

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**ESTIMATIVA DE CUSTOS DE PRODUTOS NA FASE DE
PROJETO CONCEITUAL: UMA METODOLOGIA PARA
SELEÇÃO DA ESTRUTURA FUNCIONAL E
DA ALTERNATIVA DE SOLUÇÃO**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA
CATARINA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
ENGENHARIA MECÂNICA**

**CRISTIANO VASCONCELLOS FERREIRA
FLORIANÓPOLIS, JUNHO DE 1997**

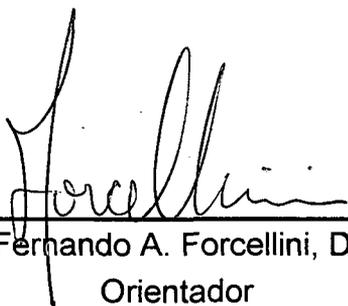
ESTIMATIVA DE CUSTOS DE PRODUTOS NA FASE DE PROJETO
CONCEITUAL: UMA METODOLOGIA PARA SELEÇÃO DA ESTRUTURA
FUNCIONAL E DA ALTERNATIVA DE SOLUÇÃO

CRISTIANO VASCONCELLOS FERREIRA

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE

MESTRE EM ENGENHARIA

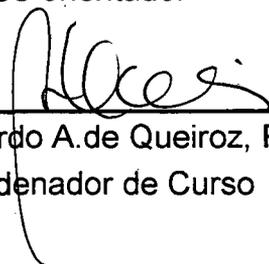
ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO
PROJETO DE SISTEMAS MECÂNICOS, APROVADA EM SUA FORMA FINAL
PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA.



Prof. Fernando A. Forcellini, Dr.Eng.
Orientador

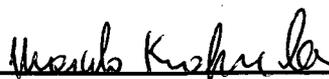


Prof. Nelson Back, Ph.D.
Co-orientador



Prof. Abelardo A. de Queiroz, Ph.D.
Coordenador de Curso

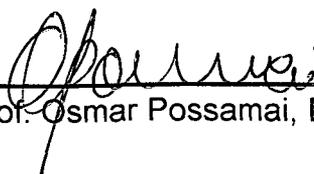
BANCA EXAMINADORA



Prof. Marcelo Krajnc Alves, Ph.D.
Presidente



Prof. Miguel Fiod Neto, Dr. Eng. Mec.



Prof. Osmar Possamai, Dr. Eng.

Aos meus pais, Olegário e Mariene,
a minha irmã Viviane,
a quem dedico todas as minhas conquistas,
pelos ensinamentos, incentivo, apoio, amor e carinho, ao longo desta vida.

AGRADECIMENTOS

- Aos professores Fernando A. Forcellini e Nelson Back pela orientação ao longo deste trabalho, aconselhando e sugerindo no desenvolvimento do mesmo e incentivando na formação profissional.
- A Geanne Duarte, sempre comemorando nos momentos de alegria, aconselhando e apoiando nos momentos de dificuldades, sempre com amor e carinho.
- Aos companheiros e amigos do Laboratório de Projeto, especialmente, Augusto, Fred, Jorge, Marcelo, Márcio, Salete e Vinadé, pelo incentivo, sugestões e, acima de tudo, pela amizade.
- A Ana Vladia, Rafaela e Renata, verdadeiras amigas.
- Ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina pela oportunidade concedida.
- Ao CNPq pela bolsa oferecida e o incentivo dado à pesquisa.
- Enfim a todos que contribuíram de várias formas para a concretização do trabalho, meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

RESUMO	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II - PROCESSO DE PROJETO DE PRODUTO	11
2.1 - Introdução	11
2.2 - Descrição e Análise do Processo de Projeto Sob o Ponto de Vista de Estimativa de Custos	12
2.3 - Conclusão	25
CAPÍTULO III - PROCESSO DE ESTIMATIVA DE CUSTOS	27
3.1 - Introdução	27
3.2 - Conceitos Fundamentais de Custos	28
3.3 - Precisão do Processo de Estimativa de Custos	31
3.4 - Processo de Estimativa de Custos	32
3.5 - Os Custos e o Processo de Projeto	36
3.6 - Conclusão	38
CAPÍTULO IV - ESTRUTURAS DE DESDOBRAMENTO DE CUSTOS DE PRODUTOS	39
4.1- Introdução	39
4.2 - Estruturas de Desdobramento de Custos de Produtos	39
4.2.1 - Estruturas Baseadas em Processos da Empresa	40
4.2.2 - Estruturas Baseadas em Características do Produto	45
4.2.3 - Estruturas Baseadas nas Funções Desempenhadas pelo Produto	48
4.2.4 - Estruturas Baseadas em Modelos Organizacionais	48
4.3 - Conclusão	49

CAPÍTULO V - MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE CUSTOS DE PRODUTOS	52
5.1 - Introdução	52
5.2 - Métodos de Estimativa de Custos de Produtos	52
5.3 - Métodos Baseados nas Funções Desempenhadas pelo Produto	53
5.3.1 - Estimativa de Custos do Produto a partir das Funções da Estrutura Funcional	54
5.3.2- Desdobramento do Custo das Funções a Partir da Matriz do QFD	56
5.4 - Métodos Baseados nas Características dos Princípios de Solução e Componentes do Produto	58
5.4.1 - Determinação do Custo do Produto a partir da Estimativa do Custo dos Processos de Produção	59
5.4.2 - Determinação do Custo do Produto a partir da Estimativa do Custo de Material	63
5.4.3 - Determinação do Custo do Produto através de Leis de Similaridade	65
5.4.4 - Estimativa de Custos do Produto através do Método Delphi	66
5.5 - Conclusão	68
 CAPÍTULO VI - SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DE CUSTOS	 70
6.1 - Introdução	70
6.2 - Objetivos dos Sistemas de Gerenciamento de Custos	71
6.3 - Relação entre os Sistemas de Gerenciamento de Custos e os Métodos de Estimativa de Custos	72
6.4 - Relação entre os Sistemas de Gerenciamento de Custos e as Estruturas de Desdobramento de Custos	72
6.4 - Conclusão	73
 CAPÍTULO VII - SISTEMA ESPECIALISTAS DE ESTIMATIVA DE CUSTOS DE PRODUTOS	 74
7.1 - Introdução	74
7.2 - Sistemas Especialistas	75
7.3 - Sistemas Especialistas para Estimativa de Custos de Produtos	76
7.3.1 - Sistema Especialista Desenvolvido por BOCK e BOCK	77
7.3.2 - Sistema Especialista Desenvolvido por ZENDER	81

7.4 - Conclusão	83
CAPÍTULO VIII - METODOLOGIA DE ESTIMATIVA DE CUSTOS DE PRODUTO NA ETAPA DE PROJETO CONCEITUAL	84
8.1 - Introdução	84
8.2 - Metodologia de Estimativa de Custos na Fase de Projeto Conceitual	86
8.2.1 - Procedimento para Preparar as Informações sobre Custos	87
8.2.2 - Procedimento para Selecionar a Estrutura Funcional	90
8.2.3 - Procedimento para Selecionar a Alternativa de Concepção	95
8.3 - Conclusão	101
CAPÍTULO IX - APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA	103
9.1 - Introdução	103
9.2 - Implemento de Abertura e Adubação de Sulcos no Plantio Direto	103
9.3 - Determinação do Custo Meta do Implemento	104
9.4 - Procedimento para Preparar as Informações Sobre Custos	104
9.5 - Procedimento para Selecionar a Estrutura Funcional	107
9.6 - Procedimento para Selecionar a Alternativa de Concepção	110
9.7 - Conclusão	122
CAPÍTULO X - CONCLUSÕES	124
10.1 - Conclusões Gerais Sobre a Metodologia Proposta	124
10.2 - Recomendações para Trabalhos Futuros	126
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127
APÊNDICES	
Apêndice 1 - Check-List - Levantamento das Necessidades de Custo dos Clientes	137
Apêndice 2 - Matriz de QFD	141
Apêndice 3 - Matriz de QFD do Implemento de Abertura e Adubação de Sulcos no Plantio Direto	148

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	- Evolução do enfoque dos custos com o tempo	2
Figura 1.2	- Visibilidade dos custos do produto	5
Figura 1.3	- Comprometimento dos custos no desenvolvimento de produto	6
Figura 1.4	- Influência sobre os custos de produtos	7
Figura 1.5	- Influência do projeto no custo de manufatura	7
Figura 2.1	- Etapas do projeto conceitual	13
Figura 2.2	- Representação abstrata de um Sistema Técnico / Função Total	15
Figura 2.3	- Estrutura funcional do produto	16
Figura 2.4	- Diagrama FAST	16
Figura 2.5	- Geração de alternativas de concepção pelo método da matriz morfológica	18
Figura 2.6	- Abordagem de custo de CORRYEL	21
Figura 2.7	- Análise do projeto conceitual sob o ponto de vista de estimativa de custos	23
Figura 3.1	- Anatomia do Processo de Estimativa de Custo	33
Figura 3.2	- Relação entre as estruturas de desdobramento de custos, métodos de estimativa, sistema de gerenciamento e as fases do processo de desenvolvimento do produto	35
Figura 3.3	- Influência das decisões nos custos do produto	36
Figura 3.4	- Decisões no projeto conceitual e custos determinados pelas decisões	37
Figura 4.1	- Desdobramento de custos segundo Pitts	41
Figura 4.2	- Estrutura proposta pelo Departamento de Defesa Americano	42
Figura 4.3	- Estrutura proposta por ALMEIDA e TOLEDO	42
Figura 4.4	- Estrutura proposta por BLANCHARD e FABRYCKY	43
Figura 4.5	- Estrutura de desdobramento proposta por ULLMAN	45
Figura 4.6	- Estrutura proposta a partir do modelo de HUBKA e EDER	46
Figura 4.7	- Estrutura proposta a partir do modelo desenvolvido pelo I.C.F.G.	47

Figura 4.5	- Classificação geral das estruturas de desdobramento de custos	49
Figura 4.6	- Estrutura de desdobramento de custos proposta	51
Figura 5.1	- Utilização dos métodos de estimativa de custos	52
Figura 5.2	- Classificação dos métodos de estimativa de custos	53
Figura 5.3	- Estimativa de custo da função “ampliar força”	55
Figura 5.4	- Esquema da matriz de QFD proposta por AKAO	58
Figura 5.5	- Vaso de pressão de condutores de alta voltagem	62
Figura 5.6	- Proporção dos custos de material em relação aos custos de produção	63
Figura 5.7	- Decomposição de um sistema técnico em subsistemas de construção	67
Figura 6.1	- Determinação do custo do produto	73
Figura 7.1	- Fluxo de Desenvolvimento de um Sistema Especialista	75
Figura 7.2	- Domínio do Sistema Especialista para Estimar os Custos de Produtos	77
Figura 7.3	- Hierarquia de grupo de produtos	79
Figura 7.4	- Estimativa de custos na segunda etapa de projeto	80
Figura 7.5	- Arquitetura do software de estimativa de custo do material / processo	82
Figura 8.1	- Síntese do estudo do processo de estimativa de custos de produtos	86
Figura 8.2	- Síntese da metodologia de estimativa de custos proposta	87
Figura 8.3	- Matriz de decisão para seleção da estrutura funcional do produto	91
Figura 8.4	- Matriz de decisão para seleção da alternativa de concepção do produto	98
Figura 9.1	- Primeira estrutura funcional proposta para o implemento	108
Figura 9.2	- Segunda estrutura funcional proposta para o implemento	108
Figura 9.3	- Matriz Morfológica	111
Figura 9.4	- Implemento de abertura e adubação de sulcos no plantio direto	122
Figura 2.A.1	- Primeira matriz de QFD	143
Figura 3.A.1	- Matriz de QFD do implemento de abertura e adubação de sulcos no plantio direto	149

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	- Tabela para avaliação da alternativa de concepção	20
Tabela 3.1	- Erro no processo de estimativa de custos conforme a etapa do processo de desenvolvimento de produto, segundo a Associação Americaná de Engenharia de Custos	31
Tabela 4.1	- Contribuição relativa dos custos	44
Tabela 4.2	- Modelo proposto por HUBKA e EDER	46
Tabela 4.3	- Síntese das estruturas de desdobramento de custos de produtos	50
Tabela 5.1	- Cálculo do custos de produção	62
Tabela 5.2	- Tabela de avaliação dos custos relativos	67
Tabela 5.3	- Características dos grupos de estimativa de custos	69
Tabela 5.6	- Característica dos métodos de estimativa de custos	69
Tabela 8.1	- Simbologia da avaliação do desempenho técnico das estruturas	92
Tabela 8.2	- Simbologia da avaliação de custos das estruturas funcionais	94
Tabela 8.3	- Caracterização das alternativas de concepção	97
Tabela 8.4	- Simbologia da avaliação do desempenho técnico das alternativas	99
Tabela 9.1	- Requisitos de projeto mais importantes e pesos relativos	106
Tabela 9.2	- Especificações técnicas do produto	106
Tabela 9.3	- Especificações de custo do produto	107
Tabela 9.4	- Matriz de apoio ao processo de seleção da estrutura funcional	109
Tabela 9.5	- Alternativas de concepção geradas para o implemento	111
Tabela 9.6	- Caracterização dos princípios de solução da concepção selecionada	112
Tabela 9.7	- Custo de aquisição de componentes/produtos	113
Tabela 9.7	- Estimativa do custo de produção dos reservatórios de adubo	114
Tabela 9.8	- Estimativa do custo de aquisição dos dosadores de adubo	115
Tabela 9.9	- Estimativa do custo de fabricação do sistema sulcador	116
Tabela 9.10	- Estimativa do custo de produção do sistema sulcador	116
Tabela 9.11	- Estimativa do custo de produção do sistema estrutural	117
Tabela 9.12	- Estimativa do custo de produção do sistema de acionamento	118
Tabela 9.13	- Estimativa do custo de produção do sistema de suporte	118
Tabela 9.14	- Estimativa do custo de produção do sistema de levantamento	119
Tabela 9.15	- Estimativa do custo do ciclo de vida das alternativas de concepção	120
Tabela 9.16	- Matriz de decisão de apoio a seleção da alternativa de concepção	120
Tabela 2.A.1	- Simbologia de relacionamento entre itens	145
Tabela 2.A.2	- Símbolos utilizados na matriz de correlação	147

LISTA DE SÍMBOLOS

α, β, γ - expoentes da equação paramétrica de estimativa de custo

a, b, d - constantes da equação paramétrica de estimativa de custo

A, B, D - variáveis do princípio de solução analisado

A_F e B_M - fator multiplicativo, respectivamente, da parcela relativa ao custo indireto de fabricação e material

ϕ_c - relação entre o custo do produto conhecido e o a ser calculado

C_1 - custo do produto conhecido

C_2 - custo estimado do produto a ser calculado

C_{Al} - Custo estimado de aquisição do componente de alumínio

CD_{FABR} - custo estimado direto de fabricação do produto

CD_{MAT} - custo estimado direto de material do produto

C_F - custo estimado da função que compõe a estrutura funcional

C_{FABR} - custo estimado de fabricação do produto

Cl_{MAT} - custo estimado indireto de material do produto

C_{MAT} - custo estimado de material do produto

C_{PROD} - custo estimado de produção do produto

C_t - custo de afiação do ferramental

C_{wi} - custo por unidade de peso de cada material do produto

DA_{ij} - Valor da avaliação do desempenho técnico da alternativa de concepção

DC_{kj} - Valor da avaliação do custo do ciclo de vida de cada estrutura funcional

d_i - diâmetro interno do vaso

DT_{ij} - valor da avaliação do desempenho técnico da estrutura funcional

ECA_k - Custo absoluto do produto

EC_k - Especificações de custos do produto

ECR_k - Valor relativo do custo do ciclo de vida do produto

ET_i - Especificações técnicas do produto

IDA_j - Índice de desempenho técnico da alternativa de concepção

IDC_j - Índice de desempenho de custo da estrutura funcional

IDT_j - índice de desempenho técnico da estrutura funcional

imp_p - indicação qualitativa traduzida para uma escala numérica de quanto uma necessidade do cliente influencia sua decisão de compra

l - comprimento do vaso

M - custo de operação da máquina e mão de obra por unidade de tempo

M_i - custo de operação da máquina e mão de obra por unidade de tempo

n - número de processos necessários para produzir o produto

NC_p - necessidades dos clientes.

PA_{NC_p} - valor de importância absoluto das necessidades dos clientes

PA_{RCK} - valor absoluto de um determinado requisito de custo

PA_{RTi} - valor absoluto de um determinado requisito técnico

pfv_p - indicação se uma necessidade do consumidor é um ponto forte de venda

p_n - pressão nominal do tubo

PR_{NC_p} - grau de importância relativo das necessidades dos clientes

PR_{RCK} - é o peso relativo de um determinado requisito de custos

PR_{RTi} - Peso relativo do requisito técnico

PR_{RTi} = é o peso relativo de um determinado requisito técnico

RC_k - Requisitos de custos do produto

r_i - densidade de cada material constituinte do produto

R_{pi} = é o nível de relação ou dependência entre as necessidades dos clientes e os requisitos técnicos

R_{pk} = é o nível de relação ou dependência entre as necessidades dos clientes e os requisitos de custos

RT_i - Requisitos técnicos do produto

t - número total das necessidades do cliente

t = tempo de vida do ferramental

t_{ct} = tempo de troca de ferramental

t_i - tempo estimado de fabricação do produto em um determinado processo

t_i = tempo não produtivo do processo produtivo

t_m = tempo de operação da máquina

tm_p - é a razão entre a qualidade desejada e o nível atual com que a empresa satisfaz a necessidade NC_p do cliente.

t_v - espessura de parede do vaso

V_i - volume de cada material constituinte do produto

RESUMO

Este trabalho apresenta a proposição de uma metodologia de estimativa de custos do produto na fase de projeto conceitual cujo objetivo é apoiar o processo de tomada de decisão para seleção da estrutura funcional e da alternativa de concepção do produto, considerando aspectos técnicos e de custos, portanto, de forma mais fundamentada e criteriosa.

Inicialmente, realizou-se uma análise crítica do projeto conceitual sob o ponto de vista econômico, um estudo dos conceitos de custos, das generalidades do processo e dos métodos de estimativa de custos, das estruturas de desdobramento de custos, dos sistemas de gerenciamento e dos sistemas especialistas de estimativa de custos.

Com base nas informações levantadas foi proposta a referida metodologia, desenvolvida no Laboratório de Projeto do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina.

Ao final da dissertação, é apresentado um exemplo da aplicação da metodologia proposta, no projeto de um implemento para abertura e adubação de sulcos no plantio direto, também desenvolvido no Laboratório de Projeto.

ABSTRACT

This work presents a methodology for estimating the product's cost at the conceptual phase and this methodology aims to provide subsidies for taking decisions and to make possible the selection of a functional structure and a product alternative solution more adequate to the technical and economical point of view.

Initially, this work presents a economical analysis of the conceptual design and in the sequence the following topics are presented: a study on concept costs, the process of estimating costs, the methods of estimating cost, the cost breakdown structure, the cost management system and a study on experts system for estimating costs.

So, according to this study, it was proposed this methodology.

The proposed methodology was developed in the Design Laboratory of the Mechanical Engineering Department of the Federal University of Santa Catarina as the theme of my master disssertation.

Finally, this work presents an example of its application in the devepment of an agricultural machine prototype for opening and fertilizing the soil surface. This prototype was developed in the Design Laboratory of the Mechanical Engineering Departament of the Federal University of Santa Catarina.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Nestes tempos de intensificação da competição internacional, as empresas estão buscando caminhos para obterem qualidade e competitividade de seus produtos no mercado. Todas as empresas que quiserem chegar ao século XXI precisam adaptar-se às novas filosofias de trabalho e elaborar adequadas estratégias, ou seja, posicionar de forma competitiva os seus produtos.

A figura 1.1 mostra o desenvolvimento dos conceitos e das filosofias de trabalho das empresas ao longo dos anos, a fim de atingir a qualidade e a competitividade em seus produtos, com enfoque do ponto de vista da empresa e do consumidor [96]. Na cor vermelha, tem-se o valor do produto para a empresa, enquanto que, na cor azul, tem-se o valor do produto para o consumidor.

No período de 1920 a 1950, as empresas tinham como característica a produção em massa. Os custos eram contabilizados, ou seja, o preço (P) era definido a partir da soma dos custos (C) e da projeção dos lucros (L).

Na década de 50, as empresas viviam a era da produtividade e os custos eram controlados. O lucro era determinado subtraindo-se o custo do preço do produto.

Entre os anos de 1960 e 1980, na era da qualidade, as empresas começaram a trabalhar com os sistemas de gerenciamento dos custos. Os custos eram calculados subtraindo o lucro estimado do preço de mercado.

A partir de 1980, entrou-se na era da competitividade, em que, tanto para a empresa quanto para o consumidor, o valor do produto tende a se igualar. Portanto, o tempo é de troca de informações, planejamento do produto, produtos com elevado valor agregado, baixos custos e outras práticas que tornam as empresas competitivas e os clientes satisfeitos, através do oferecimento de produtos e serviços com qualidade.

O conceito de valor do produto para a empresa é calculado como o desempenho das funções do mesmo sobre o seu custo de produção, e para o consumidor o valor é o desempenho das funções sobre o custo de aquisição [24].

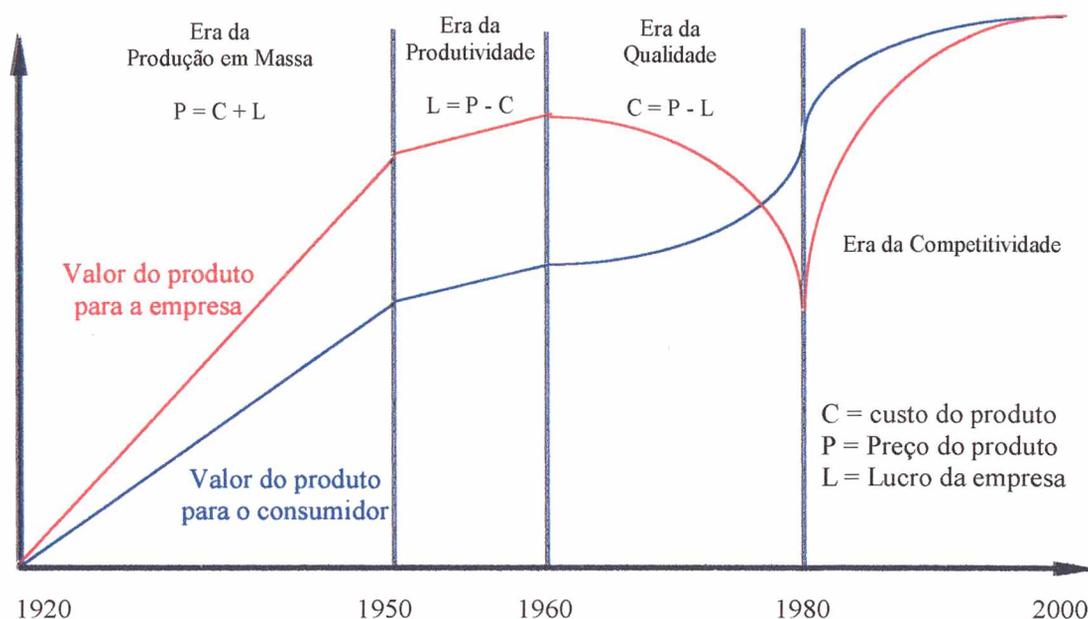


Figura 1.1 - Evolução do enfoque dos custos com o tempo [96].

Para se avaliar a qualidade e a competitividade de uma empresa é necessário comparar os seus produtos com o de empresas concorrentes.

PORTER [87] aponta que para qualquer empresa as regras de concorrência estão englobadas em cinco forças competitivas. São elas:

- 1 - a entrada de novos concorrentes;
- 2 - a ameaça de produtos substitutos;
- 3 - o poder de negociação dos clientes-compradores;
- 4 - o poder de negociação dos fornecedores e
- 5 - a rentabilidade dos concorrentes.

Por sua vez, estas cinco forças competitivas são diretamente dependentes dos preços, dos custos dos produtos e dos investimentos das empresas [82] e, conseqüentemente afetam a qualidade do produto e a competitividade das mesmas.

Segundo PORTER [87], uma empresa pode ter inúmeros pontos fortes e fracos em comparação com seus concorrentes; porém, existem dois tipos de características que ela deve possuir e que são decisivas para a sustentação da mesma:

- baixo custo e
- diferenciação.

MIRSHAWKA [63] coloca que a combinação destes dois tipos básicos de vantagens competitivas levam a três estratégias genéricas, que permitem a uma empresa atingir um desempenho acima da média das concorrentes. São elas:

- liderança nos custos;
- diferenciação e
- enfoque.

A **liderança nos custos** significa preços de produtos abaixo da média, redução de custos através da racionalização de processos, redução de estoques, desenvolvimento de know-how, projeto de produtos com maior valor agregado.

Na **diferenciação**, a indústria procura ser única em seu segmento através do fornecimento de produtos e serviços diferenciados.

O **enfoque** é uma estratégia competitiva em que a empresa busca a especialização em sua área de atuação, procurando obter uma vantagem competitiva em seus segmentos, muito embora não possua uma vantagem competitiva geral.

CAMPOS [20], ainda, coloca que a sobrevivência de uma empresa decorre da sua competitividade, a competitividade decorre da produtividade, e esta da qualidade (valor agregado) do produto.

Do mesmo modo, ISHIKAWA [53] menciona três razões da importância da garantia da qualidade no desenvolvimento de novos produtos:

- a garantia da qualidade só pode ser efetivamente efetuada se for conduzida durante o estágio de desenvolvimento de produto;
- o desenvolvimento de novos produtos deve ser a preocupação mais importante de uma empresa. Se a empresa não tomar este cuidado, será candidata à falência em um mercado de forte competição e
- a garantia da qualidade no desenvolvimento de novos produtos tem a vantagem adicional de induzir todos os departamentos da empresa à sua prática.

Como pode ser observado, o segredo das estratégias competitivas citadas por MIRSHAWKA [67] e da garantia da qualidade conforme colocado por ISHIKAWA [53] estão alicerçados no **projeto do produto**.

O processo de desenvolvimento de produto, segundo PAHL e BEITZ [82], compreende as fases de definição da tarefa, projeto conceitual, projeto preliminar e detalhado. Na fase de **projeto conceitual** ocorre a abstração para a obtenção do problema fundamental, a partir do levantamento das necessidades dos clientes e estabelecimento dos requisitos de projeto, desenvolvimento da estrutura funcional do produto, geração de princípios de soluções e alternativas de concepção e seleção da alternativa de concepção viável.

Nas etapas iniciais do processo de desenvolvimento de produto, as decisões tomadas são responsáveis pela determinação de aspectos relacionados a funcionalidade, geometria e propriedades do produto, ou seja, são definidos o desempenho e a competitividade do produto durante o seu ciclo de vida.

Para conceber produtos competitivos, a empresa deve utilizar uma abordagem que leve em conta a **qualidade do produto** durante todas as etapas do seu **ciclo de vida**, procurando observar suas reais necessidades.

Por **ciclo de vida**, entende-se os diferentes estágios do comportamento do produto, compreendendo as etapas de projeto, produção, construção, utilização, retirada e descarte, ou seja, desde o surgimento do projeto do produto até o seu descarte [16].

A análise da competitividade e da qualidade do produto durante as etapas de seu ciclo de vida se reveste de pouco sentido prático, se não for acompanhada da correspondente **análise econômica**. Esta análise econômica é realizada por:

- **consumidores** - avaliando o custo de aquisição, operação, manutenção, retirada e descarte [3];
- **empresa** - avaliando custo de pesquisa, projeto, mão-de-obra, fabricação, montagem, embalagem, armazenagem, distribuição, operação, manutenção, retirada e descarte [3].

Entretanto, a visualização dos custos do produto, conforme apresentado na figura 1.2, não é uma tarefa fácil, devido, principalmente, à complexidade de fatores envolvidos no processo de projeto e à diversidade de custos incorridos no mesmo.

Como pode ser observado, a competitividade, a produtividade e a lucratividade de uma empresa estão fundamentadas na qualidade de seus produtos e serviços, definida desde a etapa de projeto conceitual do produto.

Um dos objetivos do processo de projeto conceitual é desenvolver uma concepção cuja forma seja a mais econômica possível. Assim, o projetista deve preocupar-se constantemente com o efeito das tomadas de decisão no projeto sobre o custo total do produto [13].

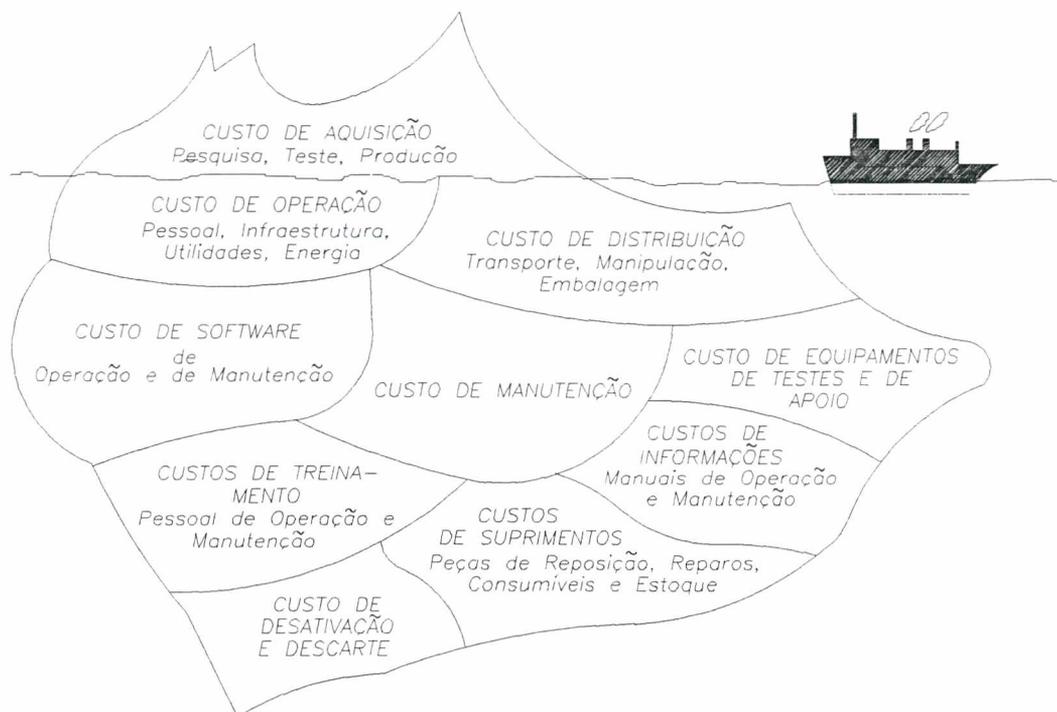


Figura 1.2 - Visibilidade dos custos do produto [16].

No processo de desenvolvimento de produto, o custo deve ser um parâmetro ativo, como um parâmetro de projeto qualquer, e não um fator resultante deste processo, daí a importância da sua estimativa na etapa conceitual de projeto. A figura 1.3 mostra o comprometimento dos custos durante o ciclo de vida do produto.

Na etapa de projeto conceitual, as tomadas de decisões são responsáveis pela fixação de aproximadamente 65 % do custo final do produto, conforme pode ser observado na figura 1.3, uma vez que são levantadas as especificações do produto, definidos os requisitos de operações, fatores de desempenho e eficiência, configuração do sistema, quantidades a serem produzidas, fatores relativos ao usuário e política de apoio logístico, entre outras características que definem o comportamento do produto durante o seu ciclo de vida [16].

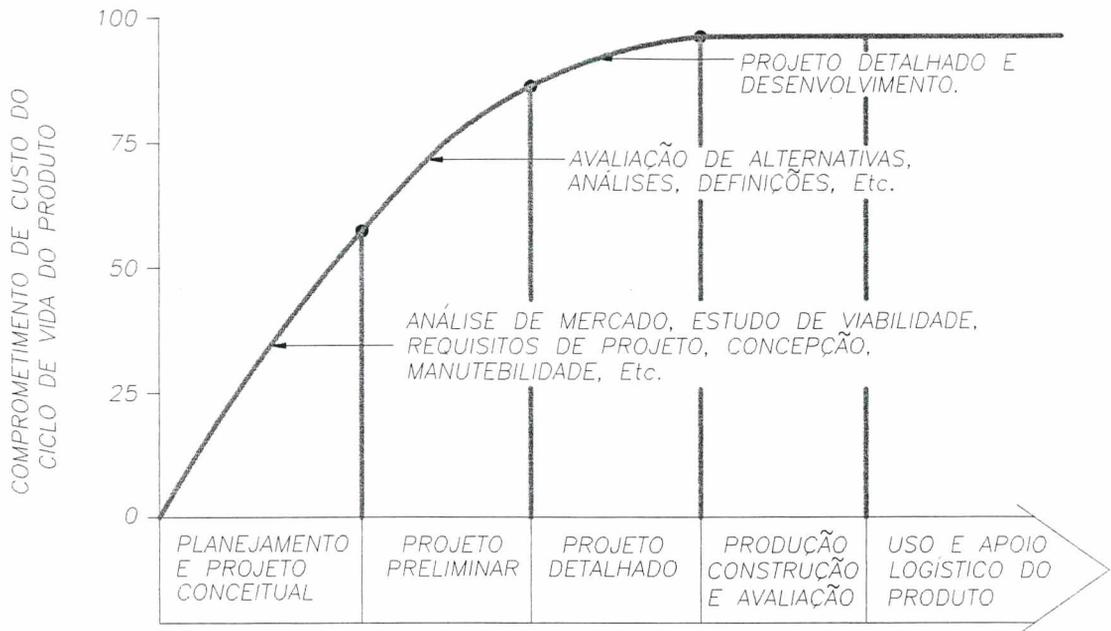


Figura 1.3 - Comprometimento dos custos no desenvolvimento de produto [16].

Na figura 1.4, BLANCHARD e FABRYCKY [16] mostram a influência do processo de projeto, custos de material, custos de mão de obra e instalações sobre o custo total do produto. É importante salientar que as etapas de desenvolvimento de um produto consomem apenas 5 % dos recursos envolvidos em todo o processo de manufatura, mas por sua vez, é responsável pela definição de 70 a 80 % dos custos.

À medida que as etapas do processo de projeto são executadas, o comprometimento dos custos do ciclo de vida do produto vai se tornando mais evidente, pois o produto vai, gradativamente, ganhando forma.

Para salientar a influência do custo de projeto do produto sobre o seu custo de manufatura, apresenta-se a figura 1.5, com base em dados fornecidos pela FORD MOTOR COMPANY.

Na primeira coluna é, mais uma vez, observado que somente 5 % dos custos envolvidos no processo de manufatura são relativos ao processo de projeto. Entretanto, na segunda coluna observa-se que as decisões tomadas durante o processo de projeto afetam 70 % dos custos de manufatura. O gráfico não considera as despesas de venda e lucro obtido sobre o produto [111].

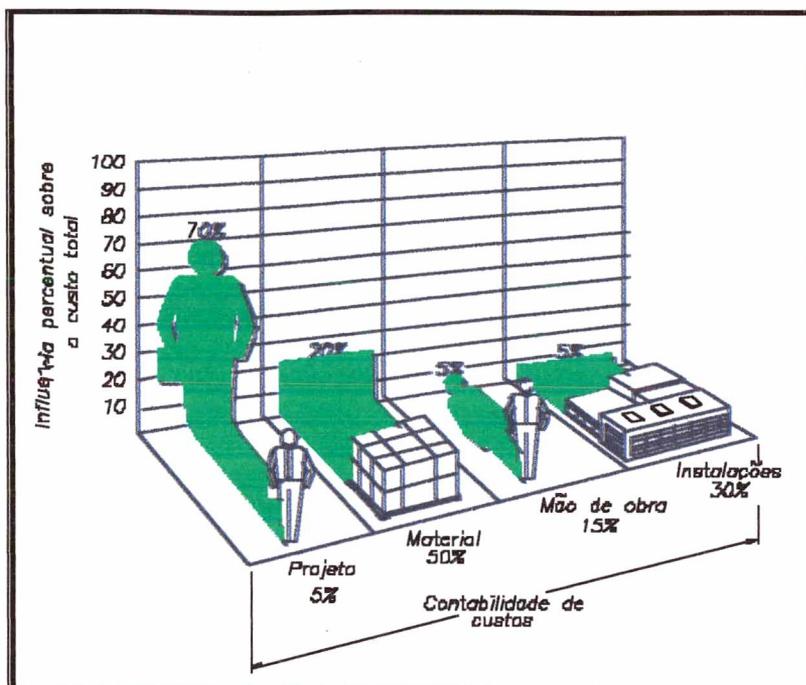


Figura 1.4 - Influência sobre os custos de produtos [16].

Em comparação com o valor de 70 % dado pela FORD COMPANY, a XEROX atribui que 50 % do custo final do produto é resultado do processo de projeto. Estes dois valores mostram uma boa indicação do impacto do processo de projeto sobre o custo do produto [111].

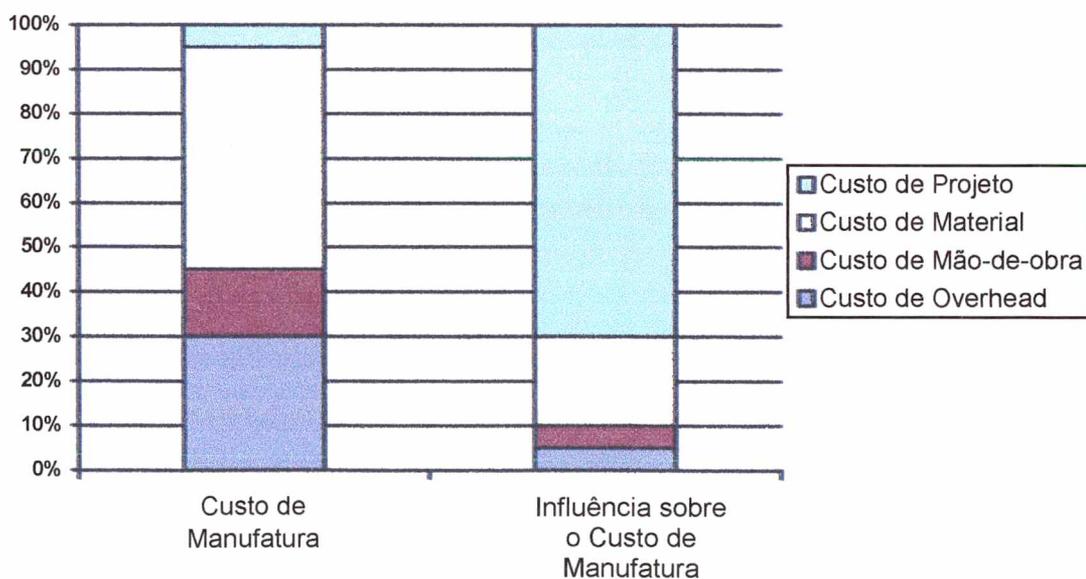


Figura 1.5 - Influência do projeto no custo de manufatura na FORD MOTOR [111].

Como pode ser observado, a determinação dos custos de um produto está fortemente relacionada ao processo de projeto. Dentro do processo de projeto, a fase de projeto conceitual possui um papel fundamental na definição das características, estruturas, comportamento do produto e, conseqüentemente, de seus custos.

Entretanto, nesta etapa, o nível de informações é bastante abstrato. As metodologias encontradas na literatura apresentam apenas recomendações superficiais sobre aspectos relacionados a determinação, modelagem, avaliação e tomada de decisões relativas a custos.

Na primeira etapa do projeto conceitual, são levantadas as necessidades dos clientes e estabelecidos os requisitos de projeto. Estas informações, contudo, são consideradas superficialmente para fins de estimativa e avaliação de custos do produto.

Na segunda etapa do projeto conceitual, na qual ocorre a definição da estrutura funcional do produto a partir de métodos de síntese, o produto ganha forma gradativamente. Os fatores e as características do produto que podem levar à definição dos custos não são adequadamente considerados, assim como as ferramentas existentes não permitem uma adequada avaliação dos custos, deixando uma lacuna para o desenvolvimento de novas técnicas e ferramentas.

Na terceira e quarta etapas do projeto conceitual, geração e seleção de alternativas de concepção, ocorre o mesmo, uma vez que a representação e avaliação de alternativas são realizadas sem considerar informações relevantes para realizar a estimativa de custos do produto.

Portanto, é necessário introduzir nas metodologias e nas ferramentas de projeto atuais, tais como QFD - *Quality Function Deployment*, FMEA - *Failure Mode and Effect Analysis*, matriz morfológica, análise de valor e sistemas CAE/CAD/CAM, mecanismos que possibilitem a obtenção de informações de custos relacionados com o produto nas etapas iniciais de projeto.

Desta forma, o estudo e o desenvolvimento de ferramentas e metodologias relacionadas à determinação e modelagem dos custos do produto durante a fase de projeto conceitual é de fundamental importância para a definição e caracterização do produto. fornecendo suporte à tomada de decisões, principalmente com relação à seleção da estrutura funcional e da alternativa de concepção.

Assim, a indústria poderá garantir a qualidade e a competitividade de seus produtos, assegurando, deste modo, a sua sobrevivência.

Segundo STEWART [102], estimar os custos de um produto é um julgamento, opinião, previsão, projeção e cálculo dos custos de processo, produto, projeto e serviço.

De acordo com a Society of Cost Estimating and Analysis (SCEA), estimar os custos é “a arte de estimar o provável valor ou custo de um produto ou atividade baseada nas informações disponíveis no tempo” [102].

O objetivo desta dissertação é estudar e propor uma sistemática para estimar e avaliar o custo do produto de modo compatível com as informações disponíveis na fase de projeto conceitual, com o intuito de fornecer suporte às tomadas de decisões relacionadas à seleção da melhor estrutura funcional e melhor alternativa de concepção do produto. Esta sistemática não visa propor alterações no processo de projeto, mas agregar informações ao mesmo, de modo que a tomada de decisão, do ponto de vista técnico e de custo seja realizada de modo mais objetivo com base em um maior número de informações.

Para tanto, abordar-se-á aspectos relacionados à determinação, estimativa e avaliação dos custos de produtos durante a fase de projeto conceitual, através do estudo das metodologias de projeto, das estruturas de desdobramento de custos, dos métodos, das técnicas e das ferramentas existentes para a avaliação e estimativa de custos de produtos. Deve-se salientar que nesta dissertação serão tratados os custos do produto sob o ponto de vista de projeto.

Assim, a dissertação está apresentada da seguinte maneira.

O **Capítulo II** apresenta as generalidades do processo de projeto do produto e uma análise deste sob o ponto de vista de estimativa de custos de produtos.

No **Capítulo III** são apresentados os conceitos fundamentais de custos, os requisitos, as ferramentas e as informações necessárias à proposição e ao desenvolvimento de uma sistemática de estimativa de custo de produtos.

O **Capítulo IV** apresenta as estruturas de desdobramento de custos de produtos, que permitem a visualização da composição do custo total do produto e dos diversos fatores que afetam este custo.

O **Capítulo V** mostra as ferramentas matemáticas e de engenharia que permitem estimar e calcular os custos do produto, denominados métodos de estimativa de custos.

No **Capítulo VI** são apresentados os objetivos e a utilidade dos sistemas de gerenciamento de custos no processo de estimativa de custos, e a sua relação com as estruturas de desdobramento de custos e os métodos de estimativa de custos.

No **Capítulo VII** é apresentada a utilização de sistemas especialistas para fins de estimativa de custos.

No **Capítulo VIII** é proposta uma metodologia para seleção da estrutura funcional e alternativa de concepção do ponto de vista técnico e de custo.

No **Capítulo IX** é mostrado um exemplo da aplicação da metodologia proposto no projeto de um implemento de abertura e adubação de sulcos no plantio direto.

Ao final da dissertação é apresentado um *check-list* para o levantamento das necessidades dos clientes focado no custo.

Através deste estudo e da proposição de uma metodologia de estimativa de custos, ter-se-á contribuído com:

- **A literatura** especializada nos assuntos, através do:
 - Desenvolvimento de ferramentas de estimativa de custos, de auxílio à tomada de decisão para seleção da estrutura funcional e alternativa de concepção do produto, durante o projeto conceitual;
 - Relacionamento e classificação de informações sobre custos de produto de acordo com as necessidades estabelecidas na etapa de projeto conceitual.
 - Estimativa e cálculo de custos de produtos, gerando resultados mais confiáveis e precisos através da utilização das informações disponíveis neste trabalho nas etapas de projeto preliminar e detalhado;
- **Empresas**, através da:
 - Minimização de perdas e atividades relativas ao processo de desenvolvimento de produto e processos produtivos;
 - Fornecendo produtos a custos menores e a preços mais baixos;
- **Consumidores**, que adquirirão produtos com maior valor agregado;

PROCESSO DE PROJETO DE PRODUTO

2.1 - Introdução

Os processos de desenvolvimento de produto e de estimativa de custos de produtos são atividades multidisciplinares e extremamente complexas.

Através de procedimentos sistemáticos, é possível realizar um planejamento e uma condução organizada destes processos, oferecendo suporte ao trabalho em equipe, possibilitando a tomada de decisão correta no momento exato, facilitando a busca de soluções e racionalizando os recursos disponíveis na obtenção de produtos mais eficientes.

Segundo BACK [11], o “projeto de engenharia é uma atividade orientada para o desenvolvimento das necessidades humanas, principalmente daquelas que podem ser satisfeitas por fatores tecnológicos de nossa cultura”.

De uma forma geral, existe um consenso entre os autores da teoria de projeto - PAHL e BEITZ [82], VDI 2221 (Sociedade dos Engenheiros Alemães) [76], CORRYEL [23], BLANCHARD e FABRYCKY [16] e ULLMAN [111] - com relação as fases de desenvolvimento do produto. As pequenas diferenças encontram-se na distribuição das tarefas de projeto entre as fases.

Deste modo, as metodologias de projeto desenvolvidas pelos autores podem ser consideradas variantes do que se pode chamar de “modelo consensual” do processo de projeto. Este modelo é composto das seguintes fases:

- **Fase 1** - Definição da tarefa de projeto ou estudo do problema;
- **Fase 2** - Projeto conceitual, que compreende as etapas de levantamento das necessidades dos clientes, obtenção dos requisitos e especificações de projeto, estruturação funcional, geração e seleção de alternativas de solução;
- **Fase 3** - Projeto preliminar e
- **Fase 4** - Projeto detalhado.

Além das diferenças encontradas na distribuição das tarefas entre as fases do processo de projeto, as metodologias apresentam, principalmente, no projeto conceitual, diferenças com relação ao enfoque dado ao processo de estimativa, análise e avaliação de custos.

Neste capítulo serão descritas as fases do processo de projeto e será desenvolvida uma análise crítica destas sob o ponto de vista de estimativa de custo, procurando apresentar e evidenciar as diferentes abordagens.

2.2 - Descrição e Análise do Processo de Projeto Sob o Ponto de Vista de Estimativa de Custos

Antes de apresentar as fases do processo de projeto, é importante ter em mente o enfoque e abordagem dada ao produto durante o seu desenvolvimento. Esta abordagem pode influenciar diretamente o modo de condução e utilização de ferramentas de projeto, assim como a qualidade e a precisão da estimativa de custo, uma vez que o custo total do produto é influenciado e determinado diretamente por decisões tomadas durante o seu projeto.

Neste sentido, para fins de estimativa de custo e desenvolvimento do processo de projeto, pode ser adotado o enfoque dado ao produto por BLANCHARD e FABRYCKY [16], que avaliam as características e o desempenho do produto durante as diversas etapas do seu ciclo de vida.

A **primeira fase** do processo de projeto, **estudo ou definição da tarefa de projeto**, inicia-se com o estudo do problema colocado, procurando esclarecer os objetivos a serem alcançados na elaboração do mesmo, onde devem ser considerados informações de engenharia, materiais, fabricação, comerciais, custos, aplicação e uso, normas, descarte, aparência, manutenção, confiabilidade, entre outras. Nesta etapa, obtêm-se uma lista de requisitos e especificações de projeto [82]. As especificações são os requisitos expressos com um número e sua respectiva unidade dimensional.

Portanto, do ponto de vista de estimativa de custos é importante que nesta etapa seja definido o custo-meta do produto durante as várias etapas do seu ciclo de vida.

A **segunda fase** do processo de projeto, **projeto conceitual**, é composto de quatro etapas básicas, conforme apresentado na figura 2.1, que serão consideradas na proposição da metodologia apresentada no capítulo VIII.

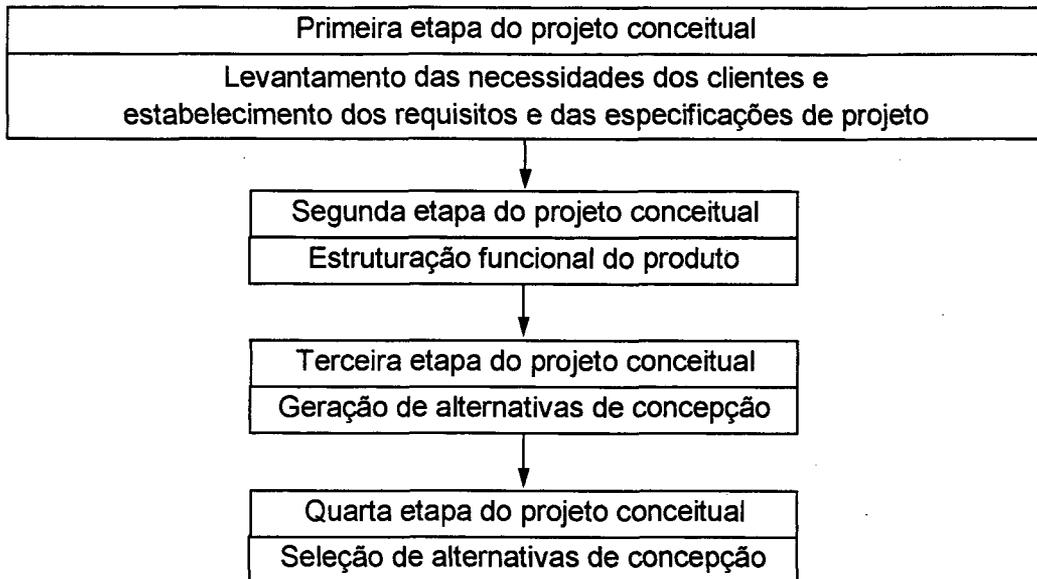


Figura 2.1 - Etapas do projeto conceitual.

Na **primeira etapa do projeto conceitual**, o levantamento das necessidades deve ser realizado junto aos clientes. Em muitos casos, no entanto, estes não possuem a correta noção de suas necessidades, assim como não sabem como elas influenciam os custos do produto. Este conhecimento é de fundamental importância para os projetistas, uma vez que para que sejam satisfeitas devem ser introduzidas características no produto que, conseqüentemente, afetam o seu custo. Uma necessidade superdimensionada pode gerar um produto com custos elevados.

Após o levantamento das necessidades dos clientes, são listados os requisitos de projeto, devendo ser incluída uma listagem detalhada dos custos do produto para fins de estimativa de custos. Na seqüência, são determinados os requisitos de projeto mais importantes, através do emprego de diversas técnicas. A mais comum é o QFD - *Quality Function Deployment*. Sucintamente, esta ferramenta fornece, entre outras coisas, como resultado os requisitos de projeto mais importantes, através da realização do seu relacionamento com as necessidades dos clientes, identificando como cada necessidade influencia um determinado requisito.

A correta definição destas necessidades, requisitos e especificações serve como base para o desenvolvimento funcional do produto e, conseqüentemente, para projetar um produto adequado a um determinado custo-meta [111].

Esta fase é ponto primordial para o desenvolvimento das fases posteriores do projeto do produto, uma vez que os objetivos do projeto estão sendo determinados.

BLANCHARD e FABRYCKY [16] colocam que os custos devem ser expressos quantitativamente, como sendo uma especificação de projeto do produto, durante as várias etapas do ciclo de vida do mesmo.

Estudando as metodologias de projeto citadas no início do capítulo, pode-se observar que não são colocadas informações sobre como deve ser realizado o levantamento das necessidades dos clientes, a listagem dos requisitos e a obtenção das especificações de projeto de modo a facilitar a estimativa de custos e apoiar o processo de tomada de decisão com relação à seleção da melhor estrutura funcional e alternativa de concepção do produto, sob o ponto de vista de custo, em relação a um determinado custo-meta, embora enfatizem a sua importância.

Neste sentido, a metodologia de estimativa de custos proposta e apresentada no Capítulo VIII, apresentará uma maneira sistemática de levantar estas necessidades dos clientes e obter os requisitos e as especificações de projeto associadas ao custo do produto.

Na **segunda etapa do projeto conceitual** ocorre a estruturação funcional do produto, na qual é desenvolvido um modelo de funções bastante genérico e abstrato do produto a ser projetado. Para isto, as funções devem ser combinadas procurando formar uma estrutura funcional simples e lógica, facilitando a posterior pesquisa de princípios de solução e alternativas de concepção do produto.

BLANCHARD e FABRYCKY [16] definem função como sendo uma ação discreta ou contínua que realiza uma determinada atividade com um dado objetivo.

O processo de estabelecimento da estrutura funcional inicia-se com um exercício de abstração, com o intuito de obter o problema escrito de uma forma abstrata e generalizada para, posteriormente, serem geradas estruturas funcionais para o produto e selecionada a mais adequada do ponto de vista técnico e econômico.

Para que haja objetividade neste processo de abstração, é importante que o mesmo seja realizado sem a inclusão de necessidades pessoais que, habitualmente, não coincidem com as do consumidor, e também sem concentração numa idéia ou

concepção que pareça resolver o problema antes que o mesmo esteja efetivamente formulado.

Para gerar as estruturas funcionais para o produto existem diversos métodos. PAHL e BEITZ [82] descrevem o método da função síntese, enquanto que, BLANCHARD e FABRYCKY [16] apresentam o método do Diagrama FAST.

No método da função síntese, o problema fundamentado será descrito sob a forma de um conjunto de blocos diagramas, expresso em termos do relacionamento de fluxo de entrada e saída de energia, material e sinal, independentemente da solução, conforme mostra a figura 2.2.

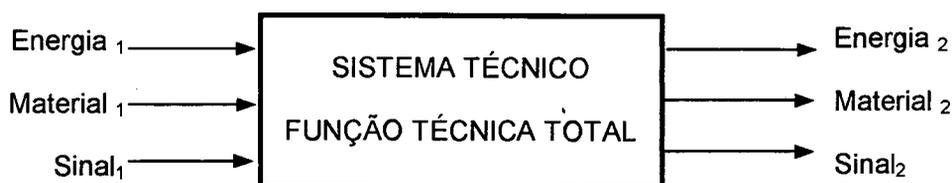


Figura 2.2 - Representação abstrata de um Sistema Técnico / Função Total.

Neste método, primeiramente, é obtida uma função técnica total do produto, devendo apresentar uma descrição sucinta e precisa do produto a ser projetado [11].

Na sequência, a função técnica total é desdobrada em funções parciais ou elementares, e estas são abstraídas obtendo-se uma estrutura de funções elementares.

BACK [11] coloca que a diferença entre uma função elementar e uma operação básica reside apenas na definição de suas grandezas de entrada e saída. As grandezas devem ser pré-definidas nas funções elementares e deixadas em aberto nas operações básicas.

Do mesmo modo que um sistema técnico pode ser dividido em sub-sistemas e em elementos básicos, uma função total pode ser dividida, separada ou quebrada em sub-funções de mais baixa complexidade. A combinação de sub-funções individuais resulta em uma estrutura de funções, que executa a mesma função de uma função total, conforme pode ser observado na figura 2.3.

Dependendo do sistema, a estrutura de funções obtida pode ser mais ou menos complexa. A complexidade da estrutura funcional depende do grau de relacionamento entre entradas e saídas, do tipo de função necessária à execução do problema e o número relativo de interfaces e componentes envolvidos [82] e que, conseqüentemente, tem influência sobre o custo do produto. Além disto, a complexidade também influencia

a escolha de princípios de solução, dos componentes e dos sistemas que desempenham uma determinada função e, do processo de produção, de montagem e de manutenção do produto, uma vez que neste momento o mesmo está sendo modelado e representado.

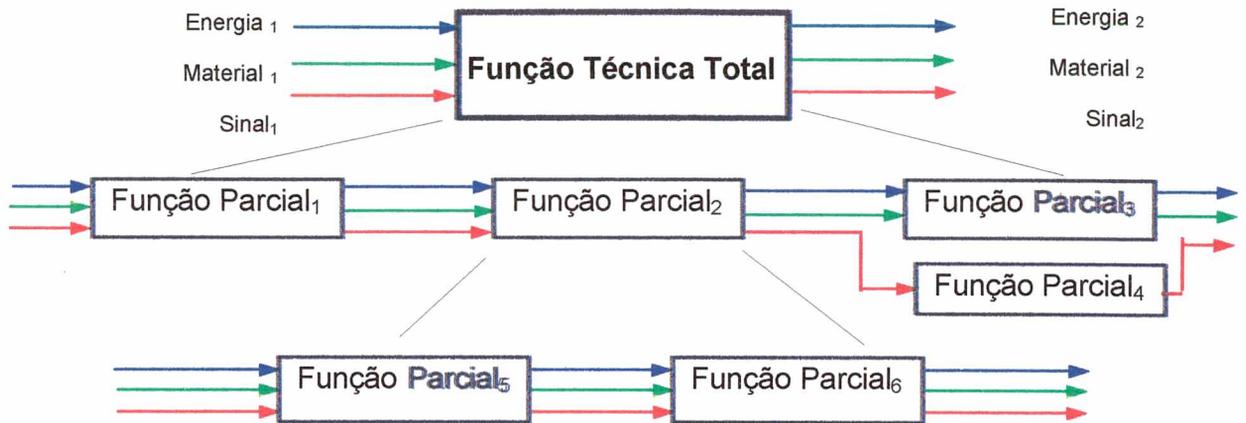


Figura 2.3 - Estrutura funcional do produto.

A outra forma de desenvolver a estruturação funcional do produto é através do diagrama FAST, apresentado na figura 2.4, que procura desenvolver uma estrutura funcional fazendo um trabalho de lógica, no qual deve ser feita a pergunta “como” para procurar soluções (funções) para a realização de uma função técnica que está em um nível mais alto e, a pergunta “por que” com o objetivo de procurar motivos para a realização das funções que estão em um nível mais elementar [24].

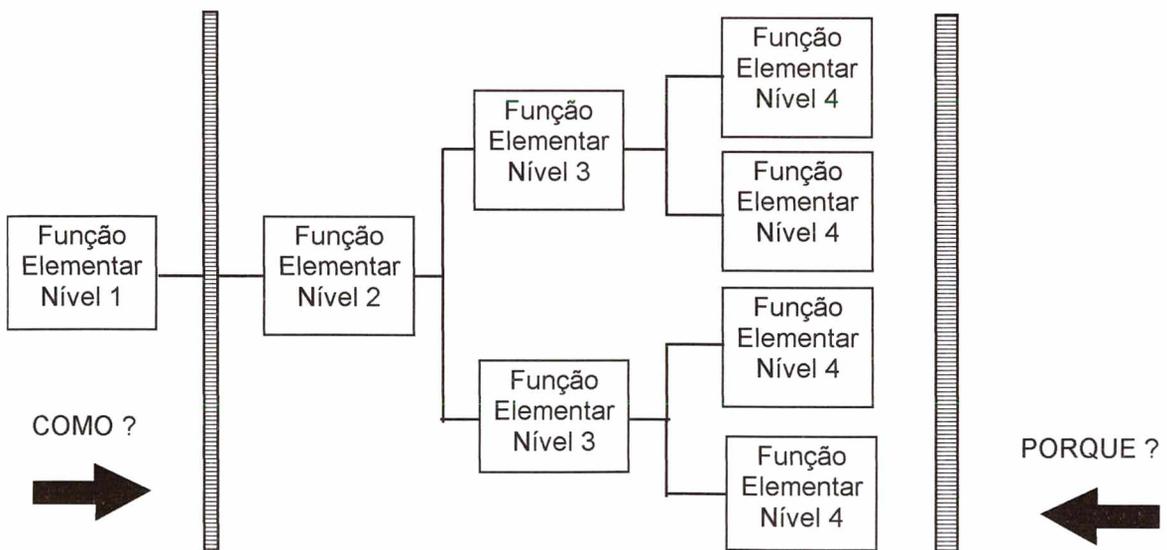


Figura 2.4 - Diagrama FAST [24].

O ponto de partida deste método também é a determinação da função técnica total do produto a ser projetado.

Nesta segunda etapa do projeto conceitual, devem ser geradas várias estruturas funcionais para o produto e ser selecionada aquela que apresentar melhor desempenho técnico e econômico.

A seleção da melhor estrutura funcional do ponto de vista técnico consiste, basicamente, em determinar um número exato de sub-funções e o número correto de funções por nível. Ainda, no caso do método da função síntese, deve ser observada a compatibilidade de energia, material e sinal entre as funções. E, no caso do diagrama FAST, na seleção da melhor estrutura funcional deve ser observada a lógica mais coerente de execução das funções. Além disto, é importante que a estrutura funcional selecionada esteja de acordo com os requisitos técnicos do produto, determinados na primeira etapa do projeto conceitual.

A seleção da melhor estrutura funcional do ponto de vista de custo consiste em determinar uma estrutura de funções mais adequada ao custo-meta do produto, devendo, para isto, ser avaliado o custo de cada estrutura funcional gerada para o produto. Embora as metodologias de projeto estudadas enfatizem a importância da realização deste processo de seleção, a maioria delas não coloca como o mesmo deve ser realizado.

PAHL e BEITZ [77] apontam que uma avaliação da viabilidade econômica das alternativas de solução pode ser realizada através da análise do valor. Neste caso, os componentes dos níveis mais elementares de cada subsistema são avaliados, possibilitando a obtenção de uma estimativa do custo das sub-funções e da função técnica total do produto. É importante salientar que os autores não apresentam mais detalhes de como esta análise é realizada e como os custos são alocados às funções.

A estimativa do custo das estruturas funcionais deve ser realizada considerando a compatibilidade de energia, material e sinal entre as suas funções, uma vez que estes aspectos levam à seleção de um determinado princípio de solução e, conseqüentemente, afetam o custo do produto durante as diversas etapas do seu ciclo de vida.

A seleção da mais adequada estrutura funcional é fundamental para dar seqüência às demais etapas do projeto conceitual e, conseqüentemente, projetar um produto adequado a um determinado custo-meta.

A metodologia de estimativa de custos de produtos proposta e descrita no Capítulo VIII apresenta procedimentos para estimar os custos das estruturas funcionais, apoiando o processo de seleção desta.

Na terceira etapa do projeto conceitual, são geradas as alternativas de concepção do produto, que executam a função técnica total da estrutura selecionada anteriormente. Segundo PAHL e BEITZ [78], esta etapa é composta de duas tarefas.

Na primeira tarefa são gerados princípios de solução para cada uma das funções que compõem a estrutura funcional selecionada, através da utilização de várias técnicas de criatividade. São elas: métodos convencionais (pesquisa em literatura, catálogos, manuais, análise de sistemas naturais e técnicos) e métodos Intuitivos (brainstorming, método 635, método de Delphi e sinergia).

Os princípios de solução são uma representação de um dispositivo, componente ou parte de um sistema qualquer capaz de executar uma determinada função. Deve ser gerado o máximo número possível de princípios de solução, a fim de se obter, no passo seguinte, um maior número de alternativas de concepção que executem a função técnica total.

Na segunda tarefa são geradas as alternativas de concepção do produto. Um dos métodos mais interessantes é o da Matriz Morfológica, conforme mostrado na figura 2.5. Neste método, as funções e os seus apropriados princípios de solução são colocados em linhas que, combinados, um de cada linha, formam as alternativas de concepção do produto.

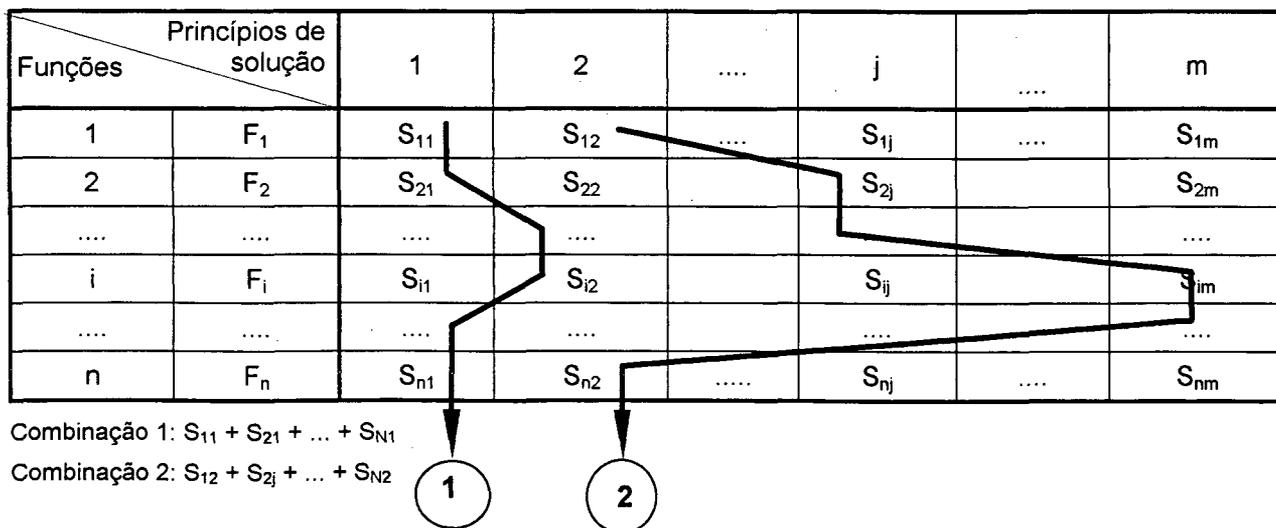


Figura 2.5 - Geração de alternativas de concepção pelo método da matriz morfológica.

Neste método, uma alternativa de concepção é resultado da combinação dos princípios de solução S_{11} , S_{21} , S_{12} e S_{n1} e, a outra alternativa é dada pela combinação dos princípios de solução S_{12} , S_{2j} , S_{jm} e S_{n2} .

As alternativas de concepção obtidas devem possuir compatibilidade física e geométrica, conectividade de energia, material e sinal entre as partes que a compõem, possuir conformidade com os requisitos e as especificações de projeto, além de estarem de acordo com o custo-meta do produto.

A identificação da compatibilidade das alternativas é facilitada se:

- As sub-funções são listadas na ordem em que ocorrem, separando-as, se necessário, de acordo com o tipo de energia, material e sinal.
- Os princípios funcionais são expressos de forma esquemática, através de desenhos ou símbolos.
- As características mais importantes de cada princípio funcional são escritas com palavras e expressões matemáticas.

Na **quarta etapa do projeto conceitual** é realizada a seleção da melhor alternativa de concepção do produto, a partir de um estudo de viabilidade técnica e econômica das alternativas geradas na etapa anterior.

Segundo PAHL e BEITZ [77], as alternativas de concepção geradas anteriormente não possuem informações suficientes para que se realize uma adequada avaliação da sua viabilidade técnica e econômica. Isto ocorre, uma vez que os princípios de solução, não possuem informações sobre especificações do produto, necessidades dos consumidores, requisitos de projeto, aspectos de ergonomia, manufatura, controle de qualidade, montagem, transporte, uso, manutenção e custo.

Assim, PAHL e BEITZ [78] colocam que para selecionar a melhor alternativa sob o ponto de vista técnico e econômico é necessário, primeiramente, executar um "*Firm-up*" nas concepções, ou seja, é necessário refinar, estruturar, definir mais detalhadamente, incorporar mais informações às alternativas geradas. Do mesmo modo, a VDI também coloca a necessidade de que algumas características mínimas do produto estejam definidas. Deste modo, a seleção da alternativa de solução pode ser realizada com maior objetividade e precisão.

A seleção da melhor alternativa de concepção sob o ponto de vista técnico é realizada através do método da função critério, que consiste da valoração dos

requisitos de projeto mais importantes obtidos na primeira etapa do projeto conceitual, através da utilização da matriz do QFD.

Os requisitos técnicos são avaliados através de pesos (p_i) que expressam o seu grau de importância. Este peso é maior para os requisitos mais importantes.

Na sequência, são atribuídos valores numéricos aos requisitos técnicos (k_{ij}), com o objetivo de facilitar a verificação se um determinado requisito é bem ou mal atendido nas diferentes alternativas de concepção. No caso, estes valores numéricos são os dados de peso, dimensão, potência, entre outros, de cada um dos princípios de concepção gerados para o produto. Na realidade, estes valores são as especificações das alternativas de concepção.

No próximo passo, são determinados os valores de critérios de avaliação (v_{ij}), por exemplo, fixados de 4 a 0, indicando se determinado requisito técnico é satisfeito de um modo ótimo ou insatisfatório, respectivamente, para cada solução alternativa gerada para o produto [5].

A tabela 2.1 apresenta o método da função critério, utilizado para selecionar a melhor alternativa conceitual do produto.

Tabela 2.1 - Tabela para avaliação da alternativa de concepção

Requisito Técnico	p_i	Parâmetro	Alternativa de Concepção 1			Alternativa de Concepção 2		
		k_{ij} (unid.)	k_{i1}	v_{i1}	$p_i v_{i1}$	k_{i2}	v_{i2}	$p_i v_{i2}$
Peso do motor	0,15	kg	0,5	4	0,6	0,7	2	0,3
Velocidade	0,20	m/s	0,3	4	0,8	1,5	2	0,4
....								
....								
	Σp_i				$\Sigma p_i v_{i1}$			$\Sigma p_i v_{i2}$

Na sequência, são determinados os produtos ($p_i \cdot v_{ij}$) para todos os critérios e alternativas de concepção, e calculado o valor da função critério, ou seja:

$$F_j = \sum_{i=1}^n p_i \cdot v_{ij} \quad (2.1)$$

no qual n é o número de critérios parciais e j indica a j -ésima alternativa de concepção. Estes valores podem ser comparados entre as diversas alternativas e o maior valor representa a melhor solução conceitual para o projeto do produto.

A seleção da melhor alternativa de concepção sob o ponto de vista econômico busca determinar qual alternativa está de acordo com um determinado custo-meta do

produto. Para isto, torna-se necessário estimar os seus custos. Um inadequado estudo de viabilidade econômica das alternativas pode levar a um produto cujos custos de ciclo de vida são elevados, causando prejuízos para a empresa que o produz.

CORRYEL [23] analisa os custos do produto na etapa de seleção das alternativas de concepção e projeto preliminar do produto, conforme mostra a figura 2.6.

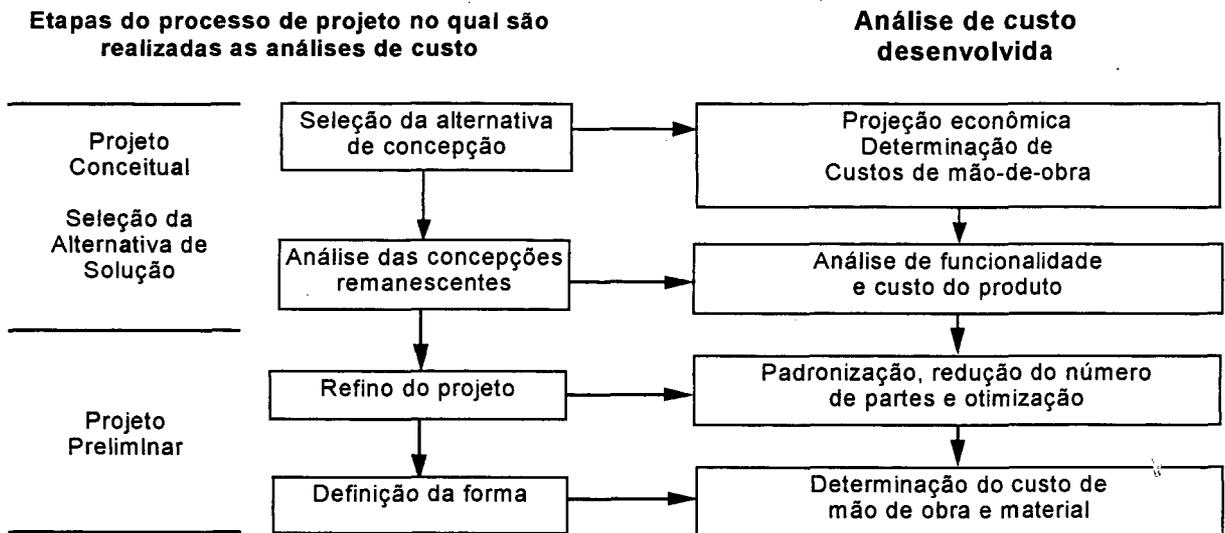


Figura 2.6 - Abordagem de custo de CORRYEL.

Na primeira análise de custos são avaliados os custos de mão-de-obra direta das alternativas de concepção, assim como, seus avanços tecnológicos e obsolescência técnica, através da comparação com produtos concorrentes. Nesta primeira análise, as concepções não adequadas são descartadas e as remanescentes são refinadas. Deve-se salientar que a análise de custo de mão-de-obra direta nesta etapa do processo de projeto é complicada, uma vez que faltam elementos e informações suficientes para sua correta estimativa [23].

Em uma segunda análise realizada nas concepções remanescentes, são avaliados aspectos relacionados ao custo e a funcionalidade das alternativas. Desta forma, as funções desnecessárias para que o produto execute a sua tarefa são eliminadas, e, conseqüentemente, os custos do produto são reduzidos. É importante observar que o autor menciona o relacionamento entre o custo e função, entretanto, não apresenta como esta relação é desenvolvida [23].

As demais análises de custos realizada por CORRYEL [23] serão apresentadas na próxima etapa do processo de projeto.

ULLMAN [111] coloca que na seleção das alternativas de concepção, a incompatibilidade entre os materiais selecionados e os processos de manufatura devem ser observados.

Deve-se ressaltar que esta análise requer que detalhes e informações sobre as alternativas estejam disponíveis, o que é possível, somente, através da execução do “*Firm-up*” conforme colocado por PAHL e BEITZ [82].

Segundo BLANCHARD e FABRYCKY [16], a análise de custo realizada nesta etapa é um processo iterativo de alocação e otimização do custo-meta, determinado no início do processo de projeto, às demais partes e sub-sistemas que compõem o produto. Os autores colocam que os custos do produto devem ser analisados, modelados e avaliados, com o objetivo de determinar qual concepção está de acordo com o custo-meta e avaliar qual delas, entre as várias candidatas, é a melhor em termos de efetividade de custos.

Como pode ser observado, as metodologias destacam a necessidade da estimativa de custo das alternativas de concepção, entretanto, apresentam apenas recomendações superficiais sobre como a mesma deve ser executada.

Da análise do processo de seleção da alternativa de concepção do produto concluí-se a necessidade da existência de um maior número de informações sobre as mesmas, para que a estimativa de seus custos possa ser realizada com maior precisão e a seleção feita com base em dados mais concretos, portanto, de forma mais objetiva.

PAHL e BEITZ [82] apresentam vários métodos de estimativa de custos que possibilitam a partir das informações disponíveis no processo de projeto calcular os custos do produto. Estes serão apresentados no capítulo V desta dissertação.

A metodologia de estimativa de custos a ser apresentada no capítulo VIII sugere alguns procedimentos para estimar e avaliar os custos das alternativas de concepção e, assim, poder realizar a seleção da melhor alternativa.

Nesta última etapa do projeto conceitual, é obtida uma concepção do produto, que será desenvolvida detalhadamente nas próximas etapas do processo de desenvolvimento do produto - projeto preliminar e projeto detalhado.

A figura 2.7 apresenta uma síntese do estudo das metodologias de projeto e da análise crítica da etapa de projeto conceitual sob o ponto de vista de custo.

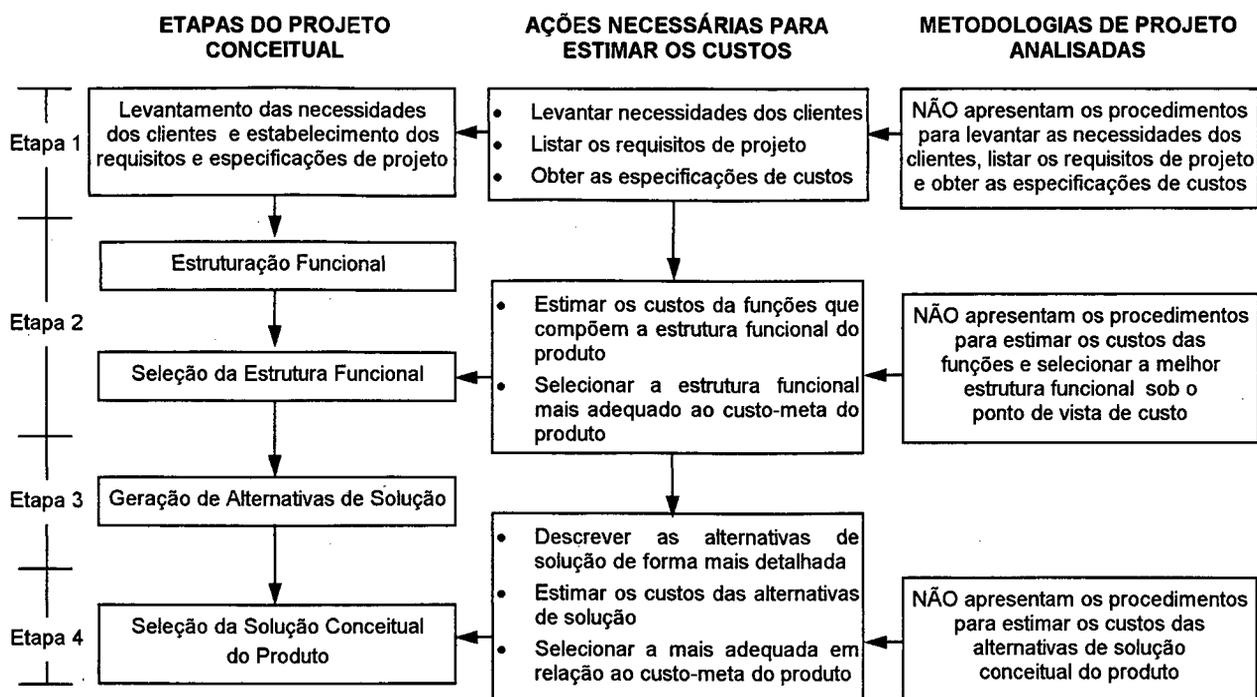


Figura 2.7 - Análise do projeto conceitual sob o ponto de vista de estimativa de custos

A terceira fase do processo de desenvolvimento de produto, **projeto preliminar**, visa, a partir da alternativa de concepção selecionada anteriormente, gerar concepções preliminares, procurando dar forma e dimensões à concepção desenvolvida com o intuito de testar a sua compatibilidade espacial. Posteriormente, esta concepção será, novamente, avaliada técnica e economicamente. O resultado desta fase é um projeto preliminar do produto, com a exposição de cálculos e desenhos em escala [82].

Nesta fase, serão definidas as configurações de cada alternativa de concepção, procurando definir seus materiais e processos de fabricação, definir suas medidas básicas, testar a sua compatibilidade espacial e, ainda, procurar soluções para eventuais funções parciais que somente então se tornem evidentes. Além disso, será definida a configuração final do produto sob ponto de vista de segurança, de ergonomia, de fabricação, de montagem, de utilização e de despesas [76].

CORRYEL [23], conforme colocado na figura 2.6, coloca que uma análise de custos do produto deve ser realizada nesta fase, procurando reduzir o número de partes do produto e padronizar os componentes e otimização.

A VDI 2221 [76] coloca que deve ser avaliado o custo total do produto.

A quarta fase do processo de desenvolvimento de produto, **projeto detalhado**, fornece as determinações definitivas para a disposição de elementos, formas, medidas,

acabamento superficial e especificação de material. São elaborados os documentos definitivos para a realização física da alternativa de solução selecionada, tais como forma de desenhos de partes, lista de peças, instruções para fixação, montagem, testes, embalagem, transporte, instruções para uso e descarte [82].

CORRYEL [23] apresenta a necessidade da realização de uma última análise de custo nesta etapa quando o produto está praticamente desenvolvido na etapa de construção do modelo e protótipos, sendo avaliados os custos de produção do mesmo.

Do mesmo modo, BLANCHARD e FABRYCKY [16], descrevem que nesta fase com o protótipo do produto, as especificações de projeto e os dados do projeto definidos deve ser realizada uma análise dos custos, envolvendo a estimativa e a avaliação relativas ao ciclo de vida do produto.

Finalmente, com o produto desenvolvido, na fase de produção, construção e uso do mesmo, os seus custos devem ser novamente coletados, analisados e registrados. Estas informações tem o objetivo de formar uma base de dados para futuras aplicações na otimização do produto desenvolvido e no projeto de novos produtos [11] [111].

É importante ressaltar que nestas duas últimas fases do processo de projeto, com o produto praticamente desenvolvido, o potencial de redução de seus custos é pequeno, pois suas principais características foram definidas anteriormente.

Observando as metodologias citadas anteriormente e estudando o enfoque dado a custos, nota-se de uma forma geral que os autores enfatizam a necessidade da avaliação econômica do produto através da estimativa de seus custos durante o processo de projeto, entretanto, não descrevem o modo no qual esta avaliação deve ser realizada, sendo apresentadas apenas recomendações superficiais para obter-se um produto a um custo mais baixo.

Por exemplo, CORRYEL [23] coloca que devem ser analisados aspectos relacionados à funcionalidade e ao custo do produto, mas não apresenta como o mesmo deve ser feito. Do mesmo modo, segundo BLANCHARD e FABRYCKY [16], a análise de custo durante as diversas fases do processo de projeto deve ser um processo iterativo, no qual os resultados encontrados nas etapas posteriores são comparados com as estimativas iniciais.

Ainda, os autores desenvolveram uma estrutura de desdobramento de custos, apresentada no quarto capítulo, na qual os custos do produto são divididos em custos de pesquisa, produção, construção, operação, manutenção, retirada e descarte.

ULLMAN [111] destaca que uma das mais importantes atividades e mais difíceis tarefas do processo de projeto é estimar os custos de produção ainda na etapa de projeto.

Neste capítulo foram apresentadas as etapas do processo de projeto e desenvolvida uma análise crítica das mesmas sob o ponto de vista de estimativa de custos. Este estudo objetiva mostrar a falta de metodologias de projeto que forneçam suporte a estimativa de custos do produto no processo de projeto, principalmente na etapa conceitual e, ao mesmo tempo, destacar a necessidade e a potencialidade para o desenvolvimento de estudos na área.

2.3 - Conclusão

Através do estudo das metodologias de projeto, pode ser observado que:

- A estimativa de custos de produtos na fase conceitual de projeto é de fundamental importância para a obtenção de um produto de sucesso, e conseqüentemente, aumentar a competitividade de uma empresa.
- A fase de projeto conceitual é aquela que apresenta o maior potencial de redução de custos, entretanto, é também aquela onde as informações sobre aspectos relacionados aos processos de estimativa de custos de produtos são as mais abstratas possíveis, e, em decorrência disto, tem-se uma estimativa de custos menos exata. Deste modo, o desenvolvimento de uma metodologia adequada, que possibilite a avaliação e a estimativa de custos, nesta fase do processo de projeto, é de fundamental importância para as empresas.
- Os trabalhos apresentados na literatura enfatizam a necessidade da avaliação do custo do produto durante o processo de projeto, entretanto, não colocam “como” a mesma deve ser realizada.
- Embora as metodologias de projeto apresentem o desenvolvimento de um produto de forma sistemática e organizada, o mesmo não ocorre com relação as informações sobre custos que, em muitos casos, são apresentados de forma abstrata e superficial.
- Para selecionar a melhor estrutura funcional e alternativa de concepção do produto é importante que haja a preparação das informações de custos, para que estes

possam ser estimados. Para isto é necessário levantar as necessidades dos clientes, estabelecer os requisitos e as especificações de custos do produto de modo orientado. As especificações de custos são os valores dos custos do produto durante as diversas etapas do seu ciclo de vida.

- Na fase de projeto conceitual, as informações necessárias à estimativa de custos de produtos não estão disponíveis diretamente, uma vez que, o tipo de material, as dimensões básicas, a potência de um motor, não estão especificados, existindo apenas uma noção de sua grandeza.

- A seleção da mais adequada estrutura funcional em relação a um determinado custo-meta requer a avaliação e a estimativa dos seus custos. Do mesmo modo, a seleção da mais adequada alternativa de concepção do produto requer a estimativa e a avaliação dos custos dos princípios de solução. A metodologia proposta e apresentada no capítulo VIII mostra os procedimentos para estimar estes custos.

- No caso de reprojeção ou projeto por evolução, quando as modificações de componentes não são muitas, estimativas de custo podem ser feitas com razoável precisão, pois os custos atuais são conhecidos. Entretanto, no projeto por inovação, a estimativa de custos é realizada sem conhecimento prévio dos mesmos [57].

PROCESSO DE ESTIMATIVA DE CUSTOS

3.1 - Introdução

STEWART [105] coloca que existem cinco elementos básicos, necessários ao desenvolvimento e proposição de uma metodologia de estimativa de custo. São eles:

i) **Equipe de estimadores de custos** - deve possuir um coordenador, responsável pelo planejamento, organização das tarefas do processo de estimativa de custo. O coordenador deve possuir experiência no processo de estimativa de custos e, ao mesmo tempo, ter conhecimento geral sobre o produto a ser projetado. Esta pessoa, não necessita possuir conhecimento específico sobre os processos produtivos da empresa, uma vez que a estimativa do custo do produto pode ser realizada com apoio de especialistas, que fornecem os dados e as informações necessárias. O número e o perfil das pessoas envolvidas no processo dependerá do tipo e da complexidade do produto a ser projetado. Deve-se ressaltar que, as práticas atuais de projeto, principalmente, a engenharia simultânea, enfatizam a necessidade do desenvolvimento de ambientes multidisciplinares de trabalho, no qual pessoas de diversos setores da empresa estão envolvidas nas atividades. Deste modo, as mesmas práticas devem ser aplicadas no processo de estimativa de custo [105];

ii) **Processo de estimativa de custos adequado** - para que a equipe de estimadores de custo possa executar as suas atividades. Muitas metodologias tem falhado porque foram realizadas desorganizadamente, gerando resultados imprecisos e inaceitáveis [105];

iii) **Conhecimento e informações sobre projeto, processo, produto ou serviço** - pode ser provido a partir da utilização de manuais, catálogos e com base na experiência dos especialistas envolvidos no processo de estimativa de custos [105];

iv) **Capacidade computacional** - embora os custos do produto possam ser estimados manualmente, a automatização deste processo é fundamental. A utilização

de sistemas computacionais tem a vantagem de possibilitar uma estimativa de custo que gere resultados de modo mais rápido e preciso [105] e

v) **Capacidade de obter e registrar informações fidedignas** - todos os processos administrativos e produtivos de uma empresa devem ser documentados, a fim de criar dados históricos facilitando a estimativa de custos de projetos futuros [105].

Neste capítulo, é desenvolvido um estudo sobre o processo de estimativa de custos com destaque às suas características, aos conceitos ou definições de custos e aos custos determinados durante o projeto do produto.

3.2 - Conceitos Fundamentais de Custos

Os conceitos fundamentais de custos são definições de custos apresentadas com o intuito de facilitar e familiarizar a proposição e o entendimento das informações relativas ao processo de estimativa de custos.

A literatura não apresenta um conceito universalmente aceito para a palavra custo. Mesmo assim, é preciso defini-la. KOPITTKKE [59] define custo como sendo o valor dos bens e serviços consumidos na produção de outros bens e serviços.

Segundo KOPITTKKE [59], através do estudo da literatura pode-se observar uma classificação dos conceitos fundamentais de custos em quatro grupos. São eles:

1. **Grau de Média**: de acordo com a quantidade de produtos relacionados a um determinado custo, são definidos os seguintes custos:

- **Custo Total**: é o valor dos esforços (bens e/ou serviços) consumidos para fabricar um conjunto de unidades do produto.

- **Custo Unitário**: é o valor dos esforços (bens e/ou serviços) consumidos para fabricar uma unidade do produto. Este custo é obtido pela divisão do custo total pelo número de unidades produzidas em um determinado período.

2. **Critério de Proporcionalidade com a Quantidade Produzida**: os custos são classificados de acordo com o seu comportamento, em face de diferentes volumes de produção [81]. Os custos são definidos em função das variações que podem ocorrer, de acordo com a quantidade de peças produzidas pela empresa. São eles:

- **Custo Variável:** é aquele que é constante por unidade produzida, mas que varia no seu total, em forma proporcional às variações no volume de atividades. Exemplos: custo de matéria-prima, custo de fabricação e outros.

- **Custo Fixo:** é aquele que permanece constante e indiferente, no curto prazo, aos diferentes volumes de unidades produzidas. Em valores unitários por produto, o custo fixo varia de maneira inversa ao volume de produção. Ex: salário de gerentes, IPTU e outros.

- **Custo Semi-Fixo:** é aquele que, no seu total, varia de acordo com as oscilações no volume de atividade de forma não proporcional.

3. Facilidade de Atribuição: são classificados considerando se um determinado custo pertence ao produto ou não.

- **Custo Direto:** é aquele que é facilmente atribuível a um determinado produto. Por exemplo, custo de matéria-prima, usinagem de um componente e outros.

- **Custo Indireto:** é aquele que não é atribuído diretamente a um determinado produto. Como exemplos, tem-se custo de armazenagem, iluminação, entre outros.

4. Momento do Cálculo: são classificados de acordo com o momento de sua contabilidade ou cálculo.

- **Custo Histórico:** É aquele calculado após ter ocorrido, ou seja, quando um determinado recurso foi consumido. Tem por objetivo avaliar inventários, os produtos fabricados, os produtos vendidos e apurar o resultado obtido pela empresa num determinado período.

- **Custo Pré-determinado:** É determinado antes da sua ocorrência e tem por objetivo auxiliar a administração no planejamento e controle das atividades empresariais. São custos estimados.

Além destes, é importante descrever o conceito de:

• **Custos de Overhead:** São os custos que incluem todos os custos indiretos alocados na manufatura, diferentes dos custos com mão-de-obra direta e os custos com matéria-prima. Alguns exemplos são os custos de mão-de-obra indireta, controle de qualidade, movimentação, armazenagem, manutenção, despesas administrativas, depreciação de equipamentos, energia, custos com administração de material e outros.

Os conceitos apresentados anteriormente são importantes para fins didáticos e facilitam o entendimento prático dos mesmos. Entretanto, com relação ao processo de desenvolvimento de produto deve-se ter em mente ainda os seguintes conceitos:

- **Custo da Unidade de Aquisição ou Custo de Aquisição:** é o custo unitário do produto dado pela soma dos custos de pesquisa, desenvolvimento, produção e construção [16].

- **Custo da Unidade de Utilização ou Custo de Utilização:** é o custo unitário do produto dado pela soma dos custos de operação, manutenção, retirada e descarte [16].

- **Custo do Ciclo de Vida do Produto:** é o custo unitário do produto durante todas as etapas do ciclo de vida do produto, ou seja, é a soma dos custos de projeto, produção, construção, operação, manutenção, retirada e descarte do produto. Compreende o custo unitário de aquisição e utilização do produto.

- **Custo - Meta:** é o valor do custo do ciclo de vida do produto determinado no início do processo de projeto. Por exemplo: o custo meta de um produto hipotético é igual a 500 Unidades Monetárias. Neste caso, as decisões tomadas, durante o processo de desenvolvimento de produto, devem buscar soluções de projeto para que o custo do produto durante as etapas do seu ciclo de vida, não seja maior que 500 Unidades Monetárias.

Em muitos casos, devido à complexidade do produto a ser projetado e à falta de conhecimento do comportamento do produto nas diversas etapas do seu ciclo de vida, o custo-meta pode ser dado somente pelo seu custo de aquisição.

Ainda, com relação ao processo de desenvolvimento de projeto e de estimativa de custo são definidos os seguintes conceitos, a fim de facilitar a compreensão do trabalho que segue. A relação entre estes conceitos será apresentada no item 3.4.

- **Estrutura de desdobramento de custo** - é uma estrutura que apresenta o custo do ciclo de vida do produto dividido, desdobrado em outros menores, fornecendo uma visão global de quais departamentos e atividades de uma empresa e quais componentes e funções do produto influenciam o seu custo;

- **Métodos de estimativa de custo** - são ferramentas matemáticas e de projeto que possibilitam estimar o custo do produto, a partir das informações disponíveis sobre o mesmo durante o seu projeto.

• **Sistema de gerenciamento de custo** - é um sistema de informações gerenciais, que possibilita à administração, à contabilidade, o controle e à execução das atividades administrativas e produtivas da empresa que geram custo ao produto.

A seguir, é demonstrada a precisão na estimativa de custos de acordo com a etapa do processo de projeto e o processo de estimativa de custos.

3.3 - Precisão do Processo de Estimativa de Custos

À medida que cada etapa do processo de projeto é desenvolvida, é possível ir conhecendo as peculiaridades do produto, dos processos e das operações necessárias à fabricação do mesmo [91].

Todo processo de estimativa de custos está sujeito a uma margem de erro provável e associável às estimativas. As referências [21] e [27], apresentam na tabela 3.1, o resultado de um estudo sobre o erro no processo de estimativa de custos, de acordo com a fase de desenvolvimento de produto, segundo critérios da Associação Americana de Engenheiros de Custos.

Tabela 3.1 - Erro no processo de estimativa de custos conforme a etapa do processo de desenvolvimento de produto, segundo a Associação Americana de Engenharia de Custos [27].

Etapa do Processo de Projeto		Grau de Detalhamento e Especificação	Erro (%)
Planejamento do Produto	Etapas iniciais do planejamento	Relação de magnitude	± 40
	Ordem de desenvolvimento		± 30
Desenvolvimento de Produto	Clarificação da tarefa		
	Concepção	Esboços preliminares de componentes, processo e equipamentos	± 20
	Projeto preliminar	Fluxo de processo, detalhe de equipamentos e componentes	± 10
	Projeto detalhado	Dados definidos	± 5

Como pode ser observado, os valores elevados de erros para as etapas iniciais do processo de projeto, decorrem do alto nível de abstração das informações sobre o produto e da falta de ferramentas existentes para avaliação de custos nestas etapas, conforme apresentado no capítulo anterior. Mesmo durante a etapa de concepção ou projeto conceitual, um erro percentual de 20 % pode ser considerado alto, uma vez que pode levar a resultados de custos imprecisos. Embora a etapa de projeto conceitual dentre as demais, apresente o maior potencial de redução de custos, a tarefa de estimativa de custo é complexa, em decorrência da dificuldade de obtenção de dados sobre as características do produto. Deste modo, é importante o desenvolvimento de meios que possibilitem uma estimativa de custos na etapa de projeto conceitual.

ULLMAN [111] coloca que a estimativa de custo nas etapas iniciais do processo de projeto deve possuir uma precisão suficiente, para que as decisões, sobre quais alternativas de projeto devam ser eliminadas e quais devam ser refinadas, sejam tomadas coerentemente.

Devido ao acirrado nível de competitividade a que as empresas expõem os seus produtos, as exigências dos consumidores por produtos mais baratos e a necessidade de obtenção de lucros maiores, torna-se necessário o desenvolvimento de metodologias de estimativa de custos, a fim de que os valores de erros associados ao processo de estimativa de custos sejam minimizados.

O enfoque dado pelas metodologias de estimativa de custos no projeto conceitual, em muitos casos, superficial, contribui para estes valores elevados e, ao mesmo tempo, incentiva o desenvolvimento de trabalhos na área.

3.4 - Processo de Estimativa de Custos

Segundo BOCK e BOCK [17], o processo de estimativa de custos desdobra-se em duas tarefas. São elas:

- Preparação de informações sobre custos do produto e
- Estimativa e cálculo de custos do produto.

Na primeira tarefa, são fornecidos dados sob a forma de valores de custo ou de custo relativo e informações sobre os fatores que determinam e afetam o custo do produto. As estruturas de desdobramento de custos apresentadas no próximo capítulo e os sistemas de gerenciamento de custo fornecem suporte à realização desta tarefa.

Na segunda tarefa, é realizada a estimativa e o cálculo dos custos, através da utilização dos métodos de estimativa de custos [17] apresentados no capítulo V. Os métodos são empregados para estimar e determinar os custos de produtos a partir de informações disponíveis nas etapas iniciais de projeto.

STEWART [105] apresenta, na figura 3.1, um modelo de estimativa de custos, determinado a partir da estimativa do tempo necessário à fabricação do produto e na quantidade de material necessária à sua concepção.

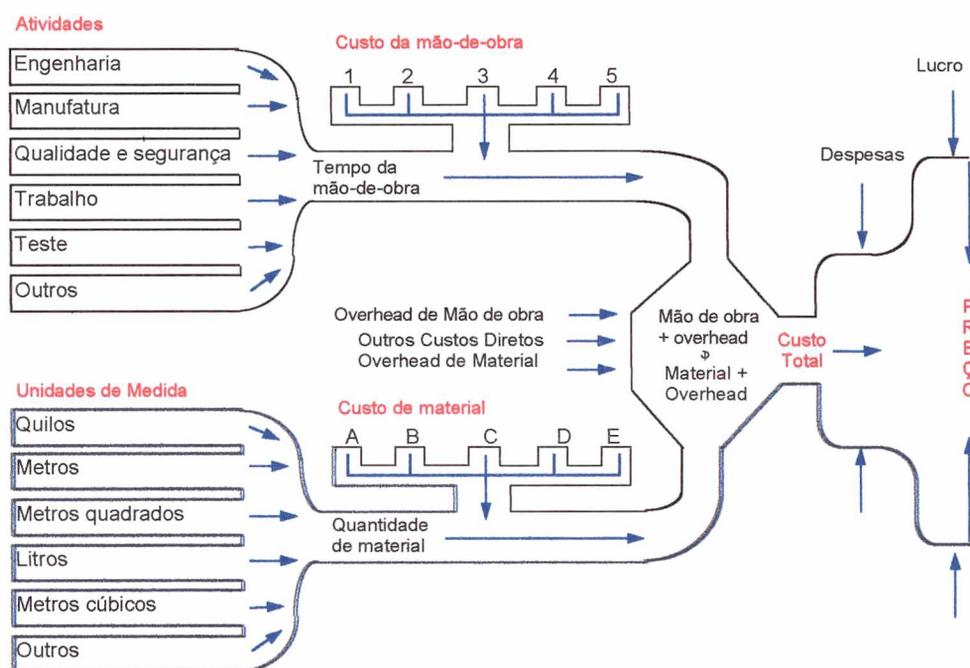


Figura 3.1 - Anatomia do Processo de Estimativa de Custo [105].

No modelo de STEWART [105], o custo total do produto é dado pela soma de custo de material, de mão-de-obra, seus respectivos custos de *overheads*, além de outros custos diretos. Pode ser observado que o preço do produto é dado pela soma, ainda, das despesas gerais e do lucro necessário.

Por sua vez, o custo de material é obtido através da estimativa da quantidade de material necessária à fabricação do produto associada ao seu custo unitário. Do mesmo modo, o custo de mão-de-obra é dado pelo cálculo do tempo de mão-de-obra necessário à fabricação do produto associado a seu custo de hora de mão-de-obra, de cada processo produtivo.

Analisando o modelo proposto por STEWART [105], observa-se que a estimativa de custos dos produtos é fundamentada, basicamente, nos custos de mão-de-obra e material, constituindo, morfologicamente, um modelo simples e objetivo.

Entretanto, a utilização deste modelo para estimativa de custos de produtos nos quais o custo de material não tem grande influência sobre o custo total pode levar a resultados imprecisos. Tal fato ocorre, por exemplo, para os produtos que possuem grande tecnologia envolvida, tais como, computadores, telefones celulares, entre outros.

A aplicação do modelo proposto na fase de projeto conceitual é complicada e imprecisa. Tal fato deve-se à dificuldade em se estimar a quantidade de material e tempo necessários a produção do produto, ainda durante o seu processo de projeto. Além disto, o modelo não apresenta relação com o processo de projeto, assim como, não enfoca os aspectos relacionados às tomadas de decisões com relação à seleção da estrutura funcional e alternativa de concepção do produto.

Deste modo, objetivando a proposição de uma metodologia de estimativa de custo que possua relação com o processo de projeto é proposta a figura 3.2. Esta relação é estabelecida através da utilização dos conceitos e das informações provenientes dos sistemas de gerenciamento de custos, das estruturas de desdobramento e dos métodos de estimativa de custo.

As estruturas de desdobramento de custo são empregadas na etapa de levantamento das necessidades dos clientes, no estabelecimento dos requisitos e das especificações de projeto, uma vez que fornecem informações sobre os diversos fatores e custos que afetam o custo do ciclo de vida do produto.

Os sistemas de gerenciamento de custo são utilizados como base de dados e informações de entrada para as estruturas de desdobramento de custo fornecendo informações sobre a contribuição de um determinado custo na composição do custo do ciclo de vida do produto.

Os métodos de estimativa utilizam as informações provenientes do processo de projeto e dos sistemas de gerenciamento de custos. Como será apresentado no próximo capítulo, estes métodos podem ser classificados de acordo com a natureza das informações envolvidas na estimativa, em dois grupos [15]:

- Métodos baseados nas funções que compõem a estrutura funcional do produto e
- Métodos baseados nas características dos princípios de solução e componentes físicos do produto.

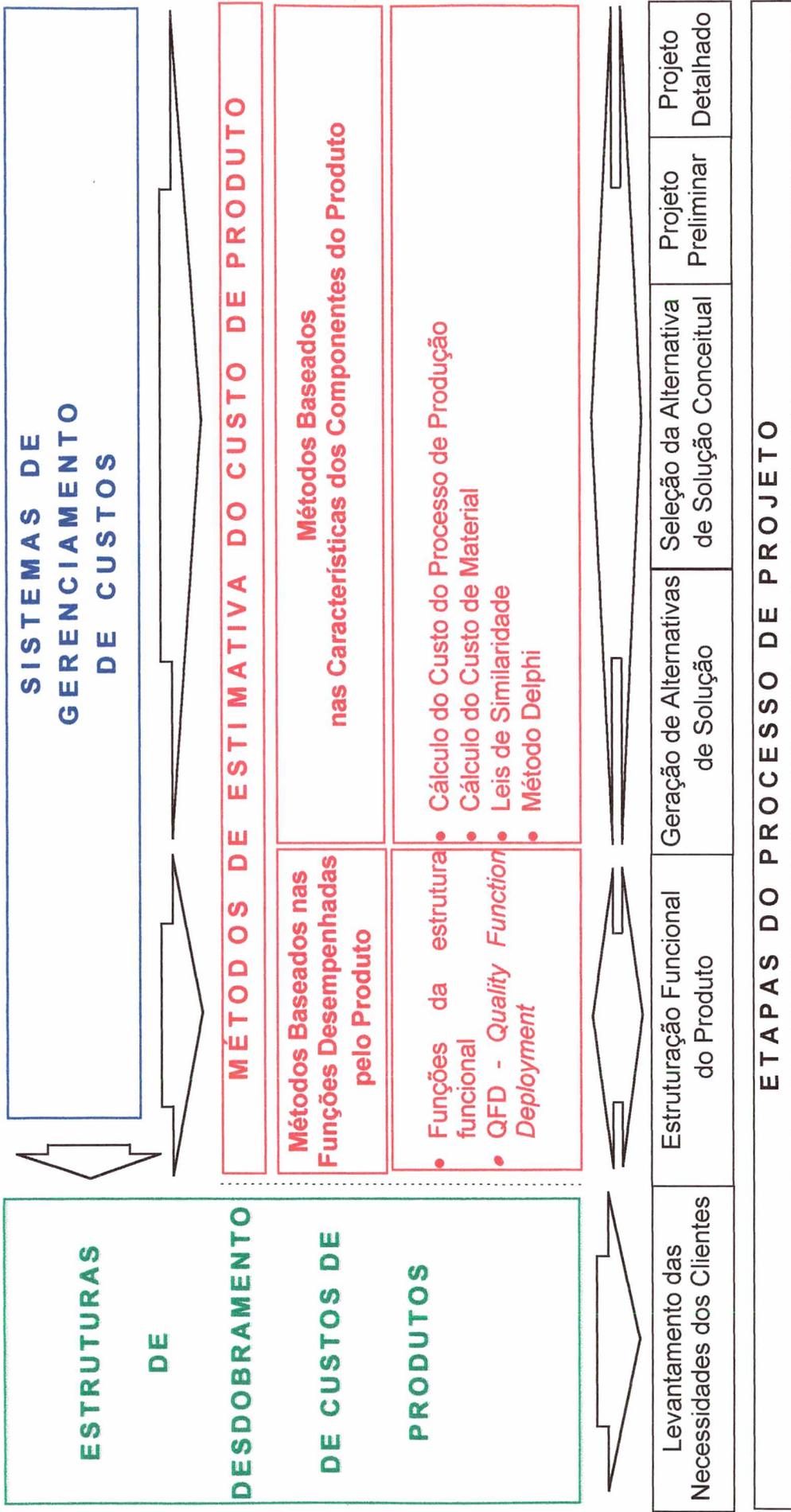


Figura 3.2 - Relação entre as estruturas de desdobramentos de custos, métodos de estimativa, sistema de gerenciamento e as fases do processo de desenvolvimento do produto.

Conforme apresentado na figura 3.2, os métodos de estimativa de custos baseados nas funções desempenhadas pelo produto são mais propícios a serem empregados no início do projeto conceitual, quando da estruturação funcional e seleção da estrutura de funções do produto. Por outro lado, os métodos de estimativa de custos baseados nos componentes do produto são mais convenientes a serem utilizados no final do projeto conceitual, quando da seleção da melhor alternativa de solução do produto sob o ponto de vista de custo. Ainda, estes métodos podem ser utilizados nas etapas de projeto preliminar e detalhado, possibilitando a obtenção de resultados de custo mais precisos.

Do mesmo modo, os sistemas de gerenciamento de custo são utilizados como base de entrada para os métodos de estimativa baseados nas funções desempenhadas pelo produto fornecendo informações sobre os requisitos e as especificações de custo e para os métodos baseados nas características dos princípios de solução e componentes do produto.

A figura 3.2 constitui a base para a proposição da metodologia de estimativa de custo do produto.

3.5 - Os Custos e o Processo de Projeto

Vários são os componentes de custo do ciclo de vida do produto, assim como diversos são os fatores que o influenciam. Esta influência é oriunda, principalmente, de decisões tomadas durante o processo de projeto e, também, de decisões administrativas.

A figura 3.3 mostra os custos afetados por decisões administrativas e de projeto.

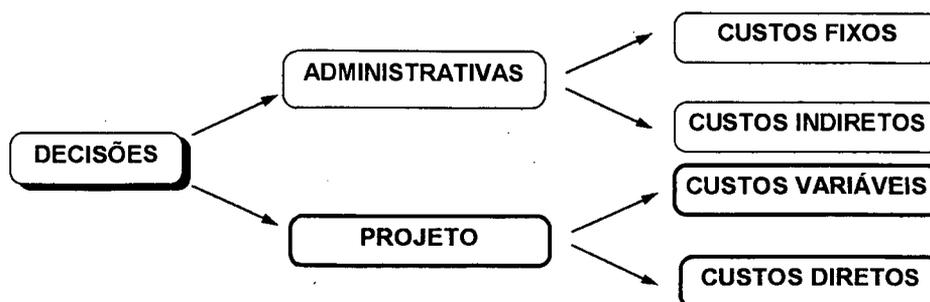


Figura 3.3 - Influência das decisões nos custos do produto

As decisões administrativas estão relacionadas ao modo de condução dos processos administrativos da empresa e influenciam os custos indiretos do produto, composto por aqueles custos que não estão relacionados ao produto [105], tais como: custo de movimentação, armazenagem, despesas administrativas, depreciação de equipamentos, energia, administração de material e outros. Ainda, estas decisões afetam os custos fixos, tais como, salários, aluguel de espaço, entre outros.

As decisões tomadas durante o processo de desenvolvimento do produto, na etapa conceitual, ocorrem quando da obtenção dos requisitos e das especificações de projeto, seleção da estrutura funcional e da alternativa de concepção do produto. Sob o ponto de vista econômico, estas decisões afetam o desempenho econômico do produto durante as diversas etapas do seu ciclo de vida e determinam os custos diretos do mesmo, que englobam os custos de projeto, produção, construção, operação, manutenção, retirada e descarte do produto, conforme mostra a figura 3.4 [61].

Do mesmo modo, sob o ponto de vista técnico, as decisões tomadas durante o processo de projeto afetam o desempenho do produto durante as diversas etapas do seu ciclo de vida.

As decisões tomadas durante o projeto conceitual são fundamentais para que o produto esteja de acordo com o custo-meta, determinado no início do processo de projeto. Deste modo, se realizada com base em critérios puramente subjetivos, pode fazer com que o produto desenvolvido tenha um custo elevado, maior que o custo-meta e, portanto, inadequado.

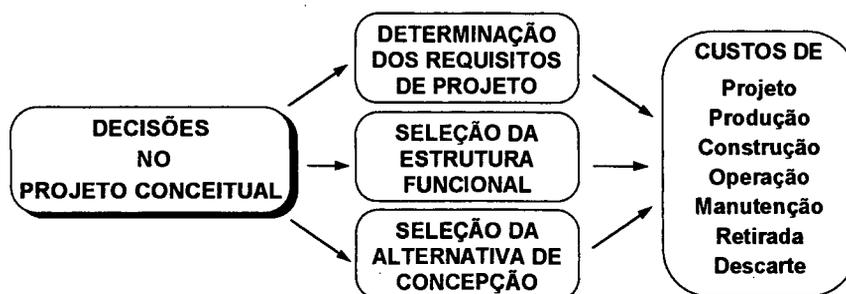


Figura 3.4 - Decisões no projeto conceitual e custos determinados pelas decisões

A metodologia proposta no capítulo VIII apresenta meios de avaliar e fornecer informações para que as decisões durante o projeto conceitual sejam tomadas com base em dados concretos, e para que os custos do produto possam ser estimados e avaliados e, assim, o produto desenvolvido esteja de acordo com o seu custo-meta.

3.6 - Conclusão

O processo de estimativa de custo está dividido em duas tarefas. São elas:

- A preparação das informações para a estimativa de custos; e
- O cálculo de custos do produto.

Como pode ser observado, diversos são os fatores que devem ser analisados para estimar o custo do produto, ou seja, deve ser avaliado o seu comportamento durante todas as etapas do seu ciclo de vida.

Desta forma, a estimativa de custos de produtos torna-se um processo complexo, principalmente, devido à falta de informações sobre os fatores que influenciam o custo do produto na etapa de projeto conceitual. Assim, o desenvolvimento de metodologias que facilitem a execução da estimativa de custos torna-se um processo ainda mais necessário.

O elevado valor do erro no processo de estimativa de custos de produto reflete esta dificuldade e a complexidade do processo de estimativa de custos. Deve ser, ainda, ressaltado o elevado erro percentual na fase de projeto conceitual, justamente a que apresenta maior potencial de redução de custos do produto e, aquela na qual as metodologias de projeto não apresentam detalhes de “como” deve ser realizada a avaliação e estimativa de custos.

Como as decisões administrativas não introduzem características no produto que determinem o seu custo, não serão abordadas nesta dissertação. Mesmo assim, deve-se salientar que, através destas decisões, é possível buscar reduções de custos, como, por exemplo, reduzindo a movimentação de material na fábrica, o consumo de energia e outras medidas administrativas.

Nesta dissertação, serão abordadas as decisões tomadas na fase de projeto conceitual para seleção da mais adequada estrutura funcional e alternativa de solução em relação a um determinado custo-meta. Deve-se ressaltar que estas decisões afetam os custos direto do produto [61].

CAPÍTULO IV

ESTRUTURAS DE DESDOBRAMENTO DE CUSTOS DE PRODUTOS

4.1 - Introdução

Na preparação de informações sobre os custos é importante que a equipe de projeto tenha um conhecimento das diversas áreas e fatores que afetam o custo do produto, de modo a estimá-lo, calculá-lo e minimizá-lo. Para isto, são apresentadas neste capítulo algumas propostas de estruturas de desdobramento de custos de produtos encontradas na literatura.

Estas estruturas fornecem uma visão global de quais departamentos e atividades da empresa e quais componentes e funções do produto influenciam o seu custo.

Ao final do capítulo, é proposta uma estrutura de desdobramento de custos com informações e características adequadas para serem utilizadas no projeto conceitual, a fim de facilitar e orientar o levantamento das necessidades dos clientes para, posteriormente, poder selecionar a melhor estrutura funcional e alternativa de concepção do produto em relação a um determinado custo-meta.

4.2 - Estruturas de Desdobramento de Custos

Segundo STEWART [105], a tarefa de preparação de informações sobre custos inicia-se com o desenvolvimento de uma estrutura, a ser utilizada na descrição e no gerenciamento dos fatores que geram custo no produto nas diversas etapas do seu ciclo de vida, denominada estrutura de desdobramento de custos.

Segundo o autor, os **objetivos** do desenvolvimento de uma estrutura de desdobramento de custos de produtos são:

- i) Decompor o custo total em custos mais simples, mais fáceis de serem identificados e estimados;
- ii) Assegurar que todos os custos existentes estão incluídos no custo total do produto;
- iii) Reduzir a possibilidade da existência de duplicação ou redundância de custos;
- iv) Dar uma visão global das atividades que geram custos e
- v) Prover uma base de comparação entre o custo atual do produto e o estimado.

SHELDON, *et all* [100] **classificam** as estruturas de desdobramento de custos de um produto nos seguintes grupos:

- i) Processo, baseado nas atividades da empresa que geram custo;
- ii) Físico, baseado nas características ou elementos do produto;
- iii) Funcional, de acordo com as funções desempenhadas pelo produto e
- iv) Organizacional, de acordo com os departamentos ou unidades da empresa.

A seguir, serão apresentadas algumas estruturas encontradas na literatura.

4.2.1 - Estruturas Baseadas em Processos da Empresa

Neste grupo, são apresentadas as estruturas que desdobram o custo do produto de acordo com as atividades dos processos produtivos e administrativos que geram custo no produto.

BACK [11] apresenta, na figura 4.1, uma estrutura proposta por PITTS [86], na qual o custo do produto é dividido, primeiramente, em custos diretos, indiretos e de transporte. Deve ser observado que esta classificação é conflitante, uma vez que os custos de transporte são colocados como sendo custos indiretos. A estrutura também aloca aos custos diretos os custos de espaço, quando deveriam estar alocados aos custos indiretos.

A estrutura proposta por PITTS [86] considera somente o custo de aquisição do produto, deixando de lado o custo de utilização, que engloba os custos de operação, manutenção, retirada e descarte do produto.

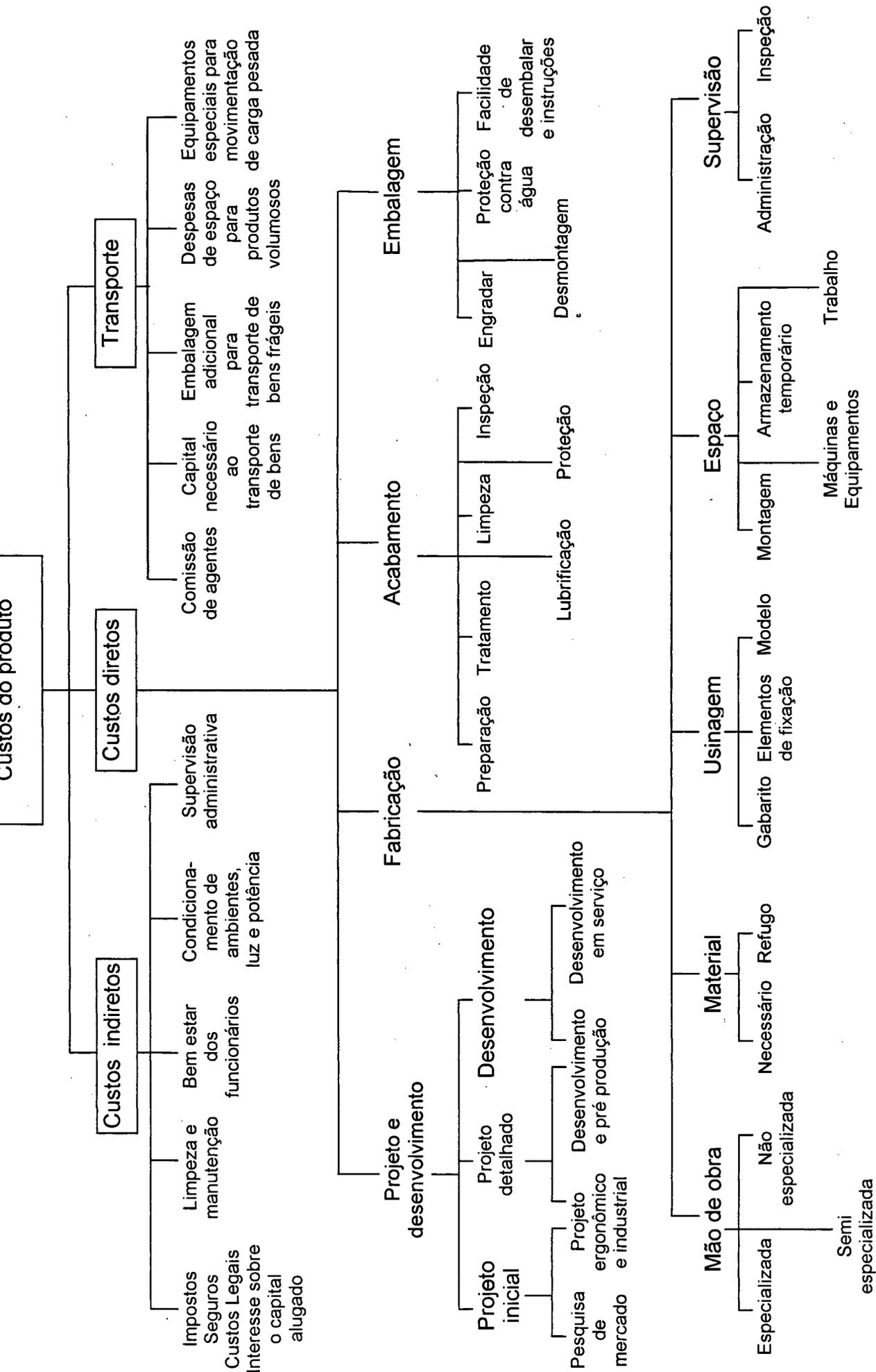


Figura 4.1 - Desdobramento de custos segundo PITTS [86].

A seguir, serão apresentadas outras estruturas, também baseadas em processos, que desdobram os custos do produto em custo de aquisição e de utilização.

PRIEST [88] apresenta na figura 4.2 uma estrutura proposta pelo Departamento de Defesa Americano [25].

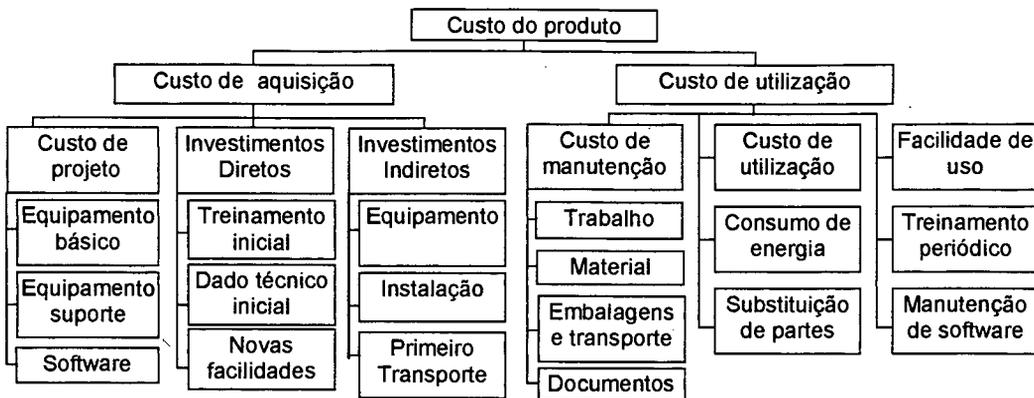


Figura 4.2 - Estrutura proposta pelo Departamento de Defesa Americano [25].

Nesta estrutura o custo do produto é desdobrado em custo de aquisição, e este em custo de projeto e investimentos, portanto, incompleta, uma vez que não são considerados os custos de matéria-prima, mão-de-obra, transporte, documentação, custos indiretos relacionados aos processos da empresa, além dos custos de retirada e descarte.

A estrutura elaborada por ALMEIDA e TOLEDO [5], apresentada na figura 4.3, é semelhante à proposta pelo Departamento de Defesa Americano, sendo o custo do produto desdobrado em:

- i) Custo de aquisição do produto, envolvendo o preço de compra, as taxas e impostos, custo de transporte, instalação e de garantia do produto;
- ii) Custo de operação, dado somente pelo custo de consumo de energia e custo de mão-de-obra e insumos;
- iii) Custo de manutenção e reparo do produto e
- iv) Custo de descarte, que envolve os custos de retirado produto de uso. Em alguns casos, o produto poderá ter um valor intrínseco no final de sua vida útil, tornando o descarte um valor positivo e não um custo.

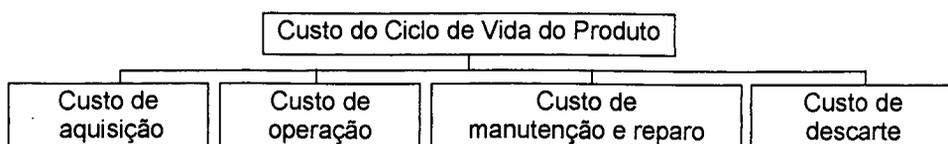


Figura 4.3 - Estrutura proposta por ALMEIDA e TOLEDO [5].

As abordagens anteriores diferem da utilizada por BLANCHARD e FABRYCKY [16], apresentada na figura 4.4, na qual o custo de aquisição é desdobrado em custo de projeto, desenvolvimento, produção e construção do produto e o custo de utilização é dado pela soma de custo de operação, manutenção, retirada e descarte.

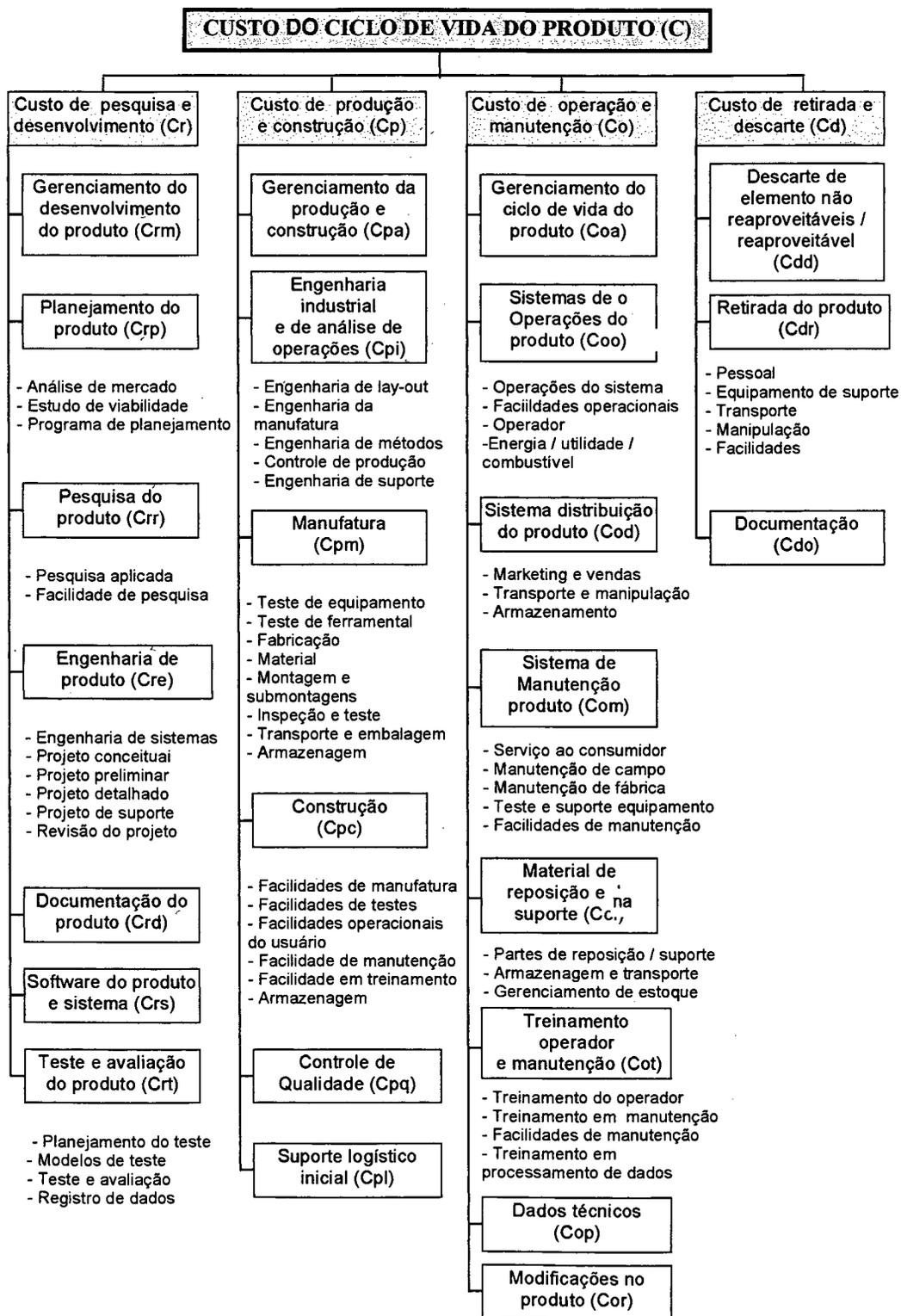


Figura 4.4 - Estrutura proposta por BLANCHARD e FABRYCKY [16].

Segundo os autores, esta forma de desdobrar os custos do produto facilita a avaliação, a alocação, o cálculo, a monitoração e o controle dos custos do produto.

Em sua estrutura de desdobramento de custos do produto, BLANCHARD e FABRYCKY [16] procuram relacionar todos os custos do ciclo de vida do mesmo, sendo assim, mais abrangentes em sua abordagem.

Para ilustrar a aplicação da estrutura de desdobramento de custos no processo de projeto, BLANCHARD e FABRYCKY [16] mostram, na tabela 4.1, um exemplo mostrando a contribuição percentual de cada custo, apresentado na figura 4.4, no custo do ciclo de vida de um produto hipotético.

Tabela 4.1 - Contribuição relativa dos custos [16].

Custos do ciclo de vida do produto	Custos relativo (%)
1- Pesquisa e desenvolvimento	10.3
a - Gerenciamento do sistema	1.5
b - Planejamento do produto	0.2
c - Pesquisa de produto	0.5
d - Engenharia de projeto	5.4
e - Documentação de projeto	0.8
f - Software do produto	0.7
g - Teste de produto e avaliação	1.2
2 - Custo de produção e construção	45.3
a - Gerenciamento de construção / produção	0.8
b - Engenharia industrial	1.1
c - Manufatura	35.4
d - Construção	5.3
e - Controle de qualidade	0.9
f - Suporte logístico inicial	1.8
3 - Custo de operação e manutenção	39.9
a - Gerenciamento do ciclo de vida do produto	1.5
b - Operações do produto	3.2
c - Distribuição do produto	8.8
d - Manutenção do produto	15.2
e - Inventário	4.7
f - Treinamento em operação e manutenção	5.6
g - Dados técnicos	0.9
h - Modificação do produto	-
4 - Custo de retirada e descarte	4.5
Total percentual	100

No exemplo, desenvolvido para um produto hipotético, é possível determinar quais custos tem maior contribuição na composição do custo total do produto e, assim, pode-se estimá-los com maior precisão e reduzi-los. Em muitos casos, nas empresas ou em dados encontrados na literatura, é possível ter uma noção preliminar da contribuição destes custos no custo do ciclo de vida do produto.

ULLMAN [111] apresenta uma estrutura desenvolvida tomando como base os processos de produção da empresa, conforme mostra a figura 4.5. Nesta estrutura estão apresentados os custos que compõem o preço de venda do produto. Estes custos são classificados em custo diretos e indiretos, facilitando assim, a sua visualização, estimativa e cálculo.

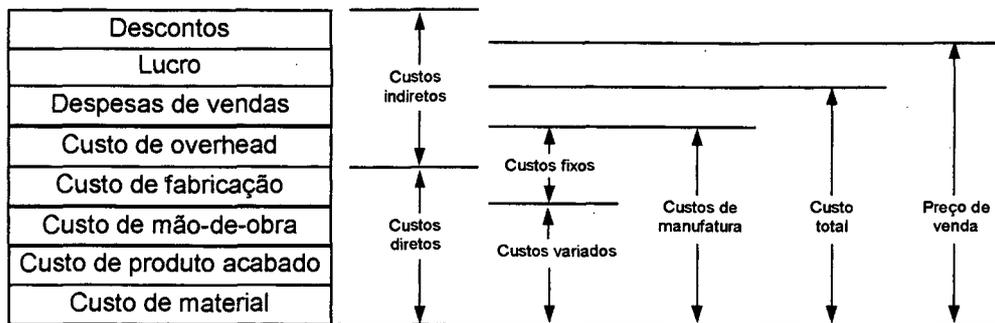


Figura 4.5 - Estrutura de desdobramento proposta por ULLMAN [111].

4.2.2 - Estruturas Baseadas em Características do Produto

As estruturas que desdobram os custos dos produtos de acordo com as características ou elementos constituintes do mesmo não foram desenvolvidas com a finalidade específica de ser uma estrutura de desdobramento de custos, entretanto, podem ser utilizadas com este objetivo, uma vez que são modelos de representação do produto. Para que estas estruturas possam ser empregadas no processo de desenvolvimento do produto é importante que o mesmo esteja mais detalhado.

HUBKA e EDER [47] apresentam várias maneiras de representar o produto, que diferem entre si apenas pelo tipo de informação considerada para descrevê-lo. Os modelos podem representar um sistema técnico em função do tipo de processo de fabricação, do grau de complexidade dos componentes, similaridade e tipo de material envolvido no processo de manufatura.

Analisando todas as possíveis representações apresentadas por HUBKA e EDER [47], a que apresenta maior compatibilidade com as informações necessárias e disponíveis na fase de projeto conceitual é a que sugere a classificação do produto de acordo com o seu grau de complexidade, conforme mostra a tabela 4.2. Assim, a partir desta descrição, pode ser proposta uma estrutura de desdobramento de custos, apresentada na figura 4.6.

Tabela 4.2 - Modelo proposto por HUBKA e EDER [47].

Nível de complexidade dos componentes	Sistema Técnico	Características
I (simples)	Parte, componente	Sistemas elementares produzidos sem a necessidade de operações de montagem
II	Grupo, mecanismo sub-montagens	Sistemas simples que podem desempenhar algumas funções básicas
III	Máquinas e dispositivos	Sistemas que consistem de sub-montagens e partes que realizam funções mais elaboradas
IV	Plantas, equipamentos Máquinas complexas	Sistemas e máquinas complexos que desempenham várias funções e constituem uma unidade funcional

Esta classificação é importante, uma vez que o grau de complexidade:

- é proporcional ao grau de dificuldade de obter princípios de solução que executem as funções da estrutura funcional do produto;
- promove orientação ao processo de projeto do produto, indicando níveis de especialização e conhecimento das atividades relacionadas ao processo de projeto, uma vez que o trabalho com produtos mais complexos exige um maior nível de conhecimento para a estimativa de seus custos; e
- possibilita uma classificação dos níveis de custos do produto, uma vez que os componentes mais complexos são geralmente mais caros, ao passo que produtos padronizados e básicos possuem custos mais baixos.

A figura 4.6 apresenta uma estrutura de desdobramento de custos proposta a partir do modelo desenvolvido por HUBKA e EDER [47].

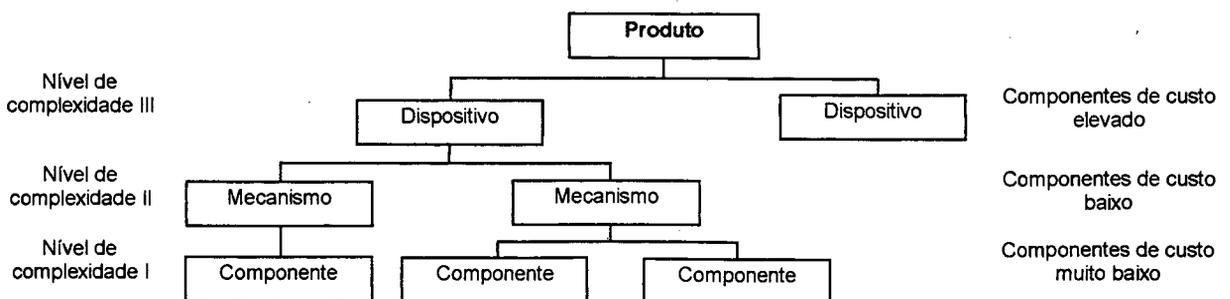


Figura 4.6 - Estrutura proposta a partir do modelo de HUBKA e EDER [47].

Outra estrutura é apresentada pelo International Cold Forging Group (I.C.F.G.) [51] que sugere a classificação do produto nas seguintes categorias.

- Componentes básicos, utilizados em vários tipos de equipamentos e sub-sistemas. Apresentam custos mais baixos;
- Componentes de configuração, utilizados para dar forma e caracterizar o produto. Apresentam custos de nível baixo; e

iii) Componentes específicos, que, conforme o próprio nome diz, são próprios de determinados equipamentos. Apresentam custos elevados.

Do mesmo modo, é possível propor uma estrutura de desdobramento a partir da classificação proposta pelo I.C.F.G. conforme mostra a figura 4.7.

Os custos dos componentes que compõem as figuras 4.6 e 4.7 podem ser estimados através da utilização de um banco de dados, onde seriam fornecidas informações básicas sobre cada uma das categorias destes componentes e obtidos os seus custos. Por exemplo, os componentes básicos são adquiridos de terceiros e, por isso, o custo disponível é o custo de aquisição.

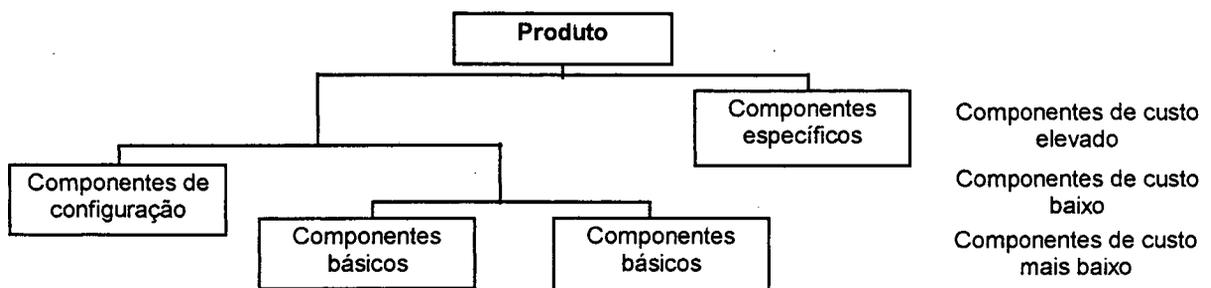


Figura 4.7 - Estrutura proposta a partir do modelo desenvolvido pelo I.C.F.G.

Seguindo a mesma linha de pesquisa, SHELDON e BUSH [101] propõem um sistema hierárquico para representar o produto, no qual as decisões tomadas nos níveis mais altos afetariam os níveis inferiores. Além disso, em geral, quanto mais baixo o nível hierárquico, maiores serão as restrições e as opções de projeto.

A classificação dos produtos em níveis hierárquicos implica em que:

- A estimativa dos custos dos componentes dos níveis hierárquicos inferiores é mais fácil, pois, os componentes são mais simples;
- Os custos dos componentes dos níveis hierárquicos inferiores são mais baixos, pelo mesmo motivo e
- O potencial de redução de custos de produtos nos níveis inferiores é menor que nos níveis altos, pois os componentes estão praticamente especificados e as possibilidades de alterações no projeto são pequenas.

A proposição de estruturas de desdobramento de custos a partir de modelos que descrevem o produto de acordo com as suas características tem aplicação limitada no início da etapa de projeto conceitual, uma vez que as informações então disponíveis sobre o produto não são suficientes para o desenvolvimento destas estruturas.

4.2.3 - Estruturas Baseadas nas Funções Desempenhadas pelo Produto

Uma estrutura de desdobramento de custos também pode ser proposta a partir de um modelo funcional de representação do produto.

BACK [11] coloca que a função total de um sistema pode ser desdobrada em funções parciais, e estas, em funções elementares e operações básicas. Estas funções são interligadas, de modo a satisfazer os requisitos funcionais do produto.

Esta divisão pode ser aplicada ao domínio do custo, onde pode-se ter uma estrutura de desdobramento associada às funções elementares ou operações básicas do produto.

Outra forma de representar o produto é proposta por Rosa, *et all* [95], utilizando o conceito de *Design by Features* para desenvolver o projeto conceitual de uma peça, onde cada função local da mesma é satisfeita por um ou mais detalhes geométricos e/ou não-geométricos que representem as *features*. Assim, as funções locais - ou grupos funcionais - serão realizadas por uma determinada região da peça, através de detalhes geométricos denominados de *features*.

Representando o produto através de *features*, tem-se a possibilidade de abordar, durante a atividade de concepção, os aspectos e fatores relacionados a fabricação, montagem e custo do produto, entre outros [95].

Segundo SHELDON e BUSH [101], o produto pode ser considerado um sistema composto por um grupo de objetos conectados e inter-relacionados para prover uma determinada função ou funções. Esta abordagem sistêmica de produto permite um melhor entendimento, tratamento e solução de problemas, sendo aplicada tanto para problemas de custo quanto para problemas funcionais.

4.2.4 - Estruturas Baseadas em Modelos Organizacionais

SHELDON *et all* [100] colocam que o custo do produto, na estrutura organizacional, é desdobrado segundo a divisão dos departamentos de uma empresa.

O desdobramento dos custos do produto segundo este modelo requer o conhecimento das estruturas organizacionais das empresas e de como é formada sua

estrutura administrativa e produtiva. Deve ser considerada a existência de uma grande variedade de estruturas organizacionais, exigindo, assim, o estudo de cada empresa em particular. Deste modo, já que o presente trabalho versa sobre a proposição de uma metodologia de estimativa de custos para diversos produtos, maiores detalhes sobre este modelo serão desconsiderados.

4.3- Conclusão

Conforme colocado por BOCK e BOCK [17], para estimar os custos do produto é importante que haja uma preparação dos dados e das informações relativas aos mesmos, realizada através das estruturas de desdobramento de custos [105]. A figura 4.8. apresenta a classificação das estruturas de desdobramento de custos.

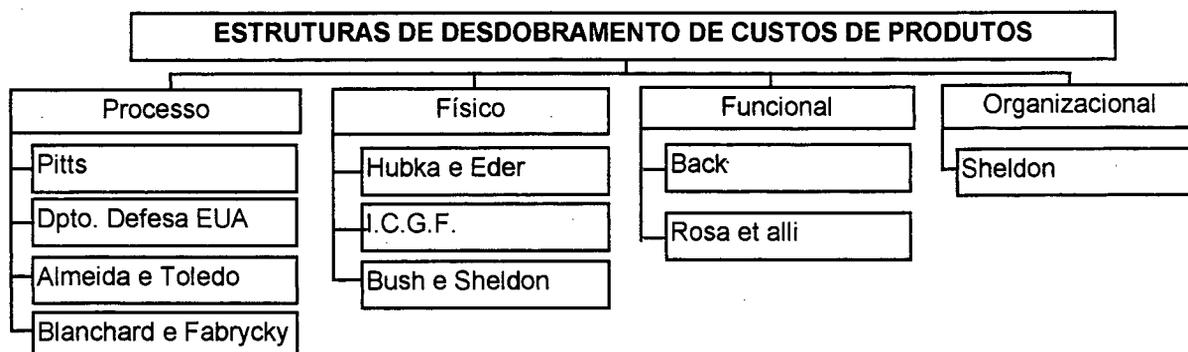


Figura 4.8 - Classificação geral das estruturas de desdobramento de custos.

Na fase de projeto conceitual, a preparação das informações ocorre quando é realizado o levantamento das necessidades dos clientes, a determinação dos requisitos e das especificações do produto. Nesta fase, o grau de abstração das informações é elevado, uma vez que apenas o problema ou a tarefa de projeto foi definida. As características ou a forma física do produto não estão determinados, pois a estrutura funcional do produto ainda não foi elaborada.

Neste sentido, a aplicação das estruturas desenvolvidas a partir das funções desempenhadas pelo produto com o objetivo de levantar as necessidades dos clientes e estabelecer os requisitos de projeto não é adequada, uma vez que, nesta etapa, as informações sobre as funções desempenhadas pelo produto não estão disponíveis.

Estas estruturas são mais adequadas para utilização na etapa de estruturação funcional do produto.

O mesmo ocorre com as estruturas desenvolvidas a partir das características do produto, mais adequadas a serem aplicadas na seleção de alternativas de concepção.

As estruturas baseadas em organização departamental não são aplicadas no processo de projeto, pelos motivos anteriormente expostos.

A tabela 4.3 mostra uma síntese das estruturas estudadas e a sua correta aplicação no projeto conceitual, que depende do nível de informações disponíveis.

Tabela 4.3 - Síntese das estruturas de desdobramento de custos de produtos.

Tipo da estrutura	Modelo	Características Principais	Aplicação no Projeto Conceitual
Organizacional	Conforme cada empresa	O custo do produto é desdobrado de acordo com a organização de cada empresa.	Difícil aplicação no processo de projeto
Processo	Pitts [86]	O produto é composto de custos indiretos, custos diretos e custos de transporte.	Etapa de levantamento das necessidades dos clientes e obtenção dos requisitos de projeto
	Dpto. Defesa EUA [25]	Divide o produto em custos de aquisição e custo de utilização.	
	Almeida e Toledo [5]	Apresentam o produto composto de custos de aquisição, operação, manutenção e descarte.	
	Blanchard e Fabrycky [16]	O produto é formado de custo de pesquisa, desenvolvimento, produção, construção, operação, manutenção, retirada e descarte.	
Funcional	Back [6]	O produto é composto de funções elementares e operações básicas	Estruturação funcional
	Rosa, <i>et al</i> [95]	Utilizam o conceito de <i>Design by Features</i>	
Físico	Hubka e Eder [47]	Decompõe o produto de acordo com o grau de complexidade dos seus componentes e partes	Geração e seleção de alternativas de solução
	I.C.F.G [51]	O produto é formado de componentes básicos, de configuração e específicos	
	Bush e Sheldon [101]	Um sistema hierárquico representa o produto	

Desta forma, as melhores estruturas a serem utilizadas para levantar informações no início da etapa de projeto conceitual são as desenvolvidas a partir de dados relativos aos processos da empresas, com destaque para a desenvolvida por BLANCHARD e FABRYCKY [16] e apresentada na figura 4.4.

Para facilitar o levantamento das necessidades dos clientes e a determinação dos requisitos de projeto, é proposta uma estrutura elaborada a partir da desenvolvida por BLANCHARD e FABRYCKY [16].

Nesta nova estrutura, ilustrada na figura 4.9, são acrescentados os custos de embalagem e transporte aos custos de produção e construção. Os custos e as informações descritas na estrutura proposta, apresentados em vermelho, são aqueles que podem ser afetados por decisões tomadas durante o processo de projeto do produto ou, seja, influenciam o custo direto do produto.

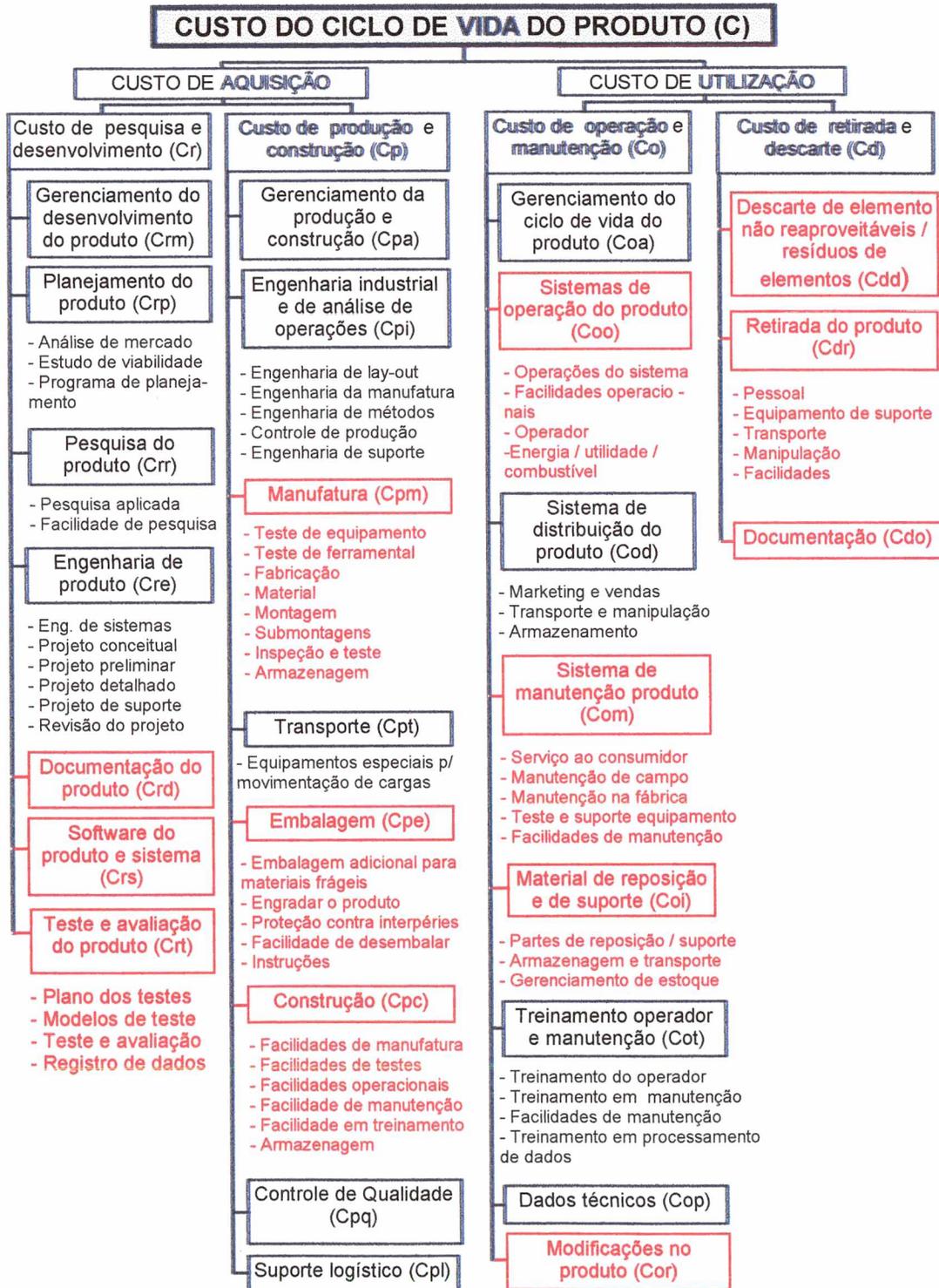


Figura 4.9 - Estrutura de desdobramento de custos proposta.

CAPÍTULO V

MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE CUSTO

5.1 - Introdução

Dentro do processo de estimativa de custos de produtos, primeiramente, ocorre o levantamento das informações e fatores que influenciam o seu custo. Na sequência, realiza-se a estimativa dos custos, propriamente dita, através dos métodos apresentados e descritos neste capítulo [17].

Estes métodos, vistos como um processo de transformação de informação, mostrado na figura 5.1, estimam o custo do produto a partir de informações de entrada levantadas durante o processo de projeto, tais como; energia, material ou sinal processados pelas funções que compõem a estrutura funcional do produto; especificações de projeto do produto (dimensões, tipo de material, potência, peso) e processos de fabricação necessário, entre outras.

Como resultado da aplicação dos métodos, pode-se ter o custo estimado de material, de fabricação, de aquisição e do ciclo de vida do produto, entre outros.



Figura 5.1 - Utilização dos Métodos de Estimativa de Custos.

5.2 - Métodos de Estimativa de Custos de Produtos

Segundo BARTON [15], no projeto conceitual, os métodos podem ser classificados, de acordo com a natureza das informações envolvidas na estimativa, em dois grupos:

- Métodos baseados nas funções que compõem a estrutura funcional e
- Métodos baseados nas características dos princípios de solução e componentes do produto.

Os métodos baseados nas funções que compõem a estrutura funcional do produto analisam o produto em um nível mais abstrato, uma vez que buscam, a partir da definição das funções da estrutura funcional, estimar, avaliar e possibilitar a tomada de decisão sobre os custos. Compõem este grupo o:

- Estimativa de custo do produto a partir das funções da estrutura funcional e
- Desdobramento dos custos das funções a partir da matriz de QFD.

Por sua vez, os métodos baseados nas características dos princípios de solução e nos componentes do produto, buscam a partir de informações e características disponíveis e especificadas sobre estes, estimar os custos do produto. São eles:

- Métodos baseados na estimativa do custo do processo de produção;
- Método baseado na estimativa do custo de material do produto;
- Método baseado no desenvolvimento de leis de similaridades do produto e
- Método Delphi.

Assim, agrupando estes métodos, de acordo com a natureza das informações envolvidas na estimativa, pode ser proposta a classificação mostrada na figura 5.2.

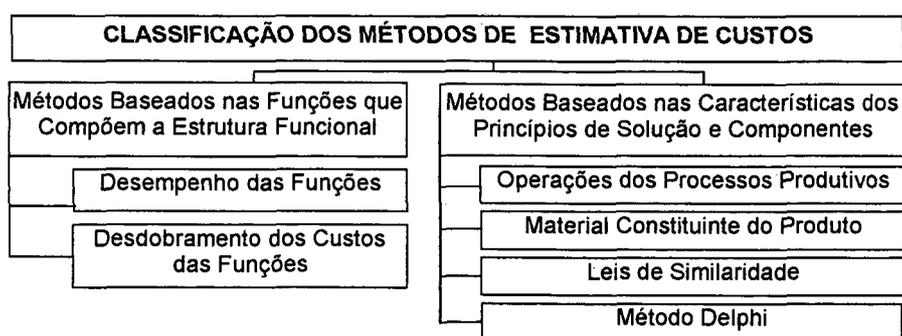


Figura 5.2 - Classificação dos Métodos de Estimativa de Custos

5.3 - Métodos Baseados nas Funções Desempenhadas pelo Produto

Para aplicar os métodos descritos a seguir, torna-se necessário que a estrutura funcional do produto esteja desenvolvida, uma vez que estes métodos buscam estimar o custo de material, de fabricação, aquisição e utilização do produto, a partir do conhecimento das funções da estrutura funcional.

5.3.1 - Estimativa do Custo do Produto a partir das Funções da Estrutura Funcional

Este método parte do princípio que é possível estimar o custo do produto a partir da estimativa do custo da estrutura funcional do mesmo. Por sua vez, o custo da estrutura funcional é dado pela soma do custo de cada uma das funções que a compõe [106].

Do processo de desenvolvimento de produto, sabe-se que uma função pode ser desempenhada por vários princípios de solução. Assim, o custo de uma função pode ser estimado através do desenvolvimento de uma equação paramétrica que descreve a relação entre o modelo do comportamento dos princípios de solução capazes de desempenhar a respectiva função e o custo a ser estimado.

As equações paramétricas expressam a relação entre o comportamento de um determinado princípio de solução capaz de executar uma função e o custo a ser estimado, em forma de coeficientes e expoentes, conforme mostra a equação (5.1):

$$C_F = a \cdot A^\alpha \cdot B^\beta \cdot D^\gamma \quad (5.1)$$

onde: C_F - custo estimado da função que compõe a estrutura funcional;

A, B, D - variáveis do princípio de solução analisado;

a, b, d - constantes da equação paramétrica de estimativa de custo e

α , β , γ - expoentes da equação paramétrica de estimativa de custo.

As constantes e os expoentes desta equação podem ser obtidos por métodos de análise de regressão, a partir de entrevistas a especialistas, dados históricos da empresa, experimentações e consulta em catálogos específicos.

Para obter o custo estimado de uma função, primeiramente, deve-se levantar quais princípios de solução podem executar uma determinada função e, na sequência, realizar uma análise a fim de determinar se o princípio de solução que desempenhará uma determinada função será adquirido pronto ou será fabricado.

No primeiro caso, no qual a função pode ser desempenhada por um princípio de solução ou componente a ser adquirido de terceiros, o custo estimado de aquisição da função é igual ao preço de aquisição do princípio de solução ou do componente.

No segundo caso, no qual a função é desempenhada por um princípio de solução ou componente a ser fabricado, o custo da função pode ser obtido através da análise e modelagem do comportamento dos princípios de solução, através da determinação das variáveis e parâmetros técnicos que caracterizam os princípios capazes de desempenhar a função.

Assim, por exemplo, aplicando o método para estimar o custo da função “ampliar força”, tem-se que uma força pode ser ampliada através do uso de uma alavanca ou por um macaco hidráulico. Portanto, é necessário o desenvolvimento de duas equações paramétricas para estimar o custo da função, uma vez que o seu custo é diferente se a força é ampliada através de uma alavanca ou por um macaco hidráulico, conforme mostra a figura 5.3.

Na primeira opção, a modelagem do desempenho e do comportamento da função é realizada considerando-se as forças envolvidas no processo e o comprimento dos braços de alavanca. Na segunda opção, a modelagem considera, além das forças envolvidas no processo, os diâmetros dos cilindros do macaco hidráulico.

Na sequência, deve ser desenvolvida uma equação paramétrica que possibilite a estimativa do custo da função, a partir das características levantadas sobre a alavanca e o macaco hidráulico e da modelagem do seu desempenho e comportamento.

Desta forma, a equação paramétrica para estimar o custo da alavanca deve ser desenvolvida considerando as forças envolvidas no sistema, o diâmetro da seção transversal e o comprimento da alavanca. Do mesmo modo, o desenvolvimento da equação paramétrica para estimar o custo do macaco hidráulico deve considerar as forças e os diâmetros dos pistões.

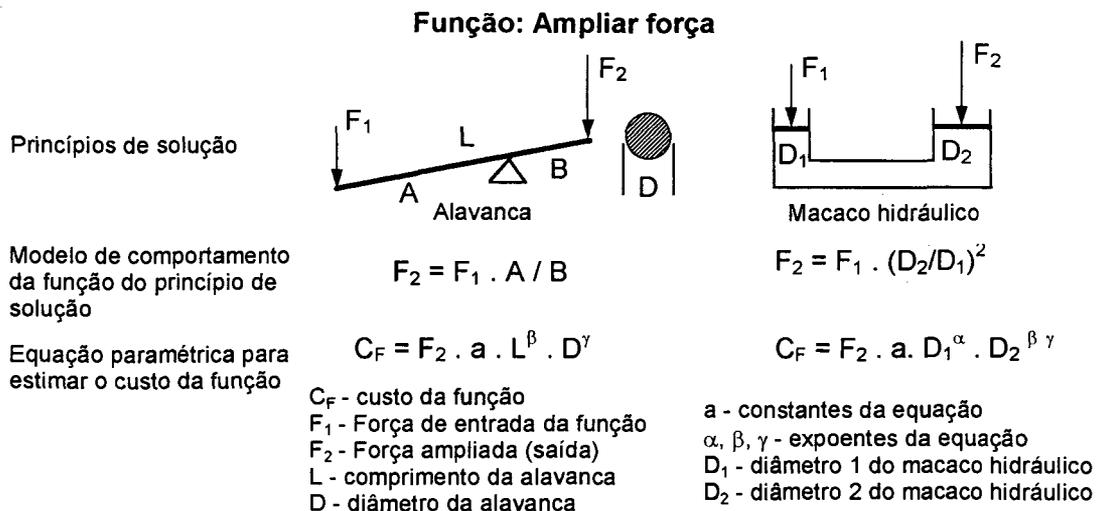


Figura 5.3 - Estimativa do custo da função “ampliar força”.

Através deste método pode ser estimado o custo de fabricação, de material, de aquisição ou de utilização do produto, o qual dependerá das variáveis, dos fatores e dos parâmetros considerado na modelagem da equação paramétrica de estimativa de custos. Na maioria dos problemas, a obtenção do custo do produto, através deste processo de modelagem pode tornar-se uma tarefa complexa e difícil, uma vez que requer a simulação do comportamento dos princípios de solução durante as diversas etapas do ciclo de vida e, na fase de projeto conceitual tem-se um elevado grau de abstração do produto e poucas informações disponíveis sobre o mesmo.

Desta forma, especificamente, para aplicar este método, torna-se necessário que, além da estrutura funcional do produto, também sejam conhecidos os princípios de solução capazes de desempenhar as funções das estruturas. Entretanto, do processo de desenvolvimento do produto, tem-se que os princípios de solução devem ser gerados após a etapa de seleção da estrutura funcional do produto. Portanto, a aplicação deste método de estimativa de custo requer que haja uma alteração na ordem de execução do processo de projeto, uma vez que torna-se necessário a geração de princípios na etapa de estruturação funcional do produto.

Além disto, como uma função pode ser executada por vários princípios de solução, com custos diferentes, diversos serão os valores de custo estimado da função e, conseqüentemente, o custo da estrutura será dado por uma série de valores. Devido a necessidade de estimar o custo de todos os possíveis princípios de solução capazes de executar as funções da estrutura, este processo pode ser lento e oneroso.

O método apresentado pode ser confundido com os métodos a serem descritos no item 5.4, uma vez que também requerem a existência de informações e dados sobre as características dos princípios de solução. Entretanto, os métodos descritos neste item buscam estimar o custo do produto, a partir de informações mais abstratas, enquanto, que os outros requerem informações mais precisas.

5.3.2 - Desdobramento do Custo das Funções a Partir da Matriz do QFD

O QFD, do inglês *Quality Function Deployment*, é uma forma sistemática de traduzir as necessidades dos clientes em requisitos a serem promovidos pela organização, passando pelos diversos estágios do ciclo de desenvolvimento do produto,

desde a pesquisa e o desenvolvimento até a engenharia, a produção, o marketing, as vendas e a distribuição [62].

AKAO [2] desenvolveu um método que permite determinar o quanto uma função pertencente a estrutura funcional do produto pode custar.

Os resultados obtidos a partir do método proposto por AKAO [2] podem ser comparados com valores de custos estimados determinados através do emprego de outros métodos de estimativa, possibilitando a identificação das funções da estrutura funcional que possuem custo elevado.

O método desenvolvido por AKAO [2], ilustrado na figura 5.4, possui três passos:

- **Passo 1:** São levantadas as necessidades dos clientes, procurando identificar o que estes desejam do produto. A estas necessidades são dados valores que indicam a importância relativa das mesmas, que posteriormente, são convertidos em pesos relativos. Estes valores de importância são obtidos:

- Comparando o produto da empresa com os demais disponíveis no mercado, considerando como o produto em questão e seus concorrentes satisfazem as necessidades dos clientes;

- Analisando a qualidade desejada e o nível atual com que a empresa satisfaz determinada necessidade do cliente;

- Identificando os pontos fortes de venda do produto, comparando-o com concorrentes a partir de uma análise competitiva feita pelos clientes e nas informações de mercado.

- **Passo 2:** O custo-meta do produto, determinado no início do processo de projeto, é repassado às necessidades dos clientes, através da multiplicação do peso relativo destas necessidades, obtidos no passo anterior, pelo valor do custo-meta.

- **Passo 3:** Neste passo é determinado o quanto uma função pode custar, a partir do seu relacionamento com as necessidades dos clientes. Assim, o custo das necessidades dos clientes é repassado às funções que compõem a estrutura funcional.

O custo da função obtido por este método pode ser o custo do ciclo de vida, desde que, as necessidades dos clientes sejam levantadas considerando aspectos relacionados a todas as etapas do ciclo de vida do produto.

A figura 5.4 apresenta uma esquema da matriz do QFD proposta por AKAO [2] para determinar quanto uma função da estrutura pode custar, obtida executando os três passos descritos acima.

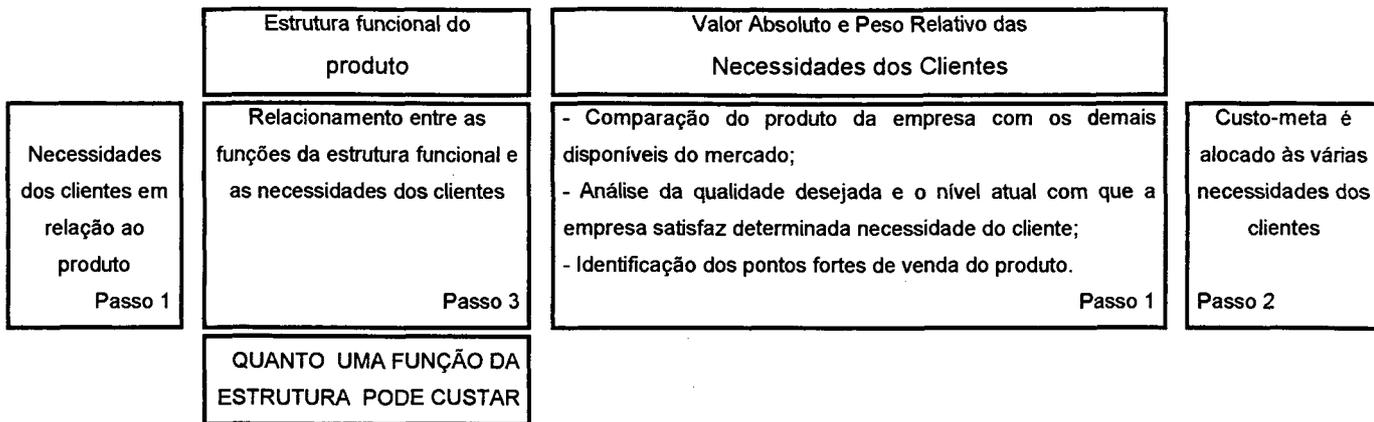


Figura 5.4 - Esquema da matriz de QFD proposta por AKAO [2].

Embora a obtenção do valor de quanto as funções podem custar seja realizada de forma sistemática, o preenchimento da matriz de QFD, ou seja, a determinação do nível de relacionamento entre as necessidades dos clientes e as funções da estrutura, dá-se de forma subjetiva e depende, em muito, da experiência de quem o faz.

5.4 - Métodos Baseados nas Características dos Princípios de Solução e Componentes do Produto

Para aplicar os métodos apresentados a seguir torna-se necessário que as alternativas do produto estejam geradas.

Estes métodos permitem a determinação do custo do produto, a partir da estimativa do custo dos princípios de solução que compõem as alternativas de concepção ou dos próprios componentes do produto.

Segundo STOKES *et al* [106] para estimar o custo do produto aplicando estes métodos, primeiramente, deve-se procurar representar os princípios de solução e os componentes de uma forma mais detalhada, concreta, menos abstrata, estipulando as suas características, tais como, dimensão, material, processos produtivos, entre outras.

O emprego dos métodos descritos neste item requer que sejam levantadas informações mais detalhadas do que as obtidas quando da aplicação dos métodos descritos no item 5.3.1.

Estes métodos podem fornecer, como resultado, o custo de material, de fabricação, de aquisição e de utilização do produto.

Para produtos relativamente simples, formado de um único componente, o valor do custo de aquisição do produto é bastante próximo ao valor do seu custo estimado de material e fabricação, uma vez que, neste caso, os custos de operação, manutenção, retirada e descarte do mesmo podem ser bastante reduzidos.

Para produtos mais complexos, formado de vários componentes e sub-sistemas, a obtenção do valor do seu custo de aquisição e de utilização requer a estimativa do custo de operação, manutenção, retirada e descarte. Entretanto, caso haja uma dificuldade na estimativa de um destes custos, estes podem ser obtidos a partir do conhecimento do valor da contribuição relativa, percentual, do custo estimado no custo do ciclo de vida do produto, conforme apresentado na tabela 4.1, o qual pode ser obtido a partir de informações provenientes dos sistemas de gerenciamento de custos.

5.4.1 - Determinação do Custo do Produto a partir da Estimativa do Custo dos Processos de Produção

HUNDAL [48] coloca que um dos primeiros métodos utilizados para estimar os custos do produto foram os baseados em operações do processo produtivo.

Do ponto de vista contábil, o custo de produção é o valor dos bens consumidos nos processos produtivos do produto num determinado período de tempo. Assim, é hábito incluir como custo de produção, os custos de matéria-prima, mão-de-obra direta e indireta e uma parcela de custos indiretos de produção, tais como, seguro, imposto, supervisão, depreciação [59].

Entretanto, para fins de estimativa de custo será adotada a abordagem de PAHL e BEITZ [82], onde o custo de produção é dado pela soma dos custos de material e de fabricação, conforme mostra a equação (5.2).

$$C_{PROD} = C_{FABR} + C_{MAT} \quad (5.2)$$

onde: C_{PROD} - custo estimado de produção do produto;

C_{FABR} - custo estimado de fabricação do produto e

C_{MAT} - custo estimado de material do produto.

O custo de produção pode ser classificado, de acordo com a facilidade de atribuição, em custos diretos e indiretos. Assim, classificando os custos de fabricação e material segundo o mesmo critério, tem-se [16].

$$C_{PROD} = CD_{FABR} + CI_{FABR} + CD_{MAT} + CI_{MAT} \quad (5.3)$$

onde: C_{PROD} - custo estimado de produção do produto;

CD_{FABR} - custo estimado direto de fabricação do produto;

CI_{FABR} - custo estimado indireto de fabricação do produto;

CD_{MAT} - custo estimado direto de material do produto e

CI_{MAT} - custo estimado indireto de material do produto.

Os custos indiretos de fabricação são, por exemplo, o custo de depreciação e seguro de máquinas. O custo indireto de material pode ser considerado o custo de materiais auxiliares utilizados na produção do produto.

Os custos indiretos de fabricação e material, segundo PAHL e BEITZ [82], são estimados através da combinação com os custos diretos por meio de fatores multiplicativos. Por exemplo, para os custos indiretos de fabricação pode-se ter fatores multiplicativos variando de 1,5 a 10 (ou maiores) dependendo do tipo de equipamento utilizado no processo de produção de um determinado componente. Desta forma, os custos indiretos do produto podem ser calculados com base nos seus custos diretos, a partir de fatores multiplicativos. Adotando A_F e B_M como sendo o valor deste fator multiplicativo correspondente a parcela relativa do custo indireto no custo direto, é possível escrever:

$$C_{PROD} = CD_{FABR} (1+A_F) + CD_{MAT} (1+B_M) \quad (5.4)$$

onde: C_{PROD} - custo estimado de produção do produto;

CD_{FABR} - custo estimado direto de fabricação do produto;

CD_{MAT} - custo estimado direto de material do produto e

A_F e B_M - fator multiplicativo, respectivamente, da parcela relativa ao custo indireto de fabricação e material

O valor de A e B pode ser obtido a partir de dados históricos da empresa e de informações provenientes dos sistemas de gerenciamento de custo.

Para estimar o custo direto de fabricação do produto, BOOTHROYD e RADOVANOVIC [19] e PAHL e BEITZ [82] apontam que devem ser considerados o

custo de preparação, carregamento, operação e descarregamento de equipamentos, custo de troca de ferramental, além do custo de material.

Assim, para cada processo de fabricação deve ser empregada uma equação de estimativa de custo. BOOTHROYD *et al* [18] desenvolveram um série de estudos detalhados sobre os processos de fabricação e apresentam várias equações para estimar o custo destes processos.

Por exemplo, segundo BOOTHROYD *et al* [18], o custo de torneamento de uma peça, operação de desbaste à velocidade constante, é calculado por:

$$CD_{FABR} = M \cdot t_i + M \cdot t_m + (M \cdot t_{ct} + C_t) \cdot (t_m / t) \quad (5.5)$$

onde: CD_{FABR} - custo estimado de fabricação do componente (UM);

C_t - custo de afiação do ferramental (UM);

M - custo de operação da máquina e mão de obra por unidade de tempo (UM/s);

t_i = tempo não produtivo do processo produtivo (s);

t_m = tempo de operação da máquina (s);

t_{ct} = tempo de troca de ferramental (s);

t = tempo de vida do ferramental (s);

Outra maneira de estimar o custo direto de fabricação CD_{FABR} dá-se pela multiplicação do tempo estimado de fabricação do componente t_i , pelo custo direto de operação da máquina por unidade de tempo M_i do respectivo processo de fabricação F_i , conforme mostra a equação (5.6). A aplicação do método é apresentada na tabela 5.1.

$$CD_{FABR} = \sum_{i=1}^n M_i \cdot t_i \quad (5.6)$$

onde: CD_{FABR} - custo estimado de fabricação do produto;

M_i - custo de operação da máquina e mão de obra por unidade de tempo;

t_i - tempo estimado de fabricação do produto em um determinado processo e

n - número de processos necessários para produzir o produto.

O valor do custo de fabricação por unidade de tempo do produto M_i em que pode estar incluído o custo de mão-de-obra, é de conhecimento das empresas.

O custo estimado de fabricação do produto é dado pelo somatório do valor do custo estimado de cada um dos processos de fabricação dos seus componentes, conforme mostrado na tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Cálculo do Custo de Produção

	Processo de Fabricação (Fi)				Custo de fabricação do componente (UM)
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	
Custo direto de fabricação por unidade de tempo (UM/s)	10	2	4	5	
Tempo de fabricação do componente 1 - (t ₁)	3	3	-	-	36
Tempo de fabricação do componente 2 - (t ₂)	2	4	1	-	32
Tempo de fabricação do componente 3 - (t ₃)	1	-	2	1	23
Custo total de fabricação do produto					91

Outra forma de estimar o custo direto de fabricação é através do desenvolvimento de equações paramétricas. Neste caso, estas equações são desenvolvidas considerando os fatores e aspectos relacionados ao processo produtivo e características dimensionais do produto.

Nesta linha, KLASMEIR [56] apresenta o exemplo da aplicação deste método na estimativa do custo direto de fabricação de um vaso utilizado em condutores de alta voltagem, de diâmetro interno d_i , espessura de parede t_v e pressão nominal p_n , conforme mostra a figura 5.5. Neste caso, o autor, para determinar o custo direto de fabricação do tubo, desenvolveu a seguinte equação:

$$CD_{FABR} = A + B \cdot d_i^{1,42} \cdot p_n^{0,94} \cdot l^{0,2} \cdot t_v^{0,17} \quad (5.7)$$

onde: CD_{FABR} - custo estimado de fabricação do produto;

d_i - diâmetro interno do vaso;

t_v - espessura de parede do vaso;

l - comprimento do vaso;

p_n - pressão nominal do tubo e

A e B - constantes da equação paramétrica de estimativa de custo.

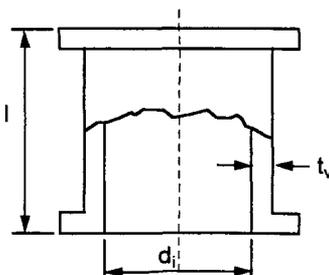


Figura 5.5 - Vaso de pressão de condutores de alta voltagem [56].

A aplicação deste método paramétrico requer o desenvolvimento de equações específicas para cada processo produtivo e tipo de produto a ser projetado. De uma forma geral, para aplicar os métodos de estimativa de custo apresentados neste item é

necessário que, informações sobre as especificações dos princípios de solução e dos componentes, o valor da relação entre o custo direto e indiretos, o valor da contribuição relativa do custo de fabricação no custo do ciclo de vida do produto e o tempo necessário à fabricação do produto, entre outras, estejam disponíveis.

Nas sistemáticas atuais de projeto, estas informações estão disponíveis somente nas fases de projeto preliminar e detalhado. Entretanto, no projeto conceitual estas informações podem ser determinadas a partir de dados disponíveis na literatura especializada ou em dados históricos da empresa, obtidos a partir de informações geradas pelos sistemas de gerenciamento de custos [16][47].

5.4.2 - Determinação do Custo do Produto a partir da Estimativa do Custo de Material

Este método apresenta a determinação do custo do produto a partir da estimativa do custo de material constituinte dos princípios de solução e componentes do produto.

Além disto, o resultado obtido com a aplicação deste método pode ser somado ao custo de fabricação compondo, assim, o custo de produção do produto.

Segundo HUNDAL [48], este método deve ser aplicado a produtos nos quais predomine o custo de material. O autor coloca que os custos de material constituem de 40 a 50 % dos custos de máquinas industriais e são maiores para produtos produzidos em grandes quantidades. Os autores apresentam na figura 5.6, a proporção dos custos de material em relação aos custos de produção para alguns tipos de produtos.

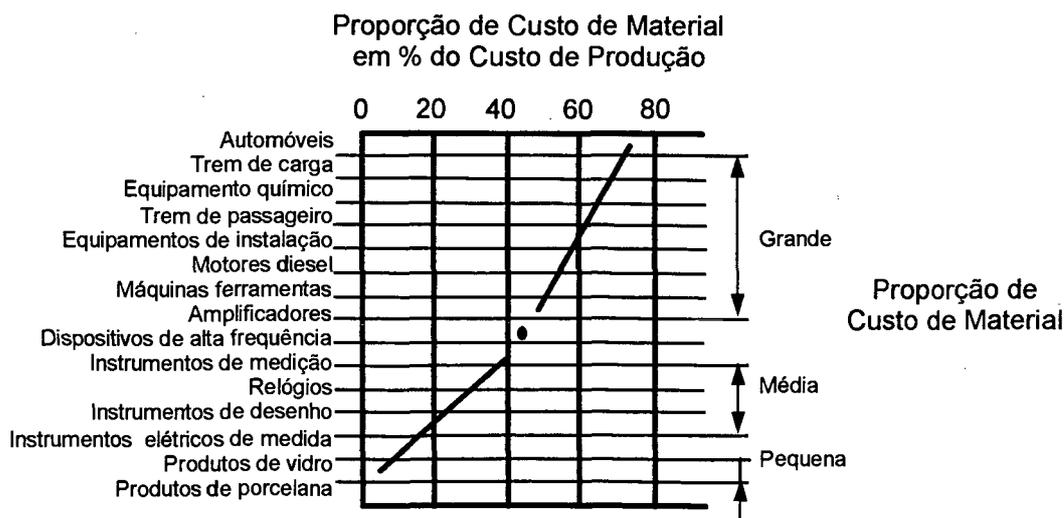


Figura 5.6 - Proporção dos custos de material em relação aos custos de produção [48].

BOOTHROYD e RADOVANOVIC [19] calculam o custo de material C_{MAT} tomando, respectivamente, a densidade ρ_i , o custo de material por unidade de peso C_{wi} e o volume de material V_i de cada um dos n materiais constituintes do produto. Desta forma, o custo de material é dado por:

$$C_{MAT} = \sum_{i=1}^n V_i \cdot \rho_i \cdot C_{wi} \quad (5.8)$$

onde: C_{MAT} - custo estimado de material do produto (UM);

V_i - volume de cada material constituinte do produto (mm^3);

ρ_i - densidade de cada material constituinte do produto (kg / mm^3) e

C_{wi} - custo por unidade de peso de cada material do produto (UM/kg).

Para aplicar este método, torna-se necessário que sejam estimadas algumas dimensões básicas e o tipo de material constituinte do produto, a fim de que possa ser calculado o volume de material necessário a sua fabricação. O valor do custo por unidade de peso C_{wi} pode ser obtido a partir de informações disponíveis no mercado.

Este método não fornece o valor do custo do ciclo de vida do produto diretamente. Entretanto, conhecendo o valor, percentual, da contribuição do custo de material no custo do ciclo de vida do produto este último pode ser estimado, conforme apresentado na tabela 4.1.

Alguns produtos, constituídos de diversos tipos de materiais, podem ter o seu custo estimado, simplesmente, através da estimativa do seu peso. Neste caso, podem ser utilizados os resultados obtidos através do estudo realizado por HUNDAL [48]. O autor apresenta que, para equipamentos simples, máquinas pesadas e máquinas agrícolas, o custo por unidade de peso é igual 11 UM/kg e, para equipamentos que envolvem alta tecnologia, este custo pode subir para uma faixa maior que 220 UM/kg.

LENAU [61] desenvolveu um método para determinação do custo de aquisição do produto a partir da estimativa do seu custo de material, conjuntamente, com resultados obtidos a partir de métodos de análise de regressão. O autor apresenta o emprego deste método na estimativa do custo de um componente de alumínio utilizado em equipamentos de fundição. O método assume que o custo do componente é proporcional ao seu custo de material. Assim, o custo do componente é dado por:

$$C_{AI} = 2,36 \cdot C_{MAT} + 5,13 \quad (5.9)$$

onde: C_{AI} - Custo estimado de aquisição do componente de alumínio [U\$] e
 C_{MAT} - Custo estimado de material do componente [U\$].

Os valores 2,36 e 5,13 são constantes obtidas através de métodos de análise de regressão, obtidas a partir de entrevistas à especialistas de projeto de empresas, levantando passo a passo como calculam o custo do produto [61]. Os resultados da aplicação do método, no qual estão incluídos custos adicionais de fabricação e o lucro da empresa, são válidos somente para produções maiores que 30.000 peças.

A comparação do resultado da equação (5.9) ao custo de aquisição deste tipo de produto, fornecido por quatro empresas, mostra que os primeiros variam, em média, 25 %, e apresentam um desvio máximo de 126 % em relação aos preços coletados [61].

A aplicação dos métodos apresentados neste item exige que o tipo de material do componente e algumas dimensões básicas do mesmo estejam disponíveis. É importante ressaltar que, ao final do projeto conceitual, obtém-se um *layout* do produto no qual suas dimensões e especificações não estão definidas, entretanto, existe uma noção preliminar destas grandezas, suficiente à realização da estimativa pretendida.

5.4.3 - Determinação do Custo do Produto através de Leis de Similaridade

Segundo HUNDAL [48] e PAHL e BEITZ [82], as leis de similaridade são largamente utilizadas na estimativa de custos de produtos de tamanho seriado, de componentes geometricamente similares e de variantes de um componente conhecido. Desta forma, dispondo de um produto de tamanho e custo conhecido, o custo para produtos similares de tamanhos diferentes pode ser estimado, através das leis de similaridade. Geralmente, o resultado obtido com o uso deste método possui maior precisão do que o determinado através da estimativa do custo de produção e material.

O método parte do princípio que devem ser determinada as razões lineares, de área e volumétricas entre as dimensões do produto conhecido (1) e o a ser projetado (2), dada respectivamente, por $\phi_1 = l_2 / l_1$, ϕ_1^2 e ϕ_1^3 [48].

Na sequência, deve ser estabelecida a relação entre um determinado custo do produto e as relações dimensionais estabelecidas anteriormente, verificando se os

custos variam linearmente (ϕ_l), espacialmente (ϕ_l^2) ou volumetricamente (ϕ_l^3), conforme colocado por HUNDAL [48], e apresentado na equação (5.10).

$$\frac{C_2}{C_1} = \phi_c = \sum_{i=0}^3 a_i \cdot \phi_l^i \quad (5.10)$$

onde: C_1 - custo do produto conhecido;

C_2 - custo estimado do produto, a ser calculado e

ϕ_c - relação entre o custo do produto conhecido e o a ser calculado.

O parâmetro a_i pode ser calculado através de análise de regressão [44].

PAHL e BEITZ [82] aplicam este método na determinação do custo de soldagem de uma viga metálica. Primeiramente, são estabelecidas as relações de similaridade entre o custo e as dimensões da viga. Deste modo, tem-se que o custo de soldagem aumenta linearmente com o comprimento de soldagem l , portanto, ϕ_l^1 , e aumenta de acordo com a espessura de cordão t na relação $\phi_l^{1,5}$, conforme mostrado a seguir:

$$C_{\text{SOLDA}} = A \cdot \phi_l^1 + B \cdot \phi_l^{1,5} \quad (5.11)$$

onde, C_{SOLDA} = custo estimado de soldagem da estrutura (UM) e

A, B = constante de proporcionalidade

O valor das constantes A e B são obtidos através da análise de regressão [82], através de entrevistas com especialistas, realização de experimentos, consulta em catálogos e dados históricos da empresa.

Como pode ser observado, o método baseado em leis de similaridade requer que algumas características do produto a ser projetado estejam especificadas e, que o custo do produto original, seja conhecido, para estimar o custo do produto similar.

5.4.4 - Estimativa de Custos do Produto através do Método Delphi

BACK [11] apresenta o Método Delphi para estimar e avaliar o custo do produto. O método primeiramente decompõe o sistema técnico em subsistemas de construção de complexidade decrescente, como mostra a figura 5.7.

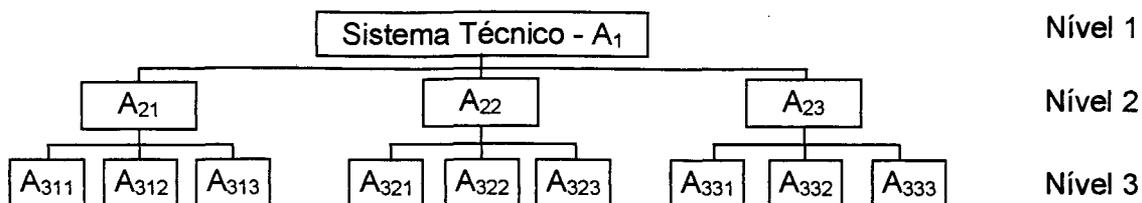


Figura 5.7 - Decomposição de um sistema técnico em subsistemas de construção [11].

Os componentes do nível 3 são mais simples que os dos níveis 1 e 2.

Decomposto o produto em subníveis de complexidade, elabora-se uma tabela semelhante a 5.2, e submete-se esta à avaliação de quinze a vinte pessoas para avaliação do custo relativo dos subsistemas do nível de complexidade 2. Os avaliadores deverão ser escolhidos pelo conhecimento do sistema técnico total, não pela sua especialização técnica. O valor final a ser adotado para o subnível é igual à média das quinze ou vinte avaliações, devendo a soma das avaliações do subnível totalizar 100 %. Como exemplo, ter-se-ia os valores de 50%, 20% e 30%, respectivamente, para os subsistemas A_{21} , A_{22} e A_{23} [6].

Tabela 5.2 - Tabela de avaliação dos custos relativos

Subsistema e nível			Nome do subsistema	Custo percentual e nível			Custo por unidade	Custa da unidade estimada
1	2	3		1	2	3		
A ₁				100			12500	
	A ₂₁			50			6250	
		A ₃₁₁			30	15	1875	
		A ₃₂₁			30	15	1875	
		A ₃₃₁			40	20	2500	
	A ₂₂			20			2500	
		A ₃₂₁			20	4	500	
		A ₃₂₂			20	4	500	
		A ₃₂₃			60	12	1500	1500
	A ₂₃			30			2500	
		A ₃₃₁			10	3	375	
		A ₃₃₂			40	2	250	
		A ₃₃₃			50	15	1875	
				Σ=100%	Σ=100%	Σ = 100 %		

No segundo passo, cada subsistema do nível 2 é submetido a um novo grupo de quinze a vinte avaliadores para determinação da porcentagem com que cada unidade de construção, ao nível 3, afeta o custo da unidade ao nível 2. Estas pessoas são escolhidas agora entre aquelas que apresentam um bom conhecimento dos subsistemas ao nível 2.

Uma vez estabelecidos os custos relativos de todas as unidades de construção, escolhe-se uma unidade, preferencialmente aquela que mais facilite a estimativa de custo. Determinado este custo, calcula-se os custos das demais unidades, bem como o custo total. Por exemplo, se o custo do nível A_{323} foi avaliado em 1.500 UM, logo, o custo total é calculado como sendo 12.500 UM.

Conforme colocado, neste método o produto é desdobrado de acordo com os níveis de complexidade de seus componentes. Tal metodologia poderia ser empregada para a estimativa dos custos das funções desempenhadas pelo produto, desdobrando as mesmas de acordo com o seu nível de complexidade ou facilidade de execução. Através do método da função síntese, tem-se este desdobrado, uma vez que a função total do produto é desdobrada em funções parciais.

No método Delphi, a determinação da percentagem com que cada unidade ou componente de um nível afeta o seu superior exige que informações sobre estes estejam disponíveis. Além disto, para estimar o custo do princípio de solução ou componente mais simples, é necessário o emprego dos demais métodos de estimativa de custos apresentados anteriormente.

5.5 - Conclusão

Conforme apresentado neste capítulo existem diversos métodos que permitem estimar o custo do produto a partir de dados de entrada, que são informações disponíveis durante o processo de projeto. A utilização do método mais adequado depende, fundamentalmente, das informações disponíveis sobre as características dos princípios de solução e o tipo do custo que se deseja obter.

Na fase de projeto conceitual o produto é representado ou modelado, basicamente, na etapa de estruturação funcional, por meio de funções e, na etapa de geração de alternativas de concepção, por meio de princípios de solução.

Os métodos baseados nas funções buscam estimar o custo do produto a partir de equações paramétricas desenvolvidas através da análise e da modelagem do comportamento dos princípios de solução capazes de executar as funções da estrutura funcional. Por serem baseados nas funções, estes métodos poderiam ser empregados na etapa de estruturação funcional do produto. Entretanto, tal utilização não é adequada, uma vez que o método requer que, nesta etapa do processo de projeto,

sejam gerados princípios de solução para cada função da estrutura, fato que deveria ocorrer, somente, nas próximas etapas do projeto conceitual, quando a estrutura funcional do produto estiver selecionada.

Os métodos baseados nas características dos princípios de solução e componentes tendem a ser empregados na etapa de seleção da alternativa de concepção do produto, projeto preliminar e detalhado. Estes métodos são os mais precisos, entretanto, requerem a utilização de um maior número de informações e de dados mais detalhados, os quais são mais difíceis de serem determinados na fase de projeto conceitual. A tabela 5.3 apresenta uma síntese da análise realizada.

Tabela 5.3 - Características dos grupos de estimativa de custos

Base de Estimativa	Funções que compõem a estrutura funcional do produto	Características físicas dos princípios de solução e componentes do produto
Aplicação	Na etapa de estruturação funcional	Na etapa de seleção de alternativas de concepção, projeto preliminar e detalhado
Precisão	Menor	Maior
Informações requeridas	Mais abstratas	Mais detalhadas
Limitação	Uma função pode ser executada por vários princípios de solução. Assim, o custo da estrutura pode ser dado por diversos valores	Requer informações que muitas vezes não estão disponíveis na fase de projeto conceitual

Dentro de cada um dos grupos apresentados na tabela 5.3, existem diversos métodos de estimativa de custos, os quais estão sintetizados na tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Característica dos métodos de estimativa de custos

Base da estimativa	Método Estimativa	Princípio Básico	Informações	
			Entrada	Saída
Funções da estrutura funcional	Análise do comportamento das funções	Estimar o custo da função a partir de equações paramétricas com características dos princípios de solução e componentes	Funções desempenhadas pelo produto	Qualquer custo do produto
	Matriz do QFD	Determinar o quanto uma função pode custar a partir do seu relacionamento com as necessidades dos clientes	Necessidades dos clientes, funções da estrutura funcional	O quanto uma função pode custar
Princípios de solução	Leis de Similaridade	Estimar o custo de um produto desconhecido através da análise do custo de um produto	Especificações de projeto do produto e o custo de um produto conhecido	Qualquer custo do produto
	Método Delphi	Desdobrar o produto em partes ou componentes de menor complexidade, determinando valores de custo relativo entre estes. O custo do produto é obtido estimando o custo da parte ou componente mais simples	Estrutura funcional, componentes, partes ou sistemas constituintes do produto e o custo do sistema,	Custo de aquisição ou do ciclo de vida do produto
	Material do produto	Estimar o custo do produto a partir da estimativa do seu custo de material	Dimensões, tipo de materiais constituinte do produto	Material e do ciclo de vida
	Processo de produção	Estimar o custo do produto a partir da estimativa do custo do processo produtivo necessário a sua concepção	Operações necessárias para fabricar o produto e dimensões do mesmo	Custo de fabricação e do ciclo de vida

CAPÍTULO VI

SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DE CUSTOS

6.1 - introdução

Os sistemas de gerenciamento de custo são sistemas de informações gerenciais, que possibilitam a administração, o controle e execução das atividades administrativas e produtivas da empresa que geram custo ao produto.

Com o crescimento das organizações empresariais, a intensificação da concorrência e a conseqüente escassez de recursos, surgiu a necessidade de aperfeiçoar os mecanismos de planejamento e controle das atividades empresariais a fim de aumentar a sua competitividade. Verificando-se que as informações fornecidas pelos sistemas de custos poderiam constituir um importante subsídio à execução, ao planejamento e ao controle de atividades administrativas e produtivas das empresas, a contabilidade de custos começou a transformar-se gradativamente, sendo, atualmente, um verdadeiro sistema de informações gerenciais de vital importância para a gestão empresarial [59].

A evolução da contabilidade de custo permitiu a elaboração e o manuseio de um grande volume de informações em tempo reduzido, introduzindo melhorias fundamentais em termos de confiabilidade das informações fornecidas pelos novos sistemas de custos [59].

Atualmente as informações de custos tendem a ser empregadas nos sistemas de apoio à decisão, os quais permitem avaliar as repercursões de diferentes alternativas de decisão nos negócios da empresa [55].

A evolução da contabilidade de custos está intimamente ligada à evolução dos sistemas industriais, os quais se caracterizam por uma porcentagem crescente dos custos indiretos (depreciações, despesas administrativas e outras). O desafio da contabilidade é atribuir e alocar os custos da maneira mais exata e justa possível [59].

Para que os custos possam ser atribuídos da maneira mais exata e justa possível, existem diversos sistemas de custos, entre os quais, podemos destacar o sistema de custo padrão, centro de custos, unidades de esforço de produção, sistema japonês e o activity based costing (ABC).

As atuais práticas empresariais requerem que as atividades produtivas sejam realizadas em conformidade às normas estabelecidas e parâmetros consensuais, no que diz respeito aos programas de qualidade e produtividade, metodologias de gestão participativa, processo de desenvolvimento de produto. Deste modo, torna-se cada vez mais indispensável a existência de sistemas de custos, eficazes e comprometidos com a qualidade das informações geradas, que deverão ser capazes de sustentar todo o processo decisório de uma organização.

Neste sentido, a integração entre os sistemas de custo, o processo de projeto e de estimativa de custos de produto vem ao encontro destas necessidades e práticas.

Este estudo tem como objetivo apresentar a relação dos sistemas de gerenciamento de custo com os métodos de estimativa e com as estruturas de desdobramento, com destaque ao modo pelo qual as informações fornecidas pelos sistemas de gerenciamento podem ser empregadas no processo de estimativa de custos.

6.2 - Objetivos de um Sistema de Gerenciamento de Custos

Segundo KOPITTKKE [59], um sistema de custo, definido como um sistema de informações gerenciais, tem como objetivo fundamental fornecer informações para:

- i) Avaliação de inventários, produtos fabricados e produtos vendidos, bem como para a determinação de resultados e dos inventários, iniciais e finais, das matérias-primas, produto em processo e acabados, preparação dos demonstrativos de produtos fabricados e vendidos;
- ii) O planejamento e controle das atividades empresariais, especificamente, preparação de orçamentos, determinação de preços e ponto de equilíbrio, avaliação de desempenho, entre outras;
- iii) As tomadas de decisões, a fim de permitir a eliminação e/ou agregação de linhas de produto ou de serviço, a terceirização, a aceitação ou rejeição de pedidos especiais, dentre outros.

6.3 - Relação entre os Sistemas de Gerenciamento de Custos e os Métodos de Estimativa de Custos

Como colocado no capítulo V para empregar os métodos de estimativa de custos no processo de projeto são necessárias a utilização de informações sobre o produto provenientes do processo de projeto, além do conhecimento da contribuição relativa de um determinado custo do ciclo de vida do produto.

O valor desta contribuição relativa pode ser fornecido pelo sistema de gerenciamento de custo, uma vez que, estes permitem calcular o custo do produto em processo e quando acabado.

Além disto, o valor do custo fornecido pelos sistemas de gerenciamento podem ser empregados na determinação e na validação dos coeficientes e dos expoentes das equações paramétricas desenvolvidas para estimar o custo do produto.

Também, os dados provenientes dos sistemas de gerenciamento de custos podem ser utilizado no levantamento de informações sobre os processos produtivos e administrativos das empresas constituindo uma importante base de dados.

6.4 - Relação entre os Sistemas de Gerenciamento de Custos e as Estruturas de Desdobramento de Custos

As estruturas de desdobramento permitem determinar os diversos custos e fatores que possam influenciar o custo do ciclo de vida do produto.

Conforme apresentado no capítulo IV, o desenvolvimento das estruturas de desdobramento organizacionais requerem o conhecimento da organização dos departamentos, dos processos administrativos e produtivos das empresas. Os sistemas de gerenciamento de custos podem ser empregadas no desenvolvimento deste tipo de estrutura, uma vez que permitem identificar as atividades que geram custo ao produto.

6.4 - Conclusão

Os sistemas de gerenciamento permitem o cálculo dos custos do produto através da análise dos processos produtivos e administrativos da empresa, ao passo que os métodos de estimativa permitem determinar o custo do produto a partir de dados e informações disponíveis durante o seu projeto, conforme mostrado na figura 6.1.

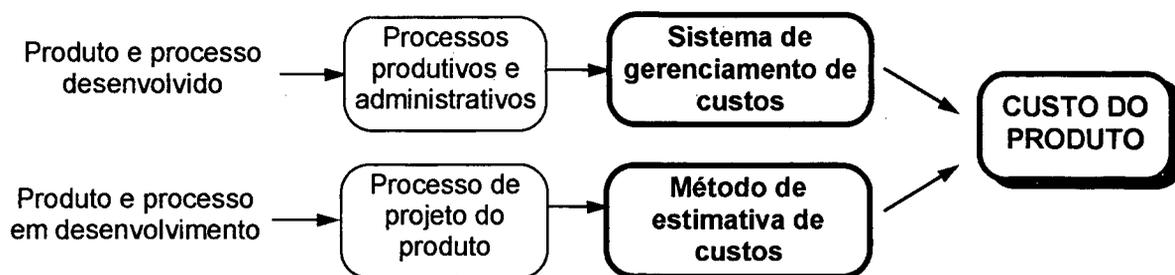


Figura 6.1 - Determinação do custo do produto

Além disto, os sistemas de gerenciamento possibilitam o conhecimento das atividades que geram custo ao produto, permitindo, assim, verificar aquelas que não adicionam valor ao mesmo e precisam ter seus gastos reduzidos.

Por exemplo, as atividades que não adicionam valor ao produto são aquelas que poderiam ser eliminadas sem afetar os atributos ou desempenho do produto. São elas: retrabalhar, armazenar, movimentar materiais, entre outras.

CAPÍTULO VII

SISTEMA ESPECIALISTA DE ESTIMATIVA DE CUSTOS DE PRODUTOS

7.1 - Introdução

A utilização de sistemas computacionais para auxiliar o processo de projeto vem ganhando a cada dia mais espaço. Pode-se citar como exemplo os programas de CAE/CAD/CAM, de análise e simulação de componentes, sistemas especialistas, entre outros.

Sistemas Especialistas (SE), como define GERO [40], são programas computacionais que usam procedimentos de inferência simbólica para tratar problemas difíceis o suficiente para requerer significativa experiência humana na sua solução. Os procedimentos de inferência executam tarefas de raciocínio e fazem o sistema agir como um especialista.

Os sistemas especialistas começaram a ser desenvolvidos no final dos anos 70. Nesta época, os cientistas da área de inteligência artificial verificaram que a capacidade de solução de problemas através de um programa vem do conhecimento que ele possui e não apenas do formalismo de representação e esquemas de inferência que ele emprega. Assim, para tornar um programa inteligente, deve-se fornecer a ele uma grande quantidade de informações de alta qualidade específicas em algum domínio do conhecimento [77].

Por domínio do conhecimento, entende-se um campo de atividade sob estudo ou consideração. Neste caso, especificamente, o domínio do conhecimento é o de estimativa de custo do produto [22].

Neste capítulo, serão apresentados alguns sistemas especialistas desenvolvidos e utilizados na estimativa de custos dos produtos durante o processo de projeto.

7.2 - Sistemas Especialistas

Um sistema especialista é um programa computacional inteligente que apresenta as seguintes características [77]:

- Conhecimento explícito e organizado para simplificar a tomada de decisão;
- Alto nível de especialidade, levando a soluções imaginativas, precisas e eficientes dos problemas;
- Modelagem preditiva, possibilitando ao sistema agir como um modelo de processamento de informação para a solução de problema num dado domínio do conhecimento. Este modelo de informação é desenvolvido a partir do estudo da teoria relacionada a este domínio.

- Memória institucional, podendo representar a política corrente ou procedimentos de operação do grupo, registrando as melhores estratégias e métodos usados pelo grupo.

O processo de desenvolvimento de um sistema especialista apresentado na figura 7.1, denominado engenharia do conhecimento, busca extrair dos especialistas seus conhecimentos, estratégias e regras para a solução de problemas específicos e, assim, desenvolver um sistema especialista [77].

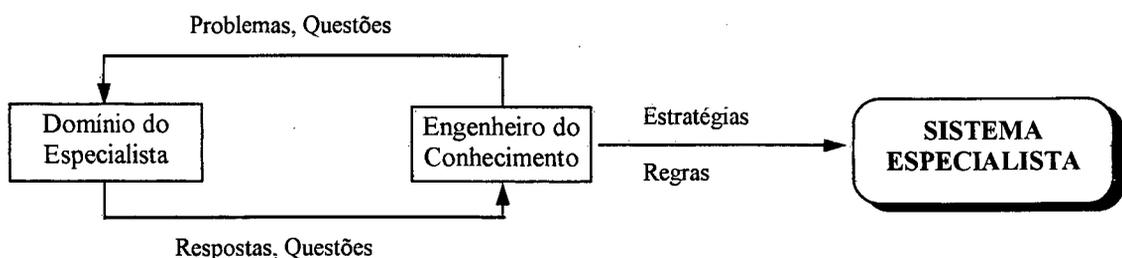


Figura 7.1 - Fluxo de Desenvolvimento de um Sistema Especialista [77].

O conhecimento de um sistema especialista constitui-se de regras ou informações dadas para que o mesmo se comporte inteligentemente e possa tomar decisões. Estas regras ou informações podem tomar a forma de FATOS e REGRAS, como mostra o exemplo a seguir:

FATOS: O custo da alternativa de solução 1 é igual a 150 Reais

REGRAS:

SE o custo da alternativa de solução for maior que 100 Reais
ENTÃO a solução alternativa será eliminada do projeto.

Muitas das regras no sistema especialista são HEURÍSTICAS - regras práticas ou simplificações que efetivamente limitam a busca de soluções. Os sistemas especialistas usam heurísticas porque muitas das tarefas destes sistemas são tipicamente difíceis e pouco entendidas. Essas tarefas resistem à análise matemática rigorosa ou solução algorítmica. Um método algorítmico produz uma solução correta ou ótima para um problema, enquanto um método heurístico produz uma solução aceitável [77].

A seguir, serão apresentados alguns sistemas especialistas aplicados ao processo de estimativa de custos de produtos.

7.3 - Sistemas Especialistas para Estimativa de Custos de Produtos

O processo de estimativa de custo de produtos possui características e ferramentas bem definidas, o que torna possível desenvolver um sistema especialista aplicado a este domínio do conhecimento. Estas características são:

- Os custos do produto podem ser apresentados de forma organizada e explícita, empregando as estruturas de desdobramento de custo de produto.
- Conforme colocado no Capítulo II, existe uma teoria que define o processo de projeto. Do mesmo modo, analisando-se as estruturas de desdobramento de custos e os métodos de estimativa de custos, é possível desenvolver uma metodologia, formando um modelo de processamento de informação para a solução de problema no domínio do conhecimento estudado.
- Tanto o processo de estimativa de custos de produto quanto o processo de projeto requerem soluções imaginativas, precisas e eficientes dos problemas. No processo de projeto, estas soluções são obtidas empregando ferramentas e técnicas próprias, tais como matriz morfológica, *brainstorming*, QFD, método da função síntese e outros. No processo de estimativa de custos, estas soluções podem ser obtidas utilizando a metodologia de estimativa de custos a ser proposta, que emprega os conceitos provenientes das estruturas de desdobramento de custos, dos métodos de estimativa de custos e dos sistemas de gerenciamento de custos.

Conforme colocado anteriormente, os custos do produto estão relacionados às decisões administrativas e às tomadas durante o processo de projeto. Assim,

considerando a estimativa de custos do produto como sendo um domínio principal do conhecimento do sistema especialista, pode-se propor dois subdomínios de conhecimento. São eles:

- O primeiro é composto pelos custos determinados por decisões administrativas, ou seja, pelos custos indiretos do produto. As informações sobre os processos administrativos da empresa são utilizadas para otimizar e reduzir os custos do produto. São elas, por exemplo: tempo de movimentação de material dentro da fábrica, salários de chefias e gerentes, despesas administrativas e outras.

- O segundo é formado pelos custos determinados por decisões de projeto, ou seja, pelos custos diretos. Contém informações relativas ao processo de projeto e aos processos produtivos que geram custo ao produto. Este subdomínio contém informações sobre as estruturas de desdobramento, métodos de estimativa e sistemas de gerenciamento de custos, devendo utilizá-las de modo organizado e sistemático.

A figura 7.2 mostra os subdomínios do sistema especialista e suas informações.



Figura 7.2 - Domínio do Sistema Especialista para Estimar os Custos de Produtos

7.3.1 - Sistema Especialista Desenvolvido por BOCK e BOCK

BOCK e BOCK [17] afirmam que um sistema especialista, para estimar os custos do produto durante o processo de projeto, necessita satisfazer aos seguintes requisitos:

- Preparação e aplicação de conhecimentos especializados a partir de elementos de projeto e da estimativa de custos.
- Aplicabilidade ao processo de projeto, possibilitando acesso a dados com diferentes níveis de precisão. Os dados não especificados necessitam ser derivados.

- Fornecimento de assistência ativa, objetivando interpretar os resultados dos procedimentos de contabilidade empregados, bem como garantir a otimização de custos específicos à situação em pauta.

- Flexibilidade de aplicação a situações específicas em termos de produto e organização.

O sistema desenvolvido por BOCK e BOCK [17] é capaz de fornecer informações sobre os custos do produto durante as três primeiras fases do processo de projeto, e procura estimar os custos a partir da busca de similaridade entre os produtos.

O sistema deve ter conhecimento dos dados disponíveis em cada fase do projeto e ser capaz de se inter-relacionar com os procedimentos de contabilidade, gerenciamento e estimativa de custos, para realizar o cálculo do custo do produto.

Durante o **estudo da tarefa de projeto**, o sistema procura, antes de estimar os custos, localizar um grupo de produtos semelhantes. A base de comparação de produtos similares é feita através da utilização de uma lista de requisitos do produto a ser projetado, comparando-a com uma lista de requisitos de produtos já projetados e produzidos pela empresa. Para facilitar esta comparação, as alternativas de concepção geradas para o produto são organizadas hierarquicamente.

A busca de similaridades, através da organização hierárquica das alternativas de concepção, presume que estas tenham sido classificadas em grupos, conforme a figura mostrada na figura 7.3, de acordo com as suas características físicas, fatores dominantes, requisitos funcionais e condições operacionais [17].

Obtida a similaridade entre os produtos ou componentes que formam o produto, o que significa dizer que o produto a ser projetado pode ser considerado como uma variante de um produto existente, ainda na primeira fase de projeto, inicia-se a o processo de estimativa de custos. Este processo de busca de princípios de similaridade permite a obtenção de resultados mais precisos, uma vez que existem mais informações disponíveis para se realizar a estimativa de custos.

Primeiramente, é estimado o custo dos componentes similares. Para isto, devem ser obtidos dados precisos sobre as dimensões geométricas do produto ou dos componentes, seja através do sistema especialista ou por meio de interação com o projetista e, finalmente, são aplicados os procedimentos de estimativa de custos, gerando assim, o resultado do custo estimado dos componentes similares.

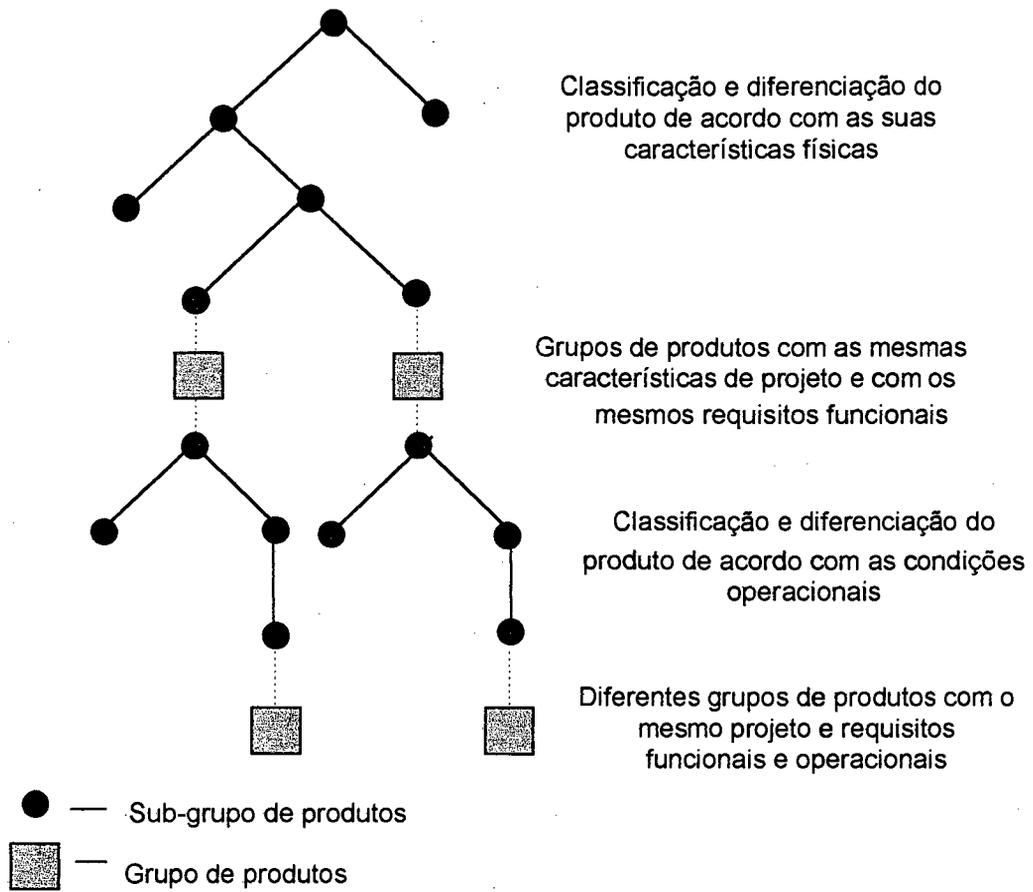


Figura 7.3 - Hierarquia de grupo de produtos [17].

Posteriormente, são calculados os custos das variantes do produto, ou seja, daquelas características que levam à diferenciação física do produto, que difere da lista básica de materiais apenas pelo acréscimo ao produto de componentes que não afetam sua estrutura básica. Então, este custo é estimado e somado ao determinado anteriormente. Deste modo, tem-se o custo estimado do produto.

Os custos e os dados obtidos proporcionam uma base de otimização de custos, que consiste na escolha de materiais alternativos, variantes de planejamento de operações de trabalho e processos produtivos, mais econômicos.

Segundo os autores, na próxima etapa do processo de projeto, **estruturação funcional e modular do produto**, caso a comparação de similaridades efetuada na etapa anterior não tenha sido bem sucedida (isto é, que não existam variantes de projeto), tentar-se-á executar os mesmos procedimentos de busca de similaridade usados para as funções do produto, para os princípios de solução e para as operações de montagem. A base desta comparação reside na classificação de todas as funções do produto e na sua atribuição para conjuntos de componentes.

Uma vez determinadas as dimensões geométricas dos conjuntos e dos componentes individuais, quer pela aplicação de regras, quer de maneira interativa com o projetista, poderá ser elaborada uma estimativa preliminar de custo para o produto sob a forma de custos de função ou custos de conjuntos ou componentes.

A figura 7.4 apresenta a estimativa de custos na segunda etapa do processo de projeto de acordo com a VDI. A estimativa é realizada de maneira semelhante à executada na primeira etapa do processo de projeto [17].

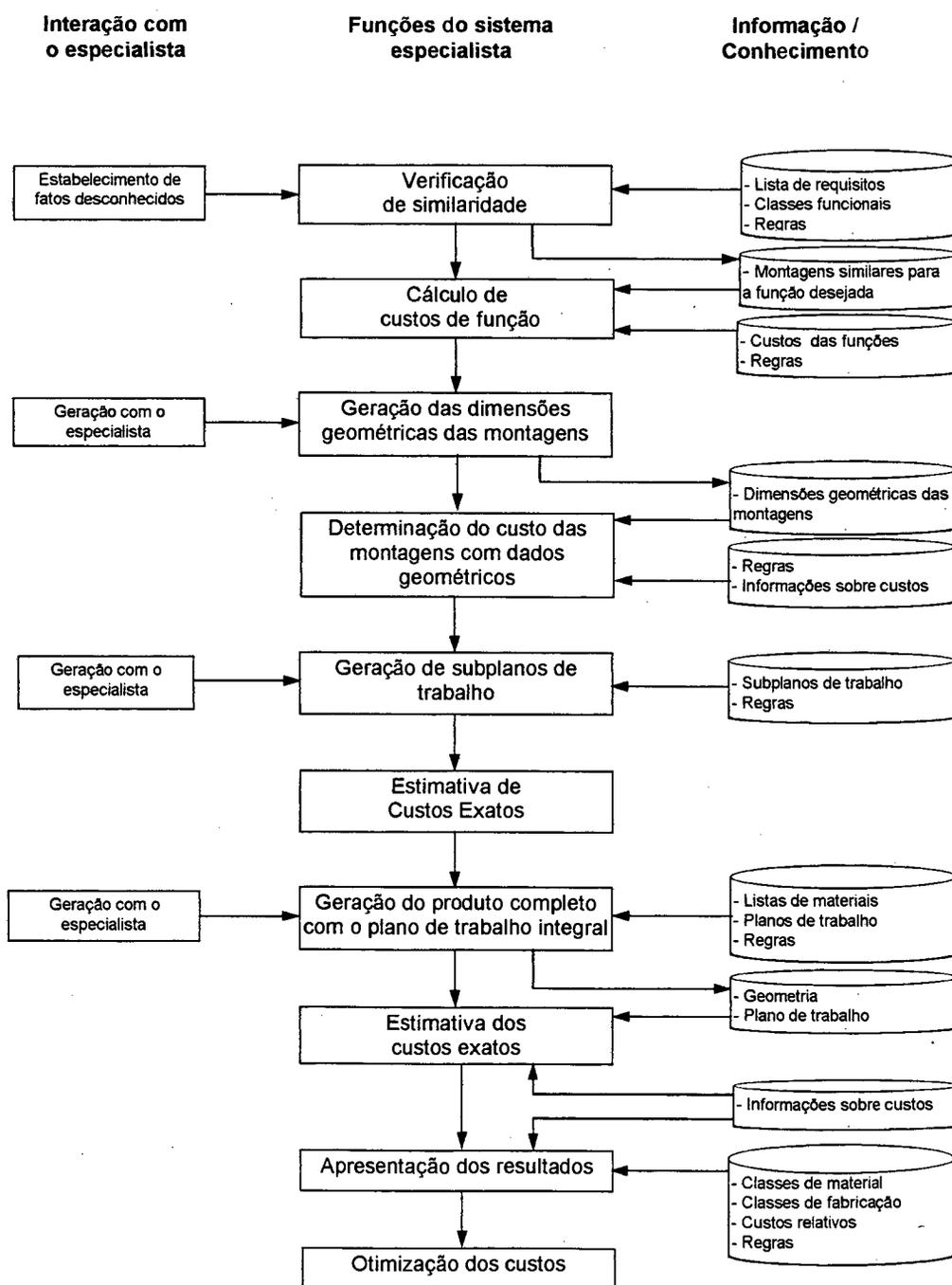


Figura 7.4 - Estimativa de custos na segunda etapa de projeto [17].

Caso, anteriormente, não tenha sido possível efetuar comparações de similaridade de produto e previsões satisfatórias de seus custos, na fase de **projeto preliminar**, o produto possuirá um projeto totalmente novo.

Desta forma, neste método, antes de estimar os custos do produto é necessário determinar as dimensões geométricas do mesmo. Os custos são calculados com o auxílio de procedimentos de estimativa baseados em dados geométricos.

Segundo BOCK e BOCK [17], a determinação exata dos custos sem que se possa ter acesso a métodos e processos de fabricação disponíveis requer grande quantidade de conhecimentos gerais e específicos em relação ao produto, provenientes da área de planejamento de custos, de projeto e produção. Evidentemente, isto será possível em casos limitados.

7.3.2 - Sistema Especialista Desenvolvido por ZENDER

ZENDER [116] desenvolveu um programa computacional para estimar os custos do produto, através da estimativa dos custos de material e dos processos de produção necessários à concepção do produto. O emprego do programa requer a utilização de dados de entrada tais como tamanho de lote, volume, material, tolerâncias e complexidade geométrica.

ZENDER [116] avalia o custo dos processos de manufatura através de um algoritmo que considera as diferentes sequências do processo produtivo, utilizando os dados de entrada relacionados.

Os materiais são inicialmente especificados em termos de classes gerais, ou seja, aço, ferro, alumínio, cobre e outros. As diferentes classes de material são especificadas de acordo com a sua influência sobre os custos dos processos produtivos. Estimados estes custos, os resultados são utilizados para comparar e classificar as sequências de processos produtivos viáveis econômica e tecnicamente.

A arquitetura do programa desenvolvido por ZENDER [116], possui três módulos, sendo, um de cálculo e duas bases de dados, conforme mostrado na figura 7.5.

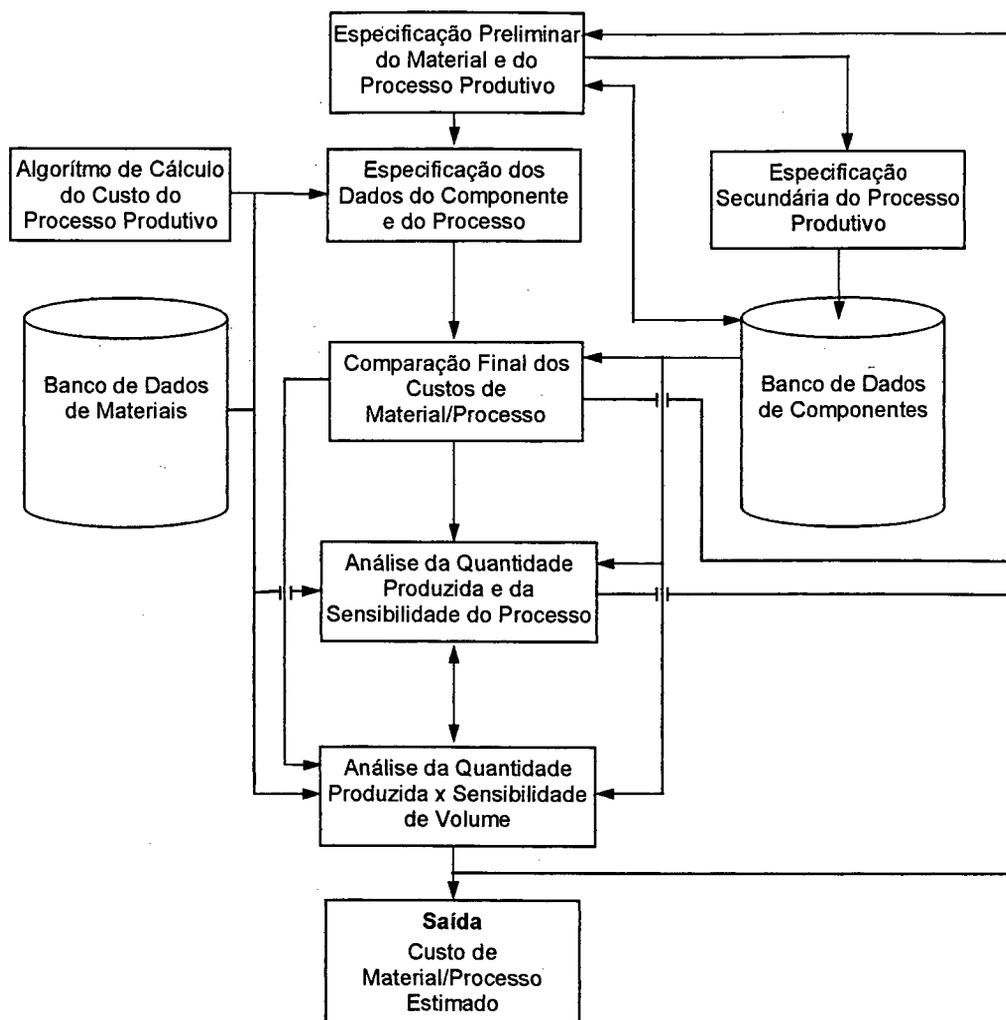


Figura 7.5 - Arquitetura do software de estimativa de custo de material/processo [116].

As duas primeiras entradas são as especificações primárias dos processos de manufatura e do tipo de material, juntamente com o processo secundário necessário para completar a especificação do componente. O terceiro módulo de entrada requer que o componente e os dados relativos à combinação processo/material estejam especificados nos dois primeiros módulos. O módulo de especificação do componente e dos dados do processo de manufatura acessa o módulo de cálculo, que contém os algoritmos para estimar os custos de manufatura.

Os bancos de dados de material são permanentes, ou seja, não sofrem alterações durante a execução do programa, sendo atualizados sempre que um novo material ou processo produtivo é adicionado ao programa computacional.

O banco de dados de componentes é dinâmico, sendo inicializado no começo de cada análise de estimativa de custo, e contém informações de entrada durante a execução dos três módulos de entrada.

7.3 - Conclusão

É notória a importância do desenvolvimento de sistemas especialistas nos diversos domínios do conhecimento.

Como pode ser observado, para desenvolver um sistema especialista de estimativa de custos é necessária a utilização de informações relativas ao processo de desenvolvimento de produto, às estruturas de desdobramento, aos métodos de estimativa e aos sistemas de gerenciamento de custos. Estas informações devem ser organizadas de forma sistemática, sob a forma de dados e regras, constituindo a base de conhecimento do sistema especialista.

As abordagens utilizadas para estimar os custos pelos sistemas especialistas desenvolvidos por BOCK e BOCK [17] e ZENDER [116] são diferentes.

No sistema especialista desenvolvido por BOCK e BOCK [17], a estimativa de custos do produto é feita através de um processo de comparação de produtos e componentes. Para isto, torna-se necessário que a empresa disponha de uma base de dados atualizada para realização destas comparações.

Por sua vez, ZENDER [116] estima o custo do produto a partir da estimativa dos custos dos processos produtivos e dos custos de material. O programa, então, seleciona a alternativa de menor custo.

Deve ser ressaltado que, durante a elaboração deste trabalho, não foram encontradas informações sobre sistemas especialistas que possibilitem a tomada de decisão para selecionar a melhor estrutura funcional e alternativa de solução conceitual do produto do ponto de vista econômico, despertando-se, assim, para a potencialidade do desenvolvimento de estudos na área.

CAPÍTULO VIII

METODOLOGIA DE ESTIMATIVA DE CUSTOS DE PRODUTOS NA FASE DE PROJETO CONCEITUAL

8.1 - Introdução

Nos capítulos anteriores, foram realizados estudos das teorias relativas ao processo de estimativa de custos de produtos nas diversas etapas do projeto conceitual, sendo analisadas as suas principais características e pontos fundamentais, os quais podem ser sintetizados como segue:

1. Segundo PAHL e BEITZ [82], devem ser observados, na análise da viabilidade econômica do produto, aspectos relacionados ao seu custo. A experiência no desenvolvimento de produtos tem mostrado que um dos requisitos de projeto mais importante é o custo.

2. As decisões tomadas na fase de projeto conceitual são responsáveis pela determinação de 65 % do custo total do produto [16]. Basicamente, sob o ponto de vista econômico, estas ocorrem quando da seleção da mais adequada estrutura funcional e alternativa de concepção em relação a um determinado custo-meta. Entretanto, este processo de seleção é realizado muitas vezes de forma subjetiva, sem que sejam avaliados criteriosamente aspectos técnicos e de custos do produto.

3. O custo-meta do produto é o valor do seu custo do ciclo de vida, dado pelo somatório dos custos de projeto, produção, operação, manutenção, retirada e descarte do produto, determinado no início do processo de projeto. Entretanto, dependendo do tipo, da complexidade, da falta de conhecimento disponível a respeito do comportamento e dos custos do produto após o seu desenvolvimento, o valor do custo-meta pode ser dado, somente, pelo custo de aquisição.

4. O processo de estimativa de custos possui duas etapas distintas: preparação das informações e estimativa de custos propriamente dita [17]. A preparação das informações de custos, no projeto conceitual, ocorre quando são levantadas as necessidades dos clientes e estabelecidos os requisitos e as especificações de projeto. Para preparar estas informações, são utilizadas as estruturas de desdobramento de custo, como a mostrada na figura 4.8, que permitem uma visão global dos diversos fatores que influenciam e dos custos que compõem o custo do ciclo de vida do produto.

5. Os momentos mais adequados para realizar a estimativa de custos, no projeto conceitual, são quando da seleção da estrutura funcional e da alternativa de concepção do produto. Para isto, são utilizados os conceitos descritos quando da apresentação dos métodos de estimativa de custos, pois estes permitem a projeção e o cálculo dos custos do produto a partir de informações disponíveis durante o projeto conceitual.

6. Os sistemas de gerenciamento não permitem a realização da estimativa do custo do produto a partir de informações disponíveis no processo de projeto, tais como, dimensões, materiais necessários a sua concepção, parâmetros técnicos. Entretanto, através destes sistemas é possível identificar os custos das atividades produtivas e administrativas da empresa, além de permitir o acompanhamento, a administração, o controle e o cálculo dos custos destes processos. Assim, as informações provenientes destes sistemas podem ser empregadas no processo de estimativa de custos.

7. Alguns métodos de estimativa fornecem como resultado, somente, um determinado custo do ciclo de vida do produto. Utilizando as informações provenientes dos sistemas de gerenciamento é possível ter conhecimento da contribuição relativa, percentual, deste custo estimado no custo do ciclo de vida do produto, possibilitando, assim, a estimativa deste último.

Tendo em vista o exposto anteriormente, pode-se observar a necessidade de se buscarem sistemáticas ou procedimentos para estimar e avaliar os custos do produto, na fase de projeto conceitual, principalmente, nas etapas de seleção da estrutura funcional e seleção da alternativa de concepção.

A figura 8.1 apresenta de forma esquemática o relacionamento entre as etapas de projeto conceitual, as informações e os procedimentos necessários à estimativa de custos e, que servirá como base para a metodologia descrita a seguir.

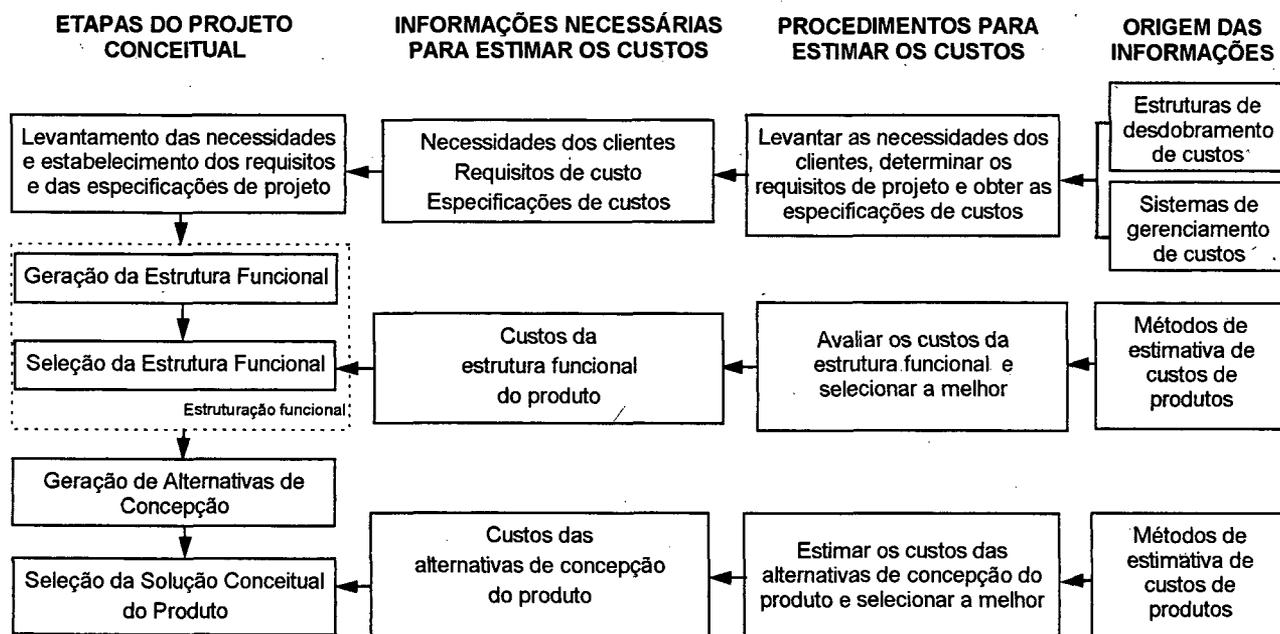


Figura 8.1 - Síntese do estudo do processo de estimativa de custos de produtos

8.2 - Metodologia de Estimativa de Custos de Produtos na Fase de Projeto Conceitual

A metodologia proposta tem como objetivo fundamental fornecer subsídios às principais tomadas de decisão na fase de projeto conceitual, que ocorrem quando da seleção da estrutura funcional e da alternativa de concepção do produto. Para tal, são propostos três procedimentos, mostrados em vermelho na figura 8.2, os quais devem ser executados simultaneamente ao processo de projeto, de modo a agregar informações ao mesmo.

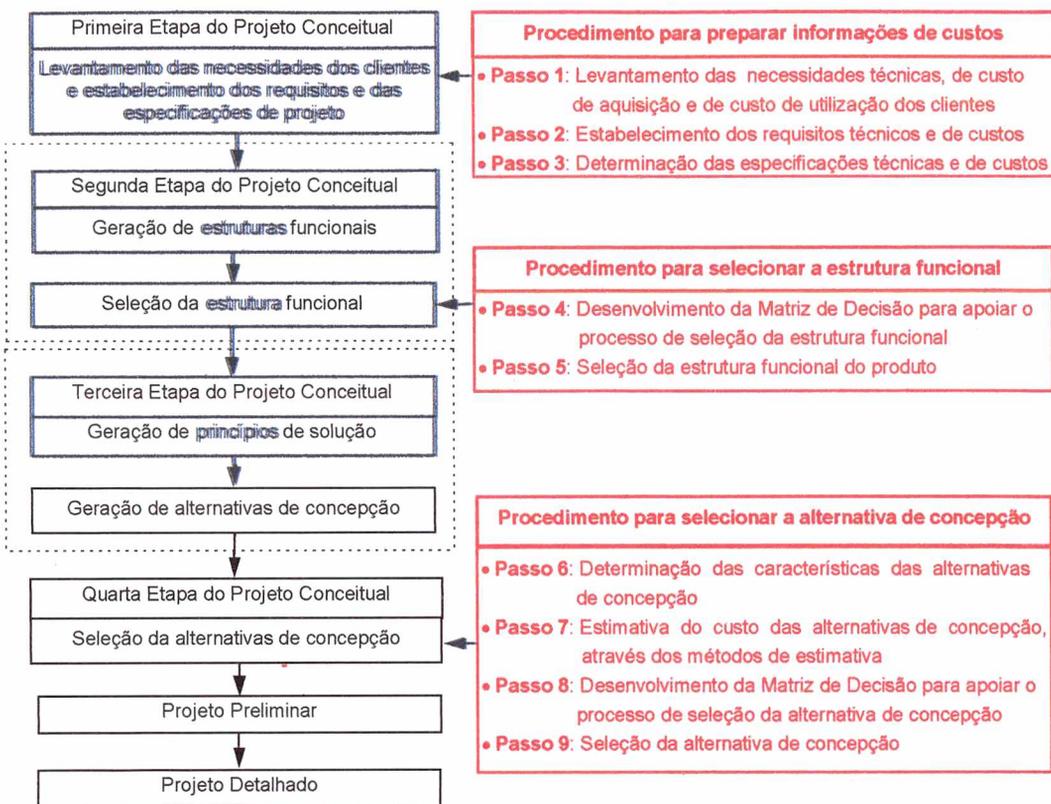


Figura 8.2 - Síntese da metodologia de estimativa de custos proposta

8.2.1 - Procedimento para Preparar as Informações sobre Custos

Na primeira etapa do projeto conceitual é importante que ocorra a preparação das informações sobre custos, a partir de informações provenientes das estruturas de desdobramento e dos sistemas de gerenciamento de custos, juntamente com a definição da tarefa de projeto. Esta fase de preparação visa gerar um maior número de informações ao processo de projeto, de modo a facilitar a seleção da estrutura funcional e alternativa de concepção do produto. Para isto, são propostos os seguintes passos:

Passo 1: Levantamento das necessidades dos clientes

A estimativa de custos do produto começa a ser delimitada na etapa de levantamento das necessidades dos clientes. Os clientes internos (departamentos da empresa) e externos (consumidores) devem expressar o que desejam do produto. A metodologia propõe que estas necessidades sejam agrupadas de acordo com a natureza das informações envolvidas, em dois grupos:

- **Necessidades Técnicas** - refletem o que os clientes desejam do produto em termos de desempenho técnico, nas diversas etapas do seu ciclo de vida.

Para levantar estas necessidades, são utilizadas ferramentas específicas destinadas a este fim, que procuram “ouvir” o que os clientes desejam do produto, tais como, pesquisa de mercado, *check-list*, entre outras.

- **Necessidades de Custos** - refletem o que os clientes desejam do produto em termos de custos diretos, nas diversas etapas do seu ciclo de vida. Exemplos: baixo custo de fabricação, baixo custo de operação.

Ainda, pode-se agrupar as **necessidades de custos** de acordo, com as fases do ciclo de vida do produto, a fim de facilitar o seu levantamento em:

- Necessidades de custo de aquisição** - compreende as necessidades dos clientes relativas ao custo direto de pesquisa, desenvolvimento, produção e construção do produto.

- Necessidades de custo de utilização** - compreende as necessidades dos clientes relativas ao custo de operação, manutenção, retirada e descarte do produto.

O levantamento destas necessidades de custos é realizado através da utilização de *check-lists*, como o apresentado no apêndice 1, elaborado a partir de informações provenientes da estrutura de desdobramento proposta e apresentada na figura 4.9.

Passo 2: Estabelecimento dos requisitos técnicos e de custo

A preparação de informações sobre custos também requer o estabelecimento dos requisitos de projeto, entendendo-se por requisitos, as condições necessárias para se alcançar um certo objetivo [30].

Da mesma forma que as necessidades dos clientes, propõe-se o agrupamento dos requisitos de projeto, de acordo com a natureza das informações envolvidas, em:

- **Requisitos técnicos do produto** - RT_i - são m parâmetros técnicos mensuráveis que definem as características operacionais e as funções do produto, tais como peso, velocidade, vazão, potência, entre outros. Os requisitos técnicos são obtidos a partir da utilização de técnicas específicas.

- **Requisitos de custos do produto** - RC_k - é um conjunto de n custos relacionados ao ciclo de vida do produto apresentados na estrutura de desdobramento proposta na figura 4.9 e listados a seguir:

- Pesquisa e desenvolvimento
- Documentação do produto
- Teste e avaliação do produto
- Manufatura
- Material
- Montagem e submontagem
- Inspeção do produto
- Armazenagem do produto na empresa
- Transporte
- Embalagem
- Controle de qualidade
- Suporte logístico
- Distribuição do produto
- Operação do produto
- Manutenção do produto
- Descarte dos elementos não reaproveitáveis
- Resíduos de elementos
- Retirada do produto

Após o estabelecimento dos requisitos, estes são relacionados às necessidades dos clientes, empregando a primeira matriz de QFD, a fim de obter os requisitos técnicos e de custos mais importantes, expressos, respectivamente, pelos pesos relativos (PR_{RT}) e (PR_{RC}). A utilização da matriz de QFD é apresentada no apêndice 2.

Passo 3: Determinação das especificações técnicas e de custo

Da mesma forma que as necessidades e os requisitos, as especificações de projeto também são agrupadas de acordo com a natureza das informações envolvidas.

- **Especificações técnicas do produto** - ET_i - são os requisitos técnicos expressos com um número e unidade [109]. Por exemplo, potência mínima de 5 kW.
- **Especificações de custos do produto** - EC_k - são os requisitos de custos expressos com um número e uma unidade monetária, sendo dados em termos de:

i) **Custos absolutos** (ECA_k) - são os custos do ciclo de vida do produto expressos por um número e uma unidade monetária. O somatório destes custos deve ser igual ao custo-meta do produto. São exemplos de especificações de custo absoluto: custo de material de R\$ 12,00, custo de fabricação R\$ 7,30.

ii) **Custo relativo** (ECR_k) - são os custos do ciclo de vida do produto expressos por um valor percentual do custo-meta, por exemplo, custo de material igual a 32 % do custo do ciclo de vida do produto.

Os valores das especificações de custos, absolutos e relativos, podem ser obtidos a partir de informações cuja proveniência é:

i) **Empresas** - que possuem o conhecimento dos seus processos produtivos e administrativos, podendo assim, ser determinada a contribuição de cada processo no custo meta do produto. Em muitos casos, as informações provenientes dos sistemas de gerenciamento podem ser utilizadas para determinar esta contribuição e, conseqüentemente, estabelecer a especificação de custos do produto.

ii) **Literatura** - vários autores apresentam dados da contribuição percentual de alguns custos no custo do ciclo de vida do produto. Estes valores são obtidos a partir de estudos que consideram o tipo de produto a ser projetado, as condições no qual o produto será produzido, entre outras informações.

Portanto, como resultado da preparação de informações sobre custos, tem-se:

- Necessidades técnicas, de custo de aquisição e de utilização do produto;
- Requisitos técnicos e de custo e seus respectivos pesos de importância e
- Especificações técnicas e de custos do produto.

A seguir, será apresentado o procedimento proposto para selecionar a estrutura funcional do produto.

8.2.2 - Procedimento para Selecionar a Estrutura Funcional

Na segunda etapa do projeto conceitual ocorre a estruturação funcional do produto, compreendendo a geração de estruturas funcionais e a seleção da melhor sob os pontos de vista técnico e econômico.

Nas sistemáticas atuais de projeto, a seleção da estrutura funcional é realizada de forma subjetiva, muito mais com base na intuição e na experiência, do que na avaliação mais criteriosa do seu desempenho sob o ponto de vista técnico e de custo.

Deste modo, é importante que a seleção da estrutura funcional do produto seja realizada de forma mais criteriosa e sistematizada, com base nas informações obtidas no procedimento anterior.

Neste sentido, com o objetivo de apoiar e orientar o decisor no processo de seleção da estrutura funcional, é proposta a utilização de uma Matriz de Decisão, na qual estas estruturas são avaliadas em relação aos requisitos técnicos e às especificações de custos do produto.

Como pode ser observado na figura 8.2, serão empregados os seguintes passos e tarefas para selecionar a estrutura funcional.

Passo 4: Desenvolvimento da Matriz de Decisão

A matriz de decisão tem o objetivo de apoiar o processo de seleção da estrutura funcional do produto, através da obtenção de um índice que aponte o nível de desempenho técnico e de custo das mesmas. A matriz, exemplificada na figura 8.3, é composta de dois campos de preenchimento.

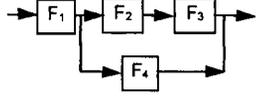
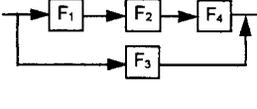
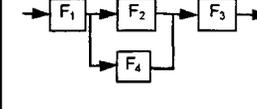
Requisitos Técnicos e Especificações de Custo do Produto		Estruturas Funcionais Geradas para o Produto (EF _j)		
		ESTRUTURA 1 	ESTRUTURA 2 	ESTRUTURA 3 
Requisitos Técnicos	PR _{RT}	Avaliação das estruturas em relação os requisitos técnicos		
RT ₁	PR _{RT1}	⊙	*	○
RT ₂	PR _{RT2}	⊙	○	⊙
...
RT _m	PR _{RTm}	*	⊙	○
Índice de desempenho técnico (IDT _j)		280,5	174,5	352,5
Espe. de Custo	ECR _n	Avaliação das estruturas em relação as especificações de custo		
EC ₁	0.40	↑	↑	↑
EC ₂	0.25	●	↑	●
...	...			
EC _n	0,10	●	●	↓
Índice de custo (IDC _j)		123,5	237,5	245,5
Relação entre o IDT _j e o IDC _j		280,5/123,5 = 2,27	174,5/237,5 = 0,73	352,5/245,5 = 1,43

Figura 8.3 - Matriz de decisão para seleção da estrutura funcional do produto

O primeiro campo, superior, é destinado à avaliação das estruturas funcionais com relação aos requisitos técnicos, sendo obtido um índice de desempenho técnico, que fornece uma indicação de qual estrutura apresenta um melhor desempenho técnico em relação às demais.

O segundo, inferior, é destinado a avaliação das estruturas de acordo com as especificações de custos, sendo obtido um índice de desempenho de custo, fornecendo uma orientação de qual estrutura apresenta um custo mais baixo em relação as demais.

O desenvolvimento da matriz de decisão compreende as seguintes tarefas:

Tarefa 1 : Preenchimento da matriz com os requisitos técnicos - A primeira e a segunda coluna do campo superior da matriz devem ser preenchidos, respectivamente, com os m requisitos técnicos do produto (RT) e os seus correspondentes pesos relativos (PR_{RT}), obtidos na primeira matriz de QFD, conforme mostrado no 5º passo do apêndice 2.

Tarefa 2: Avaliação das estruturas em relação aos requisitos técnicos - é realizada através do preenchimento do primeiro campo da matriz, sendo avaliado o modo pelo qual cada estrutura funcional se comporta quanto a cada um dos requisitos técnicos, ou seja, é verificado se o desempenho técnico da estrutura (DT_{ij}), para um determinado requisito é fraco, satisfatório ou excelente.

O preenchimento desta matriz deve ser realizado por uma equipe multidisciplinar, composta por especialistas com conhecimento sobre o produto a ser projetado, procurando observar de que forma os seguintes aspectos podem influenciar o desempenho técnico de cada estrutura funcional: a disposição das funções, o fluxo de energia, material e sinal entre as mesmas, o tipo e o nível de complexidade dos possíveis princípios de solução capazes de executar as funções das estruturas.

Este preenchimento é realizado utilizando símbolos que, posteriormente, são convertidos em valores numéricos, conforme apresentado na tabela 8.1. Estes símbolos representam o nível de desempenho técnico das estruturas avaliadas.

Tabela 8.1 - Simbologia da avaliação do desempenho técnico das estruturas.

Símbolo	Avaliação de Desempenho Técnico	Valor (DT_{ij})
⊙	desempenho excelente	10
○	desempenho satisfatório	5
*	desempenho fraco	1

x

Tarefa 3: Determinação do índice de desempenho técnico (IDT_j) - O índice (IDT_j) de cada estrutura funcional j é obtido somando o resultado da multiplicação do valor do desempenho técnico (DT_{ij}) de cada um dos m requisitos técnicos pelo seu, respectivo, peso relativo (PR_{RTi}), conforme segue:

$$IDT_j = \sum_{i=1}^m (PR_{RTi} \times DT_{ij}) \quad (8.1)$$

onde, IDT_j - índice de desempenho técnico da estrutura funcional j ;

PR_{RTi} - peso relativo do requisito técnico m e

DT_{ij} - valor da avaliação do desempenho técnico da estrutura funcional j .

A estrutura que possuir o maior valor do índice de desempenho técnico (IDT_j), é aquela que apresenta o melhor desempenho técnico, em comparação com as demais.

Tarefa 4: Preenchimento da matriz com as especificações de custo - A primeira e a segunda coluna do campo inferior da matriz devem ser preenchidos, respectivamente, com os n custos-meta do ciclo de vida do produto (EC_k) e com o valor relativo das especificações de custos (ECR), ou seja, os custos relativos do ciclo de vida do produto, obtidos na fase de preparação de informações de custos.

Tarefa 5: Avaliação das estruturas em relação às especificações de custo - é realizada através do preenchimento do segundo campo da matriz, avaliando, se cada custo do ciclo de vida (EC_k) das estruturas funcionais é alto, médio ou baixo.

O preenchimento deste campo da matriz deve ser realizado por uma equipe multidisciplinar, composta por especialistas em projeto do produto, processos de manufatura e custos, procurando observar, para cada estrutura, de que forma os seguintes aspectos podem influenciar o seu custo: a disposição das funções, o fluxo de energia, material e sinal entre as mesmas, o tipo e o nível de complexidade dos possíveis princípios de solução capazes de executar as funções das estruturas.

Este preenchimento é realizado utilizando símbolos que, posteriormente, são convertidos em valores numéricos, conforme apresentado na tabela 8.2. Estes símbolos representam o nível de custos das estruturas funcionais avaliadas.

Tabela 8.2 - Simbologia da avaliação de custos das estruturas funcionais.

Símbolo	Avaliação de custos	Valor (DC _{kj})
↑	custo alto	10
●	custo médio	5
↓	custo baixo	1

x

Tarefa 6: Determinação do índice de custo (IDC_j): O índice de cada estrutura j é obtido somando o resultado da multiplicação do valor (DC_{kj}) de cada um dos custos do ciclo de vida pelo seu, respectivo, custo relativo (ECR_k), conforme mostra a equação (8.2).

$$IDC_j = \sum_{k=1}^n (ECR_k \times DC_{kj}) \quad (8.2)$$

onde, IDC_j - Índice de desempenho de custo da estrutura funcional j ;

ECR_k - Valor relativo do n custo do ciclo de vida do produto e

DC_{kj} - Valor da avaliação do custo do ciclo de vida de cada estrutura funcional.

Passo 5: Seleção da estrutura funcional

A seleção da estrutura funcional do produto deve ser realizada considerando aspectos técnicos e de custo. Para isto, são empregados os resultados obtidos a partir da aplicação da matriz de decisão.

Analisando, somente, o resultado do índice de desempenho técnico, é possível identificar qual estrutura apresenta melhor desempenho técnico, em relação as demais. Da mesma forma, analisando, somente, o resultado do índice de custo, é possível identificar qual estrutura apresenta custo mais baixo em relação às demais.

Assim, analisando e comparando o resultado destes índices é possível selecionar a estrutura funcional do produto, segundo um determinado critério de seleção. Este critério dependerá, basicamente, das características do produto a ser projetado em termos técnicos e do nível econômico dos consumidores do mesmo.

Na maioria dos casos, tem-se como critério de seleção, o melhor desempenho técnico a um custo mais baixo. Nesta situação, a estrutura pode ser selecionada através da análise do valor dado pela relação entre o índice de desempenho técnico e de custo de cada estrutura funcional. O decisor deve buscar selecionar aquela estrutura que apresenta índice mais elevado.

Entretanto, para os produtos que tenham como características fundamentais, a alta tecnologia envolvida e sejam destinados a consumidores de elevado poder aquisitivo, a estrutura a ser selecionada pode ser aquela que possua o mais elevado nível de desempenho técnico, e não, necessariamente, com um custo baixo.

Por outro lado, para os produtos que apresentem como características básicas, um baixo nível tecnológico e sejam destinados a consumidores de baixo poder aquisitivo, a estrutura funcional a ser selecionada pode ser aquela que apresente o custo mais baixo, e não, necessariamente, o melhor desempenho técnico.

É importante colocar, que o processo de seleção da estrutura funcional através da matriz de decisão, não garante que a estrutura selecionada possua um custo menor que o custo-meta do produto, uma vez que o valor do índice de desempenho de custo foi obtido através de um processo de julgamento e avaliação das características das estruturas em relação as especificações de custo e, não de estimativa de custo das funções que a compõem.

Para obter o valor do custo estimado da estrutura funcional, ao invés do valor do índice de desempenho, seria necessário aplicar os métodos de estimativa apresentados no capítulo V. Entretanto, nesta etapa do projeto conceitual, o nível de abstração das informações é elevado, tornando difícil e complexa a aplicação destes métodos e, conseqüentemente, a obtenção do valor do custo estimado das estruturas funcionais.

Desta forma, através da execução destes procedimentos tem-se, nesta segunda etapa do projeto conceitual, uma estrutura funcional do produto selecionada de acordo com critérios técnicos e econômicos.

8.2.3 - Procedimento para Selecionar a Alternativa de Concepção

Uma vez selecionada a estrutura funcional do produto, na terceira etapa do projeto conceitual são gerados os princípios de solução para cada função que, posteriormente, serão combinados formando as alternativas de concepção do produto.

Na etapa seguinte do projeto conceitual, deve ser realizada a seleção da alternativa de concepção mais adequada aos requisitos técnicos e ao custo-meta do produto. Do mesmo modo, que na seleção da estrutura funcional, é importante que a seleção da solução conceitual do produto seja realizada com base em um processo fundamentado de avaliação técnica e de custo das alternativas de concepção.

Desta forma, é proposto o desenvolvimento de uma matriz de decisão, na qual estas alternativas serão avaliadas em relação aos requisitos técnicos.

Como pode ser observado na figura 8.2, serão empregados os seguintes passos para selecionar a alternativa de concepção do produto:

Passo 6: Determinação das características da alternativa de concepção

Como colocado anteriormente, a alternativa de concepção é composta por um conjunto de princípios de solução que devem possuir compatibilidade física e espacial.

Segundo PAHL e BEITZ [82], na fase de projeto conceitual, os princípios de solução não possuem informações suficientes para que se realize uma adequada avaliação da sua viabilidade econômica, pois não estão disponíveis informações suficientes sobre as suas características, aspectos de manufatura, montagem, uso e manutenção, entre outras. Entretanto, no projeto conceitual tem-se noção destas grandezas.

Assim, para estimar o custo das alternativas de concepção do produto, PAHL e BEITZ [82] afirmam que é necessário executar um “*Firm-up*” dos princípios de solução, e conseqüentemente, das alternativas de concepção, ou seja, deve-se refinar, estruturar, incorporar mais informações aos princípios gerados.

Deste modo, propõe-se que sejam levantadas as seguintes características e informações sobre os princípios de solução:

- Classe do material constituinte, se aço, plástico, bronze, entre outros;
- Processos de produção necessários à fabricação dos componentes constituintes dos princípios, se usinagem, soldagem, furação, entre outros;
- Dimensões básicas dos componentes constituintes dos princípios de solução;
- Informações sobre propriedades e características mecânicas dos princípios, tais como potência, velocidade de deslocamento, força de acionamento, entre outras,
- Verificar a existência de módulos padronizados e comercialmente disponíveis que executem as funções da estrutura funcional e
- Outras informações que caracterizem os princípios funcionais.

Para apresentar as informações levantadas no “*Firm-up*” é proposto que estas sejam organizadas, conforme mostrado na tabela 8.3.

Tabela 8.3 - Caracterização das alternativas de concepção.

Caracterização da alternativa de concepção 1			
Princípios de solução	Tipo de material constituinte	Processo de produção	Especificações básicas
Princípio 1			
Princípio 2			
...			
Princípio n			

Passo 7: Estimativa dos custos das alternativas de concepções

Para selecionar a alternativa de concepção mais adequada ao custo-meta do produto é necessário estimar o custo dos princípios de solução que a compõem. O valor do custo estimado das alternativas é o resultado da soma do custo estimado dos princípios de solução. Para estimar os custos das alternativas de concepção podem ser empregados os métodos apresentados no item 5.4. e citados a seguir, que estimam o custo a partir das características dos princípios de solução e componentes:

- Método baseado na estimativa do custo dos processos de produção;
- Método baseado na estimativa do custo de material do produto;
- Método baseado no desenvolvimento de leis de similaridade;
- Método Delphi.

A maioria destes métodos permite estimar somente um determinado custo do produto. Entretanto, dispendo do valor da contribuição relativa deste custo estimado, no custo do ciclo de vida do produto, este último pode ter o seu valor calculado. Assim, tem-se o valor do custo estimado do ciclo de vida do produto.

A utilização dos métodos mais adequados para cada princípio de solução dependerá das informações disponíveis sobre o mesmo e do tipo de custo que se deseja estimar.

Conforme colocado, o valor do custo-meta do produto, determinado no início do processo de projeto, pode ser dado pelo custo do ciclo de vida do produto ou, somente, pelo seu custo de aquisição. Assim, é importante que na execução deste passo, se tenha conhecimento dos custos que compõem o valor do custo-meta do produto, a fim de que, a análise das alternativas de concepção sob o ponto de vista econômico seja realizada de modo coerente.

Passo 8: Desenvolvimento da Matriz de Decisão

A matriz de decisão proposta, exemplificada na figura 8.4, tem o objetivo de apoiar e orientar o decisor no processo de seleção da alternativa de concepção, a partir da obtenção de um índice de desempenho técnico, indicando qual delas possui melhor desempenho técnico em relação às demais e da apresentação do valor do seu custo estimado.

Requisitos técnicos e custo estimado das alternativas de concepção		Alternativas de concepção do produto (AC_j)		
		ALTERNATIVA DE CONCEPÇÃO 1	ALTERNATIVA DE CONCEPÇÃO 2	ALTERNATIVA DE CONCEPÇÃO 3
Requisitos Técnicos	PR_{RT}	Avaliação das alternativas em relação aos requisitos técnicos		
RT_1	PR_{RT1}	⊙	*	○
RT_2	PR_{RT2}	⊙	○	⊙
...
RT_m	PR_{RTm}	*	⊙	○
Índice de Desempenho Técnico (IDA_j)		384,5	297,6	412,2
Valor do custo estimado da alternativa de concepção		354,22	422,00	544,00

Figura 8.4 - Matriz de decisão para seleção da alternativa de concepção do produto.

O desenvolvimento da matriz de decisão para seleção da alternativa de concepção do produto compreende as mesmas tarefas do passo 4, isto é:

Tarefa 1 : Preenchimento da matriz com os requisitos técnicos - A primeira e a segunda coluna do campo superior da matriz devem ser preenchidos, respectivamente, com os m requisitos técnicos do produto (RT) e os seus correspondentes pesos relativos (PR_{RT}), obtidos na primeira matriz de QFD, conforme mostrado no 5º passo do apêndice 2.

Tarefa 2: Avaliação das alternativas em relação aos requisitos técnicos - É realizada através do preenchimento do primeiro campo da matriz, avaliando o modo pelo qual cada alternativa de concepção se comporta quanto a cada um dos requisitos técnicos, ou seja, é verificado se o desempenho técnico da alternativa (DA_{ij}) para um determinado requisito é fraco, satisfatório ou excelente.

O preenchimento desta matriz deve ser realizado por uma equipe multidisciplinar, composta por especialistas com conhecimento sobre o produto a ser projetado, procurando avaliar o desempenho técnico dos princípios de soluções que compõem as alternativas de concepção.

Este preenchimento é realizado utilizando símbolos que, posteriormente, são convertidos em valores numéricos, conforme apresentado na tabela 8.4. Estes símbolos representam o desempenho técnico das alternativas de concepção do produto.

Tabela 8.4 - Simbologia da avaliação do desempenho técnico das alternativas.

Símbolo	Desempenho Técnico	Valor (DA _{ij})
⊙	desempenho excelente	10
○	desempenho satisfatório	5
*	desempenho fraco	1

Tarefa 3: Determinação do Índice de Desempenho Técnico (IDA_j) - O índice (IDA_j) de cada alternativa de concepção j é obtido somando o resultado da multiplicação do valor do desempenho técnico (DA_{ij}) de cada um dos m requisitos técnicos pelo seu, respectivo, peso relativo (PR_{RTi}), conforme segue:

$$IDA_j = \sum_{i=1}^m (PR_{RTi} \times DA_{ij}) \quad (8.3)$$

onde, IDA_j - Índice de desempenho técnico da alternativa de concepção j ;

PR_{RTi} - Peso relativo do requisito técnico m e

DA_{ij} - Valor da avaliação do desempenho técnico da alternativa de concepção j .

Tarefa 4: Preenchimento da matriz com o valor do custo estimado das alternativas de concepção - O campo inferior da matriz deve ser preenchido com o valor do custo estimado das alternativas de concepção, determinado no passo 7. Este custo pode ser o custo do ciclo de vida do produto ou, somente, o custo de aquisição.

Passo 9: Seleção da alternativa de concepção do produto

A seleção da alternativa de concepção deve ser realizada considerando aspectos técnicos e o valor do custo estimado do produto, assim como no processo de seleção da estrutura funcional. Para isto, são empregados os resultados obtidos a partir da matriz de decisão, desenvolvida no passo 8, e do valor do custo estimado das alternativas de concepção, obtido no passo 7.

Analisando, somente, o resultado do índice de desempenho técnico, é possível identificar qual alternativa de concepção apresenta melhor desempenho técnico, em relação as demais. Da mesma forma, analisando, somente, o valor do custo estimado, é possível identificar qual alternativa apresenta custo mais baixo em relação as demais e qual está de acordo com o custo-meta do produto, determinado no início do projeto.

Assim, analisando o resultado do índice de desempenho técnico e comparando o valor do custo estimado com o custo-meta do produto, é possível selecionar uma alternativa de concepção do produto, segundo um determinado critério de seleção. Este critério dependerá, basicamente, das características do produto a ser projetado em termos técnicos e do nível econômico dos consumidores do mesmo.

Na maioria dos casos, tem-se como critério de seleção, o melhor desempenho técnico a um custo mais baixo. Nesta situação, o decisor deve buscar selecionar aquela alternativa de concepção que apresentar o maior índice de desempenho técnico e um valor de custo estimado mais baixo.

Entretanto, para os produtos que tenham como características fundamentais, a alta tecnologia envolvida e sejam destinados a consumidores de elevado poder aquisitivo, a estrutura a ser selecionada pode ser aquela que possua o mais elevado nível de desempenho técnico, e não, necessariamente, com custo baixo.

Por outro lado, para os produtos que apresentem como características básicas, um baixo nível tecnológico e sejam destinados a consumidores de baixo poder aquisitivo, a alternativa de concepção a ser selecionada pode ser aquela que apresente o custo mais baixo, e não, necessariamente, o melhor desempenho técnico.

Portanto, nesta quarta etapa do projeto conceituai, através dos procedimentos apresentados tem-se uma alternativa de concepção do produto selecionada, através da avaliação técnica das mesmas e da análise de seus custos.

8.3 - Conclusão

A metodologia proposta apresenta uma série de procedimentos que buscam apoiar o processo de tomada de decisão para selecionar a estrutura funcional e a alternativa de solução do produto, de um modo mais criterioso.

O processo de seleção da estrutura funcional e da alternativa de concepção do produto, inicia-se com a fase de preparação das informações sobre custos. A proposição da classificação das necessidades dos clientes, dos requisitos e das especificações do produto de acordo com a natureza das informações envolvidas, visou a sistematização do levantamento e da preparação das informações sobre custos.

Esta sistemática tem a contribuição de “chamar” para o projeto conceitual as pessoas envolvidas nas diversas etapas do ciclo de vida do produto, convergindo aos conceitos e aos princípios da engenharia simultânea.

O levantamento das necessidades de custos tomando como base um “*check-list*” visa garantir que todos os custos relacionados às diversas etapas do ciclo de vida do produto sejam analisados, uma vez que este foi elaborado a partir de uma estrutura de desdobramento de custos que permitem uma visão dos diversos fatores que influenciam e dos custos que compõem o custo do ciclo de vida do produto.

As especificações de custos podem ser obtidas a partir de informações provenientes das empresas e da literatura. As empresas possuem informações específicas para um tipo de produto, portanto, mais precisas. Entretanto, a obtenção destas informações requer que as mesmas tenham conhecimento dos seus processos produtivos e administrativos, o que pode ser feito através da utilização das informações provenientes dos sistemas de gerenciamento. A literatura, geralmente, apresenta estas informações para uma classe de produto sendo, muitas vezes abrangentes, podendo gerar distorções e imprecisões no processo de estimativa de custos do produto.

Na metodologia proposta, o processo de seleção da estrutura funcional e da alternativa de concepção ocorre através da avaliação mais criteriosa dos requisitos técnicos, de custos e da estimativa de custos do produto.

A aplicação da matriz de decisão no processo de seleção da estrutura funcional e da alternativa de concepção visa garantir que este processo seja realizado de forma sistematizada, com base em um número maior de informações, de um modo menos abstrato, ao contrário, das práticas atuais.

Em alguns casos, o número de alternativas de concepção geradas para o produto pode ser elevado e, conseqüentemente, o processo de estimativa de custos tende a ser demorado. Neste caso, para facilitar a seleção da alternativa de concepção do produto pode-se executar um procedimento semelhante ao desenvolvido quando da seleção da estrutura funcional, descrito no passo 4. Assim, primeiramente, seria realizado uma seleção preliminar destas alternativas, com base no resultado da avaliação das mesmas em relação as especificações de custos. Na seqüência, os custos das alternativas selecionadas preliminarmente seriam estimados e comparados com o valor do custo-meta do produto. Desta forma, a seguir, seria realizada uma seleção final da alternativa de concepção do produto considerando aspectos técnicos e de custos, conforme apresentado no passo 9.

Esta abordagem possibilita a redução do tempo relacionado à estimativa de custo. Por outro lado, caso a avaliação das alternativas de concepção em relação às especificações de custos seja realizada de forma subjetiva, sem basear-se nas características dos princípios de solução que as compõem, os resultados obtidos podem ser poucos confiáveis e, conseqüentemente, novas avaliação e retificações nas etapas seguintes do processo de projeto deverão ser realizadas.

Deve-se ressaltar que a metodologia de proposta não alterou a sistemática de execução do processo de projeto propriamente dito, mas agregou informações ao mesmo, de modo que a tomada de decisão seja realizada de forma mais objetiva, com base em informações de projeto.

CAPÍTULO IX

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

9.1 - Introdução

Neste capítulo é apresentado um exemplo da aplicação da metodologia proposta, no projeto conceitual de um implemento de abertura e de adubação de sulcos no plantio direto, destinado a pequenos e médios agricultores, desenvolvido no Laboratório de Projeto do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina [6].

O plantio direto é uma técnica de cultivo na qual a semente ou muda é colocada diretamente no solo, o qual deve possuir uma cobertura vegetal não revolvida [112].

Esta técnica requer o uso de máquinas especiais, para abrir um pequeno sulco com largura e profundidade suficientes, a fim de assegurar um bom contato da muda ou semente com o solo e também a perfeita agregação do adubo.

9.2 - Implemento de Abertura e Adubação de Sulcos no Plantio Direto

O implemento de abertura e adubação de sulcos no plantio direto deve, primeiramente, preparar o solo, a partir de um terreno totalmente coberto por uma vegetação para adubação verde como, por exemplo, milho, aveia ou restos de outras culturas e, na sequência, abrir um sulco no solo, com dimensões adequadas à cultura a ser cultivada, ou seja, com largura e profundidade recomendadas. O solo contido nos sulcos deve estar revolvido, bem desagregado e possuir uma boa mistura de palha cortada e, finalmente, depositar o adubo, de modo adequado para que o mesmo seja uniformemente incorporado ao solo, dentro do sulco, evitando o contato direto com as mudas e, conseqüentemente, a queima destas [6].

Na primeira etapa do projeto conceituai do implemento, AMORIM [6] levantou as necessidades dos clientes, estabeleceu os requisitos e as especificações de projeto, a partir de consultas a especialistas e clientes, com base em informações disponíveis na literatura e na experiência do laboratório quanto a este tipo de desenvolvimento.

Na etapa seguinte, foi desenvolvida uma estrutura funcional para o implemento, a partir da função técnica total, **abrir e adubar sulcos**. Na obtenção desta estrutura foram considerados, somente, aspectos técnicos relacionados a sequência de operação das funções. Deve-se ressaltar que quando da seleção da estrutura funcional os aspectos de custos não foram analisados e avaliados [6].

Após o desenvolvimento da estrutura funcional, AMORIM [6] gerou três alternativas de concepção para o implemento e, posteriormente, selecionou a alternativa mais adequada. Neste processo de seleção, aspectos técnicos e de custos das alternativas não foram avaliados e analisados de forma mais fundamentada e criteriosa, uma vez que não foi empregado nenhum método de seleção. Entretanto, o autor sempre preocupou-se em obter soluções simples, a fim de que o implemento projetado tivesse um custo baixo.

9.3 - Determinação do Custo Meta do Implemento

Inicialmente, com o objetivo de estabelecer o custo-meta do implemento, buscou-se informações com relação a outros produtos similares. Em consulta à empresas especializadas constatou-se que o custo de aquisição para o consumidor de um implemento tipo enxada rotativa composto por um conjunto de 20 enxadas, a ser acoplado a um trator de rabiças é igual R\$ 2.500,00.

Devido à simplicidade do implemento do implemento de abertura e adubação de sulcos, considerou-se o custo-meta para o ciclo de vida do mesmo igual a R\$ 1.000,00.

9.4 - Procedimento Para Preparar as Informações Sobre Custos

Conforme mostrado na figura 8.2, na primeira etapa do projeto conceituai, a estimativa de custo inicia-se com o levantamento das necessidades técnicas e de custos, estabelecimento dos requisitos e das especificações de projeto.

Passo 1: Levantamento das necessidades dos clientes

As **necessidades técnicas** levantadas foram: revolver pouca terra, ser versátil a outras culturas, acompanhar desníveis do terreno, consumir pouca potência do trator, cortar palha sem embuchamento, boa dosagem de adubo, poucas vibrações, compacto, leve, durável, apresentar bom sistema de levantamento, regulagem de altura fácil, não oferecer riscos, rápido e fácil acoplamento ao trator, acabamento simples, apresentar robustez, peças simples, fácil aquisição, mão-de-obra pouco especializada, fácil limpeza e poucos reparos [6].

As **necessidades de custos**, levantadas a partir de informações provenientes de "check-list" apresentado no apêndice 1, foram: baixo custo de aquisição (custo de material, produção e de montagem) e baixo custo de utilização (custo de operação, manutenção, retirada e descarte).

Passo 2: Estabelecimento dos requisitos técnicos e de custo

Os **requisitos técnicos** definidos foram: *vida útil, massa, potência consumida, força exercida no sistema de levantamento, comprimento longitudinal do sistema, altura total do sistema, dosagem do adubo do sistema dosador, faixa de largura e profundidade de sulco, peças padronizadas, distância dispositivo sulcador a partes móveis, número de pontos inseguros e tempo de preparação do implemento* [6].

Os **requisitos de custos** são compostos pelos custos relacionados ao ciclo de vida do implemento, ou seja, *custo de fabricação, material, montagem dos subsistemas, operação do produto, manutenção, retirada e descarte, suporte logístico inicial, teste, avaliação e modificação do produto*.

Ainda, na primeira etapa do projeto conceitual, são determinados os requisitos de projeto mais importantes, a partir do seu relacionamento com as necessidades dos clientes, através da primeira matriz de QFD, apresentada no apêndice 3.

Os requisitos de projeto e seus respectivos pesos relativos são listados em ordem de importância na tabela 9.1. Na primeira coluna, dos pesos relativos, são mostrados os valores (PR_{RP}) calculados considerando, conjuntamente, os requisitos técnicos e de custos. Na segunda coluna são apresentados os valores dos pesos (PR_{RC}) calculados considerando, somente, os custos do ciclo de vida, e na terceira os valores (PR_{RT}) calculados considerando, somente, os requisitos técnicos.

Tabela 9.1 - Requisitos de projeto mais importantes e pesos relativos.

Requisitos de projeto	Pesos Relativos		
	PR _{RP} (%)	PR _{RC} (%)	PR _{RT} (%)
1. Custo de fabricação	11,31	25,11	
2. Massa	8,65		15,73
3. Custo de material	8,54	18,96	
4. Custo de operação do produto	7,47	16,59	
5. Potência consumida	6,48		11,79
6. Faixa de largura e profundidade de sulco	6,30		11,46
7. Dosagem de adubo	5,82		10,59
8. Custo de manutenção	5,69	12,63	
9. Peças padronizadas	5,37		9,77
10. Custo de montagem dos subsistemas	4,26	9,45	
11. Força exercida no sistema de levantamento	3,99		7,26
12. Vida útil	3,96		7,22
13. Tempo de preparação do implemento	3,76		6,85
14. Custo de modificação no produto	3,19	7,07	
15. Comprimento longitudinal do sistema	3,17		5,77
16. Distância do dispositivo sulcador a partes móveis	2,75		5,00
17. Altura total do sistema	2,35		4,28
18. Número de pontos inseguros	2,35		4,28
19. Custo de retirada e descarte do produto	2,10	4,67	
20. Custo de teste e avaliação	1,97	4,16	
21. Custo de suporte logístico inicial	0,61	1,36	
Somatório dos Pesos	100 %	100 %	100 %

Como pode ser observado na tabela 9.1, os requisitos de custo mostraram-se de grande importância para o projeto do implemento, principalmente, os custos de produção, material, operação e manutenção.

Passo 3: Determinação das especificações técnicas e de custo

A metodologia propõe que sejam estabelecidas as especificações técnicas e de custos do produto. As especificações técnicas do implemento são descritas na tabela 9.2.

Tabela 9.2 - Especificações técnicas do produto [6].

Requisitos Técnicos	Especificações / Objetivos
Massa	máximo de 60 Kg
Potência consumida	máximo de 3 C.V.
Faixa de largura e profundidade de sulco	largura, para solo leve, de 60 a 80 mm e, para solo pesado, de 70 a 100 mm
Dosagem de adubo do sistema dosador	20 g/m
Peças padronizadas	100 %
Força exercida no sistema de levantamento	máximo de 200 N
Vida útil	5 anos
Tempo de preparação do implemento	máximo de 0,5 h
Comprimento longitudinal do sistema	suficiente para máquina deslocar bem
Distância do dispositivo sulcador a partes móveis	evitar embuchamento de palha no sistema sulcador
Altura total do sistema	assegurar boa visibilidade e estabilidade do implemento
Número de pontos inseguros	menor percentagem de pontos inseguros

Na tabela 9.3 são apresentadas as especificações de custos do implemento, as quais foram determinadas considerando as características do mesmo.

Tabela 9.3 - Especificações de custo do produto

Custos do ciclo de vida	Custo relativo - ECR_n (%)	Custo absoluto - ECA_n (Reais)
Custo de fabricação	40	400
Custo de material	25	250
Custo de manutenção	10	100
Custo de operação do produto	10	100
Custo de montagem dos subsistemas	5	50
Custo de modificação no produto	2	20
Custo de retirada e descarte do produto	2	20
Custo de teste e avaliação	5	50
Custo de suporte logístico inicial	1	10
Total	100 %	R\$ 1000,00

9.5 - Procedimento Para Selecionar a Estrutura Funcional

A seleção da estrutura funcional do implemento, considerando aspectos técnicos e de custos, será realizada empregando a matriz de decisão proposta.

No presente caso serão examinadas duas estruturas funcionais, geradas a partir da função técnica total do implemento, abrir e adubar sulcos. A primeira, elaborada por AMORIM [6] e a segunda desenvolvida com base nas informações disponíveis nesta referência.

Na primeira estrutura, apresentada na figura 9.1, a função adubar solo é desdobrada, desde o armazenamento do adubo, passando pela dosagem da quantidade adequada e, por fim, pelo seu direcionamento para o solo. A entrada de material, energia e informação são, respectivamente, adubo, energia mecânica e gravitacional e regulação da quantidade de adubo.

Para a função de abrir sulco, optou-se por uma ocorrência paralela das funções parciais de cortar palha, desagregar solo, conter solo desagregado e incorporar adubo, devido a necessidade de se desenvolver um sistema compacto. Tem-se como energia de entrada, a energia mecânica fornecida pelo trator e, como entrada de material, o solo sem revolvimento, a palha sem corte e o adubo. A entrada de informação é a regulação da profundidade do sulco [6].

Nesta figura, o fluxo de informações é ilustrado pela linha verde pontilhada, o de material em azul e de energia em vermelho. A sequência de ocorrência das funções está mostrada em linha preta contínua e a fronteira do sistema em linha preta tracejada.

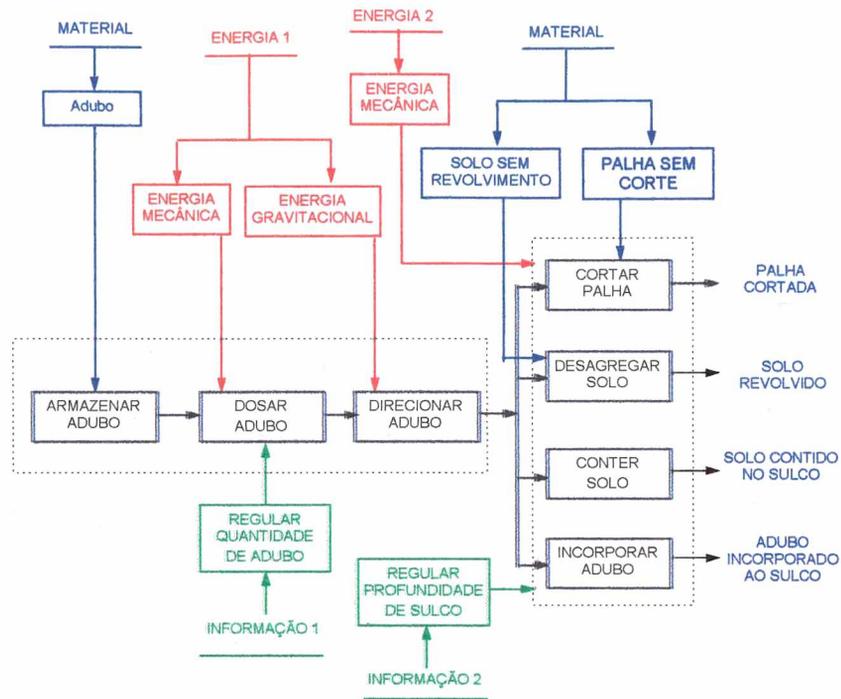


Figura 9.1 - Primeira estrutura funcional proposta para o implemento [6].

A segunda estrutura, ilustrada na figura 9.2, apresenta o desdobramento da função adubar solo, considerando o fluxo de informações desde o armazenamento de adubo, passando pela sua dosagem e direcionamento. Para a função de abertura de sulco, optou-se pela sua ocorrência em paralelo das funções de desagregar e conter solo. A incorporação de adubo no solo ocorre, posteriormente, a função de abrir sulco.

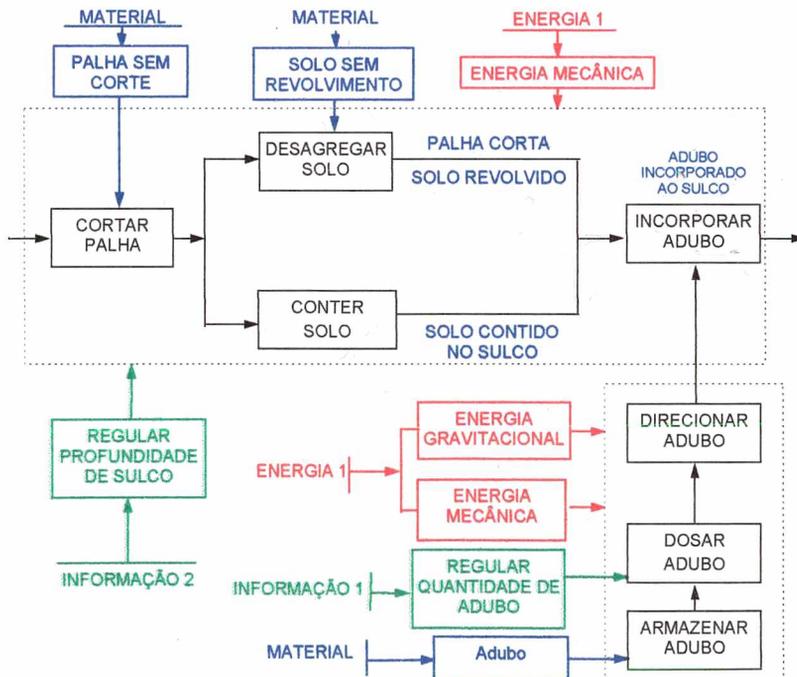


Figura 9.2 - Segunda estrutura funcional proposta para o implemento.

Passo 4: Desenvolvimento da Matriz de Decisão

A matriz de decisão desenvolvida para apoiar o processo de seleção da estrutura funcional do implemento é apresentada na tabela 9.4.

Tabela 9.4 - Matriz de decisão de apoio ao processo de seleção da estrutura funcional.

Matriz de Decisão		Estruturas Funcionais (EF _j)	
Requisitos Técnicos e Especificações de Custo		1	2
Requisitos Técnicos	PR _{RTm}	Avaliação técnica das estruturas	
Massa	15,73	○	○
Potência consumida	11,79	⊙	○
Faixa de largura e profundidade de sulco	11,46	⊙	*
Dosagem de adubo do sistema dosador	10,59	⊙	⊙
Peças padronizadas	9,77	○	○
Força exercida no sistema de levantamento	7,26	○	○
Vida útil	7,22	○	○
Tempo de preparação do implemento	6,85	⊙	○
Comprimento longitudinal do sistema	5,77	⊙	⊙
Distância do dispositivo sulcador a partes móveis	5,00	⊙	⊙
Altura total do sistema	4,28	⊙	⊙
Número de pontos inseguros	4,28	○	○
Índice de Desempenho Técnico (IDT_j)		857,35	582,36
Especificações de Custos	ECR _n	Avaliação de custos das estruturas	
Custo de fabricação	40	●	↑
Custo de material	25	●	↑
Custo de manutenção	10	●	↑
Custo de operação do produto	10	↓	↓
Custo de montagem dos subsistemas	5	●	↑
Custo de modificação no produto	2	↓	↓
Custo de retirada e descarte do produto	2	↓	↓
Custo de teste e avaliação	5	●	●
Custo de suporte logístico inicial	1	●	●
Índice de Custo (IDC_j)		444	844
Relação entre o IDT_j e o IDC_j		1,93	0,69

Como pode ser observado, as estruturas funcionais apresentam distintos índices de avaliação com relação a alguns requisitos técnicos e custos do ciclo de vida.

Na primeira estrutura, as funções “cortar palha”, “desagregar solo”, “conter solo” e “incorporar adubo” são executadas em paralelo, podendo assim ser realizada por um único sistema, mais leve e compacto. Logo, os requisitos técnicos de *massa*, *potência consumida* e *tempo de preparação* apresentam desempenho superior. Ainda, o fato da função “adubar o solo” anteceder a função “abrir sulcos”, faz com que o desempenho técnico, *faixa de largura e profundidade do solo* seja superior [6].

Com relação aos custos do ciclo de vida, observa-se que a utilização de um único sistema capaz de realizar as funções “cortar palha”, “desagregar solo”, “conter solo” e “incorporar adubo”, conforme apresentado na primeira estrutura, resulta em um menor número de componentes, minimizando assim o custo do implemento.

Passo 5: Seleção da estrutura funcional do produto

A seleção da estrutura funcional do implemento deve ser realizada analisando-se aspectos técnicos e os seus custos do ciclo de vida.

Sob o ponto de vista técnico, os agricultores buscam um implemento que seja capaz de satisfazer as suas necessidades da melhor maneira possível. Para isto, nesta etapa do projeto conceitual, deve-se procurar selecionar a estrutura funcional que apresentar um desempenho técnico superior.

Com relação aos custos, tem-se que o implemento é destinado a pequenos e médios agricultores que, geralmente, possuem poucos recursos financeiros. Logo, torna-se fundamental que o custo do implemento seja o mais baixo possível. Para isto, deve-se procurar selecionar a estrutura funcional que apresente o custo mais baixo.

Como consequência desta análise, tem-se a busca por uma estrutura que apresente um baixo custo e elevado índice de desempenho técnico. Assim, tomando o resultado obtido com o preenchimento da matriz de decisão, mostrada na figura 9.4, observa-se que a primeira estrutura funcional é a mais adequada para o projeto do implemento.

9.6 - Procedimento para Selecionar a Alternativa de Concepção

Selecionada a estrutura funcional do implemento, na sequência foram gerados princípios de solução para cada função da estrutura, que combinados resultaram em três alternativas de solução. Para gerar as concepções, utilizou-se o método da matriz morfológica, ilustrado na figura 9.3, como meio de organização das funções da estrutura selecionada, das funções auxiliares e dos princípios de solução.

A seleção da alternativa de concepção do implemento, considerando aspectos técnicos e de custos, será realizada empregando a matriz de decisão proposta.

		Princípio de solução Sub funções					
		1	2	3	4	5	
A	Sistema de adubação	1 Armazenar Adubo					
		2 Dosar Adubo					
		3 Direcionar Adubo					
B	Sistema Sulcador	1 Cortar Palha					
		2 Desagregar Solo					
		3 Incorporar Adubo					
		4 Conter Solo				SEM PROTEÇÃO	
C	Sistema Estrutural						
D	Sistema de Acionamento do Implemento						
E	Sistema de Levantamento						
F	Sistema de Suporte						

Figura 9.3 - Matriz Morfológica [6].

As alternativas de concepção do implemento estão descritas na tabela 9.5.

Tabela 9.5 - Alternativas de concepção geradas para o implemento [6].

Funções da estrutura	Alternativa de concepção 1	Alternativa de concepção 2	Alternativa de concepção 3
Armazenar adubo	Reservatório cilíndrico (A.1.1)	Reservatório retangular (A.1.4)	Reservatório retangular (A.1.4)
Dosar adubo	Fluxo contínuo (A.2.3)	Disco horizontal (A.2.2)	Rotor do tipo canelado (A.2.1)
Direcionar adubo	Mangueira (A.3.3)	Canaleta (A.3.1)	Mangueira (A.3.3)
Cortar palha	Disco-liso (B.1.2)	Disco corrugado (B.1.3)	Disco corrugado (B.1.3)
Desagregar solo	Bota sulcadora (B.2.5)	Disco curvo (B.2.4)	Enxada rotativa (B.2.1)
Incorporar adubo	Bota sulcadora (B.2.5)	Disco curvo (B.2.4)	Enxada rotativa (B.2.1)
Conter solo	-	-	Pára-lama (B.4.1)
Sistema estrutural	Perfil tubular quadrado (C.1)	Perfil tubular quadrado (C.4)	Perfil tubular circular (C.4)
Sistema de acionamento	Polias, correias, engrenagens e correntes (D.1)	Polias, correias, engrenagens e correntes (D.1)	Polias, correias, engrenagens e correntes (D.1)
Sistema de levantamento	Sistema de barras, eixos e mancais (E.1)	Cabos, pedais, eixos e mancais (E.3)	Barras, rodas dentadas, eixos e mancais (E.2)
Sistema de suporte	Patiões e barras (F.2)	Roda lisa e barras (F.4)	Roda c/ ranhura e barra (F.1)

Passo 6: Determinação das características das alternativa de concepção

As características e as informações sobre o material constituinte e processos necessários a fabricação das concepções do implemento, conforme proposto na tabela 8.3, são descritas a seguir.

Tabela 9.6 - Caracterização dos princípios de solução das concepções.

Princípios de solução	Material constituinte	Processo de fabricação	Características
Reservatórios de adubo	Chapa de aço galvanizado	Corte, dobramento, conformação e soldagem	13 l e alt. máx. de 260 mm
Dosador de fluxo contínuo	Chapa de aço	Corte, torneamento, fresamento e soldagem	20 g / m
Dosador de rotor canelado	Chapas de aço e bolacha de nylon	Corte, torneamento, fresamento e soldagem	20 g / m
Dosador de disco horizontal	Chapas de aço e aço 1020	Corte, torneamento, furação e soldagem	20 g / m
Mangueira	Tubo de plástico	Componente adquirido pronto	diâmetro de 30 mm
Canaleta	Aço 1020	Componente adquirido pronto	diâmetro de 30 mm
Disco liso e corrugado	Aço 1020	Componente adquirido pronto e torneamento	-
Bota sulcadora,	Aço 1020	Componente adquirida pronto e torneamento	-
Enxada rotativa	Aço 1020	Componente adquirida pronto e torneamento	-
Pára-lama	Chapa de aço galvanizado	Conformação e soldagem	-
Perfil quadrado ou tubular	Tubo e chapa de aço 1020	Dobramento e soldagem	-
Polias e engrenagens	Aço 1020 e 1045	Torneamento e fresamento	-
Patins e roda de aço	Aço 1020	calandragem, torneamento e soldagem	-
Correias	Lona	Componente adquirido pronto	-
Correntes	Aço	Componente adquirido pronto	-
Cabos e pedais	Aço 1020	Torneamento e soldagem	-
Barras	Aço 1020	Torneamento, furação e soldagem	-
Rodas dentadas	Aço	Torneamento e fresamento	-
Eixos	Aço 1020	Corte, torneamento, fresamento e retificação	-
Mancais	Aço	Componente adquirido pronto	de rolamento
Suporte do mancai	Aço 1020	Corte, torneamento, fresamento e retificação	-

Passo 7: Estimativa do custo das alternativas de concepção

Com o objetivo de preparar e facilitar o processo de estimativa de custos, em decorrência da particularidade do exemplo apresentado e do ambiente no qual o mesmo foi desenvolvido, algumas considerações são realizadas.

Os custos de pesquisa, desenvolvimento, retirada e descarte não serão considerados na estimativa do seu custo do ciclo de vida do implemento.

O custo de produção do implemento, dados pela soma do seu custo de fabricação e material, será estimado considerando uma produção unitária e terceirizada.

O custo de fabricação será estimado multiplicando, respectivamente, para cada processo de fabricação necessário à concepção do implementos (torneamento, fresamento, furação, corte, dobramento, soldagem e montagem), o custo por hora de fabricação pelo tempo estimado necessário de fabricação.

Em consulta à empresas prestadoras de serviço na área de usinagem constatou-se que o custo médio por hora de torneamento, fresamento e soldagem é R\$ 20,00. Nestes valores estão incluídos os lucros das empresas prestadoras de serviços, custos de mão-de-obra, encargos, depreciação de máquinas, insumos, ferramental e outros. Ainda, será considerado um custo médio por hora de dobramento, de montagem e de furação igual a R\$ 10,00 e, por hora de corte de chapas é igual a R\$ 5,00, estando incluídos os custos de ferramental e gabaritos. Na estimativa do custo de montagem foi considerado que a mesma é do tipo manual.

Com relação aos custos de material através de consulta a fornecedores chegou-se aos seguintes custos de aquisição pelo consumidor, apresentados na tabela 9.7.

Tabela 9.7 - Custo de aquisição para o consumidor de componentes / produtos.

Descrição do componente / produto	Custo de aquisição do consumidor
Barra de aço 1020 - $\phi = 35$ mm	R\$ 12,50 / m
Chapa de aço galvanizado de 2 mm	R\$ 20,75 /m ²
Disco liso do sistema sulcador	R\$ 20,00
Bota sulcadora do sistema sulcador	R\$ 15,00
Enxadas rotativas do sistema sulcador	R\$ 10,00
Mancais de rolamento	R\$ 5,00
Polia	R\$ 9,69
Engrenagem grande do sistema de acionamento	R\$ 12,00
Engrenagem pequena do sistema de acionamento	R\$ 9,00
Corrente do sistema de acionamento	R\$ 15,00
Polia do sistema de acionamento	R\$ 10,00
Patins do sistema de suporte	R\$ 5,00
Rodas do sistema de suporte	R\$ 10,00

Com relação ao custo de operação e manutenção do implemento, será estimado como sendo igual a R\$ 200,00, em virtude da simplicidade do produto e considerando um tempo de vida útil aproximadamente igual a cinco anos.

Em decorrência destas informações, tem-se que o custo das alternativas de concepção será dado pelo custo estimado de produção, dado pela soma do custo de material, fabricação e montagem, os quais são descritos a seguir.

A) Estimativa do custo de produção dos reservatórios de adubo

A.1) Custo estimado de material

No processo de "Firm-up" dos princípios de solução foi determinado que o reservatório de adubo, fabricado com chapas de aço galvanizado de 2 mm de espessura, deveria armazenar no máximo 13 l de adubo e possuir uma altura máxima

de 260 mm. A partir destas informações, calculou-se que o reservatório cilíndrico deveria possuir 252 mm de diâmetro e o retangular uma largura de 223 mm.

O custo de material do reservatório pode ser estimado multiplicando o custo por metro quadrado da chapa, R\$ 20,75 / m², pela área de chapa necessária para fabricar o reservatórios cilíndrico, 0,25 m², e retangular, 0,28 m². Assim, tem-se o custo estimado de material do reservatório cilíndrico igual a R\$ 5,18 e do retangular de R\$ 5,81. Neste valor está incluído o custo da tampa do reservatório.

A.2) Custo estimado de fabricação

Para fabricar os reservatório são necessários, basicamente, as operações de corte, dobramento e calandragem, respectivamente, para o reservatório retangular e cilíndrico, e soldagem. Assim, estimando que seja necessário 0,5 h para cortar, dobrar e calandrar as chapas de aço, tem-se um custo estimado de fabricação igual a R\$ 17,50.

A.3) Custo estimado de montagem

O processo de montagem dos reservatórios é bastante simples, consistindo apenas do encaixe das partes dos reservatórios. Assim, estimando um tempo de 0,25 h para montagem dos mesmos, o custo de montagem é de R\$ 2,50.

O custo estimado de produção dos reservatórios está mostrado na tabela 9.8.

Tabela 9.8 - Estimativa do custo de produção dos reservatórios de adubo.

		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
		Dosador cilíndrico	Dosador retangular	Dosador Retangular
	Custo da chapa de aço galvanizado	R\$ 20,75 / m ²	R\$ 20,75 / m ²	R\$ 20,75 / m ²
	Quantidade de material	0,25 m ²	0,28 m ²	0,28 / m ²
A.1)	Custo de material do reservatório	R\$ 5,18	R\$ 5,81	R\$ 5,81
	Tempo estimado de corte	0,5 h	0,5 h	0,5 h
	Tempo estimado de dobramento	-	0,5 h	0,5 h
	Tempo estimado de calandragem	0,5 h	-	-
	Tempo estimado de soldagem	0,5 h	0,5 h	0,5 h
A.2)	Custo estimado de fabricação do dosador	R\$ 17,50	R\$ 17,50	R\$ 17,50
	Custo de montagem por hora	R\$ 10,00 /h	R\$ 10,00 /h	R\$ 10,00 /h
	Tempo estimado de montagem	0,25 h	0,25 h	0,25 h
A.3)	Custo estimado de montagem do dosador	R\$ 2,50	R\$ 2,50	R\$ 2,50
Custo estimado de produção do reservatório		R\$ 25,18	R\$ 25,81	R\$ 25,81

B) Estimativa do custo de produção dos dosadores de adubo

A mesma análise para estimar o custo dos reservatórios de adubo é empregada na estimativa do custo dos dosadores de adubo, os quais estão mostrados na tabela 9.9.

Tabela 9.9 - Estimativa do custo de produção dos dosadores de adubo

		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
		Fluxo contínuo	Rotor disco horizontal	Rotor tipo canelado
Custo do aço 1020 - $\varnothing = 35$ mm		R\$ 12,50 / m	R\$ 12,50 / m	R\$ 12,50 / m
Quantidade de material		0,15 m	0,15 m	0,15 m
B.1)	Custo de material do dosador	R\$ 1,87	R\$ 1,87	R\$ 1,87
Tempo estimado de corte das chapas		0,25 h	0,25 h	0,25 h
Tempo estimado de torneamento		0,5 h	1 h	1 h
Tempo estimado de fresamento		-	-	1 h
Tempo estimado de furação		0,25 h	0,5 h	0,5 h
Tempo estimado de soldagem		0,5 h	0,5 h	0,5 h
B.2)	Custo estimado de fabricação do dosador	R\$ 23,25	R\$ 36,25	R\$ 56,25
Custo de montagem por hora		R\$ 10,00 /h	R\$ 10,00 /h	R\$ 10,00 /h
Tempo estimado de montagem		0,5 h	0,5 h	0,5 h
B.3)	Custo estimado de montagem do dosador	R\$ 5,00	R\$ 5,00	R\$ 5,00
Custo estimado de produção do dosador		R\$ 30,12	R\$ 43,12	R\$ 63,12

C) Estimativa do custo dos direcionadores de adubo

Estes custos são muitos baixos, devido a simplicidade dos componentes, mangueira e canaleta. Assim, considerando que será utilizada uma mangueira de borracha e uma canaleta de aço 1020 tem-se, respectivamente, um custo estimado de aquisição de R\$ 1,00 e R\$ 2,00.

D) Estimativa do custo de produção do sistema sulcador

D.1) Estimativa do custo de material

O sistema sulcador da primeira concepção é composto de um disco liso, uma bota sulcadora, um eixo, dois suportes de mancal e dois mancais de rolamento, no qual será montado o disco. Estimando que o eixo do sistema terá, aproximadamente, um diâmetro de 35 mm e um comprimento de 300 mm, o seu custo estimado de material será de R\$ 3,75. Da mesma forma, estimando que cada suporte do mancal terá, aproximadamente, um comprimento de 100 mm, o seu custo estimado de material é igual a R\$ 1,25. Assim, considerando os custos apresentados na tabela 9.7, tem-se que o custo estimado de material é de R\$ 51,25.

A alternativa 2 é composta por um disco corrugado e um curvo, com custo de aquisição, respectivamente, de R\$ 25,00 e R\$ 30,00. Este sistema será montado sobre um conjunto composto por dois eixos, quatro suportes de mancal e quatro mancais de rolamentos. Considerando o mesmo custo de material para os eixos, suporte do mancal, mancais de rolamento e os custos apresentados na tabela 9.7, tem-se um custo estimado de material igual a R\$ 87,25.

A alternativa de concepção 3 é composta por quatro enxadas rotativas, um pára-lama e um conjunto composto por um eixo, dois suportes de mancal, dois mancais de rolamento e um suporte no qual será montado as enxadas. Multiplicando a área necessária para fabricar o pára-lama, $0,66 \text{ m}^2$, pelo custo por metro quadrado da chapa de aço, R\$ 20,75, tem-se o custo estimado de material do pára-lama igual a R\$ 13,69. O custo de material suporte para montar as enxadas ao eixo pode ser calculado estimando que o mesmo terá 200 mm de comprimento, logo o seu custo é de R\$ 2,50. Ainda, considerando o mesmo custo para o eixo, suporte de mancai e mancais de rolamento e os apresentados na tabela 9.7, tem-se um custo estimado de material da alternativa de R\$ 38,69.

D.2) Estimativa do custo de fabricação

O custo de fabricação deste sistema está apresentado na tabela 9.10.

Tabela 9.10 - Estimativa do custo de fabricação do sistema sulcador.

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
	Disco liso e bota	disco corrugado e curvo	Enxada rotativa
Tempo estimado de torneamento	2 h	3 h	3 h
Tempo estimado de fresamento	0,5 h	1 h	1 h
Custo estimado de fabricação do sistema	R\$ 50,00	R\$ 80,00	R\$ 80,00

O custo de fabricação da alternativa 2 é maior, devido a necessidade de tornear um maior número de elementos (dois eixos e quatro suportes de mancal). No caso da alternativa 3, o valor elevado de custo de fabricação deve-se a necessidade de usinagem do suporte das enxadas.

D.3) Custo estimado de montagem

O custo de montagem pode ser estimado considerando que seja necessário 1h para montar o sistema. Assim, chega-se a um valor estimado de R\$ 10,00.

O custo estimado de produção do sistema sulcador das alternativas de concepção está apresentado na tabela 9.11.

Tabela 9.11 - Estimativa do custo de produção do sistema sulcador.

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
	Disco liso e bota	Disco corrugado e curvo	Enxada rotativa
D.1) Custo de material	R\$ 51,25	R\$ 87,25	R\$ 38,69
D.2) Custo estimado de fabricação	R\$ 50,00	R\$ 80,00	R\$ 80,00
D.3) Custo estimado de montagem	R\$ 10,00	R\$ 10,00	R\$ 10,00
Custo estimado de produção do sistema sulcador	R\$ 111,25	R\$ 177,25	R\$ 128,69

E) Estimativa do custo de produção do sistema estrutural

A mesma análise realizada para estimar os custos de material e fabricação dos sistemas anteriores é empregada na estimativa dos custos da estrutura do implemento, os quais estão sintetizados na tabela 9.12.

Tabela 9.12 - Estimativa do custo de produção do sistema estrutural.

		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
		Perfil tubular quadrado	Perfil tubular quadrado	Perfil tubular circular
Quantidade de material		2 m	2 m	2 m
E.1)	Custo de material da estrutura	R\$ 25,00	R\$ 25,00	R\$ 25,00
Tempo estimado de corte		0,5 h	1 h	0,5 h
Tempo estimado de soldagem		2 h	2 h	1 h
Tempo estimado de dobramento		-	-	3 h
E.2)	Custo estimado de fabricação da estrutura	R\$ 42,50	R\$ 42,50	R\$ 52,25
Custo estimado de produção da estrutura		R\$ 67,50	R\$ 67,50	R\$ 77,50

Observando a matriz morfológica, apresentada na figura 9.3, tem-se que o sistema estrutural das concepções 1 e 2 é composto por um grande número de elementos unidos por processo de soldagem; logo o seu custo de soldagem é maior. Por outro lado, o sistema estrutural da alternativa de concepção 3 é formado por elementos dobrados e unidos por processo de soldagem; portanto, devido a este fato, o custo de dobramento desta alternativa é maior.

F) Estimativa do custo de produção do sistema de acionamento

F.1) Estimativa do custo de material

As três concepções possuem o mesmo sistema de acionamento, composto por duas polias, duas engrenagens grandes e uma pequena, duas correntes e uma correia. Estes componentes devem ser montados em um conjunto formado por três eixos, seis suportes do mancal e seis mancais de rolamento. Considerando os custos apresentados na tabela 9.7, tem-se um custo estimado de material de R\$ 150,13.

F.2) Estimativa do custo de fabricação

Para montar o sistema de acionamento é necessário usinar os suportes do mancal, os eixos, as polias e as engrenagens. Estimando que seja necessário 4 h para tornear estes componentes e 1 h para fresá-los, tem-se o custo estimado de R\$ 100,00.

F.3) Estimativa do custo de montagem

Considerando que seja necessário 1h para montar os mancais de rolamento aos suportes de mancal, acoplar as polias e as engrenagens aos eixos, tem-se um custo estimado de montagem igual a R\$ 10,00.

O custo estimado de produção do sistema de acionamento do implemento é apresentado na tabela 9.13.

Tabela 9.13 - Estimativa do custo de produção do sistema de acionamento.

		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
		Polias, correias, engrenagens e correntes		
F.1)	Custo de material	R\$ 150,13	R\$ 150,13	R\$ 150,13
F.2)	Custo estimado de fabricação	R\$ 100,00	R\$ 100,00	R\$ 100,00
F.3)	Custo estimado de montagem	R\$ 10,00	R\$ 10,00	R\$ 10,00
Custo estimado de produção do sistema de acionamento		R\$ 260,13	R\$ 260,13	R\$ 260,13

G) Estimativa do custo de produção do sistema de suporte

G.1) Estimativa do custo de material

O custo deste sistema é baixo, devido a simplicidade dos materiais e da sua forma. A alternativa de concepção 1 é formada por dois patins, acoplados ao implemento através de duas barras de aço. As alternativas de concepção 2 e 3 são compostas por duas rodas, acoplados ao implemento através de barras. Considerando que cada barra de aço possuirá 150 mm de comprimento com um custo igual a R\$ 1,87 e as informações apresentadas na tabela 9.7, tem-se um custo de material da alternativa 1 igual a R\$ 6,87 e da alternativa 2 e 3 igual a R\$ 11,87.

G.2) Estimativa do custo de fabricação

Pode-se considerar que seja necessário 0,25 h para cortar as barras e 0,25 h para soldá-las aos patins e as rodas e, posteriormente, ao implemento. Assim, tem-se um custo estimado de fabricação das alternativas igual a R\$ 6,25.

A tabela 9.14, apresenta o custo estimado de produção do sistema de suporte.

Tabela 9.14 - Estimativa do custo de produção do sistema de suporte.

		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
		Patins	Roda lisa	Roda ranhurada
G.1)	Custo de material	R\$ 6,87	R\$ 11,87	R\$ 11,87
G.2)	Custo estimado de fabricação	R\$ 6,25	R\$ 6,25	R\$ 6,25
Custo estimado de produção do sistema de suporte		R\$ 13,12	R\$ 18,12	R\$ 18,12

H) Estimativa de custo de produção do sistema de levantamento

H.1) Estimativa do custo de material

Na concepção 1, este sistema é composto por barras de aços montadas sobre um conjunto de dois eixos, quatro suportes do mancal e quatro mancais de rolamento.

Estimando que estas barras devem possuir em torno de 1 m de comprimento, o seu custo de material é R\$ 12,50. Considerando o mesmo custo de material dos eixos, suportes do mancal e mancais de rolamento, tem-se um custo estimado de material da concepção igual a R\$ 45,00.

Na concepção 2, este sistema é composto por duas polias, dois cabos, dois eixos, quatro suportes do mancal e quatro rolamentos. Assim, considerando um custo de material de cada polias R\$ 9,69 e R\$ 4,38, do cabo R\$ 5,00 e os mesmos valores para o custo dos eixos, mancais e rolamentos, o custo estimado de R\$ 56,57.

Na concepção 3, este sistema é composto por barras, duas rodas dentadas, dois eixos, quatro suportes do mancal e quatro mancais de rolamento. Considerando que o custo de material da barra é de R\$ 12,50, das rodas dentadas é de R\$ 9,00, e o mesmo custo para os eixos, mancais e rolamentos, o custo estimado de material é de R\$ 63,00.

A estimativa do custo de fabricação e montagem deste sistema, assim como, o seu custo de produção estão apresentados na tabela 9.15.

Tabela 9.15 - Estimativa do custo de produção do sistema de levantamento.

		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
		Barras, eixos e mancais	Cabos, pedais, eixos e mancais	barras, rodas dentadas, eixos e mancal
H.1)	Custo de material	R\$ 45,00	R\$ 56,57	R\$ 63,00
	Tempo estimado de corte	0,25 h	0,25 h	0,25 h
	Tempo estimado de torneamento e fresamento	3 h	3 h	3 h
	Tempo estimado de soldagem	0,5 h	0,5 h	0,5 h
	Tempo estimado de furação	0,5 h	0,5 h	0,5 h
H.2)	Custo estimado de fabricação	R\$ 73,75	R\$ 73,75	R\$ 73,75
	Tempo estimado de montagem	1 h	1 h	1 h
H.3)	Custo estimado de montagem	R\$ 10,00	R\$ 10,00	R\$ 10,00
Custo estimado de produção do sistema		R\$ 128,75	R\$ 128,75	R\$ 128,75

Ainda, na estimativa do custo de produção do implemento deve ser considerado um tempo necessário a montagem final do implemento. Assim, estimando que seja necessário 0,5 h para montar as concepções geradas para o implemento, o seu custo estimado de montagem final é igual a R\$ 5,00.

O custo estimado do ciclo de vida das alternativas de concepção, obtido através da soma dos custos estimados anteriormente, está sintetizado na tabela 9.16.

Tabela 9.16 - Estimativa do custo do ciclo de vida das alternativas de concepção.

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Custo de Produção			
- Reservatório de adubo	25,18	25,81	25,81
- Dosador de adubo	30,12	43,12	63,12
- Direcionador de adubo	1,00	2,00	2,00
- Sistema sulcador	111,25	177,25	128,69
- Sistema estrutural	67,50	67,50	77,50
- Sistema de acionamento	260,13	260,13	260,13
- Sistema de suporte	13,12	18,12	18,12
- Sistema de levantamento	128,75	139,82	146,75
- Montagem final	5,00	5,00	5,00
Custo de Operação	100,00	100,00	100,00
Custo de Manutenção	100,00	100,00	100,00
Custo estimado do implemento	842,05	938,75	926,12

A seguir, conforme proposto pela metodologia, deve ser desenvolvida a matriz de decisão de apoiar ao processo de seleção da alternativa de concepção do implemento.

Passo 8: Desenvolvimento da Matriz de Decisão

A matriz de decisão desenvolvida para apoiar o processo de seleção da alternativa de concepção do implemento é apresentada na tabela 9.17.

Tabela 9.17 - Matriz de decisão de apoio a seleção da alternativa de concepção.

		Alternativa de Concepção		
		1	2	3
Requisitos Técnicos	PR _{RTm}	Avaliação das alternativas de concepção		
Massa	15,73	○	○	○
Potência consumida	11,79	○	○	○
Faixa de largura e profundidade de sulco	11,46	○	*	⊙
Dosagem de adubo do sistema dosador	10,59	*	○	○
Peças padronizadas	9,77	○	○	○
Força exercida no sistema de levantamento	7,26	*	*	○
Vida útil	7,22	○	○	○
Tempo de preparação do implemento	6,85	○	○	○
Comprimento longitudinal do sistema	5,77	*	*	⊙
Distância do dispositivo sulcador a partes móveis	5,00	○	○	○
Altura total do sistema	4,28	○	○	○
Número de pontos inseguros	4,28	○	○	○
Índice de Desempenho Técnico (IDT_j)		405,52	402,04	586,15
Custo estimado de aquisição da alternativa		842,05	938,75	926,12

A avaliação técnica das alternativas foi realizada considerando as informações disponíveis na referência [6]. A maioria dos requisitos das concepções apresentam desempenho técnico semelhante, a menos dos requisitos comentados a seguir:

A terceira alternativa de concepção possui desempenho técnico superior para o requisito técnico "faixa de largura e profundidade de sulco", pois esta concepção utiliza um pára-lama para conter a terra dentro dos limites dos sulcos e assegurar uma faixa de largura e profundidade de sulco adequada. A segunda alternativa utiliza um disco curvo, que causa a desagregação do solo somente para um lado; logo, o seu desempenho técnico é inferior.

A segunda e a terceira alternativa de concepção apresentam desempenho superior a primeira, pois os dispositivos empregados para dosar o adubo, o fazem com maior precisão. Ainda, estas alternativas apresentam, desempenho inferior para os requisitos técnicos, força exercida no sistema de levantamento e comprimento longitudinal do sistema, pois empregam um conjunto de elementos que resulta em um comprimento longitudinal bastante grande e, conseqüentemente, em esforços demasiados para se levantar o implemento. As enxadas rotativas utilizadas na terceira concepção tornam o implemento mais compacto que os demais, fazendo com que o seu desempenho técnico para os requisitos citados seja superior.

Passo 9: Seleção da alternativa de concepção do produto

A seleção da alternativa de concepção do implemento deve ser realizada considerando aspectos técnicos, o valor do custo estimado das concepções e o valor do custo-meta do implemento, determinado no início do processo de projeto.

Analisando o valor do custo estimado das alternativas geradas para o implemento observa-se que este é menor que o custo-meta do produto, determinado no início do processo de projeto.

Do mesmo modo que para a seleção da estrutura funcional do implemento, deve-se procurar selecionar a alternativa de concepção do implemento que apresente um desempenho técnico superior a um custo estimado mais baixo.

Da tabela 9.16 observa-se que a terceira alternativa de concepção apresenta o melhor índice de desempenho técnico. Por outro lado, analisando o custo estimado das alternativas, tem-se que a primeira concepção é a que apresenta menor custo estimado. Portanto, neste caso, não é possível obter uma solução ótima para o projeto do implemento, ou seja, selecionar a alternativa que apresenta melhor desempenho técnico a um custo mais baixo.

Assim, observando o valor do custo estimado da primeira e da terceira alternativa de concepção nota-se uma pequena diferença entre estes valores, em torno de 10 %. Por outro lado, com relação ao índice de desempenho técnico, observa-se uma grande diferença entre os valores destas alternativas, sendo o índice da terceira bastante superior ao da primeira, maior do que 40 %. Esta diferença ocorre, principalmente, devido ao melhor desempenho técnico da terceira alternativa de concepção em relação aos requisitos técnicos que se mostraram mais importantes.

Portanto, comparando a primeira e a terceira alternativa de concepção, selecionando aquela que apresenta um valor de custo maior, tem-se um ganho muito maior em termos de desempenho técnico do produto. Logo, nesta etapa do projeto conceitual, a alternativa de concepção que se mostra a melhor é a terceira.

A alternativa selecionada é composta de um reservatório de adubo retangular, um dosador do tipo canelado, uma mangueira para direcionar o adubo, um disco de corte de palha corrugado, enxadas rotativas para desagregar solo e incorporar adubo, pára-lama para conter o solo. Estes componentes são montados em uma estrutura composta de perfis tubulares e circulares. O implemento é acionado por polias, correias e engrenagens e suportado por uma roda com ranhuras, conforme mostra a figura 9.4.

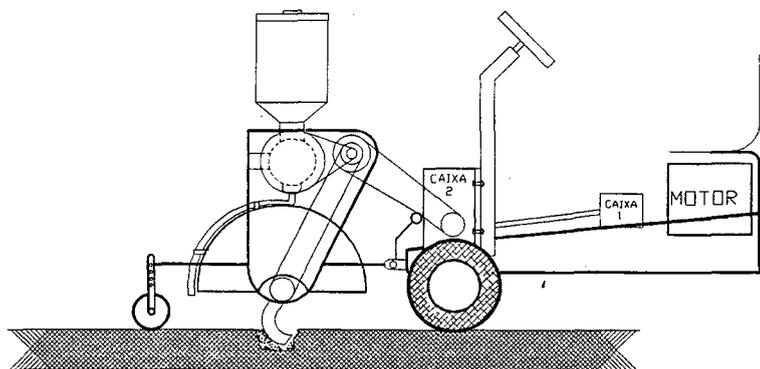


Figura 9.4 - Implemento de abertura e adubação de sulcos no plantio direto [6]

9.7 - Conclusão

De um modo geral, o desenvolvimento deste exemplo, mostrou que a metodologia proposta agrega informações a fase de projeto conceitual, possibilitando que a seleção da estrutura funcional e da alternativa de concepção do produto seja realizada de forma mais fundamentada e criteriosa.

Na fase de preparação de informações, a facilidade da determinação das especificações de custos depende da disponibilidade de informações sobre o produto, custos dos processos produtivos, da experiência da equipe envolvida no processo.

Na seleção da estrutura funcional, a avaliação do seu desempenho técnico e dos seus custos requereu o conhecimento do modo pelo qual o implemento deve operar. Neste sentido, é importante que a avaliação técnica e de custo das estruturas seja realizada por pessoas que possuem este conhecimento, tenham percepção e capacidade suficiente para avaliar o modo pelo qual as diferenças entre as estruturas funcionais impactam nos custos do ciclo de vida do produto. Neste exemplo, pequenas diferenças na disposição das funções das estruturas levaram a distintos índices de desempenho técnico e de custos. No caso, a necessidade da função “adubar solo” anteceder a função “abrir sulco” determinou o desempenho técnico superior da primeira estrutura. Ainda, o fato das funções relacionadas ao sistema de abertura de sulco serem executadas em paralelo, determinou um custo mais baixo e, ao mesmo tempo, contribuiu para o desempenho técnico superior da primeira estrutura.

No processo de seleção da alternativa de concepção do produto, a caracterização das alternativas requereu o levantamento de informações mais detalhadas sobre os princípios de solução. Entretanto, estas informações não devem ser confundidas com as determinadas na fase de projeto detalhado. Como pode ser visto, no projeto conceitual, as informações levantadas foram os materiais e os processos produtivos básicos e padronizados necessários a concepção do produto.

O desenvolvimento do processo de estimativa de custos mostrou a importância e a necessidade da realização do planejamento dos processos produtivos, juntamente, com o processo de desenvolvimento de produto. Neste exemplo, tal fato pôde ser observado quanto foi realizada a estimativa de custos das alternativas de concepções. Assim, é importante que haja uma adequação das práticas atuais de projeto e de planejamento de projeto, rumando aos conceitos da Engenharia Simultânea.

Neste exemplo, o custo de desenvolvimento não foi considerado. De uma forma geral, o mesmo pode ser estimado considerando o número de pessoas envolvidas no projeto e o tempo necessário ao desenvolvimento do produto, entre outras informações.

Do mesmo modo, na estimativa do custo do implemento não foram considerados os seus custos indiretos. De uma forma geral, estes podem ser estimados através da aplicação de um fator multiplicativo sobre os custos diretos.

CAPÍTULO X

CONCLUSÕES

10.1 - Conclusões Gerais sobre a Metodologia Proposta

As metodologias de projeto estudadas apresentam o processo de desenvolvimento do produto de modo sistemático e organizado. Entretanto, o mesmo não ocorre com relação às informações e às atividades relacionadas à avaliação, à análise e à estimativa de custos do produto, principalmente, na fase conceitual.

As decisões tomadas durante o projeto conceitual ocorrem, principalmente, nas etapas de seleção da estrutura funcional e da alternativa de concepção do produto, e são responsáveis pela determinação de aspectos relacionados a funcionalidade, geometria, desempenho e custos do produto. Entretanto, estas decisões são tomadas sem que estes aspectos sejam avaliados de forma mais sistematizada.

A metodologia proposta apresenta uma abordagem inicial de estimativa de custos durante o processo de projeto, contribuindo para a organização e entendimento destes conceitos e possibilitando que as decisões sejam tomadas de forma mais consciente e objetiva. Assim, através da leitura deste trabalho, as pessoas envolvidas no processo de projeto, que não detêm o conhecimento sobre a composição, o processo de estimativa e determinação do custo do produto, embora saibam da sua importância, poderão adquiri-lo.

A execução dos procedimentos propostos pela metodologia simultaneamente ao processo de projeto não dificulta a execução deste último; ao contrário, agrega informações ao mesmo e fornece um maior conhecimento do comportamento do produto durante as diversas etapas do seu ciclo de vida, facilitando a condução do processo de projeto e possibilitando que o produto esteja de acordo com um determinado custo-meta.

A metodologia proposta é composta de três grandes procedimentos. Inicialmente, ocorre a preparação de informações sobre os custos e, posteriormente, são

apresentados procedimentos para selecionar a estrutura funcional e a alternativa de concepção do produto.

O procedimento de preparação das informações, que ocorre na primeira etapa do projeto conceitual, procura “trazer” para as etapas iniciais do processo de projeto as pessoas de vários setores da empresa envolvidas no mesmo, propiciando que o desenvolvimento do produto seja realizado de forma integrada, caminhando ao encontro das práticas e dos conceitos da Engenharia Simultânea.

Os procedimentos para seleção da estrutura funcional e da alternativa de concepção de produto estão baseados no preenchimento de matrizes de decisão.

As matrizes de decisão, desenvolvidas a partir de dados levantados na etapa de preparação de informações sobre custos, fornece ao decisor um maior conhecimento sobre o comportamento e o desempenho técnico, e os custos das estruturas funcionais e das alternativas de concepções geradas para o produto, conseqüentemente, as decisões podem ser tomadas de forma mais fundamentada e sistematizada.

Assim como para o procedimento de preparação de informações sobre custos, o preenchimento das matrizes de decisão deve ser realizado por equipes multidisciplinares, composta de especialistas com conhecimento técnico e de custo do produto, processos de manufatura, entre outros, a fim de gerar informações mais precisas e confiáveis. Devido ao fato das matrizes de decisão serem preenchidas com base no julgamento de pessoas, a falta de conhecimento do produto e inexperiência das pessoas, podem levar a resultados incorretos.

Deve ser colocado, que na avaliação das estruturas funcionais não se tem o valor de custo das estruturas, somente uma indicação de qual delas apresenta custo mais baixo em relação às demais. Tal fato, é decorrente do elevado nível de abstração das informações disponíveis e também do fato de que os métodos de estimativa existentes não permitem a sua aplicação de modo compatível com as informações disponíveis.

No processo de estimativa de custos das alternativas de concepção, a disponibilidade de informações sobre as características dos princípios de solução (material, dimensão, forma, entre outras) e sobre os processos produtivos mostrou-se fundamental para a execução do mesmo. Neste sentido, é importante que ao elaborar a matriz morfológica do produto, o mesmo seja representado através de esquemas

gráficos, desenhos e, ao mesmo tempo, apresente informações a respeito das formas, do tipo de material e do processos produtivos necessários a sua concepção.

Os métodos de estimativa de custos, empregados na fase de seleção da alternativa de concepção, também podem ser aplicados no projeto preliminar e detalhado do produto, uma vez que um maior número de informações sobre o mesmo estão disponíveis e permitindo obter resultados de custo mais precisos.

Além disto, com as informações provenientes dos procedimentos propostos pode-se identificar sistemas, partes ou componentes do produto que possuem custo elevado.

Também, ao longo do desenvolvimento deste trabalho teve-se a oportunidade de divulgar informações sobre o mesmo, em alguns eventos nacionais [116], [117], [118] e [119].

10.2 - Recomendações Para Trabalhos Futuros

Como este trabalho foi uma primeira tentativa de sistematização da abordagem de custos durante o projeto conceitual, existe um grande potencial para execução de novos trabalhos dentro desta linha de pesquisa.

Neste sentido, podem ser desenvolvidos estudos específicos sobre os métodos de estimativa de custo com o objetivo de compatibilizar a sua aplicação com as informações disponíveis na fase de projeto conceitual.

O desenvolvimento de sistemáticas ou procedimentos que permitam a estimativa de custos das estruturas funcionais também é um aspecto importante a ser melhorado.

O desenvolvimento de sistemas especialistas e/ou de apoio ao projeto com o objetivo de automatizar o processo de estimativa de custos, através do desenvolvimento de bancos de dados com informações sobre princípios de solução, componentes, materiais, processos de produção e da integração das informações provenientes dos sistemas de gerenciamento de custos.

Realizar estudos em parcerias com empresas, visando facilitar a sistematização da preparação de informações sobre o processo de estimativa de custos de produtos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AGGARWAL, S.C. **MRP, JIT, OPT, FMS ? Make Sense of Production Operations Systems.** Harvard Business Review. Sep/Oct 1985.
- [2] AKAO, Y. **Quality Function Deployment - QFD : Integrating Customers Requirements into Product Design.** Productivity Press. Cambridge, 1990.
- [3] ALBERTI, N. **Cost Analysis of FMS Throughput.** Annals of the CIRP. 1988.
- [4] ALLEN, D. K. **Processing Alternatives for Cost Reduction.** Brigham Young University. Provo. Utah/USA. Annals of the CIRP, 1987.
- [5] ALMEIDA, H.S. e TOLEDO, J.C. **Qualidade Total do Produto.** Revista Produção. Rio de Janeiro. Vol. 2. N° 1. Outubro, 1991.
- [6] AMORIM, F.L. **Desenvolvimento de um Implemento de Abertura e Adubação de Sulcos no Plantio Direto.** Dissertação de Mestrado. UFSC.EMC.1996.
- [7] ANDRADE, R. S. **Preliminary Evaluation of Needs in the Design Process.** International Conference on Engineering Design, 19993.
- [8] ARAUJO, C.S., *et all.* **The Utilization of Product Development Methods: A Survey of UK Industry.** Journal of Engineering Design, Vol. 7, No. 3, 1996.
- [9] ASHLEY, S. **Cutting Costs and Time with DFMA.** Mechanical Engineering. March, 1995. pp 74-77.
- [10] ATOLAGBE, S.O. **Design to Cost: A Guide Model.** International Conference of Engineering Design, 1991.Vol 1. pp. 618-623.
- [11] BACK, N. **Metodologia de Projeto.** Editora Guanabara Dois. Rio de Janeiro. 1983.
- [12] BACK, N., LEAL, L. da C. M. **Uma Metodologia de Planejamento de Teste de Produtos Industriais.** Revista Produção.
- [13] BACK, N., FORCELLINI, F.A. **Projeto Conceituai.** Universidade Federal de Santa Catarina. Engenharia Mecânica. Apostila. 1995.

- [14] BARIANI, P.F., BERTI, G. **Tool Cost at the Early Stages of Cost Forming Process Design.** Annals of the CIRP, 1993.
- [15] BARTON, J. A e LOVE, D. M. **The Potencial of Simulation in the Financial Evaluation of Design Decisions.** International Conference on Engineering Design, 1995. Vol. 3. pp. 1001-1006.
- [16] BLANCHARD, B.S e FABRYCKY, W. J. **System Engineering and Analysis.** Second Edition. 1990. Prentice-Hall. Inc.
- [17] BOCK, M. & BOCK, R. **Sistema Especialista para a Estimativa de Custos na Etapa de Projeto.** Institut für Wirtschaftsinformatik.
- [18] BOOTHROYD, G., DEWHURST, P. and KNIGHT, W. **Product Design for Manufacturing and Assembly.** 1994. Marcel Dekker, Inc.
- [19] BOOTHROYD, G. and RADOVANOVIC, P. **Estimating the Cost of Machined Components During the Conceptual Design of a Product.** Annals of CIRP 89.
- [20] CAMPOS, V. F. **TQC: Controle de Qualidade Total (No Estilo Japonês).** 3ª ed. Fundação Cristiano Ottoni. Minas Gerais.
- [21] CHEMICAL ENGINEERING. **Modern Cost Engineering.** New York. McGraw-Hill. Book Company. 1979.
- [22] COAD, P and YOURDON, E. **Análise Baseada em Objetos.** 2ª edição Americana. CT Informática. Rio de Janeiro. Campus. 1992.
- [23] CORRYEL, A.E. **The Design. 12 Steps that turn.** Machine Design. Nov. 9. 1967. pp. 154-161.
- [24] CSILLAG, J.M. **Análise do Valor. Metodologia do Valor.** 3ª edição. Ed. Atlas S.A. São Paulo. 1991.
- [25] DEPARTMENT OF DEFENSE. **Design to Cost. Directive 5000.28.** Washington. DC. 1975.
- [26] DERPSCH, R. **Histórico, Requisitos e Importância e Outras Considerações sobre Plantio Direto no Brasil.** Plantio Direto no Brasil. Fundação Cargil. Campinas, 1984. Cap. I. pp 1-12.

- [27] DIETER, G. **Engineering Design: a materials and processing approach**. New York. McGraw-Hill. Book Company, 1983.
- [28] DOMENICO, G.B.D. e LIMA, P.C. **ABC: uma nova ferramenta para gestão de custos de industrias**. Revista Máquinas e Metais. Junho, 1994.
- [29] EVERSHEIM, W. **Process-Oriented Organization of Order Processing - A New Method to Meet Customers Demands**. Annals of the CIRP, 1993.
- [30] FERREIRA, A. B. de H. **Minidicionário da Língua Portuguesa**. 1ª edição. 6ª impressão. Editora Nova Fronteira. 1977.
- [31] FERREIRA, C.V., FORCELLINI, F.A., BACK, N. **Estimativa de Custos de Produtos na Fase de Projeto Conceituai**. Congresso SAE BRASIL 96. Setembro. 1996.
- [32] FERREIRA, C.V., FORCELLINI, F.A., BACK, N. **Estimativa de Custos de Produtos na Fase de Projeto Conceituai**. Congresso ENEGEP 96. Setembro. 1996.
- [33] FERREIRA, C. V., FORCELLINI, F. A., BACK, N. **Estimativa de Custos de Equipamentos na Fase de Projeto Conceituai**. COTEQ/PFM 96. Dezembro.
- [34] FERREIRA, C.V., FORCELLINI, F.A., BACK, N. **Estimativa de Custos de Produtos no Projeto Conceituai - Uma Metodologia para Seleção da Estrutura Funcional e da Alternativa de Concepção**. XIV COBEM 1997.
- [35] FIGGIER, H.E. **Product Redesign as a Cost-Cutting Tool**. Machine Design. 1986.
- [36] FISCHER, G.H. **Cost Consideration in Systems Analysis**. American Elsevier Publishing Company, Inc. New York 1971.
- [37] FOLLEY, M.S., FRENCH, M.J. & WIDDEN, M.B. **The function cost of pressure vessels and rolling element bearings**. Journal of Engineering Design. Vol. 3. N. 4. 1992. pp 291-305.
- [38] FONSECA, N.V., *et all.* **O sistema de Custeio Baseado em Atividades (ABC) na Especificação da Peça em Bruto**. RBCM. J. of. the Braz. Soc. Mechanical Sciences. Vol. XVIII - nº 2 - 1995. pp 201-208.

- [39] FRENCH, N, *et all*. **Conceptual Design for Engineers**. The Design Council. London. Springer-Verlag. Second Edition. 1985.
- [40] GERO, J.S. **Knowledge-based Computer Aided Design**. Computer Application in Production and Engineering. Elsevier Science Publishers. IFIP. 1989.
- [41] GUI, J and MÄNTYLÄ, M. **Functional Understanding of Assembly Modelling**. Computer-Aided Design. Vol. 26. Num. 6. June 1994.
- [42] HAAN, T.J.A. **Product Cost Estimation by the Designer of Sheet Metal Parts**. International Conference on Engineering Design, 1991. Vol 1. pp 599-602.
- [43] HELLER, E. **Value Management: value engineering and cost reduction**. Massachusetts. Addison-Wesley, 1971. 232 p.
- [44] HERMANN, N. *et all*. **Sistematização do Desenvolvimento de Estruturas de Funções**. UFSC. EMC. 1996.
- [45] HIROMOTO, J. **Another hidden edge - Japanese Management Accounting**. Harvard Business Review. p. 22-26. jun/aug. 1988.
- [46] HOLLINS, B. **Sucessful Product Design**. Stuart Pugh. 1989.
- [47] HUBKA, V. and EDER, W.E. **Theory of Technical Systems. A Total Concept Theory for Engineering Design**. 2nd edition. 1984. Springer-Verlag.
- [48] HUNDAL, M. S. **Cost Models for Product Design**. International Conference on Engineering Design, 1993. Vol. 2. pp. 1115-1122.
- [49] HUNDAL, M.S. **A Methodical Procedure for Search of Solutions from Function Structures**. International Conference on Engineering Design. 1991. Vol 1. pp 9-16
- [50] HUNDAL. M. S. **Engineering / management for Time and Cost Driven Development of Products**. 41. Internationales Wissenschaftliches Kolloquim. Band 2. Vortragsreihen. Technische Universität Ilmenau. Thüringen. 1996.
- [51] I.C.F.G. **Small Quantity Production in Cold Forging**. Document 7. Int. Cold Forging Group - CIRP, Paris, 1988.

- [52] ISHII, K. **Life-Cycle Engineering Design**. Department of Mechanical Engineering. Stanford University. Stanford. September, 1994.
- [53] ISHIKAWA, K. **What is Total Quality Control? The Japanese Way**. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.Y., 1985, 215 p.
- [54] JAKOBSEN, M. M. **A Methodology for Product Development in Small and Medium Sized Companies**. International Conference on Engineering Design 1993. Vol. 2. pp 706-709.
- [55] JEAN, M. *et all.* **The practicabilities of using activity - based costing**. Management Accounting. November, 1989.
- [56] KLASMEIR, V. **Kurzalkulationsverfahren zur Kostenmittlung beim methodischen Konstruieren**. Schriftenreihe Konstruktionstechnik. H.7. TU Berlin: Dissertation 1985.
- [57] KLASTORIN, T.D. **Measuring the Impact of a Delay Buffer on Quality Costs with an Unreliable Production Process**. Management Science. March. 1995.
- [58] KÖNIG, W. **Alternative Processes for Cost Reduction**. Technische Hochschule. Aschen/FRG. Annals of CIRP 1987.
- [59] KOPITTKE, B.H. **Custo de Produtos Industriais**. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia de Produção Mecânica. Apostila. 1995.
- [60] KRÖMKER, M., *et all.* **Product Modelling in the Bid Preparation Phase**. International Conference on Engineering Design , 1995. Vol 4. pp. 1437-1442.
- [61] LENAU, T. **Early Cost Estimation for Die Casting**. International Conference on Engineering Design, 1995. Vol. 3. pp 1007-1016.
- [62] LOUREIRO, G. **Q F D: Auxiliado por Computador em Abordagens por Engenharia Mecânica** . Tese. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. SP. 1984
- [63] MAGGIORE, P., CHIESA, S. and CHIRONE, E. **Cost Evaluation in the Aeronautical Conceptual Design**. International Conference on Engineering Design, 1995. Vol. 3. pp 1017-1022.

- [64] MAHAJAN, P. **Design for Stamping - Analysis of Part Attributes that Impact Die Construction Costs for Metal Stamping.** Journal of Mechanical Design 1993.
- [65] MARTINS, E. **Contabilidade de Custos.** 5ª edição rev.. São Paulo. Atlas. 1996
- [66] Material Science and Engineering Series. **Engineering Design: A materials and Processing Approach.** McGraw-Hill Company.
- [67] MIRSHAWKA, V. **A Competitividade - Desafios e Ações - A vez do Brasil.** Revista Qualimetria - nº 51. Novembro de 1995
- [68] MITRA, A. and PATANKAR, J. G. **Effects of Warranty Execution on Warranty Reserve Costs.** Management Science. March. 1995.
- [69] MONDEN, Y. **What Makes the Toyota Production System Really Tick ?** I.E. p. 36-46, JAN. 1981.
- [70] MORGAN, M.J. and WEEKAKOON, S.H. **Japanese Management Accounting: its contribution to the Japanese - economic miracle.** Management Accounting. p. 40 - 43. jun. 1989.
- [71] FIOD NETO, M. **Desenvolvimento de Sistema Computacional para Auxiliar na Concepção de Produtos Industriais.** Tese submetida ao Departamento de Engenharia Mecânica. UFSC. Florianópolis. 1993.
- [72] NEVIS, J.L. and WHITNEY, D.L. **Concurrent Design of Products and Processes.** New York. McGraw-Hill. 1989.
- [73] NIEMANN, G. **Maschinenelemente.** Vol. 2. Berlim Springer. 1960.
- [74] NUNES, J.D. **Custos: Instrumento de Controle e Gerenciamento.** SEBRAE/SC.
- [75] O' BRIEN, G.T. **Estimating Design Costs.** Machine Design. March, 20. 1986.
- [76] OGLIARI, A. **Sistematização da Concepção de Instrumentos de Medição Auxiliado por Computador.** Departamento de Engenharia Mecânica. Proposta de Tese. 1995.

- [77] OGLIARI, A. **Sistemas Especialistas: Conceitos, Ferramentas e Aplicações na Engenharia**. Florianópolis, 1995. UFSC. CTC.EMC.
- [78] ORNSTEIN, R. **Alocação de Custos Centrais**. Conselho Regional de Contabilidade. 1980.
- [79] OSINSKI, Z. **Optimal Design of Machines Regarding the Production Costs**. International Conference on Engineering Design, 1991. Vol. 1. pp 624-627.
- [80] OUDT, H. A. **Starting Management of Product Development Processes in Changing Companies**. International Conference on Engineering Design, 1993. Vol. 2. pp. 689-693.
- [81] PAHL, G and BEITZ, W. **Engineering Design : a Systematic Approach**. Springer Verlag, Berlim, 1988.
- [82] PAHL, G and BEITZ, W. **Engineering Design : a Systematic Approach**. Springer Verlag, Berlim, 1996.
- [83] PAHL, G. and BEELICH, K. H. **Kostenwachstumsgesetze nach Ähnlichkeitsbeziehungen für Baureihen**. VDI - Berichte. Nr. 457. Düsseldorf: VDI - Verlag 1982.
- [84] PAHL, G. and RIEG, F. **Relativkostenndiagramme für Zukaufteile. Approximationspolynome helfen bei der Kostenabschätzung von fremdgefertigten Teilen**. Konstruktion 36. 1984. 1 - 6.
- [85] PARK, C.S. **Counting the Costs: New Measures of Manufacturing Performance**. Mechanical Engineering. January 1987. pp 66 - 74.
- [86] PITTS, G. **Techniques in Engineering Design**. Butterworths. 1973.
- [87] PORTER, M.E. **Estratégias Competitivas: técnicas para análise de indústrias e da concorrência**. Rio de Janeiro. Campus. 1986.
- [88] PRIEST, J. W. **Engineering Design for Productibility and Reliability**. New York and Bessel.

- [89] PUGH, S. **Total Design. Integrated Methods for Successful Product Engineering.** Addison-Wesley Publishing Company. 1990.
- [90] RAUBSCHENBACH, T. **Kostenoptimierung Konstruktiver Lösungen. Möglichkeiten für die Einzel - und Kleinserienproduktion.** Düsseldorf: VDI-Verlag 1978.
- [91] REVOLLO, J. R. M. **Custos no Processo de Desenvolvimento de Produto segunda a Metodologia de Pahl & Beitz.** EPS / UFSC. 1989.
- [92] ROOZENBURG, N.F.M. and DORST, K. **Some Guidelines for the development of Performance specifications in product design.** International Conference on Engineering Design, 1991, Zurich, August, pp 359-366.
- [93] ROOZENBURG, N. F. M. and EEKELS, J. **Product Design: Fundamental and Methods.** John Willey & Sons Ltd. A Wiley in Product Development.: Planning, Designing, Engineering. 1995.
- [94] ROTH, K. **Konstruieren mit Konstruktionkatalogen.** Heidelberg, Springer-Verlag. 1982.
- [95] ROSA, E. da; FORCELLINI, F.; OGLIARI, A. e BACK, N. **Novos Enfoques para a Concepção de Produtos com o Uso de Sistemas CAE / CAD / CAM.** Revista Metal Mecânica. Junho. 1995.
- [96] SELIG, P.M. **Análise do Valor.** Apostila do Curso de Pós-Graduação em Eng. de Produção. UFSC
- [97] SELIG, P. M. **Gerenciamento e Avaliação do Valor Agregado Empresarial.** Tese. EPS. CTC. UFSC. 1993.
- [98] SFANTSIKOPOULOS, M. M. **Cost Optimum Design of a Product Size Range.** International Conference on Engineering Design, 1991. Vol 1. pp. 628 - 635.
- [99] SHELDON, D. F. and BUSH, S. A. **Whose Cost is it Anyway?** International Conference on Engineering Design, 1993. Vol. 2. pp 1130-1143.

- [100] SHELDON, D.F. , HUANG, G. O. and PERKS, R. **Designing for Cost - Past Experience and Recent Developments.** Journal of Engineering Design. Vol. 2. N.2. pp. 127-139. 1991.
- [101] SHELDON, D.F. and BUSH, S.A. **Whole Life Costing: A Businesslike Approach to Product Design.** International Conference on Engineering Design, 1995. Vol. 3. pp. 988-994.
- [102] SMITH, P.G. and REINERTSEN, D.G. **Developing products in half time.** Van Nostrand Reinhold. New York, 1991.
- [103] SNIP, R. **Speed of Product Development : What are we talking about?** International Conference on Engineering Design, 1993. Vol. 2. pp. 680-684.
- [104] SOUZA, A.A. and KINGSMAN, B.G. **Modelling the Cost Estimation and Pricing Process in Make-to-Order Companies.** ENEGEP. 1996.
- [105] STEWART, R.D. **Cost Estimating.** 2nd ed. John Willey & Sons Inc. 1991.
- [106] STOKES, C.A., FRENCH, M.J. and WIDDEN, M. B.. **Function - Costing : Recent Developments.** International Conference on Engineering Design, 1993. Vol. 2. pp. 1123-1129.
- [107] STOMPH - BLESSING, L.T.M. **The Design Process of a Complex Product: Selected Results of an Analysis.** International Conference on Engineering Design, 1991. Vol. 1. pp. 342.
- [108] TESCHLER, L. **Stripping the Mystery from Expert System.** Machine Design. 85.
- [109] TÖNSHOFF, H. K. and STANKE, C. **Processing Alternatives for Cost Reduction.** University of Hannover. Annals of the CIRP, 1987.
- [110] TRABASSO, L.G. and LOUREIRO, G. **QFD: O Desafio de Ir Além da Primeira Matriz.** Instituto de Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Engenharia Mecânica Aeronáutica. SP.
- X [111] ULLMAN, D.G. **The Mechanical Design Process.** Mc-Graw Hill. Mechanical Technology Series. 1992.

- [112] VALDIERO, A. C. **Desenvolvimento e Construção de um Protótipo de um Microtrato Articulado : Tração e Preparo de Sulcos.** Dissertação de Mestrado . EMC. UFSC. 1994.
- [113] VALENTINA, L.V.O.D. e OLIVEIRA, R.R. **Investindo em Sistemas de Custeio no Ambiente de Manufatura Integrada.** Revista metal Mecânica. Abril / 1995.
- [114] WIDDEN, M.B., *et all* **Function - Costing and Function Maps in Conceptual Design. Computer Aided. Conceptual Design.** Lancaster International Workshop on Engineering Design. Edity by John Sharpe and Vicent On. 1994.
- [115] YOSHIKAWA, H. **Design Philosophy: The State of the Art.** Annals of the CIRP. v 3812. 1989.
- [116] ZENGER, D. C. **A Cost Based Approach to the Selection of Materials and Processes in Product Design.** International Conference on Engineering Design, 1993. Vol 2.
- [117] ZÜST, R. **Approach to the Identification and Quantification of Environmental Effects during Product Life.** CIRP. 1992.
- [118] ZÜST, R. **Consideration of Environmental Aspects in Product Design.** International Conference on Engineering Design, 1995. Vol. 3. pp. 1023 -1030.

APÊNDICE I

CHECK-LIST

LEVANTAMENTO DAS NECESSIDADES

DE CUSTO DOS CLIENTES

A.1 - Introdução

Serão apresentados os “*check-list*” para levantamento das necessidades de custos de aquisição e de utilização dos clientes.

Conforme colocado, as informações obtidas serão utilizadas na primeira matriz do QFD afim de preparar as informações sobre os custos do produto. Os “*check-list*” foram desenvolvidos com base na estrutura de desdobramento de custos proposta e apresentada na figura 4.9.

A.2 - Check-list para Levantamento das Necessidades Relacionadas ao Custo de Aquisição do Produto

A seguir é apresentado o “*check-list*” para levantamento das necessidades que afetam o custo de aquisição do produto. São elas:

Com relação ao **custo de pesquisa e desenvolvimento**. São elas:

- Custo de pesquisa e desenvolvimento
- Custo de documentação do produto
- Custo de teste e avaliação do produto
 - O planejamento e os testes do produto são onerosos ?
 - Devem ser utilizados modelos para realizar os testes com o produto ?
 - Devem ser desenvolvidos sistemas complexos para registro de dados ?

Com relação ao **custo de produção e construção**. São elas:

- Custo de fabricação
 - É necessário o desenvolvimento de processos para produzir o produto ?
- Custo de material
 - Deve ser empregado materiais especiais, portanto, caros no produto ?
- Custo de montagem e submontagem
- Custo de inspeção do produto
- Custo de armazenagem do produto na empresa

- Custo de transporte
 - O produto requer embalagem adicionais para transportá-lo ?
 - Deve ser empregados equipamentos especiais para transportá-lo ?
- Custo de embalagem
 - O produto precisa ser engradado ?
 - O produto precisa proteção contra interpéries ?
 - O processo de desembalagem do produto é complexo ?
- Custo de controle de qualidade
- Custo de suporte logístico inicial

A.3 - Check-list para Levantamento das Necessidades Relacionadas ao Custo de Utilização do Produto

A seguir é apresentado o “check-list” para levantamento das necessidades que afetam o custo de utilização do produto. São elas:

Com relação ao **custo de operação e manutenção**. São elas:

- Custo de distribuição do produto
 - O transporte do produto no pós-venda requer cuidados especiais ?
 - O armazenamento do produto requer procedimentos especiais ?
- Custo de operação do produto ?
 - O sistema de operação do produto é simples ?
 - O operador deve ser treinado para utilizar o produto ?
 - O produto consome muita energia para executar a sua função ?
- Custo de manutenção do produto ?
 - O produto requer manutenção de campo ?
 - É necessário o desenvolvimento de um serviço ao consumidor ?
 - Estão planejadas facilidades de manutenção no produto ?
 - O produto exige manutenção periódica ?
 - O operador deve ser treinado para fazer manutenção no produto ?
- Custo de material e peças de reposição e de suporte do produto ?
 - Está planejado o desenvolvimento de material de reposição do produto ?
 - Estes requerem armazenagem e transporte especiais ?

Com relação ao custo de custo de retirada e descarte. São elas:

- Custo de descarte dos elementos não reaproveitáveis ?
 - São necessários cuidados especiais para descartar o produto ?
- Custo de descarte dos elementos reaproveitáveis ?
 - Os elementos descartados possuem valor intrínseco ?
 - São necessários procedimentos especiais para descarte os elementos ?
 - Estão previstas facilidades de descarte do produto ?
- Custo de retirada do produto ?
 - É necessário pessoal especializado para retirar o produto ?
 - São necessários equipamentos de suporte para retirar o produto ?
 - É necessário transporte especial para retirar o produto /
 - Estão previstas facilidades de retirada do produto ?

APÊNDICE 2

MATRIZ DE QFD

2.A.1 - Definição

O QFD, do inglês *Quality Function Deployment*, é uma forma sistemática de traduzir as necessidades dos clientes em requisitos de projeto a serem providos pela organização, passando pelas diversas etapas do ciclo de desenvolvimento do produto, desde a pesquisa e o desenvolvimento até a engenharia, a produção, o marketing, as vendas e a distribuição [58].

AKAO [2] define o QFD como sendo uma maneira de compreender exatamente o que os clientes querem, para determinar qual é a melhor forma de atender aos seus desejos com os recursos disponíveis [2].

2.A.2 - Primeira Matriz de QFD

De acordo com AKAO [2], a primeira Matriz de QFD permite o relacionamento entre as necessidades dos clientes e os requisitos de projeto, sendo determinados os requisitos mais importantes, a partir da execução dos seguintes passos:

1. Levantamento das necessidades dos clientes;
2. Determinação dos requisitos de projeto;
3. Atribuição de importância às necessidades dos clientes;
4. Relacionamento entre as necessidades e os requisitos do produto;
5. Determinação dos requisitos técnicos mais importantes;
6. Determinação dos requisitos de custos mais importantes e
7. Preenchimento da Matriz de Correlação

1º Passo: Levantamento das necessidades do cliente

A matriz deve ser preenchida com as t necessidades dos clientes (NC_p) levantadas a partir da execução dos procedimentos propostos pela metodologia de estimativa de custos de produtos, ou seja, as:

- Necessidades técnicas;
- Necessidades dos clientes relacionadas ao custo de aquisição do produto e
- Necessidades dos clientes relacionadas ao custo de utilização do produto.

2º Passo: Determinação dos requisitos de projeto

A matriz deve ser preenchida com os requisitos de projeto, determinados a partir da execução dos procedimentos propostos pela metodologia de estimativa de custos de produtos no item 8.3.1 ou seja, os:

- Os m requisitos técnicos do produto - RT_i
- Os n requisitos de custos do produto - RC_k

Na figura 2.A.1, é apresentada a primeira matriz de QFD, composta pelas necessidades dos clientes, classificadas em necessidades técnicas e de custos e, pelos requisitos técnicos e de custos do produto.

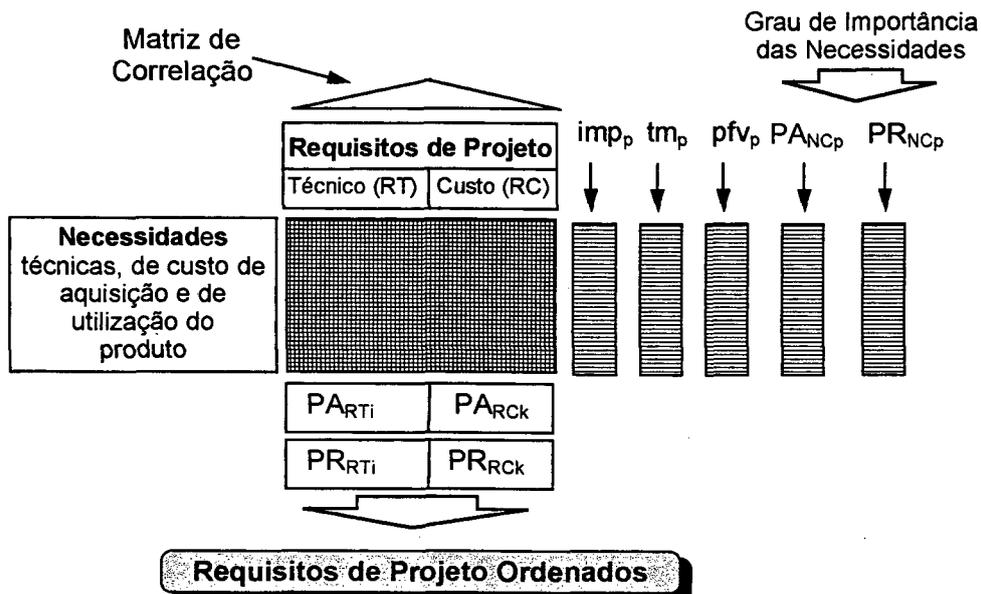


Figura 2.A.1 - Primeira matriz de QFD

3º Passo: Atribuição de importância às necessidades dos clientes

Na sequência de preenchimento da matriz de QFD, deve-se determinar o grau de importância das necessidades dos clientes, dado pelo seu valor absoluto PA_{NCP} e peso relativo PR_{NCP} , indicando o quanto uma necessidade é importante para o cliente, calculados respectivamente por [109]:

$$PA_{NCP} = imp_p \times tm_p \times pfv_p \quad (A.2.1)$$

$$PR_{NCP} = PA_{NCP} \times 100 / \sum_i PA_{NCP} \quad (A.2.2)$$

onde: - t - número total das necessidades dos clientes;

- NC_p - necessidades dos clientes;

- PA_{NC_p} - valor de importância absoluto das necessidades dos clientes;

- PR_{NC_p} - grau de importância relativo das necessidades dos clientes (%);

- imp_p - indicação qualitativa traduzida para uma escala numérica (1 a 5, por exemplo) de quanto uma necessidade do cliente (NC_p) influencia sua decisão de compra (1 para pouca influência e 5 para fortemente influenciado);

- tm_p - é a razão entre a qualidade desejada e o nível atual com que a empresa satisfaz a necessidade NC_p do cliente e

- pfv_p - baseada nas comparações com os concorrentes através de uma análise competitiva feita pelo cliente e nas informações de mercado, é uma indicação se uma necessidade NC_p do consumidor, determinada pelo mesmo, é um ponto forte de venda. Para os valores de pfv_p são atribuídos valores como 1.5 e 1.2 para pontos muito fortes e fortes, respectivamente, e 1.0 para os pontos fracos de venda nas comparações com os concorrentes através da análise competitiva feita pelo cliente e nas informações de mercado. Pode-se dizer que a variável pfv_p traduz o planejamento de "marketing" da empresa [56].

Por exemplo, para uma determinada necessidade do consumidor, tal como "baixo consumo de energia" de uma máquina, tem-se para:

- imp_p o valor 5 (indicando forte ponto de venda);

- tm_p o valor 1.2 (indicando que, com relação à respectiva necessidade, o produto a ser projetado deve ter uma qualidade 20 % superior em relação ao nível com que a empresa satisfaz esta mesma necessidade atualmente); e

- pfv_p o valor de 1.4 (indicando um forte ponto de venda para o produto).

Assim para o exemplo, o valor do peso de importância absoluto da necessidade do cliente, "baixo consumo de energia", (PA_{NC_p}), é igual 8.4 ($5 \times 1.2 \times 1.4$)

O cálculo do peso relativo PR_{NC_p} mostrado na equação (A.2.2) é apenas uma ponderação percentual entre todas as t necessidades levantadas entre os clientes [56].

O procedimento adotado neste passo garante que as necessidades técnicas e de custos sejam valoradas através de um processo sistemático.

4º Passo: Relacionamento entre as necessidades dos clientes e requisitos do produto

Na sequência do processo de preenchimento da matriz do QFD, deve-se relacionar as necessidades dos clientes aos requisitos de projeto. Este relacionamento é uma forma sistemática de identificar, respectivamente, um nível de relação ou dependência R_{pi} e R_{pk} entre as necessidades dos clientes e os m requisitos técnicos e os n requisitos de custo. As relações entre as necessidades dos clientes e os requisitos de projeto são, em geral, preenchidas com os símbolos apresentados na tabela 2.A.1, sendo, posteriormente, convertidos em valores numéricos mostrados na tabela. O nível de relação ou dependência entre as necessidades e os requisitos de projeto variam de fraco a fortemente relacionado, ou seja, de 1 a 10 [58].

Tabela 2.A.1 - Simbologia de relacionamento entre itens

Símbolo	Grau de Relacionamento	Valor (R_{pi})	Valor (R_{pk})
⊙	forte relacionamento	10	10
○	médio relacionamento	5	5
*	fraco relacionamento	1	1

Assim, pode-se exemplificar como *fortemente relacionado*, a necessidade do cliente “durabilidade” com o requisito de projeto “custo de aquisição” de um implemento agrícola. Neste caso, a característica de durabilidade pode significar o uso de componentes com maior precisão de fabricação, materiais mais nobres, etc. Observa-se, então, que estas características apresentam forte relacionamento com o custo de aquisição, pois podem aumentá-lo para valores exorbitantes ou, até mesmo, diminuí-lo para valores bastante aceitáveis pelos produtores [6].

Outro exemplo de um caso *fortemente relacionado* é a grande influência que o item “peças simples e de fácil aquisição” tem sobre o requisito de projeto “custo de aquisição” do produto [6].

5º Passo: Determinação dos requisitos técnicos mais importantes

A determinação dos requisitos técnicos mais importantes é dado através do resultado do relacionamento entre as necessidades dos clientes e estes requisitos, expresso, respectivamente, pelo seu valor absoluto e peso relativo, PA_{RTi} e PR_{RTi} , calculados conforme mostram as equações (A.2.3) e (A.2.4).

$$PA_{RTi} = \sum_{p=1}^t (NC_p \times R_{pi}) \quad (A.2.3)$$

$$PR_{RTi} = PA_{RTi} \times 100 / (\sum_m PA_{RTi}) \quad (A.2.4)$$

onde: - RT_i = requisito técnico do produto;

- PA_{RTi} = valor absoluto de um determinado requisito técnico;

- PR_{RTi} = é o peso relativo de um determinado requisito técnico e

- R_{pi} = é o nível de relação ou dependência entre as necessidades dos clientes e os requisitos técnicos;

O cálculo do peso relativo PR_{RTi} mostrado na equação (A.2.4) é apenas uma ponderação percentual entre todas os m requisitos técnicos.

6º Passo: Determinação dos requisitos de custos mais importantes

A determinação dos requisitos de custos mais importantes é dado através do resultado do relacionamento entre as necessidades dos clientes e estes requisitos, expresso, respectivamente, pelo valor absoluto e relativo dos requisitos, PA_{RCK} e PR_{RCK} , calculados conforme mostram as equações (A.2.5) e (A.2.6).

$$PA_{RCK} = \sum_{p=1}^t (NC_p \times R_{pk}) \quad (A.2.5)$$

$$PR_{RCK} = PA_{RCK} \times 100 / (\sum_n PA_{RCK}) \quad (A.2.6)$$

onde: - RC_k = requisito de custo do produto;

- PA_{RCK} = valor absoluto de um determinado requisito de custo;

- PR_{RCK} = é o peso relativo de um determinado requisito de custos e

- R_{pk} = é o nível de relação ou dependência entre as necessidades dos clientes e os requisitos de custos;

O cálculo do peso relativo PR_{RCK} mostrado na equação (A.2.6) é apenas uma ponderação percentual entre todas os n requisitos de custos.

7º Passo: Preenchimento da Matriz de Correlação

A matriz de correlação representada no telhado da matriz do QFD é uma matriz triangular que apresenta a relação ou dependência entre os requisitos de projeto do produto, sendo normalmente utilizada somente na primeira matriz do QFD. As células da matriz são preenchidas com os símbolos apresentados na tabela A.2.2. [58].

Tabela 2.A.2 - Símbolos utilizados na matriz de correlação

●	Correlação fortemente positiva
○	Correlação positiva
▽	Correlação fortemente negativa
◆	Correlação negativa

Pode-se citar, como exemplo de preenchimento desta matriz, a relação entre os requisitos de projeto “peças padronizadas” e “custo de aquisição”. Neste caso, observa-se que, quanto maior o uso de peças padronizadas, menor será o custo do produto. Logo, trata-se de um relacionamento do tipo *fortemente positivo*, indicando que os requisitos são diretamente proporcionais

Outro exemplo bem claro de um relacionamento *fortemente positivo* é a ligação diretamente proporcional entre a potência consumida e o custo de aquisição. Aqui, nota-se que a diminuição do consumo de potência pelo implemento implica num custo menor de aquisição, indicando que os requisitos são inversamente proporcionais.

APÊNDICE 3

MATRIZ DE QFD DO IMPLEMENTO DE ABERTURA E ADUBAÇÃO DE SULCOS NO PLANTIO DIRETO

