projeto de produto em particular pode ativamente mover na direção de um a opção de projeto que tem consequências ambientais conhecidas e aceitáveis.

◆ INTEGRAÇÃO

Quando a avaliação de cada estágio do ciclo de vida é realizada, novas oportunidades podem emergir que podem não terem sido evidentes nas iterações prévias do produto. Estratégias que eliminam e reduzem através de redução na fonte ou substituição podem ter benefícios econômicos significativos

O uso do pensamento de ciclo de vida completo geralmente tem um impacto no gerenciamento global do produto. A gerência do produto tende a expandir a abrangência do produto e uma metodologia de qualidade mais orientada ao produto para gerência de recursos. Isto torna os resultados em melhorias mais efetivas e rápidas.

◆ ANÁLISE

As respostas contidas no check-list¹ indica as áreas gerais de interesse. Essas podem ser o ponto local para oportunidade de melhoria.

Em cada uma das 4 fases do ciclo de vida , uma listagem de objetivos e estratégias de melhoria pode ser gerada afim de conhecer ou estimar um impacto ambiental relativo.

Para cada impacto ambiental estimado ou conhecido na hierarquia , uma ou mais estratégias de melhoria pode ser listada. Cada estratégia pode ser avaliada em termos da viabilidade de sua implementação.

A viabilidade de cada estratégia a ser observada em termos de :

- a. técnica (pode ser feita?)
- b. operacional (podemos realizá-la?)
- c. financeira(temos condições?)

Estes testes devem provar a viabilidade da estratégia, então a análise do efeito de sua implementação em outros atributos do produto será tomada. Se atributos como custo, qualidade, desempenho são comprometidos pelo uso da estratégia, então o nível de aceitação do compromisso deve ser determinado.

Se a estratégia é aceita, o produto é redefinido em termos da nova condição e a próxima oportunidade de melhoria e sua estratégia podem ser avaliada da mesma maneira.

Existe potencial para uma melhoria ambiental em um ponto de ciclo de vida para criar uma consequência ambiental em outro ponto. É importante avaliar o ciclo de vida como um todo nessas questões quando avaliar a implementação de uma melhoria. Por ex: um material que é mais eficientemente processado (isto é , poupando energia ou reduzindo emissões) pode, quando extraído, gastar mais energia e/ou fornecer mais emissões do que a energia que foi poupada no processamento.

O DFE integra o critério ambiental com diretrizes usuais de critérios de desempenho, custo, cultura, legal e técnicos. O DFE inclui considerações ambientais para definir a função e especificação para os produtos.

O DFE usa os conceitos de ciclo de vida juntamente com alguns princípios-chave afim de reduzir o impacto ambiental gerado pela aquisição de matéria-prima, manufatura, uso e descarte de um produto. O DFE identifica e avalia interações ambientais com check-lists os quais servem para dar oportunidade de otimização do projeto do produto.

A seguir é apresentado um exemplo da aplicação do DFE em uma indústria automobilística extraído de GRAEDEL et alii (1995).

Os automóveis produzem impactos tanto durante a sua manufatura quanto ao uso. Os maiores impactos resultam da combustão da gasolina e descarga de óleo durante a direção. Entretanto, existem outros aspectos do produto que afetam o meio ambiente, tais como uso dissipativo de óleo e outros lubrificantes, descarte de pneus e outras partes usadas e por fim o descarte final do veículo.

Abaixo é demonstrado operações da ferramenta já descrita, usa-se então a matriz de análise do produto responsável ecologicamente voltada para análises de veículos dos anos 50 e 90. Algumas das características relevantes dos veículos são dadas na Tabela 5.1. Comparada com o modelo dos anos 90, o veículo dos anos 50, era muito pesado, baixa eficiência de combustível, exaustão de gases poluidores, além de componentes com menor vida útil como pneus.

O exemplo é melhor visualizado pela tabelas que darão origem a matriz do ciclo de vida e de gráficos “alvo” característicos do DFE.

Abaixo está a matriz resultante da análise para os veículos dos anos 50 e 90

(Tabela 2)

TABELA 2. CLASSIFICAÇÃO PELA ANÁLISE DO PRODUTO ECOLOGICAMENTE CORRETO ATRAVÉS DO CICLO DE VIDA.

		1950		1990	
Elemento da Matriz	Índice	Valor do Elemento	Explicação	Valor do Elemento	Explicação
Pré-Manufatura					
Escolha de Material	(1,1)	2	Poucos Tóxicos são usados, mas a maioria dos materiais são virgem	3	Poucos tóxicos são usados, maioria dos materiais são reciclagem
Uso de energia	(1,2)	2	O uso de material virgem requer muita energia	3	O uso de material virgem requer muita energia
Resíduo sólido	(1,3)	3	Minas de cobre e ferro geram muito resíduo sólido	3	Minas de metal geram resíduos sólidos
Resíduo Líquido	(1,4)	3	Extração de resíduos geram quantidades moderadas de resíduos líquidos	3	Extração de resíduos geram quantidades moderadas de resíduos líquidos
Resíduos Gasosos	(1,5)		Substância orgânica geram significante quantidade de resíduos gasosos	3	Substância orgânica geram significante quantidade de resíduos gasosos
Manufatura do Produto					
Escolha do Material	(2,1)	0	CFC usado para limpeza de peças	3	Escolha de bons materiais, exceto pelo resíduo de solda pesada.
Uso de Energia	(2,2)	1	Uso de energia durante a manufatura é alta	2	Uso de energia durante a manufatura é média
Resíduo Sólido	(2,3)	2	Aparas de metal e embalagens	3	Quantidade reduzida de aparas de metal e embalagens
Resíduo Líquido	(2,4)	2	Resíduos líquidos das operações de limpeza e pintura	3	Quantidade reduzida de Resíduos líquidos das operações de limpeza e pintura
Resíduos Gasosos	(2,5)	1	Hidrocarbonetos voláteis emitidos do posto de pintura	3	Pequena quantidade de hidrocarbonetos voláteis emitidos

Embalagem e Transporte					
Escolha de Material	(3,1)	3	Pequena quantidade de material reciclável	3	Pequena quantidade de material reciclável
Uso de energia	(3,2)	2	Despacho por caminhão com uso intensivo de energia	3	Despacho por terra distante e mar com uso intensivo de energia
Resíduo Sólido	(3,3)	3	Pequena quantidade de embalagens durante o despacho poderia ser minimizado	3	Pequena quantidade de embalagens durante o despacho poderia ser minimizado
Resíduo Líquido	(3,4)	4	Quantidade irrisória	4	Quantidade irrisória
Resíduo Gasoso	(3,5)	2	Produção alta de gases de efeito estufa durante o transporte	3	Produção baixa de gases de efeito estufa durante o transporte
Uso pelo Consumidor					
Escolha de Material	(4,1)	1	Fornecimento limitado de petróleo	1	Fornecimento limitado de petróleo
Uso de Energia	(4,2)	0	Uso extremo de fósil como combustível	2	Alto uso de fósil como combustível
Resíduo Sólido	(4,3)	1	Resíduos significantes de pneus, partes obsoletas e defeituosas	2	Quantidade modesta de pneus e partes defeituosas ou obsoletas
Resíduo Líquido	(4,4)	1	Sistemas de fluido com vazamento	3	Sistemas de fluido dissipativo
Resíduo gasoso	(4,5)	0	Não exaustão de gás: alta quantidade de emissões	2	CO ₂ , solda (em alguns locais)
Descarte, Reciclagem					
Escolha de Material	(5,1)	3	A maioria dos materiais usados são recicláveis	3	Maioria dos materiais recicláveis, mas o sódio apresenta dificuldade
Uso de Energia	(5,2)	2	Uso moderado de energia requerido para desmonte e reciclagem de materiais	2	Uso moderado de energia requerido para desmonte e reciclagem de materiais
Resíduo Sólido	(5,3)	2	Grande número de componentes difícil de reciclar	3	Alguns componentes são difíceis de reciclar
Resíduo Líquido	(5,4)	3	Quantidade mínima da reciclagem	3	Quantidade mínima da reciclagem
Resíduo Gasoso	(5,5)	1	Reciclagem comumente envolve	2	Reciclagem envolve queima aberta

			queima aberta de resíduos		de resíduos	
Interesse Ambiental						
Estatuto do Ciclo de Vida	Exatidão de Material	Uso de Energia	Resíduos Sólidos	Resíduos Líquidos	Resíduos Gasosos	Total
Premanufatura						
1980	2	2	3	3	2	12/20
1990	3	3	3	3	3	15/20
Manufatura do Produto						
1980	0	1	2	2	1	6/20
1990	3	2	3	3	3	14/20
Embalagem e Transporte						
1980	3	2	3	4	2	14/20
1990	3	3	3	4	3	16/20
Uso do Produto						
1980	1	0	1	1	0	3/20
1990	1	2	2	3	2	10/20
Descarte Resíduos						
1980	3	2	2	3	1	11/20
1990	3	2	3	3	2	13/20
Total						
1980	9/20	7/20	11/20	13/20	6/20	46/100
1990	13/20	12/20	14/20	16/20	13/20	68/100

1990	13/20	12/20	14/20	16/20	13/20	68/100
------	-------	-------	-------	-------	-------	--------

TABELA 3. MATRIZES COMPARATIVAS DA ANALISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DE AUTOMÓVEIS DOS ANOS 50 E 90.

CAPÍTULO 5.

TECNOLOGIA DE CELULOSE, PAPEL.

5.1 PARTES DE UMA FABRICA DE CELULOSE E PAPEL.

Uma fabrica de celulose e papel, pode ser dividida nos seguintes setores:

TABELA 4. PARTES DE UMA FÁBRICA DE CELULOSE E PAPEL.

I- MANUSEIO DE MADEIRA E PREPARAÇÃO DE CAVACOS	
EQUIPAMENTO	FUNÇÃO
1. Transportador de toras	Transporte
2. Descascador	Retirar e separar a casca
3. Picador	Transformar a madeira em cavacos
4. Silo equalizador	Armazenamento
5. Peneira de cavacos	Separar as lascas e serragem
II- Unidade de Cozimento	
6. Vaporizador de cavacos	Pré-aquecer e retirar ar dos cavacos
7. Alimentador de cavacos	Alimentar os cavacos ao digestor
8. Aquecedor de licor	Aquecimento do fluido de cozimento
9. Digestor contínuo ou descontínuo	Separar as fibras celulósicas por cozimento contínuo
III. Depuração e Lavagem	
10. Peneira depuradora	Separar os cavacos não desintegrados
11. Tanque de licor	Armazenar licor da lavagem
12. Filtros ou Difusores	Lavar a celulose
13. Depuração centrífuga/peneira	Separar impurezas
IV. Branqueamento de Celulose	
14. Tanque de estocagem	Armazenamento de polpa
15. Filtros ou difusores de Branqueamento	Lavar, entre as etapas
16. Torre de branqueamento	Armazenamento e Branqueamento
V. Preparação da Massa:	
17. Tanque da massa	Armazenamento
18. Refinador de discos	Abrir / cortar as fibras de celulose
19. Refinador cônico	Abrir / cortar as fibras de celulose
20. Tanque de água branca	Armazenar água de retorno
21. Caixa de nível	Regular a vazão de polpa
22. Bomba de mistura	Misturar e alimentar polpa com água
23. Depuração centrífuga	Separar as impurezas mais finas
VI. Máquina de Papel:	
24. Caixa de Entrada	Distribuir a massa na tela
25. Mesa plana	Formar a folha de desaguamento inicial
26. Seção de prensas	Prensar a folha para o deságüe
27. Seção de secagem	Secagem da folha com vapor
28. Calandra	Compactar e regular espessura da folha
29. Enroladeira	Enrolar o papel
30. Rebobinadeira	Desenrolar, cortar e rebobinar o papel
VII. Seção de Embalagem e Acabamento	
31. transportador	Transportar bobinas
32. Máquina de embalagem	Transformar o papel em sacos/caixas
33. Balança	Pesagem do produto
VII. Recuperação Química	
34. Evaporadores	Evaporar água do licor negro
35. Precipitadores	Retirar sólidos dos gases da caldeira
36. Caldeira de recuperação	Queimar o licor e recuperar os químicos
37. Silo de sulfato de sódio	Armazenagem
39. Forno de cal	Calcinação
39. Caustificação	Preparação do licor recuperado

IX> Instalações Auxiliares;

- Sistemas de água: captação, bombeamento, tratamento e distribuição de água- Sistemas de vapor e condensado: Gerador de vapor e sistemas de distribuição de vapor e recuperação de condensado
- Turbinas a vapor
- Sistemas elétrico
- Sistemas de ar comprimido
- Preparação de produtos químicos: Cl_2 , ClO_2 , $NaOH$, SO_2 , etc.
- Sistemas de controle de poluição: Clarificação e tratamento de efluentes, lavador de gases, queima de gases odorosos, etc..
- Oficina de Manutenção
- Divisão de Engenharia
- Administração

5.2. PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DA CELULOSE

A madeira , através de um transportador alimenta o picador que transforma as toras em cavacos , os quais passam pela peneira de cavacos para separar a fração aceitável, dos rejeitos. Os rejeitos passam pelo repicador e voltam para a peneira.

Os cavacos são levados do silo de cavacos para o digestor onde recebem a ação química do licor branco (solução de soda e sulfeto de sódio) onde, com auxílio da pressão e temperatura do vapor , os cavacos são cozidos durante um certo tempo e posteriormente descarregados para o “ blow tank “.

A massa do Blow Tank é bombeada para o sistema de depuração para a separação dos nós e cavacos não cozidos, os quais retornam para o digestor A massa depurada segue então para o filtro lavador, onde a polpa é lavada com água. O liquido extraído na lavagem (licor negro) é bombeado par o sistema de evaporação onde é concentrado e posteriormente queimado na caldeira de recuperação. O produto químico obtido na queima é então conduzido para a caustificação onde é recuperado na forma de licor branco para utilização no cozimento.

A celulose obtida segue para o sistema de branqueamento , ou para o sistema de secagem ou então para a maquina de papel.

Torna-se necessário salientar que existem outros processos e diferentes seqüências para a produção de celulose, porém as operações básicas não divergem das operações mencionadas.

◆ PREPARAÇÃO DA MADEIRA.

A madeira é usualmente transportada às fabricas sob forma de pequenas toras (1,0 a 3,0 metros de comprimento- diâmetro entre 5,0 e 15,0 cm). O meio de transporte e manuseio da madeira é que vai determinar suas dimensões. Vagões ferroviários e caminhões são as formas mais freqüentes de transporte.

A primeira etapa do processo é o DESCASCAMENTO. A casca da madeira contém impurezas , tais como , areia e tem baixo teor de fibras úteis. Por isso são separadas da madeira e vão constituir combustível para geração de vapor e energia elétrica.

O descascamento é , em geral, processado em grandes tambores cilíndricos, horizontais, rotativos.

A etapa seguinte é a PICAGEM da madeira. Esta operação visa produzir “Cavacos” com dimensões em torno de 20mm- 25mm, de forma a expor a madeira ao futuro contato com os produtos químicos e vapor. Os PICADORES são máquinas rotativas, providas de navalhas.

A seguir, vem o PENEIRAMENTO dos cavacos produzidos durante a picagem. Esta operação visa evitar, nas etapas seguintes do processo, cavacos muito grandes ou muito pequenos. Estas duas frações causariam perda de rendimento e outros inconvenientes operacionais.

➤ Carga de Cavacos: Os cavacos vindos de um transportador ou diretamente descarregados de um silo são alimentados no digestor.

➤ Carga de Licor de Cozimento: A adição de licor de cozimento- solução de soda e sulfeto de sódio ($\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$) no caso do processo sulfato Kraft – pode ser efetuada ao mesmo tempo que a carga de cavacos. O licor ajuda a compactar os cavacos e deve penetrar nos cavacos de madeira de maneira mais homogênea possível.

➤ Aquecimento: Fecha-se a tampa do digestor e injeta-se vapor direto para aquecimento ou circula-se licor negro aquecido indiretamente por vapor. O tempo de aquecimento é de aproximadamente 2 horas.

➤ Cozimento: A temperatura de cozimento é de aproximadamente 170° C e o tempo de cozimento à temperatura máxima depende da concentração e quantidade de licor em relação à

madeira e também do tipo de polpa desejada. No processo Kraft varia de 1 a 2 horas. A pressão no digestor atinge cerca de 8-10 Kg/cm²

- Alívio de Pressão: Operação que permite descarregar parte dos gases gerados nas fases de aquecimento e cozimento.
- Descarga: Quando o ciclo de cozimento está completo, abre-se a válvula na parte inferior do digestor, descarregando-se a celulose somente pela ação da pressão do vapor dentro do digestor.

◆ LAVAGEM DA CELULOSE:

A celulose descarregada do digestor, é lavada. Existem diversos sistemas e equipamentos para lavagem :

- Filtros de tambores rotativos em serie.
- Difusores lavadores
- Etc.

É importante lembrar que a lavagem tem a finalidade de separar as fibras de celulose para um lado e seus contaminantes (lignina e produtos químicos) para outro. Com isto, atende-se 2 objetivos :

- Permitir que a celulose prossiga “limpa” para o processo de Branqueamento. A má execução deste item pode provocar a contaminação do meio ambiente
- Permitir que os produtos químicos “contaminantes ” e material orgânico sejam encaminhados a outra área da fabrica , com fim de recuperar os produtos químicos e gerar energia.

◆ RECUPERAÇÃO DOS PRODUTOS QUÍMICOS:

O filtrado obtido no primeiro estagio de lavagem, chamado de licor negro, contem matéria orgânica e produtos químicos à base de sódio. Normalmente é levado para um sistema de evaporação e caldeira de recuperação com a finalidade de recuperar os produtos químicos, gerar vapor de água e evitar a poluição.

Para repor as perdas de Na_2S no ciclo, adiciona-se sulfato de sódio (Na_2SO_4) antes da combustão na caldeira de recuperação.

No setor de caustificação adiciona-se cal (CaO) que reage com o carbonato de sódio (Na_2CO_3) formando NaOH para reutilização no cozimento.

◆ BRANQUEAMENTO

A celulose simplesmente lavada com água ainda apresenta cor marrom, devido a presença de lignina oxidada.

O branqueamento da celulose é feito pela oxidação ou remoção da lignina das fibras através da ação de produtos químicos.

Existem diversas etapas viáveis para o branqueamento, dependendo do grau de alvura desejado e de outros fatores:

- Branqueamento por peróxido de Hidrogênio
- Branqueamento por Hidrossulfito
- Branqueamento por Oxigênio
- Branqueamento por Hipoclorito de sódio
- Branqueamento por Cloro
- Branqueamento por Dióxido de cloro

Existem várias seqüências de branqueamento que utilizam combinações das etapas acima.

Resumidamente, podemos mostrar as diversas etapas e alternativas de BRANQUEAMENTO, da seguinte forma:

- C- Coloração- Cl_2
- E- Extração alcalina- NaOH
- H- Hipoclorito de sódio ou cálcio- NaClO ou $\text{Ca}(\text{ClO})_2$
- D- Dióxido de Cloro - $(\text{ClO})_2$
- P- Peróxido de sódio ou água oxigenada - H_2O_2
- HS_ Hidrossulfito de zinco ou sódio- ZnS_2O

Para os vários estágios de alvejamento, pode ser diversas as combinações destas etapas , de acordo com as alvuras desejadas, conforme tabela abaixo. O numero de estágios pode variar de 2 até 8 ou mais. Normalmente, essa variação fica entre 3 a 6.

◆ DESAGUAMENTO E SECAGEM

A celulose branqueada ou não branqueada pode ser obtida da fabrica numa das seguintes formas quanto ao teor de umidade:

Celulose Diluída : (Cerca de 5 –10% de celulose)

Neste caso a polpa é bombeada para fabrica de papel, anexa.

Celulose Úmida: (Cerca de 40-50% de celulose)

Celulose Seca : (Cerca de 90% de celulose)

A obtenção de celulose úmida se faz nas maquinas desaguadoras com prensas.

Existem diversos processos para a secagem as celulose após o desaguamento nas prensas:

Secagem da folha em cilindros secadores

Secagem da folha por fluxo de ar quente (Flakt Dryer)

Secagem da celulose sem formação da folha (Flash Dryer).

6.3. VARIÁVEIS DO PROCESSO

❖ Madeira:

◆ Espécies de Madeira

A madeira normalmente o maior custo individual de cada fabrica . As madeiras variam segundo:

- rendimento das culturas
- geometria da arvore
- características das fibras
- densidade básica
- propriedades físicas da polpa resultante

◆ Idade da Árvore

Árvores mais jovens , tem menor densidade básica e são mais fáceis de cozinhar embora esta diferença não seja muito importante.

No caso de eucalipto , que é a espécie mais utilizada na fabricação de celulose , a idade para corte situa-se entre 7 e 9 anos.

◆ Uniformidade

É desejável que as características da madeira permaneçam aproximadamente constantes: densidade básica, características das fibras, etc.

◆ Teor de Umidade

A quantidade de água presente na madeira vai influenciar os seguintes fatores:

- Facilidade de impregnação pelo químicos
- Concentração dos químicos durante o cozimento
- Quantidade de calor necessário para chegar até a temperatura de cozimento

◆ Distribuição Granulométrica dos Cavacos:

Cavacos maiores tem impregnação mais difícil, sendo portanto, menos favoráveis ao cozimento. Cavacos muito pequenos, cozinham muito rapidamente passando suas fibras, em seguida, a degradar-se. Dimensões da ordem de 22 mm de comprimento e 5mm de espessura podem ser consideradas como ideais.

◆ Carga Alcalina:

O Processo Kraft trabalha com soda caustica e sulfeto de sódio.

A dosagem desses produtos é proporcional à quantidade de madeira e se relaciona com as demais variáveis de processos (temperatura, tempo de cozimento, etc.).

◆ **Concentração :**

Sabemos que as reações químicas em geral são mais rápidas quanto maiores forem as concentrações dos reagentes. Assim para uma mesma carga alcalina, podemos ter diferentes concentrações no cozimento à medida em que usamos mais ou menos diluição da carga alcalina adicionada.

◆ **Sulfididade:**

O sulfeto de sódio permite uma deslignificação seletiva, apressando o ataque à lignina e poupando as fibras. O processo Kraft se caracteriza pelo uso do sulfeto de sódio.

◆ **Distribuição Alcalina:**

Tem sido observado o fato de que se distribuirmos mais os pontos de adição da carga alcalina, obteremos melhores resultados. Tentativas nesse sentido tem sido feitas com algum sucesso há alguns anos.

◆ **Temperatura**

A reação de deslignificação só se processa numa velocidade razoável a partir de uma certa faixa de temperatura.

5.4 DESLIGNIFICAÇÃO POR OXIGÊNIO

A deslignificação por oxigênio fornece um modo a mais para estender o processo de cozimento, reduzindo assim a quantidade de químicos para o branqueamento e a quantidade de poluição oriunda dos estágios de branqueamento com cloro. A técnica envolve a integração de uma torre de reação de oxigênio entre os estágios de polpação kraft e o branqueamento. A polpa do digestor é lavada primeiro e então misturada com oxigênio e hidróxido de sódio quando entra no reator pressurizado. A polpa entra em deslignificação por oxigênio. A polpa é então lavada novamente para remover sólidos de lignina dissolvida antes de seguir para o branqueamento.

Instalação de um estágio de deslignificação por oxigênio pode reduzir o número kappa da polpa do tanque de 30 a 35 para talvez 16 a 17. (50 % de redução). Quando usada em combinação com outros processos de modificação , a deslignificação por oxigênio pode reduzir as necessidades de cloro no branqueamento ou elimina-lo completamente.

Existem 2 tipos de sistemas de oxigênio . O sistemas diferem em termos de consistência de reação da polpa, isto é alta consistência HC 20-28 % , enquanto a media consistência varia de 10-12%.

- Potencial de Prevenção de poluição.

Do ponto de vista ambiental , oferece 2 vantagens. Primeiro, pelo fato do processo de deslignificação iniciar durante o cozimento kraft, ela reduz a quantidade de lignina levada através dos estágios de cloração. As reduções na quantidade de lignina que entra no branqueamento reduz assim índices de poluição, isto é DBO, cor, e organoclorada. (TENCH & HARPER , 1991). O DBO cai aproximadamente 32 %. O termo extração oxidativa refere-se ao uso de oxigênio elementar no primeiro estágio alcalino (E1) de uma seqüência de branqueamento convencional. Em uma seqüência convencional de branqueamento, o estágio de branqueamento segue a cloração e completa a solubilização de moléculas de lignina clorada e oxidada, facilitando sua remoção.

A adição de oxigênio gasoso à extração alcalina pode aumentar a remoção de lignina e fornecer adicional poder de branqueamento, assim reduzindo as necessidades de cloro e dióxido de cloro. A extração oxidativa tem sido usado para ajudar as fabricas cortar o hipoclorito , que é o mais caro e agressivo químico e está associado a emissões de cloro.

Segundo, o efluente do estágio de oxigênio é reciclada através do ciclo de recuperação.

O oxigênio também pode levar a fábrica a polpação “zero efluentes” e branqueamento livre de cloro.

O número Kappa é usado como um parâmetro primário de controle até o ponto onde a polpa deixa os lavadores. Depois que a polpa entra no estágio de branqueamento, o parâmetro é a alvura da polpa. A alvura é a medida da quantidade de luz refletida pela polpa.

5.5. POLUIÇÃO EM INDUSTRIAS CELULÓSICAS E PAPELEIRAS:

As indústrias de papel e celulose são particularmente grandes fontes de poluição do ar e dos recursos hídricos. Entretanto, a maioria dos processos em uso permitem o controle eficaz dos agentes poluentes, se bem que a custo de elevados investimentos.

◆ Conceito de Efluentes:

Estritamente falando, a palavra efluentes significa “o que flui para fora de ...”. Aplica-se a líquidos e gases. O efeito do efluente é a poluição e isto é reconhecido como processo em que, por algum modo, mudam-se as propriedades do ar ou água. A simples introdução de água quente ou colorida numa corrente constitui um ato de poluição.

◆ Poluição do Ar.

A indústria de celulose apoia-se basicamente em um principal elemento para a maioria dos processos de conversão: o enxofre. Este elemento tem a característica de formar compostos cujo odor é considerado desagradável pelo homem e este é facilmente detectável. As mercaptanas liberadas pela utilização do processo sulfato, por exemplo, são notadas pelo olfato humano na ordem de partes por bilhão quando presentes no ar. É por isso que a tendência atual nas pesquisas é a busca de processos que não utilizam compostos contendo enxofre, como por exemplo: processo saída/oxigênio, etc.

Existem maneiras, embora dispendiosas, para controlar a poluição do ar: filtros, precipitadores eletrostáticos de impurezas.

- ◆ Poluição dos Recursos Hídricos

- ◆ Causas da poluição da água.

Como visto anteriormente, qualquer coisa que altere de algum modo as propriedades da água é um poluente. As principais causas da poluição pela indústria de papel e celulose são:

- 1) Sólidos Suspensos
- 2) Materiais que produzem reações tóxicas em plantas e animais
- 3) Gases dissolvidos
- 4) Pigmentos coloridos
- 5) Materiais não tóxicos mas que absorvem o oxigênio na água.

Os principais efluentes da indústria de celulose são:

- 1) Líquidos contendo reagentes químicos e matéria orgânica : licor negro, licor residual do branqueamento, etc.
- 2) Água drenada as suspensão de fibras na máquina de papel , sempre contendo fibras, cargas, aditivos, cola, anilinas, tintas, etc.

5.6. MÉTODOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES:

- ◆ Métodos Físicos:

Os principais métodos físicos são os mesmos utilizados no tratamento e purificação da água: sedimentação, flotação e filtração. O método mais usual é o de flotação, com boa ação de clarificação e remoção de partículas sólidas dos efluentes.

◆ Métodos Bioquímicos ou Biológicos:

São os métodos mais estudados e bastante recomendados ultimamente. O processo mais comum consiste no tratamento aeróbico do efluente com o desenvolvimento de microorganismos que oxidam o material orgânico e reduzem drasticamente o DBO.

◆ Outras Medidas a Aplicar

Visando reduzir ao máximo a poluição dos recursos hídricos pela introdução de efluentes contaminados, as seguintes medidas podem ser adotadas pelas indústrias:

- 1) Reutilização ou reciclagem da água no interior da fábrica
- 2) Recuperação de fibras
- 3) Recuperação de outros tipos de sólidos suspensos: caulim, pigmentos de titânio, etc.
- 4) Recuperação do licor negro.

◆ Tratamento Enzimático.

Hoje em dia os efluentes de indústrias químicas são principalmente tratados por lodo ativado e coagulação -floculação. Algumas substâncias químicas, entretanto, são descartadas nas águas por não serem capazes de serem removidas por esses métodos.

Existem métodos alternativos: separação por adsorção ou membrana, e oxidação por ozônio ou luz ultravioleta. Entretanto, existem desvantagens tais como custos e tratamento adicional dos resíduos nocivos concentrados.

Está sendo estudado no laboratório de Tratamento Avançado de Águas Residuais, do Departamento de Proteção Hidrosférica Ambiental, do National Institute of Resources and Environmental em Tsukuba, Japão, um novo tratamento enzimático usando tyrosinase, peroxidase ou laccase juntamente com um coagulante. Os precipitados são desintoxicados e degradados por

bactéria anaeróbica. O metano produzido no tratamento anaerobico do precipitado pode ser removido e usado como combustível.

MÉTODOS PARA MEDIR A POLUIÇÃO EM AGUAS RESIDUAIS:

◆ DBO- DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGÊNIO

DBO = Quantidade de oxigênio consumida pela bactéria enquanto a conversão DE oxidação da matéria orgânica a carbono e água DBO pode ser determinado a qualquer período, mas é comumente utilizado um período de 5 ou 7 dias .

O DBO é comumente regulada por causa que essa pode estar diretamente a escassez d oxigênio em um lago ou rio.

A EPA (Environmental Protection Agency) recomenda que o nível de DBO deve estar nos limites diários e mensais como observados na tabela abaixo:

TABELA 5 . LIMITES PROPOSTOS PELA EPA.

Fonte : JOYCE, 1994.

LIMITES PROPOSTOS PELA EPA Kg/ TACS		
Parâmetro	Máximo Diário	Máximo Mensal
DBO	4.26	2.19
TSS	69.2	41.0
COR	8.75	3.89
AOX	0.267	0.0166

O objetivo dessa norma é proteger o ecossistema de receber água mantendo um nível aceitável de oxigênio dissolvido na água.

◆ **SÓLIDOS SUSPENSOS**

São sólidos que podem ser filtrados por um filtro de tamanho específico geralmente de 5 m, feito de fibra vidro ou membrana de 0.45 m. Tais sólidos são fibras, areia, refugos de papel, etc. Podem ser removidos gravidade em clarificadores.

◆ **COR**

É o poluente causado pela lignina e sua degradação

CAPÍTULO 6

6. METODOLOGIA PROPOSTA

6.1. INTRODUÇÃO

No ambiente competitivo vivido atualmente pelas empresas, os clientes desejam produtos com valores agregados sempre mais altos e consistentes nas suas performances. A abordagem de Taguchi ligada ao desenvolvimento do produto e dos processos pode ajudar no aumento da consistência da performance do produto. O Desdobramento da Função Qualidade também é uma tática poderosa e aceitável para assegurar que as necessidades dos clientes serão ouvidas e levadas para o produto. As diferentes relações entre as necessidades dos clientes e as características de qualidade, as características das partes, os processos e as necessidades de produção ajudam na transmissão da voz do cliente através do ambiente dos negócios. O QFD incorpora abordagens que constituem partes das fases de concepção, necessidade e projeto de produtos. As considerações podem envolver substituição de materiais, reuso, facilidade de manutenção e desmontagem, além da reciclabilidade onde tais informações podem ser obtidas pelo DFE.

6.2. ESTUDO DE CASO : PROJETO DE EMBALAGEM PARA HAMBÚRGUER CONSIDERANDO A COMPARAÇÃO ENTRE EMBALAGENS CONFECCIONADAS POR POLYFOAM E PAPEL, UTILIZANDO A METODOLOGIA DE ECODESIGN ATRAVÉS DE QFD, TAGUCHI E DFE.

6.2.1. IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADE:

Quando observado o problema da qualidade ambiental voltada para a indústria de celulose e papel e embalagens, levantou-se alguns pontos onde mereceria um estudo aprofundado visando melhorar tais qualidades, além de colaborar para desenvolvimento da ISO 14040, ou seja DFE.

Tais pontos são:

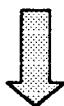
- ◆ Quando se tem uma preocupação excessiva quanto ao produto final acabam esquecendo da opinião do consumidor e da sociedade como um todo.
- ◆ A não consciência quanto a escolha da embalagens em geral em relação ao meio ambiente .
- ◆ Pouco estudo e conseqüentemente pouca literatura relativa a análise do ciclo de vida , métodos de Taguchi , DFE e QFD , voltada para papel, embalagens .
- ◆ Nenhum estudo interligando as tres ferramentas.

6.3. METODOLOGIA ELABORADA:

Para a elaboração do estudo de caso foi idealizado e concebida a seguinte metodologia a fim de alcançar os resultados satisfatórios , porém para melhor visualização e acompanhamento foi dividida em módulos , como apresentada a seguir:

ATIVIDADES PRELIMINARES

- ◆ Determinação do Sistema de Informação a ser utilizado,
- ◆ Formação da Equipe de trabalho
- ◆ Determinação de Objetivos
- ◆ Estruturação do Sistema Gerencial da Pesquisa
- ◆ Obtenção de Informações Literárias Revisão Bibliográfica
- ◆ Adequação do Conhecimento ao caso em estudo



ANÁLISE COMPARATIVA

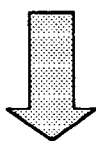
◆ Obtenção dos Dados

◆ Análise do Ciclo de Vida das embalagens escolhidas para comparação.

◆ Confecção da Matriz de ACV para os dois tipos de embalagem

◆ Confecção dos Gráficos *Alvo* do DFE

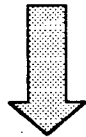
◆ Comparação dos Dados



TOMADA DE DECISÃO

- ◆ Tomada de Decisão quanto ao Tipo de

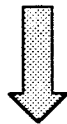
Embalagem a ser melhorada.



QFD

- ◆ Pesquisa para Realização do QFD

- ◆ Confeccção da Casa da Qualidade



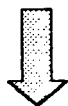
DFE

- ◆ Realização do Check-lists do DFE

- ◆ Determinação dos Perfis do Ciclo de Vida do Produto o qual mereceria maior atenção e melhoria.

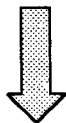
- ◆ Início do Projeto do Produto e Processo seguindo a filosofia do DFE.

- ◆ Definir Estratégias de Melhoramento



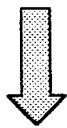
MÉTODOS DE TAGUCHI

- ◆ Início do Método de Taguchi
- ◆ Determinação dos Objetivos
- ◆ Determinação dos Fatores
- ◆ Determinação dos Níveis
- ◆ Determinação dos Ruídos (Quando considerado)
- ◆ Determinação da Matriz de Ruído
- ◆ Determinação das Interações
- ◆ Escolha da Matriz mais apropriada para a condução do experimento
- ◆ Uso de Software SADIE: Speedy Analysis and Design of Industrial Experiments
- ◆ Condução dos Experimentos
- ◆ Entrada dos Dados Resultante dos Experimentos
- ◆ Analise dos gráficos resultantes
- ◆ ANOVA
- ◆ Análise Razão Sinal/ Ruído
- ◆ Analise da Interações
- ◆ Análise de Opção de Projeto
- ◆ Otimização do Projeto
- ◆ Projeto de Parâmetros
- ◆ Experimento de Confirmação



ANÁLISE FINAL

◆ Confeção do Gráfico *Alvo* do DFE do produto projetado



CONCLUSÃO

◆ Conclusão do Estudo

Abaixo está demonstrado em forma de figura os passos da metodologia proposta para ECODESIGN utilizando QFD, TAGUCHI e DFE.

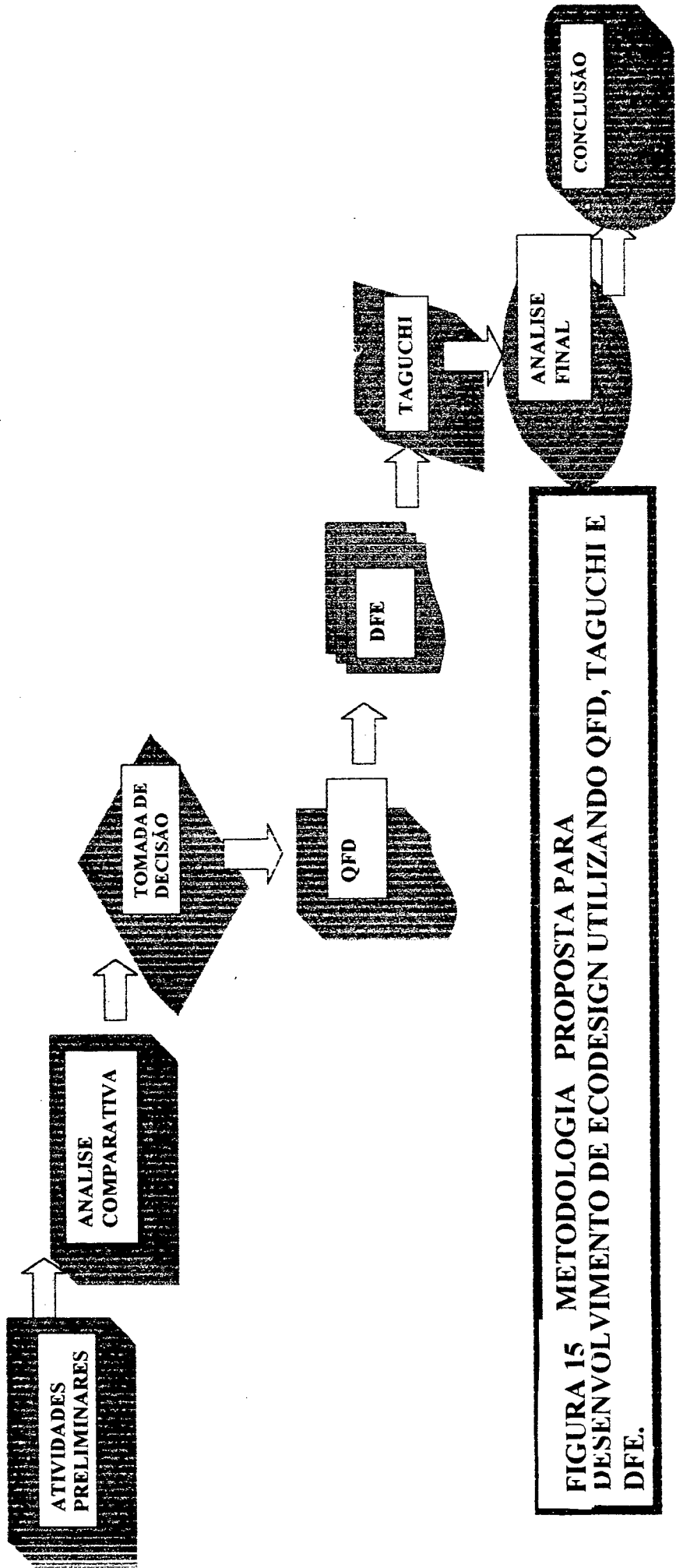


FIGURA 15 METODOLOGIA PROPOSTA PARA DESENVOLVIMENTO DE ECODESIGN UTILIZANDO QFD, TAGUCHI E DFE.

6.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

➤ ANALISES PRELIMINARES

◆ **Determinação do Sistema de Informação a ser utilizado:**

No princípio o trabalho de tese tinha como base já a utilização do Método Taguchi associado à indústria papelreira, mas com o decorrer do tempo, após o curso e experimentação no Japão a idéia atual apareceu e amadureceu e tornou-se um assunto inédito.

Dessa maneira o sistema de informação foi:

Bibliografia já adquirida previamente ;

Bibliografia obtida no Japão e na USP;

Bibliografia obtida pela Internet

Experimentação no Laboratório de Celulose e Papel do National Forest Institute em Tsukuba , Japão e National Institute of Resources and Environment, Tsukuba, Japão.

◆ **Formação da Equipe de Trabalho**

Como a aplicação se desenvolveu desde o contato com o cliente até as amostras testadas nos laboratórios de ensaios químico - físicos e mecânicos e de tratamento de efluentes, foi escolhido um elemento de cada uma das seguintes áreas para consultoria :

- Tecnologia da Madeira., Celulose e Papel;
- Projeto do Produto;
- Gerente Ambiental;
- Tratamentos de Resíduos;
- Produção;
- Controle Estatístico de Processos (CEP).
- Estatística Experimental
- Engenharia de Alimentos
- Marketing

◆ Determinação dos Objetivos.

Tomada de Decisão para desenvolver uma embalagem para hambúrgueres .

◆ **Estruturação do Sistema Gerencial da Pesquisa**

◆ Revisão Bibliográfica:

Realizou-se uma vasta revisão, a fim de adquirir o conhecimento. Foi necessário aprofundar o estudo sobre: Estatística Experimental, Tecnologia de Celulose e Papel, Tratamento de Efluentes, Embalagens, Polyfoam e ACV.

◆ **Obtensão de Dados:**

◆ Análise do Ciclo de Vida para as embalagens de Polyfoam, e Papel:

Obteve-se dados dos ACV de embalagens de polyfoam e papel através de MCCUBBIN (1991) . Abaixo é discutido o ACV tanto de embalagens de papel quanto de polyfoam

O principal material para a embalagem de papel é a madeira, ou seja um recurso renovável. Entretanto , a aquisição da madeira para a polpação tem impactos visivelmente negativos no meio ambiente , dado o corte drástico em florestas, por outro lado, as embalagens de Polyfoam é feita completamente de hidrocarbonos (óleo e gás).

A escolha de um produto ecologicamente correto deve ser feita após tal análise como será descrita mais tarde. Um delineamento de tal análise , ou seja embalagem para hambúrguer comparando papel e polyfoam como material será dada aqui.

A produção da embalagem de papel de hambúrguer consome tanto hidrocarbonos quanto a embalagem de Polyfoam, (Tabela 6), a aquisição de matéria - prima para sua produção inclui tanto aquisição de madeira e de hidrocarbonos, causando assim maior impacto ambiental.

A embalagem de papel quando feita de papel branqueado, foi obtida com um rendimento de cerca de 50% do peso da madeira em cavacos (MCCUBBIN, 1991). A casca e algum resíduo de madeira também são queimadas para fornecer uma parte da energia necessária do processo de polpação. Assim uma media de 40 g de madeira,, uma media de 4 g de óleo combustível ou gás natural , é consumido por embalagem com um peso final de 15,3 g. Muito mais petróleo que esta quantidade seria necessária para uma embalagem com cobertura de plástico , mas essa seria uma opção a parte, não considerada aqui.

Materiais químicos também são necessários para o processo de polpação. Uma quantidade relativamente pequena de hidróxido de sódio ou sulfato de sódio são necessários para a polpação química, assim a reciclagem desses no processo kraft é pouco eficiente. Entretanto, grandes quantidades de hidróxido de sódio, cloreto de sódio, ácido sulfúrico, dióxido de enxofre, e hidróxido de cálcio ou limo, são usados para 160 a 200 kg por tonelada cubica de polpa. O total de químicos não reciclados por embalagem chega 2. 0 g

Segundo MCCUBBIN (1991), as necessidades de materiais químicos para a embalagem de polyfoam são pequenas porque vários estágios da conversão química emprega

catalisadores na fase solida que são capazes de realizar milhares de conversões ativas antes que uma substituição catalítica seja necessária. A alcalinação do benzeno com etileno também usa cloreto de alumínio cataliticamente de 10 kg por tonelada cúbica de etilbenzeno produzido. O cloreto de alumínio é mais tarde neutralizado com a mesma quantidade de hidróxido de sódio. Após isto, uma quantidade de ácido sulfúrico e hidróxido de sódio são consumidos, principalmente para limpeza do fluxo de hidrocarbonos nos estágios intermediários., com o total em torno de 10 Kg por tonelada cubica de polyfoam. Isso dá um total de necessidade química em torno de 35 Kg por tonelada cubica de polyfoam, 0.07 por embalagem, ou 5 % da necessidade química da embalagem de papel.

A embalagem de papel consome cerca de 12 vezes mais de vapor, 36 vezes mais de energia elétrica, e o dobro de água fresca que a embalagem de polyfoam, cerca de 580 vezes o volume de águas residuais é produzida para a quantidade de polpa necessária para a embalagem de papel, quando comparada as necessidades de polyfoam para a embalagem.

Com base em massa, 45 kg de pentano empregado como agente (blowing) para cada tonelada cubica de folhas usadas para confeccionar as embalagens de polyfoam é a mais significativa das duas tecnologias em relação a emissão ao ar. Seu tempo de vida na atmosfera é estimado em torno de 7 anos ou menos, cerca de um decimo dos clorofluorocarbonos usados em alguns folhas.

Se as 6 toneladas cubicas de papel equivalente a uma tonelada cubica de polyfoam degradasse anaerobicamente por completo no solo, essa poderia gerar 2370 Kg de metano junto com 3260 Kg de dióxido de carbono. Mesmo que o metano seja um gás da estufa equivalente ao pentano, esse tomaria somente 2 % da biodecomposição teoricamente possível do papel. Para equacionar o efeito da perda de pentano de uma tonelada cubica de produção de embalagem de polyfoam.

O lado técnico da capacidade de reciclagem do polyfoam é também preocupante. Pois há a restrição que a resina reciclada pode não ser usada em aplicações alimentícias.

As embalagens de papel, que usam cola quente não solúveis em água ou solventes com base em adesivos, são por esta razão tecnicamente excluídos dos programas de reciclagem

pelo fato que a resina adesiva não poder ser removida durante a repolpação. Se um papel é coberto por um filme plástico ou cera a fim de melhorar suas propriedades, também é considerado difícil de reciclar.

O polyfoam é relativamente inerte a decomposição quando descartado no solo. (RATHJE , 1989)

TABELA 6 . COMPARAÇÃO DAS ANÁLISES DO CICLO DE VIDA DE EMBALAGENS DE HAMBURGUERES DE POLYFOAM E PAPEL .(MCCUBBIN , 1991)

<i>ITEM</i>	<u>EMBALAGEM DE PAPEL</u> <i>POR EMBALAGEM</i>	<i>EMBALAGEM DE polyfoam</i>
<u>MATÉRIA - PRIMA</u>		
MADEIRA E CASCA (g)	33-37	0
OUTROS QUÍMICOS	2.0	0.05
PETRÓLEO (g)	4.1-6.0	4.0
PESO FINAL(g)	13.6	1.5
CUSTO NO ATACADO	2.5X	X
	<i>POR TONELADA CUBICA DE MATERIAL</i>	
<u>UTILIDADES</u>		
VAPOR (Kg)	9000-12000	~5000
ENERGIA ELÉTRICA	950	120-190
ÁGUA GELADA (m3)	50	155
<u>EFLUENTE AQUOSO</u>		
VOLUME (m3)	50-190	0.5-2.0
SÓLIDOS SUSPENSOS (Kg)	35-65	traço
BOD (Kg)	30-55	0.07
ORGANOCLORADOS (Kg)	5-7	0
SAIS METAIS (Kg)	1-20	20
<u>EMISSÕES AÉREAS</u>		
CLORADOS (Kg)	0.05	0
DIOXIDO DE CLORADOS (Kg)	0.2	0
SULFIDES REDUZIDOS (Kg)	2.0	0
PARTÍCULAS (Kg)	5-15	0.1
CLOROFLUORCARBONOS (CFC)	0	0

PENTANO (Kg)	0	35-50
--------------	---	-------

DIOXIDO DE ENXOFRE (Kg)	10	10
-------------------------	----	----

**POTENCIAL DE
RECICLAGEM**

APÓS O USO	ALTO	ALTO. REUSO DA RESINA FOR EM OUTRAS APLICAÇÕES
------------	------	---

DESCARTE FINAL

INCINERAÇÃO	FÁCIL	FÁCIL
-------------	-------	-------

RECUPERAÇÃO DE CALOR (MJ/Kg)	20	40
------------------------------	----	----

MASSA NO SOLO(g)	10.1	1.5
------------------	------	-----

BIODEGRADÁVEL	SIM	NÃO, ESSENCIALMENTE INERTE
---------------	-----	----------------------------

◆ Confecção da Matriz do ACV- para os dois tipos de embalagem:

Ambas as embalagens provocam um impacto no meio ambiente, tanto durante a obtenção de matéria – prima , manufatura quanto durante o descarte, e isso vale para todos os produtos , que na grande maioria não só provocam impacto ambiental nessas 3 etapas , como também durante principalmente seu uso , transporte , como por ex. automóveis. Todos os produtos são causadores de poluição ou outro impacto qualquer.

Os maiores impactos no caso desses dois produtos estão na fase de obtenção de matéria prima , manufatura e descarte no solo ou em aterros. No caso de alguns outros produtos como automóveis , estes maiores impactos ocorrem durante a combustão da gasolina e descarga de óleo durante o ciclo de direção. GRAEDEL et alii (1995)

Entretanto , existem outros aspectos do produto que afetam o meio ambiente, tais como emissões aéreas , líquidas , o descarte de ambas as embalagens, que no caso do polyfoam não é de forma alguma biodegradável, sendo assim muito agressivo ao meio ambiente, e não cumpre assim uma das necessidades dos consumidores.

As características das duas embalagens são descritas abaixo , Tabela 7.

Comparada com a embalagem de polyfoam, as embalagem de papel mostrou-se substancialmente mais pesada, menos eficiente, forneceu uma grande quantidade de fluidos líquidos e gases poluentes, porém sua biodegradação é possível, enquanto que a de polyfoam isto é impossível, dessa maneira para o desenvolvimento de uma embalagem com menor potencial de impacto ambiental a de papel é extremamente mais adequada.

A pré- manufatura, a primeira fase do ciclo de vida , trata dos impactos no meio ambiente como uma consequência das ações necessárias para a extração de materiais de reservatórios naturais, transporte desses ate a fábrica, purificação e separação desses por operações tais

como corte da madeira na floresta, traçamento, armazenamento, transporte, lavagem das toras, picagem dos cavacos, separação por tamanho, armazenamento dos cavacos nos pátios e finalmente , transferência ate ao digestor para polpação.

No caso do polyfoam , esta operação e muito mais simples , contendo somente a extração de petróleo, o transporte desse até a fábrica.

TABELA 7 ANALISE DOS PRODUTOS VOLTADOS PARA CONSCIÊNCIA ECOLÓGICA. Matriz de análise comparativa dos impactos ambientais das duas embalagens papel x polyfoam.

fase do ciclo de vida	INTERESSE AMBIENTAL					
	escolha do material	uso de energia	resíduos sólidos	resíduos líquidos	resíduos aéreos	total
PRÉ- MANUFATURA - OBTENÇÃO DE MATÉRIA-PRIMA						
papel	1	2	1	1	1	6/20
polyfoam	3	3	3	3	3	15/20
MANUFATURA						
papel	0	1	1	2	2	6/20
polyfoam	2	3	3	3	3	14/20
EMBALAGEM E TRANSPORTE DO PRODUTO						
papel	3	3	3	3	3	15/20
polyfoam	3	3	3	3	3	15/20
USO DO PRODUTO						
papel	4	4	4	4	4	20/20
polyfoam	4	4	4	4	4	20/20
DESCARTE - RECICLAGEM /BIODEGRADACAO						
papel	4	4	4	4	4	20/20
polyfoam	0	0	0	0	0	0/20
TOTAL						
papel	12	14	13	14	14	67/100
polyfoam	10	11	11	11	11	64/100

- ◆ Confeção dos gráficos *Alvo* do DFE para os dois tipos de embalagens, Figuras 16 e 17

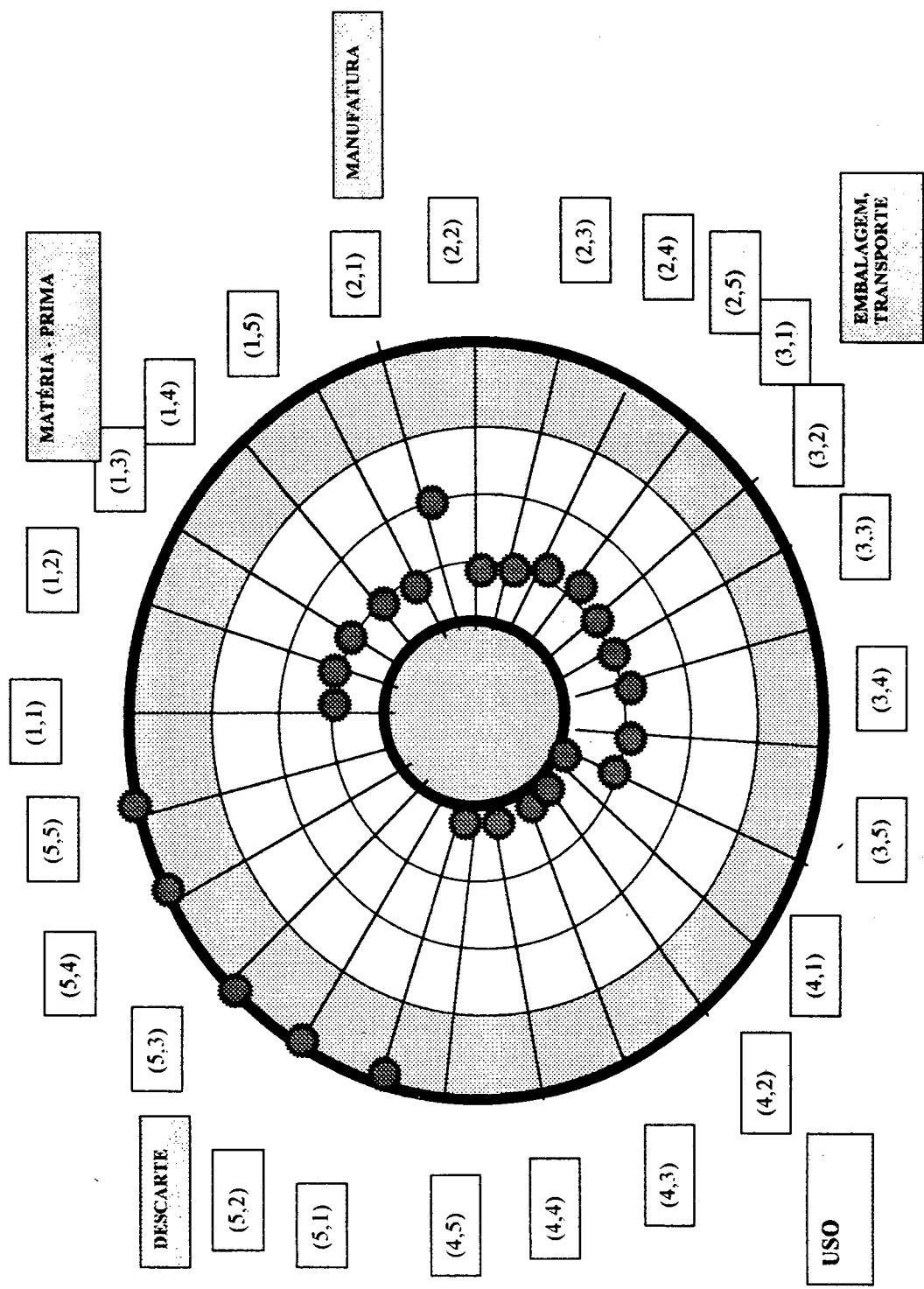


FIGURA 16 . GRÁFICO ALVO DO DFE PARA EMBALAGEM DE POLYFOAM

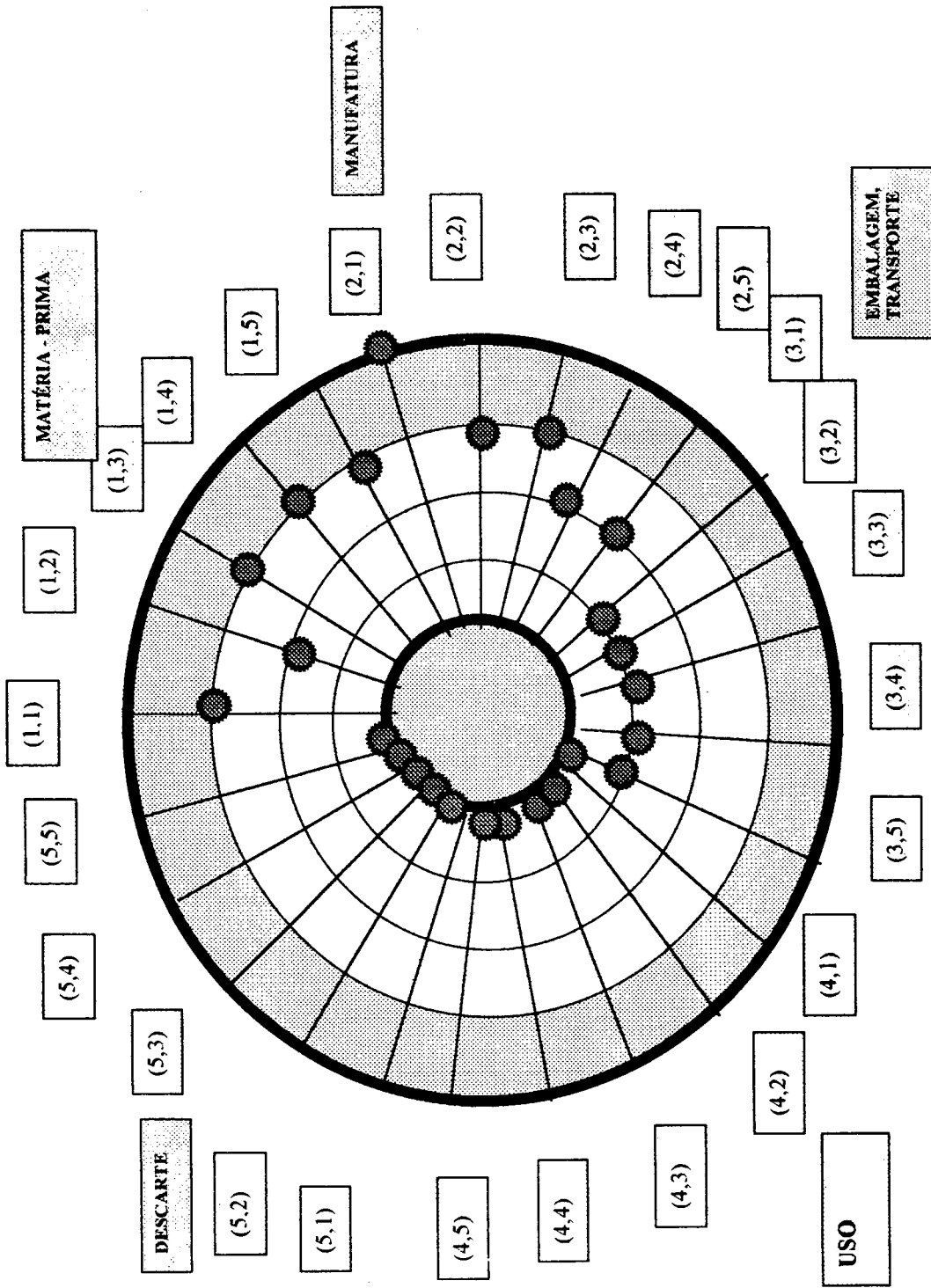


FIGURA 17 . GRÁFICO ALVO DO DFE PARA EMBALAGEM DE PAPEL

◆ Tomada de Decisão quanto ao Tipo de Embalagem a ser Estudada

Pela possibilidade da biodegradação foi escolhida a embalagem de papel para o estudo de caso, além de estar mais próximo do alvo do DFE , pois obteve 67 em 100 contra 64 em 100 do polyfoam.

◆ Pesquisa para a Realização do QFD:

Para o levantamento das necessidades do cliente (sociedade) em relação ao produto (papel) foi organizada uma visita à certos locais públicos como: papelaria, parques , shoppings, universidades e institutos de pesquisa.

Entretanto nas questões feitas aos entrevistados , o fator ambiental era sempre evidenciado.

Características de Qualidade (COMO)

Necessidades do Consumidor (O QUE)

	DESIGN	ERGONOMIA	AQUECIMENTO	POLUIÇÃO	TAXA IMPORTANCIA	COMPAGORA	COMPETIDOR X	COMPETIDOR Y	PLANO	MELHORIA	LUTO	
Limpeza evidente	•162	°54	Δ18	Δ18	4	3	3	4	4	1.3	5.33	18
Resistência	•207	•207	Δ23	Δ23	4	3	2	3	4	1.3	5.33	18
Mantenha aquecido o alimento	°78	Δ26	•234	°78	5	3	1	4	4	1.3	7.5	26
Questões ambientais	Δ46	°99	°99	•297	5	1	3	2	4	2	10	34
Total	416	287	374	546	1623						28.3	100

Porcentagem

Companhia agora	ACE	MOD	7"	30
Competidor X	ACE	FRA	9	20
Competidor Y	BOM	FOR	9	12
Plano	BOM	FOR	15	4.0

• = 9 = forte correlação

D=AxBx B=P/N

° = 3 = alguma correlação

Δ = 1 = possível correlação

ACE- ACEITAVEL
MOD- MODERADO
FRA- FRACO
FOR-FORTE

FIGURA 18 MATRIZ I DO QFD. CASA DA QUALIDADE

Confecção da Casa da Qualidade: A primeira fase do projeto, construção da Matriz I, teve como objetivo relacionar as necessidades do cliente com as características de qualidade do produto e da ação nociva que esses consideram sobre o produto .

Uma primeira dificuldade encontrada foi a identificação do cliente (direto ou indireto). Uma vez que a embalagem atinge tanto o usuário quanto a sociedade como um todo, é razoável relacionar as necessidades ambientais. Porém, o cliente que deve ser atendido não é o usuário final e sim a sociedade. Cabe à sociedade o poder de exigir modificações nos processos e não o usuário final. Em uma abordagem ideal, a sociedade seria a responsável pela construção da Matriz I, relacionando as necessidades do usuário e do ambiente com os parâmetros funcionais da embalagem.

◆ Realização do CHECK-LIST do DFE

Nesta fase procurou-se considerar as conclusões obtidas no check-lists do DFE considerando assim os conceitos de ACV, onde deseja-se o menor impacto ambiental possível como um risco baixo para o ambiente, considerando os riscos possíveis de alcançar-se as não qualidades funcional e ambiental. Do CHECK-LIST (em ANEXO) foi obtido os pontos da vida do produto com maior necessidade de melhoramento contínuo ambiental.

◆ Determinação dos Perfis do Ciclo de Vida do Produto que mereceria maior atenção e melhoria:

De acordo com as análises realizadas e comparações ,observou-se que para que a embalagem de papel obtivesse melhor desempenho , os estágios do ciclo de vida que mereceram maior atenção para o desenvolvimento do produto eram:

Obtenção de Matéria- Prima;

Manufatura;

Descarte.

Entretanto , para tais fases foram determinados os fatores que mais contribuíam para um melhor ou pior desempenho , chegando assim aos fatores utilizados no estudo de Taguchi , como demonstrado a seguir.

◆ **Início do Projeto do Produto e do Processo seguindo o DFE.**

◆ Definição das Estratégias de Melhoramento:

Decidiu-se testar como estratégia de melhoramento : a polpação com pré- deslignificação , o tratamento dos efluentes por enzimas e Descascamento úmido , para fibras de Eucaliptus.

♥ **Início do Método de Taguchi:**

♥ Determinação do Problema :

Qualquer Design de Experimento (DOE) deveria incluir as conseqüência ambientais do processo e uso do produto nas características de qualidade examinadas. Foi determinado os fatores ótimos, tanto ambientais quanto funcionais .

Os Métodos Taguchi sendo um DOE (Delineamento de Experimentos) foi usado a fim de fornecer dados através da exanimação da mistura de processos , tais como alternativos processos de polpação , branqueamento e tratamento das águas residuais derivadas do processo, pois os efeitos contrários causados pelos ciclo de vida do produto foram previstos pelo projetista, que não esteve somente preocupado com a “qualidade do produto “ mas também com a “qualidade ambiental.

♥ PROBLEMA: indefinição dos valores de “setagem “para a produção de embalagem de papel com mínimo índice ambiental (DBO) , conservação do calor do alimento

que pode ser observada na matriz do QFD , funcional. Como não existem normas voltadas para o desempenho da embalagem de papel para hambúrgueres com o intuito de melhorar a qualidade e ambiental e funcional, este teve assim o objetivo principal de servir como base e auxílio para o desenvolvimento destas.

♥Determinação dos Objetivos:

3.b. OBJETIVO : conseguir acertar uma “ setagem” ótima , de forma a colocar as especificações funcionais e ambientais dentro do alvo (objetivo principal) e tornar o processo com menor quantidade de DBO (Demanda Biológica de Oxigênio) e com maior tempo de conservação de calor.

3.c. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS:

Todas as amostras foram obtidas após a palpação da madeira , branqueamento, formação do papel, tratamento dos efluentes ou não, confecção das embalagens e tomada de temperatura dessa já com o produto alimentício.

Os ensaios realizados com as amostras foram os seguintes:

DBO = Quantidade de oxigênio consumida pela bactéria na conversão da oxidação da matéria orgânica a carbono e água. DBO pode ser determinado a qualquer período, mas é comumente utilizado um período de 5 ou 7 dias .

As amostras foram tomadas após todo processo de polpação , branqueamento e tratamento ou não do efluente com enzimas.

CALOR DO HAMBÚRGUER

O calor do alimento tem influencia preponderante sobre o gosto , assim para demonstrar essa característica foi denominada o gosto tomado após 5 minutos como :

A: Paladar ótimo

B: Paladar regular

C: Paladar ruim

♥Determinação dos Fatores:

A seleção dos fatores de controle se deu através da matriz I (casa da qualidade) do QFD e do CHECK-LIST do DFE.

Após estudar detalhadamente cada fase da fabricação de papel, obteve-se alguns fatores importantes , entretanto os fatores de controle selecionados mais relevantes para alcançar as especificações foram os seguintes:

A= DESLIGNIFICAÇÃO

B= TEMPO DE REFINAÇÃO

C- GRAMATURA (g/m²)

D= TRATAMENTO DOS EFLUENTES

E= DESCASCAMENTO DA MADEIRA

Abaixo está uma breve explicação de cada um deles:

DESCASCAMENTO DA MADEIRA:

Antes das toras serem transformadas em cavacos, deve-se retirar a casca e outras contaminações. Este processo é chamado de descascamento e este pode ser úmido ou seco.

TEMPO DE REFINAÇÃO: Tempo em que as fibras ficam sujeitas à um trabalho mecânico de batimento para remover parte das camadas PR e S1, permitindo assim o inchamento das camadas internas de celulose.

DESLIGNIFICAÇÃO POR OXIGENIO:

Consiste de dois tanques de reator de oxigênio seguido de dois tanques lavadores por difusão de pressão. O Oxigênio é aplicado a mais ou menos 4,5 % e o numero kappa resultante cai de 40 % a 50%. O tempo de retenção em cada reator é de 20 minutos. Um

misturador entre os reatores permite adição adicional de mais oxigênio e licor branco oxidado.

GRAMATURA:

É definida como peso em gramas de celulose ou papel por metro quadrado de superfície.

TRATAMENTO DE EFLUENTES AQUOSOS:

Tratamento Tradicional

Os principais processos de purificação da água são conhecidos por: sedimentação , coagulação e filtração.

- Sedimentação:

Consiste em se permitir que parte dos sólidos suspensos se sedimentem em tanques especiais. Agentes de floculação ou coagulação podem ser usados para aumentar a velocidade da sedimentação. Entre estes agentes destacam-se : alúmen, sulfato de ferro na presença de cal, etc.

- Coagulação e decantação:

Consiste na adição de reagentes químicos que formam gelatinosos com os sais alcalinos presentes na água. Os principais agentes coagulantes são sulfatos de ferro ou alumínio. O processo usualmente ocorre ao mesmo tempo da decantação.

- ◆ Filtração:

O processo consiste na remoção das impurezas por meio de filtros de areia, filtros pressurizados, etc.

Tratamento enzimático:

Usa-se tyrosinase, peroxidase ou laccase juntamente com um coagulante

Estes fatores (variáveis discretas e contínuas) são independentes, logo podem variar independentemente dos demais fatores. Além disso, eles são de controle absoluto do operador, uma vez fixos os demais fatores.

♥ Determinação dos Níveis:

Foram tomados 2 níveis para os fatores de controle por serem na maioria fatores binomiais. Foi escolhida uma faixa relativamente ampla para os níveis dos fatores gramatura e tempo de refinação, para os demais fatores somente a presença ou ausência do fator. A figura 19 apresenta os níveis dos fatores de controle.

FATORES	NÍVEIS	
	1	2
DESCASCAMENTO DA MADEIRA	SECO	ÚMIDO
TEMPO DE REFINAÇÃO	10 MINUTOS	20 MINUTOS
DESLIGNIFICAÇÃO POR OXIGÊNIO	NÃO	SIM
GRAMATURA (g/m ²)	250	350
TRATAMENTO DO EFLUENTE AQUOSO	TRADICIONAL	ENZIMÁTICO

TABELA 8 . FATORES E NÍVEIS DO PROJETO DE PARÂMETRO.

Um dos níveis eram de uso corrente e o outro nível era aquele predito ser o melhor que o corrente considerando a qualidade ambiental e funcional.

♥ Determinação das Interações:

Deseja-se avaliar todas as interações duplas entre os fatores de controle : descascamento e deslignificação e deslignificação e tratamento de efluentes; ou seja AXE, AXD.

♥ Escolha da Matriz mais apropriada para a condução do Experimento:

Queremos definir uma estrutura para calcularmos os efeitos das variáveis A,B,C,D,E, 2 níveis e das interações, as quais se tem interesse em estudar a influência na qualidade da embalagem e do efluente para minimização da DBO e uma temperatura do hambúrguer aceitável.

Abaixo está os elementos para escolha da matriz:

			NUMERO DE COLUNAS
EFEITOS PRINCIPAIS: A,B,C,D,E			5
NÚMERO DE REPETIÇÕES			3
INTERAÇÕES:AE , AD			2
NÚMERO	TOTAL	DE	7
COLUNAS			

TABELA 9 . ESTRUTURA PARA AS VARIÁVEIS.

Utilizando o delineamento de experimentos , a metodologia de Taguchi, a estrutura escolhida foi L8.

<i>Experim ento</i>	A	B	AE	C	AD	D	E
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

TABELA 10. MATRIZ FINAL DE DELINEAMENTO PARA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO.

♥Fatores de Ruídos

Foram identificados vários fatores de ruído, que poderiam influenciar na variabilidade das respostas. Entretanto os valores de setagem se mantêm constante durante o tempo total de fabricação. Existem fatores de ruído estão relacionados à matéria-prima, temperatura de cozimento da madeira, variações na deslignificação.

Na pratica , é muito difícil forçar qualquer um destes fatores no experimento, seja pela falta de tempo e recursos. Desta forma , a única medida de variação do processo será dada pelo uso de replicações .

♥Uso do Software SADIE:

- nenhum tipo de randomizacao foi usado a fim de se manter a estrutura original da matriz de delineamento , minimizando a frequência de ajustes nos parâmetros críticos;
- uma vez ajustada uma setagem , esperavam-se varias formações de embalagem e obtinha-se amostras dos efluentes de cada experimento
- uma vez estabilizado o processo foram tomadas 3 amostras seguida como forma de replicação.

♥Entrada dos Dados Resultantes dos Experiments

	DBO	CALOR
1	18.0	B
2	10.62	A
3	8.27	C
4	17.2	B
5	13.2	B
6	10.23	A
7	9.98	B
8	6.33	A

TABELA 11 . VALOR MÉDIO DAS AMOSTRAS PARA CADA EXPERIMENTO.

♥ Análise dos Gráficos Resultantes:

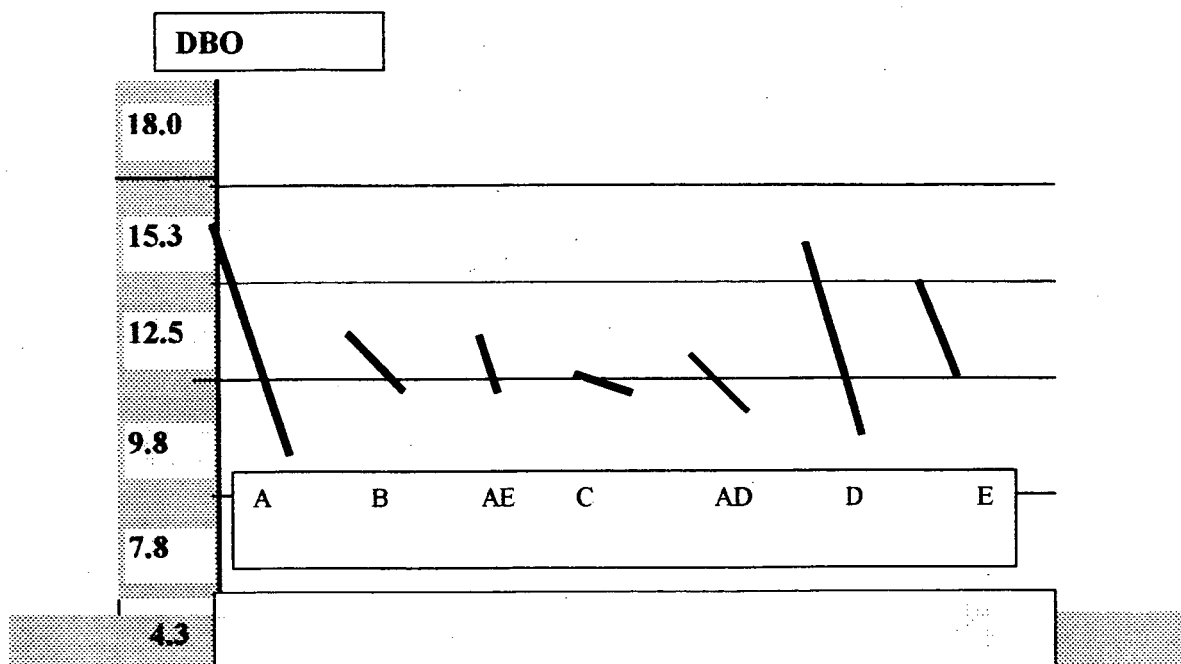


FIGURA 19 . GRÁFICO RESULTANTE DOS EXPERIMENTOS DEMONSTRANDO O COMPORTAMENTO DE CADA FATOR E SEUS RESPECTIVOS NÍVEIS .

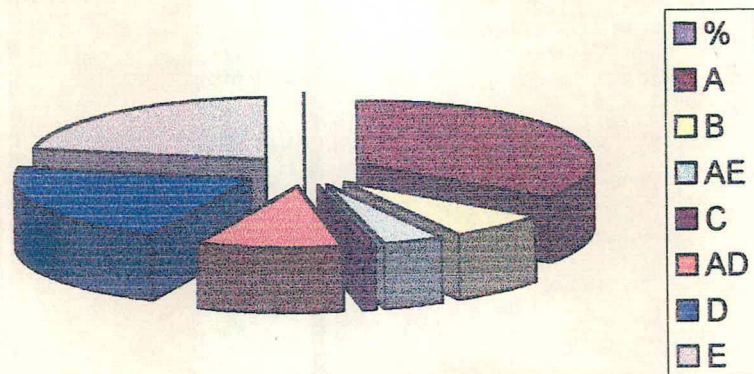
♥ ANOVA:

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE FOR : DBO

SOURCE	df	SS	MS	F	Rho%
A	1	194.37	194.37	5147.75	35.77
B	1	96.96	96.96	2567.97	6.85
AE	1	1.85	1.85	48.95	4.0
C	1	3.45	3.45	91.38	0.63
AD	1	68.95	68.95	1826.16	10.90
D	1	114.93	114.93	3043.87	21.15
E	1	62.21	62.21	1647.59	22.44
ERROR	16	0.60	0.04		
TOTAL	23	543.33	23.62		

TABELA 12 . ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS FATORES ESTUDADOS PELO MÉTODO TAGUCHI

FIGURA 20 . PORCENTAGEM DE INFLUÊNCIA DE CADA FATOR NA VARIÁVEL RESPOSTA : DBO



A tabela de índices de resposta de cada mudança de nível está abaixo demonstrando se houve um aumento ou redução do DBO após aplicação do nível para cada fator.

	A	B	AE	C	AD	D	E
NÍVEL 1	13.85	11.02	11.28	11.38	12.70	13.19	12.62
ATUAL							
NÍVEL 2	8.16	10.00	10.88	10.63	9.510	8.82	9.40
EFEITO	-5.69	-1.02	-1.40	-0.76	-3.39	-4.38	-3.22

TABELA 13 . ÍNDICES DE RESPOSTA PARA CADA MUDANÇA DE NÍVEL ASSOCIADO A CADA FATOR.

♥ Análise das Interações:

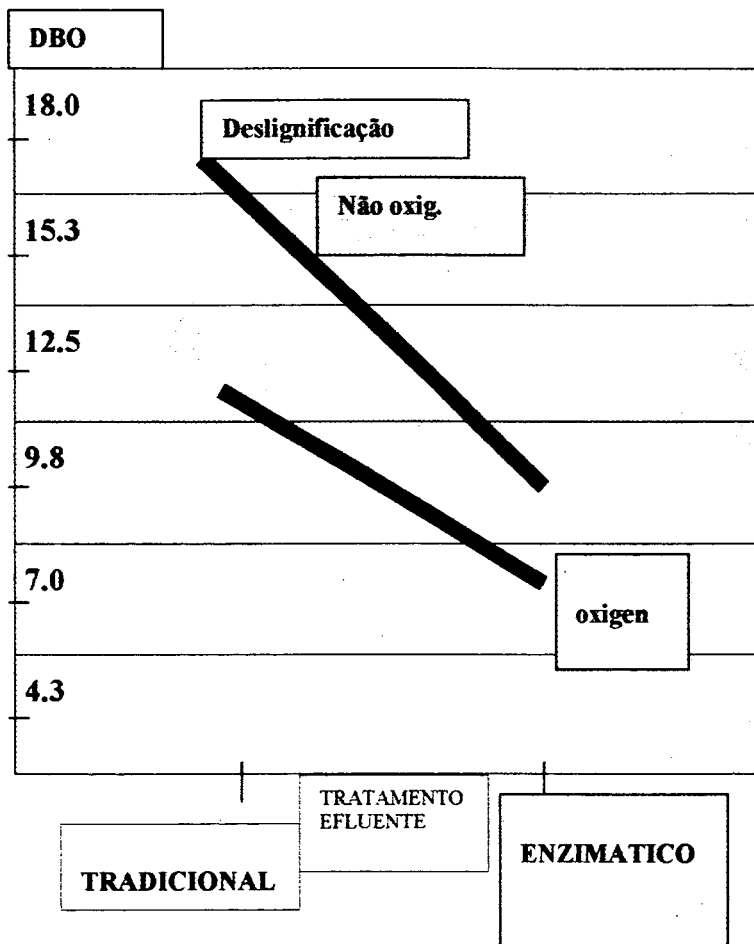


FIGURA 20 . EFEITO DA INTERAÇÃO TIPO DE TRATAMENTO DOS EFLUENTE E TIPO DE DESLIGNIFICAÇÃO.

♥Otimização do Projeto.

No software SADIE é possível realizar o Projeto de Parâmetros onde é simulado um experimento considerando ou não os fatores e mudando os níveis para a otimização, assim a simulação é dada como a tabela abaixo considerando os intervalos de confiança e de confirmação:

FACTOR	INCLUDE	LEVEL
A	Y	2
B	N	2
AE	N	1
C	N	1
AD	Y	1
D	Y	2
E	Y	2

TABELA 14: PROJETO DE PARÂMETROS PARA A EMBALAGEM COM BAIXO ÍNDICE DE DBO.

MÉDIA GERAL = 10.98

MÉDIA ESTIMADA 4.03

NÍVEL DE CONFIANÇA 95 %

LIMITE SUPERIOR= 5.0 LIMITE INFERIOR = 3.5

♥ Construção da Matriz do ACV.

<i>INTERESSE AMBIENTAL</i>						
PRÉ- MANUFATURA - OBTENÇÃO DE MATÉRIA-PRIMA						
Embalagem projetada	4	2	1	4	1	13/20
MANUFATURA						
Embalagem projetada	4	3	3	4	2	16/20
EMBALAGEM E TRANSPORTE DO PRODUTO						
Embalagem projetada	3	3	3	3	3	15/20
USO DO PRODUTO						
Embalagem Projetada	4	4	4	4	4	20/20
DESCARTE - RECICLAGEM/BIODEGRADAÇÃO						
Embalagem Projetada	4	4	4	4	4	20/20
TOTAL						
Embalagem Projetada	19	16	14	19	14	82/100

TABELA 15. MATRIZ DE ACV DO PRODUTO PROJETADO

◆ Experimento de Confirmação :

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo consistiu basicamente numa análise da polpação kraft do Eucaliptus e Pinus no estudo do branqueamento dessa celulose visando obtenção de alvuras superiores a 88 ISO, utilizando estágios de oxigênio na seqüência OC/DEoDED .

Para análise dos processos utilizados e da qualidade da celulose de Eucaliptus , os resultados obtidos foram comparados com os da madeira de Pinus taeda processada em condições semelhantes.

Foram utilizados cavacos industriais de Eucaliptus, de idade não identificada, e cavacos produzidos em picador de laboratório utilizando árvore de 22 anos de Pinus taeda. Os cavacos foram secados ao ar e classificados manualmente em peneiras de 32x32 e 5x5 mm.

Para caracterizar as fibras de Eucaliptus, e de Pinus e, também, de com 7 anos de idade, foram transformados em pequenos palitos que foram tratados, a quente, com solução nítrico-acética para separação das fibras.

As fibras individualizadas, após coloração com safranina, foram medidas com auxílio de microscópio ótico (largura, diâmetro do lúmen e espessura da parede) e utilizando a técnica de projeção (comprimento). Foram medidas 150 fibras de cada espécie.

Para a realização dos cozimentos kraft foi utilizado um digestor rotativo, aquecido eletricamente, com capacidade de 20 litros. Foram realizados cozimentos preliminares para estabelecimento das condições necessárias para produção de celuloses com número kappa cerca de 30.

As condições de cozimento utilizadas para as duas espécies foram as seguintes: álcali ativo, como $\text{Na}_2\text{O} = 23,5\%$ (Pinus) e $14,5\%$ (Eucaliptus), sulfidez = 25% , relação licor/cavacos = $4/1$ (Pinus) e $4,8/1$ (Eucaliptus), temperatura máxima = 170°C (Pinus) e 165°C (Eucaliptus), tempo até temperatura = 100 minutos, tempo à temperatura = 60 minutos (Pinus) e 50 minutos (bambu). Para a caracterização dessas celulosas foram determinados os rendimentos total e depurado, o teor de rejeitos, o número kappa e a viscosidade.

Foi desenvolvido um estudo de otimização das condições de pré-deslignificação das celulosas kraft das duas espécies, tendo sido utilizadas as seguintes condições: celulose = 1509 a.s., dosagem de álcali (NaOH) = $1,5 - 2,0 - 2,5$ e $3,0\%$, temperatura = $90, 100$ e 110°C , tempo = 15, 30, 45 e 60 minutos, dosagem de oxigênio = 2% , pressão de oxigênio = $3,5 - 5,0$ e $6,5 \text{ kg/cm}^2$, dosagem de magnésio = $0,1\%$, consistência = 12% . Os experimentos foram realizados em autoclave rotativa, dotada de 4 reatores de aço inox, com capacidade de 2 litros cada um, permitindo a realização de 4 pré-deslignificações simultaneamente. Cada reator era dotado de válvula de desgaseificação, válvula de engate rápido para injeção de gases, termômetro e manômetro. Para a realização da pré-deslignificação, eram misturadas soluções de NaOH , MnSO_4 , e água quente à celulose previamente aquecida em banho de vapor, de modo a obter a consistência de 12% . As celulosas eram massageadas vigorosamente por dois minutos, transferidas para os reatores e purgadas com nitrogênio. Era injetado nitrogênio a uma pressão de 1 kg/cm^2 e a temperatura era elevada até o nível desejado. Atingida a temperatura desejada, liberava-se o nitrogênio, purgava-se com oxigênio e injetava-se a pressão desejada de oxigênio. Terminadas as reações, eram coletadas amostras do licor residual, as celulosas eram lavadas exaustivamente e seus teores de umidade determinados.

Para a realização do estágio de extração oxidativa trabalhou-se com amostras de 150g a.s. de celulose, utilizando-se os mesmos reatores descritos para a pré-deslignificação. Os processos operacionais, incluindo adição de álcali e água, aquecimento da celulose em banho de vapor, purgação com nitrogênio, aquecimento dos reatores, liberação do nitrogênio, purgação com oxigênio e pressurização com oxigênio foram

semelhantes aos descritos para a pré-deslignificação. Na extração oxidativa foram utilizados consistência de 10%, dosagem de NaOH = 2,0%, temperatura = 65°C, dosagem de oxigênio = 0,5%, pressão de oxigênio = 1,2kg/cm², tempo de reação com pressão de oxigênio = 15 minutos. Decorrido o tempo de 15 minutos à temperatura de 65°C, liberava-se a pressão de oxigênio e a reação era continuada por mais 60 minutos. Terminada a extração oxidativa, media-se o pH final da mistura e retiravam-se amostras de celulose e licor residual para análises posteriores.

Todos os estágios de branqueamento, exceto a extração oxidativa com oxigênio (Eo), foram realizados em sacos de polietileno, com amostras de 150g a.s. de celulose. As condições do branqueamento estão apresentadas na Tabela 16.

Condições	C/D	Eo	D	E	D	SO ₂
Consistência, %	10	10	10	10	10	2
Temperatura, OC	40	65	70	65	70	AMB.
Tempo, minutos	30	15+60	180	60	180	15
Reagente, %	*	3	2	0,5	0,7	0,25
Oxigênio, %	-	0,5	-	-	-	-

TABELA 16 Total de cloro ativo em C/D = 0,22 x número kappa. Relação C/D = 70/30. Condições utilizadas na seqüência de branqueamento C/DEoDED.

As celulosas eram pré-aquecidas em banho de vapor mantido à temperatura constante desejada e as consistências eram ajustadas com água destilada à mesma temperatura e solução de reagente. Após adição de água e reagentes, as celulosas eram massageadas vigorosamente, determinado o pH inicial da reação e as celulosas eram depositadas em banho de vapor com temperatura constante.

Após decorrido o tempo de reação desejado, media-se o pH final da reação e lavava-se as celulosas exaustivamente com água destilada, utilizando-se um funil Buchner dotado de tela de aço inox de 120 mesh.

Coletavam-se amostras de celulose e de licor para análises posteriores. Completada a seqüência de branqueamento, as celulosas eram lavadas com solução ácida de sulfito de sódio (pH 1,5 a 2,0), com concentração de 0,15% de SO₂, base celulose a.s.

As análises dos efluentes foram realizadas em amostras obtidas da mistura proporcional dos licores residuais de todos os estágios da seqüência de branqueamento, de acordo com suas consistência.

Tratamento enzimático:

MATERIAIS: Peroxidase horseradish foi obtida comercialmente com a marca Wako Chemicals (Tokyo , Japão) e tinha uma atividade específica de 100 unidades/mg. Também foi utilizado o coagulante Alum .

As amostras de águas residuais foram obtidas previamente dos experimento já citado.

ANALISES: Foram preparadas soluções básicas de PCP puro como base de comparação e varias soluções com diferentes concentrações de peroxidases horseradish variando de 0 a 0.1 U/mg.

Todas reações foram realizadas a 25 ° C em 20 mM de fosfato (ph 5.5) como a

seguir : Soluções de PCP foram adicionadas a solução de fosfato contendo peroxidase seguido por adição de peroxidase hidrogênio e após fez-se a incubação.

MEDIÇÃO DA ATIVIDADE DA PEROXIDASE.

A atividade enzimatica foi determinada de uma mudança na densidade ótica (A 400 nm) em uma mistura da reação contendo 2,2'azino-bi (3- ethylenzothiazoline- (6) – sulphonic

acid) diammonium salt da WAKO Chemicals). A mudança foi monitorada usando um espectrofotometro (Jasco Ubest -55 , Japão Spectroscopy).

O AOX foi determinado por TOX - 10E (Mitsubishi Kasei Co, Tokyo,

Todas as análises foram realizadas utilizando normas TAPPI.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dimensões das fibras

Na Tabela 17 são apresentadas as dimensões das fibras das 3 espécies. A fibra do Pinus taeda apresenta um comprimento quase 3 vezes superior ao do Eucalyptus grandis .

DIMENSÕES DAS FIBRAS	PINUS	EUCALYPTUS
COMPRIMENTO, mm	3.4	1.0
LARGURA, μm	40.5	17.7
DIÂMETRO, μm	23.3	10.2
ESPESSURA DA PAREDE, μm	8.6	3.8

TABELA 17. DIMENSÕES DAS FIBRAS DE PINUS TAEDA E EUCALIPTUS GRANDIS

Polpação Kraft

Condições de cozimento e características das celuloses kraft de Eucaliptus e de Pinus.

Os cozimentos kraft foram realizados visando produzir celuloses com números kappa cerca de 30, tendo esse nível de deslignificação sido selecionado para ambas as celuloses por ser um valor já convencional para celulose branqueáveis de Pinus e por ser aconselhável para celulose de Eucaliptus .

No TABELA 18 são apresentadas condições de cozimento e características das celuloses kraft de Eucaliptus e de Pinus.

Característica	Eucaliptus	Pinus
Alcali ativo, %	14,5	23,5
Fator H	604	1054
Rendimentos: Total	42,8	46,2
Depurado	39,4	46,1
Rejeitos	3,4	0,1
Número kappa	29,1	31,8
Viscosidade, cP	80,6	22,7
Alvura, ISO	30,6	32,2

TABELA 18 -Condições de cozimento e características das celuloses kraft de Eucaliptus e de Pinus

O Eucaliptus apresentou uma facilidade de deslignificação muito superior ao Pinus. Para obter números kappa semelhantes (aprox. 30) foram utilizados uma carga de álcali ativo e um fator H cerca de 40% inferiores para o Eucaliptus.

Uma grande desvantagem observada para a celulose de Eucaliptus foi o baixo rendimento depurado, cerca de 15% inferior ao do Pinus.

Num processamento industrial, entretanto, esse rendimento do Eucaliptus não é tão baixo.

Industrialmente, a formação de uma camada de fibras na tela do filtro lavador evita a perda das células de parênquima, resultando em rendimento superior ao determinado neste estudo.

O estágio de pré-deslignificação demonstrou ser mais eficiente para o Pinus que para o bambu, uma vez que houve uma diminuição de 55% no número kappa da celulose de Pinus e de 44% na celulose de Eucaliptus.

Apesar de ter sido detectada uma ligeira dificuldade inicial de branqueamento da celulose de bambu em relação à de Pinus no estágio de pré-deslignificação, ambas as celuloses responderam bem à sequência de branqueamento, tendo sido obtido o mesmo nível de alta alvura (89,1 ISO) para as duas celuloses.

CARACTERÍSTICA	EUCALIPTUS	PINUS
NUMERO KAPPA:		
INICIAL	29.1	31.8
APÓS O	16.7	14.3
VISCOSIDADE Cp:		
INICIAL	80.6	22.7
APÓS O	40.0	14.8
FINAL	25.8	11.2
ALVURA:		
INICIAL	30.6	32.0
APÓS O	31.2	36.5
FINAL	89.1	89.1

TABELA 19. CARACTERÍSTICA DAS CELULOSES DE PINUS E EUCALIPTUS ANTES E APÓS BRANQUEAMENTO PELA SEQUÊNCIA OC/DEoDED.

LICORES RESIDUAIS DO BRANQUEAMENTO

Os licores residuais de todos os estágios da seqüência de branqueamento C/DEoDED foram misturados equitativamente de modo a obter um único efluente para cada celulose. As características poluidoras dos 2 efluentes são apresentadas no TABELA 20. Nesse quadro pode ser observado que o efluente da celulose de eucalipto apresentou uma carga poluidora significativamente superior a da celulose de Pinus, tanto do ponto de vista de cor, como de DBO.

CARACTERÍSTICA	PINUS	EUCALIPTUS
COR, Kg/ TCAS	50.0	32.4
DBO 5, Kg/TCAS	8.2	7.1

* TCAS: TONELADA DE CELULOSE ABSOLUTAMENTE SECA

TABELA 20. CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES DO BRANQUEAMENTO DAS CELULOSES KRAFT PRÉ-DESLIGNIFICADAS DE PINUS E EUCALIPTUS.

Após o tratamento enzimático com coagulante ALUM das amostras das 2 espécies, os resultados foram

CARACTERÍSTICA	PINUS	EUCALIPTUS
DBO	4.15	3.95

TABELA 21. CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES APÓS O TRATAMENTO ENZIMÁTICO DE PINUS E EUCALIPTUS.

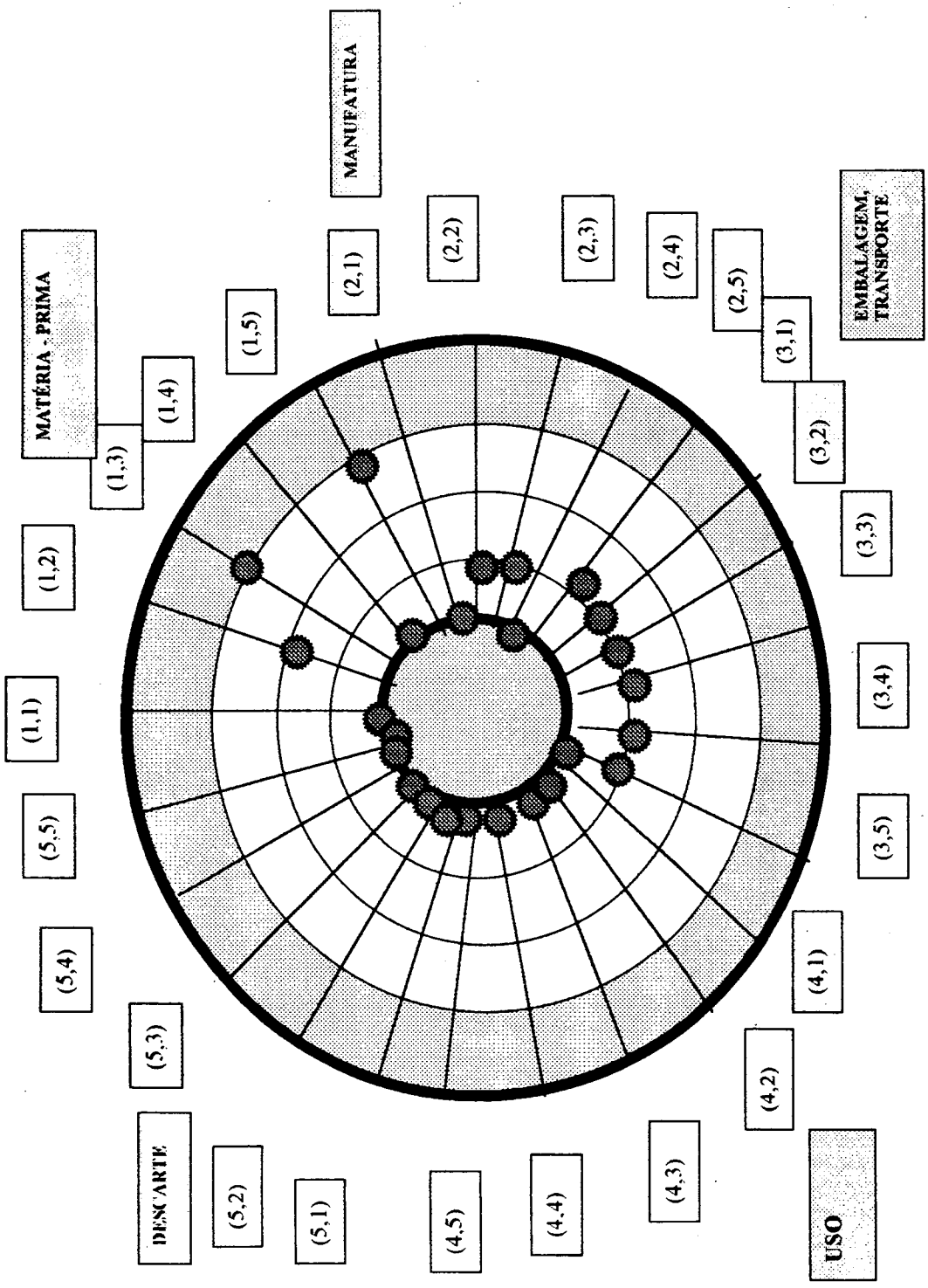


FIGURA 21 . GRÁFICO ALVO DO DFE PARA EMBALAGEM DE PAPEL RESULTANTE DO PROJETO REALIZADO ATRAVÉS DA METODOLOGIA PROPOSTA QFD, DFE E TAGUCHI.

◆ Conclusão do Estudo:

Introduzindo os dados no software , têm-se como resultado as Tabelas 12 (ANOVA) , 13 (contribuição dos fatores) e a figura 20 (efeito dos fatores principais e interações). Comparando-se os valores dos F com o valor Fcrit (5%) , (vide Tabela 12) , vê-se que os fatores significativos são : A, , D, E. Quanto as interações , somente foi considerada significativa a AD ou seja, Deslignificação e Efluentes. Observando-se a figura 21 , pode-se concluir que este experimento foi considerado satisfatório, devido ao bom comportamento dos fatores, a as interações, ou seja , as interações comportaram-se como previsto.

A gramatura (C) e Tempo de Refinação (B) como era de se esperar não tiveram a menor influencia no Índice DBO, mas teve sobre a conservação de calor do alimento, assim aumentando de 250 g/m² para 350 g/m² e o tempo de refinação de 10 minutos para 30 minutos tem-se um aumento de 30 % no tempo de conservação de calor entretanto o índice de tempo de calor de conservação não foi apresentado aqui, mas foi calculado separadamente quando fixou-se todos os outros fatores e variou somente a gramatura e tempo de refinação. Tal aumento é importante quando trata-se dessa característica pois passando de 9 minutos para 12 minutos isto pode ser crucial na alteração do paladar de ruim para ótimo, pois esse tempo é médio para o recebimento do sanduíche no balcão até a degustação.

O grau de alvura , também foi satisfatória para as 2 espécies .

O Índice DBO foi afetado pelos outros 3 fatores , os níveis deles atuais são:

A- Deslignificação sem oxigênio

D- Tratamento tradicional

E- Descascamento a seco.

O fator A é responsável por 36 % na redução do Índice de DBO, pelo motivo da operação de branqueamento da celulose não utilizar cloro e não ser muito drástica na celulose , causando assim menor índice da DBO.

O tratamento por enzima também faz com que o Índice DBO seja reduzido em até 60 % para as duas espécies Pinus e Eucaliptus .O descascamento úmido faz com que a reduza o Índice de DBO porque a madeira em forma de cavacos já venha lavada com menor % de impurezas.

Dessa maneira as condições ou setagem para os fatores mais influentes são :

DESLIGNIFICAÇÃO POR OXIGÊNIO

DESCASCAMENTO ÚMIDO

TRATAMENTO ENZIMÁTICO

ESPÉCIES : PINUS OU EUCALIPTUS.

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES :

7.1. VISÃO GERAL:

A união das três técnicas (QFD, TAGUCHI e DFE) mostrou-se extremamente útil para o sucesso da aplicação. Havia alguma experiência com o Método Taguchi e Delineamento de Experimentos, assim, a aprendizagem de duas novas técnicas (QFD e DFE) foi facilitada pois a abordagem da aplicação tinha-se a certeza do sucesso da ligação. Entretanto não foi fácil obter informações sobre o DFE por ser uma ferramenta extremamente nova e mal conhecida no Brasil.

Esta dificuldade em obter literatura referente não se refere somente ao Brasil, como também em todo mundo , pois a revisão bibliográfica foi muito extensa . Começando no Japão e depois no Brasil , contatando a grande maioria dos pesquisadores da área. O tema sempre foi citado como um ponto importantíssimo de estudo . Tal união de metodologias para o estudo do meio ambiente não constou em nenhum trabalho real já realizado, demonstrando assim ser inédito.

Outra questão relevante para o sucesso foi a integração, de várias ferramentas com mesmos tempos de respostas no que diz respeito à obtenção de resultados. O QFD e o DFE e o Métodos de Taguchi são técnicas que mostram resultados a curto prazo e são pouco conhecidas no Brasil . Este fato influenciou no aspecto motivacional , pois uma aplicação inicial deve atingir resultados imediatos e visíveis para que seja mantido o interesse.

A seguir é feita a análise dos objetivos traçados para a aplicação.

- **OBJETIVOS**

1. Mostrar a importância do desenvolvimento do produto utilizando metodologias modernas de gestão de qualidade , aliadas a projetos de produtos e processos para que sejam alcançadas qualidade, tanto ambiental quanto funcional. Demonstrar a possibilidade da união das três ferramentas quando voltadas para o meio ambiente.
 - A modernidade de metodologias foram representadas pelo QFD e Taguchi que, através de seus vários estágios pode fornecer informações para o projeto do produto e processo , demonstrando quais as características mais esperadas pelo consumidor, como foi o caso da Casa da Qualidade quando foi demonstrada a preocupação das questões ambientais , e que obteve um percentual alto das características de um produto com qualidade. Tal informação foi passada ao Método Taguchi, que realizou o experimento focalizado na característica requisitada , quando com o conhecimento técnico de engenharia e os princípios do DFE pôde-se definir quais os fatores e níveis que influenciariam mais na qualidade almejada.
2. Reduzir a perda total para o consumidor e à sociedade como um todo, obtendo um produto e um processo robusto com os teores menores de emissões tóxicas possíveis .
 - Pelos resultados obtidos nos experimentos pode-se verificar que a DBO variou muito de 18.0 à 6.33 Kg/ TCAS e após realizado o projeto de parâmetros pode-se obter entre 4.0 e 5.0 para embalagens tanto feitas de Pinus quanto de Eucaliptus respectivamente , ou seja um valor próximo do máximo que a EPA recomenda ou seja 4.26 .

3. Através da obtenção de informações referentes ao ciclo de vida de um produto , desde a sua concepção até o seu descarte, demonstrar os pontos críticos da produção, trabalhando esses para a melhoria contínua da qualidade ambiental.

- Como observado no estudo de caso , foi evidenciado através do ciclo de vida de embalagens de papel que os pontos críticos eram a obtenção de matéria – prima , manufatura e descarte. Assim os esforços foram focalizados nesses pontos , a fim de obter melhor desempenho ambiental.

4. Aumentar a interface entre os departamentos de marketing e de projeto.

- É uma atividade importante para o *merchandising*. Foi envolvido um grande número de pesquisas para determinar as oportunidades de mercado e comportamento do consumidor e definir suas preferências e necessidades. Com esses dados foi possível criar novos produtos ou modificar os existentes. Outra preocupação do planejamento foi com a qualidade do produto em termos de aparência e desempenho e , ultimamente com a questão ambiental. Em resumo, a tarefa do planejamento do produto deve ser desempenhada tendo em mente o consumidor.

5. Através do estudo de caso demonstrar que a utilização de embalagens de papel é eficiente e produz menor impacto ambiental.

Foi verificado e confirmado que a embalagem de papel provoca um menor impacto ambiental. Se observado pelo ciclo de vida das duas embalagens tal impacto não é inferior , mas levou-se em consideração a necessidade do consumidor em relação às questões ambientais tais como biodegradação e teor de poluentes, esse é inferior. Dessa maneira, foi escolhida assim a embalagem de papel para o estudo aprofundado, já que a embalagem de polyfoam não é biodegradável. Após o estudo de caso constatou-se que a embalagem de papel com melhoria de projeto e processo contínuo pode alcançar níveis baixos de carga poluente como recomendado pela EPA ou seja 4.32 Kg/TCAS.

7.2. CONCLUSOES RELATIVAS À APLICACAO DO QFD.

- **METODOLOGIA PARA DESENVOLVIMENTOS DE PROJETOS DE PRODUTOS ECOLOGICAMENTE CORRETOS.**

A realização prática do trabalho confirmou a utilidade do QFD , mesmo para um produto que não é constituído por partes como um carro ou um eletrodoméstico, como é comum no emprego dessa metodologia. Como visto no processo de fabricação de papel , o produto é composto de uma única peça. Entretanto embalagens podem ser compostas de partes como alça, fecho, tampa, botões , costuras e outras, assim pode-se fazer o QFD tradicional. Entretanto nesse estudo de caso a embalagem era constituída somente de papel.

Além disso , este processo pode ser encarado como uma metodologia inicial para o desenvolvimento de projetos voltados para o meio ambiente, isto é , o aprendizado de projeto através de projetos ambientais. Como a comunidade analisada demonstrou , as questões ambientais associadas ao produto (manufatura , uso e descarte) tem sido cada vez mais importantes e relevantes no consumo de um dado produto.

A casa da qualidade ao ser aplicada identificou dilemas nos quais são possíveis de ocorrer no caso específico de embalagens , suportando assim o processo de colocar prioridades já nos estágios iniciais do desenvolvimento do produto.

Como de praxe, as resposta da matriz I, ou seja, casa da qualidade , é chamada de saída da matriz, que são os COMO, que no método Taguchi, serão os subsídios de informação para a realização do estudo de desenvolvimento do Método Taguchi.

7.3. CONCLUSOES RELATIVAS À APLICACAO DE METODOS DE TAGUCHI.

A utilização do projeto do produto e processo permitiu uma busca mais eficiente na melhor “setagem” para o processo, além de se constituir numa excelente ferramenta para o aprendizado e consolidação dos conhecimentos sobre estatística, ANAVA, e nas mudanças que sob, simulação podem ocorrer no processo de manufatura de embalagem.

Como observado pelas referências bibliográficas obtidas durante a revisão bibliográfica e também após alguns outros experimentos utilizando os Métodos de Taguchi, este proporcionou ferramentas úteis para obter produtos de qualidade e também é, suficientemente adequado para um processo de melhoria continua.

A experimentação na fase de projeto /Taguchi, deve tornar-se uma prática na procura por produtos com a menor variabilidade nas suas funções, ou seja, produtos e processos robustos . Tornar o produto e o processo robusto significa satisfazer o consumidor com produtos que não variam com o ambiente, ou que se produz com melhor confiabilidade e menor variação. Os métodos Taguchi como observado na literatura , vem sendo assim usado exhaustivamente no ocidente , como é o caso de empresas como a ITT Co, AT&T Co, Ford Motor Co, Renault.

7.4. CONCLUSÕES RELATIVAS À APLICACAO DO DFE.

No trabalho realizado, foram desenvolvidas as atividades de DFE de projeto de produto e processo em aspecto pratico.

De forma análoga ao Delineamento de Experimentos , a aplicação do DFE mostrou-se eficiente , pois já se sabia que seus resultados poderiam ser colocados em prática . Porém, acredita –se que o desenvolvimento do DFE para embalagens pode ser um fator importante para aumentar o conhecimento e ajudar no processo de questionamento das especificações.

O DFE (Projeto para o Meio Ambiente) é composto de vários princípios , porém o essencial é que este exige que sejam considerados, desde o início, os aspectos ambientais, onde a relevância está em facilitar a obtenção da matéria- prima , a manufatura e o descarte do produto, com o mínimo impacto ambiental no uso e no processo de fabricação. A experiência demonstra que à medida que se procura reduzir o impacto e simplificar o projeto para o meio ambiente, os aumentos de qualidade funcional e confiabilidade devem ser monitorados de forma significativa. Dessa maneira, projeto para o meio ambiente exige , em muitos casos, que a estrutura da equipe de projeto tenha como principal participante um engenheiro com conhecimento e experiência na área ambiental e fabricação.

Há pouco tempo vem-se destacando a importância de uma interface amigável entre o produto e usuário. Muitos dos produtos atuais têm caído no erro de que, ao serem projetados, sua complexidade seja refletida na sua operacionalização , esquecendo que a sociedade está cada vez mais consciente dos danos ambientais que podem causar os produtos e processos, chegando ao absurdo de que somente alguma ínfima porção das características desejadas ou tempo de uso do produto possam ser utilizados eficazmente , além de exigir do usuário uma prevenção para usufruir desses produtos satisfatoriamente. Chama-se a atenção a esta questão , pelo papel da equipe multifuncional que considera a participação do Engenheiro Florestal desde o início do projeto, pois este profissional tem durante seu curso uma gama de disciplinas que variam desde de antropologia até gerência , passando por estatística , gestão ambiental e mecânica e não sendo, como de praxe é considerado, somente como silvicultor.

O DFE pode ser aplicado ao desenvolvimento de qualquer produto e processo , entretanto deve ser cuidadoso no entendimento de seus princípios . Assim , deve ter na equipe algum profissional que tenha conhecimento em todas áreas industriais, pois pode-se fazer alguma confusão entre os passos do DFE como por exemplo , não definir bem o perfil à ser estudado ou utilizar a estratégia de melhoramento errada, levando assim ao desperdício de capital e tempo.

7.5. SUGESTÕES PARA APLICACOES FUTURAS:

Tomando por base tudo que foi aprendido na aplicação pratica das técnicas QFD, TAGUCHI e DFE ,e prevendo aplicações futuras apresentamos algumas sugestões :
Aplicar QFD para produtos considerados especiais , ou seja , ecologicamente corretos, ergonomicamente correto, onde esteja envolvido algum tipo de desenvolvimento conjunto com o cliente;

- Aplicar o QFD por completo, não somente uma das matrizes, mas de preferência utilizar a primeira matriz como CASA DA QUALIDADE AMBIENTAL , sendo a segunda matriz dividida em partes, definindo especificações para cada componente do produto, ou Desdobramento por partes, pois não basta somente uma parte do produto ser ecologicamente correto.

Estas recomendações são feitas porquê o desenvolvimento do trabalho mostrou-se um pouco lento, fato normal para uma primeira aplicação e uma associação de ferramentas inédita. Desta forma , a autora considera que o uso do check-list do DFE e o questionário com os clientes, podem prover as informações necessárias para os setores da empresa que realizem seu trabalho.

- Quando do recebimento do projeto, desenvolver as matrizes I e II como forma de aumentar o conhecimento sobre o produto;
- Desenvolver GERENCIAMENTO de RISCOS se necessário, principalmente para desenvolvimento de produtos em conjunto com clientes e materiais extremamente nocivos à saúde e ao meio ambiente, classificando assim produto como muito nocivo ou não e a probabilidade de ocorrer um acidente ambiental.

- Desenvolver Matriz II para Desdobramento do produto e também a Matriz III para o processo juntamente com os Métodos de TAGUCHI.
- Utilizar , sempre que possível , a matriz de ruído para observar o comportamento devido a fatores de ruídos.
- Delinear o experimento tendo como objetivo a redução dos índices ambientais e , conseqüentemente, o impacto ambiental associado à outras características funcionais do produto.
- Realizar sempre a comparação de 2 ou mais opções , através do inventário de ACV , a fim de haver uma de visão mais ampla da situação.
- Considerar mais variáveis Resposta tanto ambientais quanto funcionais.

Um ponto que deve ser aprimorado é o processo de condução de atividades, de forma a obter um ótimo envolvimento do grupo de trabalho. As atividades devem ser centralizadas no facilitador (pesquisador) como aconteceu na aplicação descritas neste trabalho. Um método para conseguir este objetivo pode ser o *brainstorming* entre os elementos do grupo de trabalho e delegar a função de “caça referencias ”ou seja um rastreador de outros grupos de pesquisas via INTERNET.

Deve-se também usar os mecanismos de pontuação para priorização dos valores alvos, a fim de simplificar as outras matrizes do QFD e o resultado esperado pelo DFE e aplicação do TAGUCHI, não tendo o trabalho o espírito de “ atirador no escuro ”.

Encarar o QFD tão importante quanto ao DFE e ao TAGUCHI, sendo considerado uma metodologia como um todo e não parcial valorizando mais esta ou aquela parte .

Para se conseguir principalmente o sucesso da aplicação da metodologia , o sistema de medição das variáveis deve estar muito bem aferido, pois qualquer variação devido ao sistema de medição pode causar erros sérios de compreensão e perda na qualidade do produto.

CHECKLIST 1

Aquisição de Matéria-Prima

Princípio-Chave 1: Matéria-Prima

Questões

- 1) A opção de projeto permite o uso de matéria-prima renovável?
- 2) A opção de projeto minimiza o uso de matéria-prima não-renovável?
- 3) A opção de projeto permite um nível significativo de materiais reciclados para substituir matéria-prima primária?
- 4) Existe um modo de possibilidade técnica para reduzir a principal necessidade de matéria-prima para a opção de projeto (ex. através de reprojeto ou substituição de material)?
- 5) Existe um potencial dos componentes da opção de projeto de ser reformulado ou redimensionado?

Princípio-Chave 2: Energia

- 1) O material usado na opção de projeto minimiza o uso de energia não-renovável para extração de material e processamento?
- 2) O uso de materiais reciclados reduz significativamente (> 25%) a necessidade energética?
- 3) Existe potencial de alcançar economia e energética significativa na extração e processamento de matérias-primas através de inovação técnica?

CHECKLIST 2

Manufatura

Princípio-Chave 1: Matérias-primas

Questões

- 1) O processo de manufatura da opção de projeto minimiza a geração de sobras e resíduo do processo?
 - a) O processo de scrap e resíduo pode ser separado para reuso?
- 2) O processo de manufatura da opção de projeto evita o uso de materiais adicionais tais como: óleo mineral, solventes?
- 3) O processo de manufatura da opção de projeto permite o uso de materiais reusável/reciclável?

Princípio-Chave 2: Energia

- 1) O processo de manufatura da opção de projeto apoia as economias de escala, minimizando as demandas ou necessidades?
- 2) O processo de manufatura da opção de projeto minimiza a necessidade espacial na instalação?
- 3) O processo de manufatura pode ser operado sem a necessidade de um ambiente controlado?
- 4) O processo de manufatura da opção de projeto minimiza as necessidades energéticas no processo e transporte subsequentes?

4) A energia pode ser recuperada no descarte de materiais no final da vida da opção?

5) As fontes materiais ou fornecimento é próxima aos centros manufatureiros?

6) O uso de matérias-primas reduzirá significativamente as necessidades de energia da opção de projeto nos estágios do ciclo de vida em relação à outras opções?

Princípio-Chave 3: Interesses Globais

1) A extração de matéria-prima e atividades de processamento da opção de projeto minimiza emissões que contribuem a (o):

- a) aquecimento global?
- b) depleção de ozônio?
- c) acidificação?

2) Quaisquer passos significantes estão sendo tomados por vários produtores de matéria-prima para reduzir a taxa de geração de emissão que causa impacto em interesses globais?

3) A composição do material pode ser reformulada para eliminar ou reduzir o nível de geração de emissão que causa impacto aos interesses globais?

4) O uso de materiais reciclados pode reduzir significativamente a geração de emissões que causa impacto aos interesses globais?

5) O uso de matéria-prima reduzirá significativamente a geração de emissões pela opção de projeto em todos os estágios do ciclo de vida?

Princípio-Chave 4: Materiais Tóxicos

1) A matéria-prima usada na opção de projeto gerencia adequadamente o uso de materiais

5) O processo de manufatura da opção de projeto evita a necessidade de uso extenso de equipamento de abatement ambiental?

Princípio-Chave 3: Interesses Globais

1) O processo de manufatura da opção de projeto previne, elimina ou reduz as emissões as quais poderia contribuir ao:

- a) aquecimento global?
- b) depleção de ozônio?
- c) acidificação?

2) O processo de manufatura da opção de uso minimiza o uso de materiais nocivos o qual poderia contribuir ao:

- a) aquecimento global?
- b) depleção de ozônio?
- c) acidificação?

Princípio-Chave 4: Materiais Tóxicos

1) A opção de projeto resultou em um processo de manufatura que eliminou ou reduziu o risco de emissões tóxicas?

2) Os procedimentos aceitáveis existem para minimizar o risco de armazenamento, manuseio e uso de materiais excessivos no processo?

Princípio-Chave 5: Interesses Locais

1) A opção de uso encontra as exigências do impacto ambiental imposta na manufatura pela municipalidade local?

2) A opção ou qualquer dos materiais nocivos nos processos de manufatura minimiza emissões ao meio ambiente aéreo, de água e solo local?

tóxicos para atividades de processamento e extração de materiais?

2) As matérias-primas evitam a necessidade de procedimentos para manuseio, armazenamento, e uso na opção de projeto?

3) O uso das matérias-primas da opção de projeto evitará a necessidade por procedimentos especiais de manuseio, armazenamento, e uso nos estágios do ciclo de vida, em relação à outras opções?

Princípio-Chave 5: Interesses Locais

1) As matérias-primas usadas na opção de projeto evita um impacto significativo no meio ambiente local durante as atividades de extração?

2) As atividades de recuperação (tal como recuperação do habitat) são largamente praticadas com respeito a matérias-primas associadas a opção de projeto?

3) O processamento de matéria-prima para opção de projeto evita as emissões / no meio ambiente local que são conhecido em afetar:

- a) a qualidade do ar?
- b) a superfície da água subterrânea?
- c) a capacidade de descarte de resíduo sólido?

4) Os fornecedores de matéria-prima estão usando técnicas de gerenciamento do resíduo?

3) A opção de projeto de materiais escolhidos reduzirá as emissões de componentes com forte odor ao meio ambiente local?

CHECKLIST 3

Uso / Reuso / Manutenção

Princípio-Chave 1: Matérias-primas

Questões

- 1) O ciclo da vida da opção tem um período apropriado considerando a frequência de uso do produto? (isto é, este se degenera antes de ser totalmente usado)?
- 2) A opção de projeto minimiza o uso de materiais nocivos durante seu uso?
- 3) A opção tem embalagem de materiais os quais a única função para a reconhecimento de consumidor o qual pode ser eliminado/recolocado?
- 4) A opção tem materiais de embalagem o qual tem a única função estética o qual poderia ser eliminado (ex.: CD, maquiagem)?
- 5) A opção de projeto usa embalagem especial no ponto de compra o qual poderia ser eliminado?
- 6) A opção inclui rótulo para garantir uso apropriado e níveis de uso (isto é, maximizar a funcionalidade, minimizar o superuso)?
- 7) Os níveis de uso podem ser reduzidos dependendo das condições de uso (isto é, usar menos sabão de lavar para quantidades de roupa menores)?
- 8) A opção de projeto otimiza a durabilidade do produto com respeito a considerações de outros projetos?
 - a) O número de vezes que a opção pode ser reusada compensa o uso aumentado de matérias-primas?

9) A opção de projeto de produto pode ser usada pelo consumidor?

- a) Se o uso primário não é prático, a opção ou um de seus componentes pode ser recusados com segurança diretamente pelo consumidor para outras propostas que a original?
- b) A opção pode ser retornada pelo consumidor para reuso ao varejista, vendedor ou fabricante?

10) A manutenção da opção resulta em um aumento da funcionalidade?

- 11) A manutenção da opção resulta em um aumento na vida do produto? (descarte do produto)
- 12) Os impactos ambientais provenientes dos materiais nocivos usados para manter a opção poderia reduzir os benefícios das opções em si?
- 13) Os impactos ambientais são de qualquer "manutenção especializada" prováveis de ser menos que os benefícios devido a produção da opção em si?

Princípio-Chave 2: Energia

1) Se usado apropriado, a opção de projeto terá eficiência energética?

2) Se mantido apropriadamente, a opção de projeto do produto requererá mais energia?

3) A opção de projeto do produto pode ser projetada de tal forma para eliminar, ou reduzir, a necessidade de energia para uso e reuso?

Princípio-Chave 3: Interesses Globais

- 1) Quando em uso, a opção emite descargas as quais poderiam contribuir ao aquecimento global?
 - a) E quanto ao reuso?
 - b) Quanto a manutenção?
 - c) Essas emissões podem ser reduzidas?

2) Quando em uso, a opção emite descargas as quais poderiam contribuir com a acidificação?

- a) E quanto ao reuso?
- b) Quanto a manutenção?
- c) Essas emissões podem ser reduzidas?

3) Quando em uso, a opção emite descargas as quais poderiam contribuir com a depleção de ozônio?

- a) E quanto ao reuso?
- b) Quanto a manutenção?
- c) Essas emissões podem ser reduzidas?

Princípio-Chave 4: Interesses Globais

1) A opção de projeto resulta no uso e armazenamento de materiais as quais eliminaram ou reduziram o risco de descargas tóxicas?

2) A opção de projeto inclui rótulos os quais fornecem instruções para uso seguro do produto?

3) O rótulo contém instruções de emergência com relação a acidentes?

4) A opção de projeto resulta em procedimentos de manutenção que eliminam ou reduzem o risco de descargas tóxicas?

5) A opção de projeto resulta em um produto que pode ser reusado pela eliminação ou redução do risco de descargas de tóxicos?

CHECKLIST 4

Descarte

Princípio-Chave 1: Matérias-primas

Questões

- 1) A opção de projeto indica o descarte ótimo (máxima recuperação de recursos não renováveis e com entradas adicionais mínimas de energia e outros recursos) para o produto e seus componentes?
- 2) Quando o produto/material entram essa opção de descarte indicado é sua utilidade:
 - a) reciclagem completa?
 - b) recuperada parcialmente (separação com reciclagem e utilidade mais baixa), ou
 - c) redirecionada para utilidade ter mais uma baixa (compostagem, resíduo para energia, etc).
- 3) A opção de projeto resulta em um produto e/ou materiais que podem ser gerenciados por uma infraestrutura de recuperação disponível localmente?
- 4) A infra-estrutura de recuperação/descarte existe nas áreas de mercado onde o produto é vendido?
- 5) A infraestrutura de coleção/separação relatada a opção de descarte indicado bem desenvolvida/eficiente? (As taxas de recuperação e rendimentos são conhecidas?)
- 6) O produto/material (ou produtos similares e materiais) é atualmente completamente considerada essa opção de descarte?
- 7) A opção emprega os princípios do Projeto para Desmontagem?

Princípio-Chave 2: Energia

1) A opção de projeto resulta em um produto ou materiais que minimiza a desmontagem e/ou separação antes de alcançar o descarte ótimo?

2) A opção de projeto tem impactos energéticos associados ao balanço:

- a) requer entradas de energia
- b) economizar energia; ou
- c) criar energia

3) A infraestrutura de coleta, separação relacionado à opção de projeto de eficiência de energia?

4) A energia pode ser recuperada pela descarte de materiais no final da vida da opção?

Princípio-Chave 3: Interesses Globais

1) A opção de projeto resultou em um produto e/ou materiais do produto que eliminou ou reduziu o potencial de descargas durante o descarte indicado que poderia resultar em aquecimento global?

2) A opção de projeto resultou em um produto e/ou materiais de produtos que eliminou ou reduziu o potencial de descargas durante a opção de descarte indicado que poderia resultar em depleção de ozônio?

3) A opção de projeto resultou em um produto e/ou materiais de produto que eliminou ou reduziu o potencial de descargas durante o descarte indicado e o qual poderia resultar em acidificação?

4) A opção de descarte evita a descarga de qualquer materiais conhecidos causar danos à biosfera?

- a) aquecimento global?
- b) depleção de ozônio?
- c) acidificação?

Princípio-Chave 4: Materiais Tóxicos

1) A opção de projeto resultou em um produto e/ou materiais que eliminaram ou reduziram o risco de descargas tóxicas durante o descarte indicado?

2) A opção de projeto resultou em um produto e/ou materiais que eliminou ou reduziu o risco de descarga de material corrosivo durante o descarte indicado?

3) A opção de projeto resultou em um produto e/ou materiais que eliminou ou reduziu o risco de materiais inflamáveis e descarga de vapor durante o descarte indicado?

4) A opção de projeto resultou em um produto e/ou materiais que eliminou ou reduziu o risco de descarga de material reativo durante o processo de descarte ao qual ele é dirigido?

5) O descarte resulta em:

- a) neutralização de materiais tóxicos?
- b) a destruição de materiais tóxicos?

Princípio-Chave 5: Interesses Locais

1) A opção de projeto resultou em uma opção de descarte que elimina ou reduz o impacto no meio ambiente aéreo local?

2) A opção de projeto resultou em uma opção de descarte que elimina ou reduz o impacto no meio ambiente aquático local?

3) A opção de projeto resultou em uma opção de descarte que elimina ou reduz o impacto no meio ambiente terrestre local?

4) A infraestrutura de coleção/separação elimina ou reduz o impacto no meio ambiente local relativo a outras opções de descarte? (ar / água / terra)

CAPITULO 8

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKAO, Y. *Quality Function Deployment: integrating customers requirements into product desing*. Cambridge: Massachusets, Productivity Press, 1988.
- BARKER, Thomas B. Quality Engineering By Desing: Taguchi's Philosophy. *Quality Progress*, December. 1986.
- BARKER, Thomas B., *Quality by Experimental Desing*. New York: Marcel Dekker, INC., 1985.
- CROSBY, Philip B. *Qualidade é Investimento*. Rio de Janeiro: José olympio: 1986.
- CROSBY, Philip B. *Quality is Free*. New York: McGraw-Hill, 1979.
- CSA – Canadian Standards Association . **Design for Environment**. 1994.
- CULLIHAN, J. **Life Cycle Engineering and Design** . *Annals of the CIRP*. Vol. 44/2/1995.
- CURRAN, M.A. “**Cleaning products ... In our Homes, In Our Environment** “, Presented at the Soup and Detergent Association and Ohio Cooperative Extension Service Conference- Columbus, OH, 1992.

DEMING, W. E. Dr. Deming O Americano que Ensinou a Qualidade Total aos Japoneses. Rio de Janeiro: Record, 1993.

FEIGENBAUM, A. V. Controle da Qualidade Total. São Paulo: Makron Books. 1994.

FEIGENBAUM, A. V. Total Quality Control. McGraw-Hill, 1961.

EPA/600/2-90/048 **“Background Document on Clean Products Research and Implementation”**; presented by Franklin Associates Ltd., Inc., for U.S. Environmental Protection Agency . Cincinnati, 1990.

EUREKA, William H. e KYAN, Nancy. *QFD Perspectivas Gerenciais do Desdobramento da Função Qualidade*. Rio de Janeiro: Qualimark, 1992.

FAVA, J. ^a et. ál. **“A Technical Framework for Entire Life-Cycle Assessments”** Society of Environmental Toxicology and Chemistry Workshop held in Smuggler ‘s Notct VT, August 18-23, 1990.

FERREIRA, Arnaldo Brazil. Produto Total e Projeto Total: Processo para a Qualidade do Projeto a partir da Voz do Cliente. *Tese submetida ao programa de Pós Graduação da Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, para obtenção do título de Doutor*. São Paulo: USP, 1993.

FORTUNA, R.. Beyond Quality: Taking SPC Upstream. *Quality Progress*, p. 23-28, junho, 1988.

GRAEDEL , T.E. & ALLEMBY,B.R. **Industrial Ecology**. New Jersey : Prentice Hall, 1995.
398 p.

GRAEDEL , T.E. & ALLEMBY,B.R. & COMRIE,P.R. **Matrix Approaches to Abridged Life Cycle Assessment**. *Env. Science & Technology* . Vol.29,n . 3, 1995. 134^A-139^A

ISHIKAWA, K. **Controle da Qualidade Total: A maneira Japonesa**. Rio de Janeiro: Campos, 1993.

HAUSER, John & CLAUSING, Don. **The House of Quality**. *Harvard Business Review*, maio/junho 1988.

HILEMAN,B. *Chem. Eng. News* 67,25 (13 march 1989).

HUNTER, J.S. BENFORADO, D.M. **“Life-Cycle Approach to Effective Waste Minimization** , “3M Company , paper presentes at the 80 th Annual Meeting of APCA , New York, NY, June 21-26, 1987.

INTERNET. **Desing of Experiments, QC and Taguchi Methods**. *Texto explicativo sobre o método Taguchi a disposição dos usuários da Internet*, JTEC/WTEC, Hyper Librarian, agosto, 1995.

JOYCE,W.T.**New Environmental Regulations May Require Advanced Wastewater Treatment Methods**. *Mari Papel*, Vol.2- n.1.1994.9-14

JURAN, J. M. and GRZYNA, F. M.. **Quality Planning and Analysis**. New York: MacGraw Hill, 1970.

JURAN, J. M.. **Quality Control Handbook**. New York: MacGraw Hill, 3. Ed, 1974.

- JURAN, J. M. *A Qualidade desde o Projeto: novos passos para planejamento da qualidade em produtos e serviços*. São Paulo: Ed. Pioneira, 1992.
- KACKAR, Raghu N.. Taguchi's Quality Philosophy: Analysis and Comentary. *Quality Progress*, december, 1986.
- KACKAR, Raghu N. Off-Line Quality Control, Parameter Desing and the Taguchi Method. *Journal of Quality Technology*. v. 17, n. 4, p. 176-188, october, 1985.
- KANO, N.. Attractive Quality and Must-be Quality. Japan: *Quality Journal of the Japanese Society for Quality Control*, v. 14, p. 39-48, 1984
- KING, Bob. *Better Designs in Half the Time*. Massachustes: GOAL/QPC, 1987.
- KOGURE, M. & AKAO, Yoji. Quality Function Deployment and CWQC in Japan. *Quality Progress*, outubro, 1983.
- LEC/CETEA.Laboratorio de Embalagens Celulosicas.
<http://www.cetea.ital.org.br/cetea/lec/html>.
- LOPES, F. G.. Aplicação de QFD, FMEA e TAGUCHI no Desenvolvimento de Produtos Injetados. *Trabalho submetido a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para graduação em Engenharia de Produção*. São Paulo: USP, 1991.
- McCUBBIN,N. Paper Versus Polystyrene: A complex Choice. *Science*, vol.251. 1991.
- MONTGOMERY, Douglas C.. *Desing e analysis of experiments*. New York: John Wiley & Sons, 1983.
- RATHJE,W.J. *Atlantic Monthly* 264, 99 (december 1989).
- REIS, M.J.L.ISO 14000. *Gerenciamento Ambiental. Um Novo Desafio Para a Sua Competitividade*, Editora Qualitymark.1995.200 p.

- ROSS, Phillip J.. *Aplicações das Técnicas de Taguchi na Engenharia da Qualidade*. McGraw-Hill Ltda. São Paulo. 1991.
- STANGE, P. e PEREIRA, M. G. Quality Function Deployment - QFD - *Artigo apresentado na disciplina Controle de Qualidade na Prestação de Serviços do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção*. UFSC, 1995.
- SULLIVAN, L. Quality Function Deployment. *Quality Progress*, junho, 1986.
- TENCH ,M &HARPER,T. The basic Technology of Pulp and Paper Industry and its Environmental Pratices (Environment canada, Ottawa, 1991).
- TAGUCHI, Genichi. *System of Experimental Desing*. New York: UNIPUB/Kraus International Publications, 1988. V. 1 e 2.
- TAGUCHI, G. *On-line Quality Control During Producion*. Japanese Standards Association, Tokyo, 1981.
- TAGUCHI, G.; ELSAYED, A. E. and HSIANG, T.. *Taguchi Engenharia de Qualidade em Sistemas de Produção*. São Paulo: MacGraw Hill, 1990.
- VAN HEMEL,C.G. Tools for Setting Realizavle Priorities At Strategic Level in Design for Environment. ICED. Praha. pp: 1040-1947. 1995.
- YUKIMURA, Carlos David López, Eficiência e Qualidade no Projeto do Produto com Ênfase no Método Taguchi, *Disertação submetida a Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do grau de mestre em Engenharia de Produção*. Santa Catarina: UFSC,1991.