

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENG. DE PRODUÇÃO

**ANÁLISE DA SEGURANÇA HUMANA PARA
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS
MAIS SEGUROS**

Widomar Pereira Carpes Júnior

Florianópolis - Santa Catarina

**ANÁLISE DA SEGURANÇA HUMANA PARA
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS
MAIS SEGUROS**

Por

Widomar Pereira Carpes Júnior

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Federal de Santa Catarina, para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

ORIENTADORA: Ingeborg Sell, Dr. rer. nat.

Florianópolis - Santa Catarina

Fevereiro de 2001

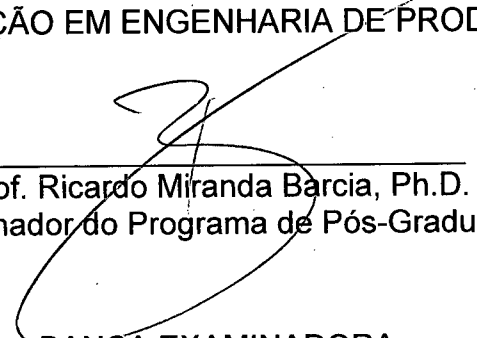
ANÁLISE DA SEGURANÇA HUMANA PARA
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS MAIS SEGUROS

Widomar Pereira Carpes Júnior

ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE


DOUTOR EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

E APROVADA NA SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO




Prof. Ricardo Miranda Barcia, Ph.D.
Coordenador do Programa de Pós-Graduação

BANCA EXAMINADORA



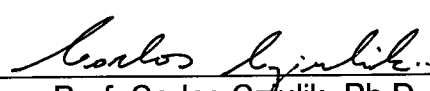
Prof.ª Ingeborg Sell, Dr. rer.nat.
Orientadora



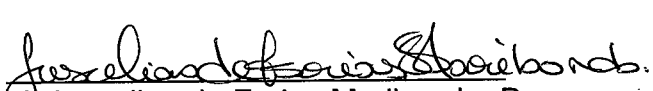
Prof. Nelson Back, Ph.D.
Moderador



Prof. Acires Dias, Dr.
Membro



Prof. Carlos Czulik, Ph.D.
Examinador Externo



Prof. Juscelino de Farias Maribondo, Dr.
Examinador Externo

À Claudia

Agradecimentos

- À prof^a Ingeborg Sell pelo seu apoio e orientação durante o desenvolvimento desta tese;
- Aos professores Nelson Back e Acires Dias pelo auxílio e contribuição no desenvolvimento do trabalho e participação como membros da banca examinadora;
- Ao professor Carlos Cziulik pela participação como membro da banca examinadora;
- Agradeço ao colega Juscelino Maribondo pela participação como membro da banca examinadora;
- À Márcia Camilli da Unidade de Política Econômica e Industrial da FIESC pelas informações cedidas sobre estatísticas de acidentes;
- Ao Sr. Jany Rogério Vieira Wolff - INSS/SC pelo fornecimento de estatísticas de acidentes do trabalho;
- Aos Srs. Valdir Florenzo e Ventura R. Martello Filho - Dynamics pelo parecer sobre acidentes de trânsito;
- Ao Cel. Av. Paulo A. Godoy Penteado - CENIPA pelas informações prestadas sobre o acidente da TAM;
- À engenheira de segurança Tânia Maria Cândido Pacheco, aos técnicos de segurança Nilo Urbainski e Marcos Aurélio Salvador e à Supervisora de Recursos Humanos Paulina Bileski pelas informações sobre os acidentes ocorridos nas Indústrias Artefama S/A e na Móveis Rudnick S/A ;
- À Polícia Rodoviária Federal e ao IBGE pelas estatísticas de acidentes fornecidas;
- À ETFSC;
- Aos meus pais;
- E a Deus.

***... não vos conformeis com este mundo, mas
transformai-vos pela renovação do vosso entendimento ...***

Paulo em Carta aos Romanos 12:2

Bíblia de Referência Thompson

RESUMO

O objetivo desta tese é desenvolver uma forma de mensurar a segurança dos produtos e um método para determinar as necessidades de segurança do consumidor em relação aos produtos para serem traduzidas em requisitos de projeto. A mensuração da segurança foi aplicada nos equipamentos de indústrias moveleiras e o método de determinação das necessidades foi aplicado para obtenção das necessidades de segurança em tupidias de mesa.

A motivação para a realização deste trabalho foi a constatação dos valores elevados de perdas de vidas e de capital causados pelos acidentes, em decorrência da utilização de produtos industrializados. Além disso, constatou-se, também, que a segurança não possuía formas de medição adequadas e nem um método eficaz para garantir a segurança do produto durante o processo de projeto. Então, realizou-se estudos sobre estatísticas e causas de acidentes, metodologias de projeto e técnicas de análise da segurança de sistemas.

A partir do conhecimento adquirido, estabeleceu-se uma forma de mensurar a segurança dos produtos e um método para determinar as necessidades de segurança para o projeto do produto.

As contribuições deste trabalho foram: a definição clara dos conceitos de risco e perigo, que atualmente são confusos; a definição clara do significado da segurança dos produtos para o consumidor; a identificação dos parâmetros referenciais para a medição da segurança dos produtos, em substituição à utilização de variáveis associadas à confiabilidade; o estabelecimento de um índice de segurança que possibilite a comparação entre produtos semelhantes e indique qual é o mais seguro e qual é o mais perigoso; o detalhamento do processo de determinação das necessidades de segurança necessárias ao desenvolvimento de um produto.

ABSTRACT

The great number of accidents, resulting in life and economic loss, related to products usage induced the scope of this work, that is, how to enhance product safety.

It was studied about accidents statistics and causes, design methodologies and systems safety analysis. After that, it was realized that there wasn't an appropriate method for safety measurement and, in the same way, there wasn't an efficient procedure to assure product safety in the course of design process.

Therefore, it were developed, in this work, a method to measure product safety and a procedure to determine consumer's safety needs, in a way that they can be translated into design requirements.

As a case study, safety was measured for furniture industries machinery and then, procedure for safety needs determination was applied to spindle moulders.

The achievements of this work were:

- the establishment of a clear product safety concept;
- the establishment of reference parameters for safety measurement, instead of reliability variables;
- the establishment of a safety index, allowing alike products to be compared, indicating the more safe and more hazardous one;
- detailment of the procedure of safety needs determination, that are required to product development.

The method of safety measurement and the procedure to determine product safety needs were validated through the case study performed at furniture industries located in Santa Catarina, Brazil.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS	xiv
LISTA DE TABELAS	xvi
LISTA DE SÍMBOLOS	xxii
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	1
1.1 - O Problema da Segurança em Produtos	2
1.2 - Objetivos	14
1.3 - Justificativa	16
1.4 - Conteúdo dos Capítulos	17
CAPÍTULO II - POSSÍVEIS CAUSAS E TEORIAS DE ACIDENTES	21
2.1 - Teorias Mono e Multicausais de Acidentes	21
2.2 - Erro Humano e Características Perigosas dos Produtos	25
2.2.1 - Erro Humano e Confiabilidade Humana	26
2.2.2 - Características Perigosas dos Produtos segundo Hammer (Hammer, 1993)	39
2.3 - Alguns Conceitos Relacionados aos Acidentes	43
2.4 - Confiabilidade e Segurança	50
2.5 - Considerações Finais	56

CAPÍTULO III - O PROJETO DO PRODUTO	58
3.1 - Metodologias de Projeto	58
3.2 - Comparação entre as Metodologias de Projeto	69
3.3 - Diretrizes para o Projeto de Produtos Seguros	72
3.4 - Métodos para o Projeto de Produtos Seguros	78
3.5 - Considerações Finais	83
CAPÍTULO IV - ANÁLISE, MELHORIA E ESTIMATIVA DA SEGURANÇA .	85
4.1 - Classificação das Técnicas de Análise de Segurança segundo	
Wang & Ruxton (Wang et al., 1997)	85
4.2 - Técnicas de Análise de Segurança	93
4.2.1 - Análise Preliminar de Riscos	93
4.2.2 - Técnica de Incidentes Críticos	95
4.2.3 - Análise dos Modo de Falhas e seus Efeitos	96
4.2.4 - Análise da Interface	100
4.2.4.1 - Relacionamentos Físicos	100
4.2.4.2 - Relacionamentos Funcionais	101
4.2.4.3 - Relacionamentos de Fluxos	102
4.2.5 - Análise Lógica de Circuitos	103
4.2.6 - Mapeamento	106
4.2.7 - Análise da Árvore de Falha	106
4.3 - Outras Formas de Melhorar a Segurança dos Produtos	110
4.4 - Medição ou Estimativa da Segurança dos Produtos	112
4.4.1 - Métodos Qualitativos	113
4.4.2 - Métodos Quantitativos	114

4.5 - Considerações Finais	119
CAPÍTULO V - MENSURAÇÃO DA SEGURANÇA DOS PRODUTOS	123
5.1 - O relatório Básico do Acidente	123
5.2 - A Medição da Segurança dos Produtos	127
5.2.1 - Estimativa das Conseqüências dos Acidentes	133
5.2.2 - Estimativa da Frequência dos Acidentes	138
5.2.3 - Determinação do Índice de Segurança do Produto	139
5.3 - Considerações Finais	140
CAPÍTULO VI - MÉTODO PARA DETERMINAR AS NECESSIDADES DE SEGURANÇA DO CONSUMIDOR	142
6.1 - Identificar os Problemas de Segurança do Produto	144
6.2 - Identificar os Perigos do Produto	147
6.3 - Determinar as Possíveis Lesões e Danos	151
6.4 - Avaliar os Danos e as Lesões	153
6.5 - Verificar a Existência de Normas Aplicáveis	161
6.6 - Estabelecer Diretrizes	162
6.7 - Determinar as Necessidades dos Consumidores	164
6.8 - Considerações Finais	168
CAPÍTULO VII - ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DA MENSURAÇÃO DA SEGURANÇA EM EQUIPAMENTOS DA INDÚSTRIA MOVELEIRA	170
7.1 - Importância da Aplicação	170
7.2 - Relatório de Acidentes	172

7.3 - Cálculo do Índice de Segurança	181
7.4 - Considerações Finais	185

**CAPÍTULO VIII - ESTUDO DE CASO: DETERMINAÇÃO DAS
NECESSIDADES DE SEGURANÇA PARA O PROJETO DA
TUPIA DE MESA 186**

8.1 - Identificação dos Possíveis Problemas de Segurança	187
8.2 - Identificação dos Perigos	189
8.3 - Determinação das Lesões e Danos	191
8.4 - Avaliação dos Danos e Lesões	193
8.5 - Verificação da Existência de Normas Aplicáveis	198
8.6 - Estabelecimento das Diretrizes	201
8.7 - Determinação das Necessidades de Segurança	203
8.8 – Considerações Finais	206

CAPÍTULO IX - CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS 209

9.1 - Conclusões	209
9.2 - Perspectivas Futuras	213

CAPÍTULO IX - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 216

ANEXO A - REPROJETO DA TUPIA DE MESA 225

A.1 – Planejamento do Produto	225
A.1.1 – Identificação das Necessidades dos Consumidores	226
A.1.2 – Requisitos de Projeto	229
A.2 – Projeto Conceitual	235

A.2.1 – Estruturação Funcional	235
A.2.2 – Busca por Conceitos Utilizáveis	236
A.2.3 – Avaliação dos Conceitos	238
A.2.4 – Lista dos Conceitos Escolhidos	245
A.3 – Cálculo do Índice de Periculosidade da Tupia Re projetada	249
A.4 – Considerações Finais	250

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Fatores contribuintes de acidentes da aviação geral, no período de 1987 a 1997 (Ministério da Aeronáutica, 1998)	7
Figura 2.1 - Fluxograma de um acidente, com seus principais elementos	49
Figura 3.1 - As fases de um projeto completo, segundo Asimow (Asimow, 1962)	61
Figura 3.2 - Fases da metodologia de projeto de Pahl & Beitz (Pahl et al., 1996)	69
Figura 3.3 – Método para projeto de produtos seguros (Schoone-Harmsen, 1990)	79
Figura 4.1 - Técnica de análise de segurança de efeito-causa (Wang et al., 1997)	90
Figura 4.2 - Técnica de análise de segurança de causa-efeito (Wang et al., 1997).....	92
Figura 4.3 - Planilha de desenvolvimento da Análise Preliminar de Riscos (De Cicco et al., 1979)	94
Figura 4.4 - Modelo para condução de uma FMEA (De Cicco et al., 1979).....	99
Figura 4.5 - Simbologia Lógica da FTA (De Cicco et al., 1979)	109
Figura 4.6 - Penalidade em função do fator populacional (Khan et al., 1997)	118
Figura 5.1 - Planilha para o relatório do acidente	126
Figura 5.2 - Exemplo de gráfico para acompanhamento da evolução da segurança de dois modelos de um mesmo produto	128
Figura 6.1- Fluxograma do método para determinação das necessidades de segurança do consumidor	143
Figura 7.1 - Distribuição de acidentes segundo ramo de atividade econômica agrupado (INSS/SC, 1998)	172
Figura 7.2 - Equipamentos ordenados de forma crescente segundo índice de segurança em relação aos acidentes [São Bento do Sul-SC, 2000]	184
Figura 7.3 - Distribuição de acidentes segundo tipo de equipamento	

[São Bento do Sul-SC, 2000]	184
Figura 8.1 - Tupia de mesa	186
Figura A.1- Casa da qualidade para determinação dos requisitos de projeto da tupia de mesa	230
Figura A.2 – Função global e suas subfunções, num detalhamento inicial ...	236
Figura A.3 – Estrutura funcional para a tupia	236
Figura A.4 - Representação esquemática das partes funcionais da tupia de mesa	247
Figura A.5 – Perspectiva da parte anterior da tupia reprojeta da	248
Figura A.6 – Perspectiva da parte posterior da tupia reprojeta da	249

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Estatística de acidentes do trabalho em Santa Catarina, segundo o objeto causador (INSS/SC, 1997)	3
Tabela 1.2 - Percentual dos diversos tipos de fatores operacionais contribuintes em acidentes da aviação geral, no período de 1987 a 1997 (Ministério da Aeronáutica, 1998)	8
Tabela 1.3 - Estatísticas de acidentes de trânsito em Santa Catarina (PRF/SC, 1997)	11
Tabela 1.4 - Questionamento sobre recebimento de instrução para segurança (Main et al., 1987)	13
Tabela 2.1 - Exemplos de valores da confiabilidade humana para diferentes tarefas na operação de centrais nucleares (Sanders et al., 1987)	34
Tabela 2.2 - Perigos potenciais que os produtos podem apresentar (Hammer, 1993)	41
Tabela 2.3 - Possibilidades de lesões decorrentes da utilização de produtos (Hammer, 1993)	42
Tabela 3.1 - Quadro comparativo simplificado das metodologias de projeto de produto	71
Tabela 3.2 - Matriz de possíveis situações de aprisionamento (Aken, 1997)...	80
Tabela 4.1 - Níveis de gravidade das conseqüências dos riscos, quando estes materializarem-se em acidentes (Gruhn, 1991)	88
Tabela 4.2 - Níveis de probabilidade dos riscos materializarem-se em acidentes (Gruhn, 1991)	88
Tabela 4.3 - Matriz de criticalidade (Gruhn, 1991)	89
Tabela 4.4 - Subsistemas de um produto e seus perigos inerentes (Hammer, 1993)	104
Tabela 4.5 - Classificação dos acidentes em função de valores obtidos (Khan et al., 1997)	117
Tabela 5.1 – Pontuação para o número de pessoas lesionadas pelo	

acidente	134
Tabela 5.2 - Gravidade das lesões sofridas pelas pessoas	134
Tabela 5.3 - Área destruída pelo acidente	136
Tabela 5.4 - Gravidade da destruição ambiental	136
Tabela 5.5 - Parâmetro monetário	137
Tabela 6.1 - Exemplos de problemas de segurança que um produto pode apresentar	147
Tabela 6.2 - Classificação dos perigos	148
Tabela 6.3 - Exemplos de perigos inerentes que um produto pode apresentar	149
Tabela 6.4 - Exemplos de perigos operacionais que um produto pode apresentar	150
Tabela 6.5 - Exemplos de perigos ambientais que um produto pode apresentar	151
Tabela 6.6 - Exemplos de possíveis lesões decorrentes dos perigos de um produto	152
Tabela 6.7 - Exemplos de possíveis danos ambientais decorrentes dos perigos de um produto	153
Tabela 6.8 - Exemplos de possíveis prejuízos monetários decorrentes dos perigos de um produto	153
Tabela 6.9 - Possibilidade de manifestação dos acidentes decorrentes de um perigo	155
Tabela 6.10 - Pontuação para o número de pessoas lesionadas, caso um acidente se manifeste	156
Tabela 6.11 - Gravidade das possíveis lesões que as pessoas sofrerão, caso um acidente se manifeste	156
Tabela 6.12 - Área exposta ao perigo que pode ser destruída, caso um acidente se manifeste	157
Tabela 6.13 - Gravidade da destruição ambiental que ocorrerá, caso um acidente se manifeste	157
Tabela 6.14 - Relação entre o valor monetário do produto e as possíveis perdas de capital, caso um acidente se manifeste	158

Tabela 6.15 - Exemplo de lista de avaliação de possíveis danos e lesões ...	159
Tabela 6.16 - Exemplo de lista dos perigos de um produto, relacionando-os às normas e diretrizes utilizáveis	164
Tabela 6.17 - Exemplos de necessidades de segurança para a serra do produto	167
Tabela 6.18 - Exemplos de necessidades de segurança para o motor do produto	167
Tabela 6.19 - Exemplos de necessidades de segurança para o subsistema de frenagem do produto	167
Tabela 6.20 - Exemplos de necessidades de segurança para a estrutura do produto	168
Tabela 6.21 - Exemplos de necessidades de segurança para o subsistema de controle do produto	168
Tabela 7.1 - Equipamentos observados [São Bento do Sul – SC, 2000]	172
Tabela 7.2 - Extrato dos relatórios de acidentes [São Bento do Sul – SC, 2000].....	174
Tabela 7.3 - Extrato dos relatórios de acidentes (continuação) [São Bento do Sul – SC, 2000]	175
Tabela 7.4 - Extrato dos relatórios de acidentes (continuação) [São Bento do Sul – SC, 2000]	176
Tabela 7.5 - Extrato dos relatórios de acidentes (continuação) [São Bento do Sul – SC, 2000]	177
Tabela 8.1 - Perigos identificados devido a problemas decorrentes da interação entre ambiente e tupa de mesa	189
Tabela 8.2 - Perigos identificados devido a problemas decorrentes da operação da tupa de mesa	190
Tabela 8.3 - Perigos identificados devido a problemas decorrentes das características da tupa de mesa	191
Tabela 8.4 - Possíveis danos e lesões determinados a partir dos perigos da tupa de mesa	192
Tabela 8.5 - Avaliação dos possíveis danos e lesões	194
Tabela 8.6 - Identificação dos subsistemas ou componentes associados aos	

perigos	196
Tabela 8.7 - Percentuais de importância dos diversos subsistemas ou componentes do produto para a insegurança do produto	198
Tabela 8.8 – Diretrizes e normas aplicáveis aos perigos identificados	202
Tabela 8.9 - Necessidades de segurança para o botão de acionamento da tupa de mesa	203
Tabela 8.10 - Necessidades de segurança para o botão de emergência da tupa de mesa	203
Tabela 8.11 - Necessidades de segurança para a estrutura da tupa de mesa	203
Tabela 8.12 - Necessidades de segurança para a ferramenta de corte da tupa de mesa	204
Tabela 8.13 - Necessidades de segurança para o gabinete da tupa de mesa	204
Tabela 8.14 - Necessidades de segurança para a instalação elétrica da tupa de mesa	204
Tabela 8.15 - Necessidades de segurança para os mancais do eixo da ferramenta de corte da tupa de mesa	205
Tabela 8.16 - Necessidades de segurança para o motor elétrico da tupa de mesa	205
Tabela 8.17 - Necessidades de segurança para o subsistema de aspiração do pó da madeira da tupa de mesa	205
Tabela 8.18 - Necessidades de segurança para a transmissão da tupa de mesa	205
Tabela A.1 - Descrição dos requisitos de projeto para a tupa de mesa	231
Tabela A.2 - Descrição dos requisitos de projeto para a tupa de mesa (continuação)	232
Tabela A.3 - Descrição dos requisitos de projeto para a tupa de mesa (continuação)	233
Tabela A.4 - Descrição dos requisitos de projeto para a tupa de mesa (continuação)	234
Tabela A.5 - Matriz morfológica para a tupa de mesa	237

Tabela A.6 - Matriz morfológica para a tupa de mesa (continuação)	238
Tabela A.7 - Matriz de seleção de conceitos de Pugh	239
Tabela A.8 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção regular altura	239
Tabela A.9 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção regular Altura – reavaliação	240
Tabela A.10 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção suportar componentes	240
Tabela A.11 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção oferecer espaço para os pés	240
Tabela A.12 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção permitir manutenção	241
Tabela A.13 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção apoiar madeira	241
Tabela A.14 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção proteger operador	241
Tabela A.15 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção cortar energia	242
Tabela A.16 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção avisar operador	242
Tabela A.17 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção ligar energia	242
Tabela A.18 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção converter eletricidade em luz	243
Tabela A.19 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção transformar energia	243
Tabela A.20 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção fornecer movimento	243
Tabela A.21 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção regular rotação	244
Tabela A.22 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção fresar madeira	244

Tabela A.23 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção regular altura da fresa	244
Tabela A.24 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção sugar cavacos	245
Tabela A.25 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção coletar cavacos	245
Tabela A.26 - Avaliação dos danos e lesões	250

LISTA DE SÍMBOLOS

A – disponibilidade

AA – área atingida pelo acidente

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AE - área exposta ao perigo

CFA – coeficiente de freqüência de acidentes

CGA – coeficiente de gravidade de acidentes

ELS – situação de provável falha humana

EMR – taxa de modificação da experiência

FMEA – análise dos modos de falha e seus efeitos

FMECA – análise dos modos de falha, seus efeitos e sua criticalidade

FTA – análise da árvore de falhas

GA – gravidade da destruição ambiental

GP – gravidade de lesões sofridas pelas pessoas

IIC – índice de insegurança do produto devido as conseqüências dos acidentes

IIF - índice de insegurança do produto devido a freqüência dos acidentes

INSS – Instituto Nacional de Seguridade Social

IPP – índice de periculosidade do produto

IS – índice de segurança

$\bar{\lambda}$ - taxa de falha média

MRT – tempo médio de reparo

MTBF – tempo médio entre falhas

MTTFF – tempo médio até a primeira falha

NAO - número de acidentes ocorridos

NOB - número de observações realizadas sobre os produtos

NP – número de pessoas atingidas pelo acidente

NPR - número de perigos relacionados

NTHU - número total de horas de utilização de um produto

PA – parâmetro ambiental

PE - pessoas expostas ao perigo

PHA – análise preliminar de riscos

PM – parâmetro monetário

PO - probabilidade de ocorrência de um acidente

PP – parâmetro pessoal

Q – probabilidade de falha

R – confiabilidade

ΣP – somatório de pontos por tipo de lesão ou dano

ΣP_{MAX} - somatório máximo de pontos possíveis

ΣP_{MP} - somatório máximo possível de pontos para um perigo

ΣP_{TOTAL} - somatório total dos pontos obtidos pelas lesões e danos

CAPÍTULO I

1.0 - INTRODUÇÃO

Desde o início da sua existência, o ser humano busca transformar a natureza para melhor atingir seus objetivos ou executar tarefas. Nesta transformação da natureza é que surgem os produtos. Com a revolução industrial, os produtos começaram a ser fabricados em quantidades expressivas, substituindo as antigas produções artesanais.

A partir do século XX, iniciou-se a sistematização da concepção dos produtos, com o surgimento de metodologias de projeto de produtos industriais. Através dessas metodologias, os produtos são concebidos no ambiente industrial. Elas propiciam que o produto cumpra sua função da melhor forma possível. Essa melhor forma possível está associada, sobretudo, à funcionalidade do produto, a custos e a tempo de produção.

Porém, muitos produtos, mesmo os mais eficientes, oferecem perigos aos usuários, expondo-os a riscos. Devido às condições de uso, ou condições ambientais adversas, estes riscos podem vir a resultar em eventos indesejados, como acidentes. Uma vez ocorrido um acidente, o qual pode ocasionar lesões, processos judiciais, danos materiais, entre outros, busca-se no ambiente próximo do produto o culpado pelo acidente. E, normalmente, encontra-se essa culpa no usuário.

O usuário do produto, sendo humano, possui grande variabilidade de movimentos e ações que muitas vezes não são consideradas no projeto dos produtos. Assim, o produto deve ser concebido considerando as limitações humanas e contemplar o uso adequado ou inadequado dele.

1.1- O PROBLEMA DA SEGURANÇA EM PRODUTOS

O homem vive numa sociedade industrializada, rodeado de produtos ou subprodutos da industrialização. Por essa razão, a maioria dos acidentes que ocorrem estão relacionados à industrialização ou, mais especificamente, aos produtos. Além do homem, também estão sujeitos aos acidentes provocados por essa industrialização a fauna, a flora, o ar, as águas, enfim a vida. Neste trabalho, porém, a ênfase será dada a acidentes envolvendo pessoas e produtos industriais.

Para verificar a importância da segurança na utilização de produtos, basta analisar alguns dados estatísticos de acidentes que denotam as conseqüências da falta dela. Os dados que serão apresentados a seguir foram obtidos a partir de estatísticas de acidentes de trabalho, acidentes rodoviários e aeronáuticos, sendo que, para outros tipos de acidentes não há estatísticas acessíveis.

As estatísticas de acidentes do trabalho no Brasil são alarmantes. No Brasil, morreram aproximadamente 50.000 trabalhadores, no período de 1978 a 1988, devido a acidentes do trabalho. Para se ter uma idéia da magnitude deste problema, basta comparar estes números com os da guerra do Vietnã. Naquela guerra morreram 45.000 soldados americanos em 14 anos de conflito (Dela Coleta, 1989). Segundo a Organização Internacional do Trabalho - OIT, em 1991, o Brasil ocupava o 10º lugar no ranking dos países onde mais ocorreram acidentes do trabalho (OIT, 1993).

Em nível nacional, infelizmente, não há estatísticas relacionando os acidente aos produtos. Somente no estado de Santa Catarina, existem dados estatísticos que associam os acidentes aos objetos causadores, conforme relacionados na Tabela 1.1. Através destes dados estatísticos, observa-se que a maioria dos objetos causadores constitui partes de equipamentos ou de matérias-primas. Vale ressaltar, que tanto equipamentos quanto matérias-primas normalmente constituem produtos industrializados.

Tabela 1.1 - Estatística de acidentes do trabalho em Santa Catarina, segundo o objeto causador (INSS/SC, 1997).

Objeto Causador	Número de Acidentes	%
Queda de peso sobre o corpo	437	10,63
Serra	223	5,42
Deslocar peso (erguer, carregar, puxar)	216	5,25
Ferramentas manuais não motorizadas	194	4,72
Perda de equilíbrio, escorregão, traspés sem queda	176	4,28
Aprisionamento (apertado, colhido, esmagado, dentro de ou entre objetos)	174	4,23
Transporte terrestre motorizado (condutor)	174	4,23
Objeto cortante	161	3,92
Outras perdas, choques, impactos não constantes desta relação	158	3,84
Objeto penetrante	118	2,87
Queda do mesmo nível	115	2,8
Corpo estranho ocular	107	2,6
Outras: máquinas e aparelhos não constantes desta relação	104	2,53
Quedas, choques, impactos não especificados ou inconclusivos	95	2,31
Queda com diferença de nível (escada)	87	2,12
Choque contra objetos ou pessoas presentes no ambiente de trabalho	84	2,04
Máquinas de polir, jatear, afiar (esmeril, lixadeira...)	82	1,99
Máquina ou mecanismo para deslocar cargas (guincho, elevador de carga, etc)	72	1,75
Sistema de transmissão (correias, polias, etc.)	66	1,61
Queda com diferença de nível (veículo)	66	1,61
Máquinas e aparelhos não especificados ou inconclusivos	64	1,56
Inconclusivo	62	1,51
Transporte terrestre não motorizado (condutor)	58	1,41
Máquinas de corte (guilhotina, fatiador, etc)	55	1,34
Objeto projetado sobre o corpo	51	1,24
OUTROS	912	22,19
TOTAL GERAL	4111	100

A partir da observação dos relatórios que geraram essas estatísticas, pode-se formular alguns comentários. A segunda maior causa de acidentes, apontada na Tabela 1.1, é a utilização de serras. As serras, apontadas aqui, constituem um grupo formado por serras elétricas para madeira, para metais e discos de corte para pisos cerâmicos. Essas serras são utilizadas nas

indústrias madeireiras e moveleiras, na indústria mecânica e na construção civil, respectivamente. Os acidentes com serras ocorrem, principalmente, devido à falta de alternativas seguras de projeto para o corte de madeiras, metais ou pisos, e/ou devido à falta de proteção adequada para o operador. Esses acidentes provocam lesões nos dedos e nas mãos, tais como cortes e mutilações. Esse fato se repete para outras máquinas de corte, também citadas na Tabela.

No caso de acidentes com sistemas de transmissão, o que se observa é o esmagamento de partes do corpo do operador, que ocorre devido à falta de proteção adequada para as engrenagens, polias ou outros componentes dos sistemas de transmissão. Devido à falta de proteção adequada para estes sistemas de transmissão, os operadores podem acessá-los quando estão em funcionamento, possibilitando a ocorrência de acidentes.

Devido ao projeto inadequado, alguns equipamentos lançam fragmentos contra os olhos dos operadores. Este objeto causador de acidentes, descrito como fragmentos nos olhos, consiste, na maioria das vezes, em subprodutos de operação de um equipamento. Como exemplo desses equipamentos pode-se citar: esmeris, lixadeiras e serras. Pode-se associar a este objeto causador, projeto inadequado do equipamento e a falta de equipamentos de proteção individual. No caso do projeto dos equipamentos, isso é resolvido com a utilização de barreiras para os fragmentos.

As máquinas de polir, jatear e afiar causam acidentes de trabalho, nos quais a lesão mais comum é a laceração do corpo do operador, decorrente do contato entre o rebolo ou o objeto abrasivo e o operador. Isso ocorre, principalmente, devido a não utilização de proteção pelo operador e pela falta de proteção adequada nas máquinas.

Nota-se nas estatísticas de acidentes do trabalho, relacionadas a objetos causadores, que parte destes objetos causadores estão associados ao projeto deficiente ou inadequado de equipamentos. As estatísticas evidenciam que muitos acidentes têm sua ocorrência facilitada devido às decisões tomadas pelos projetistas quando do projeto do equipamento, tais como a escolha dos princípios de funcionamento dos equipamentos e de proteções para partes

perigosas. Isso demonstra que o equipamento, que é um produto, expõe o usuário a possibilidade de acidentes devido ao projeto deficiente. Em alguns produtos ou equipamentos, como nos citados anteriormente, a utilização de proteções é suficiente para evitar acidentes. Porém, em outros produtos as interações entre o produto e seu usuário são mais complexas e perigosas, exigindo maiores cuidados do projetista durante o projeto. Entre esses cuidados pode-se citar: a consideração das reais habilidades do usuário pelo projetista, a distribuição correta de tarefas entre produto e usuário e outras questões ergonômicas. Os dados e exemplos de acidentes, que serão apresentados a seguir, estão mais relacionados às interações entre produto e usuário, demonstrando quão complexas e perigosas podem ser essas interações.

Alguns acidentes aparentemente causados pelo mau uso de produtos, quando devidamente investigados, podem apontar para causas relacionadas às características deles. Reforça esta afirmação o acidente ocorrido no dia 25 de novembro de 1990 num hotel de Santos/SP, enquanto uma empregada do hotel retirava roupas já lavadas de uma lavadora de roupas industrial. Num dado momento a lavadora foi acionada e a roupa aprisionou o membro superior esquerdo da empregada, causando-lhe as seguintes lesões: amputação do membro superior esquerdo na altura do ombro, fratura do antebraço direito e múltiplas escoriações pelo corpo. As causas do acionamento não foram determinadas, podendo ser inclusive devido ao mau uso do equipamento, porém o fator determinante para a ocorrência do acidente foi a falta de dispositivo que impeça o funcionamento quando a porta é aberta (Fundacentro, 1991).

Segundo a Fundacentro, na região de Criciúma, a introdução da mecanização na mineração subterrânea de carvão aumentou os riscos de acidentes. Nas minas que utilizam processos manuais de extração 10% dos trabalhadores haviam se acidentado no período de um ano, enquanto nas minas de extração mecanizada o índice chega a 21,5%. A necessidade de maior espaço para acomodar os equipamentos aumentou o número de acidentes devido a queda do teto ou das paredes laterais das galerias. Além do

risco de acidente, aumentaram também o nível de pressão sonora, a taxa de liberação de gás metano e a concentração de poeira de carvão no ar, sendo esses fatores os possíveis causadores de surdez, explosões e pneumoconioses, respectivamente (ABPA, 1998).

Na indústria da construção civil, o uso de elevadores de carga tem sido mencionado como responsável por grande parte dos acidentes fatais. Entre os principais fatores mencionados cita-se: a falta de qualificação dos operários, o não uso de dispositivos de segurança, a falta de manutenção preventiva, a montagem incorreta da torre, o transporte simultâneo de pessoas e cargas, o excesso de carga, cabos de aço em condições precárias e uso de arames na amarração das torres. Um dos mais freqüentes tipos de acidentes fatais ocorre devido à falta de dispositivos que informem a localização do elevador, fazendo com que os operários introduzam a cabeça dentro da torre para saber se o elevador está chegando (ABPA, 1999).

No ano de 1984, na região sisaleira da Bahia, havia cerca de 300 trabalhadores mutilados devido ao uso da máquina desfibradora do sisal. As mutilações ocorrem quando as mãos ou os braços dos operadores entram pela área de alimentação, sendo esmagados pelas engrenagens. Isto ocorre principalmente com as máquinas de pequeno porte, que processam entre 150 e 300 kg por dia e que têm apenas uma entrada para o sisal, que é também o local por onde a planta é retirada, após passar pelo rolo de descorticagem. As vezes, quando a planta está sendo retirada, as fibras prendem no rolo, puxando a mão do operador, mutilando-o. Na região sisaleira da Paraíba, as máquinas lá utilizadas possuem uma entrada e uma saída independentes, processando o sisal sem risco de mutilações (Fundacentro, 1990). Nesse caso, constata-se um fato importante: a utilização de outros conceitos para o produto, diminuem consideravelmente o risco de acidentes.

Uma fonte importante de dados sobre acidentes são as estatísticas de acidentes aeronáuticos do Ministério da Aeronáutica (Ministério da Aeronáutica, 1998). Essas estatísticas apontam os principais fatores contribuintes nos acidentes aeronáuticos da aviação geral ocorridos entre 1987 e 1997 no Brasil

(Figura 1.1). Na Figura 1.1, observa-se que o somatório dos fatores contribuintes nos acidentes aeronáuticos é maior do que 100%. Isso se justifica devido ao fato da ocorrência concomitante de vários fatores durante os acidentes. As principais categorias de fatores contribuintes apontadas são:

- Fator Operacional: desempenho do homem nas atividades relacionadas ao voo. Ex.: respeito aos procedimentos de voo, conhecimento da aeronave pela tripulação;
- Fator Humano: aspectos fisiológicos e psicológicos do tripulante. Ex.: fadiga, sono, doenças;
- Fator Material: a aeronave nos aspectos de projeto, fabricação e manuseio do material. Ex.: fadiga dos materiais da aeronave, projeto deficiente, erros de fabricação e montagem da aeronave.

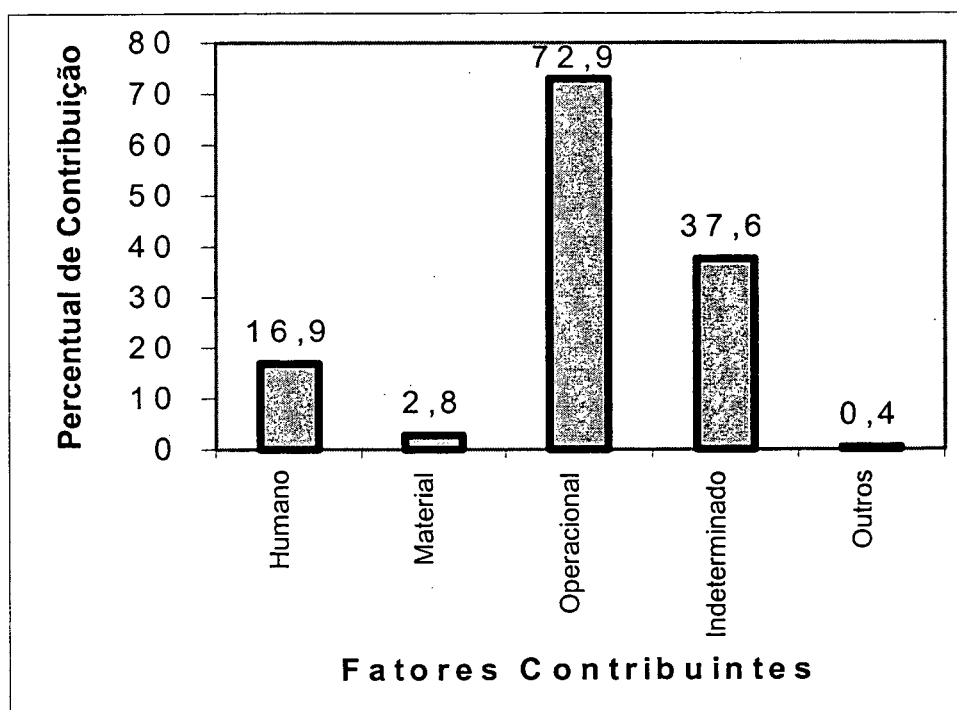


Figura 1.1 - Fatores contribuintes de acidentes da aviação geral, no período de 1987 a 1997 (Ministério da Aeronáutica, 1998).

Observando a Figura 1.1, percebe-se uma grande influência dos fatores operacionais nas causas dos acidentes. Na Tabela 1.2 observa-se os percentuais de ocorrência dos diversos tipos de fatores operacionais.

Tabela 1.2 - Percentual dos diversos tipos de fatores operacionais contribuintes em acidentes da aviação geral, no período de 1987 a 1997 (Ministério da Aeronáutica, 1998).

Descrição do Fator Operacional	Percentual de Ocorrência
Defeito na aplicação de comando	20,8%
Imprudência do tripulante	21,4%
Defeito de supervisão	32,3%
Defeito de planejamento	37,1%
Defeito de julgamento	45,1%

Para melhor compreender a participação de fatores operacionais em um acidente, convém analisar um acidente aeronáutico, como o que ocorreu no dia 31 de outubro de 1996 com a aeronave de matrícula PT-MRK de propriedade da TAM, no qual faleceram oitenta e nove passageiros, seis tripulantes e quatro pessoas que se encontravam no local da queda.

Durante a decolagem, logo após sair do solo, a tripulação foi surpreendida por um fato anormal: o recuo do manete de aceleração do motor direito. Na tentativa de corrigir a anormalidade, a tripulação tentou restabelecer a velocidade no referido motor, reposicionando o manete. A partir do reposicionamento do manete, ocorreu uma seqüência de erros. O fato anormal que refletiu no recuo do manete era, na verdade, o acionamento do reversor do motor direito (um dispositivo utilizado para frear a aeronave durante o pouso), que se fechou e abriu aleatoriamente várias vezes, devido a um problema elétrico. Este defeito jamais foi informado pela instrumentação da aeronave, pois o sistema de indicação do reversor é inibido quando a velocidade está acima de 148 km/h e a aeronave está abaixo de 304 metros de altura, situação em que a aeronave se encontrava e, curiosamente, esta é a situação na qual essa informação é mais necessária. Por isso, não houve avisos sonoros ou luminosos, fazendo com que a tripulação interpretasse erroneamente o problema (Penteado, 1998). Essa interpretação errônea pode ser considerada um tipo de fator operacional, o defeito de julgamento.

Num dado momento, devido ao recuo do manete do motor direito, também houve o recuo do manete do motor esquerdo, desacelerando a aeronave. Os tripulantes tomaram a iniciativa de reposicionar o manete para acelerar novamente a aeronave, o que é um procedimento errado, pois durante a decolagem qualquer ação corretiva abaixo da altura de 122 metros não é recomendável. A atitude correta seria recolher o trem de pouso e acionar o piloto automático. A atitude de reposicionamento do manete resultou no rompimento do cabo do manete. A aeronave derivou à direita, vindo a colidir com edificações, projetando-se ao solo e incendiando-se em seguida, sofrendo perda total.

Foram apontados como fatores contribuintes do acidente (Penteado, 1998):

- a pouca experiência do co-piloto neste tipo de aeronave, somente 230 horas de vôo (fator operacional). O piloto, porém, tinha 2.392 horas de vôo neste tipo de aeronave;
- a falta de informação, instruções e prática para o reconhecimento da anormalidade;
- o procedimento errôneo da tripulação (fator operacional). O treinamento, em simulador de vôo, do procedimento para corrigir o acionamento do reversor na decolagem foi abandonado pela empresa operadora, em virtude de carta do fabricante datada de 28 de junho de 1995. Nesta carta, o fabricante considera este treinamento desnecessário, devido a pequena probabilidade de ocorrência do referido problema;
- a falta de avisos discriminadores da falha;
- a falsa interpretação do problema por parte da tripulação e o julgamento deficiente da tripulação (fator operacional);
- o acionamento do reversor ocorreu como conseqüência de uma falha num relê, devido a fusão dos contatos, impedindo o travamento do reversor para o vôo. Segundo o diagrama do modo de falha feito para esse sistema, com aeronaves semelhantes, a probabilidade de acionamento dos reversores é da ordem de 10^{-6} , o que não satisfaz os requisitos de aeronavegabilidade. Em testes posteriores ao acidente, com aeronaves semelhantes, os

travadores do reversor apresentaram desempenho inferior ao mínimo aceitável para garantir a segurança e a confiabilidade do sistema;

- a não existência de condição de visualização do problema durante a inspeção externa da aeronave, no solo.

Alguns fatores operacionais apontados como contribuintes para a queda da aeronave podem ser refutados com facilidade, como o procedimento errôneo da tripulação e a falta de experiência da tripulação, visto que o piloto era experiente. O procedimento da tripulação não pode ser considerado errôneo, pois desconhecia o que estava ocorrendo por falta de informação. Além disso, aponta-se como erro da tripulação o reposicionamento do manete, pois qualquer ação corretiva na decolagem é não recomendável. Ser não recomendável não significa ser proibida. Neste caso, os fatores operacionais são, na verdade, consequência do projeto deficiente da aeronave. O projeto deficiente possibilitou, num primeiro momento, que a falha de um único componente colocasse em risco a segurança do voo. Num segundo momento, possibilitou que os fatos observados pela tripulação induzissem-na ao erro.

Após o acidente, o projeto da aeronave foi apontado como deficiente, pois um sistema que possui a função de permitir o pouso seguro, possibilitando a frenagem da aeronave na pista, foi acionado por um problema elétrico provocando a queda da aeronave, sem qualquer sinal ou informação específica da ocorrência do problema para a tripulação.

Outra fonte estatística importante é o relatório de acidentes da Polícia Rodoviária Federal de Santa Catarina - PRF/SC (PRF/SC, 1997). Estes relatórios apontam causas únicas para os acidentes e apresentam estatísticas de acidentes de trânsito em que apenas uma pequena parcela dos acidentes é atribuída a defeitos mecânicos do produto automóvel (ver Tabela 1.3). Por conseguinte, uma grande parcela dos acidentes é atribuída ao usuário do automóvel. Vale lembrar que, quando se projeta um produto, deve-se distribuir entre usuário e produto as tarefas ou funções que cada um deverá executar. O usuário, por suas limitações humanas e sob determinadas condições não consegue executar as funções a ele atribuídas, como por exemplo: manter

distância e respeitar a velocidade durante a condução do veículo. Quando as limitações humanas não forem consideradas satisfatoriamente no projeto de um produto, tem-se um projeto deficiente.

O Brasil tem um prejuízo anual de aproximadamente US\$ 4,5 bilhões com acidentes de trânsito, o que representa, aproximadamente, 1% do PIB (Mariano, 1995). Por exemplo: extrapolando-se as proporções das estatísticas de Santa Catarina para nível nacional, tem-se um prejuízo anual de US\$ 1,95 bilhões somente com a execução insatisfatória das funções pelo usuário, como manter a distância e respeitar a velocidade durante a condução do veículo. Pior que a perda financeira é a perda de vidas humanas. O trânsito no Brasil mata, anualmente, aproximadamente 25 mil pessoas. Somente na cidade de São Paulo, morrem anualmente 900 pessoas, vítimas de acidentes de trânsito. Somam-se à perda de vidas humanas, os custos indiretos com indenizações, custas judiciais, atrasos de entregas de mercadorias, viagens perdidas, incapacidades para o trabalho. (Mariano, 1995).

Tabela 1.3 – Estatísticas de acidentes de trânsito em Santa Catarina (PRF/SC, 1997).

Causas Prováveis	Número de Acidentes	%
Não manter distância	2135	29,35
Desrespeito à preferencial	1950	26,81
Excesso de velocidade	1022	14,05
Ultrapassagem forçada	688	9,46
Imprudência pedestre/ciclista	416	5,72
Dormir no volante	405	5,57
Defeito mecânico	127	1,74
Animal solto na pista	87	1,19
Dirigir embriagado	14	0,19
Defeito na pista	5	0,07
Outros	439	6,03
TOTAL	7274	100

Para exemplificar como um projeto deficiente pode provocar vítimas fatais, vale recordar um acidente de automóvel que foi manchete nos principais jornais do país em 19 de abril de 1994. Um automóvel Mitsubishi Eclipse CL

conduzido por Oto Gomes Miranda vitimou fatalmente o acompanhante Dener Augusto de Sousa. O acidente se deu por impacto contra uma árvore, no qual o veículo desacelerou de 64 km/h até 0 km/h em apenas 90 cm de curso, gastando para isso 0,1 segundo (Florenzo et al., 1994).

Neste acidente, verificou-se um problema envolvendo um dispositivo de segurança: o cinto de segurança. Criado para diminuir lesões corporais aos ocupantes de automóveis, a sua má utilização foi a causa da fatalidade de Dener. O automóvel em questão era dotado de dois tipos de cinto de segurança para ocupantes dianteiros: os cintos pélvicos e os diagonais. Nesse caso, os ocupantes do automóvel não utilizavam os cintos pélvicos, apenas os diagonais. Por isso, estiveram sujeitos ao efeito pêndulo, comum quando se utiliza este tipo de cinto de segurança (Florenzo et al., 1994). No momento do impacto, o corpo é lançado para frente pela força de inércia. A parte inferior do corpo, estando livre, faz o corpo escorregar violentamente para frente, ficando o usuário do cinto preso a ele. Isso pode provocar lesões na região peitoral e na porção anterior do pescoço.

A morte de Dener, por lesões na altura do pescoço, ocorreu devido a três fatores principais: a falta do cinto pélvico, a posição do assento inadequada (assento reclinado) e o efeito pêndulo (Florenzo et al., 1994). Isto demonstra que, mesmo um dispositivo de segurança, quando mal utilizado pode levar à fatalidade. Ora, se uma possível forma de utilização de um dispositivo é perigosa, o projeto deve suprimir a possibilidade desta utilização perigosa.

Muitos produtos não oferecem segurança aos usuários, talvez porque a maioria dos engenheiros recebe pouco ou nenhum treinamento formal em projeto para segurança. Para Philo (Philo, 1989), isso ocorre porque professores de engenharia conhecem pouco sobre engenharia de segurança e ensinam menos ainda.

Numa pesquisa sobre segurança realizada por Main & Ward (Main et al., 1992) em 1992, os engenheiros entrevistados responderam que os fatores tempo e custos são os que recebem maior ênfase, em detrimento de um bom

projeto. Nessa pesquisa, Main & Ward (Main et al., 1992) entrevistaram quatro classes de engenheiros nos E.U.A., escolhidos aleatoriamente:

- membros da divisão de projeto da American Society of Mechanical Engineering;
- engenheiros atuantes, conhecidos dos autores, que trabalham em diversos pontos dos EUA;
- engenheiros do Departamento de Mecânica Aplicada e Engenharia Mecânica da Universidade de Michigan;
- estudantes das classes do último ano e de graduação em Projetos da Universidade de Michigan.

Esta pesquisa inclui o questionamento sobre recebimento de instrução e treinamento para segurança e importância da segurança nos produtos (ver Tabela 1.4).

Tabela 1.4 - Questionamento sobre recebimento de instrução para segurança (Main et al., 1992).

Treinamento para Segurança através de Estudos próprios				
Realização de instrução específica ou estudos próprios para segurança				
	Engenheiros ASME	Engenheiros Atuantes	Engenheiros da Univ. de Michigan	Estudantes da Univ. de Michigan
Número de respostas	264	88	18	46
Percentuais de NÃO	53	58	61	70
Percentuais de SIM	47	42	39	30

Observa-se na Tabela 1.4 que a maioria dos entrevistados não recebeu instrução específica nem realizou estudos próprios concernentes ao projeto de produtos seguros. Outro fato constatado pela pesquisa (Main et al., 1992), é que peritos em segurança têm muitas técnicas para analisar e sugerir medidas corretivas de segurança ao projeto do produto mas, normalmente, não desenvolvem projetos. Os engenheiros projetistas responsáveis pelo desenvolvimento de projetos têm falta de ferramentas e de teorias de

segurança. Isto se agrava, principalmente, nas pequenas empresas, onde o projetista praticamente executa sozinho os projetos.

Main & Ward (Main et al., 1992) relatam a inadequação do ensino de segurança em projetos. Segundo os autores, aproximadamente 90% dos entrevistados responderam que não realizaram nenhum curso de segurança na faculdade. Soma-se a isto, o fato que 70% dos engenheiros da Universidade de Michigan não acompanham literaturas sobre segurança. Conclui-se, então, que a maioria dos engenheiros recebe pouco ou nenhum treinamento formal sobre segurança. Isso implica que em muitos projetos de produtos a segurança não recebe a devida atenção.

Visando possibilitar o desenvolvimento do trabalho, serão consideradas as seguintes hipóteses:

1. os perigos ou características perigosas presentes nos produtos causam ou possibilitam a ocorrência de acidentes;
2. os perigos ou características perigosas dos produtos são inseridas neles quando da escolha dos princípios de solução, durante as fases iniciais do projeto. Isso ocorre porque os perigos ou características perigosas dos produtos são inerentes a determinados princípios de solução;
3. usuários ou operadores não são responsáveis pela ocorrência de acidentes com produtos. Então, quando acidentes ocorrerem devido a atitudes de usuários e operadores é porque os projetistas não consideraram, no projeto, o respeito às capacidades e limitações humanas.

1.2 - Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é melhorar a segurança dos produtos.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- apresentar um procedimento de mensuração da segurança dos produtos, que ofereça ao projetista uma referência sobre a segurança dos mesmos. A mensuração da segurança dos produtos é auxiliada pelo relato de acidentes, que registra informações importantes, tais como: a descrição do produto envolvido, a descrição das condições, eventos e os

danos ocorridos. A partir destes dados, o projetista poderá conduzir o projeto e o reprojeto de determinados produtos, verificando quais formas construtivas, princípios de solução, componentes ou subcomponentes estão mais associados aos acidentes com produtos. Essa mensuração deve orientar o projetista, possibilitando comparar produtos de mesmo domínio, porém de concepções e características diferentes, visando identificar quais concepções ou características são mais seguras e quais são mais inseguras;

- apresentar um método para determinação das necessidades de segurança do consumidor para o desenvolvimento do produto que possa ser utilizado de durante o processo de projeto. Esse método deverá possibilitar a identificação dos perigos presentes nos produtos semelhantes e das possíveis lesões que eles podem provocar, visando gerar a partir desta informação conhecimento sobre como evitar que os perigos se materializem em acidentes ou sobre como reduzir as conseqüências destes acidentes. A partir da determinação das necessidades de segurança, pode-se estabelecer corretamente os requisitos de segurança que propiciarão que decisões corretas sejam tomadas, em todas as fases do processo de projeto, em que seja necessária a tomada de decisões pelo projetista, como na alocação de funções, na escolha da melhor alternativa de solução ou na determinação da forma física do produto.

A mensuração da segurança e o método para determinação das necessidades de segurança serão genéricos, aplicáveis sobretudo, no desenvolvimento de produtos mecânicos, visando a melhoria da segurança deles. Quando houver necessidade de aplicações em projetos de outros tipos de produtos industriais, tornar-se-á necessário que o projetista adapte o procedimento de mensuração e o método para determinação das necessidades de segurança ao seu caso específico, para melhores resultados.

1.3 - Justificativa

A justificativa para este trabalho se fundamenta na necessidade de tornar os produtos mais seguros. As deficiências dos produtos aliadas ao despreparo dos usuários continuam a causar um grande número de acidentes com produtos, sejam eles eletrodomésticos, máquinas industriais, automóveis ou ferramentas.

Nos dias atuais, considerando as leis que responsabilizam os fabricantes por problemas causados por seus produtos, é inadmissível que os projetistas continuem a conceber produtos baseando-se apenas em metodologias que são enfáticas na funcionalidade do produto, sem considerar sua segurança. A segurança, por estas metodologias, integra os requisitos do produto que, se esquecida pelos projetistas, não será contemplada no desenvolvimento do produto.

Apesar de existirem inúmeras técnicas de projeto para segurança, os acidentes ainda ocorrem, muitas vezes com extrema gravidade, pois ainda existem pontos obscuros no projeto para segurança, que não são contemplados pelas técnicas. Soma-se a isso o fato de que pouco se utiliza as técnicas de projeto para segurança, devido ao desconhecimento delas, por parte da maioria dos projetistas. O clarear desses pontos obscuros passa necessariamente pela compreensão do conceito correto de segurança, por parte dos projetistas, e todas as conseqüências dessa compreensão. Observa-se, ainda, que existe uma certa confusão ou indefinição para os projetistas em relação aos significados de segurança e de confiabilidade. Estes são conceitos diferentes que por vezes e, de forma inexplicada, são usados com o mesmo significado. Algumas técnicas conhecidas de segurança estão mais propensas a serem técnicas de incremento de confiabilidade, pois trabalham sobre medidas de confiabilidade, como a taxa de falha. Torna-se necessário que cada um dos conceitos tenha identidade própria, clara e definida. Somente assim, ter-se-á técnicas de segurança que realmente garantam a produção de produtos seguros.

A melhor justificativa para este trabalho é a observação das estatísticas e relatórios de acidentes com produtos. Estes demonstram claramente como os produtos são perigosos ou apresentam características perigosas com potencial de gerar acidentes. Vale citar as estatísticas de acidentes de trânsito e de trabalho. Os acidentes de trabalho que provocam mortes, normalmente, estão relacionados à utilização de produtos, possuem a dimensão de estatísticas de guerras e, no Brasil, representam algo em torno de 5 mil mortes por ano. Já as estatísticas de acidentes de trânsito são mais assustadoras, pois no trânsito morrem 25.mil pessoas por ano, o que gera um prejuízo de aproximadamente 1% do PIB.

1.4 - Conteúdo dos Capítulos

Os capítulos desta tese apresentarão diversos tópicos relacionados à segurança de produtos.

Neste capítulo, apresentou-se o problema da segurança em produtos com estatísticas e relatos de acidentes. A apresentação das estatísticas de acidentes visa demonstrar que a ocorrência de acidentes não é desprezável para a sociedade humana, ocorrendo em diversos setores da sociedade, sendo inclusive considerada por alguns como alarmante. Alguns tipos de acidentes, como os que ocorrem em consequência de atividades profissionais, matam mais do que algumas guerras.

As vezes, dá-se um maior enfoque a determinados casos de acidentes na tentativa de encontrar os fatores que mais causam acidentes. É possível verificar que, normalmente, esses fatores estão associados ao projeto deficiente dos produtos. Isso ocorre porque, segundo pesquisa apresentada neste capítulo, se conhece pouco sobre como melhorar a segurança dos produtos.

O Capítulo 2 apresenta diversos enfoques sobre as teorias de acidentes, confiabilidade humana e características perigosas dos produtos. A abordagem das diversas teorias de acidentes visa apresentar como estas se modificaram

com o tempo, em função das idéias vigentes em cada época. Algumas delas, entretanto, não explicam satisfatoriamente as causas dos acidentes. Então, buscou-se na análise de problemas técnicos a compreensão relativa à ocorrência de acidentes. Encontrou-se vários fatores associados aos acidentes, entre os quais o erro humano e o projeto deficiente. Destes, o projeto deficiente é apontado por vários autores como o maior propiciador de acidentes com produtos, pois confere características perigosas aos produtos e, além disso, pode induzir o operador a erros. Então, procurou-se verificar como os produtos são desenvolvidos através das metodologias de projeto.

Apresentam-se também, alguns conceitos relacionados aos acidentes e à segurança, buscando a compreensão de seus significados. Isso torna-se indispensável para a continuidade deste trabalho, visto que existem algumas divergências sobre eles. Dentre os conceitos relativos à segurança, apresenta-se vários significados para a segurança, buscando compreender o que ela significa para o ser humano. Então, a segurança é abordada em relação ao significado psicológico, temporal, etimológico, entre outros. A partir da compreensão do que representa a segurança para o ser humano, formula-se um conceito de segurança aplicável para os produtos. Ao final do Capítulo 2, baseando-se unicamente nos conceitos abordados, formula-se um fluxograma para a ocorrência de acidentes. Nesse fluxograma, diversos elementos são interligados para formar a seqüência necessária para a ocorrência dos acidentes.

No Capítulo 3, o projeto dos produtos é abordado visando demonstrar como os produtos são desenvolvidos em ambiente industrial. São demonstradas, de forma simplificada, as metodologias de projeto concebidas por diversos autores. Ao final do Capítulo 3, esboça-se um comparativo entre elas, evidenciando suas semelhanças distribuídas em fases ou etapas principais. Durante o projeto do produto, é necessário abordar um grande universo de aspectos, tais como manufatura, confiabilidade, manutenibilidade, segurança e reciclagem. Como conseqüência, os projetistas costumam fazer uso de ferramentas ou técnicas para incorporar determinado aspecto ao projeto. Desta forma, surgiram as ferramentas e técnicas de segurança.

No Capítulo 4, inicialmente, algumas ferramentas de segurança são apresentadas, das mais simples e usuais até algumas de maior complexidade. Posteriormente, apresentam-se as técnicas de análise de segurança. Estas, visam fornecer informações aos projetistas, a partir da análise dos produtos, que possibilitam a melhoria da segurança dos produtos. Porém, antes de introduzir-se o assunto, apresenta-se uma classificação das técnicas de análise de segurança, que possibilite a identificação das estruturas das diversas técnicas. Ao final do Capítulo 4, faz-se alguns comentários sobre as técnicas abordadas, visando verificar a adequação em relação à possibilidade da melhoria da segurança dos produtos.

A partir da definição do conceito de segurança para os produtos, busca-se, no Capítulo 5, determinar uma forma de mensuração da segurança dos produtos. Para isso, estuda-se e discute-se a aplicabilidade de várias formas de medição utilizadas para a segurança. Após isso, define-se como mensurar segurança. A mensuração da segurança envolve a observação de danos e lesões causados por acidentes e a frequência dos acidentes, a partir dos quais obtém-se um valor numérico capaz de possibilitar a avaliação da segurança dos produtos, assim como o seu acompanhamento sistemático.

No Capítulo 6 apresenta-se um método para determinação das necessidades de segurança do consumidor para o desenvolvimento de produtos, que deve ser utilizado durante a fase de planejamento do produto ou de projeto informacional, quando do projeto de produtos. Ao final da execução deste método, espera-se obter as necessidades de segurança dos consumidores em relação ao produto, que possibilita determinar os requisitos que irão incrementar a segurança do produto que esta sendo projetado.

Faz-se, no Capítulo 7, relatos de observações aplicando-se a técnica de mensuração da segurança dos produtos. Esta aplicação se realizou em empresas moveleiras do Estado de Santa Catarina e envolveu 5 tipos distintos de equipamentos para fabricação de móveis, em relação aos quais diversos acidentes foram registrados.

O Capítulo 8 apresenta uma aplicação do método para determinação das necessidades de segurança dos consumidores em relação às tupidias de

mesa, similares as utilizadas nas indústrias moveleiras do Estado de Santa Catarina.

Finalmente, conclui-se o trabalho, no Capítulo 9 apontando as vantagens e desvantagens da aplicação da mensuração da segurança e do método para determinação das necessidades de segurança para o projeto de produtos. Aponta-se também, as perspectivas futuras para novos desenvolvimentos.

CAPÍTULO II

2.0 - POSSÍVEIS CAUSAS E TEORIAS DE ACIDENTES

A finalidade deste capítulo é realizar um estudo sobre as principais causas de acidentes mencionadas na bibliografia correlacionada, visando identificar os elementos relacionados a ocorrência de acidentes. Uma vez identificados estes elementos, busca-se compreender como estes se relacionam e contribuem para que acidentes ocorram. Para compreensão do acidente e de seus elementos foram formuladas diversas teorias, que também são estudadas.

Neste capítulo, faz-se o estudo das teorias mono e multicausais de acidentes, do erro humano e das características perigosas dos produtos. Além deste estudo, analisa-se e define-se os elementos relacionados à ocorrência de acidentes, tais como perigo, risco e dano. Define-se, ainda neste capítulo, o significado de segurança e estabelece-se as diferenças entre segurança e confiabilidade.

2.1 - Teorias Mono e Multicausais de Acidentes

A palavra acidente está ligada à idéia de acaso ou imprevisto. Nas primeiras discussões sobre acidentes de trabalho, estes foram associados a “casualidade” ou “fatalidade”, sendo considerados consequência natural e irremediável das atividades humanas. Dessa concepção se originou o conceito de “risco profissional”. Esse conceito criou as ações de caráter reparatório ou compensatório, visando limitar a gravidade dos acidentes e suas consequências, em vez de eliminá-los. A limitação das consequências dos acidentes se resume, muitas vezes, em proporcionar atendimento médico aos acidentados. Essa visão tem forte influência na política oficial e legislações

específicas sobre acidentes de trabalho. A visão fatalista sobre acidentes de trabalho é estéril em si mesma, pois ignora a gênese do acidente de trabalho, negando qualquer formulação científica e concreta sobre ele (Lima, 1985).

As teorias monocausais procuram reconhecer uma causa única e fundamental para a ocorrência do acidente, a qual está presente no indivíduo ou no meio que o cerca. Existem três abordagens tradicionais para as teorias monocausais: culpabilidade, pré-disposição aos acidentes e acidentabilidade (Lima, 1985).

Na abordagem da culpabilidade, os acidentes são explicados como resultado de uma falta (culpa, negligência, imprudência ou imperícia) dos indivíduos (trabalhador, empregador ou fabricante do equipamento) na execução de suas funções. Essa abordagem é utilizada judicialmente sob a idéia de responsabilidade profissional. Essa visão tende a considerar os acidentes como fatos isolados, decorrentes de atitudes ou ações incorretas dos indivíduos em relação a um padrão estabelecido. Porém, a ocorrência de acidentes sem a ocorrência de ações incorretas anula esta abordagem (Vidal, 1983), como por exemplo, a falha de um componente de um equipamento que resulta em um acidente.

Utilizando-se da psicologia, alguns pesquisadores procuraram explicar a ocorrência de acidentes através da existência de características próprias de alguns indivíduos (suscetibilidade individual aos acidentes). Esta abordagem explica por que a maioria dos acidentes ocorre com uma pequena parcela de acidentados, os poliacidentados (Schutzinger, 1954). A abordagem da pré-disposição a acidentes é refutável por sua inconsistência metodológica e pela impossibilidade de explicar grande parte dos acidentes, pois o grupo dos poliacidentados modifica-se continuamente, com a entrada e saída constante de membros, sem uma explicação razoável.

A abordagem da acidentabilidade propõe o termo "acidentabilidade" para indicar a tendência individual a sofrer acidentes. Esta abordagem se deu sob a influência da administração científica, mais especificamente, sob influência conjunta do taylorismo e do behaviorismo (Vidal, 1983). Para o taylorismo, o projeto do trabalho é realizado sobre características humanas, determinadas a

partir dos estudos de tempos e movimentos, sem considerar o executor efetivo da tarefa. O behaviorismo considera que o indivíduo possui uma estrutura comportamental determinável e controlável por fatores externos. Segundo esta abordagem da acidentabilidade, os acidentes ocorrem devido ao fato das características individuais não estarem de acordo com o perfil exigido para o posto de trabalho ocupado, considerando o acidente uma relação direta entre o perfil do trabalhador e a tarefa que ele realiza. Essa abordagem se diferencia da abordagem da pré-disposição aos acidentes que considera que alguns indivíduos possuem maior propensão a acidentes que outros, em quaisquer circunstâncias, sendo a existência de poliacidentados a prova desta afirmação. Procurou-se, então, relacionar aos acidentes e aos poliacidentados variáveis como: inteligência, personalidade, tendências individuais auto-punitivas, traços paranóicos, dados anátomo-fisiológicos, dados biográficos, fatores étnicos, sociológicos e sociais.

A refutação da abordagem da acidentabilidade é que mesmo trabalhadores qualificados e experientes estão sujeitos a acidentes e o grupo de acidentados não tem membros vitalícios, pois alguns entram e outros saem em fluxo contínuo (Iida, 1991).

As teorias multicausais se consolidaram na década de 60, devido às teorias monocausais serem inconsistentes na explicação dos acidentes. As teorias multicausais, de forma geral, apresentam a coexistência de várias causas na ocorrência de acidentes, que podem ser "diretas" ou "indiretas" (Macmahon et al., 1975). As causas, por sua vez, formam uma cadeia de eventos que culmina na ocorrência do acidente. As teorias de Heinrich (Heinrich, 1959), a tríade ecológica (Leavell, 1976) e a teoria dos portadores de perigos (citada em Sell, 1990) são exemplos de teorias multicausais.

A análise dos fatores técnicos e dos fatores humanos, desenvolvida por Heinrich (Heinrich, 1959), sintetiza algumas concepções anteriores. Nessa concepção, traços negativos da personalidade, adquiridos por influências hereditárias do meio familiar e do social, levam o homem a cometer falhas. A partir destas falhas, resultarão as causas dos acidentes (condições inseguras e atos inseguros). Essas causas deverão ser eliminadas para se evitar os

acidentes (Ribeiro, 1974). Porém, devido a impossibilidade de modificar os traços negativos da personalidade de todos os trabalhadores para eliminar os atos inseguros, esta concepção tem uma baixa eficiência (Lima, 1985).

Devido ao interesse de encontrar um responsável pelo acidente, normalmente, dá-se maior importância aos atos inseguros do que às condições inseguras. Isso porque, culpar as condições inseguras significa ter de realizar ações efetivas de correção do ambiente de trabalho e do equipamento. As medidas de prevenção para atos inseguros são a "educação" do trabalhador e a utilização de equipamentos de proteção individual, quase sempre incômodos e pouco eficazes na prevenção do acidente (Lima, 1985).

Outra teoria multicausal é a tríade ecológica (Leavell, 1976). Nessa teoria, o acidente ou a doença profissional é resultante de um processo envolvendo fatores presentes no homem, no agente e no meio. O equilíbrio entre esses fatores é rompido quando um acidente acontece. Então, a prevenção de acidentes é efetivada atuando sobre um destes fatores, para interromper ou impedir as interações que possam provocar o rompimento do equilíbrio ou os acidentes.

A teoria dos portadores de perigos (citada em Sell, 1990) sistematiza o evento chamado acidente. Para isso, classifica os fatores do sistema de trabalho em pessoa e objeto. Tanto pessoas como objetos podem ser portadores de perigos em determinadas circunstâncias. Quando os portadores de perigos são os objetos, diz-se que o perigo é direto, quando são as pessoas, diz-se que o perigo é indireto. Os portadores de perigos detêm a energia danificadora que, na ocorrência de um acidente, pode produzir danos ou lesões. Havendo o contato direto entre os portadores de perigos e a ativação repentina da energia danificadora, ocorre uma colisão entre pessoa e objeto, caracterizando o acidente. Esta energia danificadora é a resultante entre a energia potencial (que de repente é ativada) e a resistência do corpo da pessoa à essa energia. Se esta resultante for positiva, a energia danificadora causa danos corporais (lesões ou mortes). Se a resultante é negativa ou nula, a energia não têm efeito maléfico sobre a pessoa.

Baseando-se na teoria dos portadores de perigos, formulou-se o modelo da gênese dos acidentes de trabalho (Sell, 1990). Segundo este modelo, os acidentes são decorrentes das interações entre os elementos do sistema que podem produzir um resultado indesejado. A prevenção destas interações deve ser utilizada como forma de evitar acidentes.

As teorias da tríade ecológica e dos portadores de perigos apontam para determinadas interações como causas de acidentes. Nessas interações estão envolvidos produtos e pessoas. Porém, nem todos os acidentes com produtos envolvem interações com pessoas, como por exemplo, um acidente causado pela fadiga de um componente. Em casos semelhantes a esse exemplo, as pessoas apenas sofrem as conseqüências do acidente. Existem também, alguns casos em que atos inseguros das pessoas podem provocar acidentes. Porém, se um ato inseguro pode provocar acidentes com um produto, é porque o produto possui características que permitem atos inseguros ou permitem que atos inseguros resultem em acidentes. Então, normalmente, a potencialidade de ocorrência de acidentes está associada aos perigos presentes nos produtos.

2.2 - Erro Humano e Características Perigosas dos Produtos

As teorias monocausais e multicausais são consideradas por vários autores como insuficientes e incompletas para a compreensão da ocorrência de acidentes, devido à sua desconsideração dos fatores sociais na ocorrência de acidentes. Os fatores sociais compreendem os fenômenos históricos e sociais, graus de desenvolvimento e organização da sociedade, entre outros. Porém, neste trabalho, devido ao seu caráter técnico e visando evitar grandes abstrações na compreensão de problemas sociais envolvidos nos acidentes, optou-se pelo estudo do erro humano e de problemas técnicos em produtos associados aos acidentes, principalmente relacionados às características perigosas.

2.2.1 - Erro Humano e Confiabilidade Humana

As habilidades do ser humano superam de muitas maneiras as habilidades das máquinas, pois o ser humano é capaz de adaptar-se às situações anormais e não esperadas, sendo capaz de formular uma decisão e tomá-la frente as novas situações (Hammer, 1993). As máquinas, por sua vez, executam e repetem precisamente movimentos e ações, mas não se adaptam a situações para as quais não foram programadas. Porém, o ser humano possui algumas características que podem levá-lo a tomar uma atitude incorreta diante de uma situação, caracterizando um erro, que pode provocar um acidente. As atitudes humanas têm uma grande contribuição na ocorrência de acidentes, pois, investigações de acidentes mostram que o ser humano influencia a segurança muito mais intensamente do que tradicionalmente se supunha, extendendo-se em áreas como projeto, manufatura, manutenção, administração (Clarke, 1998). Isso é reforçado por Brookes (Brookes, 1996), que afirma que o erro humano foi um fator significativo para ocorrência de acidentes em indústrias químicas do mundo todo, entre 1985-1990, causando um prejuízo de 2 bilhões de dólares. Além disso, o autor considera que o erro humano é o maior contribuidor individual para lesões, fatalidades e prejuízos.

Através de dados sobre trabalhadores da indústria britânica da 1ª Guerra Mundial, criou-se o conceito que a maioria dos acidentes é provocada por uma minoria de trabalhadores, os "propensos a acidentes". Esta idéia é originária de antes da revolução industrial, onde os produtos eram simples e todos conheciam os seus perigos que, na maioria dos casos, eram aparentes. Como exemplos de produtos simples, pode-se citar: martelos, serrotes, facas e pás. Muitas vezes, o próprio usuário confeccionava o produto, sendo conhecedor de seus perigos. Desta forma, a operação segura desses produtos era conseqüência, geralmente, de atitudes corretas do usuário (Hammer, 1993). Porém, após a revolução industrial, os produtos tornaram-se mais complexos e seus perigos menos aparentes, sujeitando os trabalhadores e usuários a perigos desconhecidos e quase sempre inevitáveis.

Estudos mais recentes, como o de Hansen (Hansen, 1989), têm mostrado que, embora algumas pessoas estejam mais envolvidas em acidentes que outras, não são as pessoas que causam a maioria dos acidentes, e sim suas ocupações ou tarefas e as condições perigosas relacionadas ao seu trabalho. Porém, nos dias atuais, ainda persiste a idéia que a redução do número de acidentes pode vir apenas pela "utilização segura" do produto, mais do que pelo projeto de produtos seguros (Hammer, 1993).

Hansen (Hansen, 1989) estudou as causas de acidentes relacionando-as com diversos fatores, como dados biológicos, personalidade e fatores cognitivos. Este estudo foi realizado estatisticamente, observando trabalhadores da indústria química, comparando medidas de grupos de trabalhadores com e sem acidentes e considerando os diversos fatores. Entre os fatores avaliados estão a habilidade cognitiva, idade, ajuste social, distração, experiência no trabalho, acompanhamento psicológico, risco de acidente e consistência do acidente.

A medida de habilidade cognitiva não se refere à "inteligência geral" como medida nos testes de QI, mas está associada à "medida da compreensão das leis físicas e relacionamentos mecânicos das situações práticas". O ajuste social refere-se às atitudes sociopáticas e atitudes passadas, delinqüência e problemas com leis, imaturidade, irresponsabilidade, hostilidade e violência física. O acompanhamento psicológico refere-se ao fato de trabalhadores mais jovens apresentarem tendência a ter mais problemas emocionais e de maturidade do que trabalhadores mais velhos. O risco de acidente é uma variável que atribui valores a periculosidade de cada tarefa. A consistência do acidente corresponde a ocorrência anterior de acidentes, em períodos anteriores, com o trabalhador que reflete uma medida de freqüência temporal (número de anos anteriores com acidentes) e uma medida da quantidade (número de acidentes), pois se determinados acidentes são recorrentes, isto pode indicar uma possibilidade de repetirem-se no futuro.

Hansen (Hansen, 1989) comenta que fatores, como a idade do trabalhador e a experiência no trabalho, deixam de ter importância, se a

variável risco de acidente é controlada. Ainda, sobram então, como diretamente ligados ao acidente, o risco de acidentes e a habilidade cognitiva (Hansen, 1989). Isso expressa que, em tarefas onde o risco de acidente é maior tem-se maior exposição à possibilidade de acidentes, que além de expor o trabalhador mais tempo ao acidente, exigem maior atenção mental, maior responsabilidade, requerem habilidades e responsabilidade demais, tornando a tarefa estressante, aumentando o problema. Além disso, quando o usuário tem maior habilidade cognitiva, possuindo maior compreensão das leis físicas e relacionamentos mecânicos das situações práticas torna-se menor a probabilidade de acidentes. Isso demonstra, que o operador que compreende o funcionamento e a configuração física do produto e executa tarefas com menor risco de acidentes, possui uma probabilidade menor de se envolver em acidentes.

Quando um ser humano não utiliza um produto conforme as recomendações, ou procedimentos de "utilização segura", diz-se que ele cometeu um erro humano. Existem vários conceitos para o erro humano, conforme a interpretação de diversos autores. Segundo Priest (Priest, 1988), o erro humano pode ser definido como qualquer desvio do desempenho esperado. Para Hammer (Hammer, 1993), o erro humano constitui qualquer ação pessoal que é inconsistente com a ação considerada normal ou com o padrão de comportamento programado e difere dos procedimentos pré-estabelecidos. Porém, existem outros conceitos aceitos que são citados por Priest (Priest, 1988), nos quais, o erro humano consiste em:

- desempenho incorreto de uma ação;
- falha no desempenho de uma ação;
- desempenho fora de seqüência de uma ação;
- falha no desempenho de uma ação no período de tempo disponível.

Considerando-se que a operação de um produto consiste em determinados procedimentos pré-estabelecidos no projeto, distribuídos espacial e temporalmente, um erro humano consiste num desvio em relação a esses procedimentos (Tiffin et al., 1975). Tiffin & McCormick (Tiffin et al., 1975)

afirmam que a tendência a cometer erros é uma característica inerente ao homem. Essa afirmação de Tiffin & McCormick (Tiffin et al., 1975) não considera as reais características humanas, como a variabilidade de movimentos mesmo que os movimentos sejam pré-estabelecidos, podendo refletir em erros de projeto nos produtos. Pois, o ser humano apresenta grande variabilidade de movimentos, ações e reações a determinadas situações, e são essas as reais características do homem, devido às suas limitações físicas e mentais.

Em relação aos erros humanos, Hammer (Hammer, 1993) os divide em dois grupos distintos:

- os persistentes: são aqueles que ocorrem e se repetem em condições similares;
- os aleatórios: são eventos que ocorrem raramente ou imprevisivelmente, sendo considerados não repetitivos.

Mesmo para Tiffin & McCormick (Tiffin et al., 1975), que afirmam que a tendência a erros é uma característica inerente ao ser humano, o indivíduo pode não ser a fonte de erros e acidentes. A natureza das atividades do trabalho, o projeto do equipamento, os métodos de trabalho, o ambiente e outras variáveis podem exercer influência sobre a frequência e a natureza dos erros e acidentes. Esses autores (Tiffin et al., 1975) consideram que as fontes de erros podem ser atribuídas a fatores individuais e de situação ou à combinação desses fatores.

Existem alguns erros humanos que são de ocorrência comum. Estudos ergonômicos realizados desde a IIª Guerra Mundial têm mostrado que os erros humanos, geralmente, resultam de (Hammer, 1993):

- falha para desempenhar uma função requerida. Caracterizada pela omissão do operador quando um procedimento, intencionalmente ou inadvertidamente, não é cumprido. As vezes, ocorrem devido aos procedimentos serem longos demais, mal descritos ou contrários às tendências consideradas normais para ação;

- desempenho de uma função que não deve ser desempenhada. Quando um procedimento ou ação é adicionada desnecessariamente ou a pessoa substitui um procedimento por uma atitude própria;
- falha em reconhecer uma situação perigosa. Às vezes, condições perigosas são tomadas como seguras por algumas pessoas;
- decisão errada em resposta a um problema. Se um problema ocorre inesperadamente, o usuário pode não ter tempo para pensar sobre a ação a ser tomada;
- resposta inadequada a uma eventualidade. Neste caso, o problema foi reconhecido e a ação corretiva foi iniciada, porém ela é ineficiente para evitar um acidente;
- pouco tempo para agir. A situação adversa foi reconhecida e a resposta é correta e adequada, mas é tarde demais para agir.

Segundo Priest (Priest, 1988) as causas de erros humanos podem ser classificadas como induzidas pela manufatura, pela manutenção, pelo ambiente, pelo projeto deficiente e pelo operador. As práticas, os métodos e os procedimentos deficientes assim como o planejamento e o treinamento inadequado para a manutenção e a manufatura podem induzir o usuário do produto a erros involuntários. Além dos fatores citados anteriormente, a possibilidade de ocorrência dos erros induzidos pela manufatura e pela manutenção aumenta com a falta de um projeto ergonomicamente adequado à manufatura e à manutenção. O erro humano induzido pelo ambiente está relacionado a ocorrência de determinadas condições ambientais, que podem prejudicar o desempenho do usuário favorecendo o erro. Como exemplo destas condições ambientais pode-se citar: temperaturas extremas, neve, chuva e exposição ao sol. O erro humano induzido pelo projeto deficiente normalmente é causado pela alocação imprópria de tarefas operacionais ou pelo desrespeito às habilidades humanas do usuário durante o projeto do produto. O erro humano induzido pelo operador é devido a causas internas (motivação, aptidão, cansaço, entre outros) ou externas (treinamento, adaptação ao produto, procedimentos, entre outros).

Dougherty (Dougherty, 1997) afirma que o erro ou a falha humana irá ocorrer e distribuir-se de acordo com a situação. A situação pode sugerir ou induzir a inclusão de determinadas atitudes incoerentes com a atitude necessária. Da mesma forma, a situação pode interferir no tempo de resposta para tomar uma atitude esperada, fazendo-o crescer demais, reduzindo o desempenho humano. Então, Dougherty (Dougherty, 1997) expressa a frequência de ocorrência de uma falha humana como:

$$f[\text{falha humana}] = f[\text{ELS}] \times P[\text{falha humana}|\text{ELS}] \quad (\text{Eq. 2.1})$$

onde:

$f[\text{falha humana}]$ = frequência de ocorrência da falha humana;

$f[\text{ELS}]$ = frequência de ocorrência da situação de provável falha humana;

$P[\text{falha humana}|\text{ELS}]$ = probabilidade de ocorrência de falha humana tal que a situação de provável falha humana ocorra, ou seja, a probabilidade de falha humana desde que uma situação que favoreça a falha ocorra.

Em relação a acidentes com produtos, Kanis & Weegels (Kanis et al., 1990) afirmam que o funcionamento de um produto é determinado através dos aspectos funcionais do produto (p), das ações humanas (a_p) e das variáveis de situação (s_p). Existem combinações de (p , a_p , s_p) que resultam ou não em acidentes (Kanis et al., 1990).

Existem algumas formas para prevenir erros humanos e, conseqüentemente, acidentes. Dela Coleta (Dela Coleta, 1989) aponta algumas formas de prevenção:

- a seleção profissional, evitando-se escolher indivíduos que apresentem características de que dificultem a execução de determinadas tarefas;
- o treinamento e a formação profissional, visando formar um indivíduo apto para o exercício do trabalho seguro;
- a propaganda de segurança, visando atitudes favoráveis à obediência de normas de segurança e à prevenção de acidentes, por parte dos trabalhadores e usuários;
- a utilização da Ergonomia. O autor relaciona Ergonomia à concepção de sistemas compatíveis com características humanas e à manutenção do

funcionamento do equipamento em níveis que possam garantir menores probabilidades de ocorrência de incidentes perturbadores e de lesões aos operadores. Apesar de Dela Coleta (Dela Coleta, 1989) afirmar que o acidente está relacionado à propensão individual de sofrer acidentes, ele considera a Ergonomia a alternativa que possui maiores possibilidades de conseguir resultados significativos. Pois, segundo o autor, a aplicação da Ergonomia em produtos permite que o operador cometa falhas, enganos, desatenções, omissões na detecção de sinais sem maiores prejuízos da tarefa, porque todos os seres humanos assim o fazem esporadicamente.

Brookes (Brookes, 1996) afirma que é possível prevenir erros humanos através da análise da tarefa, pela identificação das tarefas críticas, prevenção de erros específicos e utilização de estimativas de riscos. Além disso, afirma que embora as pessoas sejam imprevisíveis, os erros são previsíveis, podendo ser controlados.

Para Hammer (Hammer, 1993), existem duas formas básicas de prevenção ou eliminação de erros humanos: através de procedimentos e através do projeto. Como exemplo de eliminação de erros através de procedimentos pode-se citar: o treinamento, os avisos, a instrução. A eliminação de erros através do projeto compreende a utilização de técnicas de projeto para segurança. Comparando o projeto seguro com os procedimentos seguros, nos quais os operadores e usuários são instruídos para ações ou procedimentos específicos, o projeto seguro é muito mais eficiente. Considera-se que ações de projeto podem reduzir drasticamente e permanentemente os perigos, devido à redução das situações perigosas, enquanto a diminuição das situações de risco, pela modificação dos procedimentos das pessoas, é limitada e requer um reforço contínuo (Hammer, 1993). Então, a segurança é um problema de projeto e deve ser resolvida com a utilização de técnicas específicas de engenharia. A utilização de procedimentos para garantir a segurança é inadequada e insuficiente, pois:

- o operador e o pessoal da manutenção nem sempre seguirão as instruções;

- qualquer tarefa que pode ser feita incorretamente, mesmo sob a mais remota possibilidade, poderá algum dia ocorrer;
- muitas pessoas ignoram procedimentos, pois não acreditam que acidentes irão ocorrer;
- os projetistas freqüentemente acreditam que as pessoas terão bom senso na utilização de seus produtos. Assumem que as pessoas têm conhecimentos específicos sobre o produto, o que geralmente não é verdade.

Os projetistas devem considerar as características físicas e mentais dos usuários de seus produtos, visando reduzir a probabilidade de erros e acidentes (Hammer, 1993). Com isso, incompatibilidades entre produtos e seus operadores serão eliminadas ou minimizadas. Porém, é demasiadamente complexo projetar um produto que impossibilite todos os erros humanos. Conclui-se então, que a probabilidade de erros do operador deve ser extremamente minimizada no projeto e a utilização de procedimentos deve ser feita somente quando houver perigos que não puderam ser eliminados no projeto (Hammer, 1993). Para o sucesso do projeto para o ser humano deve-se considerar: a fácil operação do sistema pela utilização de técnicas de Ergonomia no projeto, divisão correta de tarefas entre ser humano e equipamento nas atividades de manutenção, controle e desempenho, identificação e diminuição do erro humano pela utilização de técnicas de projeto adequadas, padronização dos equipamentos e tarefas com recomendações de Ergonomia e segurança (Priest, 1988).

Outra conclusão que se chega, é que para controlar ou diminuir a influência da falha ou do erro humano sobre os acidentes, é necessário:

- conceber produtos cujo funcionamento ou configuração física seja mais compreensível, evitando situações que dêem margem a interpretações errôneas da situação real;
- não expor o ser humano a operações com elevado risco de acidente. Se isso não for possível, evitar que isto ocorra por longo período de tempo,

evitando assim expor por tempo prolongado o trabalhador ao risco de acidente, o que exigiria maior atenção mental, aumento da responsabilidade, habilidades em demasia, tornando a tarefa estressante.

A partir do conceito de erro humano tem-se o conceito de confiabilidade humana, que expressa a possibilidade de um desempenho bem sucedido, quando da operação de um produto ou execução de uma tarefa, sendo que erro humano e confiabilidade humana são complementares. A confiabilidade humana pode ser quantificada em índices como a probabilidade de término ou execução da tarefa (Priest, 1988). A ocorrência de erros humanos é inevitável, por isso, os projetistas devem objetivar a redução da probabilidade de sua ocorrência. Muitos estudos de erro humano têm resultado no desenvolvimento de valores para estabelecimento da confiabilidade humana, que dependem da tarefa especificada e do ambiente no qual é executada. A confiabilidade total de um produto depende da confiabilidade humana no desempenho da tarefa e da confiabilidade do produto, pois o desempenho de qualquer sistema depende do sistema projetado e do componente humano que o opera (Priest, 1988). A Tabela 2.1 ilustra alguns valores de confiabilidade humana.

Tabela 2.1 - Exemplos de valores da confiabilidade humana para diferentes tarefas na operação de centrais nucleares (Sanders et al., 1987).

Descrição da Tarefa	Confiabilidade Humana
Acionar o controle correto em um painel contendo vários controles semelhantes, identificados apenas por letreros.	0,997
Executar corretamente instruções transmitidas por procedimentos escritos.	0,950
Usar corretamente um checklist	0,500
Ler e registrar corretamente informações quantitativas de:	
• mostradores analógicos;	0,997
• mostradores digitais (4 dígitos);	0,999
• registradores contínuos.	0,994

Atualmente, a análise da confiabilidade humana envolve conceitos relacionados à teoria do erro humano, psicologia, ergonomia e análise de probabilidade. Apesar do ser humano apresentar um comportamento impossível de prever individualmente, a análise de comportamento de diversos indivíduos no desempenho de uma tarefa sugere que este é um processo probabilístico. Pois apesar de ser imprevisível individualmente, constitui uma expectativa probabilística quando analisado em grupo, tornando a confiabilidade humana, na execução de uma tarefa, passível de um tratamento estatístico. Analisando o ser humano, este possui algumas características intrínsecas que podem formar um conjunto de dados estatísticos, que possuem variabilidade. Entre estas características está a utilização das habilidades motoras, o acesso à memória e os erros nos procedimentos de execução de atividades dominadas. Por outro lado, muitos erros ou variações nas habilidades motoras são induzidas por eventos ocorridos no meio ambiente próximo, que também podem ser considerados como aleatórios. Isto porque, o contexto onde o ser humano desempenha a tarefa possui características que variam aleatoriamente. Então, o desempenho humano é variável devido a vários fatores.

O ser humano está sujeito a falhas ou a erros devido a causas associadas à variabilidade intrínseca ao seu desempenho de uma tarefa, tais como variabilidade das habilidades motoras (imprecisão fisiológica), confiabilidade de acesso à memória, equívocos no desempenho de atividades bem conhecidas e má interpretação de situações, podendo incorrer em atitudes erradas. As variações das habilidades motoras são reconhecidamente aleatórias, embora de pequena variabilidade ou imprecisão para a execução de tarefas. Da mesma forma, o acesso a informações na memória também é aleatório. Quando ocorre um equívoco no desempenho de determinada tarefa, este está associado a erros típicos como lapsos de atenção ou intrusão de hábitos (que ocorre quando uma ação menos familiar é substituída por uma mais familiar). E, finalmente, a má interpretação de situações que gera uma dicotomia de compreensão entre a situação real e a percebida, gerando uma tomada de decisão errônea. Outro fator específico, mas intrínseco à

variabilidade populacional, é o contraste entre operadores experientes e novos (Dougherty, 1997).

O comportamento humano é afetado por muitos fatores para que se possa obter uma previsibilidade determinística. Sendo um processo aleatório, produz fenômenos chamados eventos e sua variabilidade é significativamente observável. Então, a confiabilidade humana expressa uma probabilidade do evento falha humana, não uma quantificação do comportamento individual das pessoas em qualquer sentido (Dougherty, 1997). Existem três razões pelas quais a produção de falha humana não é determinística (Dougherty, 1997):

- a situação é variável;
- o desempenho é variável por si mesmo;
- as relações ou interações entre estas variáveis são complexas demais para permitir qualquer determinação.

Para Clarke (Clarke, 1998), que enfatiza que o erro humano é decorrência de determinadas situações, a probabilidade de erro humano pode ser calculada por:

$$\text{Probabilidade de erro humano} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de erros observados}}{\text{n}^\circ \text{ de oportunidades de erros}} \quad (\text{Eq. 2.2})$$

Deve-se distinguir entre as características de natureza humana, que são partes inerentes e relativamente imutáveis dos seres humanos e erro humano, que é um conceito válido apenas sob condições específicas. Os seres humanos possuem algumas características que não têm mudanças significativas, mantendo-se dentro de limites, na maior parte do tempo, mas podem apresentar variações extremas em condições específicas. Estas variações extremas, fora de limites estabelecidos, são consideradas erros aleatórios, porém são variações normais do comportamento humano. Conclui-se então, que o ser humano é formado por um conjunto de características, não cabendo julgá-las como corretas ou erradas. Deve-se, entretanto, compreendê-las para que possam ser inseridas como limitações em projetos de produtos, onde as pessoas são parte essencial (Nelson & Associates, 2000). Visto que, o projeto de equipamentos pode induzir a erros através de falta de dispositivos

para garantir a segurança, indução à distração ou à fadiga ou da presença de elementos contraditórios. Esses erros podem ser vistos como desvios de procedimentos que deveriam ser realizados pelos usuários, porém passíveis de prevenção no projeto pois são de ocorrência comum, sendo então provocados pelos responsáveis pelo projeto ou pela administração da empresa (Nelson & Associates, 2000). Além do projeto, o ambiente pode induzir ao erro devido a condições ambientais como chuvas, neblinas, presença de insetos, entre outros. Estes dois tipos de erros são comumente e erradamente considerados como erros do operador.

O verdadeiro erro humano, que é um comportamento inconsistente com padrões estabelecidos anteriormente, para ocorrer necessita da ausência de fatores no produto que induzam ao erro, que o sistema seja projetado para minimizar erros e que as pessoas envolvidas sejam informadas e treinadas adequadamente. Ou seja, um erro humano somente ocorre quando num determinado produto, os princípios ergonômicos foram aplicados adequadamente e o usuário foi devidamente instruído e treinado em condições realísticas, respeitando as capacidades e limitações humanas (Nelson & Associates, 2000). Dentro desta concepção, praticamente não ocorrem erros humanos em produtos destinados ao consumidor final, visto que estes raramente possuem algum treinamento para operar o produto, como normalmente ocorre com eletrodomésticos e equipamentos eletrônicos em geral, para os quais o usuário não recebe qualquer treinamento para utilização.

Face ao exposto anteriormente, não se pode culpar o usuário, quando ocorrer acidente pela utilização de um produto. Pois este acidente é decorrente de uma situação dentro da qual o usuário foi inserido. Reforçando esta afirmativa, Evans (Evans, 1996) considera o erro humano um problema administrativo. Pois, para cada acidente sério ocorrem aproximadamente 400 incidentes, que podem ser estudados para evitá-los em ocasiões futuras, ao invés de apontar culpados.

Uma vez estudados os acidentes e compreendidas as causas dos erros, pode-se reduzir riscos, gastos e atrasos. Para compreensão destas causas, existem alguns aspectos que precisam ser conhecidos, como (Evans, 1996):

percepção através dos sentidos, acesso à memória, atenção às tarefas, compreensão da linguagem, diferenças pessoais, variabilidade do ritmos de vida (sono, alimentação, menstruação, fadiga, mudanças de expedientes, hora extra), sensibilidade a doenças ou medicamentos e interação com a equipe de trabalho.

A partir da compreensão destes aspectos, muitos erros aparentemente ocasionais irão ser classificados dentro de padrões. Segundo Evans (Evans, 1996), as tarefas devem possibilitar e tolerar a natureza e amplitude da variabilidade daqueles atributos pessoais que são encontrados em qualquer ser humano. Em outros termos, os erros aparentes podem ser considerados os ruídos do comportamento humano, conforme as técnicas de Taguchi (Evans, 1996).

Em geral, as atitudes do ser humano na operação de um produto são dependentes das características humanas e da situação, que compreende as características do produto e do meio ambiente. A parcela da confiabilidade humana dependente das características humanas varia conforme diversos fatores extremamente difíceis de mensurar como acesso à memória e habilidades motoras. A parcela da confiabilidade humana que depende da situação está intimamente associada às características do produto e ao meio ambiente, inclusive na ocorrência daqueles eventos comumente denominados "erros humanos". Então, o evento erro humano é normalmente uma consequência e não uma causa de acidentes. Por isso, a confiabilidade humana pouco contribui para a melhoria da segurança de produtos.

A abordagem do erro humano e da confiabilidade humana, neste trabalho, visa associá-los à segurança oferecida pelos produtos. Os argumentos apresentados pelos diversos autores sobre os erros humanos, indicam que estes podem ser diminuídos substancialmente a partir de projetos de produtos que contemplem as características humanas. Por consequência, a confiabilidade humana também será aumentada. Uma forma de aumento da segurança dos produtos e diminuição dos acidentes relacionados aos mesmos é tornar o produto seguro quando da ocorrência de erros humanos. Pois, como pode ser verificado nos valores de confiabilidade humana mostrados na

Tabela 2.1, a confiabilidade humana não atinge 100%, sendo em alguns casos bastante reduzida. Então, tornar um produto mais seguro à utilização humana significa reduzir os perigos e os riscos que este apresenta, que podem gerar acidentes, quando da ocorrência de erros humanos.

2.2.2 - Características Perigosas dos Produtos segundo Hammer (Hammer, 1993)

Embora alguns autores culpem as pessoas pela ocorrência de acidentes, dentro da idéia da propensão pessoal a acidentes ou da ocorrência dos atos inseguros, relacionados às pessoas, essas idéias não são compartilhadas ou aceitas por diversos autores. Por exemplo, Hammer (Hammer, 1993) que associa a ocorrência de acidentes às características perigosas ou a perigos existentes nos produtos, aponta as 3 maiores causas de características perigosas em produtos:

- um projeto deficiente;
- um defeito de manufatura;
- uma característica inerente ao produto ou a um dos materiais usados no produto.

O projeto pode inserir características perigosas nos produtos em desenvolvimento, através da definição de características que têm potencial para causar danos ou lesões, como por exemplo a utilização de componentes em movimento sem a devida proteção ou barreira física.

Muitas das características perigosas em produtos resultam de defeitos de manufatura, que são conseqüência de práticas deficientes de produção. Porém, em alguns casos, os projetistas contribuem com os defeitos de manufatura. Muitas vezes, as práticas deficientes de produção são estabelecidas no projeto, como por exemplo, a existência de cantos vivos e arestas cortantes. A não especificação de sua retirada pelo projetista, configura-se num erro de projeto. Porém, se o projetista especifica a eliminação de cantos vivos e arestas cortantes e isso não é realizado, tem-se um defeito

de produção. Outro exemplo de erro de projeto é a utilização de especificações de montagem ou fabricação que permitam dupla interpretação.

Hammer (Hammer, 1993) considera que a maioria das características perigosas dos produtos está relacionada com a energia. Os acidentes terão conseqüências mais sérias quando houver uma geração ou transferência descontrolada ou não intencional de energia. O surgimento de energia descontrolada de grande magnitude representa um grande perigo.

Existem também outras causas, como a manutenção deficiente. Dentre as causas majoritárias, os problemas de projeto são provavelmente os aspectos mais significantes. Pois, percebe-se que os projetistas erram em não controlar apropriadamente as características perigosas inerentes aos produtos ou aos materiais utilizados. Por conseqüência, os projetistas são responsáveis pelas deficiências de projeto que eles incorporaram a seus produtos e que geram características perigosas.

Visando conhecer as características perigosas dos produtos, tem-se desenvolvido listas de verificação de características perigosas, baseando-se em considerações teóricas e experimentais. Alguns perigos são comuns e freqüentemente apontados como causas de acidentes. De outros perigos tem-se apenas o conhecimento teórico, como no caso de alguns perigos nucleares. Em ambos os casos, as causas, efeitos e medidas para sua eliminação e controle são conhecidos, têm sido tabulados e, em alguns casos, padrões são estabelecidos para atendê-los.

A Tabela 2.2 indica as características perigosas que podem estar presentes ou ser geradas nos produtos, enquanto a Tabela 2.3 indica alguns tipos de lesões que podem ocorrer durante a utilização dos produtos. As letras A, B, C e D no alto das Tabelas 2.2 e 2.3 podem indicar as unidades e subsistemas do produto ou as tarefas a serem executadas quando da utilização do produto, oferecem perigos. Ambas as tabelas podem ser utilizadas como listas de verificação na revisão de produtos, componentes, tarefas ou operações no tocante a perigos. A familiarização com características perigosas permite ao projetista ou analista determinar se o produto possui ou não

características perigosas e o que pode ser feito para eliminá-las ou controlá-las.

Tabela 2.2 - Perigos potenciais que os produtos podem apresentar
(Hammer, 1993).

Perigos Potenciais											
		A	B	C	D			A	B	C	D
1	Aceleração:					49	Riscos envolvendo Pressão				
2	Movimento Inadvertido					50	Dinâmica:				
3	Suspensão de Líquidos					51	Gás Comprimido				
4	Translação de Objetos Perdidos					52	Ferramenta de Ar Comprimido				
						53	Sistema de Exaustão de Pressão				
5	Desaceleração:					54	Liberção Acidental				
6	Impactos (paradas bruscas)					55	Objetos Soprados				
7	Quedas					56	Impacto D'água				
8	Quedas de Objetos					57	Chicotada de Mangueira				
9	Fragmentos ou Projéteis										
						58	Estático:				
10	Química (reação não-combustível):					59	Ruptura de Reservatório				
11	Dissociação					60	Sobre-Pressão				
12	Combinação					61	Efeitos de Pressão Negativa				
13	Corrosão										
14	Reposição					62	Vazamento de Material que é:				
						63	Inflamável				
15	Riscos Elétricos:					64	Tóxico				
16	Choques					65	Corrosivo				
17	Queima					66	Escorregadio				
18	Super Aquecimento					67	Odorífico				
19	Ignição de Combustíveis										
20	Ativação Inadvertida					68	Radiação:				
21	Falha Insegura de Operação					69	Radiação Ionizante				
22	Explosão Elétrica					70	Luz Ultravioleta				
						71	Luz Visível muito Intensa				
23	Explosivos e outras Explosões:					72	Radiação Infravermelha				
24	Presença de Explosivos					73	Radiação de Microondas				
25	Gás Explosivos										
26	Líquidos Explosivos					74	Risco Tóxico:				
27	Pós Explosivos					75	Gás ou Líquido				
						76	Asfixiante				
28	Inflamáveis ou Chamas:					77	Irritante				
29	Presença de Combustível					78	Veneno Sistêmico				
30	Presença de Forte Oxidante					79	Cancerígeno				
31	Presença de Forte Fonte de Ignição					80	Outras Propriedades Adversas				
						81	Combinação de Produto				
32	Calor e Temperatura:					82	Reação do Produto				
33	Fonte de Calor Não-Elétrica					83	Aumento Potencial				
34	Superfície Quente (queimante)					84	Sinergismo				
35	Superfície Muito Fria (queimante)										
36	Aumento de Pressão de Gás					85	Vibração:				
37	Aumento da Flamabilidade					86	Ferramentas Vibrantes				
38	Aumento da Volatilidade					87	Fonte de Alto Nível de Ruído				
39	Aumento da Reatividade					88	Causador de Fadiga em Metal				
40	Redução da Confiabilidade de Equipamento Eletrônico					89	Vibração de Fluxo ou Jato				
						90	Supersônica				
41	Riscos Mecânicos:										
42	Pontos ou Lâminas Cortantes					91	Miscelânea de Riscos:				
43	Equipamentos Girantes					92	Contaminação				
44	Equipamentos Alternantes					93	Lubrificação				
45	Pontos Apertantes					94	Odores Violentos				
46	Pesos para Erguer										
47	Estabilidade/Tendência ao Tombamento										
48	Partes ou Fragmentos Ejetáveis										

Tabela 2.3 - Possibilidades de lesões decorrentes da utilização de produtos (Hammer, 1993).

	Tipo de Lesão	Unidade ou Tarefa			
		A	B	C	D
M E c â n i c a	Cortes				
	Perfuração				
	Contusão				
	Ossos Quebrados				
	Partículas nos Olhos				
	Esmagamento				
	Arrancamento				
Q u e i m a d u r a	Elétrica				
	Térmica - Calor				
	Térmica - Frio				
	Radiação				
	Química				
P r e s s ã o	Aceleração				
	Compressão - Líquido				
	Compressão - Sólido				
	Aperto				
	Ruído e Vibração				
C h o q u e	Elétrico				
	Impacto				
	Onda de Pressão				
	Imersão Fria				
T o x i d a d e	Asfixia				
	Dano Orgânico				
	Dano ao Sist. Respiratório				
	Dano ao Sist. Circulatório				
	Dermatose				
	Câncer				
O u t r o s	Dano ao Sist. Nervoso e Efeit.				
	Exaustão de Calor				
	Resfriamento com Vento				

Como exemplo, ao utilizar eletricidade num produto, o projetista deve considerar que esta forma de energia oferece os seguintes perigos: choques, queima, superaquecimento, ignição de combustíveis, ativação inadvertida, entre outros. Sendo assim, o projetista deve considerar formas de eliminar ou controlar os riscos, ou ainda, utilizar uma alternativa mais segura. Em alguns casos, pode-se controlar os riscos com a utilização de padrões e normas.

Contudo, outras características perigosas dos produtos, como cantos vivos ou arestas cortantes, normalmente só podem ser verificadas após o item estar pronto. Algumas características perigosas, como aquelas decorrentes da operação do produto, podem ser verificadas apenas após o produto, os protótipos ou modelos de produção terem sido testados ou usados.

Os projetistas sempre pensam que observaram todos os critérios de segurança requeridos. Um novo produto pode ter sido totalmente analisado e manufaturado corretamente e o controle de qualidade pode ter sido exercido, porém pode apresentar vibrações, ser difícil de controlar ou ser instável em determinadas condições de operação. Então, ferramentas e métodos adequados são essenciais para conferir segurança ao produto.

2.3 – Alguns Conceitos Relacionados aos Acidentes

Alguns conceitos serão apresentados a seguir, visando estabelecer uma uniformidade e facilitar a compreensão de diversos temas que serão abordados nos próximos capítulos. Esta uniformidade torna-se necessária, pois os diversos autores que serão citados no decorrer deste trabalho, muitas vezes, adotam diferentes conceitos para termos ou expressões semelhantes, associados aos acidentes e aos produtos. Dentre os conceitos a serem abordados estão os de sistema, perigo, risco, falha, defeito, pane, acidente e confiabilidade.

Um sistema pode ser definido como um arranjo ordenado de componentes que estão inter-relacionados e que atuam e interatuam com outros sistemas, para cumprirem uma tarefa ou função num determinado ambiente (De Cicco et al., 1979), devendo satisfazer certas restrições. Dieter (Dieter, 1983) entende por sistema a combinação de materiais, informação e pessoas necessários para concluir uma missão específica. Segundo estes conceitos, quaisquer tipos de configurações simples ou complexas com vários subsistemas podem ser entendidas como sistemas. Um produto é um tipo

particular de sistema e, por isso, algumas técnicas para análise de segurança de sistemas, como as apresentadas no Capítulo 4, são aplicáveis a produtos.

Muitos autores não distinguem entre risco e perigo, porém estes não são sinônimos (Abbott, 1987). Sell (Sell, 1990) conceitua perigo como uma energia danificadora, a qual, se ativada, pode provocar lesões e/ou danos materiais. Na verdade trata-se de um estado potencial, que segundo o significado etimológico, perigo pode ser definido como circunstância que prenuncia um mal para alguém ou para alguma coisa (Cunha, 1999). Uma vez em contato com a pessoa, tem-se uma condição de risco. E, finalmente, conforme as interações da pessoa com a condição de risco, conforme as condições pré-críticas na atividade e o acaso, ocorre ou não o acidente. Esta definição de Sell (Sell, 1990) vem de encontro à definição de Dieter (Dieter, 1983) que considera perigo como uma ou mais condições de uma variável, com potencial para causar danos. Uma máquina pode apresentar um perigo inerente ao seu funcionamento, porém se forem tomados os devidos cuidados ou medidas de proteção, o risco oferecido por essa máquina poderá ser mínimo. Isso porque, risco pode ser concebido apenas quando existir um perigo e alguma coisa de valor ou pessoas estiverem em contato com este perigo (Dieter, 1983). Os perigos possuem algumas características:

- podem ser inerentes aos produtos. Muitas vezes, os produtos possuem características que oferecem perigos, podendo ser chamadas de características perigosas;
- são fatores inicializadores de eventos que podem resultar em acidentes. A existência de um perigo num produto, decorrente de suas características, possibilita a geração de uma seqüência de eventos que podem resultar em acidentes;
- são geradores de riscos. Qualquer risco que um produto oferecer às pessoas ou aos objetos será conseqüência de um perigo pré-existente.

Um risco constitui o potencial de um evento para resultar em conseqüências negativas e indesejadas (Dieter, 1983), possibilitando a materialização de danos, podendo ser inerente ao funcionamento de uma

máquina ou equipamento (De Cicco et al., 1979). Segundo Dieter (Dieter, 1983), o risco é parte de nossa existência individual e da sociedade como um todo, estando associado ao perigo. Em poucas palavras, o risco decorre da exposição ao perigo.

A avaliação do risco tem se tornado progressivamente mais importante na engenharia de projeto, com o aumento da complexidade dos sistemas de engenharia. Porém, essa avaliação ainda é um processo impreciso que envolve muito julgamento e intuição sobre uma base de dados deficiente (Dieter, 1983).

A determinação do risco máximo aceitável para um sistema é difícil, podendo ser efetuada em poucos casos, pois o risco máximo aceitável é normalmente determinado pelas normas sociais e pelo conhecimento técnico. Associa-se à este risco máximo aceitável o conceito de risco limite, que pode ser definido como o maior, mas ainda aceitável, risco apresentado pelo sistema, estando relacionado a uma situação ou processo específico (Pahl et al., 1996). Sobre este risco limite, Pahl & Beitz (Pahl et al., 1996) definem segurança. Para os autores (Pahl et al., 1996), não existe segurança absoluta, sendo segurança definida como um estado no qual o risco é menor que o risco limite.

A partir dos comentários anteriores, conclui-se que os riscos possuem as seguintes características:

- existem somente se houver perigos. Como são dependentes de perigos, possuem as mesmas características dos perigos que os originam. Por exemplo, o risco de choque elétrico pode ser originário somente de equipamento que apresente perigos elétricos;
- para existirem, dependem também da exposição de pessoas ou de objetos ao perigo;
- não podem provocar acidentes isoladamente, dependem de um evento deflagrador de acidentes. O evento deflagrador é um evento relacionado ao usuário ou ao produto que propicia o acidente, pela materialização de um risco, resultando em danos. Falhas ou panes podem ser deflagradores de acidentes, mas também podem ocorrer acidentes sem qualquer falha ou

pane. Como exemplo, pode-se citar os casos de acidentes com armas de fogo em que pessoas são atingidas por disparos acidentais, os quais normalmente ocorrem sem qualquer pane ou falha da arma.

Falha constitui um evento indesejado, defeito ou deficiência (De Cicco et al., 1979) ou mal-funcionamento, que persiste ou se repete até que uma ação corretiva apropriada seja tomada (Moss, 1985). Então, a falha caracteriza-se pelo término da capacidade de um item de desempenhar uma função requerida (ABNT, 1994). As principais causas de falhas são o projeto deficiente, a seleção deficiente dos materiais, as imperfeições dos materiais causadas pela manufatura, as sobrecargas, a manutenção inadequada e os fatores ambientais (Dieter, 1983).

As falhas que ocorrem em sistemas podem ser classificadas em três tipos (De Cicco et al., 1979):

- falhas prematuras: ocorrem no início da operação do sistema. Após a substituição dos componentes defeituosos, verifica-se que a taxa de falha diminui sensivelmente;
- falhas casuais: resultam de causas complexas, incontroláveis e, por vezes, desconhecidas. Ocorrem no período chamado de vida útil do sistema ou componente;
- falhas por desgaste: ocorrem quando os componentes ultrapassam o período de vida útil.

A probabilidade de falha (Q) é definida, pela Equação 2.3, como o complemento da confiabilidade (R):

$$Q = 1 - R \quad (\text{Eq. 2.3})$$

Sendo assim, quando se analisa a confiabilidade de um produto ou de seus componentes, observa-se somente a possibilidade de uma falha ocorrer. Isso, em boa parte dos casos, não se relaciona com a presença de perigos ou riscos no produto. Diferentemente da confiabilidade, a segurança de um produto está relacionada à presença de perigos e riscos.

A norma ABNT 5462 (ABNT, 1994) diferencia falha, pane e defeito, diferenciação esta que não é feita por muitos autores. Um defeito é definido como qualquer desvio de uma característica de um item em relação aos seus requisitos (ABNT, 1994). Exemplificando: um componente foi projetado com determinadas dimensões devido às solicitações a que estará sujeito quando de sua utilização, porém se for fabricado com dimensões inferiores, será um item defeituoso. Pane é o estado de um item caracterizado pela incapacidade de desempenhar uma função requerida, excluindo a incapacidade durante a manutenção preventiva ou outras ações planejadas, ou pela falta de recursos externos. Tem-se então, uma diferença entre falha e pane, onde falha é um evento e pane é um estado, em relação à utilização do componente. Para distinguir entre pane e falha, pode-se utilizar o seguinte exemplo: um motor de automóvel sofreu um superaquecimento (evento de falha) que provocou seu trancamento (estado de pane).

A ocorrência de eventos de falha ou panes podem resultar em acidentes. Pode-se definir acidente como uma colisão repentina e involuntária entre pessoa e objeto, resultando em danos materiais e/ou lesões. Um acidente se diferencia de uma doença ocupacional, pois é repentino e a doença ocupacional requer um longo prazo para ser adquirida (Sell, 1990). Para a ocorrência de acidentes é necessário não somente a condição de risco, mas também a ocorrência de pré-condições críticas e conduta insegura das pessoas. Em relação às atividades, as pré-condições críticas podem estar relacionadas a (Sell, 1990):

- objetos de trabalho: matérias-primas e materiais auxiliares;
- meios de trabalho: máquinas, ferramentas, equipamentos e dispositivos;
- fatores ambientais: clima, iluminação, ruído, vibração, radiação, emissão de vapores, etc;
- planejamento e organização do trabalho, métodos e tempos, etc;
- ambiente de trabalho e posto de trabalho: mesa, assento, bancada, etc.

Algumas pré-condições críticas estão associadas às pessoas e determinam a conduta humana. Essas pré-condições críticas são (Sell, 1990):

- falta de aptidão, conhecimento, capacidade, habilidade;

- falta de treinamento e experiência;
- falta de conhecimento dos perigos associados aos objetos;
- motivação;
- comodismo;
- fadiga, estado de saúde;
- problemas sociais, familiares e de relacionamento.

O resultado dos acidentes são os danos. Como dano entende-se perda física, funcional ou econômica (Dieter, 1983), tais como: lesões a pessoas, prejuízos a equipamentos ou estruturas, perdas de materiais de um processo ou redução da capacidade de desempenho de uma determinada função.

Baseado nos conceitos anteriores, criou-se um fluxograma para ocorrência de um acidente, apresentado na Figura 2.1, que demonstra a existência dos seguintes elementos:

- Pré-existência de perigo no produto, com potencial de afetar pessoas ou objetos. É o início do processo do acidente. Esse perigo é, normalmente, decorrente de determinadas características apresentadas pelo produto, tais como eletricidade, radiação, alta temperatura, arestas cortantes e componentes girantes com inércia elevada;
- O perigo pode transformar-se em risco pela exposição de pessoas ou objetos a ele. Como exemplo, pode-se citar a retirada da proteção de um equipamento, quando o equipamento é mantido em funcionamento, expondo o operador ao perigo, ou seja, manifestando uma condição de risco;
- O acidente exige a ocorrência de algum evento deflagrador, que possibilite a sua ocorrência. Por exemplo, uma serra circular para madeira (produto com característica perigosa), teve sua proteção retirada para facilitar o corte de madeiras (situação de risco). Durante o corte de determinada madeira, o operador involuntariamente colocou a mão na serra, causando um acidente. Nesse caso, o evento deflagrador foi a colocação involuntária da mão na serra.

- Para que ocorram danos é necessário que alguma pessoa ou objeto seja atingido na ocorrência do acidente. No exemplo anterior, o dano foi a lesão na mão do operador.

Observando a Figura 2.1, são os perigos decorrentes de características dos produtos que propiciam a ocorrência de acidentes. Nota-se que, com a ausência de perigos, não se tem a geração do acidente. Caso haja perigo, torna-se necessário, a eliminação do perigo ou das características perigosas, para garantir que o produto seja inerentemente seguro.

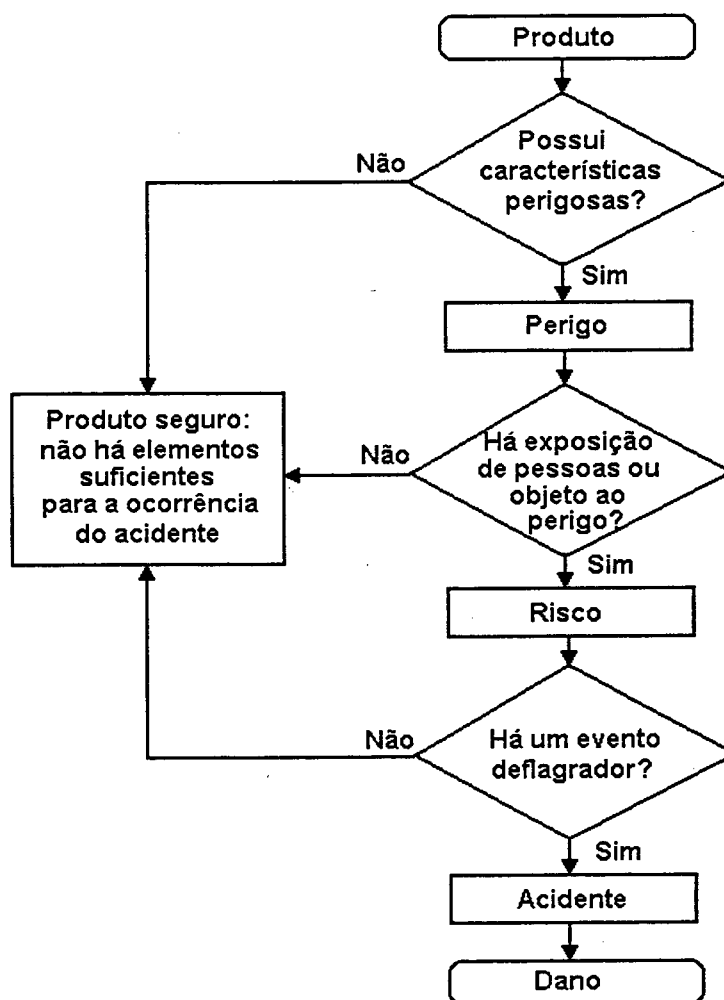


Figura 2.1 - Fluxograma de um acidente, com seus principais elementos.

2.4 – Confiabilidade e Segurança

Normalmente há certa confusão entre os conceitos de confiabilidade e segurança. A confiabilidade na engenharia tornou-se uma área identificável no início dos anos 50 (Dixon, 1966). O sucesso desta área tem sido devido, em parte, à introdução do conceito de desempenho confiável como um parâmetro quantitativo. Várias definições para confiabilidade têm sido propostas, seguindo a idéia em geral aceita, de que confiabilidade é a probabilidade de um dispositivo desempenhar sua função específica por um determinado tempo sob determinadas condições de operação (Dixon, 1966). Dieter (Dieter, 1983) considera que confiabilidade é basicamente um estudo de causa, distribuição e predição de falhas. Na definição de Moss (Moss, 1985), confiabilidade é a probabilidade de um produto manufaturado, para um dado projeto, operar através de um período específico sem experimentar falha atribuída a projetos ou manufaturas defeituosas. Isto quando mantido de acordo com as instruções do fabricante e não sujeito a solicitações ambientais ou operacionais, acima do limite estabelecido pelo fabricante ou acima do acordado na compra. Porém, a definição a ser utilizada nesse trabalho é a proposta pela norma ABNT 5462 (ABNT, 1994), na qual **confiabilidade é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo**. Observa-se que as definições de confiabilidade normalmente envolvem quatro estruturas fundamentais: probabilidade, comportamento adequado, período de uso ou de vida e condições de uso (Dias, 1996). Confiabilidade é denotada pela letra "R" podendo ser definida, matematicamente, como (Eq. 2.4):

$$R(t) = \int f(x)dx \quad (\text{Eq.2.4})$$

onde: t é o tempo em horas.

Freqüentemente, confunde-se segurança e confiabilidade, porém estes expressam conceitos distintos e por vezes conflitantes (Dias, 1996). A segurança está relacionada à não ocorrência de danos, lesões ou prejuízos de qualquer natureza, enquanto confiabilidade está associada ao cumprimento de uma missão, sob determinadas condições e por tempo estabelecido. Em

termos de engenharia, a segurança de um projeto é tradicionalmente expressa na forma de um fator de segurança (Main, 1996). Este fator consiste num valor numérico e é comumente usado para compensar incertezas de itens como: materiais, componentes, manufatura e outros fatores sobre os quais o projetista não tem controle (Main, 1996). Este conceito se restringe a um pequeno aspecto da segurança. Se a segurança fosse limitada a somente esta dimensão, bastaria superdimensionar os diversos itens de um sistema e a segurança estaria garantida. A segurança deve estar associada com o compromisso de medidas de proteção contra acidentes, baseada na eliminação de perigos e controle de riscos.

Os conceitos atribuídos para segurança variam conforme as áreas do conhecimento humano abordadas. Pois, para o ser humano, o conceito de segurança é um conceito amplo e está associado a várias expectativas e sentimentos, conforme as afirmativas dos vários autores que serão comentadas a seguir.

Para Siches (Siches, 1965) e Dahl et al. (Dahl et al., 1971) a segurança possui um caráter temporal, estando associada à ocorrência de possíveis eventos num futuro não imediato, sendo que o indivíduo se insatisfaz com o presente quando o futuro é incerto (Siches, 1965).

Para Dahl & Lindblom (Dahl et al., 1971) a segurança, além de estar associada ao futuro, também forma um aspecto da liberdade. Subjetivamente, um indivíduo está seguro, na medida em que confia que poderá continuar a realizar suas metas. Objetivamente, o indivíduo estará seguro se esta confiança basear-se numa interpretação correta da realidade. Em ambas as condições, a segurança constitui meramente um aspecto da liberdade, diferenciando-se apenas na interpretação da realidade. Sendo assim, falar em segurança implica em salientar que o indivíduo é, ou espera ser livre no tempo, mantendo a possibilidade de executar suas metas. Exemplificando: um indivíduo que teve um membro amputado, devido à falta de segurança, teve sua liberdade diminuída, pois não pode continuar realizando as suas atividades na plenitude. Porém, segundo afirmam os autores (Dahl et al., 1971), que ocasionalmente, a segurança choca-se com a liberdade. Para examinar esta

afirmação, deve-se distinguir a condição subjetiva da objetiva. A condição objetiva ocorre quando, mediante determinada situação, opta-se por segurança, inibindo a realização de uma meta baseando-se em informações reais e não subjetivas.

A segurança é freqüentemente definida como "isenção de riscos", estando associada à proteção ou isenção de riscos ou perigos (De Cicco et al., 1979). Entretanto, como é improvável a eliminação completa de todos os riscos, a segurança torna-se um compromisso acerca de uma relativa proteção da exposição a riscos. Dorin (Dorin, 1978) reforça esta idéia, definindo segurança como a ação de proteger alguém ou um estado psicológico de não se sentir em perigo ou de estar protegido de qualquer ameaça. Num sentido mais amplo, pode-se estender este conceito de segurança além da impossibilidade de ocorrência de lesões às pessoas. A segurança pode referir-se a danos, à perda de disponibilidade ou habilidade do sistema, de tempo, de equipamentos e de capital (Nasa, 1992).

Arnold et alli (Arnold et alli, 1982) definem segurança como a necessidade geral de estabilidade na existência. Consideram que esta necessidade leva os indivíduos a desenvolver um processo criativo, gerando numerosos métodos para antecipar o controle de perigos e distúrbios. Esta necessidade pode levar à criação de produtos associados à busca por segurança. Siches (Siches, 1965) reforça esta definição, afirmando que o indivíduo incita a criação e desenvolvimento de técnicas para: evitar os prejuízos que os perigos da natureza podem ocasionar, dominar as forças da natureza com o fim de colocá-las ao serviço regular das necessidades humanas, assegurar boas condições de vida, prevenir doenças e curá-las, entre outros. Sendo assim, a necessidade de segurança é parte das necessidades humanas, sendo também, motivadora de comportamento. Corroborando esta afirmação, Hersey & Blanchard (Hersey et al., 1986) apontam que a segurança é uma necessidade evidente e comum à maioria dos indivíduos. Dentro deste aspecto, as necessidades humanas refletem deficiências psicológicas ou fisiológicas, apoiando-se no princípio da deficiência, pois necessidades satisfeitas não são motivadoras de

comportamento. As pessoas agem para satisfazer necessidades existentes (Schermerhorn, 1985). Para Hersey & Blanchard (Hersey et al., 1986) os motivos gerados pelas necessidades nem sempre são conscientes para as pessoas. Embora alguns motivos sejam aparentes, muitos outros permanecem subconscientes, não sendo fáceis nem óbvios de identificar. Todos os indivíduos desejam estar livres dos perigos da vida, tais como: acidentes, guerras, doenças e instabilidades econômicas. Esta preocupação com segurança pode fazer um indivíduo tomar uma atitude drástica, mas normalmente, a necessidade de segurança exerce um papel de fundo, sendo na maioria dos casos uma inibidora ou restritora de atitudes. Na aquisição de um produto, o consumidor vê outros benefícios oferecidos pelo produto, como eficiência e baixo custo, mais importantes do que a segurança, que possui normalmente uma importância secundária.

Existe, também, uma relação entre segurança e qualidade. Para Juran (Juran, 1992) a qualidade está relacionada às características e à ausência de deficiências nos produtos. As características são as propriedades dos produtos que visam atender a determinadas necessidades dos clientes e assim prover satisfação. A ausência de deficiências, considerando que as deficiências são fontes de insatisfação, tende a melhorar a qualidade. Assim como a confiabilidade, o apelo estético, a conformidade com as especificações e o desempenho, a segurança é um aspecto da qualidade e grande parte dos esforços de projeto e produção deve ser dirigida para a redução de riscos em níveis aceitáveis (Juran, 1992). Segundo esse autor a tecnologia coloca produtos perigosos nas mãos de “amadores” e também cria subprodutos perigosos que ameaçam a saúde humana, a segurança e o ambiente. Estes, normalmente, não possuem qualquer treinamento para a utilização ou para a operação dos produtos.

Pode-se analisar segurança em relação ao significado etimológico. Para Ferreira (Ferreira, 1986), segurança significa ato ou efeito de segurar, ou ainda, estado, qualidade, ou condição de seguro. Sendo que seguro significa livre de perigo e risco, protegido, acautelado ou garantido. Ferreira (Ferreira, 1986) evidencia, através de exemplificação, que livre de perigo ou risco é estar

seguro de eventos negativos e indesejáveis. Isto é reforçado por Bueno (Bueno, 1988) que define segurança como sentimento de tranquilidade, de afastamento de perigo ou de ameaça de perigo. Aqui a palavra perigo significa ameaça de vida, conjuntura de que pode resultar grave dano à pessoa (Bueno, 1988).

Segundo os diversos autores citados anteriormente, a segurança está relacionada com os seguintes aspectos:

- possibilidade de ocorrência de eventos num tempo futuro ou perspectiva de temporalidade;
- liberdade;
- isenção ou liberdade de riscos e perigos;
- criação de métodos e produtos para alcançá-la;
- motivação comportamental;
- necessidades humanas;
- qualidade.

A formulação de um conceito de segurança, aplicável aos produtos, que abranja todos estes aspectos torna-se longa e complexa. O conceito de segurança deve evidenciar que segurança é uma necessidade humana, referente à isenção de riscos e perigos da ocorrência futura de eventos indesejáveis, que possam trazer prejuízos ao indivíduo, tais como a redução de sua liberdade. Pelo fato de ser uma necessidade, a segurança motiva comportamentos, fazendo com que os indivíduos criem formas de satisfazê-la. Em relação à qualidade dos produtos, a segurança pode ser considerada uma necessidade a ser satisfeita, assim como os demais aspectos da qualidade.

Por outro lado, a falta de segurança nos produtos, resulta em eventos indesejáveis ou acidentes. Um acidente com um produto pode limitar a liberdade do indivíduo através da ocorrência de lesões ou danos, fazendo com que ele não possa realizar suas metas num tempo presente ou futuro, caracterizando um futuro incerto. A possibilidade da ocorrência de acidentes com produtos se dá devido à presença de perigos num produto, sendo que estes foram identificados como os originadores de acidentes em produtos. A

presença de perigos e riscos pode ser um motivador de comportamentos, pois num indivíduo existe a necessidade de sentir-se seguro. Esta motivação comportamental pode resultar na criação de métodos ou produtos visando atingir a segurança. Um produto que oferece perigo de acidentes possui deficiências e a eliminação destas configura uma característica positiva da qualidade do produto. Então, a segurança em produtos está associada à não ocorrência de acidentes e a ocorrência de acidentes à falta de segurança.

Conclui-se que a segurança é um conceito subjetivo, variando de indivíduo para indivíduo, conforme a noção pessoal da realidade. Então, é impossível atribuir-lhe uma definição rígida ou única. Porém, neste trabalho assume-se uma definição derivada das anteriores, na qual **segurança é a condição que se opõe à ocorrência de acidentes, ocasionados pela presença de perigos num produto.**

Segurança também será tratada como aspecto da qualidade, visando possibilitar a comparação entre dois produtos similares ou idênticos e o acompanhamento da evolução da segurança dos produtos.

A partir da afirmação anterior, conclui-se que se pode ter somente dois tipos de estados: os seguros e os inseguros. Sendo que estes estados são conseqüências de eventos ou acontecimentos seguros ou inseguros (acidentes). Este fato assemelha-se à relação entre confiabilidade e falha, onde tem-se que confiabilidade pode ser definida como:

$$R = 1 - Q \quad (\text{Eq. 2.5})$$

Onde:

R = confiabilidade;

Q = probabilidade de falha.

Então, por similaridade pode-se definir segurança como:

$$\text{Segurança} = 1 - \text{Insegurança} \quad (\text{Eq. 2.6})$$

Onde insegurança significa estar sujeito a condições que propiciem eventos inseguros ou acidentes.

Semelhante à probabilidade, esta idéia de segurança forma uma expectativa sobre os fatos ocorridos para uma estimativa futura. E isto é coerente, pois somente é possível certificar-se que um produto é totalmente

seguro após este passar por todas as fases do ciclo de vida. Ou seja, um produto somente pode ser considerado seguro após ser projetado, produzido, comercializado, utilizado e descartado sem qualquer acidente.

2.5 – Considerações Finais

Com o estudo das teorias de acidentes de trabalho observou-se que estas teorias evoluíram desde uma visão antiga, onde o trabalhador era sempre o culpado pelo acidente, até outras mais modernas nas quais coexistem diversas causas para os acidentes, havendo uma evolução no sentido de aumentar a parcela de contribuição, nos acidentes, de causas que não aquelas imputáveis ao operador ou usuário. Mas mesmo nestas teorias mais modernas, permanece como uma das causas a contribuição humana para o acidente. Porém, quando analisa-se o erro humano e os elementos relacionados com a ocorrência de acidentes, observa-se que a contribuição humana é uma consequência da situação ou das características do produto, sendo que muitos acidentes ocorrem independentemente da interferência humana. Esta tendência a diminuir a culpa do ser humano no acidentes foi observada pelo autor deste trabalho, gerando as Hipóteses 1 e 3 deste trabalho.

Esta visão mais moderna, na qual nem sempre o ser humano é responsável pelo acidente, possibilitou a utilização da Ergonomia, resultando em melhorias nos projetos. A utilização da Ergonomia tem sido apontada como a melhor maneira de evitar acidentes, visto que nem sempre pessoas treinadas ou que compreendam o produto utilizarão ele. Há de se considerar, ainda, que mesmo pessoas treinadas nem sempre irão seguir os procedimentos durante todo o tempo de utilização do produto.

Os conceitos de erro humano foram revistos. Muitas vezes o erro humano é apontado como uma característica inerente e imutável do ser humano e, segundo alguns autores, ele ocorre quando há um desvio em relação aos procedimentos previamente estabelecidos para o desempenho de

uma tarefa. Porém, quando esses procedimentos restringem ou exigem demais do operador humano, certamente os chamados “erros humanos” irão ocorrer, pois uma característica inerente e imutável do ser humano é grande variação de atitudes, dentro do desempenho de uma tarefa. Na verdade, como ficou evidente, a ocorrência do erro humano é subordinada e depende do contexto de um desempenho da tarefa.

Dos elementos citados anteriormente, risco e perigo são normalmente confundidos e, as vezes, seus significados são trocados. Isto ocorre porque muitos autores, que publicam trabalhos sobre segurança, não distinguem entre riscos e perigos, contribuindo ainda mais para que eles sejam confundidos. As definições para estes elementos, assumidas neste trabalho, são resultado de estudos sobre os significados deles.

Abordou-se neste capítulo, o significado da segurança. Este significado foi determinado após abordar o significado da segurança para diversos campos de conhecimento, entre os quais o psicológico, o sociológico e o etimológico. Isto permitiu a comparação entre os significados de segurança e confiabilidade, demonstrando que eles não são sinônimos. Apesar deles não serem sinônimos, também são confundidos e por isso, como se verá no Capítulo 4, algumas conhecidas técnicas de análise de segurança são técnicas voltadas para a análise da confiabilidade. Da mesma forma, algumas medições ou estimativas de segurança são, na verdade, voltadas para a confiabilidade dos sistemas.

CAPÍTULO III

3.0 - O PROJETO DE PRODUTOS

O objetivo deste capítulo é apresentar como os produtos são projetados, visando compreender o processo de desenvolvimento dos produtos. Além disso, estuda-se como a segurança é tratada durante o desenvolvimento de um novo produto.

Para isso, estudou-se diversas metodologias de projeto considerando suas fases ou etapas necessárias para a obtenção de um novo produto. Procurou-se verificar como a questão da segurança é tratada durante o projeto, o que indicou que uma série de recomendações, diretrizes e métodos para melhorar a segurança dos produtos é utilizada. Além disso, buscou-se estabelecer relações entre as atividades de projeto e a segurança de produtos.

3.1 - Metodologias de Projeto

Grande parte dos engenheiros aplicam seus conhecimentos científicos ou tecnológicos na solução de problemas técnicos ou na otimização das soluções existentes. As soluções encontradas devem considerar diversos fatores, tais como: materiais utilizados, aspectos financeiros, econômicos, legais e ambientais (Pahl et al.,1996). Porém, para encontrar melhores soluções com a exploração do potencial e do conhecimento do engenheiro é necessária a utilização de procedimentos sistemáticos. O projeto de um produto industrial, que é um procedimento específico de solução de problemas, estabelece e define soluções e estruturas adequadas para problemas não resolvidos anteriormente ou novas soluções para problemas que foram previamente resolvidos, mas de forma diferente (Dieter,1983). Cada projeto possui uma história própria, com suas peculiaridades, porém seu

desenvolvimento forma um modelo quase sempre comum a maioria dos projetos (Asimow, 1962).

Pahl & Beitz (Pahl et al.,1996) apontam que, apesar de metodologias sistemáticas de projetos serem citadas desde a década de 20, estas ganharam maior impulso a partir da década de 1960, com a publicação de diversas metodologias de projeto. No início da década de 60, Asimow (Asimow, 1962) detalhou uma metodologia de projeto em sete fases distintas:

- **Estudo da viabilidade:** inicializa o projeto e estabelece uma linha de pensamento. Nesta fase, certifica-se que uma dada necessidade possui uma existência forte e latente. A partir deste ponto, explora-se os problemas gerados pelas necessidades, identificando parâmetros, limitações e critérios. As metas nesta fase consistem em avaliar a necessidade de um novo produto, produzir um conjunto de possíveis soluções e avaliar as soluções baseando-se na realização física, econômica e financeira;
- **Projeto preliminar:** esta fase inicia pela análise do grupo de soluções viáveis desenvolvidas no estudo da viabilidade. A meta do projeto preliminar é estabelecer critérios de seleção visando encontrar a melhor solução. Então, estima-se a magnitude, o desempenho e o custo do projeto. Além disso, estima-se também o comportamento da solução com o tempo e os parâmetros a serem controlados;
- **Projeto detalhado:** a proposta do projeto detalhado é desenvolver uma descrição completa do projeto de um produto testável e produzível. Um projeto detalhado inclui desenhos para manufatura com todas as partes e componentes dimensionados, especificados e com tolerâncias. De modo mais detalhado, esta fase é composta por: preparação para o projeto, projeto geral de subsistemas e componentes, projeto detalhado das partes, preparação dos desenhos para montagem, construção experimental, programas de testes, análise técnicas, previsões de custos e reprojeto;
- **Planejamento para a manufatura:** no planejamento para a manufatura, além do detalhamento do projeto realizado na etapa anterior, é necessário especificar formas e condições do material, ferramental e equipamentos de

manufatura que serão utilizados. Isto inclui: planejamento detalhado dos processos de fabricação, projeto de ferramentas e gabaritos, planejamento, especificação e projeto da nova produção e instalações da fábrica, planejamento do sistema de controle de qualidade, planejamento do pessoal para a produção, planejamento do sistema de fluxo de informações e planejamento financeiro;

- **Planejamento para a distribuição:** decisões técnicas e de marketing devem ser tomadas para prover a distribuição efetiva dos produtos ao consumidor. Sendo assim, esforços de propaganda são direcionados para um determinado tipo de consumidor, para o qual o produto foi concebido. Planeja-se a embalagem, o sistema de armazenamento, as atividades de marketing, o transporte e outros;
- **Planejamento para o uso:** no planejamento para o uso são considerados a manutenção, a confiabilidade, a segurança, a conveniência do uso, a estética e a economia de operação. Não significa dizer que os pontos considerados nessa fase estejam restritos somente a essa fase. As considerações de segurança, manutenção, confiabilidade, entre outros, estão presentes na maioria das fases dessa metodologia;
- **Planejamento do descarte:** o passo final no processo de projeto é o planejamento do que será feito com o produto após o término de sua vida útil. Algumas diretrizes são utilizáveis nesta fase, que são as seguintes: projetar para a redução da razão de obsolescência (considerando efeitos dos desenvolvimentos técnicos), projetar para uma vida física mais longa que a vida útil, projetar para vários níveis de utilização (de modo que ao fim da vida útil o produto possa ser utilizado de forma menos exigente), projetar para a reutilização de materiais e componentes e, finalmente, testar e examinar em laboratório os produtos inutilizados e seus subprodutos a fim de obter informações úteis para este planejamento. Devido a legislações ambientais progressivamente mais severas, o descarte tem aumentado em importância no projeto do produto.

As sete fases da metodologia de Asimow (Asimow, 1962) podem ser vistas estruturadamente na Figura 3.1.

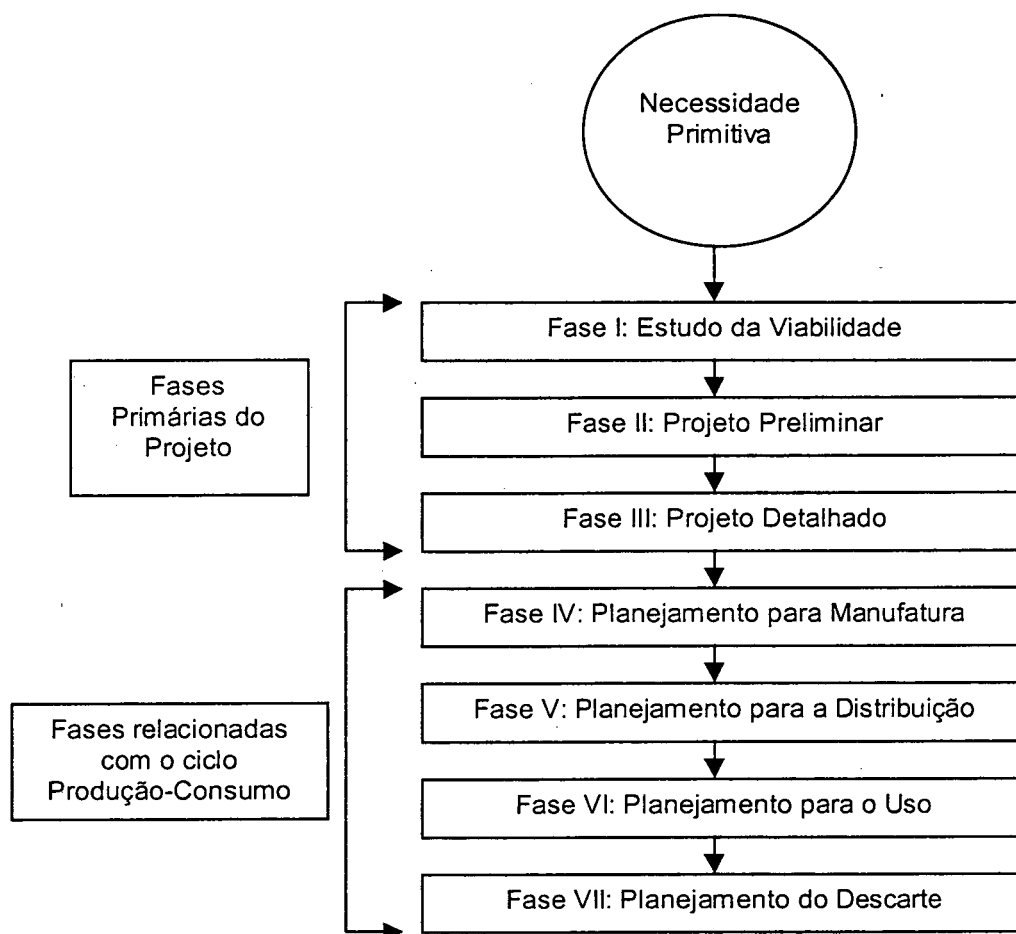


Figura 3.1 - As fases de um projeto completo, segundo Asimow (Asimow, 1962).

Em 1965, Roth (Roth, 1982) publicou o desenvolvimento de uma metodologia de projeto conhecida por projeto com auxílio de catálogos de projeto e contém um algoritmo conhecido como procedimento algorítmico de seleção para projeto com auxílio de catálogos. Outra particularidade desta metodologia é a divisão do processo de projeto em pequenos passos, possibilitando sua descrição em algoritmos. Roth (Roth, 1982) divide o processo de projeto em **fase de formulação do problema, fase funcional e fase de detalhamento**.

A **fase de formulação** do problema envolve definição do problema com suas características principais, tais como a definição das necessidades do consumidor em relação ao produto, o conhecimento do mercado e a situação

da tecnologia envolvida. O resultado da **fase de formulação do problema** é uma lista de requisitos identificando a maioria das necessidades e tarefas. Uma vez obtida a lista de requisitos, a metodologia proposta por Roth adquire características particulares até chegar a obtenção de princípios de solução para as tarefas principais (Fiod, 1993), quando torna a assemelhar-se com as demais metodologias de projeto. Então, na **fase funcional**, formula-se sentenças genéricas partindo-se da lista de requisitos. Abstraindo-se, a partir dessas sentenças genéricas, utiliza-se o método da estruturação de funções genéricas. Define-se como funções genéricas aquelas funções que são representadas através de grandezas genéricas, tais como matéria, energia e sinal, e das operações genéricas, como as operações de conduzir, armazenar, mudar, unir. Como exemplo de operações genéricas pode-se citar conduzir energia ou unir matéria e sinal (Roth, 1982). Nesta fase, são utilizados os catálogos de projeto para auxiliar a transformação das funções genéricas em princípios de solução, que serão utilizadas na fase posterior. E esse é um dos aspectos mais importantes da metodologia de Roth (Roth, 1982), a utilização de tabelas prontas de princípios de solução, montadas genericamente e catalogadas anteriormente. A **fase funcional** resulta na determinação dos princípios de solução que satisfaçam a estrutura geral de funções. A **fase de detalhamento** resulta em estruturas geométricas, em dar corpo físico aos princípios de solução, em estruturas modulares baseadas em módulos pré-projetados, em elementos funcionais e no projeto completo com todos os detalhes necessários para a documentação final do produto (Pahl et al., 1996).

Posteriormente, Koller (Koller, 1979) desenvolveu uma metodologia de projeto que permite a utilização computacional. Esta metodologia foi dividida em **síntese de função, síntese qualitativa e síntese quantitativa**.

Koller (Koller, 1979) iniciou o desenvolvimento de sua metodologia assumindo que, em sistemas técnicos, apenas os estados e fluxos de energia, material e sinal podem ser modificados em magnitude e direção. Então, propôs um método de projeto orientado físico-algorítmicamente, no qual utilizam-se catálogos de soluções previamente definidas e armazenadas para as funções elementares. Para isso, Koller (Koller, 1979) criou 12 operações e suas

inversas, que foram chamadas de operações básicas e podem alterar os fluxos de material, energia e sinal. Pode-se citar, como exemplo, as operações básicas de transformar, agrupar, ampliar. A diferença entre operações básicas e funções é que as operações não possuem as grandezas definidas, refletindo apenas ações a serem realizadas.

A metodologia de Koller (Koller, 1979) utiliza-se da informação advinda do planejamento do produto, no qual se define a necessidade do mercado e se obtém a descrição do produto que se deseja, para definir uma lista de requisitos para o produto na fase de **síntese de função**.

A partir da lista de requisitos e de informações do planejamento do produto, formula-se a função global do produto que posteriormente é desmembrada em funções parciais ou funções elementares, formando uma estrutura de funções elementares. Vale esclarecer que as funções parciais são partes da função global, podendo ser subdivididas em novas funções parciais até se chegar ao nível de funções elementares. Funções elementares são funções indivisíveis e sobre as quais exerce-se abstração, visando-se obter as operações básicas correspondentes. Então, na **síntese qualitativa** pesquisa-se princípios de solução que satisfaçam às operações básicas, observando a estrutura de funções elementares e verificando a compatibilidade dos princípios de solução em relação às soluções das operações básicas próximas (Koller, 1979). Na fase de **síntese quantitativa** faz-se o dimensionamento das configurações do produto e os documentos de produção.

A recomendação de projeto alemã VDI 2221 (segundo Fiod (Fiod, 1993)) apresenta uma sistemática de procedimentos para a execução de projetos de produtos industriais. Esta sistemática divide o projeto em quatro fases principais e cada fase em passos. A todo passo estão associadas uma entrada e uma saída de informação. Ao longo do processo de projeto, as informações são processadas e transmitidas para as fases seguintes. As fases principais são as seguintes (Pahl et al., 1996):

- **Fase I:** estuda-se o problema a ser solucionado. Nesta fase, busca-se definir e esclarecer o problema. Então, coleta-se informações sobre o mercado consumidor, leis de proteção ambiental, patentes, produtos

similares, entre outros. Como resultado, elabora-se a lista de requisitos de projeto.

- **Fase II:** pesquisa-se concepções ou soluções que atendam às exigências do problema em estudo. Partindo-se da lista de requisitos e da definição do problema, define-se a função global do produto. Essa função global será dividida em funções menores ou sub-funções de complexidade inferior. Uma vez obtidas as sub-funções do produto, procura-se por princípios de solução que satisfaçam às sub-funções. Então, une-se os princípios de solução de forma a atender à função global do produto.
- **Fase III:** elabora-se o projeto preliminar, buscando-se dar forma e dimensão a cada módulo, selecionando-se materiais e processos de fabricação, definindo-se as medidas básicas do produto, testando-se a compatibilidade entre partes, entre outros. Faz-se, também, a avaliação técnica e econômica das soluções. O resultado dessa fase são representações formais para todo o produto, com listas de componentes e recomendações genéricas de fabricação e montagem.
- **Fase IV:** o projeto é detalhado fornecendo especificações definitivas dos componentes quanto à forma, medidas, acabamentos superficiais, especificações de materiais, custos estimados de fabricação, etc.

A metodologia de projeto de Pahl & Beitz (Pahl et al.,1996) estabelece um processo de projeto em quatro fases principais: **a definição da tarefa, o projeto conceltual, o projeto preliminar e o projeto detalhado.**

Na etapa de **definição da tarefa**, inicia-se o desenvolvimento de um produto considerando-se a situação do mercado consumidor e as necessidades da empresa, assim como sua situação financeira. A idéia de um novo produto pode surgir de discussões informais ou sessões de geração de idéias. Em ambos os casos, muitas idéias poderão surgir e haverá necessidade de selecionar as que forem utilizáveis. O resultado desta seleção é uma proposta de produto mais viável e com mais detalhes, sendo necessário detalhar as necessidades em relação ao produto antes de iniciar seu desenvolvimento. Esta fase, conduz para a formulação de uma lista de

requisitos, obtida a partir de informações coletadas, que deve estar de acordo com os interesses do processo de projeto e suas fases subseqüentes. Na elaboração da lista de requisitos pode-se observar algumas recomendações, como: fazer uso de uma lista inicial básica, questionar os objetivos que a solução deve satisfazer, que propriedades a solução deve ter, distinguir entre requisitos obrigatórios e desejáveis, arranjar os requisitos numa ordem clara, relacionando-os com a parte do sistema a que se referem, registrar os requisitos. Esta lista de requisitos servirá de base para as etapas seguintes.

O **projeto conceitual** consiste de vários passos, que não devem ser ignorados devido a possibilidade de ocorrência de problemas nas fases posteriores. O projeto conceitual é realizado após a fase de definição da tarefa e resulta em princípios de solução ou concepções que serão utilizadas para iniciar a fase posterior. Estes princípios de solução são obtidos pela abstração de problemas essenciais, estabelecimento de uma estrutura de funções, busca por princípios de solução utilizáveis e combinações destes princípios numa estrutura utilizável, para então resultar numa especificação de um princípio de solução utilizável. As vezes, um princípio não pode ser avaliado até que se transforme numa representação mais concreta. Esta concretização envolve a seleção preliminar de materiais, a produção de esboço da configuração dimensional e consideração das possibilidades tecnológicas. De forma geral, é sempre possível avaliar os aspectos essenciais de um princípio de solução e, também, revisar os requisitos que deve cumprir.

A representação dos princípios de solução pode ser feita de várias formas, entre as quais, através da estrutura de funções representada por diagramas de blocos, diagramas de circuitos ou fluxogramas. Por vezes, é necessário esboçar um esquema construtivo.

As soluções precisam ser avaliadas. Primeiramente, para eliminar as soluções que não forem adequadas. O restante deve ser julgado pela aplicação de critérios específicos. Estes critérios podem ser de natureza econômica e técnica. Com base nessa avaliação o melhor princípio de solução pode ser encontrado. Pode ocorrer que alguns princípios de solução satisfaçam, igualmente, os critérios estabelecidos e, então, a decisão do

melhor conceito de princípio de solução só pode ser encontrada em um nível mais concreto.

A etapa de **projeto preliminar** inicia com uma concepção avaliada técnica e economicamente. O objetivo básico é satisfazer uma dada função com componentes, configuração física e materiais apropriados, considerando critérios de segurança, Ergonomia, produção, montagem, operação e custos.

Os projetistas iniciam esta fase com princípios de solução e determinam a configuração física que será formada a partir destes. É freqüentemente necessário produzir muitas configurações físicas preliminares para obter-se mais informações sobre as reais vantagens ou desvantagens de cada princípio. A elaboração de configurações físicas termina com uma avaliação destas em relação a critérios econômicos e técnicos. A avaliação das configurações, individualmente, deve acarretar na seleção da configuração que parecer mais promissora. Esta por sua vez, pode beneficiar-se da incorporação de idéias e conceitos presentes nas outras configurações. A configuração definitiva permite o cumprimento das funções necessárias, resistência mecânica, compatibilidade espacial, entre outros.

No **projeto detalhado** estabelece-se descrições definitivas para a disposição dos elementos, formas, dimensões, acabamentos superficiais, materiais e custos de fabricação. É nessa fase que a configuração física, formas, dimensões e propriedades de todas as partes individuais são finalmente determinadas, os materiais são especificados, as possibilidades de produção avaliadas, custos estimados e todos os desenhos e documentos para a produção são produzidos. O resultado desta fase são os documentos para a produção. A observação de cada detalhe é necessária, pois problemas podem ocorrer devido à falta de atenção. As correções e melhoramentos devem ser feitos nessa fase, principalmente, aqueles concernentes às montagens e aos componentes.

As atividades essenciais dessa fase são:

- otimização da configuração física, das formas e dos materiais;
- otimização da produção.

As diversas fases da metodologia de Pahl & Beitz (Pahl et al.,1996) podem ser vistas na Figura 3.2. De forma geral, a otimização do projeto e dos processos de produção cresce em importância com o desenvolvimento do projeto (Pahl et al.,1996). A maioria das fases do processo de projeto não pode ser claramente delimitada (Pahl et al.,1996). Quase sempre uma decisão conceitual pode requerer um desenho em escala para decidir sobre possíveis configurações físicas. A configuração selecionada durante a fase de projeto preliminar pode envolver nada mais do que esboços. Os esboços não incluem a produção de modelos e protótipos. Porém, por causa das informações que eles fornecem, podem ser necessários em qualquer fase do processo de projeto. Em alguns casos, modelos e protótipos devem ser desenvolvidos na fase conceitual do projeto, com o objetivo de esclarecer algumas questões fundamentais (Pahl et al.,1996).

Back (Back, 1983) publicou uma metodologia de projeto composta de 8 fases, a saber:

- **Estudo da viabilidade:** faz-se nesta fase o levantamento e análise das necessidades dos consumidores, que são traduzidas em requisitos de projeto. Então, explora-se os sistemas envolvidos para os quais procura-se por soluções alternativas, que são avaliadas física, econômica e financeiramente.
- **Projeto preliminar:** esta fase inicia com um grupo de soluções alternativas possíveis de serem utilizadas, pois foram avaliadas na etapa anterior. Seleciona-se, então, a melhor solução para a qual formula-se modelos matemáticos. Análises de sensibilidade e compatibilidade das variáveis são realizadas visando possibilitar a determinação da faixa de variação para o funcionamento da melhor solução e a compatibilidade entre as partes da solução. Os parâmetros da solução são otimizados e testados, buscando-se determinar o comportamento e o desempenho da solução. Faz-se, finalmente, a simplificação da solução;
- **Projeto detalhado:** esta etapa visa produzir a documentação do produto para a fabricação, contendo a descrição, os desenhos, as especificações e as dimensões de componentes e subconjuntos.

- **Revisão e testes:** o objetivo da revisão e dos testes é simplificar o produto para eliminar problemas de qualidade e reduzir o custo. Esta etapa possibilita a obtenção de informações relativas ao desempenho do produto e de sua fabricabilidade;
- **Planejamento da produção:** consiste em planejar os processos de fabricação, os sistemas de controle de qualidade, a produção, as novas necessidades de pessoal e de instalações, o sistema de fluxo de informações e as questões financeiras relativas a nova necessidade de produção. Além disso, projeta-se os garabitos e ferramentas necessárias;
- **Planejamento de mercado:** consiste em planejar a armazenagem, as atividades de promoção, assim como o realizar o projeto da embalagem do produto visando a distribuição;
- **Planejamento para o consumo e manutenção:** esta etapa visa transformar o projeto do produto em adequado à manutenção, à confiabilidade, à segurança, à conveniência de utilização, aos aspectos estéticos e à economia de operação. Além disso, obtém-se dados para aperfeiçoamento ou desenvolvimento de novos produtos;
- **Planejamento da obsolescência:** incorpora-se características ao produto de forma a reduzir a razão de obsolescência e para garantir uma vida física maior do que a vida útil. Nesta etapa, também, procura-se considerar a reciclagem do produto e a possibilidade de utilização em vários níveis, quando a utilização normal não for mais possível. Além disso, procede-se com exames e testes de produtos inutilizados visando a obtenção de informações úteis a novos projetos.

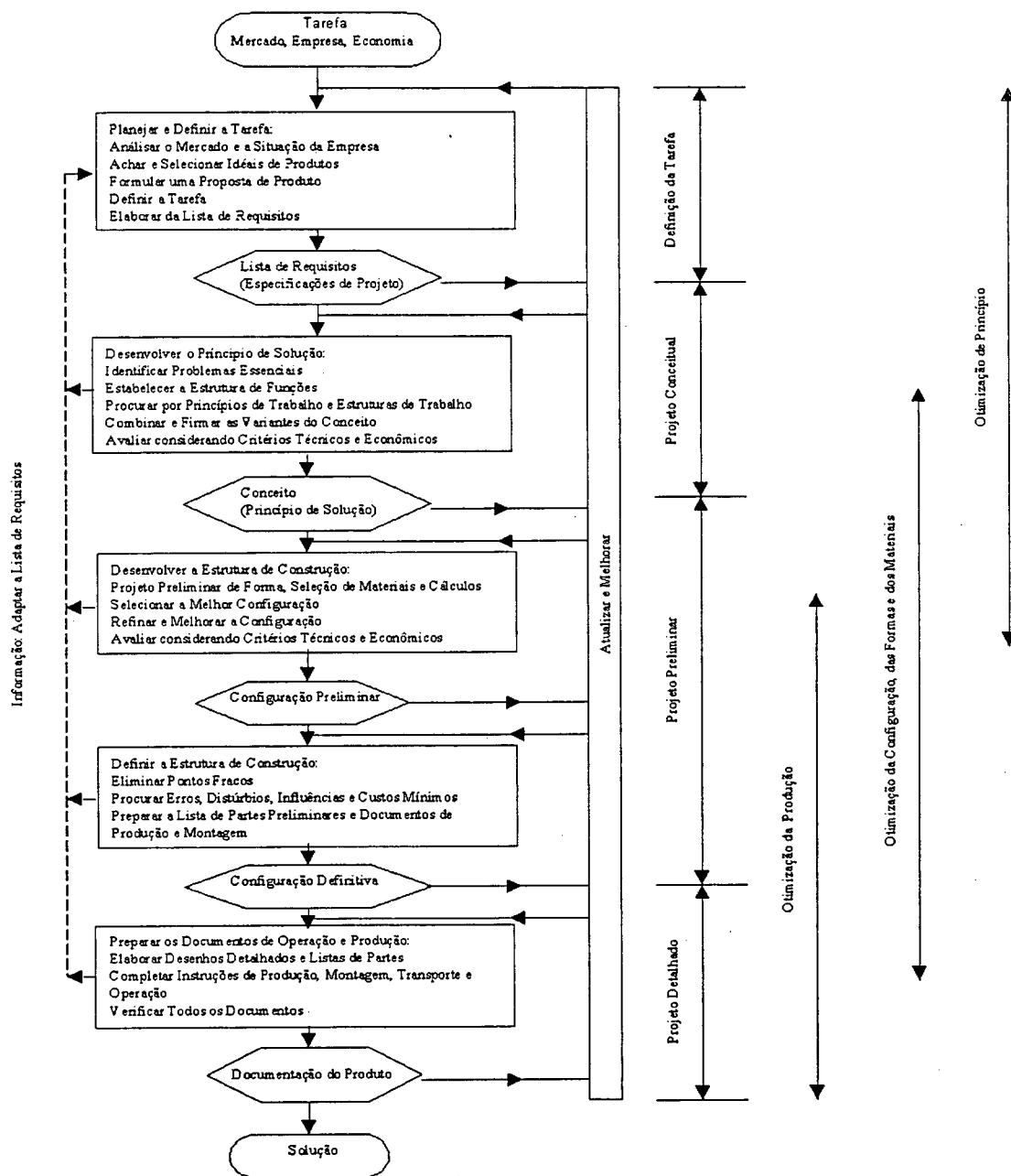


Figura 3.2 - Fases da metodologia de projeto de Pahl & Beitz (Pahl et al., 1996).

3.2 – Comparação entre as Metodologias de Projeto

Traçando-se um comparativo entre as diversas fases das metodologias de projeto, observa-se que elas possuem fases semelhantes, principalmente as fases iniciais (Tabela 3.1). Isto ocorre porque as metodologias de projeto são

casos particulares da metodologia para solução de problemas (Hubka, 1984) e compreendem algumas características desta, como por exemplo, a semelhança na fase inicial de definição e análise do problema. No caso específico de uma metodologia de projeto, a fase de planejamento do produto, estudo da tarefa ou estudo da viabilidade ou outro nome que esta fase receba, corresponde à obtenção, análise e especificação da informação inicial, que consiste na definição e análise do problema. Nesta fase, de forma geral, realiza-se as seguintes tarefas: esclarece-se os objetivos do trabalho, amplia-se as informações sobre tendências de consumo, necessidades dos consumidores, potencial de mercado e estado da tecnologia atual, estabelece-se restrições e condições e, finalmente, estabelece-se uma lista de requisitos para o produto. Esses requisitos podem ser divididos em obrigatórios e desejáveis e servirão para orientar o trabalho de desenvolvimento do produto. Os requisitos obtidos gerarão as especificações do produto, determinando assim as características finais do produto. Além disso, a lista de requisitos contribui decisivamente para a definição da função global do produto e da estrutura de funções. E, finalmente, os requisitos orientarão toda a configuração e detalhamento do produto.

As três fases subseqüentes à definição e análise do problema correspondem à definição da solução proposta. A fase de desenvolvimento de conceitos do produto consiste em procurar soluções para o problema. Então, estabelece-se a função necessária para que o produto realize a tarefa estabelecida. Como função, compreende-se a descrição abstrata e genérica de uma verdade, de forma concatenada e coerente, através de grandezas de entrada e saída e de estado de um sistema para desempenho de uma tarefa (VDI 2222, 1975). Depois disso, decompõe-se a função global ou total do produto em sub-funções ou funções parciais. Obtendo-se as funções parciais, busca-se princípios físicos de soluções que as satisfaçam. Na estruturação e configuração geral do produto estrutura-se os princípios de solução em módulos e posteriormente constrói-se a configuração total do produto. Na fase de detalhamento do produto realiza-se o detalhamento e determina-se a disposição das partes, as medidas, os custos de fabricação, os materiais, os

acabamentos das superfícies. Além disso, realiza-se as instruções de execução do projeto ou de fabricação do produto.

Tabela 3.1 - Quadro comparativo simplificado das metodologias de projeto de produto.

Fases das Metodologias de Projeto	Metodologias de Projeto					
	Asimow	Roth	Koller	VDI 2221	Pahl & Beitz	Back
Definição e Análise do Problema	X	X	X	X	X	X
Desenvolvimento de Conceitos do Produto	X	X	X	X	X	X
Estruturação e Configuração Geral do Produto	X	X	X	X	X	X
Detalhamento do Produto	X	X	X	X	X	X
Revisão e Testes						X
Planejamento da Produção	X		X			X
Planejamento da Distribuição	X					X
Planejamento do Consumo ou do Uso	X					X
Planejamento do Descarte	X					X

As outras fases, a partir do detalhamento do produto, compreendem atividades além da proposição de uma solução para um produto. Por isso, alguns autores desconsideram-as em suas metodologias. Caracterizam estas atividades o planejamento do consumo, o planejamento da distribuição, entre outros. Quando estas atividades estão sendo desenvolvidas o produto já foi completamente projetado.

De certa forma, a divisão feita neste trabalho para as 4 fases iniciais do projeto do produto, coincide com a divisão proposta por Pahl & Beitz (Pahl et al., 1996) e pela VDI 2222 (VDI 2222, 1975), que estabelece uma metodologia geral para o projeto de produtos.

As metodologias de projeto podem ser relacionadas dentro de algumas escolas de projeto (Maribondo, 2000), que caracterizam o processo de projeto. A **escola semântica** considera que todo produto é um objeto de projeto que transforma energia, material e sinal, obtendo saídas que diferem da energia, do material e do sinal de entrada. A função do produto é realizada pela transformação das entradas em saídas. Então, para facilitar o projeto de um produto, divide-se a função do produto em subfunções, que unidas desempenham o papel da função total do produto. Estas subfunções são, na verdade, decomposições do problema inicial que podem ser solucionados em partes, facilitando a solução do problema total do projeto. As metodologias de Roth (1982), Koller (1979) Pahl & Beitz (1996) e a VDI 2222 (1975) são representativas da escola semântica, devido a ênfase na execução da função global do produto.

A **escola de experiências passadas** não aceita que o projetista utilize-se de metodologias de projeto, mas baseie-se unicamente na sua experiência anterior. Segundo esta escola, qualquer metodologia previamente estabelecida restringe a criatividade do projetista.

A **escola sintática** caracteriza-se pela descrição do projeto passo a passo, considerando o processo de projeto, ou seja, concentra-se nos procedimentos que devem ser executados pelo projetista durante o processo de projeto. As metodologias de Asimow (1968) e Back (1983) estão mais próximas à escola sintática, devido a ênfase no cumprimento dos procedimentos, previamente estabelecidos, ao longo do processo de projeto.

A **escola filosófica** caracteriza-se pela preocupação com o processo de pensamento do ser humano durante as atividades de projeto.

A **escola psicológica** dá ênfase a criatividade durante o projeto.

3.3 – Diretrizes para o Projeto de Produtos Seguros

Nenhuma das metodologias apresenta procedimentos específicos para garantir o projeto de produtos seguros, porém alguns autores citam algumas recomendações. Pahl & Beitz (Pahl et al., 1996) apontam que os projetistas

devem utilizar princípios que garantam a proteção dos seres humanos, do ambiente e das funções técnicas do produto. Então, recomendam que os projetistas podem recorrer a três princípios, quando do desenvolvimento do projeto preliminar, para incorporar segurança aos produtos:

- segurança direta: o princípio da segurança direta pode ser dividido em três outros princípios: da vida segura, da falha segura e da redundância. O princípio da vida segura orienta o projetista a estruturar o produto de forma a permitir a operação sem quebras ou falhas. Se falhas forem inevitáveis, utiliza-se o princípio da falha segura, que orienta para a minimização de conseqüências de falhas ou de quebras. O princípio da redundância orienta para a utilização paralela de componentes adicionais, de forma que, em caso de quebras ou falhas, a substituição do componente inutilizado ocorra sem prejuízos;
- segurança indireta: a aplicação desse princípio envolve a utilização de equipamentos e sistemas de proteção. Esses equipamentos e sistemas de proteção agem quando riscos ocorrem, proporcionando ações de remoção, separação ou limitação da situação de risco. Como exemplos desses sistemas e equipamentos de proteção pode-se citar as barreiras de proteção e válvulas de alívio para pressão;
- avisos: apenas apontam os perigos e indicam as áreas de risco que devem ser evitadas pelos usuários de um produto. Estes, apenas devem ser utilizados como último recurso para o projeto de produtos seguros.

Analisando-se as recomendações de Pahl & Beitz (Pahl et al.,1996), verifica-se que a sua eficácia é parcial, pois o princípio da segurança direta reflete ações para melhoria da confiabilidade e para ocorrência de falhas seguras, não estando realmente associado à segurança. As ações recomendadas pelo princípio da segurança indireta são puramente ações corretivas, pois são utilizadas sobre produtos perigosos que já foram projetados desta forma. Os avisos, por sua vez, possuem baixa eficácia, pois estão sujeitos à atenção e interpretação por parte do usuário.

O desenvolvimento de produtos seguros através de metodologias de projeto, depende fundamentalmente das diretrizes que orientam o processo de projeto. As diversas diretrizes encontradas na bibliografia (Nutter, 1984) (Main, 1996) (Weinstein, 1997) (AR 385-16, 1990) (EN 292, 1991) (Priest, 1988) são quase sempre semelhantes e apontam para os seguintes princípios básicos:

- sempre que possível, projetar, manufaturar e distribuir produtos livres de características inseguras;
- se isso não for possível, construir barreiras e proteções para resguardar as pessoas das características inseguras do produto;
- se isso também não for possível, prover o usuário com instruções e avisos adequados.

Segundo Main (Main, 1996), a eliminação dos perigos do produto confere ao produto segurança intrínseca. Por outro lado, proteções e barreiras podem não funcionar devido à determinadas circunstâncias. E a utilização de avisos provoca muitos problemas, entre os quais, a segurança do usuário depender exclusivamente dele. As vezes, apontam-se para outras diretrizes como treinar o usuário (Main, 1996) (AR 385-16, 1990). Porém, o treinamento dos usuários, além de tornar a segurança dependente dos usuários, cria um problema adicional, ministrar o treinamento para todos que utilizam o produto.

A aplicabilidade das diretrizes para eliminação de perigos ou controle de riscos depende da natureza deles. Algumas características funcionais do produto, que até onde se conhece são insubstituíveis na sua essência, são inerentes ao produto, sendo então identificadas e controladas, como é o caso de lâminas de facas, das serras de madeira, dos tanques de combustível. Deve-se eliminar por completo os perigos, cuja eliminação não prejudique o desempenho das funções do produto. Outros perigos menos graves, cuja eliminação implica em prejuízo da funcionalidade do produto, podem ter seus riscos controlados. Porém, perigos com possibilidade de gerar acidentes graves devem ser eliminados, mesmo que isso prejudique parcialmente o desempenho do produto. O controle de riscos, através de proteções e

barreiras, deve ser realizado de forma a não afetar a confiabilidade e não adicionar novos riscos ao produto (Priest, 1988).

Observa-se, que as diretrizes para eliminação de perigos, controle de riscos e colocação de avisos é um padrão básico comumente aceito para o projeto seguro, devendo ser utilizadas. Weinstein (Weinstein, 1997) comentando processos judiciais de responsabilidade sobre produtos, afirma que estas diretrizes são aceitas em tribunais, quando de litígios envolvendo projeto de produtos.

Além das diretrizes citadas anteriormente, segundo Barnett (Barnett, 1994) deve-se incluir o princípio da segurança uniforme. Para explicar este princípio, considera-se que os indivíduos formam o seu conhecimento sobre a dedução ou a indução. A dedução é o processo de raciocínio do qual tira-se conclusões a partir de princípios ou informações já conhecidas, ou seja, tira-se verdades específicas de verdades gerais, por isso, nestes casos, as conclusões são sempre verdadeiras. Por outro lado, a indução gera verdades gerais a partir de verdades específicas, baseando-se na experiência própria, na intuição e, às vezes, na fé. Neste caso, tende-se a generalizar algo específico, por exemplo: se alguém conhece somente cães bravos, por indução acredita que todos os cães são bravos, o que não é verdadeiro. Segundo Barnett (Barnett, 1994), pelo princípio da segurança uniforme, perigos percebidos de modo similar, devem ser tratados similarmente. Por exemplo, se um equipamento oferece 15 perigos semelhantes, porém apenas 14 deles estão protegidos por dispositivos, então, por indução, acredita-se que um perigo está desprotegido por ser de menor importância, senão estaria protegido. Sendo assim, o risco de acidentes com este perigo é maior do que se todos os outros estivessem desprotegidos. Isto ocorre porque criou-se uma falsa sensação de segurança. Isto também ocorre em relação aos avisos, que devem tratar perigos similares de mesma forma.

As diretrizes citadas anteriormente devem ser convertidas em requisitos de projeto ou em orientações capazes de guiar o processo de projeto, buscando-se eliminar perigos, controlar riscos, pôr avisos e atentando para o tratamento semelhante de perigos e riscos semelhantes.

Outra questão de importância no desenvolvimento de produtos é a definição correta dos requisitos de segurança. Visto que os requisitos irão orientar todo o processo de projeto. Identificou-se no estabelecimento dos requisitos de segurança uma atividade crítica.

Em relação aos requisitos de segurança, a NASA publicou um documento que estabelece diretrizes para os requisitos mínimos de segurança para projeto, testes e valores para o lançamento do veículo espacial Pegasus (Nasa, 2000):

- nenhuma combinação de falhas ou erros do operador pode resultar em acidentes catastróficos do veículo, resultando em perda de missão ou morte;
- nenhuma falha simples ou erro do operador poderá resultar em lesões a pessoas ou danos significativos à nave;
- o projeto deve possibilitar a falha segura da interface entre o veículo e equipamentos de suporte ao voo ou de equipamentos de suporte de terra;
- capacidade de remover potência do Pegasus quando ocorrerem eventos onde a segurança for inferior à segurança crítica.

Outra possibilidade de estabelecimento de requisitos de projeto é através das Diretrizes para Baixa Voltagem da Comunidade Econômica Européia (LVD - Low Voltage Directive). As exigências essenciais contidas nas diretrizes são as seguintes (Kervill, 2000):

- o produto não deve matar pessoas;
- o produto não deve lesionar pessoas;
- o produto não deve matar animais domésticos;
- o produto não deve danificar propriedades.

As diretrizes para estabelecimento de requisitos de segurança estão inseridas dentro do conceito de segurança, no qual evita-se o acidente e a lesão ou dano. Generalizando estas diretrizes, observa-se que elas denotam a

seguinte estrutura básica: características físicas ou operacionais do produto, mesmo quando sob influência externa, não podem ocasionar danos ou lesões.

Em geral, pode-se estabelecer requisitos de projeto utilizando-se de normas de segurança estabelecidas, análise de produtos similares e revisão do produto existente, no caso de reprojeto. A título de exemplo, o estabelecimento dos Requisitos de Segurança para o Projeto Pegasus (Nasa, 2000) propõe este mesmo grupo de opções, para eliminar ou controlar perigos através dos requisitos de projeto, devendo-se então:

- identificar-se os perigos normalmente relacionados com este tipo de sistema ou similar;
- verificar a existência de normas para estes perigos;
- verificar a existência de outros perigos através das técnicas de análise;
- recorrer a normas e recomendações de projeto contidas em publicações, manuais, entre outros.

Muitos requisitos de projeto são formulados sobre normas específicas, como por exemplo a Norma Militar Americana MIL-STD-1522 para dutos, reservatórios e outros componentes sujeitos a pressões de líquidos e gases. Neste caso, o controle ou eliminação dos perigos é realizado mantendo o projeto em conformidade com os padrões ou normas de projetos (Nasa, 2000).

Existem várias normas e recomendações de projeto para segurança publicadas por instituições como a Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT ou a norte americana Consumer Product Safety Commission - CPSC. Entre as normas publicadas pela ABNT, relativas à segurança, pode-se citar a NBR 13930 (ABNT, 1997) (requisitos de segurança para prensas mecânicas), a NBR 13970 (ABNT, 1997a) (temperaturas para superfícies acessíveis) e a NBR 13760 (ABNT, 1996) (folgas mínimas para evitar esmagamentos). Como exemplo, entre as normas e recomendações norte-americanas da CPSC, pode-se citar o padrão de segurança para capacetes de ciclistas (CPSC, 2000), o padrão para flamabilidade de carpetes e tapetes (CPSC, 2000a) e a recomendação para utilização de chumbo em produtos ao consumidor (CPSC,

2000b). Estas normas abordam a segurança em diversos aspectos de diferentes produtos, podendo ser aplicáveis a produtos semelhantes.

A escolha de padrões ou normas apropriadas é uma das mais importantes tarefas para o projeto seguro, devendo estes serem selecionados no início de um projeto antes de qualquer definição de especificações ou detalhes de projeto de componentes, pois isto provavelmente irá afetar estas atividades (Kervill, 2000). Padrões ou normas de projeto que envolvem a questão da segurança estão normalmente associados a limitantes de características do produto que estão em contato com o operador. Por exemplo, limitação da temperatura da superfície da máquina, da potência elétrica transmitida, das dimensões de partes, da utilização ou acesso a materiais explosivos.

Algumas das técnicas utilizadas no segundo passo, para identificar perigos, podem apontar requisitos para evitá-los (Nasa, 2000). Além das técnicas citadas, os relatórios de segurança, que contém um resumo dos dados coletados durante o projeto e desenvolvimento do produto, incluem além de um resumo dos perigos potenciais e da estimativa do risco, procedimentos recomendados ou ações corretivas para reduzir os riscos a níveis aceitáveis (AR 385-16, 1990), que podem ser transformados em requisitos de projeto.

3.4 - Métodos para o Projeto de Produtos Seguros

Existem várias formas de melhorar a segurança dos produtos através do projeto, conforme os vários autores citados a seguir.

Schoone-Harmsen (Schoone-Harmsen, 1990) propõe um método para o projeto de produtos seguros. Este método é composto de 2 partes: uma de análise e outra de síntese, conforme apresentado na Figura 3.3. A primeira parte, a análise do problema, possibilita a identificação dos problemas de segurança devido às características críticas do produto, às ações críticas do usuário e às condições ambientais críticas, que podem resultar em acidentes. Através da síntese, busca-se soluções para os problemas em relação às

características do produto, às ações críticas do usuário e às condições ambientais. Finalmente, faz-se a avaliação da efetividade da solução. A avaliação da solução é feita através da comparação qualitativa entre o projeto anterior do produto e o atual, buscando determinar se os problemas foram resolvidos e se novos problemas foram criados.

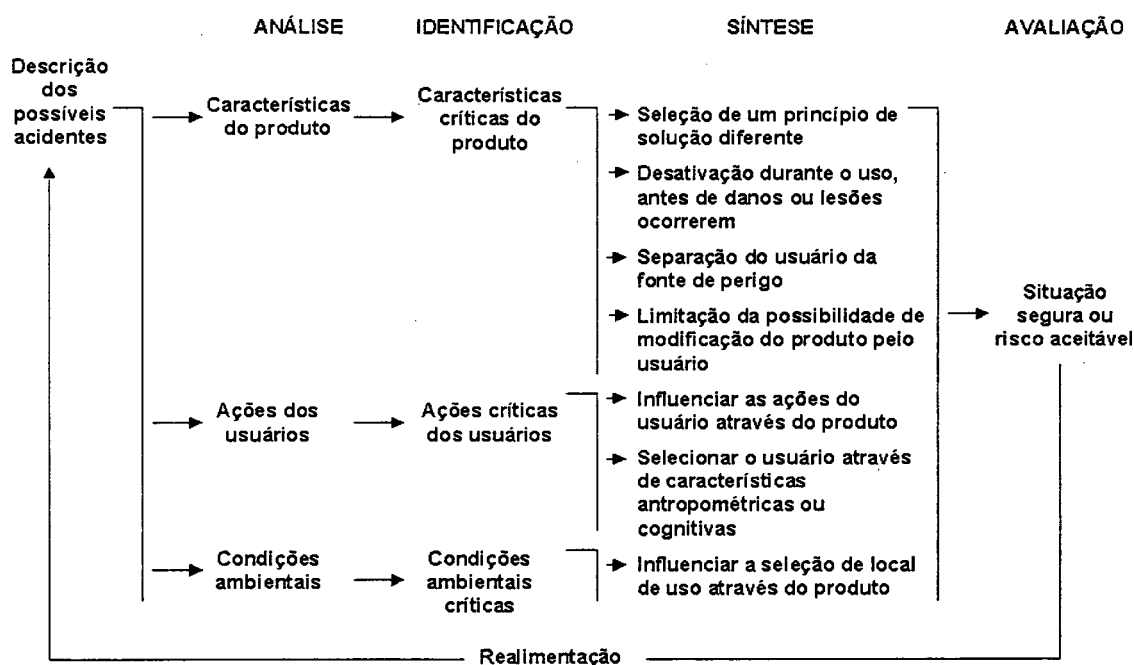


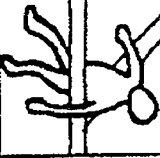
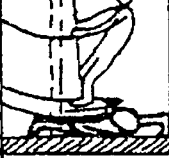

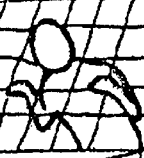









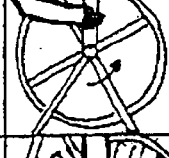



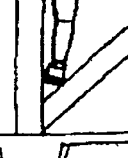

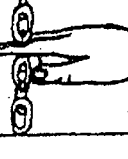


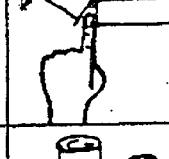



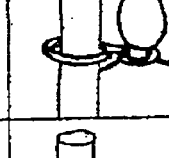

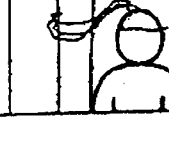


Figura 3.3 - Método para projeto de produtos seguros (Schoone-Harmsen, 1990).

Para Aken (Aken, 1997) o (re) projeto de produtos ao consumidor pode ser dividido em dois estágios: (1) identificação de perigos e estimativa do risco e (2) busca de medidas de eliminação de perigos e redução de riscos.

No primeiro estágio, de identificação de perigos e estimativa do risco, pode-se utilizar técnicas de análise de segurança (como apresentadas no Capítulo 4). Além disso, projetista deve buscar compreender como o produto e suas características podem provocar acidentes, verificando os perigos e as possibilidades de interações com o usuário. Por exemplo, pode-se observar as diversas possibilidades de aprisionamento de partes do corpo por produtos de parques infantis na Tabela 3.2.

Tabela 3.2- Matriz de possíveis situações de aprisionamento
(Aken, 1997).

	Completamente Confinado		Parcialmente Confinado 3	Geometria em V 4	Partes Salientes 5	Partes Míveis 6
	Rígido 1	Não Rígido 2				
A Corpo Inteiro						
B Cabeça/ Pescoço Iniciando com a Cabeça						
C Cabeça/ Pescoço Iniciando com o Pé						
D Mãos e Braços						
E Pés e Pernas						
F Dedos						
G Roupas						
H Cabelos						

Quanto ao segundo estágio, a busca de medidas de eliminação de perigos e redução de riscos pode ser conduzida intuitivamente ou dedutivamente, observando padrões e soluções já utilizadas anteriormente.

Aken (Aken, 1997) cita que existem duas classes básicas de padrões de segurança, uma sobre produtos específicos, como por exemplo sobre produtos para crianças, e outra para perigos específicos, como por exemplo sobre temperaturas nas superfícies de máquinas.

Embora estes padrões sejam normalmente para máquinas industriais, podem ser utilizados para quaisquer outros produtos (Aken, 1997). A principal diferença entre as máquinas industriais e os produtos ao consumidor é que as máquinas são utilizadas em ambiente industrial por usuários que são trabalhadores adultos e possuem, normalmente, treinamento e educação específica. Nos produtos ao consumidor, isto não acontece. Os usuários destes formam um grupo heterogêneo e difícil de determinar, podendo ser de crianças ou de adultos e podem não conhecer a forma correta de utilização do produto (Aken, 1997).

Main (Main, 1996) propõe um método para melhoria da segurança dos produtos, enfatizando a identificação de perigos. Este método proposto composto de 5 passos, a saber:

- definição do sistema: inclui as características físicas e funcionais e a compreensão e avaliação de pessoas, procedimentos, vantagens, equipamento e ambiente;
- identificação dos perigos: identifica-se os perigos e possíveis eventos indesejáveis. Além disso, determina-se as causas destes perigos. Entre as formas de identificar os perigos está a técnica de criatividade "brainstorming", considerar as fases do projeto, entrevistar usuários, avaliar falhas e modos de falhas, examinar produtos similares;
- estimativa dos perigos: a probabilidade e a gravidade. Além disso, escolher entre eliminar o perigo ou aceitar e controlar o risco;
- solução para os perigos: eliminar o perigo, assumir o risco, controlar o risco ou implementar ações corretivas;
- monitoramento da efetividade e do aparecimento de perigos inesperados.

Estes métodos devem ser utilizados bem no início do processo de projeto, pois segundo Main & Ward (Main et al., 1992) há consenso entre os especialistas de segurança que assim deve ser. Main & Ward (Main et al., 1992) comentam que motivação dos projetistas para desenvolver produtos seguros para produzir produtos mais seguros não é o problema, pois os projetistas não buscam criar produtos inseguros. O problema está em formalizar ou explicitar métodos que possam ser parte integrante do processo de projeto, baseados na avaliação dos perigos e no controle de suas possíveis conseqüências, sendo esta a motivação para propor um método, para melhorar a segurança dos produtos.

Nestes métodos aparecem duas fases em comum: uma analítica e outra sintética. A fase analítica consiste na definição do sistema, na identificação de perigos e riscos e na estimativa de riscos. Ou seja, na identificação do problema de segurança relativo ao produto, que são basicamente devido às características do produto, às ações do usuário e aos problemas ambientais. Na fase analítica pode-se utilizar de métodos de análise indutivos e dedutivos. A fase sintética é onde se gera as soluções para o problema da segurança, baseadas principalmente na eliminação dos perigos, limitação dos riscos e informações ao usuário. Aparece ainda uma última fase, a fase de avaliação da efetividade da solução. Nesta fase, pode-se verificar se as soluções adotadas resolveram o problema de segurança constatado no produto e se não geraram mais problemas. Anteriormente a estas, pode-se ainda inserir uma primeira fase, a fase de coleta de informações. Em relação a todo o processo de projeto de produtos, normalmente, as fases analíticas e sintéticas se alternam e se complementam diversas vezes, visando a correção de problemas surgidos (Pahl et al., 1996).

Os métodos para projetos para produtos seguros apresentados podem ser caracterizados dentro da escola sintática de projeto, cuja importância está na execução de procedimentos que viabilizam atingir os fins desejados.

3.5 - Considerações Finais

A utilização de metodologias de projeto, caracterizadas como da escola semântica, garante, prioritariamente, a funcionalidade do produto através do cumprimento da função principal, que justifica a existência dele. E sobre essa função principal, que representa a missão ou tarefa a ser realizada pelo produto, são configuradas essas metodologias de projeto. Porém, outros aspectos, como segurança, normalmente são colocados como secundários em relação ao cumprimento da função principal. Vale observar, que os produtos são concebidos para satisfazer as necessidades dos consumidores e estas necessidades são hierarquicamente superiores ao cumprimento de qualquer função estabelecida pelo projetista, quando do projeto. Então, se os produtos provocarem lesões ou danos a esses consumidores, estarão destruindo a razão de sua existência - os próprios consumidores. Por esse ponto de vista, tanto a segurança dos consumidores quanto o cumprimento da função principal são os aspectos prioritários que devem ser contemplados no projeto de um produto.

Por outro lado, as metodologias analisadas, relacionadas com a escola sintática, não possuem procedimentos detalhados apontando como garantir que o produto seja seguro, demonstrando como, onde, por que e de que forma deve-se garantir a segurança do produto, durante o processo de projeto. Elas possuem procedimentos para garantir o desenvolvimento de um produto, que terá objetivo de satisfazer uma determinada necessidade. Então, conclui-se que nenhuma das metodologias de projeto estudadas possui procedimentos específicos capazes de garantir que o produto se torne mais seguro, como por exemplo, visando garantir a elaboração de uma lista de requisitos, que contenha os requisitos de segurança. A inclusão dos requisitos de segurança corretos e adequados para o produto depende exclusivamente da conscientização do projetista para o problema da segurança, o que nem sempre acontece, pois é comum a falta de preparo dos projetistas em relação às questões de segurança, como visto no Capítulo 1. O resultado disto é a ocorrência de grande quantidade de acidentes envolvendo produtos.

Observou-se que a primeira e mais importante decisão, em termos de segurança, é a necessidade da definição correta da lista de requisitos. Pois ela irá orientar o desenvolvimento do projeto, eliminando ou limitando os perigos presentes no produto. As atuais metodologias de projeto não abordam como definir os requisitos específicos de segurança, pois não há um roteiro ou procedimento capaz de identificar as necessidades do consumidor em relação a segurança, que nem sempre são óbvias, e transformá-las em requisitos de projeto para melhorar a segurança dos produtos. Sob este aspecto, existe uma contradição nas metodologias de projeto: dizem que é importante a segurança, durante determinada fase ou durante todo o projeto, mas não dizem como inseri-la de fato.

Os métodos para o projeto de produtos seguros, por sua vez, possuem estruturas semelhantes, onde primeiro faz-se a identificação dos perigos ou dos problemas com potencial para causar acidentes e depois propõe-se soluções. Porém, eles não detalham como analisar perigos e estimar riscos, utilizando-se para isso de técnicas auxiliares, como as técnicas de análise de segurança. Além disso, não geram os requisitos de projeto, que possibilitariam orientar processo de projeto como um todo.

Conclui-se que a simples utilização das metodologias citadas anteriormente não satisfaz os requisitos exigidos de segurança. Sendo assim, cabe aos projetistas a tarefa de buscar técnicas que auxiliem o projeto de produtos seguros. Dentro desta perspectiva, existem algumas técnicas de análise que visam auxiliar os projetistas na análise da segurança dos produtos, podendo ser incorporadas como auxiliares às metodologias de projeto de produtos. Estas serão abordadas no próximo capítulo deste trabalho,

CAPÍTULO IV

4.0 - ANÁLISE, MELHORIA E ESTIMATIVA DA SEGURANÇA

O objetivo deste capítulo é apresentar e comentar as diversas formas de inserir segurança no projeto, seja através das técnicas de análise de segurança, também conhecidas como técnicas de análises de perigos, ou de outras formas utilizadas, como listas de verificação e fatores de segurança.

Além disso, neste capítulo estuda-se as diferentes formas de estimar ou medir a segurança dos produtos. Algumas destas formas de estimativa ou de medição são utilizadas nas técnicas de análise de segurança, sobre as quais se verificou a coerência entre o que é medido e o que se deseja medir.

A importância deste capítulo consiste na verificação de como a segurança dos sistemas é tratada, quando da sua análise e medição, com o objetivo de ser melhorada.

Quanto as técnicas de análise de segurança, revisa-se as técnicas de análise preliminar de riscos, de incidentes críticos, de análise dos modos de falha e seus efeitos, de análise da interface, da análise lógica de circuitos, do mapeamento e de análise da árvore de falha. Porém, anteriormente a revisão destas técnicas de análise verifica-se as suas estruturas básicas.

Quanto a mensuração ou a estimativa da segurança são estudados os métodos quantitativos e qualitativos existentes.

4.1 - Classificação das Técnicas de Análise de Segurança Segundo Wang & Ruxton (Wang et al., 1997)

Quando se estuda aspectos de segurança para os produtos de engenharia, é quase impossível tratá-los como um sistema único, devido ao tamanho ou à complexidade deles. O procedimento lógico é dividi-los em partes funcionais, como subsistemas e componentes. O modelamento da

segurança destas partes funcionais pode ser organizado numa estrutura lógica e os inter-relacionamentos podem ser examinados e, finalmente, um modelo do sistema de segurança pode ser formulado. A formulação do modelo de sistema de segurança pode ser demasiadamente complexa para produtos complexos requerendo aproximações e julgamentos excessivos. Esse modelo pode ser melhor executado por alguém que conheça a operação do sistema.

Normalmente, as técnicas de análise de segurança são estudadas de uma maneira geral, sendo que *quando* e *como* estas técnicas são aplicadas no processo de projeto e como se interrelacionam, usualmente, não são especificados. Isso requer compreensão da forma pela qual foram estruturadas. Wang & Ruxton (Wang et al., 1997) utilizaram-se da compreensão da estruturação destas técnicas para classificá-las em:

- técnicas de análise qualitativa de segurança;
- técnicas de análise quantitativa de segurança;
- técnicas de análise de segurança de efeito-causa;
- técnicas de análise de segurança de causa-efeito.

Essa classificação das técnicas de análise de segurança não são excludentes entre si, pois uma técnica de segurança pode ser classificada como qualitativa e de causa-efeito, por exemplo. Essas técnicas de segurança são chamadas de técnicas de análise, pois auxiliam na análise de perigos em produtos já existentes ou em projeto. Sendo assim, não se constituem técnicas de síntese que auxiliariam os projetistas a determinar que decisões são mais adequadas para o projeto de produtos seguros.

Uma **análise qualitativa de segurança** é usada para identificar possíveis perigos, documentar e avaliar a importância relativa dos perigos identificados, sistematizar dados para facilitar uma futura análise quantitativa, auxiliar na avaliação sistemática de todo o sistema de segurança e indicar ações corretivas apropriadas (modificações no projeto, procedimentos administrativos e outros) que irão reduzir as freqüências ou conseqüências dos riscos.

As etapas gerais da execução de uma análise qualitativa de segurança consistem em identificar os riscos significativos, suas conseqüências, suas probabilidades de ocorrência e apresentá-los numa tabela, num mapa, numa árvore de falha ou em outro formato que seja adequado. E, para isso, capacidade de julgamento e experiência anterior são necessárias ao projetista. A partir da análise qualitativa de segurança, algumas medidas podem ser tomadas para eliminar ou controlar riscos baseadas na informação produzida. Porém, normalmente, estas medidas não fazem parte de uma técnica de análise qualitativa.

As possíveis conseqüências dos riscos podem ser classificadas em quatro categorias de gravidade como apresentadas na Tabela 4.1, variando de catastrófico à desprezável. Da mesma forma, a probabilidade de ocorrência de um risco pode ser descrita usando a variação de níveis de "frequente" a "remoto" como mostrado na Tabela 4.2.

A Tabela 4.3 apresenta os criticalidade dos riscos considerando suas probabilidades e conseqüências, por isso, podendo ser utilizada como referência para eliminação de riscos. Como exemplo, baseando-se na combinação de conseqüências e probabilidade de ocorrência, um risco marginal com uma probabilidade remota de ocorrência não receberá qualquer ação corretiva, desde que a ocorrência de acidentes associados a ele não represente um custo elevado. Por exemplo, ações de projeto são necessárias para eliminar ou controlar os riscos que receberam pontuação entre 15 e 25. As conseqüências dos riscos devem ser controladas ou as probabilidades devem ser reduzidas para riscos que receberam pontuação entre 10 e 15. O controle do risco somente é desejável para riscos que receberam pontuação entre 5 e 10, se as conseqüências desses forem efetivamente prejudiciais. Porém, ações de projeto normalmente não são necessárias para os riscos que receberam pontuação entre 1 e 5.

Tabela 4.1 - Níveis de gravidade das conseqüências dos riscos, quando estes materializarem-se em acidentes (Gruhn, 1991).

Nível	Descrição	Conseqüências Potenciais		
		Lesões Pessoais	Meio Ambiente	Perda de Produção e e/ou de Equipamento
5	Catastrófico	Morte	Exposição do ambiente externo com danos	≥ M\$1.5
4	Severo	Acidente com perda de tempo	Exposição do ambiente externo sem danos	≥\$500.000 até M\$1.5
3	Sério	Tratamento médico e restrições ao trabalho	Exposição local contida imediatamente	≥\$100.000 até \$500.000
2	Pequeno	Primeiros socorros	Exposição local contida imediatamente	>\$2.500 até \$100.000
1	Desprezável	Sem lesões	Sem exposição	≤ \$ 2.500

Tabela 4.2 - Níveis de probabilidade dos riscos materializarem-se em acidentes (Gruhn, 1991).

Frequência de Ocorrência			
Nível	Descrição	Itens Individuais	Frequência
5	Freqüente	Provável ocorrer freqüentemente	Experimentado continuamente
4	Provável	Irá ocorrer muitas vezes durante a vida de um item	Irá ocorrer freqüentemente
3	Ocasional	Provável ocorrer algumas vezes durante a vida de um item	Irá ocorrer muitas vezes
2	Remoto	Incomum mas possível de ocorrer durante a vida de um item	Incomum, mas é razoável esperar que ocorra
1	Improvável	Ocorrência tão incomum, que pode nunca ocorrer	Incomum de ocorrer, mas possível

Tabela 4.3 - Matriz de criticalidade (Gruhn, 1991).

		Probabilidade do Risco				
		5	4	3	2	1
Severidade do Risco	5	25	20	15	10	5
	4	20	16	12	8	4
	3	15	12	9	6	3
	2	10	8	6	4	2
	1	5	4	3	2	1

A proposta de uma **análise quantitativa de segurança**, além de alertar o projetista aos riscos do produto, é prover ao projetista a quantificação da probabilidade de ocorrência de cada condição de falha crítica e as conseqüências associadas. Desta forma, as análises quantitativas utilizam-se do conhecimento acerca das características de falha de cada componente, individualmente, possibilitando a construção de um modelo matemático associado com algumas das seguintes informações: taxas de falha, taxas de reparo, tempo de missão, lógica do sistema, calendário de manutenção e erro humano.

Os resultados que são obtidos numa análise quantitativa de segurança, normalmente demonstram a probabilidade de ocorrência de cada evento de falha do sistema e a magnitude das possíveis conseqüências.

Dependendo dos requisitos de segurança e dos dados de segurança disponíveis, tanto uma análise quantitativa quanto uma análise qualitativa podem ser utilizadas, complementarmente, no estudo do risco de um sistema em termos de probabilidade de ocorrência e as suas possíveis conseqüências.

A classificação das técnicas de análise em qualitativa e quantitativa está associada à análise de riscos sobre elementos físicos do produto. Porém, muitas vezes, a questão da segurança não se resume em observar um componente de um produto e determinar como sua segurança pode ser melhorada. A melhoria da segurança passa também, pela observação das interações dos componentes num produto, que possibilitam a formação de eventos de risco.

Uma **técnica de análise de segurança com base no sentido dos eventos do efeito para causa** (técnica de análise de segurança de efeito-

causa) inicia com o estudo de acidentes e incidentes anteriores, registrados com produtos similares. A partir destes eventos finais as causas principais são identificadas. Isso se dá de forma dedutiva até que todas as causas sejam identificadas ao nível necessário de detalhamento. Obviamente, experiência, bom julgamento e compreensão do problema são essenciais para o uso eficiente dessa técnica. Na aplicação dessa técnica, tanto uma análise qualitativa quanto uma análise quantitativa podem ser utilizadas para estimar e avaliar riscos. A partir da informação produzida, pode-se fazer uma revisão de projeto, fechando-se o ciclo do processo de projeto. Um diagrama de utilização da técnica de análise de segurança de efeito-causa é mostrado na Figura 4.1.

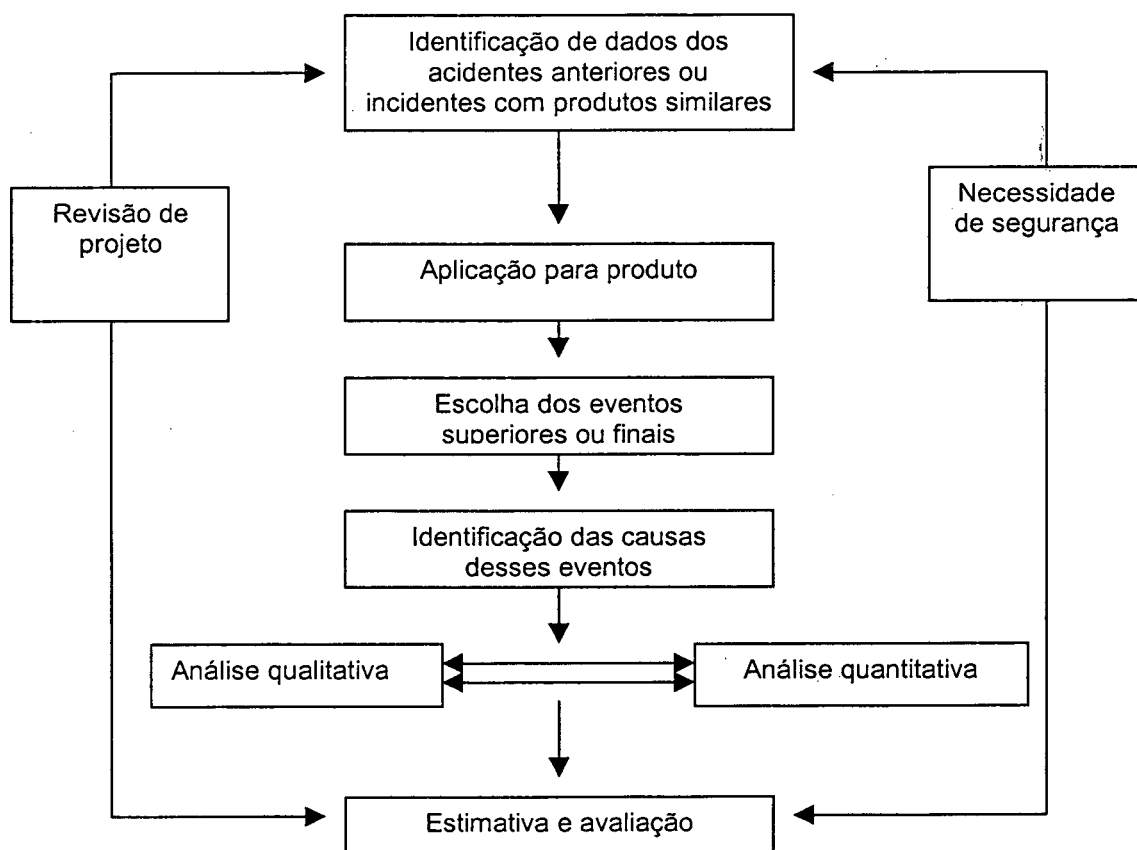


Figura 4.1 - Técnica de análise de segurança de efeito-causa (Wang et al., 1997).

Para produtos de engenharia com um nível de inovação comparativamente baixo, a aplicação da técnica de segurança de efeito-causa torna-se adequada e pode economizar tempo, pois direciona os esforços

apenas para os caminhos de falhas principais de eventos de falha do sistema. Contudo, para o projeto de produtos inovadores, freqüentemente haverá falta de conhecimento ou de experiência na observação das soluções a serem utilizadas no projeto e seus possíveis efeitos sobre a segurança do produto, podendo apresentar as seguintes dificuldades:

- os dados sobre falhas de produtos similares não estarem disponíveis;
- há incerteza sobre a identificação de todos os eventos de falha do sistema e respectivas causas;
- as propriedades dedutivas dessa técnica podem não abordar todas as interações complexas presentes num grande produto, de forma confiável.

No processo de projeto, utilizando-se uma **técnica de análise de segurança considerando a seqüência de eventos da causa para o efeito (técnicas de análise de segurança de causa-efeito)**, o sistema a ser analisado é dividido em subsistemas e componentes para identificar todos os possíveis riscos. A identificação do risco inicia sobre os componentes, então progressivamente, passa-se aos subsistemas e, finalmente, ao sistema. Todas as combinações de eventos de falha possíveis em nível de subsistemas e componentes podem ser estudadas para identificar todos os possíveis eventos de falha do sistema. Após a identificação dos possíveis eventos de falha do sistema, os riscos são avaliados possibilitando a realização da revisão do projeto. A estrutura de uma técnica de análise de segurança de causa-efeito é mostrada na Figura 4.2.

O uso de uma técnica de análise de segurança de causa-efeito, de forma indutiva, produz um alto nível de confiança de que todos os eventos de falha de um sistema e suas respectivas causas foram identificados. Assim, comparando com uma técnica de efeito-causa, uma técnica de causa-efeito tem as seguintes características:

- a omissão de eventos de falha do sistema e suas causas é menos comum;
- pode ser mais convenientemente incorporado a um software computacional;
- pode ser mais adequadamente aplicada ao projeto de grandes produtos de engenharia com altos níveis de inovação;

- consome mais tempo. Porém, a utilização computacional pode superar este problema.

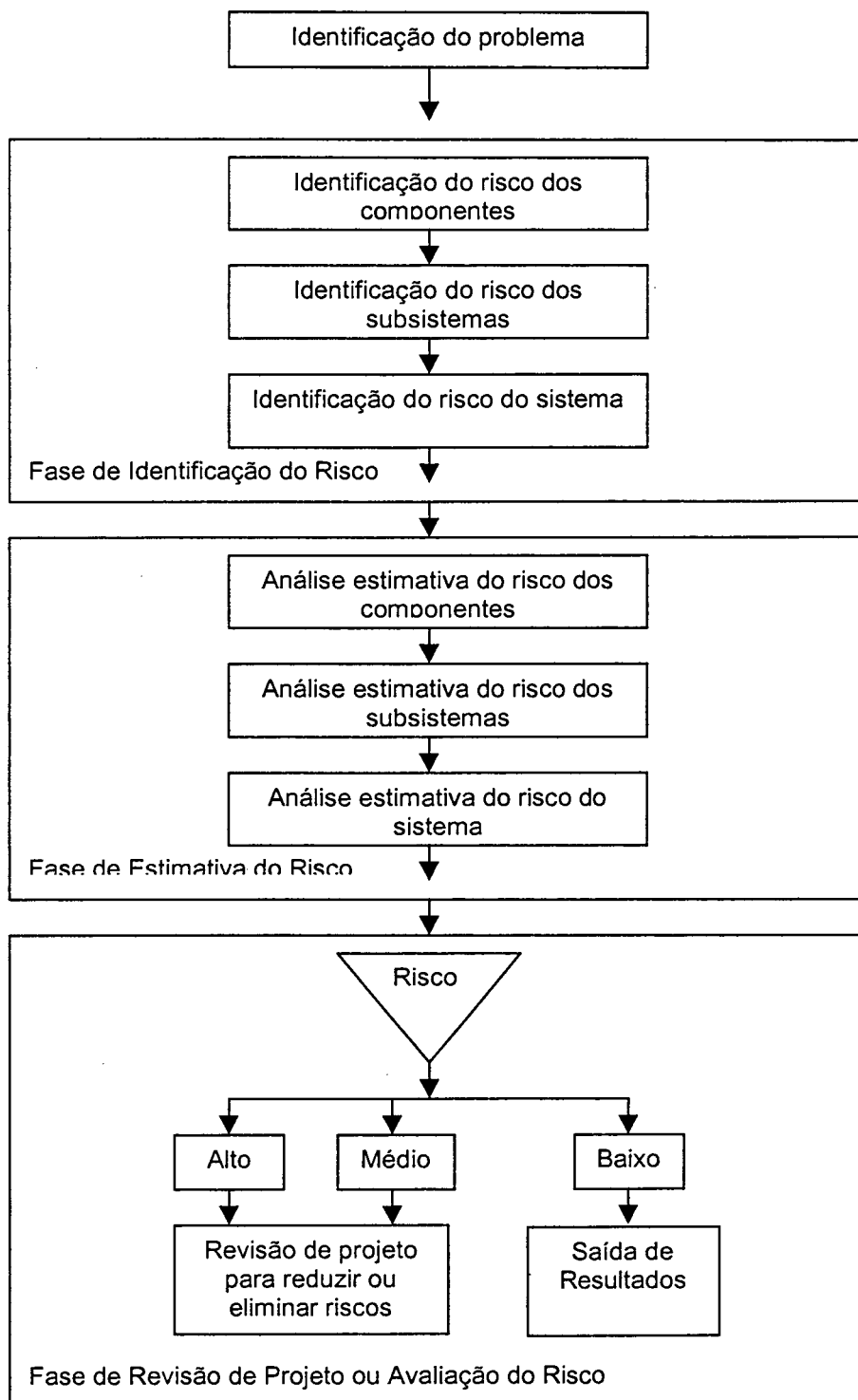


Figura 4.2 - Técnica de análise de segurança de causa-efeito (Wang et al., 1997).

Serão apresentadas a seguir, algumas das técnicas desenvolvidas visando possibilitar que os produtos sejam mais seguros para os usuário. A classificação das técnicas de análise de segurança apresentada anteriormente refere-se às essas técnicas.

4.2 - Técnicas de Análise de Segurança

4.2.1 - Análise Preliminar de Riscos

A análise preliminar de riscos (PHA) consiste na avaliação da segurança do produto e identificação de riscos potenciais. Esta é freqüentemente a análise inicial de segurança, utilizada nas atividades de projeto, auxiliando o desenvolvimento de critérios para eliminação de perigos ou controle de riscos identificados pelos projetistas (Main, 1996). Através dessa técnica, os projetistas antecipam como os acidentes podem ocorrer em função do uso ou mal uso do produto, associado a condições ambientais.

A análise preliminar de riscos é geralmente a primeira análise feita de um novo produto ou de um produto que foi modificado (Hammer, 1993). Ela tem especial importância para a análise de inovações de produtos que têm pouca ou nenhuma similaridade com outros existentes. Esta análise é mais uma revisão superficial de possibilidades de riscos e problemas de segurança que o produto possa apresentar (De Cicco et al., 1979). A PHA pode ser utilizada após a definição das soluções de projeto preliminar, antes mesmo da implementação das soluções ser efetivada. A PHA apresenta as seguintes etapas básicas (De Cicco et al., 1979):

- rever problemas conhecidos: revisar a experiência anterior de solução de problemas análogos ou similares que podem estar presentes no produto. Isso se justifica pelo fato que o êxito da PHA pode depender de informações de outros produtos que utilizem os mesmos princípios de solução ou possuam semelhanças físicas ou funcionais, visto que o produto físico a ser analisado ainda é inexistente;

- revisar missão: a missão ou objetivos, exigências de desempenho, as funções principais, procedimentos e ambientes devem ser repensados e analisados;
- determinar os riscos principais: detectar os possíveis riscos principais e sua potencialidade de danos;
- determinar os riscos iniciais e contribuintes: para possibilitar a elaboração da série de riscos;
- revisar os meios de eliminação e controle de riscos: revisar para procurar melhores opções para as exigências do produto;
- analisar os métodos de restrição de danos: considerar os métodos mais eficientes na restrição de danos;
- indicar quem executará as ações corretivas: indicar os responsáveis pelas diversas ações de prevenção e controle de riscos.

Para possibilitar a execução da PHA utiliza-se de uma planilha própria, conforme pode ser visto na Figura 4.3.

ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS				
Sistema:				
Subsistema:				Projetista:
Risco	Causa	Efeito	Categoria do Risco	Medidas Preventivas ou Corretivas

Figura 4.3 - Planilha de desenvolvimento da Análise Preliminar de Riscos
(De Cicco et al., 1979).

A análise preliminar de riscos gera informações qualitativas e, por isso, pode tornar-se altamente subjetiva. Além disso, tende ignorar riscos originários de causas combinadas ou de falhas simultâneas (Main, 1996).

4.2.2 -Técnica de Incidentes Críticos

Muitos dos problemas com produtos podem ser antecipados através de informações de pessoas sobre problemas com produtos similares. É neste fato que se baseia a técnica de incidentes críticos. Esta técnica consiste em fazer entrevistas com pessoas, com o objetivo de identificar erros e condições inseguras, que contribuem para acidentes, sejam ocorridos ou potenciais, a partir de situações anteriores (De Cicco et al., 1979). Inicia-se com uma visão geral criada a partir das experiências descritas. Os participantes são informados do estudo e seus objetivos. Então, eles são questionados sobre acidentes ou quase-acidentes que presenciaram. Isto faz com que os erros humanos e suas causas e condições inseguras comecem a aparecer. Faz-se, então, um monitoramento da operação de um sistema, através de participantes e observadores, colhendo dados de experiências dos mesmos ou de terceiros sobre situações que podem causar acidentes ou quase-acidentes e condições potencialmente perigosas. Quando a maioria das pessoas descreve problemas ou acidentes similares isso pode ser um forte indicador de deficiências que requerem ações preventivas ou corretivas no projeto ou manufatura de um produto. Sendo assim, pessoas ligadas à área de manutenção são ótimos participantes, pois têm contato com maior número de usuários. Neste relato, não importa se a situação causou lesão ou dano, importa a sua potencialidade. Então, seleciona-se os incidentes (situações de risco ou atos inseguros) que aparecem mais freqüentemente ou representam maior risco, para que sejam classificados em categorias de riscos, definindo-se assim os aspectos problemáticos do sistema. A partir disso é que se planejam as ações prioritárias visando solucionar esses problemas.

Segundo De Cicco & Fantazzini (De Cicco et al., 1979), estudos sobre esta técnica demonstram que:

- a técnica de incidentes críticos revela com confiança os fatores causais, em termos de erros e condições inseguras, que conduzem a acidentes industriais;

- a técnica é capaz de identificar fatores causais, associados tanto a acidentes com lesão, como a acidentes sem lesão;
- a técnica revela informações valiosas sobre acidentes, mais do que qualquer outra técnica;
- as causas de acidentes sem lesão podem ser utilizadas para identificar as origens de acidentes com lesão.

A técnica de incidentes críticos pode fornecer medidas e conhecimento necessários para o controle de acidentes e a identificação de problemas no sistema. Esta é uma típica técnica de análise de segurança de produtos que pode ser classificada como qualitativa e de efeito-causa.

4.2.3 - Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos

A técnica da Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA) identifica modos de falhas potenciais do produto que podem causar falhas (Main, 1996). Esta técnica analisa componentes e subcomponentes, a partir da divisão do projeto em partes, avaliando sistematicamente o potencial e os efeitos de falhas individuais. O resultado desta análise é utilizado para avaliar e implementar medidas preventivas para controlar ou eliminar riscos.

Entre os principais objetivos da FMEA pode-se citar (Hammer, 1993):

- a revisão dos modos de falha de cada componente para garantir danos mínimos ao produto;
- a determinação dos efeitos da falha de componentes sobre o produto;
- a determinação dos componentes cujas falhas prejudicarão a função do produto;
- o cálculo da probabilidade de falha de cada componente individualmente e do produto como um todo;
- a determinação de como reduzir as falhas do produto, através de alterações no projeto do produto;
- o estabelecimento dos requisitos para um programa de testes para determinar o modo de falha e as taxas de falha, quando não é possível obtê-los por outra fonte;

- o estabelecimento dos requisitos para o programa de testes para prever a confiabilidade empírica;
- a determinação de como probabilidades de falha de componentes, de montagens e do produto podem ser reduzida pela utilização de componentes de alta confiabilidade, redundâncias ou ambos;
- a eliminação ou minimização de efeitos negativos que as falhas de montagens podem gerar e indicar que proteções podem ser incorporadas se produtos não podem ser produzidos totalmente seguros. Ou ainda, a determinação de limites aceitáveis de falhas.

Esta técnica é conduzida da seguinte forma (Hammer, 1993):

1. divide-se o produto em partes, com tamanhos que possibilitem a utilização da técnica;
2. revisam-se desenhos, diagramas funcionais, desenhos esquemáticos do produto e de cada subsistema para determinar as inter-relações entre eles, assim como, as inter-relações entre os componentes destes subsistemas. A revisão pode ser feita com o auxílio de um diagrama de blocos;
3. prepara-se uma lista completa de cada subsistema para ser analisada. A função específica de cada componente deve ser determinada;
4. estabelecem-se as solicitações ambientais e operacionais do produto. Essas solicitações são verificadas de forma a determinar os efeitos negativos sobre o produto e seus componentes;
5. determinam-se os mecanismos de falha que podem afetar cada componente através da análise dos desenhos e diagramas funcionais. Os efeitos decorrentes das falhas nas montagens devem ser considerados;
6. identifica-se o modo de falha de todos os componentes;
7. lista-se cada condição que afeta os componentes para indicar se há ou não períodos de operação, solicitações, ações pessoais ou combinações destes fatores que possam aumentar a possibilidade de falhas ou danos;

8. indica-se as categorias dos riscos;
9. lista-se as medidas corretivas e preventivas para controle ou eliminação dos riscos;
10. determina-se a probabilidade de ocorrência de falha de cada componente. Estas probabilidades podem ser obtidas de estimativas genéricas como a MIL-HDBK-217B (MIL-HDBK-217B, 1965) ou através de fabricantes;
11. computam-se as probabilidades de falhas do produto e de seus subsistemas;
12. determina-se a criticalidade de cada componente e os efeitos que a falha irá produzir sobre a tarefa a ser executada pelo produto.

Pode haver vários modos de falha para cada componente, alguns de conseqüências mais sérias outros desprezáveis. Por tanto cada modo de falha deverá ser estudado individualmente.

Esta técnica é utilizada para determinar os problemas que ocorrem em sistemas, envolve a análise de como podem falhar os componentes de um sistema, a estimativa das taxas, a determinação dos efeitos que poderão advir e o estabelecimento de mudanças para aumentar a probabilidade do equipamento funcionar de maneira satisfatória.

Em geral, uma FMEA é realizada, primeiramente, de forma qualitativa. Posteriormente, utiliza-se dados quantitativos com o objetivo de estabelecer uma confiabilidade ou probabilidade ao sistema ou subsistema. Mas, antes de se utilizar uma FMEA é necessário compreender e conhecer a missão do sistema, as restrições de operação, os limites do sucesso e falha (De Cicco et al., 1979).

A técnica da análise dos modos de falha e seus efeitos oferece muitas vantagens, entre elas, a possibilidade de quantificação do risco e suas conseqüências. Porém, a FMEA é mais eficiente quando interações entre as falhas não são complexas e sua deficiência é não incluir a análise de erros humanos (Main, 1996). A partir deste método foi desenvolvido outro mais completo, o método da Análise da Árvore de Falhas - FTA, que será tratado

posteriormente. A Figura 4.4 apresenta um modelo para condução de uma FMEA.

ANÁLISE DE MODOS DE FALHA E SEUS EFEITOS						
Empresa:						
Subsistema:						
Folha N°:						
Preparada por:						
Local e data:						
Componentes	Modos de Falha	Possíveis Efeitos		Categorias de Risco	Métodos de Detecção	Ações de Compensação e Reparos
		Em outros componentes	No desempenho total do subsistema			

Figura 4.4 - Modelo para condução de uma FMEA (De Cicco et al., 1979).

Existe uma variação da FMEA, que enfoca principalmente os componentes críticos, a análise dos modos de falha, seus efeitos e sua criticalidade - FMECA. Pois, certos componentes ou montagens, em qualquer produto, são especialmente críticos para a missão do produto ou bem-estar do operador. Então, a eles deve ser dada atenção especial e, também, deve ser feita uma análise mais completa do que com os outros componentes. A determinação dos componentes críticos pode ser realizada através da experiência do projetista ou da análise do produto (Hammer, 1993).

A criticalidade dos componentes de um produto é classificada em mais de uma forma. Como exemplo, cita-se a Sociedade dos Engenheiros Automotivos - SAE que classifica a criticalidade em função dos modos de falha:

- categoria 1: a falha resulta em potencial perda de vida;
- categoria 2: a falha resulta em potencial falha de missão;
- categoria 3: a falha resulta em demora ou perda de disponibilidade operacional;
- categoria 4: a falha resulta em excesso de manutenção não prevista.

O maior esforço deve ser concentrado na proteção dos itens que podem produzir lesões ou danos devido a falhas simples. Falhas simples são fáceis de acontecer e podem ocorrer devido a perda de um componente, erro humano ou outro evento simples, inoportuno ou indesejável.

Para utilizar-se a técnica FMECA como uma ferramenta de apoio à decisão, deve-se iniciar sua utilização nos primeiros estágios do projeto, atualizando-a durante o desenvolvimento do projeto. A informação produzida pela técnica FMECA pode ser utilizada como auxiliar na construção de árvores de falhas (Wang et al., 1997). Porém, o uso da FMEA pode ser demasiadamente oneroso e moroso para a análise de produtos complexos.

4.2.4 – Análise da Interface

A análise de segurança da interface é utilizada para determinar as incompatibilidades entre os diversos subsistemas de um produto que podem resultar em acidentes. Esta análise deve determinar se alguma unidade, ao ser integrada a um sistema, desempenhará sua função ou causará danos a outra unidade ou ao sistema inteiro. Os vários relacionamentos que ocorrem podem ser classificados como físicos, funcionais e de fluxo.

4.2.4.1 – Relacionamentos Físicos

Às vezes, duas unidades que foram projetadas e construídas separadamente podem apresentar problemas de ajuste por causa das diferenças dimensionais ou outras dificuldades físicas (Hammer, 1993), como nos exemplos a seguir:

- o espaço livre entre as unidades é tão pequeno que existe a possibilidade de uma ou mais unidades virem a danificar-se quando uma unidade estiver sendo removida ou substituída;
- o acesso a um equipamento pode ser difícil ou mesmo impossível por causa das dimensões ou da falta de espaço adequado;

- devido a erros de projeto, pode ser impossível firmar, juntar ou unir as partes de um produto. Isto pode ocorrer devido a desalinhamentos, montagens erradas, etc. O processo de união deve evitar erros de montagem e permitir uma fácil separação para manutenção, quando houver necessidade;
- um filtro para fluídos em um local de difícil acesso tem dificuldade de ser removido para limpeza. Isso pode causar uma manutenção deficiente, que por sua vez, pode resultar em um entupimento ou na passagem de material que deveria ter sido removido do fluxo.

4.2.4.2 – Relacionamentos Funcionais

As saídas de uma unidade constituem as entradas da unidade subsequente. Apesar dos relacionamentos de entradas e saídas estarem corretos, a ocorrência de danos nas unidades anteriores podem proporcionar condições defeituosas nas unidades subsequentes. Estas condições defeituosas podem ser classificadas da seguinte forma (Hammer, 1993):

- saída zero: a unidade de saída falha completamente e a unidade subsequente nada recebe da anterior. Isso pode ser causado por uma quebra na linha, um curto-circuito ou perda de fluido hidráulico, por exemplo;
- saída degradada: uma falha parcial ocorre, impedindo que a unidade subsequente receba a saída programada ou projetada. Como exemplo, em um fluxo hidráulico, um entupimento parcial ou um resfriamento dos condutores pode provocar redução de fluxo do fluido;
- saída errada: esta condição consiste de operação instável ou intermitente. Por exemplo, a abertura ou o fechamento de circuitos elétricos ou de válvulas de fluxo podem provocar essa condição;
- saída excessiva: uma unidade pode acelerar por causa de uma falha no seu comando. Por exemplo, um aquecedor pode fazer a temperatura de um líquido se elevar demais, se o termostato queimar;

- saída inesperada: a operação inadvertida ou a saída errônea podem causar danos em unidades subseqüentes. Como exemplo, pode-se citar a ativação errada de um sistema que pode prejudicar os operadores de máquinas;
- efeitos indesejáveis: considerando que uma unidade possui saídas programadas com limites previamente definidos, a ocorrência de problemas pode gerar outras saídas não previstas, que por sua vez, podem danificar o sistema. Por exemplo, uma montagem elétrica que desempenha sua função corretamente pode gerar calor que encurtará a vida de unidades próximas.

4.2.4.3 – Relacionamentos de Fluxos

O fluxo entre duas unidades pode envolver fluidos como água, combustível, óleo lubrificante, vapor, ar ou fluxos de energia (elétrica, eletromagnética, hidráulica ou térmica). Isto pode acontecer em sistemas fechados, como por exemplo, em tubos ou fios ou em sistemas abertos, como a radiação de calor de um corpo para outro. A revisão dos relacionamentos dos fluxos constitui parte da análise da interface. Alguns dos problemas mais freqüentes e graves que ocorrem com produtos estão relacionados com fluxos de fluidos e de energia de uma unidade para outra, através de passagens confinadas (Hammer, 1993). Alguns dos problemas potenciais com fluxos são indicados a seguir:

- uma conexão entre duas unidades pode ser defeituosa. Por exemplo, a falta de ligação adequada pode resultar em montagens elétricas defeituosas oferecendo risco de choque elétrico;
- uma conexão entre duas unidades pode falhar totalmente. Por exemplo, um rompimento de uma tubulação de gás de alta pressão pode provocar lesões às pessoas ou danos aos equipamentos;
- uma conexão pode sofrer uma falha parcial. Como exemplo vazamentos podem ocorrer numa linha de transmissão de fluidos ou energia ou na interface entre a linha e a unidade. Se uma linha contém um fluido perigoso, mesmo um pequeno vazamento pode provocar grandes danos ou perigos. A análise da interface deve, por esta razão, considerar as características do

fluido e o efeito de qualquer perda de fluido. Algumas características e efeitos a serem considerados são a flamabilidade, a toxicidade, a corrosividade, a perda de pressão, a lubrificação, a perda de material, a contaminação, a umidade e o odor.

A análise da interface evidencia que os subsistemas, os operadores e os inter-relacionamentos compõem um sistema. A Tabela 4.4 lista alguns exemplos de subsistemas que podem formar um produto. Num produto altamente complexo, os operadores poderão incorporar perigos potenciais. Além disso, deve-se considerar que um ser humano pode ser não somente um operador, mas também o subsistema de controle, de propulsão, de potência e sensor, como ocorre numa bicicleta (Hammer, 1993). Como se não bastasse cada subsistema ter perigos e riscos inerentes, um subsistema pode afetar o outro durante o funcionamento normal. Por exemplo, um subsistema pode gerar calor e afetar o outro que estava funcionando normalmente. Para determinar estes relacionamentos sugere-se utilizar uma lista de verificação, como a Tabela 4.4.

4.2.5- Análise Lógica de Circuitos

A análise de circuitos usando a lógica booleana tem sido utilizada há vários anos para o projeto e avaliação de circuitos elétricos, eletrônicos, hidráulicos e pneumáticos, de grande complexidade. Essa análise tem sido utilizada para determinar como falhas de componentes de um circuito podem afetar o produto (Hammer, 1993). Aplica-se também para verificar se em condições normais de operação, o circuito produzirá ou não saídas indesejadas.

Com o aumento da utilização da eletrônica nos produtos, o conhecimento dos princípios da lógica booleana cresceu em importância. A utilização da lógica booleana pode oferecer meios de estabelecer níveis de segurança quantitativos em circuitos ou sistemas elétricos. Os princípios envolvidos formam a base da técnica de análise da árvore de falha, de utilização bastante comum em análises de segurança, embora a maioria da simbologia e a metodologia seja diferente para a análise de circuitos.

Tabela 4.4 - Subsistemas de um produto e seus perigos inerentes
(Hammer, 1993).

Subsistemas de um Produto			
Subsistema	Objetivo do Subsistema	Exemplos	Perigos Inerentes
Potência	Converter energia de uma forma para outra que possa ser utilizada pelo produto	Um motor de um automóvel converte energia química em energia mecânica	A conversão não controlada pode provocar fogo, explosões, inoperação do produto
Estrutural	Suportar, fixar e às vezes, proteger as partes do produto	Uma carcaça de uma cabine, um chassi de um caminhão e um esqueleto de um vertebrado	As falhas podem causar colapso de um produto e a perda de suporte para componentes e montagens
Sensor	Perceber o espaço de operação do produto e informar ao operador	Um termostato e o umidímetro de um ar-condicionado e um manômetro de óleo	Os erros de sensoramento podem causar a não efetuação da ação corretiva necessária
Operador	Tomar informações baseando-se nas informações dos sensores, determinando se a situação é normal ou requer ações corretivas. Constitui o "cérebro" do produto	Um motorista, um piloto automático, um computador e um operador de uma máquina	As falhas na tomada da ação necessária quando exigida provocam a perda de controle. Um erro humano pode provocar acidentes
Segurança	Prevenir lesões ou perdas por causa de falhas de um subsistema de um produto	Os barcos salva-vidas, os assentos ejetáveis em aviões, os cintos de segurança, os air-bag em veículos, etc.	Como esses subsistemas são operáveis em situações de risco, uma falha irá resultar em lesões ou danos. A análise desse subsistema deve ser mais criteriosa do que de qualquer outro

Os componentes dos circuitos são representados pelos símbolos lógicos. Equações lógicas podem ser desenvolvidas para expressar uma condição (ligado ou desligado, aberto ou fechado, sucesso ou falha) de cada componente do circuito e os inter-relacionamentos exigidos para produzir um

determinado evento resultante. Estas equações são escritas para cada ponto de conexão ou “porta”, sendo então combinadas para formar uma equação final que expresse o último evento. Estas equações para os eventos são, freqüentemente, muito complexas em sua forma inicial. Contudo, é possível aplicar técnicas de simplificação para eliminar redundâncias lógicas usando identidades e relacionamentos booleanos. As equações resultam na equação final e no desenho que irá representar a operação do circuito.

Os sistemas projetados poderão utilizar-se de elementos bloqueadores para incrementar a própria segurança. Um elemento bloqueador é um componente que deve ser ativado ou desativado pela mudança do estado seguro para o estado inseguro. Isso pode ser feito por ação de uma pessoa ou como resultado de um processo mecânico ou elétrico. Os diagramas lógicos são adequados para avaliar os efeitos dos elementos bloqueadores e das entradas que causarão a mudança de estado.

Pode-se incluir entre as aplicações da análise lógica em relação a segurança (Hammer, 1993):

- a investigação das possibilidades de ativação inadvertida do produto ou dos subsistemas por meios elétricos ou eletro-mecânicos;
- a análise de falha de sistemas devido a falhas de indicadores do nível de combustível, de sistemas de detecção de mau funcionamento ou de sistemas de alerta;
- a investigação do encadeamento operacional de temporizadores ou de outros sistemas que podem ser ativados seqüencialmente;
- a verificação da desenergização de equipamentos elétricos, se os painéis ou portas de acesso são abertas, e do inter-relacionamento de elementos bloqueadores para prevenir a ocorrência de eventos adversos;
- a determinação de componentes e conexões, que devem ser mantidos em segurança, para garantir que elementos bloqueadores não serão ignorados;
- a avaliação de ocorrências que poderiam produzir possíveis falhas.

4.2.6 - Mapeamento

Alguns problemas podem desenvolver-se por causa da localização próxima entre unidades e linhas de transmissão de fluidos ou energia. Os perigos relacionados a estes problemas são freqüentemente revelados pelo mapeamento. O mapeamento envolve a representação do problema de forma gráfica, possibilitando a determinação dos inter-relacionamentos. Existem numerosos exemplos para ilustrar esta técnica (Hammer, 1993):

- a distância entre linhas de combustível e fontes de ignição, como existem em motores aquecidos, podem ser estabelecidas visando diminuir a possibilidade da ocorrência de riscos;
- a localização dos tanques de combustível pode ser revista para garantir que haja uma separação adequada entre combustível e comburente;
- as rotas de evacuação de emergência, as zonas de segurança e as estruturas de proteção também podem ser mapeadas para indústrias químicas que possuam processos perigosos;
- a configuração ambiental do nível de ruído e a extensão dos seus efeitos pode ser revista através do mapeamento de perigos;
- pode-se mapear os perigos no embarque e desembarque de crianças num ônibus;
- o mapeamento pode ser usado para determinar a extensão de problemas potenciais de origem micrometeorológica, como por exemplo, a direção preferencial dos ventos que podem trazer consigo gases tóxicos.

4.2.7 - Análise da Árvore de Falha

Considerando que a maioria dos acidentes resulta de uma seqüência de eventos e que em alguns tipos de produtos a falha de um componente pode resultar na inoperação do produto, então, algumas vezes, é desejável ter uma técnica que focalize a possibilidade da ocorrência de um evento, indicando o relacionamento complexo que pode causar o acidente. Porém, eliminando os esforços extras e incluindo todos os fatores contribuintes. A análise da árvore

de falha (FTA) foi desenvolvida por esta razão pelos Laboratórios Bell, a pedido da Força Aérea Norte Americana. A Força Aérea Norte Americana queria saber as probabilidades e possibilidades de um lançamento inadvertido ou não autorizado de um míssil nuclear Minuteman (De Cicco et al., 1979). Apesar da FTA ter sido desenvolvida para determinar probabilidades quantitativas, é mais comumente utilizada para aspectos qualitativos. Isto ocorre devido a maneira sistemática pela qual vários fatores podem estar presentes em qualquer situação investigada.

A técnica da FTA é baseada na lógica booleana e consiste num excelente método para estudar fatores que podem causar um evento indesejável (falha, risco principal ou catástrofe). A simbologia lógica da FTA está apresentada na Figura 4.5. A FTA apresenta uma melhor aplicabilidade em situações complexas, nas quais um modelo de dados probabilísticos pode ser aplicado às seqüências lógicas. Pode-se desenvolver a árvore e simplesmente analisá-la e efetuar os cálculos probabilísticos necessários.

A análise quantitativa e seus resultados ainda são desejáveis para muitos usos, todavia para fazer uma análise quantitativa, deve ser feita antes uma análise qualitativa.

A técnica FTA é aplicada da seguinte forma (De Cicco et al., 1979):

- seleciona-se um evento ou falha para os quais a probabilidade de ocorrência deve ser determinada;
- determina-se todos os fatores contribuintes para essa falha;
- prepara-se um diagrama tipo árvore, no qual estão distribuídos os fatores contribuintes para a falha. A falha estará no topo da árvore e os eventos que contribuem diretamente estarão no primeiro nível. A medida que se retrocede, passo a passo, as combinações de eventos e falhas vão sendo adicionadas.
- desenvolve-se expressões matemáticas adequadas, através da álgebra booleana, demonstrando o inter-relacionamento entre os eventos. Cada inter-relacionamento é expresso através de portas lógicas "e" ou "ou", nas quais estão implícitas operações matemáticas, que podem ser traduzidas em

operações de adição ou de multiplicação. As expressões matemáticas obtidas são simplificadas ao máximo possível;

- determina-se a probabilidade de falha de cada componente ou de ocorrência de cada evento;
- aplica-se as probabilidades das falhas ou de ocorrência de eventos à expressão simplificada, obtendo-se uma expressão para ocorrência do evento indesejado principal.

Uma vez completa a análise da árvore, pode-se identificar os caminhos que podem possibilitar a ocorrência de eventos indesejáveis. Desde que interrompidos ou eliminados esses caminhos, tem-se a garantia de que o evento não irá ocorrer (Main, 1996).

O evento final é o evento que possibilita a determinação dos demais e a sua seleção é o primeiro procedimento a ser realizado. Os eventos finais podem ser conhecidos a partir de uma análise preliminar de riscos ou de acidentes ou incidentes ocorridos anteriormente. Numa árvore desenvolvida, a progressão para baixo indica causas e a movimentação para cima indica efeitos.

A expressão de cada evento não é somente necessária na análise qualitativa, para que as conseqüências sejam facilmente reconhecidas, mas é absolutamente necessária em análises quantitativas, onde probabilidades e taxas de falhas podem ser associadas.

AAF – SIMBOLOGIA LÓGICA

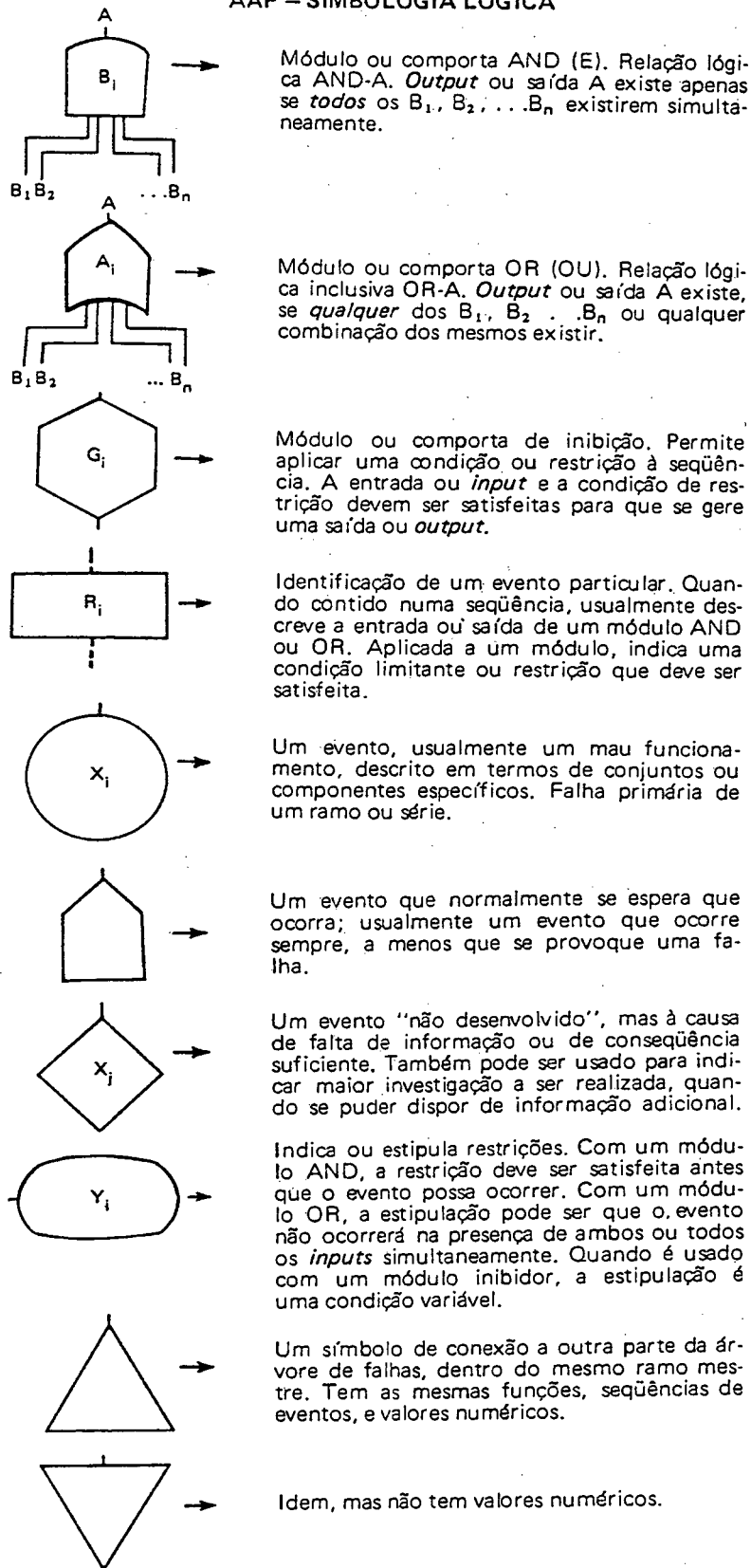


Figura 4. 5 - Simbologia Lógica da FTA (De Cicco et al., 1979).

Nesse ponto, a árvore pode indicar onde há necessidade de se tomarem medidas corretivas. Pois a árvore de falha indica todos os fatores, eventos e seus relacionamentos. É desejável conhecer que seqüência de eventos é causa mais comum de um evento final e qual o caminho mais crítico.

A técnica da análise da árvore de falha acentua inter-relacionamentos entre componentes e falhas potenciais, que são difíceis de perceber com a técnica da análise dos modos de falha e seus efeitos (FMEA). Além disso, esta técnica pode incluir o erro humano como fator de influência. Esta técnica possui alguns inconvenientes, entre os quais: dificuldade de identificação de causas, complexidade, requer alto conhecimento em projeto, e também em construção e uso do produto. Enfim, a análise da árvore de falha mostra causas e efeitos, nem mais nem menos (Main, 1996).

A análise de árvore de falha é mais utilizada na descoberta de problemas. Porém, muitos dos produtos são projetados baseando-se em critérios ou padrões que os projetistas devem seguir desde o início, o que diminui substancialmente a utilização da árvore de falhas. Além disso, uma análise da árvore de falhas pode ser realizada somente após o produto ter sido projetado, quando os princípios de solução estiverem definidos.

As análises quantitativas são geralmente onerosas (Hammer, 1993). A preparação da árvore de falhas requer intenso conhecimento de projeto, construção e operação de produtos para possibilitar a inclusão dos fatores significantes. A exclusão de um único fator pode afetar toda a análise qualitativa.

4.3 – Outras Formas de Melhorar a Segurança dos Produtos

Ao longo dos anos, as causas de acidentes têm sido analisadas, visando prevenir novas ocorrências e organizar esforços para identificação prévia dessas causas. Como resultado, algumas formas de melhorar a segurança e evitar a ocorrência de acidentes com produtos foram criadas. Os projetistas as

utilizam para incorporar segurança em seus projetos, sendo mais comuns são as seguintes:

- **fatores de segurança:** projetos convencionais utilizam uma aproximação determinística no que concerne à resistência dos materiais. Isso menospreza o fato de que as propriedades dos materiais, dimensões dos componentes e solicitações externas são de natureza estatística. No projeto convencional, utiliza-se um fator de segurança para compensar incertezas de itens como: materiais, componentes, manufatura e outros fatores sobre os quais o projetista não tem controle. Por isso, para muitos projetistas, um fator de segurança é chamado de "fator de ignorância", pois a aplicação deste consiste num artifício que auxilia na falta de conhecimento (Leech et al., 1985). Somente em situações críticas de projeto, como projetos de aviões, naves espaciais e aplicações nucleares, há um desenvolvimento dirigido para a redução de incertezas e aumento da confiabilidade pela utilização da aproximação estatística (Dieter, 1983). Porém, quando um projetista escolhe o valor numérico do fator de segurança, deve considerar (Stephenson, 1974): os tipos de falhas que podem ocorrer, as conseqüências destas falhas, a precisão dos dados sobre as condições de operação, a precisão dos dados sobre as propriedades dos materiais, a precisão e a uniformidade da manufatura dos componentes, a possibilidade de deterioração em operação da estrutura envolvida, a importância da minimização do tamanho ou do peso dos componentes;
- **listas de verificação (checklists) de segurança:** são mais apropriados para tarefas de projeto repetitivas ou para operação de produtos cuja variação é pequena. Essas listas de verificação incluem a segurança relativa a características que devem ser consideradas no projeto;
- **experiência profissional:** este é um fator importante e necessário no projeto. Engenheiros experientes evitam os erros do passado e desenvolvem bons produtos;
- **normas industriais e governamentais:** estas normas estabelecidas oferecem informações técnicas, são consistentes, garantem um nível mínimo de segurança em relação a eliminação e controle de riscos. As

normas estabelecem um consenso mínimo sobre segurança e desempenho.

- **modelos de simulação tridimensional:** consistem em ferramentas computacionais que facilitam as considerações de segurança, principalmente em sistemas complexos, como os sistemas automatizados de manufatura. Estas ferramentas verificam a compatibilidade espacial entre operador e sistema, com o objetivo de verificar se o operador entrará em contato com algum perigo oferecido pelo sistema. Com a utilização destes modelos é possível demonstrar vantagens e desvantagens das soluções de projeto, assim como a necessidade de projetar dispositivos complementares de segurança. Com a escolha da solução de projeto adequada e o projeto dos dispositivos de segurança necessários é possível aumentar a segurança, a confiabilidade e o desempenho do sistema (Järvinen et alli, 1996);
- **dispositivos de segurança:** o projetista pode inseri-los no produto, visando proteger o operador e o equipamento contra danos e lesões. São dispositivos elétricos, mecânicos, eletromecânicos ou eletrônicos que realizam alguma função capaz de proteger o usuário durante a operação do produto. Como exemplo destas funções pode-se citar: o corte da energia elétrica fornecida ao equipamento, a parada do equipamento, a proteção do corpo do operador ou de determinada área e a emissão de avisos ao operador (Creamer, 1968).

4.4 – Medição ou Estimativa da Segurança dos Produtos

As medições ou estimativas para segurança que são apresentadas a seguir são aquelas utilizadas pelas técnicas de análise de segurança na tentativa de estimar a segurança, durante a aplicação delas. As únicas exceções são os métodos de Khan & Abbasi (Khan et al., 1997) e de Hinze et alli (Hinze et alli, 1995), que são utilizados para estimar a segurança de indústrias químicas e de construção civil, respectivamente.

4.4.1 - Métodos Qualitativos

A primeira tentativa de estimar segurança surgiu através da classificação da Norma Militar Norte-Americana MIL-STD 882. Esta norma classifica os riscos em relação à gravidade das conseqüências dos riscos, se estes se materializarem em acidentes (Tabela 4.1) e em relação a probabilidade da ocorrência do acidente (Tabela 4.2). Cruzando-se as informações destas duas formas de classificação estabelece-se a matriz de criticalidade (Tabela 4.3). Esta estimativa evidencia duas estruturas básicas: a probabilidade de ocorrência de acidentes e a intensidade de suas conseqüências, sendo que a hierarquia entre os diversos níveis é estabelecida subjetivamente. Os outros métodos qualitativos são tipicamente uma variação da Norma Militar Norte-Americana MIL-STD 882 para requisitos de programas para segurança de sistemas (Gruhn, 1991).

A utilização da matriz de criticalidade depende da política de cada empresa, que deve considerar qual o nível de risco aceitável para cada produto, demonstrando mais uma vez a subjetividade relativa à segurança. Por exemplo, uma determinada empresa pode assumir como nível de risco aceitável, para um determinado componente, a faixa de valores compreendida entre 8 e 18.

Wang et alli (Wang et alli, 1996) propõem uma técnica de múltiplos critérios para melhoria da segurança de sistemas. Esta técnica é semelhante ao FMEA, pois inicia com a análise individual de cada componente. Nesta técnica, utiliza-se a transformação de expressões lingüísticas tais como catastrófico ou muito baixo em valores numéricos entre 0 e 1. Estes valores numéricos são dispostos em grupos de tabelas semelhantes a matrizes e apresentam a probabilidade de ocorrência, a intensidade das conseqüências e a probabilidade de ocorrência das conseqüências das falhas. A operação com as matrizes gera valores numéricos que podem ser convertidos em expressões qualitativas para a segurança e apresentados numa tabela como: pobre, média, boa e excelente. A técnica de Wang et alli (Wang et alli, 1996) caracteriza-se

pela subjetividade, pois tenta transformar conceitos ou valores qualitativos em quantitativos. Além disso, pode-se questionar se esta técnica é realmente de segurança, pois utiliza-se de dados de confiabilidade, como probabilidade de ocorrência de falhas.

4.4.2 - Métodos Quantitativos

Os métodos quantitativos estão relacionados, principalmente, à quantificação da ocorrência do erro humano e de eventos de falha dos sistemas. Em relação aos erros humanos, os relatórios de acidentes demonstram que eles são os eventos mais freqüentes em indústrias consideradas perigosas. Por isso, alguns métodos quantitativos, que visam obter uma possível referência para a medição de segurança, abordam também algumas estimativas do erro humano e da confiabilidade humana, relacionando-os com a segurança dos sistemas. Estes métodos, consideram que a confiabilidade humana, mesmo considerada uma medida abstrata do comportamento humano, é passível de medições (Dougherty, 1997). Mas, o erro humano e, conseqüentemente, a confiabilidade humana são dependentes da situação e variam conforme diversos fatores difíceis de mensurar como acesso à memória e habilidades motoras, inviabilizando a utilização deles para a medição da segurança dos produtos, conforme abordado no Capítulo 2.

Em relação aos eventos de falhas dos sistemas, existem diversas técnicas de análise que estimam probabilisticamente a segurança, estando baseadas em conceitos de confiabilidade e estatística aplicados ao projeto de engenharia (Lederman et alli, 1995). Para Lederman (Lederman et alli, 1995) estas técnicas de análise são mais confiáveis onde a segurança não depende da intervenção do comportamento humano, sendo este abordado pela confiabilidade humana. Estas técnicas têm como medidas a confiabilidade R, a taxa de falha média $\bar{\lambda}$, o tempo médio até a primeira falha MTTF, o tempo médio entre falhas MTBF e o tempo médio de reparo MRT. As medidas de confiabilidade estão associadas aos seguintes parâmetros básicos:

- a probabilidade do sucesso da meta do sistema, expressa em percentuais, considerando um intervalo de tempo determinado;
- a probabilidade do fracasso ou da falha do sistema, em valores percentuais em função do tempo;
- o intervalo de tempo livre de fracassos ou falhas ou até que estes ocorram;
- o intervalo de tempo necessário para ter-se novamente a disponibilidade do sistema em condições de operação;

Dentro desta idéia de estimar a segurança através da confiabilidade, Gruhn (Gruhn, 1991) conceitua disponibilidade, que é um termo utilizado para quantificar o desempenho seguro dos sistemas e representa a fração do tempo total de operação durante o qual o sistema permanece seguro e operando como especificado, conforme Equação 4.1.

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{tempo de operação segura}}{\text{tempo total de operação}} \quad (\text{Eq. 4.1})$$

Para Gruhn (Gruhn, 1991) a disponibilidade (A) é a melhor forma de quantificar a segurança do desempenho de um sistema. A disponibilidade média pode ser quantificada como (Eq. 4.1):

$$\bar{A}(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} A(t) \cdot dt \quad (\text{Eq. 4.2})$$

Onde:

t_1 = tempo inicial de operação;

t_2 = tempo final de operação.

Novamente, neste conceito de disponibilidade, tem-se a associação entre falha e segurança. Este conceito de disponibilidade traz a tona a confusão existente entre segurança e confiabilidade, utilizando-se de uma das métricas mais comuns de confiabilidade, o tempo.

A apresentação das estatísticas de acidentes da American Standards Association está associada a dois parâmetros básicos: a frequência dos

acidentes e a gravidade dos acidentes (Tiffin et al., 1975). O coeficiente de frequência de acidentes (CFA) é o número de ferimentos incapacitantes por milhão de horas-homem, conforme expressado na Equação 4.3 que segue:

$$CFA = \frac{\text{n}^\circ \text{ de acidentes com perda de tempo} \times 1.000.000}{\text{n}^\circ \text{ total de horas - homem trabalhadas}} \quad (\text{Eq. 4.3})$$

Por sua vez, o coeficiente de gravidade de acidentes (CGA) é expresso pela Equação 4.4:

$$CGA = \frac{\text{n}^\circ \text{ de dias perdidos} \times 1.000.000}{\text{n}^\circ \text{ total de horas - homem trabalhadas}} \quad (\text{Eq. 4.4})$$

Convém observar nas equações anteriores (4.3 e 4.4), as relações apresentadas. Na primeira denota-se a relação entre o tempo perdido com acidentes e o número de horas trabalhadas. Este coeficiente de frequência de acidentes estima uma relação entre a ocorrência de acidentes com perda de tempo em relação ao tempo trabalhado total. A segunda equação indica o prejuízo temporal causado pelos acidentes. Ambas as equações aproximam-se de taxas de rendimento, pois relacionam a improdutividade devido aos acidentes com o tempo trabalhado.

Khan & Abbasi (Khan et al., 1997) analisando os acidentes de indústrias químicas e algumas tentativas de estabelecer a periculosidade dos acidentes por elas causados, propõem que a severidade dos acidentes deve incluir não somente a perda de vidas humanas, mas também a perda monetária e a degradação ambiental, além da contaminação do ar, do solo e da água. Eles propõem um método multi-atributos para avaliar o perigo existente em processos industriais, que resulta num índice que denota a gravidade do acidente, numa escala de 1 a 10. O método inicia com a tentativa de estimar o cenário para o acidente, visando estimar os danos e o impacto de outros fatores sobre a severidade do acidente avaliado. Estes fatores influenciam a severidade do acidente de duas maneiras, com impacto direto e indireto. Os três mais importantes parâmetros de impacto direto são: o populacional, o monetário e o ecossistema, enquanto os três principais parâmetros de impacto indireto são o solo, a água e o ar. Segundo os autores (Khan et al., 1997), a

utilização destes parâmetros possibilita estimar com mais fidelidade a severidade, a magnitude e as conseqüências dos acidentes.

Os parâmetros de impacto direto correspondem às pessoas possivelmente atingidas pelos danos, perda monetária e prejuízos ao ecossistema. Os danos são estimados em relação ao calor, à pressão e à toxicidade dissipados num acidente, correspondendo à potência ou à energia do agente causador de danos, típicos de indústrias químicas. O parâmetro populacional é estimado em função da densidade populacional ao redor da indústria (conforme Figura 4.6), ou seja, considera a relação entre o quantitativo de pessoas e a área ocupada por elas em torno da indústria. A estimativa das perdas monetárias é estabelecida em função do valor monetário estipulado para os bens localizados nas proximidades, dentro ou fora da empresa, e que foram destruídos por um acidente. O parâmetro ecossistema corresponde à área atingida pelo acidente. Os parâmetros indiretos correspondem à contaminação que persistirá na área atingida através da deposição de sólidos, líquidos e gases resultantes do acidente. Os valores obtidos para cada um dos parâmetros e para o potencial de danos é colocado numa equação onde resultará num valor numérico que varia de 0 até 10, classificando o acidente segundo a Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Classificação dos acidentes em função de valores obtidos para os acidentes (Khan et al., 1997).

Escala de Valores	Classificação	Perigo
0 - 1	Operação Normal	Menor
1 - 3	Incidente	Baixo
3 - 5	Acidente	Alto
5 - 8	Acidente Severo	Severo
8 - 10	Catástrofe	Extremamente Severo

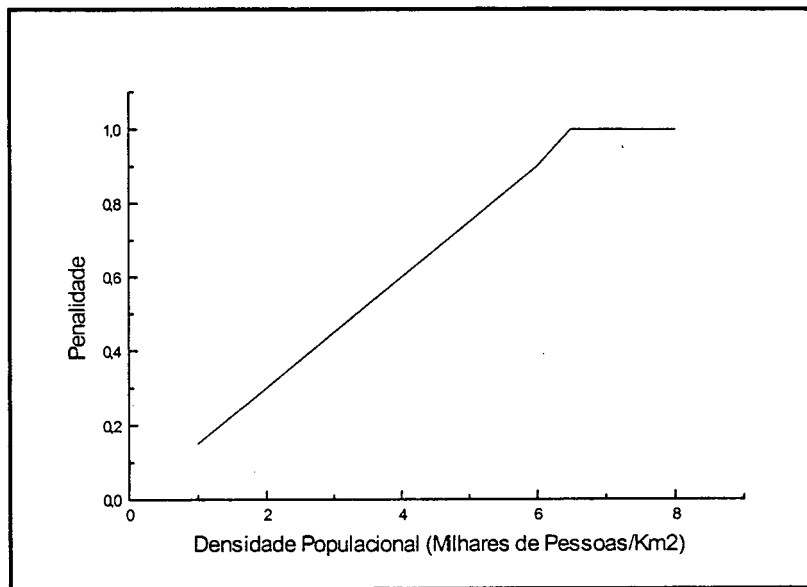


Figura 4.6 - Penalidade em função do fator populacional (Khan et al., 1997).

Hinze et alli (Hinze et alli, 1995) descrevem um critério que pode ser utilizado para realizar contratos de construção civil: o desempenho de segurança baseado na história progressiva de acidentes. Este critério é importante para seleção de firmas de construção e utiliza uma medida viável. Esta medida é o custo de indenizações ou despesas com os trabalhadores devido à falta de segurança numa empresa, constituindo a taxa EMR - a taxa de modificação da experiência (Eq. 4.5). Esta taxa utiliza-se de dados dos três últimos anos, considerando a severidade e a frequência dos acidentes. Então, a taxa reflete a habilidade de um construtor em prevenir acidentes, através da utilização de programas de segurança no ambiente de trabalho.

A equação da EMR é:

$$EMR = \frac{A_p + WA_e + (1 - W)E_e + B}{E + B} \quad (\text{Eq. 4.5})$$

Porém, para pequenos acidentes a Equação 4.5 pode ser reduzida, obtendo-se a Equação 4.6:

$$EMR = \frac{A_p + E_e + B}{E + B} \quad (\text{Eq. 4.6})$$

onde:

A_p = perdas menores reais (somatório de custos abaixo de US\$ 5.000,00/lesão);

W = peso (proporcionado nos manuais de planejamento EMR);

A_e = perdas excessivas reais (somatório de custos acima de US\$ 5.000,00/lesão);

E_e = perda excessiva esperada (igual a $E \times (1 - \text{razão do desconto ou redução})$);

E = perdas esperadas (igual ao pagamento \times razão da perda esperada);

B = lastro (fornecido em manuais que instruem o cálculo de EMR).

Esta taxa utiliza uma tentativa de estimar o acidente através de valores monetários pagos anteriormente. Tenta constituir uma medida monetária para a experiência passada de segurança oferecida por empresas.

4.4- Considerações Finais

Neste capítulo procurou-se mostrar as principais técnicas de análise de segurança e outras formas de melhorar a segurança dos produtos, comumente evidenciadas pela bibliografia especializada. Além disso, abordou-se as formas utilizadas para estimar e medir a segurança dos produtos. Estes temas foram abordados com a finalidade de compreender como a segurança dos produtos é analisada, estimada e melhorada pelos métodos atuais utilizados para este fim. Em relação a eles, vale tecer alguns comentários, que estão apresentados a seguir.

A técnica da análise preliminar de riscos - PHA é caracterizada pela superficialidade (De Cicco et al., 1979) e subjetividade (Main, 1996), pois é uma técnica qualitativa. Além disso, é utilizável somente após os princípios de solução estarem definidos, na fase de projeto preliminar, tornando-se uma técnica corretiva. Sendo assim, não auxilia o projetista a melhorar a segurança desde as primeiras fases do projeto de um novo produto, pois a utilização desta

não induz à determinação de requisitos de segurança para o produto ou à seleção de princípios de solução seguros. Apesar dessas deficiências, a PHA é uma técnica voltada realmente à segurança.

A técnica de incidentes críticos é uma técnica basicamente corretiva, pois informa sobre problemas de segurança ocorridos com produtos já existentes, refletindo fatos já ocorridos. Em alguns casos, isso confere a esta técnica uma baixa eficiência e confiança. Para exemplificar e reforçar essa afirmação, cita-se o acidente com a aeronave da TAM, para o qual a utilização desta técnica não produziria quaisquer resultados positivos. Isso porque, o fechamento inadvertido do reversor jamais ocorreu anteriormente à data do acidente e quando manifestou-se causou um acidente de grandes proporções.

Baseando-se na observação dos modos de falhas dos produtos e seus componentes, a técnica da análise dos modos de falha e seus efeitos - FMEA consiste na qualificação e quantificação dos eventos de falhas, visando diminuir os problemas causados por esses eventos de falhas. Isso a torna uma técnica de confiabilidade, não de segurança, sendo de baixa eficiência para melhoria da segurança. Pois, como afirmado por Hammer (Hammer, 1993), a maioria dos acidentes ocorre sem quaisquer falhas. Assim como a FMEA, as técnicas da análise de lógica de circuitos e da análise da árvore de falha são técnicas voltadas à confiabilidade dos produtos, pois contemplam apenas a melhoria de problemas relacionados às falhas.

A técnica da análise da interface é uma técnica de análise que é melhor aplicada de forma corretiva e após a configuração básica do produto ter sido determinada, pois se baseia no estudo dos relacionamentos estabelecidos entre os subsistemas e os componentes dos produtos. Por isso, é uma técnica mais voltada à confiabilidade do que à segurança.

O mapeamento é uma técnica de análise de segurança que contempla a análise da configuração espacial do produto, visando apresentar quais locais são seguros para os usuários dos produtos e qual a configuração espacial mais segura para o produto. Apesar de visar a não ocorrência de acidentes, na maioria dos casos, é uma técnica utilizada para evitar a lesão ou o dano.

Em relação à aplicação dessas técnicas, Wang & Ruxton (Wang et al., 1997) recomendam utilizar-se primeiro uma técnica qualitativa de segurança e, posteriormente, uma técnica quantitativa de segurança. Porém, existe um problema. Existem técnicas qualitativas de segurança, que se baseiam no estudo de perigos dos produtos, porém não existem técnicas quantitativas de segurança. As técnicas quantitativas estão associadas à utilização de medidas de confiabilidade, tais como taxa de falhas e tempo médio entre falhas. E como confiabilidade não é segurança, não existem técnicas quantitativas de segurança. Talvez isto ocorra devido a inexistência de um procedimento para mensuração da segurança dos produtos, que é o primeiro passo para que se possa propor técnicas quantitativas de segurança. Então, na busca da solução para este problema propõe-se, no próximo capítulo, um procedimento para mensuração da segurança.

Os métodos qualitativos para medição ou estimativa da segurança utilizam-se de estimativas de probabilidade e conseqüências dos possíveis acidentes decorrentes de perigos do sistema, sendo baseados em subjetividade e intuição.

A grande maioria dos métodos quantitativos, para estimativa ou medição da segurança, relaciona a segurança do sistema com variáveis associadas a ocorrência de falhas num produto, caracterizando-os como métodos voltados para a medição ou estimativa da confiabilidade. Porém, os métodos da American Standards Association, de Khan & Abbasi (Khan et al., 1997) e de Hinze et alli (Hinze et alli, 1995) não se utilizam de medidas de confiabilidade, mas de estimativas obtidas sobre a falta de segurança, ou seja, a ocorrência de acidentes, caracterizando-os como métodos voltados para a segurança. O conceito de segurança, apresentado no Capítulo 2 inviabiliza a utilização do evento de falha como única medida para segurança de produtos, como é utilizada atualmente por diversas técnicas.

Conclui-se, então, que a maioria das estimativas ou das técnicas para mensuração de segurança existentes para produtos são meramente qualitativas. Existem algumas técnicas quantitativas de segurança, estas porém

são aplicáveis apenas para as indústrias, principalmente indústrias químicas e de construção civil. Entretanto, estas técnicas forneceram indícios sobre a mensuração quantitativa passível de utilização em produtos.

Dentre estes indícios, as Equações 4.3 e 4.4 da American Standards Association indica a utilização da quantidade de acidentes e da quantidade de dias perdidos devido aos acidentes, sempre relacionando-as ao quantitativo total de horas, para estimar a insegurança industrial. Khan & Abbasi (Khan et al., 1997) associam a insegurança apenas às conseqüências dos acidentes, dentro de 6 parâmetros distintos, o populacional, o monetário, o ambiental, a contaminação por sólidos, a contaminação por líquidos e a contaminação por gases provenientes do acidente. Hinze et alli (Hinze et alli, 1995) associam a insegurança aos custos monetários dos acidentes, considerando apenas as conseqüências dos acidentes. Estas estimativas da segurança indicam que a insegurança pode ser estimada a partir das conseqüências dos acidentes e do quantitativo de acidentes. Além disso, elas utilizam-se de estimativas baseadas em informações obtidas após a ocorrência de acidentes.

Esta forma de medição realizada posteriormente a ocorrência de eventos indesejáveis ou acidentes também é utilizada pela confiabilidade, onde mede-se variáveis relacionadas a ocorrência de falhas, tais como freqüências de falhas e suas conseqüências em termos de tempo necessário para reparo ou de tempo do sistema inoperante, para que se possa determinar a confiabilidade de um sistema. A medição realizada sobre eventos indesejáveis, sejam eles falhas ou acidentes, tende a ser mais realista, pois estima a segurança ou a insegurança considerando eventos reais ocorridos, não sendo uma estimativa subjetiva realizada por um grupo de analistas de segurança ou de projetistas.

CAPÍTULO V

5.0 - MENSURAÇÃO DA SEGURANÇA DOS PRODUTOS

O objetivo deste capítulo é apresentar uma forma de medição da segurança dos produtos. Esta medição foi concebida considerando-se como os usuários percebem as conseqüências do acidentes.

Para que se possa medir a segurança dos produtos, propõe-se também que se colete informações básicas acerca dos acidentes e das circunstâncias envolvidas.

As etapas para a mensuração da segurança dos produtos se dividem em:

- coletar informações acerca dos acidentes ocorridos e registrá-las na planilha para relatório dos acidentes;
- estimar a freqüência dos acidentes;
- estimar as conseqüências dos acidentes;
- determinar o índice de segurança.

5.1 - O Relatório Básico do Acidente

O objetivo do relatório do acidente é servir de veículo de transmissão, das informações obtidas junto aos acidentes, para os projetistas. Estas informações compreendem não somente aquelas necessárias à estimativa da segurança, mas também informações de importância para o projeto de produtos mais seguros. Neste capítulo, porém, utilizar-se-á apenas as informações necessárias ao cálculo do índice de segurança.

Em relação aos acidentes, existem diversas informações importantes que devem ser transmitidas aos projetistas, algumas para estimativa da

segurança outras para melhorias no projeto. Visto que a mensuração apenas orienta os projetistas sobre o nível de segurança de seus produtos, mas não indica como os acidentes ocorrem, em que ou onde estão os perigos mais graves ou como melhorias de segurança podem ser realizadas. Como exemplo, cita-se a necessidade de transmitir nos relatórios de acidentes, quais componentes ou subsistemas de um produto estão diretamente relacionados com os acidentes. Muitos dos componentes não estão relacionados com acidente algum, porém outros estão relacionados com grande parte deles, como é visto na prática. Por exemplo, em relação às serras elétricas para madeira, a quase totalidade dos acidentes está associada à serra, não havendo, quaisquer acidentes associados à estrutura de suporte do produto. Isto servirá para direcionar os esforços do projetista aos maiores problemas. Uma vez que são solucionados, provavelmente outro problema de segurança aparecerá, em menor escala, tornando-se então, o problema mais importante. Assim é possível verificar se a solução tomada melhorou a segurança do produto.

Por isso, na investigação de um acidente com um produto, visando obter informações para avaliação da segurança dele, deve-se relatar sobre os fatores e características de importância do acidente, a partir do qual calcula-se o índice de segurança e levanta-se informações essenciais para o projeto ou reprojeto seguro, que são:

- o produto: o objeto ou substância diretamente relacionada ao acidente. Também é importante relatar o número de série ou do lote, que possa identificar o tempo de operação e o lote e data de fabricação. Visto que alguns acidentes podem ocorrer devido ao aumento da probabilidade de falha com a operação. A identificação do lote e data de fabricação é necessária para verificar sob qual projeto foi realizado o produto e como foi produzido, permitindo a rastreabilidade;
- subsistema envolvido no acidente: a parte ou porção específica do produto, como por exemplo, a serra, o esmeril ou o motor. É o subsistema ou componente do produto diretamente relacionado ao acidente. Neste trabalho, assumiu-se como hipótese que os perigos ou características

perigosas dos produtos é que possibilitam a ocorrência de acidentes, por isso deve-se relatar sobre o subsistema envolvido;

- o perigo potencial oferecido pelo subsistema: este é o perigo potencial oferecido pelo produto e que ocasionou o acidente;
- a condição insegura do produto devido a alterações: a mudança que foi ocasionada pelo tempo ou pelo operador, que alterou a condição inicial do produto, oferecendo perigo, como por exemplo a manutenção precária, o estado precário do produto, a retirada de componentes, a folga ou a instrumentação de difícil leitura. Esta informação pode identificar como o produto se deteriora ou é passível de modificações que o torne mais perigoso. Em muitos casos pode não ocorrer esta condição insegura, o que demonstra que o produto oferece perigo devido ao projeto deficiente;
- a condição ambiental: visa demonstrar a suscetibilidade do produto a condições ambientais adversas, tais como chuva, neve, calor e luminosidade. A condição ambiental constitui um fator contribuinte do acidente;
- o prejuízo financeiro do consumidor e o valor de aquisição do produto: estes prestam-se ao cálculo do parâmetro monetário;
- as lesões ocasionadas: consistem na forma de contato da pessoa envolvida com o agente e suas partes, como por exemplo, batida, tombo ou escorregão. Deve-se informar também o número de pessoas sujeitas a cada lesão e qual a sua gravidade (conforme Tabelas 5.1 e 5.2);
- o prejuízo ambiental: representa os danos causados ao meio ambiente pelo produto devido ao acidente, isto inclui danos ambientais, tais como contaminação química do solo e destruição devido à explosão. Esta informação deve conter dois parâmetros básicos, que são a área atingida e gravidade deste prejuízo. A gravidade deve ser relatada conforme tempo necessário para recuperação das áreas atingidas, podendo ser de curto prazo ou imediato (até um ano), de médio prazo (de um a dez anos), de longo prazo (de dez a cem anos) ou irrecuperáveis (mais de cem anos), conforme Tabelas 5.3 e 5.4;

- o ato do operador: a atitude ou ação que o operador tentou desempenhar e contribuiu para a ocorrência do acidente, denotando que atos do operador devem ser inibidos pelo produto para evitar o acidente;
- fator pessoal: é necessário relatar o número de pessoas lesionadas e o número de pessoas usuárias do produto no momento do acidente. Dependendo da situação, talvez sejam necessárias algumas outras informações adicionais como sexo ou idade destas pessoas.

Para que se possa coletar estas informações, criou-se uma planilha, conforme mostrado na Figura 5.1

Relatório de Acidentes				
1.Acidente nº			Página:	
Descrição do Produto Envolvido				
2.Produto:				
3.Número de Série:		4.Data de Fabricação:		
5.Subsistema:				
6.Perigo Potencial:				
Descrição de Condições e Eventos				
7.Condição Insegura:				
8.Condição Ambiental:				
9.Ato do Operador:				
10.Fator Pessoal:				
11.Breve Relato do Acidente:				
12.Observações:				
Danos e Lesões				
13.Prejuízo Financeiro:		14.Valor do Produto:		
15.Parâmetro Monetário:				
16.Tipos Predominantes de Lesão:				
17.Número de Usuários:	18.Número de Pessoas Lesionadas em Função da Gravidade		19.Peso	20.Subtotal
			1	
			2	
			3	
		4		
21.Parâmetro Pessoal:				
22.Dimensões do Produto:		23.Área Atingida:	24.Peso:	
25.Parâmetro Ambiental:				
26.Nome do Relator:			27.Assinatura:	
28.Local:		29.Data:		
30.Índice de Segurança:				

Figura 5.1 - Planilha para o relatório de acidentes.

A investigação dos acidentes consiste em visitar os locais onde os acidentes ocorreram, entrevistar pessoas que sofreram os acidentes e os profissionais da segurança, no caso dos acidentes ocorrerem em empresas e registrar as informações pertinentes na planilha para o relatório de acidentes.

5.2 - A Medição da Segurança dos Produtos

Uma vez obtidas as informações sobre os acidentes, pode-se proceder com a mensuração da segurança, que deve ser capaz de orientar projetistas e fabricantes sobre a segurança de seus produtos, permitindo a comparação entre os valores obtidos nesta mensuração. Como consequência disto, a mensuração da segurança deve permitir o acompanhamento contínuo da segurança, possibilitando melhorias, tanto em relação a probabilidade e frequência de ocorrência, quanto na diminuição da gravidade dos acidentes. Quando se fizer o acompanhamento da segurança de um produto, através de gráficos, por exemplo, esta mensuração deve demonstrar a tendência de melhoria ou de piora da segurança dele, revelando os resultados dos esforços realizados pelos projetistas. Como exemplo, a Figura 5.2 apresenta um gráfico para acompanhamento mensal da segurança de dois modelos de um mesmo produto. Observa-se que o modelo A tem a segurança diminuída com a utilização. O modelo B tem um valor do índice de maior do que o modelo A, porém nos meses de inverno sua segurança diminui, devido a alguma interação com o frio. Comparações como esta dão ao projetista subsídios para decidir entre qual modelo de produto deve ser abandonado e qual deve continuar em produção. Conclusões como estas podem ser obtidas a partir do momento que se estima quantitativamente segurança e apresenta-a em gráficos.

Outro exemplo de aplicação dos valores quantitativos obtidos pela mensuração da segurança é a possibilidade de realizar testes estatísticos ou de utilizar técnicas de Taguchi para verificar se um determinado aspecto pode ou não influenciar a segurança do produto. Ou ainda, através de um histórico de valores obtidos pela mensuração da segurança, pode-se saber como a segurança de um produto evoluiu com o passar dos anos.

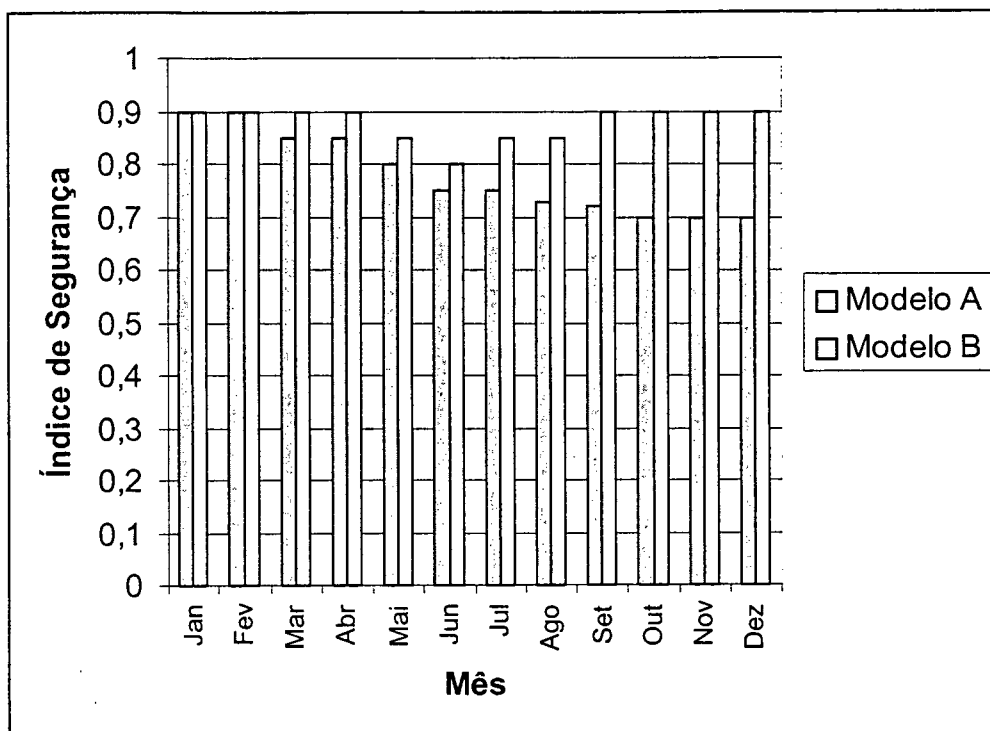


Figura 5.2 – Exemplo de gráfico para acompanhamento da evolução da segurança de dois modelos de um mesmo produto.

A mensuração de segurança deve estabelecer um referencial para o projeto. Com isso, os projetistas poderão orientar-se no desenvolvimento, na revisão e na especificação das características de produtos, caracterizando a prevenção dos acidentes. Sendo assim, o valor medido deve expressar a propriedade chamada segurança e ser aplicável no projeto de produtos industriais, não só de forma corretiva, mas também preventiva.

A mensuração da segurança tem como objetivos:

- servir de orientação para avaliação do projeto de produto, oferecendo referências para que o projetista possa avaliar qual é o nível de segurança de um produto existente;
- permitir a comparação entre a segurança de diferentes produtos;
- avaliar o nível de segurança que o produto oferece ao consumidor;
- observar o comportamento da segurança no decorrer do tempo.

A maioria das estimativas ou das técnicas para mensuração de segurança existentes para produtos são meramente qualitativas e, por isso,

caracterizadas pela subjetividade. As estimativas quantitativas utilizadas para a segurança nas técnicas comumente chamadas técnicas de análise de segurança são, na verdade, voltadas para estimativa da confiabilidade. Existem algumas técnicas quantitativas de segurança, estas porém são aplicáveis apenas para indústrias químicas e de construção civil. Entretanto, estas técnicas forneceram indícios sobre a mensuração quantitativa passível de utilização em produtos.

Os indícios fornecidos por estas técnicas consistem em estimar as conseqüências dos acidentes em termos de prejuízos financeiros, ambientais e de vidas humanas para estimativa da insegurança e daí estima-se a segurança dos produtos, ou seja, para estimar a segurança dos produtos é necessário, anteriormente, estimar a insegurança deles. Como elas são complementares, a determinação de uma implica na determinação da outra. As estimativas de confiabilidade, por exemplo, apontam para o mesmo caminho: mede-se as conseqüências da falta de confiabilidade (falha, tempo necessário para reparo, entre outras) para estimar a confiabilidade. Mas as estimativas de confiabilidade também abordam uma relação entre quantidade de falhas ocorridas e quantidade de horas de operação, denotando a freqüência ou taxa de falhas. Este também é um indício importante, que seguramente pode ser utilizado para medição da segurança dos produtos.

Na verdade, nesta medição da segurança tenta-se estimar como o usuário percebe o acidente. Esta percepção deve incluir todos os tipos de conseqüências que o usuário pode sofrer. Atentando-se para os indícios que transparecem em métodos de medição de segurança e confiabilidade, pode-se dividir estes indícios em dois grupos de parâmetros básicos: um que envolve a freqüência ou taxa temporal de ocorrência de acidentes e outro que envolve as conseqüências em termos de prejuízos e lesões.

O grupo que envolve a freqüência ou taxa temporal de ocorrência de acidentes tem como objetivo denotar a relação entre a quantidade de acidentes e o tempo total de operação ou uso do produto. A quantidade de acidentes é uma grandeza fácil de obter, basta ter o número de acidentes ocorridos num determinado intervalo de tempo. Resta então definir a grandeza adequada para o tempo de uso ou operação, que com certeza será uma unidade de tempo,

como por exemplo: minuto, hora, dia ou mês. Por questões de praticidade, adotar-se-á, como unidade de tempo, a hora, que é a grandeza mais comumente utilizada nos produtos, quando da especificação do tempo de operação ou quando do cálculo de taxas de falha. Então, um parâmetro do cálculo da segurança será a relação entre número de acidentes e o intervalo de tempo em que ocorreram.

O outro grupo de parâmetros básicos envolve as conseqüências dos acidentes. Como já foi comentado anteriormente, indícios observados em medições de segurança apontam para estimativa das conseqüências dos acidentes em termos de prejuízos financeiros, ambientais e de vidas humanas. Formando-se, a partir destes indícios, os parâmetros para estimativa das conseqüências dos acidentes, tem-se um parâmetro relativo aos prejuízos financeiros, um relativo aos prejuízos ambientais e outro relativo às vidas humanas. Mas em que consistiria estes parâmetros? Estes devem consistir em estimativas dos prejuízos totais sofridos pelos usuários quando da ocorrência de acidentes, tanto em termos de danos como em termos de lesões.

Sendo assim, os prejuízos financeiros a partir dos quais se estimaria o parâmetro financeiro ou monetário, deve contabilizar todos os tipos de prejuízos financeiros causados pelos acidentes, em moeda corrente, o que deve incluir: despesas com indenizações, manutenção, destruição de equipamentos e instalações, recuperação do meio-ambiente, procedimentos e internação hospitalares, perda de tempo na produção, entre outros.

Nos prejuízos ambientais contabiliza-se a área afetada pelo acidente, que foi destruída completa ou parcialmente e que precisará ser recuperada. A área afetada, que pode ser constituída de: instalações industriais, meio ambiente, construções, mares, lagos, terra agrícola e rodovias. Pode ainda significar a contaminação do ar sobre uma determinada região geográfica. Este prejuízo ambiental é contabilizado em unidades de área, mais especificamente em metros quadrados, para ser coerente com o sistema métrico internacional. Com as dimensões da área afetada pelo acidente poder-se-á estimar o parâmetro ambiental do acidente.

Os prejuízos em termos de vidas humanas num acidente podem ser contabilizados em termos de número de pessoas lesionadas durante a

ocorrência de acidentes. A referência às "pessoas lesionadas" pelo acidente se justifica, pois muitas vezes, não somente os usuários são lesionados, mas também pessoas que estavam próximas ao local de ocorrência do acidente. As lesões que as pessoas podem sofrer variam desde escoriações leves até morte. O número de pessoas lesionadas possibilita a estimativa do parâmetro pessoal do acidente. Tanto o parâmetro ambiental como o parâmetro pessoal devem ainda considerar a gravidade dos danos e das lesões sobre o ambiente e sobre as pessoas, respectivamente. Esta gravidade relaciona-se com a intensidade com que foram atingidos pelo acidente, denotando desde danos e lesões de fácil e rápida recuperação até as irrecuperáveis.

Uma vez que estes parâmetros foram determinados, através das informações obtidas a partir da investigação do acidente, pode-se proceder com a estimativa do índice de segurança do produto, que pode ser realizada conforme os itens 5.2.1 e 5.2.2. O índice de segurança do produto representa um valor único que deve ser concebido sobre a noção de segurança relativa ao uso do produto, centrado em suas características. Por exemplo: se ocorrer um acidente com um grande avião comercial e morrerem 5 pessoas, isso não será considerado uma catástrofe, pois quando esta situação ocorre espera-se mais mortos. Porém, se num acidente de automóvel morrerem 5 pessoas (todos os ocupantes), este pode ser considerado uma catástrofe. Este idéia indica uma forma de estimar a segurança em função do número de pessoas envolvidas com o produto ou em função da segurança oferecida aos usuários que dependem do produto num determinado momento do uso. Então, na verdade, a segurança é estimada em relação às características do produto, tais como seu custo de aquisição, o número de usuários e a área do produto.

A estimativa da segurança dos produtos poderia ser realizada através de técnicas de análise realizadas sobre características do produto, sem considerar os acidentes ocorridos. Porém, esta estimativa seria irreal, pois não consideraria a utilização real do produto. Para explicar esta afirmação, faz-se a seguinte exemplificação: supondo que um projetista desenvolva um novo produto para determinada utilização. Então, ele resolve estimar a segurança do produto através de uma técnica de análise de segurança. Ele certamente estaria incorrendo em pelo menos dois erros: em primeiro lugar, apesar de ter

projetado um produto para uma determinada utilização, os usuários podem utilizá-lo para o mesmo fim, mas operando-o de forma diferente daquela prevista pelo projetista. Em segundo lugar, os usuários poderiam não possuir as habilidades que o projetista presumiu que eles teriam para operar o produto. Ambas as situações podem gerar acidentes, o que inviabiliza a utilização da análise das características dos produtos para estimativa da segurança, por isso, optou-se pela estimativa a partir de acidentes com os produtos. A utilização das características dos produtos para estimar a segurança pode ser utilizada apenas como uma estimativa inicial da periculosidade do produto, antes dele ser utilizado de fato.

A medição indireta da segurança, realizada através de dados dos acidentes e de suas variáveis, é mais aplicável. Isto porque, a medição indireta representa economia de informações, pois na prática é mais econômico relatar e investigar as exceções do que a regra, supondo-se que a segurança é a regra, diminuindo o universo de estudo. A consequência é a simplicidade, menos informações são mais simples de tratar, pois é mais simples analisar um acidente com seus parâmetros, do que relacionar todos os produtos semelhantes que não falharam com seus parâmetros. Isto restringe o universo a ser investigado e abordado. Outra vantagem de realizar a estimativa da segurança utilizando-se de informações de acidentes é que as informações geradas são ricas em detalhes e indicam, por exemplo, os perigos, os componentes e operações associadas aos acidentes. Informações estas que as análises de produtos que não sofreram acidentes não podem fornecer.

O método, que será apresentado ao longo deste capítulo, tem como objetivo mensurar a segurança dos produtos. Esse método utiliza a frequência e as consequências dos acidentes para possibilitar como a estimativa da segurança dos produtos. Apesar de ser aplicável a qualquer produto, no Capítulo 7 deste trabalho será apresentada uma aplicação em equipamentos utilizados na fabricação de móveis.

5.2.1 - Estimativa das Conseqüências dos Acidentes

Após a investigação dos acidentes as conseqüências são estimadas, considerando-se os danos e as lesões causadas pelo produto, o que possibilita verificar os prejuízos causados pelo produto.

A estimativa das conseqüências dos acidentes é composta da avaliação de três parâmetros medidos a partir do acidente, a saber: pessoal, monetário e meio ambiente atingido. Esta avaliação é realizada sobre acidentes reais, ocorridos e constatados, dos quais obtém-se informações através de entrevistas com usuários ou relatórios de acidentes obtidos nas empresas, com produtos já existente e em uso, que são registradas na planilha de relatório do acidente.

O parâmetro pessoal identifica o número de pessoas atingidas pelo acidente, assim como a intensidade do acidente sobre elas e pode ser calculado pela Equação 5.1. Em relação ao parâmetro pessoal, a intensidade ou gravidade do acidente pode ser determinada pelas conseqüências às pessoas ou lesões resultantes, tais como acidentes com lesões leves, mutilações ou mortes. Isto é realizado respondendo-se a duas perguntas: "quantas pessoas foram lesionadas pelo acidente?" e "qual a gravidade da lesão que foi mais significativa?" As respostas para estas perguntas devem estar de acordo com as opções de resposta das Tabelas 5.1 e 5.2.

$$PP = NP \times GP \quad (\text{Eq. 5.1})$$

Onde:

PP = parâmetro pessoal;

NP = número de pessoas atingidas, conforme classificação determinada pela Tabela 5.1 ;

GP = peso atribuído a gravidade da lesão, conforme Tabela 5.2;

No caso de haver várias pessoas lesionadas pelo acidente, é necessário encontrar a lesão mais significativa para que se possa atribuir-lhe o valor GP correto, é encontrado através de uma média ponderada, conforme a Equação 5.2.

$$GP = \frac{N_1 + 2 \times N_2 + 3 \times N_3 + 4 \times N_4}{N_1 + N_2 + N_3 + N_4} \quad (\text{Eq. 5.2})$$

Onde:

N_1 , N_2 , N_3 e N_4 = número de pessoas lesionadas conforme a classificação das lesões da Tabela 5.2, ou seja, lesionadas com gravidade leve, média, grave e gravíssima, respectivamente.

Tabela 5.1 - Pontuação para o número de pessoas lesionadas pelo acidente.

Número de Pessoas Atingidas - NP	Pontuação
Ninguém foi lesionado	0
O número de lesionados é inferior ao número de usuários no momento do acidente	1
O número de lesionados é igual ao número de usuários no momento do acidente	2
O número de lesionados é superior ao número de usuários no momento do acidente	3

Tabela 5.2 - Gravidade das lesões sofridas pelas pessoas.

Gravidade da Lesão - GP	Peso atribuído à gravidade da lesão	Exemplos
Leve	1	Pequenos cortes, pequenas batidas ou choque com objetos sem necessidade de afastamento do trabalho.
Média	2	Lesões que incapacitam para o trabalho por período de tempo limitado.
Grave	3	Doença ocupacional definitiva que impossibilita para o trabalho.
Gravíssima	4	Invalidez permanente que necessite de auxílio à vida, como paralisia, cegueira, coma e morte.

Existe certa complexidade para avaliar uma pontuação ou um valor atribuível para as vidas humanas, sabendo-se que estas são insubstituíveis e de valor inestimável. Por exemplo, nos tribunais ingleses, o ponto de partida para indenizações por acidentes fatais é calculado sobre o valor que o

acidentado teria ganho durante o restante de sua vida, o que possibilitaria estipular um valor sobre base monetária. No caso de trabalhadores não-assalariados, como donas-de-casa, a indenização é calculada sobre o valor necessário para que alguém seja pago para continuar a exercer o trabalho. Porém, se a pessoa contribui com o acidente, há uma redução da indenização. O autor deste trabalho discorda desta forma de cálculo de indenização, para quantificação do acidente. Pois, em primeiro lugar, por esta avaliação, a vida humana é valorizada apenas pelo que produz economicamente, não pelo que é, de valor inestimável aos seus familiares e amigos. Em segundo lugar, aumentaria a complexidade dos cálculos do índice de segurança. Por isso, optou-se por uma forma de medição centrada no produto e despreziosa na avaliação da vida humana.

O meio ambiente atingido identifica a área e a gravidade ambiental do acidente, tais como contaminação ambiental e destruição de propriedades. Em relação à gravidade ambiental, pode-se dividir os efeitos do acidente em acidentes com conseqüências cuja recuperação seja de curto prazo ou imediata, de médio prazo, de longo prazo e irreversíveis. Para determinação dos danos ambientais provocados pelo acidente, deve-se responder a duas perguntas: "qual foi a área destruída pelo acidente em decorrência do acidente?" e "qual foi a gravidade da destruição desta área?" As respostas se encontram nas Tabelas 5.3 e 5.4. Para a determinação da maior área do produto, que é necessária para a utilização da Tabela 5.3, realiza-se o produto das duas maiores dimensões do produto, sejam elas altura, largura ou comprimento. O parâmetro ambiental pode ser calculado pela Equação 5.3.

$$PA = AA \times GA \quad (\text{Eq. 5.3})$$

Onde:

PA = parâmetro ambiental

AA = área atingida pelo acidente, conforme Tabela 5.3;

GA = peso atribuído a gravidade da destruição ambiental, determinado pela Tabela 5.4;

No caso de haver uma destruição ambiental diferenciada, é necessário encontrar a destruição ambiental mais significativa para que se possa atribuir-

Ihe o valor GA correto. Este valor correto é encontrado através de uma média ponderada, conforme a Equação 5.4.

$$GA = \frac{A_1 + 2 \times A_2 + 3 \times A_3 + 4 \times A_4}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} \quad (\text{Eq. 5.4})$$

Onde:

A_1, A_2, A_3 e A_4 = área destruída pelo acidente conforme a classificação da gravidade da destruição ambiental da Tabela 5.4, com recuperação de curto prazo, médio, longo prazo e irrecuperáveis, respectivamente.

Tabela 5.3 - Área destruída pelo acidente.

Área Atingida pelo Acidente - AA	Pontuação
O meio ambiente não foi atingido	0
A área do meio ambiente atingido é inferior ao da área formada pela maior área do produto	1
A área do meio ambiente atingido é igual ao da área formada pela maior área do produto	2
A área do meio ambiente atingido é superior ao da área formada pela maior área do produto	3

Tabela 5.4 - Gravidade da destruição ambiental.

Gravidade da Destruição Ambiental GA	Peso atribuído à gravidade da destruição ambiental	Exemplos
Recuperação imediata ou de curto prazo (menor que 1 ano)	1	Destruição de muros, paredes, e pequenas instalações, destruição de canteiros de plantas
Recuperação de médio prazo (entre 1 e 10 anos)	2	Morte de pequenas árvores de reflorestamento, destruição de grandes instalações.
Recuperação de longo prazo (maior que 10 anos e 100 anos)	3	Contaminação de águas com detergentes ou óleos minerais.
Irrecuperáveis (maior que 100 anos)	4	Contaminação com urânio radioativo.

O parâmetro monetário identifica o valor do prejuízo monetário causado pelo acidente em relação ao preço de aquisição do produto. Para a determinação do parâmetro monetário que indica as perdas de capital decorrentes do acidente, basta comparar o valor das perdas monetárias com o valor de aquisição do produto e responder a pergunta: "qual é a relação entre o capital perdido e o preço do produto devido ao acidente?" A resposta para esta pergunta encontra-se na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Parâmetro monetário.

Parâmetro Monetário - PM	Pontuação
Não houve perda de capital	0
O valor da perda de capital é inferior ao custo de aquisição do produto	1
O valor da perda de capital é igual ao custo de aquisição do produto	2
O valor da perda de capital é superior ao custo de aquisição do produto	3

Todos estes parâmetros resultam em valores quantitativos que podem ser agrupados em um único valor, através de uma operação matemática, conforme Equação 5.5, determinando-se assim o índice de segurança do produto. Porém, a Equação 5.5 é utilizável apenas para uma única observação dos acidentes. O valor "27" no denominador da Equação 5.5 refere-se à pontuação máxima que pode ser obtida devido às conseqüências dos acidentes. A Equação 5.6 é aplicável quando se tem um histórico de observações dos acidentes.

$$IIC = \frac{(NP \times GP + AA \times GA + PM)}{\sum PMP} \quad (\text{Eq. 5.5})$$

onde:

IIC = índice de insegurança do produto devido às conseqüências dos acidentes;

NP = número de pessoas atingidas, conforme classificação determinada pela Tabela 5.1 ;

ΣPMP = somatório máximo possível de pontos para um perigo, que devido aos valores utilizados na Tabelas de 5.1 a 5.5 apresentará o valor 27;

GP = peso atribuído a gravidade da lesão, conforme Tabela 5.2 ou pela Equação 5.2;

AA = área atingida pelo acidente, conforme Tabela 5.3;

GA = peso atribuído a gravidade da destruição ambiental, determinado pela Tabela 5.4 ou pela Equação 5.4;

$$IIC = \frac{\sum_{i=1}^N (NP_i \times GP_i) + \sum_{i=1}^N (AA_i \times GA_i) + \sum_{i=1}^N (PM_i)}{27 \times NOB} \quad (\text{Eq. 5.6})$$

onde:

N = número de acidentes;

NOB = número de observações realizadas sobre os produtos. O valor de NOB denota o número de produtos que foram observados, pois para cada produto, num determinado momento, faz-se uma observação.

Vale ressaltar que os diversos parâmetros não podem ser utilizados para comparações mútuas entre eles, como a comparação entre valores monetários e a vida humana. Estes parâmetros são baseados unicamente nos parâmetros do produto, sendo aplicáveis somente para a mensuração de segurança.

Outra observação pertinente é que a escala de valores para os fatores NP, AA e PM foi concebida, pelo autor deste trabalho, sobre a abrangência do acidente. Os valores "0, 1, 2 e 3" significam as conseqüências foram, respectivamente, nulas, menores, iguais ou superiores aos parâmetros do produto. Os valores das gravidades GA e GP foram concebidos tomando como base a MIL STD-882.

5.2.2 - Estimativa da Frequência dos Acidentes

O índice de insegurança do produto devido a frequência dos acidentes é dada pela relação entre a quantidade ou o número de acidentes e a quantidade

ou o número de horas de utilização do produto. O índice de insegurança do produto devido a frequência dos acidentes é dada pela Equação 5.7.

$$IIF = \frac{NAO}{NTHU} \quad (\text{Eq. 5.7})$$

onde:

IIF = índice de insegurança do produto devido a frequência dos acidentes;

NAO = número de acidentes ocorridos;

NTHU = número total de horas de utilização.

Utiliza-se como referência de horas de utilização, o que inclui operação, manutenção e transporte.

5.2.3 - Determinação do Índice de Segurança do Produto

Dentro da afirmação que se fez Capítulo 2 deste trabalho e representada na Equação 5.8, na qual a segurança e a insegurança são complementares, tem-se:

$$\text{Segurança} = 1 - \text{Insegurança} \quad (\text{Eq. 5.8})$$

Utilizando-se desta idéia de complementaridade, calcula-se o índice de segurança do produto. Então, para um acidente, o índice de segurança do produto será dado pelo complemento da insegurança, devido as conseqüências e a frequência do acidente, conforme a Equação 5.9:

$$IS = (1 - IIC) \times (1 - IIF) \quad (\text{Eq. 5.9})$$

Este índice de segurança representa uma estimativa da segurança média do produto e pode variar entre o valor mínimo de 0 até o valor máximo de 1, que será atingido quando não houver ocorrido nenhum acidente com um produto. Então, para melhorar a segurança dos produtos, deve-se buscar diminuir a quantidade de perigos de um produto, dificultar a ocorrência de acidentes e diminuir suas conseqüências caso acidentes ocorram.

O índice de segurança e seus parâmetros permitem a realização de um acompanhamento contínuo e sistemático da segurança dos produtos, a partir dos valores obtidos, semelhante às demais variáveis de qualidade. A segurança é antes de mais nada um aspecto da qualidade dos produtos e deve ser tratada como tal.

As medições de segurança, assim como qualquer outro tipo de medida, devem ser feitas sempre que possível, sobre produtos já existentes, dos quais pode-se levantar informações adequadas sobre a questão da segurança. Isto deve ser feito através da obtenção de informações de testes de laboratório e do consumidor, que é o laboratório final. A informação advinda do consumidor pode ser obtida através da assistência técnica ou através de um sistema próprio de obtenção de informações do consumidor. Porém, se nenhuma informação sobre problemas de segurança chega à empresa partindo do consumidor, é de se supor que o produto tem a segurança 100%. Isto pode estar indicando uma constatação irreal, pois raramente ter-se-á um produto com a segurança 100%. Neste caso, deve-se rever o sistema de obtenção de informações do consumidor.

Recomenda-se, por questão de economia, que o estudo seja amostral, ou seja, que o fabricante possa verificar a segurança de seus produtos através de informações obtidas de consumidores escolhidos aleatoriamente. Para produtos fabricados em quantidades reduzidas mas de muita responsabilidade, pode ser necessário mensurar a segurança de toda a população de produtos.

5.3 – Considerações Finais

Neste capítulo apresenta-se um relatório para acidentes ocorridos e uma forma de medir segurança, a partir da avaliação das conseqüências e da freqüência dos acidentes.

O relatório de acidentes ocorridos é realizado através da investigação, análise e registro de informações dos acidentes. A investigação e análise utilizam como dados de entrada informações obtidas de visitas ao local onde o acidente ocorre e de entrevistas com pessoas envolvidas com o acidente e profissionais da segurança, quando os acidentes ocorrerem em empresas. O

relatório de acidentes contribui positivamente para o projeto de produtos mais seguros, pois obriga os projetistas a estarem em contato com os usuários de seus produtos e a fazer registros de informações pertinentes relativas à segurança.

O relatório de acidentes auxilia o projetista na melhoria do desenvolvimento dos produtos, pois contém informações importantes, como ato do operador, subsistema causador, princípio de solução, alocação de funções, aspecto do produto ou componente do produto estão mais relacionados aos acidentes. Estas informações são necessárias para a revisão de produtos já existentes e, principalmente para projetos de novos produtos, fornecendo uma importante orientação ao projetista.

O formato do relatório básico do acidentes para registro de informações é uma sugestão do autor deste trabalho, não constituindo uma regra rígida e podendo ser modificada conforme a necessidade dos projetistas de mais detalhamento das informações do acidente.

A medição da segurança possibilita a avaliação da segurança dos produtos em condições reais de uso, sendo esta sua principal vantagem. Mesmo as melhores estimativas ou ferramentas de análise da segurança, se forem feitas sob as características do produto sem considerar o uso do produto estarão sujeitas a erros, pois não estão considerando as interações reais entre o produto e o ambiente, as habilidades do usuário e o desgaste do produto, entre outros. A estimativa apresentada para a segurança dos produtos gera um valor ou índice que considera todos estes elementos que constituem as condições reais de uso do produto.

Finalizando, o conteúdo deste capítulo trata basicamente do índice de segurança, que constitui uma forma de mensuração da segurança do produto, cuja principal função é o acompanhamento da evolução da segurança do produto. Através deste índice, verifica-se se os esforços no sentido de melhorar a segurança realmente obtiveram êxito. As demais informações sobre o produto e as condições em que ocorreram o acidente servem para demonstrar ao projetista como o acidente ocorreu.

CAPÍTULO VI

6.0 - MÉTODO PARA DETERMINAR AS NECESSIDADES DE SEGURANÇA DO CONSUMIDOR

Este método visa melhorar a determinação das necessidades de segurança dos consumidores em relação ao produto, refletindo em maior acuidade na determinação dos requisitos e possibilitando o desenvolvimento de produtos mais seguros.

Os consumidores ou usuários desejam que os produtos ofereçam-lhes um nível aceitável de segurança. Porém, muitas vezes, este desejo é difícil de traduzir em expressões que possam ser utilizadas na casa da qualidade e, conseqüentemente, transformadas em propriedades mensuráveis do produto, ou seja, em requisitos do produto. Visando melhorar a obtenção destas expressões, criou-se um método para determinar as necessidades de segurança dos consumidores em relação ao produto, que é estruturado em 7 etapas:

- identificar os problemas de segurança do produto;
- identificar os possíveis perigos do novo produto;
- determinar as possíveis lesões e danos decorrentes dos perigos identificados;
- avaliar os danos e as lesões;
- verificar a existência de normas aplicáveis aos perigos ou ao produto;
- estabelecer diretrizes para eliminação dos perigos e suas conseqüências;
- determinar as necessidades de segurança.

O método está demonstrado através do fluxograma da Figura 6.1, que apresenta as diversas etapas com seus respectivos resultados e informações utilizadas .

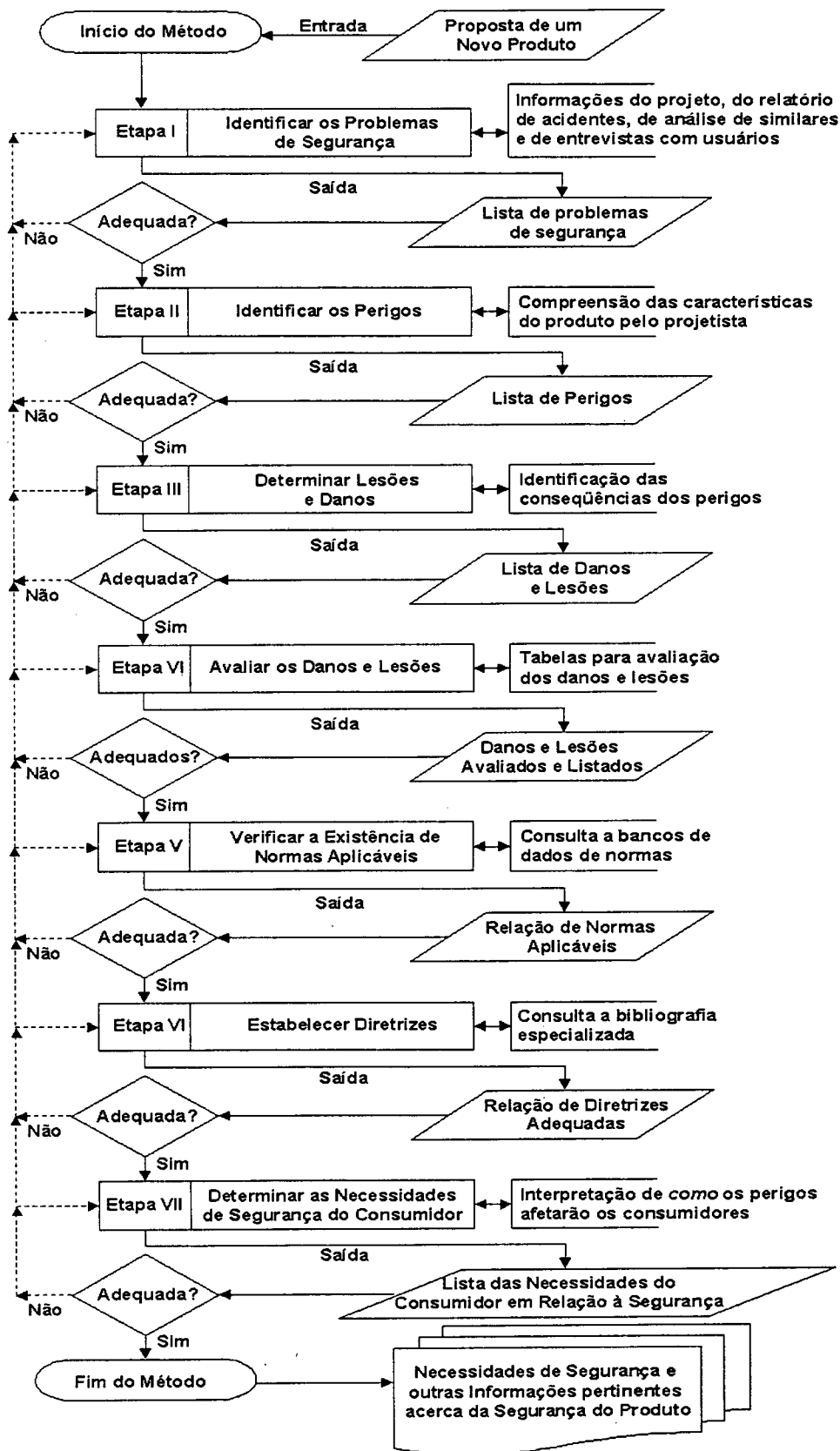


Figura 6.1 - Fluxograma do método para determinação das necessidades de segurança do consumidor.

6.1- Identificar os Problemas de Segurança do Produto

O objetivo de identificar os possíveis problemas de segurança é possibilitar a compreensão de como fatores ou condições estão interagindo com o produto e prejudicando a segurança, permitindo assim um maior entendimento do produto em condições de consumo.

Os problemas de segurança podem ser definidos como uma descrição de algo ou circunstância capaz de provocar acidentes, com conseqüências negativas para o usuário. Esta é a primeira descrição de um problema e por isso tende a ser abstrata e vaga. Porém, tornar-se-ão mais específicas e objetivas no decorrer deste método.

A etapa de definição dos problemas de segurança do produto utiliza informações oriundas de 4 fontes: do processo de projeto do produto, do relatório de acidentes, da análise de produtos similares e de entrevistas com usuários.

Esta etapa inicia após a proposta de um novo produto ter sido formulada, durante o processo de projeto, tomando-se necessário identificar os possíveis problemas de segurança que o produto apresentará quando do consumo ou utilização. A palavra consumo é utilizada aqui num sentido mais amplo, contemplando todas as utilizações que o produto estará sujeito, incluindo as fases de operação, manutenção e limpeza. A partir do momento em que o mercado de consumo, a região geográfica, as características dos consumidores, entre outras, forem determinadas através da metodologia de projeto, os problemas de segurança tornam-se restritos e definidos.

No caso de produtos totalmente novos, que não possuem similares ou relatórios de acidentes, pode-se recorrer a alternativa de utilizar técnicas indutivas, como brainstorming e método 635, para identificar os problemas de segurança do produto. A utilização destas viabiliza a determinação de todas as possibilidades de perigos imagináveis para determinado produto, quando informações de outras fontes não forem disponíveis. A identificação dos perigos deve ser realizada preferencialmente por uma equipe de projetistas.

Em relação a identificação dos problemas de segurança, existe o problema da percepção do projetista, que pode constituir um problema no projeto. Em geral, os projetistas tornam-se familiarizados com os seus projetos de tal forma que não percebem alguns problemas, que poderão tornar-se aparentes e efetivos para os consumidores, visto que estes não possuem conhecimento detalhado do produto. Para solucionar este problema, o projetista deve iniciar a identificação dos problemas de segurança, buscando compreender as condições ambientais e humanas que atuam sobre o produto, além das características do próprio produto.

As condições ambientais representam as circunstâncias sob as quais o produto estará exposto, devido a natureza do ambiente no qual será utilizado. Este ambiente pode variar desde ambientes abertos, nos quais os produtos estarão expostos aos caprichos da natureza, até ambientes controlados, com atmosfera e temperatura rigidamente controladas. Por exemplo, a exposição de um determinado produto à chuva pode ocasionar problemas elétricos, que não ocorreriam se ele estivesse localizado num ambiente controlado.

As condições humanas são decorrentes das características psicológicas, fisiológicas, étnicas e intelectuais, entre outras, dos usuários do produto. Para identificação das condições humanas deve-se determinar o grupo formado pelos consumidores em potencial, pois isto é de máxima importância, devendo ser claramente definido. Grupos de consumidores podem incluir pessoas que possuem limitações de uso do produto, afetando diretamente a segurança dos produtos. Por exemplo, quando o grupo de consumidores incluir crianças, o produto não deve ser composto de partes de pequenas dimensões, pois estas estão sujeitas à ingestão pelas crianças. Ou seja, a determinação do grupo de usuários ou consumidores do produto possibilita a antecipação dos perigos que poderão ser apresentados pelo produto em relação ao treinamento, habilidade, formação, sexo e idade, por exemplo.

A definição das condições humanas de consumo do produto facilita a identificação de diversos problemas decorrentes das interações entre usuário e produto, tais como problemas antropométricos e problemas da utilização de avisos para consumidores analfabetos. Uma vez definidas as condições de consumo do produto, pode-se seguir com a identificação de perigos.

Além dos problemas de segurança citados anteriormente, tem-se aqueles que são consequência das necessidades funcionais do produto ou inerentes ao seu funcionamento, como a geração de calor, a utilização de energia elétrica e a presença de lâminas cortantes. Às vezes, quando necessita-se de um produto para executar determinada tarefa, o projetista se vê obrigado a utilizar princípios de solução inerentemente perigosos, que não podem ser evitados, expondo o consumidor à situação de risco.

Após identificados os problemas de segurança, estes são divididos em 3 grupos:

- grupo ambiental: formado pelas interações entre ambiente e produto, que podem resultar em acidentes pelo prejuízo à funcionalidade do produto. Neste grupo estão os problemas advindos de condições ambientais, tais como chuva, frio, radiação solar e temperatura;
- grupo operacional: formado pelas interações que ocorrem entre produto e usuário, incluindo as atividades de operação, manutenção e limpeza;
- grupo produto: formado pelas características do produto, inerentemente perigosas.

O resultado desta etapa é uma lista relacionando os problemas de segurança do produto, como apresentado na Tabela 6.1. Esta lista irá possibilitar a identificação dos perigos que estão associados a estes problemas. A partir da lista dos problemas de segurança é que se extrairá as informações necessárias às próximas etapas.

Tabela 6.1 - Exemplos de problemas de segurança que um produto pode apresentar.

Problemas de Segurança
<p>Grupo Ambiental: A umidade causa choques elétricos no operador. Os líquidos nas mangueiras congelam com o frio provocando acidentes. Os avisos tornam-se ilegíveis pelo desbotamento com a exposição ao sol.</p>
<p>Grupo Operacional: A alimentação da máquina expõe o operador à ferramenta de corte. Devido ao pouco espaço para manutenção, ocorrem contusões nas mãos. Durante a limpeza a máquina fica ligada, expondo o operador ao conjunto de engrenagens.</p>
<p>Grupo Produto: O produto possui partes que aquecem. O produto não possui aterramento elétrico. O produto possui arestas cortantes em sua estrutura.</p>

6.2 - Identificar os Perigos do Produto

O objetivo desta etapa é converter ou transformar as descrições genéricas dos problemas de segurança dos produtos em descrições de características perigosas dos produtos (incluindo as interações operacionais e ambientais), tornando-as mais concretas e objetivas e associando-as aos subsistemas e componentes do produto. Isto facilita a compreensão e contribui para distinção entre os problemas. Então, esta etapa inicia com a lista de problemas de segurança do produto.

Os perigos ou características perigosas existentes nos produtos propiciam a ocorrência de acidentes, que resultam em danos e lesões. Estas características são conseqüências do produto, das interações da operação ou da ação do ambiente sobre o produto. Na realidade, não existem regras rígidas para reconhecimento dos perigos, pois estes se apresentam de diferentes formas. Porém, o relatório do acidente quando devidamente preenchido, é uma das fontes de informação para identificação dos problemas de segurança do produto e identifica também os perigos que causaram acidentes em produtos semelhantes, conforme o item de número 6 da Figura 5.1. Os itens de número 7, 8, 9 e 10 identificam as condições e fatores contribuintes que favoreceram o

acidente, podendo fornecer informações importantes. Quando não houver relatório de acidentes preenchido, a identificação dos perigos pode ser realizada através da identificação dos elementos do produto que podem afetar a segurança. Neste trabalho, perigos são divididos em classes para que se tornem mais facilmente identificáveis. Esta classificação, que é coincidente com a classificação dos problemas de segurança, tem como objetivo facilitar a identificação dos perigos, dividindo-os em classes com características afins, formando três grandes grupos: o grupo dos perigos do produto formado por perigos inerentes ao produto, o grupo operacional formado pelas interações entre homem e máquina e o grupo ambiental, formado pelas interações indesejadas entre ambiente e produto. Estes grupos são exemplificados na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 - Classificação dos perigos

Classes de Perigos	Descrição	Exemplos
Do produto	Características físicas, químicas ou biológicas existentes no produto.	Energia elétrica, partes quentes, vibrações e substâncias tóxicas.
Operacional	Decorrentes de interações entre homem e produto, quando do uso, manutenção e limpeza.	Falta de proteções, avisos inadequados, dimensões antropométricas incorretas, dificuldades na operação, manutenção e limpeza, alocação de funções e treinamento.
Ambiental	Devido a interações entre ambiente e produto.	Congelamento, tensões térmicas e emperramento devido à poeira.

Conjuntamente com a identificação dos perigos, determina-se qual componente ou subsistema dos produtos de mesmo domínio apresenta o perigo. Conforme afirmado no Capítulo 2, todos os perigos são provenientes de características do produto, que são determinadas no projeto dele. Mesmo os perigos operacionais ou ambientais são gerados devido à constituição do produto e suas características, tais como configuração de componentes e

subsistemas e materiais utilizados no produto. A Tabela 6.3 apresenta exemplos de perigos de produtos, relacionados às características que lhes são próprias, derivadas de diversos fatores como constituição dos materiais e componentes mecânicos, por exemplo.

Tabela 6.3 - Exemplos de perigos inerentes que um produto pode apresentar.

Perigos do Produto	Subsistemas ou componentes que apresentam o perigo
Lâminas Cortantes	Serra
Equipamentos Girantes	Subsistema de transmissão
Quedas de Objetos	Correia transportadora
Choques Elétricos	Subsistema elétrico
Ignição de Combustíveis	Subsistema de potência
Ativação Inadvertida	Subsistema de controle
Líquidos Explosivos	Tanque de combustível
Superfície Quente (queimante)	Motor
Fonte de Alto Nível de Ruído	Motor
Fragmentos ou Projéteis	Serra

De todos os tipos de perigos relacionados aos produtos, o grupo operacional é o mais complexo e exige especial atenção por parte do projetista. As interações entre homem e máquina relacionam-se diretamente com os erros de operação, manutenção e limpeza. Estes erros são conseqüências da alocação de funções inadequadas, decorrente da desconsideração do projetista em relação às habilidades e limitações humanas, ou seja, ocorrem quando o produto, com um projeto deficiente, induz o usuário ao erro, comprometendo o produto ou sua operação. Como exemplo, cita-se algumas condições que favorecem os perigos operacionais, tais como: utilização de comandos e mostradores inadequados ou posicionados inadequadamente no produto e condições antropométricas incorretas. Exemplos de perigos operacionais encontram-se na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Exemplos de perigos operacionais que um produto pode apresentar.

Perigos Operacionais	Subsistemas ou componentes relacionados com o perigo
Alimentação perigosa do produto	Subsistema de alimentação
Acionamento involuntário	Chave liga/desliga
Comandos e mostradores fora de padrão	Painel de controle
Controle deficiente por software	Subsistema de controle
Dificuldade de acesso	Gabinete
Desconforto durante a operação	Estrutura
Manutenção com produto acionado	Subsistema de transmissão
Proteções removíveis durante a operação	Serra

O grupo ambiental consiste nas possíveis alterações ou desvios de comportamento que o produto pode apresentar devido às intempéries ou à incongruência entre o meio ambiente previsto no projeto e o real. Se as solicitações ambientais não forem completamente entendidas e consideradas durante as fases de projeto, elas prejudicarão o produto e o desempenho das suas funções. Os perigos ambientais ocorrem devido à exposição do produto ao meio ambiente, estando associados às características do ambiente de consumo do produto, tais como: intempéries, exposição ao sol e maresia. Exemplos de perigos ambientais encontram-se na Tabela 6.5.

Os ambientes também podem afetar o produto em períodos diferentes, variando desde curto prazo até longo prazo. A curto prazo incluem-se as interferências imediatas sobre o produto. A longo prazo incluem-se as reações lentas que geram danos e perdas da capacidade funcional do produto. Além disso, a combinação de fatores ambientais pode gerar efeitos totalmente diferentes em forma e magnitude daqueles gerados pela ocorrência individual de um único fator. Por exemplo, o problema da corrosão sobre um metal aumenta consideravelmente com o aumento da temperatura, porém, o aumento da temperatura diminui a umidade relativa. Então, é necessário explorar a ocorrência conjunta de fatores para analisar as suas possíveis conseqüências.

Tabela 6.5 - Exemplos de perigos ambientais que um produto pode apresentar.

Perigos Ambientais	Subsistemas ou componentes relacionados com o perigo
Condensação	Tubos de ar comprimido
Congelamento de fluidos	Freio hidráulico
Corrosão ou deterioração de componentes	Estrutura
Emperramento por poeira	Subsistema de transmissão
Trincas ou rupturas térmicas	Estrutura
Umidade excessiva	Subsistema elétrico
Vaporização	Tanque de combustível

Aqui vale uma observação: quando se projeta regularmente produtos de mesmo domínio, pode-se criar e utilizar listas de verificação, que são aplicadas para reconhecimento de perigos em produtos similares já existentes no mercado. Esta ação pode indicar problemas de segurança dos concorrentes e demonstrar, inclusive, problemas recorrentes e semelhantes em vários produtos de mesmo domínio. Isto facilita o trabalho do projetista.

Os perigos identificados possibilitam a realização da próxima etapa deste método.

6.3 - Determinar as Possíveis Lesões e Danos

O objetivo desta etapa é determinar as possíveis lesões ou danos que podem ocorrer se um acidente se manifestar, ou seja, determina-se como os perigos do produto podem provocar prejuízos monetários ou afetar as pessoas e o meio ambiente, através das conseqüências dos acidentes. As lesões consistem em prejuízos à saúde de pessoas e os danos consistem em perda monetária ou destruição ambiental.

Após identificados os perigos, procede-se com a determinação das possíveis lesões ou danos que podem ocorrer, baseando-se na interpretação dos problemas de segurança e do perigos relacionados. Os danos e as lesões possuem características dos perigos que os ocasionaram, isto é, o tipo de lesão ou dano é conseqüência do tipo de perigo associado. Como exemplo,

lesões caracterizadas por cortes na pele são decorrentes de objetos cortantes. Vale lembrar que o projetista pode utilizar uma fonte importante de informações para determinação dos danos e lesões: o relatório de acidentes. Ele discrimina nos itens de número 13, 16 e 23 (conforme Figura 5.1) os prejuízos monetários, as lesões e a área atingida, quando tiverem ocorrido acidentes com produtos similares.

Após a determinação das lesões e dos danos, eles devem ser listados. As Tabelas 6.6, 6.7 e 6.8 apresentam exemplos de descrições da lesão que pode ocorrer, além do perigo que a provoca. Todos os perigos que foram identificados na fase anterior, devem ter as possíveis conseqüências obrigatoriamente descritas.

Tabela 6.6 - Exemplos de possíveis lesões decorrentes dos perigos de um produto.

Lesões	Perigos	Subsistemas ou Componentes
Contusão	Queda de objetos	Correia transportadora
Cortes	Lâminas cortantes	Serra
Esmagamento	Manutenção com produto acionado	Subsistema de transmissão
Ossos Quebrados	Alimentação perigosa	Subsistema de alimentação
Partículas nos Olhos	Fragmentos ou Projéteis	Serra
Morte	Choque elétrico	Subsistema elétrico
Queimadura Térmica	Ignição de Combustíveis	Subsistema de potência
Surdez	Alto Nível de Ruído	Motor

Tabela 6.7 - Exemplos de possíveis danos ambientais decorrentes dos perigos de um produto.

Danos Ambientais	Perigos	Subsistemas ou Componentes
Contaminação atmosférica	Vaporização	Tanque de combustível
Contaminação do solo	Vazamento de fluido hidráulico	Subsistema de frenagem
Contaminação de águas	Vazamento de óleo lubrificante	Subsistema de transmissão
Destruição de vegetação	Ignição de Combustíveis	Subsistema de potência
Aquecimento do meio ambiente	Liberação de gases quentes	Motor

Tabela 6.8 - Exemplos de possíveis prejuízos monetários decorrentes dos perigos de um produto.

Prejuízo Monetário	Perigos	Subsistemas ou Componentes
Indenizações	Alto nível de ruído	Motor
Perda de material	Vazamento	Tanque de combustível
Queda de vendas	Controle deficiente por software	Subsistema de controle
Manutenção em excesso	Vazamento de óleo lubrificante	Subsistema de transmissão
Produto parado	Corrosão ou deterioração de componentes	Estrutura
Operador parado	Desconforto durante a operação	Estrutura

6.4 - Avaliar os Danos e as Lesões

O objetivo desta etapa é avaliar os danos e lesões, decorrentes dos perigos, caso os acidentes se manifestem. Por isso, todos os perigos são listados e os danos e lesões são avaliados, conforme Tabela 6.9.

Na avaliação dos danos e lesões e da possibilidade de ocorrência dos acidentes, com os quais podem estar relacionados, utiliza-se as Tabelas 6.10 a 6.15. As informações sobre as conseqüências e a possibilidade de ocorrência

dos acidentes são obtidas através de entrevistas com usuários ou relatórios de acidentes obtidos nas empresas, para o caso de produtos já existente e em uso. No caso de produtos em desenvolvimento e sem similares em uso, para os quais não existem informações, o projetista deverá prever as possíveis conseqüências e a possibilidade de ocorrência de futuros acidentes, relacionando-as aos perigos. Para que isso seja feito, o projetista deve imaginar que o produto em desenvolvimento está em uso e supor que um acidente ocorreu. Estando este acidente relacionado com um determinado perigo, possibilitará a caracterização das lesões e dos danos. Por exemplo, uma faca de cozinha possui uma lâmina cortante que, em caso de acidentes, normalmente ocasiona cortes nas mãos do usuário. Neste caso, tem-se o número de pessoas atingidas igual ao número de usuários ($PE = 2$), com gravidade leve ($GP = 1$) e que freqüentemente ocorre pois o perigo está exposto ($PO = 10$). Os demais parâmetros são iguais a zero.

A avaliação dos perigos de um produto é, portanto, realizada com auxílio das informações provenientes do processo de projeto do produto, do relatório de acidentes, da análise de produtos similares e de entrevistas com usuários. Observando-se estas informações, verifica-se como os diversos perigos identificados estão configurados, em termos da exposição deles e da possibilidade de provocar acidentes e produzir conseqüências indesejadas.

A avaliação dos perigos é composta de quatro parâmetros medidos avaliados pelo projetista, conforme seus conhecimentos acerca de acidentes ou do produto: possibilidade de ocorrência, pessoal, monetário e meio ambiente atingido. A possibilidade de ocorrência identifica a probabilidade do acidente manifestar-se, em decorrência de um determinado perigo. O parâmetro pessoal identifica o número de pessoas que podem ser atingidas caso um acidente ocorra, assim como a intensidade do acidente sobre elas. Em relação ao parâmetro pessoal, a intensidade ou gravidade do acidente pode ser determinada pelas possíveis conseqüências às pessoas, tais como acidentes com lesões leves, mutilações ou morte. O parâmetro monetário identifica o provável valor do prejuízo monetário, caso um acidente se manifeste, em relação ao preço de aquisição do produto. O meio ambiente identifica a área e a gravidade ambiental que possivelmente ocorrerão caso um

acidente ocorra, tais como: contaminação ambiental e destruição de propriedades. Em relação à gravidade ambiental, pode-se dividir os efeitos do possível acidente em conseqüências, cuja recuperação seja: de curto prazo ou imediata, de médio prazo, de longo prazo ou irrecuperáveis. Observa-se que a avaliação dos parâmetros monetário, ambiental e pessoal é semelhante à forma utilizada para avaliação dos parâmetros necessários à medição da segurança. Após a avaliação, todos estes parâmetros resultam em valores quantitativos que podem ser agrupados em um único valor, o índice de periculosidade do produto, através de uma operação matemática, conforme Equação 6.2.

Visando determinar a probabilidade de ocorrência de um acidente, relacionando um determinado perigo, faz-se a seguinte pergunta: "qual é a probabilidade de ocorrer acidentes como conseqüência de determinado perigo?" As possíveis respostas estão demonstradas na Tabela 6.9 com a respectiva pontuação para avaliação.

Tabela 6.9 - Probabilidade de manifestação dos acidentes decorrentes de um perigo.

Probabilidade de Ocorrência - PO	Pontuação	Observações
Alta	10	Possui alta probabilidade de ocorrência, o perigo está exposto e o risco é eminente.
Média	5	Provavelmente ocorrerá com freqüência, o perigo está parcialmente exposto e o risco é elevado.
Baixa	3	Possui baixa probabilidade de ocorrência, o perigo está minimamente exposto e o risco é baixo.
Remota	1	Difícilmente ocorrerá, o perigo está totalmente protegido e o risco é desprezável.

Em relação ao parâmetro pessoal avalia-se o perigo segundo as lesões causadas pelos acidentes. Isto é realizado respondendo-se as seguintes perguntas: "se um acidente relacionado a determinado perigo ocorrer, quantas

peças possivelmente serão lesionadas?" e "com qual gravidade?" De acordo com a resposta, relacionam-se as pontuações nas Tabelas 6.10 e 6.11.

Tabela 6.10 - Pontuação para o número de pessoas lesionadas, caso um acidente se manifeste.

Pessoas Expostas- PE	Pontuação
Ninguém está exposto ao perigo e a possibilidade de lesão é desprezável	0
O número de pessoas expostas ao perigo, que podem ser lesionadas, é inferior ao número de usuários	1
O número de pessoas expostas ao perigo, que podem ser lesionadas, é igual ao número de usuários	2
O número de pessoas expostas ao perigo, que podem ser lesionadas, é superior ao número de usuários	3

Tabela 6.11 - Gravidade das possíveis lesões que as pessoas sofrerão, caso um acidente se manifeste.

Gravidade da Lesão - GP	Peso atribuído à gravidade da lesão	Exemplos
Leve	1	Pequenos cortes, pequenas batidas ou choque com objetos sem necessidade de afastamento do trabalho.
Média	2	Lesões que incapacitam para o trabalho por período de tempo limitado.
Grave	3	Doença ocupacional definitiva que impossibilita para o trabalho.
Gravíssima	4	Invalidez permanente que necessite de auxílio à vida, como paralisia, cegueira, coma ou morte.

Para determinação dos danos ambientais, para cada perigo, considera-se o meio ambiente atingido e a gravidade dos danos ocorridos. Então, deve-se responder a duas perguntas: "qual seria a área destruída por um possível acidente, ocorrido devido a determinado perigo?" e "com qual gravidade?" As pontuações estão relacionadas nas Tabelas 6.12 e 6.13. Para a determinação da maior superfície ou área do produto, que é necessária para a utilização da

Tabela 6.12, realiza-se o produto das duas maiores dimensões do produto, sejam elas altura, largura ou comprimento. Por exemplo, supondo que as dimensões máximas de um produto sejam 3 metros de altura, 2 metros de largura e 5 metros de comprimento. Então, a maior superfície será de 15 metros quadrados. Supondo, que a área exposta a destruição é de 30 metros quadrados, devido a possibilidade de uma explosão, por exemplo. Então, sendo a área exposta a destruição superior à área do produto, a pontuação será de 3 pontos.

Tabela 6.12 - Área exposta ao perigo que pode ser destruída, caso um acidente se manifeste.

Área Exposta - AE	Pontuação
O meio ambiente não esta exposto ao perigo	0
A área do meio ambiente exposta ao perigo, que pode ser destruída, é inferior a maior área do produto	1
A área do meio ambiente exposta ao perigo, que pode ser destruída, é igual a maior área do produto	2
A área do meio ambiente exposta ao perigo, que pode ser destruída, é superior a maior área do produto	3

Tabela 6.13 - Gravidade da destruição ambiental que ocorrerá, caso um acidente se manifeste.

Gravidade da Destruição Ambiental GA	Peso atribuído à gravidade da destruição ambiental	Exemplos
Recuperação imediata ou de curto prazo (menor que 1 ano)	1	Destruição de muros, paredes e pequenas instalações, destruição de canteiros de plantas
Recuperação de médio prazo (entre 1 e 10 anos)	2	Morte de pequenas árvores de reflorestamento, destruição de grandes instalações.
Recuperação de longo prazo (entre 10 anos e 100 anos)	3	Contaminação de águas com detergentes ou óleos minerais.
Irrecuperáveis (maior que 100 anos)	4	Contaminação com urânio radioativo.

Para a determinação do parâmetro monetário que indica a possibilidade de perdas de capital decorrentes de um possível acidente, decorrente de um perigo, basta comparar o valor das possíveis perdas monetárias com o provável valor de aquisição do produto e responder a pergunta: "No caso de um acidente ocorrer, devido a determinado perigo, qual seria a perda de capital?" A pontuação se encontra na Tabela 6.14.

Tabela 6.14 - Relação entre o valor do produto e as possíveis perdas de capital, caso um acidente se manifeste.

Parâmetro Monetário - PM	Pontuação
Não haverá perda de capital	0
O valor da perda de capital será inferior ao custo de aquisição do produto	1
O valor da perda de capital será igual ao custo de aquisição do produto	2
O valor da perda de capital será superior ao custo de aquisição do produto	3

Deve-se ter em mente, nesta fase, que os perigos identificados e as lesões e danos avaliados são relativos a um determinado domínio de produtos, por isso, os percentuais de importância dos perigos obtidos para um domínio é apenas aplicável quando se avalia o mesmo domínio de produtos, ou seja, de produtos similares e de mesmas características. Por exemplo: numa avaliação de danos e lesões, não se pode utilizar um conjunto de percentuais obtidos para um fogão para avaliar uma serra circular, pois são produtos com características e perigos diferentes.

Tabela 6.15 – Exemplo hipotético de avaliação de possíveis danos e lesões.

Perigos	Subsistemas ou Componentes	Lesões e Danos	PO	PE	GP	AE	GA	PM	ΣP	% IP
Lâminas cortantes	Serra	Cortes	10	2	2	0	0	1	50	37
Alto nível de ruído	Motor	Indenização e surdez	5	3	3	0	0	3	60	45
Vazamento de óleo hidráulico	Subsistema de frenagem	Contaminação do solo	1	0	0	3	3	3	12	9
Trinca térmica	Estrutura	Equipamento parado	1	0	0	0	0	3	3	2
Controle deficiente por software	Subsistema de controle	Queda de vendas	3	0	0	0	0	3	9	7

Legenda:
 %IP - Percentual de importância
 ΣP - Somatório de pontos para cada perigo

Após os pontos e pesos para os diversos parâmetros serem determinados, procede-se com a determinação do percentual de importância (%IP) de cada um dos perigos. Isto é feito através da Equação 6.1.

$$\text{Percentual de importância} = \frac{\Sigma P}{\Sigma P_{\text{TOTAL}}} \quad (\text{Eq. 6.1})$$

onde:

ΣP = somatório de pontos para cada perigo, dado pela Equação 6.2:

$$\Sigma P = (PE \times GP + AE \times GA + PM) \times PO \quad (\text{Eq. 6.2})$$

ΣPTOTAL = total dos pontos obtidos pelos perigos, dado pela Equação 6.3:

$$\Sigma P_{\text{TOTAL}} = \Sigma P_{\text{Perigo1}} + \Sigma P_{\text{Perigo2}} + \dots + \Sigma P_{\text{Perigon}} \quad (\text{Eq. 6.3})$$

O cálculo do total dos pontos obtidos pelos perigos permite avaliar o quanto os perigos podem contribuir para o acidente. Para isso, precisa-se determinar o somatório máximo de pontos possíveis. O somatório máximo de pontos possíveis representa o valor que se obteria se todos os perigos relacionados contribuíssem para o acidente e o acidente tivesse as piores consequências possíveis. O somatório máximo de pontos possíveis é obtido

pelo produto do somatório máximo possível de pontos para um perigo pelo número de perigos associados à segurança. O somatório máximo possível de pontos para um perigo, é dado pelas pontuações máximas das Tabelas 6.9 a 6.14 e tem o valor de 270 pontos, conforme as Equações 6.6 e 6.7. A contribuição dos perigos para o acidente, que será chamada de índice de periculosidade do produto (IPP) será dada pela Equação 6.4.

$$IPP = \frac{\sum PTOTAL}{\sum PMAX} \quad (\text{Eq. 6.4})$$

Onde:

IPP = índice de periculosidade do produto;

$\sum PTOTAL$ = total dos pontos obtidos pelos perigos;

$\sum PMAX$ = somatório máximo de pontos possíveis, dado pela Equação 6.5.

$$\sum PMAX = [(3 \times 4 + 3 \times 4 + 3) \times 10] \times NPR \quad (\text{Eq. 6.5})$$

Onde: NPR = número de perigos relacionados;

ou seja,

$$\sum PMAX = 270 \times NPR \quad (\text{Eq. 6.6})$$

Com os valores dos percentuais de importância dos perigos, o projetista pode verificar quais perigos são mais críticos e decidir sobre como reduzir os níveis desta periculosidade, que resultará em melhoria da segurança do produto. Para verificar quais componentes ou subsistemas são mais críticos em relação à segurança, os percentuais de importância dos perigos podem ser somados e agrupados em função deles. Com isso, se revelará quais componentes ou subsistemas devem receber mais atenção durante o processo de projeto.

Por exemplo, utilizando-se os dados da Tabela 6.15 para calcular o IPP tem-se:

$$IPP = \frac{134}{(270 \times 5)} = 0,0992 \therefore IPP = 9,92\% \quad (\text{Eq. 6.7})$$

Neste exemplo o índice de periculosidade do produto (IPP) é de 9,92%.

Aqui vale uma observação importante. Durante o processo de projeto, após a lista de requisitos ter sido obtida e algumas características fundamentais do produto terem sido definidas ou após a sua conclusão, deve-se recalcular a periculosidade do produto, reutilizando-se da Tabela 6.15, para verificar se os perigos identificados em similares foram eliminados ou controlados. Com isso, pode-se comparar com a periculosidade calculada anteriormente para o produto, verificando se o método para determinação das necessidades de segurança atingiu seu objetivo principal, que é possibilitar a melhoria da segurança do produto.

Ao final desta etapa, tem-se listados os perigos do produto, relacionando-os a componentes e subsistemas, indicando as possíveis conseqüências deles caso acidentes ocorram. Esta lista de perigos ainda contém os percentuais de importância destes perigos e a avaliação das lesões e danos que eles podem ocasionar.

6.5 - Verificar a Existência de Normas Aplicáveis

O objetivo desta etapa é verificar a existência de normas aplicáveis ao produto ou aos perigos específicos dele, para conferir um nível mínimo de segurança aos produtos.

A escolha de normas apropriadas, como foi comentado no Capítulo 3, é uma das mais importantes tarefas para o projeto seguro, devendo estas serem selecionadas antes de qualquer definição de especificações ou detalhes de projeto de componentes, pois isto provavelmente afetará estas atividades. As normas de segurança para projetos normalmente limitam características do produto, como limitação da temperatura da superfície da máquina e dimensões de frestas pelas quais se tem acesso a partes perigosas. Quando se verifica a existência de normas aplicáveis e utiliza estas normas, garante-se que o produto tenha um nível mínimo aceitável de segurança que respaldará às decisões do projetista, no tocante as especificações de projeto, sob o aspecto legal. A verificação da existência de normas é realizada através de pesquisas

em manuais de projeto, bancos de dados de instituições normalizadoras, como INMETRO e ABNT, e outras publicações relacionadas. Estas normas auxiliarão no estabelecimento das necessidades de segurança dos consumidores, refletindo em requisitos adequados em relação à segurança.

Como as normas de segurança são aplicáveis a perigos ou a produtos específicos, elas indicarão como estes devem ser tratados para melhoria da segurança. Mesmo normas para produtos específicos, possuem recomendações para as características destes produtos que podem causar acidentes. Então, ao lado de cada perigo listado deve-se incluir uma nova informação: a norma aplicável a ele. Após as normas aplicáveis serem identificadas, procede-se com o método, passando-se à próxima etapa.

6.6 - Estabelecer Diretrizes

O objetivo do estabelecimento das diretrizes é orientar o projetista no desenvolvimento de produtos mais seguros. As diretrizes que são utilizadas nesta etapa são aquelas citadas no Capítulo 3, que são sugeridas por diversos autores.

As diretrizes para o projeto de produtos seguros identificam o desejo do projetista ou do fabricante em estabelecer os níveis de segurança dos produtos, denotando, por vezes, a política de segurança estabelecida pelo fabricante para o produto. Elas visam estabelecer parâmetros para garantir que os acidentes sejam evitados ou tenham suas conseqüências diminuídas, orientando o projetista a estabelecer níveis aceitáveis de segurança para o produto, durante o processo de projeto. As diversas diretrizes encontradas na bibliografia são quase sempre semelhantes e apontam para os seguintes princípios básicos:

- sempre que possível, projetar, manufaturar e distribuir produtos livres de características inseguras;
- se isso não for possível, construir barreiras e proteções para resguardar as pessoas das características inseguras do produto;

- se isso também não for possível, prover o usuário com instruções e avisos adequados;
- tratar uniformemente os perigos e riscos do produto;
- limitar as conseqüência dos acidentes em relação aos seguintes aspectos: o produto não deve matar ou lesionar pessoas, animais ou plantas e não deve danificar propriedades e meio ambiente.

Estas são diretrizes que podem ser sempre utilizadas na determinação das necessidades e na formulação dos requisitos de segurança, buscando-se eliminar perigos, controlar riscos, pôr avisos, atentar para o tratamento semelhante de perigos e riscos semelhantes e reduzir as conseqüências dos acidentes. Além disso, estas diretrizes contemplam os padrões comumente aceitos pelas pessoas, inclusive em processos judiciais, por isso devem ser utilizadas.

As diretrizes para estabelecimento de requisitos de segurança estão inseridas dentro do conceito de segurança, no qual primeiro deve-se evitar o acidente e depois a lesão ou dano. Generalizando estas diretrizes, observa-se que elas denotam a seguinte estrutura básica: características físicas ou operacionais do produto, mesmo quando sob influência externa, não podem ocasionar danos ou lesões.

Então, os perigos são listados na Tabela 6.16, com suas causas, conseqüências, percentual de importância para que o projetista possa avaliar se eles são inerentes ou elimináveis, se existem perigos semelhantes a ser tratados de forma semelhante e se há recomendações de normas e diretrizes para estes perigos.

Tabela 6.16 – Exemplo para lista dos perigos de um produto, relacionando-os às normas e diretrizes utilizáveis.

Perigos	Subsistemas ou Componentes	Lesões e Danos	% IP	Inerentes ou Elimináveis	Diretrizes e Normas Aplicáveis
Alto nível de ruído	Motor	Indenização e surdez	45	Inerente	Proteger o operador
Lâminas cortantes	Serra	Cortes	37	Inerente	Proteger e avisar operador NBR 13928
Vazamento de óleo hidráulico	Subsistema de frenagem	Contaminação do solo	9	Eliminável	Eliminar o vazamento
Controle deficiente por software	Subsistema de controle	Queda de vendas	7	Eliminável	Eliminar o problema
Trinca térmica	Estrutura	Equipamento parado	2	Eliminável	Eliminar o problema

Depois da verificação de quais perigos são elimináveis ou inerentes, aplica-se sobre eles as diretrizes. Os perigos que não foram eliminados e considerados similares a outros existentes no produto, devem ser tratados de forma semelhante. Deve-se dar especial atenção aos perigos com maior percentual de importância. Com as recomendações de normas pertinentes ao produto ou aos perigos pode-se reduzir os perigos do produto. Basta utilizar adequadamente as orientações e valores recomendados pelas normas pertinentes.

6.7 - Determinar as Necessidades dos Consumidores

O objetivo desta etapa é determinar as necessidades dos consumidores em relação à segurança oferecida pelo produto, de forma a eliminar a possibilidade de acidentes ou atenuar suas consequências através do estabelecimento de requisitos adequados de segurança. Como necessidades de segurança compreende-se tudo que for absolutamente imprescindível para garantir que acidentes de qualquer espécie não aconteçam com o produto, fazendo com que a segurança seja maximizada e, como aspecto da qualidade, satisfaça o consumidor.

Os requisitos de projeto correspondem às exigências que se faz em relação ao produto e têm origem nas necessidades do consumidor, nas exigências técnicas ou econômicas da empresa, nas exigências técnicas e operacionais do produto e nos fatores de mercado. A lista de requisitos também constitui um limitante do projeto a ser desenvolvido, ou seja, tem-se a idéia de um produto para satisfazer determinada necessidade, mas que deve ser desenvolvido dentro de especificações, cuja limitação é exatamente a lista de requisitos. Esta diminui a abstração inicial do problema do projeto.

Os consumidores normalmente têm dificuldade em identificar suas necessidades, que são traduzidas em requisitos de projeto. Produtos otimizados, em relação às suas qualidades, são aqueles em que os requisitos de projeto foram traduzidos a partir das necessidades reais dos consumidores. Por isso, quanto melhor e mais precisa a identificação das necessidades dos consumidores, mais realística será a lista de requisitos. Quando os requisitos não satisfazem as necessidades dos consumidores, o produto tem grande chance de ser um fracasso, pois não está adequado ao consumidor, estando sujeito a processos judiciais e manutenções excessivas. Por outro lado, se os requisitos de projeto excedem as reais necessidades, isto poderá representar um aumento dos custos de produção e projeto. Em geral, os projetistas têm como regra, acreditando estar realizando um bom trabalho para a empresa, incluir características adicionais ao produto não estabelecidas na lista de requisitos do projeto. Assumindo que as necessidades foram corretamente traduzidas em requisitos de projeto, essa inclusão torna o produto fora da realidade, prejudicando o produto e a empresa. A inclusão de características adicionais, além daquelas previstas nos requisitos de projeto, é uma prática que deve ser evitada.

Considerando-se como objetivo principal do produto a satisfação das necessidades do consumidor, espera-se que a lista de requisitos retrate estas necessidades. Se isto não acontecer, esta lista de requisitos está confeccionada de forma errada ou é incompleta. A lista de requisitos deve possibilitar o cumprimento de dois aspectos: um associado à finalidade do produto ou realização de determinada tarefa por ele e outro associado à necessidade de segurança. Pois, mesmo que um produto consiga realizar uma

determinada tarefa, porém sem oferecer segurança, este não cumpriu os requisitos esperados pelo consumidor.

Como os requisitos irão determinar as características do produto quando este estiver sendo produzido, comercializado e utilizado, muitos requisitos mal formulados ou com valores mal definidos dão origem ou margem para que perigos ou riscos possam existir no produto. Havendo perigos inerentes ao funcionamento do produto, por não haver outros princípios de solução mais seguros, então a função dos requisitos em relação à segurança passa a ser de oferecer formas de controlar os riscos. Para que se possa eliminar os perigos ou controlar os riscos, os requisitos devem ser formulados adequadamente e a eles devem ser atribuídos valores corretos das propriedades. Muitas vezes estes valores são determinados por normas e padrões industriais, como visto no item 6.4. Então, estes requisitos devem se opor à ocorrência de acidentes ou tentar diminuir a possibilidade de suas conseqüências. Sendo assim, para cada lesão possível e para cada perigo, um requisito de segurança deve ser formulado. Os requisitos servirão de referência para obtenção das especificações de um produto mais seguro.

Outra questão a ser abordada está relacionada à utilização do produto. A lista de requisitos, normalmente, estabelece especificações somente para o produto a ser projetado. Porém, o produto quando em utilização forma um sistema com o consumidor, o sistema homem-máquina. Então, quando determina-se corretamente as necessidades de segurança, estabelece-se também os requisitos para o sistema homem-máquina, considerando não somente aspectos físicos e técnicos, mas também aspectos operacionais do produto, retratando a relação entre homem e máquina. Isto inclui aspectos como luzes, cargas, cores e contrastes de cores, dimensões do posto de trabalho e outros aspectos relativos à segurança e à Ergonomia operacional.

Uma necessidade expressa um aspecto da qualidade de um produto. Em relação a segurança, este aspecto da qualidade deve expressar a qualificação de um perigo, lesão ou dano que se deseja evitar ou amenizar, como por exemplo: não lesionar os olhos com fragmentos ejetáveis. Se possível, deve também quantificar o perigo, lesão ou dano, como por exemplo limitar o nível de ruído. Exemplos de necessidades de segurança estão listados nas Tabelas 6.17 a 6.21. Então, os requisitos devem ser formulados através de

sentenças que expressam estas necessidades do consumidor em relação à segurança, apresentando valores de referência obtidos através de informações oriundas de catálogos técnicos, da análise de concorrentes e das normas pesquisadas. Por exemplo, em máquinas térmicas, onde o perigo de queimadura é inerente e não pode ser eliminado, pode-se limitar a temperatura nas superfícies em contato com o operador em valores abaixo de 43°C. Esta limitação constitui um requisito de projeto. A formulação da lista de requisitos deve ser, sempre que possível, objetiva e expressar uma limitação ou valor de referência de uma propriedade quantitativa, visando diminuir a subjetividade, podendo estas informações quantitativas referenciar padrões de segurança de produtos já existentes ou similares.

Tabela 6.17 – Exemplos de necessidades de segurança para a serra do produto.

Componente ou subsistema	Serra
Perigos	Lâmina cortante
Necessidades de Segurança	A serra deve ser protegida contra contato do usuário, durante a operação; A serra deve ter avisos sobre seus perigos.

Tabela 6.18 – Exemplos de necessidades de segurança para o motor do produto.

Componente ou subsistema	Motor
Perigos	Alto nível de ruído
Necessidades de Segurança	A serra deve ser protegida contra ruídos emitidos, através de enclausuramento isolado acusticamente, limitando o ruído ao operador em 70dBa.

Tabela 6.19 – Exemplos de necessidades de segurança para o subsistema de frenagem do produto.

Componente ou subsistema	Subsistema de frenagem
Perigos	Vazamento de óleo hidráulico
Necessidades de Segurança	As partes que utilizarem óleo hidráulico devem estar confinadas.

Tabela 6.20 – Exemplos de necessidades de segurança para a estrutura do produto.

Componente ou subsistema	Estrutura
Perigos	Trinca térmica
Necessidades de Segurança	Deve-se utilizar um material na estrutura que resista às tensões devido à variação de temperatura entre 20°C e 60°C.

Tabela 6.21 – Exemplos de necessidades de segurança para o subsistema de controle do produto.

Componente ou subsistema	Subsistema de controle
Perigos	Controle deficiente por software
Necessidades de Segurança	O software não deve poder executar operações críticas sem acompanhamento do usuário, informando e exigindo permissão para cada nova operação.

6.8 – Considerações Finais

Neste capítulo apresentou-se um método para determinação das necessidades de segurança para um produto. A intenção foi utilizar informações provenientes de problemas de segurança do produto, que foram tratadas e associadas a outras informações através de várias etapas intermediárias, para compreender quais informações podem determinar as necessidades dos consumidores. Possibilitando, assim, traduzi-las em requisitos de segurança dos produtos, para que realmente possibilitem a melhoria da segurança dos produtos.

Este método constitui um procedimento lógico para obtenção das necessidades de segurança, subdividido em etapas. Estas etapas podem ser classificadas em analíticas e sintéticas. Nas etapas analíticas busca-se compreender, descrever e avaliar os problemas de segurança e nas etapas sintéticas busca-se e apresenta-se soluções para estes problemas.

As duas primeiras etapas do método constituem a compreensão das deficiências de segurança apresentadas por produtos de mesmo domínio. A

etapa posterior, de determinação de possíveis lesões e danos, consiste na avaliação das possíveis conseqüências dos acidentes, resultando em como eles podem se manifestar e na importância relativa de cada perigo.

As etapas da verificação da existência de normas aplicáveis e do estabelecimento de diretrizes indicam qual o caminho a tomar para evitar que acidentes ocorram. Este caminho constitui limitações de características de produtos e considerações sobre como fazer para limitar os perigos e suas conseqüências num produto. A última etapa, de determinação das necessidades de segurança, visa formular as necessidades de segurança, possibilitando a obtenção dos requisitos de segurança do produto.

Existe neste método uma avaliação da periculosidade do produto, que diferente da mensuração da segurança, é realizada exclusivamente baseando-se nos conhecimentos do projetista, caracterizando, assim, um certo grau de subjetividade. Esta avaliação da periculosidade é realizada em dois momentos distintos: durante a aplicação do método e no processo de projeto, possibilitando a comparação da melhoria da segurança do produto devido à diminuição da periculosidade do mesmo. Esta diminuição da periculosidade do produto deverá refletir numa diminuição do número de acidentes do produto e da gravidade de suas conseqüências. Isto fará com que o índice de segurança do novo produto seja melhor do que o do antigo.

CAPÍTULO VII

7.0 - ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DA MENSURAÇÃO DA SEGURANÇA EM EQUIPAMENTOS DA INDÚSTRIA MOVELEIRA

O objetivo deste capítulo é apresentar uma aplicação do uso do relatório de acidentes e da medição da segurança de produtos. Esta aplicação foi realizada em indústrias moveleiras do Estado de Santa Catarina, mais especificamente sobre 5 equipamentos, que são: tupa de mesa, serra circular, esquadrejadeira, fresadora e perfiladeira.

Neste capítulo, pôde-se verificar a aplicabilidade do relatório de acidentes e da mensuração da segurança e se eles atingiram os resultados esperados. Os resumos das informações obtidas através do relatório do acidente e o cálculo do índice de segurança estão apresentados neste capítulo.

7.1 - Importância da Aplicação

Para verificar a aplicabilidade da mensuração da segurança dos produtos foram realizadas observações sobre alguns equipamentos utilizados nas indústrias moveleiras, visando definir o índice de segurança deles. O índice de segurança apontará quais equipamentos são os mais perigosos e quais são os mais seguros. As demais informações obtidas servirão para apontar deficiências nos equipamentos, possibilitando propor melhorias na segurança, que poderão ser implementadas através do método para determinação das necessidades de segurança do consumidor.

A opção por aplicar a medição da segurança em empresas do setor moveleiro do estado de Santa Catarina foi consequência da verificação das informações contidas no relatório de comunicação de acidentes do trabalho do ano de 1997 (INSS/SC, 1998). Além de ser um ramo de atividade industrial de participação significativa na economia catarinense, o setor da indústria moveleira é um dos que mais apresentam acidentes (Fig. 7.1).

Foram efetuados contatos telefônicos com diversas empresas do setor moveleiro, mas apenas duas mostraram-se receptivas a colaborar com este trabalho: as Indústrias Artefama S/A e a Móveis Rudnick S/A – Fábrica 1, ambas localizadas em São Bento do Sul, no planalto norte catarinense. Na visita às Indústrias Artefama S/A, contou-se com o acompanhamento e colaboração da engenheira de segurança Tânia Maria Cândido Pacheco (CREA/SC 27.812-0) e do técnico de segurança Nilo Urbainiski (RMTb 4700538-7). Na Móveis Rudnick S/A, contou-se com o acompanhamento e colaboração do técnico de segurança Marcos Aurélio Salvador (RMTb 4700332-1). As Indústrias Artefama produzem móveis destinados principalmente para o mercado exterior e contam com 780 trabalhadores, enquanto a Móveis Rudnick conta com 240 trabalhadores em sua fábrica 1.

Através das observações, tentou-se identificar os índices médios de segurança para cinco tipos distintos de equipamentos: a tupa de mesa, a serra circular, a esquadrejadeira, a fresadora e a perfiladeira. Os grupos de equipamentos foram selecionados sem distinção de fabricantes ou modelos, a partir dos seguintes critérios:

- importância do equipamento dentro do ramo moveleiro, denotado pela expressiva utilização do mesmo;
- importância dos acidentes causados por esses equipamentos, tanto em quantidade como em gravidade.

A Tabela 7.1 apresenta a quantidade de equipamentos observados nas duas empresas.

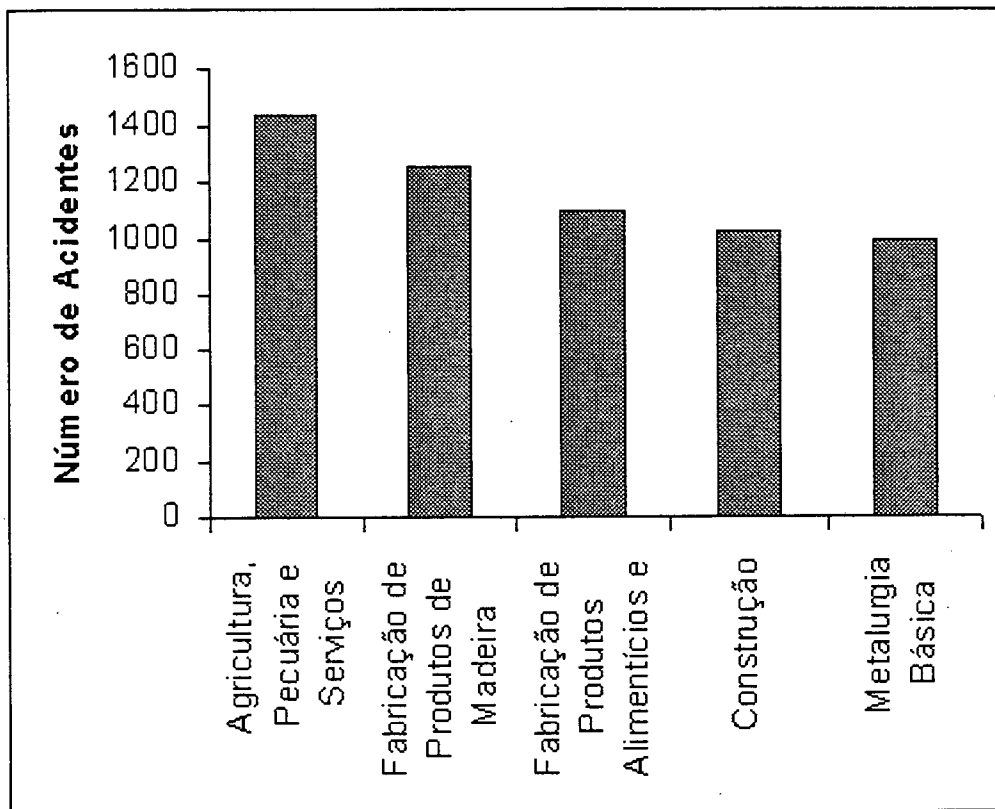


Figura 7.1 - Distribuição de acidentes segundo o ramo de atividade econômica agrupado (INSS/SC, 1998).

Tabela 7.1 – Equipamentos observados [São Bento do Sul - SC, 2000].

Tipo de Equipamento	Número de Equipamentos sem Acidentes	Número de Equipamentos com Acidentes	Total
Tupia de Mesa	1	4	5
Serra Circular	4	2	6
Esquadrejadeira	2	1	3
Fresadora	1	1	2
Perfiladeira	0	4	4

7.2 – Relatório de Acidentes

O levantamento de informações para o relatório de acidentes foi realizado através de entrevistas com os operadores dos equipamentos e com

os profissionais de segurança, obtendo-se dados sobre acidentes ocorridos ou presenciados pelos mesmos. As informações foram devidamente registradas e referem-se aos acidentes ocorridos entre 1º de janeiro e 14 de agosto de 2000.

As informações obtidas nas entrevistas foram registradas nas planilhas de relatório do acidente (Fig. 5.1) e seus resumos estão apresentados nas Tabelas 7.2, 7.3, 7.4 e 7.5, que apresentam também os valores dos parâmetros pessoal, monetário e ambiental, calculados a partir das informações obtidas dos acidentes ocorridos e necessárias ao cálculo dos índices de insegurança e segurança, para os diversos equipamentos observados.

Tabela 7.2 - Extrato dos relatórios de acidentes

[São Bento do Sul - SC, 2000].

Extrato dos Relatórios dos Acidentes				
1. Acidente nº	01	02	03	04
2. Produto	Tupia	Tupia	Fresadora	Fresadora
3. Número de série				
4. Data de fabricação				
5. Subsistema envolvido	Ferramenta de corte	Ferramenta de corte	Ferramenta de corte	Ferramenta de corte
6. Perigo potencial	Lâminas cortantes	Lâminas cortantes	Lâminas cortantes	Lâminas cortantes
7. Condição insegura	Ferramenta exposta	Ferramenta exposta	Limpeza sem proteções	Regulagem com máquina ligada
8. Condição ambiental	Ambiente Interno	Ambiente Interno	Ambiente Interno	Ambiente Interno
9. Ato do operador	Guiar material	Guiar material	Limpar a máquina	Regulagem da máquina
10. Condição pessoal		Pouca experiência		
11. Breve relato do acidente		Trabalho com modelo manual	Devido ao excesso de serragem, necessita-se limpar constantemente a máquina, que permanece ligada	Regulagem da proteção com a máquina ligada
12. Observações		Distração do operador		
13. Prejuízo monetário (R\$)	2200	84	0	0
14. Valor do produto (R\$)	2200	2200	120000	120000
15. Parâmetro monetário	2	1	0	0
16. Tipos predominantes de lesão	Cortes nas mãos	Cortes nas mãos	Arrancamento de tecido muscular	Arrancamento de tecido muscular
17. Número de usuários	1	1	2	2
18. Número de pessoas em função da gravidade das lesões	(1) grave	(1) média	(1) gravíssima	(1) média
19. Peso da gravidade das lesões	3	2	4	2
21. Parâmetro pessoal	2x3=6	2x2=4	1x4=4	1x2=2
22. Dimensões do produto (m)	1x1,5	1x1,5	4x2,5	4x2,5
23. Área atingida	0	0	0	0
24. Peso da gravidade ambiental	0	0	0	0
25. Parâmetro ambiental	0	0	0	0
30. Índice de Segurança				

Tabela 7.3 - Extrato dos relatórios de acidentes (continuação)

[São Bento do Sul - SC, 2000].

Extrato dos Relatórios dos Acidentes				
1. Acidente nº	05	06	07	08
2. Produto	Perfiladeira	Perfiladeira	Perfiladeira	Perfiladeira
3. Número de série				
4. Data de fabricação				
5. Subsistema envolvido	Esteira de tração	Esteira de tração	Esteira de tração	Ferramenta de corte
6. Perigo potencial	Pontos apertantes	Pontos apertantes	Fragmentos ejetáveis	Fragmentos ejetáveis
7. Condição insegura	Falta de proteção	Falta de proteção	Falta de proteção	Falta de proteção
8. Condição ambiental	Ambiente Interno	Ambiente Interno	Ambiente Interno	Ambiente Interno
9. Ato do operador	Alimentar máquina	Manutenir a máquina	Alimentar máquina	Alimentar máquina
10. Condição pessoal	Experiência		Experiência	
11. Breve relato do acidente	Sensor de proteção não funcionou e chave de parada de emergência distante	Regulagem da máquina com a mesma ligada	Esteira desregulada	O operador estava regulando a máquina quando um pedaço de metal atingiu o olho
12. Observações	Peça muito pqna, difícil de operar			
13. Prejuízo monetário (R\$)	351	132	0	24
14. Valor do produto (R\$)	75000	75000	75000	75000
15. Parâmetro monetário	1	1	0	1
16. Tipos predominantes de lesão	Esmagamento	Esmagamento	Contusão	Contusão
17. Número de usuários	2	2	2	2
18. Número de pessoas em função da gravidade das lesões	(1) leve	(1) leve	(1) leve	(1) leve
19. Peso da gravidade das lesões	1	1	1	1
21. Parâmetro pessoal	1x1=1	1x1=1	1x1=1	1x1=1
22. Dimensões do produto (m)	1,5x2,5	1,5x2,5	2x2,5	2x2,5
23. Área atingida	0	0	0	0
24. Peso da gravidade ambiental	0	0	0	0
25. Parâmetro ambiental	0	0	0	0
30. Índice de Segurança				

Tabela 7.4 - Extrato dos relatórios de acidentes (continuação)

[São Bento do Sul - SC, 2000].

Extrato dos Relatórios dos Acidentes				
1. Acidente nº	09	10	11	12
2. Produto	Perfiladeira	Tupia	Tupia	Serra circular
3. Número de série				
4. Data de fabricação				
5. Subsistema envolvido	Ferramenta de corte	Ferramenta de corte	Ferramenta de corte	Serra
6. Perigo potencial	Lâminas cortantes	Lâminas cortantes	Lâminas cortantes	Fragmentos ejetáveis
7. Condição insegura	Proteção removível	Ferramenta exposta	Ferramenta exposta	Falta de proteção
8. Condição ambiental	Ambiente Interno	Ambiente Interno	Ambiente Interno	Ambiente interno
9. Ato do operador	Regular máquina	Guiar material	Guiar material	Guiar madeira para corte
10. Condição pessoal		Pouca experiência	Experiência	Experiência
11. Breve relato do acidente	O operador removeu a proteção para regular a máquina que estava ligada	Trabalho com modelo manual	Trabalho sem modelo manual	Durante o corte a serra arremessou uma lasca de madeira
12. Observações				
13. Prejuízo monetário (R\$)	360	36	0	36
14. Valor do produto (R\$)	75000	2200	2200	2800
15. Parâmetro monetário	1	1	0	1
16. Tipos predominantes de lesão	Corte nas pernas	Cortes nas mãos	Cortes nas mãos	Perfuração da mão
17. Número de usuários	2	1	1	1
18. Número de pessoas em função da gravidade das lesões	(1) média	(1) leve	(1) leve	(1) leve
19. Peso da gravidade das lesões	2	1	1	1
21. Parâmetro pessoal	1x2=2	2x1=2	2x1=2	2x1=2
22. Dimensões do produto (m)	2x2,5	1x1,5	1x1,5	1,2x1,2
23. Área atingida	0	0	0	0
24. Peso da gravidade ambiental	0	0	0	0
25. Parâmetro ambiental	0	0	0	0
30. Índice de Segurança				

Tabela 7.5 - Extrato dos relatórios de acidentes (continuação)
[São Bento do Sul - SC, 2000].

Extrato dos Relatórios dos Acidentes		
1. Acidente nº	13	14
2. Produto	Serra circular	Equadrejadeira
3. Número de série		
4. Data de fabricação		
5. Subsistema envolvido	Serra	Tracionador
6. Perigo potencial	Lâminas cortantes	Esmagamento
7. Condição insegura	Proteção não funcionou	Limpeza sem proteções
8. Condição ambiental	Ambiente Interno	Ambiente Interno
9. Ato do operador	Guiar madeira para corte	Limpar a máquina
10. Condição pessoal	Experiência	
11. Breve relato do acidente	Durante o corte de madeira o fim de curso do alimentador não funcionou	O operador estava limpando os rolos de tração e teve os dedos tracionados
12. Observações		
13. Prejuízo monetário (R\$)	1512	213
14. Valor do produto (R\$)	2800	400000
15. Parâmetro monetário	1	1
16. Tipos predominantes de lesão	Corte de dedos	Partículas nos olhos
17. Número de usuários	1	2
18. Número de pessoas em função da gravidade das lesões	(1) grave	(1) média
19. Peso da gravidade das lesões	3	2
21. Parâmetro pessoal	2x3=6	1x2=2
22. Dimensões do produto (m)	1x6	8x1,5
23. Área atingida	0	0
24. Peso da gravidade ambiental	0	0
25. Parâmetro ambiental	0	0
30. Índice de Segurança		

Os valores dos índices de segurança não constam das tabelas anteriores, porque preferiu-se demonstrar o cálculo do índice com mais detalhes no item 7.3.

Devido a falta de espaço nas tabelas anteriores, os itens de número 12, correspondentes às observações estão apresentadas e comentadas a seguir.

Após as entrevistas realizadas, obteve-se os seguintes dados: apenas dois elementos perigosos estiveram associados aos acidentes: as ferramentas de corte e as esteiras alimentadoras, nos percentuais de 57,14% e 42,86% respectivamente. Uma informação importante: aproximadamente 43% dos

acidentes ocorreram durante a manutenção e a limpeza dos equipamentos, normalmente com a remoção dos dispositivos de segurança.

A qualidade, cujo objetivo é satisfazer as necessidades dos clientes, pode gerar uma grande variedade de produtos personalizados, gerando problemas de segurança na operação dos equipamentos de fabricação destes produtos. No caso da indústria moveleira, a produção de móveis diferenciados requer o emprego de máquinas “universais” ou versáteis, cuja operação depende da habilidade do operador. Isto dificulta a utilização de gabaritos e proteções que restringem a operação, expondo o operador à ferramenta de corte. Neste caso, qualquer distração ocasiona um acidente. Este é basicamente o problema com a tupa de mesa. Nos equipamentos para produção de móveis padronizados ou não diversificados, isto não ocorre, pois estes equipamentos são enclausurados, contam com alimentação automática e normalmente mantêm o operador afastado da ferramenta de corte. Neste caso, o operador apenas alimenta o equipamento e dele retira peças acabadas.

Nos acidentes com as tupias de mesa, os operadores estavam guiando manualmente as peças durante a operação de corte, quando tiveram contato com as ferramentas de corte. Estes casos sugerem que quando os operadores executam determinadas funções ficam sujeitos aos acidentes. No caso de reprojeção destes equipamentos seria mais sensato prover proteções para a execução dessas funções ou alocá-las nos equipamentos para execução automática, através de dispositivos específicos.

Observou-se que praticamente a metade dos acidentes ocorre durante operações de manutenção e limpeza, portanto os equipamentos não possibilitam a limpeza ou a manutenção segura. Constatou-se que mesmo quando retirados os dispositivos de segurança ou proteções para efetuar a limpeza ou manutenção, expondo as partes perigosas, o equipamento é passível de ser operado ou pode entrar em funcionamento. Isto ocorreu nos acidentes com as fresadoras, nos quais as operações desempenhadas pelos operadores foram de limpeza e de ajuste de máquina, sendo que estes também ficaram expostos às ferramentas de corte.

Constatou-se, também, que o maior intercâmbio comercial entre países, devido à globalização de mercados, tende a piorar a segurança dos equipamentos. Nos equipamentos importados, o recurso de segurança da utilização de avisos fica comprometido, pois muitos equipamentos são instalados e operados com avisos de perigos e de recomendações de segurança e de operação na língua do país de origem, tornando-se incompreensíveis aos operadores.

Outro fato constatado, foi que equipamentos são fornecidos por seus fabricantes sem as proteções mínimas de segurança ao operador. Então, quando os acidentes ocorrem, os profissionais de segurança da empresa moveleira criam dispositivos de segurança para evitar a repetição dos acidentes, limitando os riscos do equipamento. Esta ação caracteriza modificações de projeto de caráter corretivo e não preventivo. Ora, como os profissionais de segurança normalmente não possuem formação em projeto, a eficácia da solução fica comprometida, podendo ainda comprometer a operacionalidade do equipamento. Então, quando a operacionalidade fica prejudicada, os dispositivos de segurança são retirados pelos operadores, para facilitar a operação. Este fato é verdadeiro principalmente para pequenos equipamentos, em que a habilidade do operador é significativa para a produção dos móveis.

Equipamentos considerados de alta tecnologia, porque dispõem de controles eletrônicos e configurações construtivas mais elaboradas, estão mais sujeitos a acidentes e mais graves, quando há exposição dos trabalhadores aos seus perigos. Segundo os profissionais de segurança, estes equipamentos são mais difíceis de serem compreendidos pelos operadores, dificultando a identificação de partes perigosas. Este é o principal problema das fresadoras. Estas são consideradas de alta tecnologia com muitos dispositivos de automação, porém necessitam de limpeza manual. Durante a operação de limpeza a máquina fica ligada, com a ferramenta de corte exposta, sujeitando o operador ao contato com ela.

Às vezes, ações simples como pintar a ferramenta de corte de cores vivas diminuem sensivelmente os acidentes, pois quando os equipamentos são acionados e as ferramentas de corte estão em movimento, as cores vivas possibilitam verificar que a ferramenta está em movimento. Houve casos de acidentes que ocorreram porque a ferramenta estava pintada de preto, impossibilitando o operador de identificar o movimento desta. A pedido dos profissionais de segurança, várias ferramentas foram pintadas de vermelho, o que diminuiu sensivelmente a ocorrência de pequenos acidentes.

Observou-se também, que muitos equipamentos possuem chaves ou botões de parada de emergência alocados sobre os painéis de controle. Porém, as partes dos equipamentos que oferecem perigos normalmente são distantes dos painéis de controle. Então, quando o operador é lesionado, principalmente quando fica aprisionado ou é puxado, ele fica impossibilitado de alcançar o botão de parada, necessitando para isto de auxílio de outro trabalhador. Como o ambiente é altamente ruidoso, necessitando da utilização de protetores auriculares, torna-se difícil a identificação de pedidos de socorro.

Outra questão que causa surpresa é que, segundo os profissionais de segurança, estas indústrias moveleiras jamais foram visitadas pelos fabricantes para obter informações sobre as necessidades dos seus consumidores. Se produtos são projetados para satisfazer o consumidor, isto deve ser feito conhecendo-se os consumidores, suas necessidades e seus desejos. Como isto não está ocorrendo, estes produtos apresentam não somente problemas de segurança, mas também de qualidade.

Outra constatação é que os equipamentos, ao menos na indústria moveleira, causam poucos danos ambientais. Os maiores danos ocorrem sempre com os operadores. Mesmo os danos financeiros se referem ao tempo do operador parado devido à lesão, pois raramente perde-se material ou tempo de produção.

Estas informações obtidas podem servir também para melhorar o projeto dos produtos. No Capítulo 8, estas informações serão utilizadas para melhorar o projeto de uma tupa de mesa.

7.3 - Cálculo do Índice de Segurança

Para cálculo da freqüência dos acidentes, assume-se que todos os equipamentos foram utilizados durante às 24 horas diárias (as duas empresas trabalham em turnos) entre 1º de janeiro e 14 de agosto de 2000 (227 dias), resultando num total de 5448 horas de utilização por equipamento.

Aplicando os valores obtidos para as tupias de mesa e substituindo-os as Equações 5.6, 5.7 e 5.9, obtém-se os seguintes resultados:

$$IIC = \frac{(2+1+1+1)+(2 \times 3+2 \times 2+2 \times 1+2 \times 1)+(0+0+0+0)}{27 \times 5} = 0,1407 \quad (\text{Eq. 7.1})$$

$$IIF = \frac{4}{5448 \times 5} = 1,468 \times 10^{-4} \quad (\text{Eq. 7.2})$$

$$IS = (1-0,1407) \times (1-1,468 \times 10^{-4}) = 0,8591 \quad (\text{Eq. 7.3})$$

Para as tupias de mesa, o índice de insegurança do produto devido às conseqüências dos acidentes (IIC) obtido foi 0,1407 e o índice de insegurança do produto devido a freqüência dos acidentes (IIF) foi $1,468 \times 10^{-4}$. O índice de segurança do produto (IS) foi de 0,8591 ou, em valores percentuais, de 85,91%.

Aplicando os valores obtidos para as fresadoras e utilizando-se as Equações 5.6, 5.7 e 5.9, obtém-se:

$$IIC = \frac{(0+0)+(1 \times 4+1 \times 2)+(0+0)}{27 \times 2} = 0,1111 \quad (\text{Eq. 7.4})$$

$$IIF = \frac{2}{5448 \times 2} = 1,8355 \times 10^{-4} \quad (\text{Eq. 7.5})$$

$$IS = (1-0,1111) \times (1-1,8355 \times 10^{-4}) = 0,8887 \quad (\text{Eq. 7.6})$$

No caso das fresadoras o índice de insegurança do produto devido às conseqüências dos acidentes (IIC) foi 0,1111 e o índice de insegurança do produto devido a freqüência dos acidentes (IIF) foi $1,8355 \times 10^{-4}$. Desta forma, o índice de segurança do produto (IS) foi de 88,87%.

Aplicando os valores obtidos para as perfiladeiras e utilizando-se as Equações 5.6, 5.7 e 5.9, obtém-se:

$$IIC = \frac{(1+1+0+1+1)+(1 \times 1+1 \times 1+1 \times 1+1 \times 1+1 \times 2)+(0+0+0+0+0)}{27 \times 4} = 0,0926 \quad (\text{Eq.7.7})$$

$$IIF = \frac{5}{5448 \times 4} = 2,2944 \times 10^{-4} \quad (\text{Eq. 7.8})$$

$$IS = (1 - 0,0926) \times (1 - 2,2944 \times 10^{-4}) = 0,9072 \quad (\text{Eq. 7.9})$$

As perfiladeiras obtiveram os valores de 0,0926 e $2,2944 \times 10^{-4}$ para os índices de insegurança do produto devido as conseqüências dos acidentes (IIC) e de insegurança do produto devido a freqüência dos acidentes (IIF), respectivamente, resultando num índice de segurança do produto (IS) de 90,72%.

Aplicando os valores obtidos para as serras circulares e utilizando-se as Equações 5.6, 5.7 e 5.9, obtém-se:

$$IIC = \frac{(1+1)+(2 \times 1+2 \times 3)+(0+0)}{27 \times 6} = 0,0617 \quad (\text{Eq. 7.10})$$

$$IIF = \frac{2}{5448 \times 6} = 6,118 \times 10^{-5} \quad (\text{Eq. 7.11})$$

$$IS = (1 - 0,0617) \times (1 - 6,118 \times 10^{-5}) = 0,9382 \quad (\text{Eq. 7.12})$$

As serras circulares obtiveram o valor de 0,0617 para o índice de insegurança do produto devido as conseqüências dos acidentes (IIC) e $6,118 \times 10^{-5}$ para o índice de insegurança do produto devido a freqüência dos acidentes (IIF), o que resultou num índice de segurança do produto (IS) de 93,82%.

Aplicando os valores obtidos para as esquadrejadeiras e utilizando-se as Equações 5.6, 5.7 e 5.9, obtém-se:

$$IIC = \frac{(1)+(1 \times 2)+(0)}{27 \times 3} = 0,0370 \quad (\text{Eq. 7.13})$$

$$IIF = \frac{1}{5448 \times 3} = 6,1184 \times 10^{-5} \quad (\text{Eq. 7.14})$$

$$IS = (1 - 0,0370) \times (1 - 6,1184 \times 10^{-5}) = 0,9629 \quad (\text{Eq. 7.15})$$

Para as esquadrejadeiras obteve-se o valor de 0,0370 para o índice de insegurança do produto devido as conseqüências dos acidentes (IIC) e para o índice de insegurança do produto devido a freqüência dos acidentes (IIF) obteve-se o valor de $6,118 \times 10^{-5}$, resultando num valor de 96,29% para o índice de segurança do produto (IS).

As Figuras 7.2 e 7.3 apresentam, para os equipamentos observados, o índice de segurança do produto em relação aos acidentes e a distribuição de acidentes, respectivamente. Enquanto a Figura 7.2 apresenta o índice de segurança do produto em relação aos acidentes, que considera não somente a quantidade de acidentes, mas também a gravidade deles, a Figura 7.3 apresenta apenas a quantidade de acidentes ocorridos, que é a maneira comumente utilizada em estatísticas de acidentes.

Observa-se que todas as perfiladeiras causaram acidentes, porém estes foram de menor gravidade, gerando pequenos danos e lesões, como aprisionamento de dedos ou arremesso de fragmentos. Os equipamentos que causaram os piores acidentes foram as tupias de mesa e as fresadoras, o que pode ser constatado através dos valores dos índices de segurança atribuídos a estes equipamentos: 0,8591 e 0,8887, respectivamente. Então, os índices de segurança obtidos através das observações, calculados segundo descrito no Capítulo 5, são consistentes pois fornecem relações verdadeiras entre indicadores de segurança de vários equipamentos.

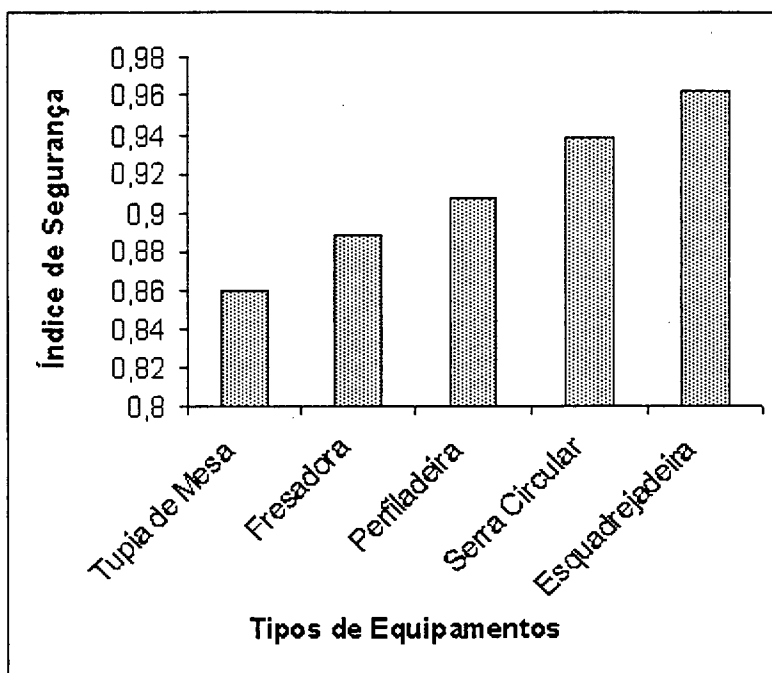


Figura 7.2 – Equipamentos ordenados de forma crescente segundo índice de segurança [São Bento do Sul - SC, 2000].

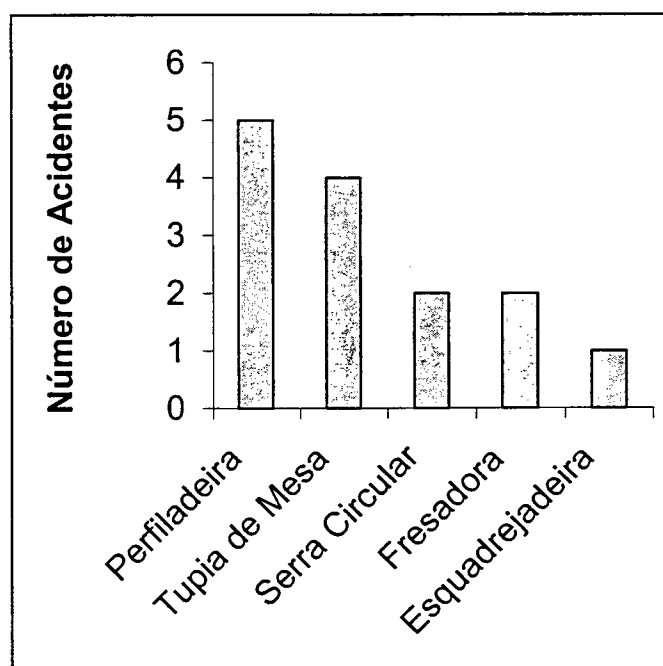


Figura 7.3 - Distribuição de acidentes segundo tipo de equipamento [São Bento do Sul - SC, 2000].

7.4 – Considerações Finais

O relatório de acidentes, apresentado no Capítulo 5 e utilizado neste capítulo, é satisfatório para o cálculo do índice de segurança, pois registra de forma sucinta todas as informações necessárias para tal, sendo coerente com o fim a que se destina. Além disso, o preenchimento dos campos da planilha do relatório de acidentes, após a realização das entrevistas, foi feito rápida e facilmente.

Esta aplicação da mensuração da segurança demonstra que ela é passível de ser utilizada em diferentes produtos, sendo por isso aplicável a qualquer produto. Além disso, a mensuração da segurança fornece valores consistentes, pois não considera somente o número de acidentes, mas também a intensidade ou gravidade deles. Por isso, resulta em valores diferentes daqueles que tradicionalmente são apresentados como indicadores de segurança, no caso, o quantitativo de acidentes. Isto pode ser observado na comparação entre as Figuras 7.2 e 7.3.

O índice de segurança é uma estimativa de um aspecto da qualidade percebida pelo usuário do produto, a segurança. O complemento deste índice reflete uma estimativa daquilo que o consumidor percebe quando acidentes ocorrem, ou seja, da percepção de que a segurança de um produto não é absoluta mas parcial, e o índice estima um percentual desta parcialidade da segurança. Este com certeza é o sentimento que o consumidor tem em relação a segurança de um produto.

Os problemas de segurança constatados durante as visitas às empresas e relatados neste capítulo são oriundos principalmente de projetos deficientes de equipamentos, podendo ser eliminados ou reduzidos pela aplicação do método para determinação das necessidades dos consumidores em relação à segurança dos produtos, durante o reprojeto dos equipamentos, que será apresentada no próximo capítulo.

CAPÍTULO VIII

8.0 - ESTUDO DE CASO: DETERMINAÇÃO DAS NECESSIDADES DE SEGURANÇA PARA O PROJETO DA TUPIA DE MESA

O objetivo deste capítulo é determinar as necessidades de segurança dos consumidores para o projeto de uma tupa de mesa, visando a redução da periculosidade inerente a este equipamento da indústria moveleira. Este estudo servirá também para testar o método apresentado no Capítulo 6.

Quando da determinação dos índices de segurança dos equipamentos, realizada no capítulo anterior, observou-se que a tupa é o equipamento que menos oferece segurança aos usuários, além disso, está entre os mais comumente utilizados na indústria moveleira. Uma tupa da mesa pode ser vista na Figura 8.1.

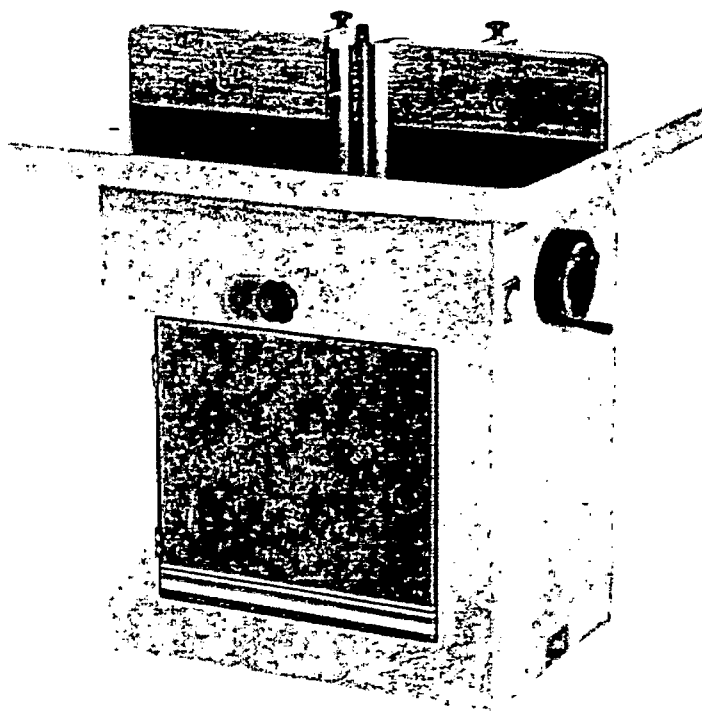


Figura 8.1 – Tupia de mesa

Este método se desenvolve a partir da definição do produto a ser projetado, no caso a tupa de mesa, e terá seus resultados utilizados no reprojeto da tupa de mesa, conforme está apresentado no Anexo A.1.

8.1 – Identificação dos Possíveis Problemas de Segurança

O objetivo desta etapa é identificar os problemas que podem resultar em acidentes futuros com a tupa de mesa que será reprojeta. Com este objetivo, os problemas de segurança foram identificados a partir do relatório de acidentes, das entrevistas informais com usuários e da análise de similares. Os problemas de segurança que foram observados nas tupas foram divididos em 3 grupos: o grupo ambiental, o grupo operacional e o grupo do produto.

No caso da tupa de mesa, considerando que estes equipamentos ficam alocados em ambientes fechados, sob o teto das indústrias, onde estão protegidos da maioria das intempéries, aparece um número reduzido de problemas classificados no grupo ambiental, que são os seguintes:

1. trincas térmicas na estrutura, devido a variação de temperatura;
2. como no ambiente fabril da indústria moveleira existe grande suspensão de pó de madeira no ar, este excesso de pó pode causar um possível travamento de partes, como mancais de rolamento e escorregamento e botão de acionamento;
3. pelo mesmo motivo anterior, pode-se ter necessidade de realizar manutenção e limpeza em excesso;

Para o grupo operacional, observou-se os seguintes problemas de segurança:

1. a visualização da operação e da manutenção depende da iluminação externa ao produto;
2. não existem avisos para os perigos do produto;
3. não há botão ou comando de parada de emergência;

4. há possibilidade de contato da mão do operador com a ferramenta de corte em funcionamento, durante a operação da tupia, pois não existem proteções;
5. inexistente regulagem de altura da mesa da tupia, que dependendo a altura do operador, pode ocasionar desconforto e prejudicar a operação;
6. o acionamento e desacionamento da tupia é dificultado pela posição do botão liga/desliga;
7. a limpeza da parte interna da tupia é difícil, pois o acesso ao espaço interno do gabinete é limitado;
8. o operador aspira o pó de madeira, emitido pelo equipamento, que fica em suspensão no ar;
9. a manutenção pode ser realizada com o equipamento ligado;
10. o espaço para os pés é restrito, impondo desconforto ao usuário;
11. o usuário fica exposto ao ruído da máquina em operação;
12. a tupia nem sempre é eletricamente aterrada;
13. o usuário tem dificuldade de perceber quando a máquina está ligada, se a ferramenta possui uma coloração escura;

No caso do produto, foram identificadas diversas características que constituem problemas inerentes à tupia, conforme estão relacionados abaixo:

1. possibilidade de choques elétricos;
2. presença de arestas cortantes da chapa metálica do gabinete da tupia;
3. superfície quente do motor elétrico;
4. superfície quente da ferramenta de corte;
5. superfície quente das polias de transmissão;
6. lâminas cortantes (ferramenta de corte);
7. componentes girantes (eixo, motor, polias e ferramenta de corte)
8. fragmentos ejetáveis (cavaco da madeira);

9. alto nível de ruído.

Após identificados os problemas de segurança, procede-se com a determinação dos perigos apresentados pelo produto que estão associados a estes problemas.

8.2 - Identificação dos Perigos

O objetivo desta etapa é identificar todos os perigos associados à tupa ou a operação dela, ou ainda, favorecidos por características da tupa, condições operacionais ou ambientais. Então, a partir da identificação das características da tupa, das condições operacionais e ambientais, às quais a tupa estará sujeita, determinou-se os perigos que possivelmente surgirão.

Os perigos identificados como possíveis conseqüências das interações entre condições ambientais e tupa estão listados na Tabela 8.1. Os perigos identificados devido a problemas decorrentes da operação da tupa de mesa estão apresentados na Tabela 8.2. Os perigos identificados devido a problemas decorrentes das características da tupa de mesa estão apresentados na Tabela 8.3. Identificou-se, também, quais são os subsistemas ou componentes associados aos perigos.

Tabela 8.1 - Perigos identificados devido a problemas decorrentes da interação entre ambiente e tupa de mesa.

Problemas Ambientais	Perigos	Subsistemas ou Componentes
Problema ambiental nº.1	estrutura de ferro fundido sujeita a trincas	estrutura
Problema ambiental nº.2	mancais não vedados sujeito a trancamento	mancal da ferramenta de corte
Problema ambiental nº.3	botão de acionamento não vedado sujeito a trancamento	botão de acionamento
Problema ambiental nº.4	frestas para entrada de pó	gabinete

Tabela 8.2 - Perigos identificados devido a problemas decorrentes da operação da tupia de mesa.

Problemas Operacionais	Perigos	Subsistemas ou Componentes
Problema Operacional nº.1	iluminação deficiente na operação/manut.	gabinete ferramenta de corte
Problema Operacional nº.2	avisos (falta)	ferramenta de corte, motor e transmissão
Problema Operacional nº.3	botão de parada de emergência (falta)	botão de emergência
Problema Operacional nº.4	proteção para ferramenta de corte (falta)	ferramenta de corte
Problema Operacional nº.5	regulagem da altura da estrutura (falta)	estrutura
Problema Operacional nº.6	posição inadequada do botão liga/desliga	botão de acionamento
Problema Operacional nº.7	porta do gabinete é pequena	gabinete
Problema Operacional nº.8	sugador do pó de madeira (falta)	subsistema de aspiração do pó da madeira
Problema Operacional nº.9	chave de desligamento na porta do gabinete (falta)	gabinete
Problema Operacional nº.10	pés da tupia inadequados	estrutura
Problema Operacional nº.11	limitador de ruído (falta)	motor elétrico
Problema Operacional nº.12	aterramento inadequado	instalação elétrica
Problema Operacional nº.13	indicador de movimento da ferramenta de corte	ferramenta de corte

Tabela 8.3 - Perigos identificados devido a problemas decorrentes das características da tupa de mesa.

Problemas do Produto	Perigos	Subsistemas ou Componentes
Problema do Produto n.º 1	isolamento e aterramento das instalações elétricas do produto (falta)	instalação elétrica
Problema do Produto n.º 2	raios de arredondamento da chapa do gabinete	gabinete
Problema do Produto n.º 3	temperatura do motor elétrico	motor elétrico
Problema do Produto n.º 4	temperatura da ferramenta de corte	ferramenta de corte
Problema do Produto n.º 5	temperatura da polias de transmissão	transmissão
Problema do Produto n.º 6	lâmina cortante	ferramenta de corte
Problema do Produto n.º 7	proteção dos componentes em movimento (falta)	ferramenta de corte
Problema do Produto n.º 8	direcionamento dos cavacos de madeira (falta)	subsistema de aspiração do pó da madeira
Problema do Produto n.º 9	limitação do nível de ruído (falta)	ferramenta de corte

Após a identificação dos perigos e dos subsistemas ou componentes relacionados, procedeu-se com a determinação das lesões e danos.

8.3 – Determinação das Lesões e Danos

O objetivo desta etapa é determinar de que maneira os perigos podem causar lesões aos usuários e danos ambientais ou monetários. Para isso, os danos e lesões foram determinados, respondendo-se a seguinte pergunta, para cada perigo: "Quais os possíveis danos ou lesões que podem ser causados por esse perigo?" As respostas encontradas estão anotadas na Tabela 8.4.

Tabela 8.4 - Possíveis danos e lesões determinados a partir dos perigos da tupa de mesa.

Problemas do Produto	Perigos	Lesões e Danos
Problema ambiental n.º.1	estrutura de ferro fundido sujeita a trincas	dano ao produto com substituição de componentes
Problema ambiental n.º.2	mancais não vedados sujeito a trancamento	manutenção excessiva (perda monetária)
Problema ambiental n.º.3	botão de acionamento não vedado sujeito a trancamento	manutenção excessiva (perda monetária)
Problema ambiental n.º.4	frestas para entrada de pó	manutenção excessiva (perda monetária)
Problema Operacional n.º.1	iluminação deficiente na operação/manutenção	cortes das mãos e dedos durante a operação contusões nas mãos na manutenção
Problema Operacional n.º.2	avisos (falta)	cortes nas mãos choque elétrico queimadura
Problema Operacional n.º.3	botão de parada de emergência (falta)	arrancamento de tecidos humanos
Problema Operacional n.º.4	proteção para ferramenta de corte (falta)	cortes nas mãos
Problema Operacional n.º.5	regulagem da altura da estrutura (falta)	desconforto e possíveis lesões na coluna vertebral
Problema Operacional n.º.6	posição inadequada do botão liga/desliga	cortes nas mãos
Problema Operacional n.º.7	porta do gabinete é pequena	contusões nas mãos, choque elétrico, queimadura e esmagamento durante manutenção e limpeza
Problema Operacional n.º.8	sugador do pó de madeira (falta)	poluição do ambiente excesso de manu/limpeza doenças respiratórias
Problema Operacional n.º.9	chave de desligamento na porta do gabinete (falta)	esmagamento durante manutenção e limpeza
Problema Operacional n.º.10	pés da tupa inadequados	desconforto e problemas de postura com possibilidade de lesões na coluna vertebral
Problema Operacional n.º.11	limitador de ruído (falta) do motor elétrico	surdez
Problema Operacional n.º.12	aterramento inadequado	eletrocução com possibilidade de morte
Problema Operacional n.º.13	indicador de movimento da ferramenta de corte	corte nas mãos e nos dedos

Continuação da Tabela 8.4		
Problema do Produto n.º 1	isolamento e aterramento das instalações elétricas do produto (falta)	eletrocução com possibilidade de morte
Problema do Produto n.º 2	raios de arredondamento da chapa do gabinete	cortes nos dedos e mãos
Problema do Produto n.º 3	temperatura do motor elétrico	queimadura nos dedos e mãos
Problema do Produto n.º 4	temperatura da ferramenta de corte	queimadura nos dedos e mãos
Problema do Produto n.º 5	temperatura da polias de transmissão	queimadura nos dedos e mãos
Problema do Produto n.º 6	lâmina cortante	cortes e arrancamento de tecidos nos dedos e mãos
Problema do Produto n.º 7	proteção dos componentes em movimento (falta)	cortes e arrancamento de tecidos nos dedos e mãos devido a contato ou enrolamento de roupas
Problema do Produto n.º 8	direcionamento dos cavacos de madeira (falta)	lesão nos olhos
Problema do Produto n.º 9	limitação do nível de ruído (falta) da ferramenta de corte	surdez

Após a determinação das possíveis lesões e danos que os perigos podem causar, fez-se a avaliação destas lesões e danos.

8.4 - Avaliação dos Danos e Lesões

O objetivo da realização desta etapa é a avaliação dos danos e lesões que possivelmente ocorrerão, no caso dos perigos se manifestarem. Para tanto, os perigos foram avaliados segundo seus potenciais para danos e lesões, seguindo-se a pontuação das Tabelas 6.10 a 6.14.

A avaliação da probabilidade de ocorrência desta lesões e danos foi feita utilizando-se a Tabela 6.9. A avaliação do potencial para danos e lesões foi realizada em relação aos parâmetros pessoal, ambiental e monetário. Além disso, avaliou-se a probabilidade de ocorrência de um acidente decorrente dos perigos analisados. A Tabela 8.5 demonstra a avaliação dos danos e lesões. Na Tabela 8.5, a coluna com título "I/E" serve para caracterizar o perigo como inerente ou eliminável.

Tabela 8.5 - Avaliação dos possíveis danos e lesões.

Perigos	Lesões e Danos	I/E	PP	GP	PA	GA	PM	PO	ΣP
estrutura de ferro fundido sujeita a trincas	dano ao produto com substituição de componentes	E	0	0	0	0	1	1	1
mancais não vedados sujeito a trancamento	manutenção excessiva (perda monetária)	E	0	0	0	0	1	1	1
botão de acionamento não vedado sujeito a trancamento	manutenção excessiva (perda monetária)	E	0	0	0	0	1	1	1
frestas para entrada de pó	manutenção excessiva (perda monetária)	E	0	0	0	0	1	3	3
iluminação deficiente na operação/manutenção	cortes das mãos e dedos durante a operação contusões nas mãos na manutenção	E	2	4	0	0	1	5	45
avisos (falta)	cortes nas mãos choque elétrico queimadura	I	2	4	0	0	1	5	45
botão de parada de emergência (falta)	arrancamento de tecidos humanos	E	2	4	0	0	1	3	27
proteção para ferramenta de corte (falta)	cortes nas mãos	I	2	4	0	0	1	10	90
regulagem da altura da estrutura (falta)	desconforto e possíveis lesões na coluna vertebral	E	2	2	0	0	1	3	15
posição inadequada do botão liga/desliga	cortes nas mãos	E	2	4	0	0	1	1	9
porta do gabinete é pequena	contusões nas mãos, choque elétrico, queimadura e esmagamento durante manutenção e limpeza	E	2	4	0	0	1	5	45
sugador do pó de madeira (falta)	poluição do ambiente excesso de manut/limpeza doenças respiratórias	E	2	3	3	1	1	10	100
chave de desligamento na porta do gabinete (falta)	esmagamento dos dedos durante manutenção e limpeza	E	2	3	0	0	1	1	7
pés da tupa inadequados	desconforto e problemas de postura com possibilidade de lesões na coluna vertebral	E	2	2	0	0	1	3	15

Continuação da Tabela 8.5									
Perigos	Lesões e Danos	I/E	PP	GP	PA	GA	PM	PO	ΣP
indicador de movimento da ferramenta de corte	corte nas mãos e nos dedos	E	2	4	0	0	1	10	90
isolamento e aterramento das instalações elétricas do produto (falta)	eletrocução com possibilidade de morte	I	2	4	0	0	1	3	27
raios de arredondamento da chapa do gabinete	cortes nos dedos e mãos	E	2	1	0	0	0	1	2
temperatura do motor elétrico	queimadura nos dedos e mãos	I	2	1	0	0	0	1	2
temperatura da ferramenta de corte	queimadura nos dedos e mãos	I	2	1	0	0	0	1	2
temperatura da polias de transmissão	queimadura nos dedos e mãos	I	2	1	0	0	0	1	2
lâmina cortante	cortes e arrancamento de tecidos nos dedos e mãos	I	2	4	0	0	1	10	90
proteção dos componentes em movimento (falta)	cortes e arrancamento de tecidos nos dedos e mãos devido a contato ou enrolamento de roupas	E	2	4	0	0	1	10	90
direcionamento dos cavacos de madeira (falta)	lesão nos olhos	E	2	3	0	0	1	3	21
limitação do nível de ruído (falta)	surdez	I	2	3	0	0	1	10	70
Total									800

Tabela 8.6 - Identificação dos subsistemas ou componentes associados aos perigos.

Perigos	Subsistemas ou componentes	I/E	ΣP
estrutura de ferro fundido sujeita a trincas	estrutura	E	1
mancais não vedados sujeito a trancamento	mancai da ferramenta de corte	E	1
botão de acionamento não vedado sujeito a trancamento	botão de acionamento	E	1
frestas para entrada de pó	gabinete	E	3
iluminação deficiente na operação/manutenção	gabinete ferramenta de corte	E	45
avisos (falta)	ferramenta de corte, motor e transmissão	I	45
botão de parada de emergência (falta)	botão de emergência	E	27
proteção para ferramenta de corte (falta)	ferramenta de corte	I	90
regulagem da altura da estrutura (falta)	estrutura	E	15
posição inadequada do botão liga/desliga	botão de acionamento	E	9
porta do gabinete é pequena	gabinete	E	45
sugador do pó de madeira (falta)	subsistema de aspiração do pó da madeira	E	100
chave de desligamento na porta do gabinete (falta)	gabinete	E	7
pés da tupa inadequados	estrutura	E	15
indicador de movimento da ferramenta de corte	ferramenta de corte	I	90
isolamento e aterramento das instalações elétricas do produto (falta)	instalação elétrica	I	27
raios de arredondamento da chapa do gabinete	gabinete	E	2
temperatura do motor elétrico	motor elétrico	I	2
temperatura da ferramenta de corte	ferramenta de corte	I	2
temperatura da polias de transmissão	transmissão	I	2
lâmina cortante	ferramenta de corte	I	90
proteção dos componentes em movimento (falta)	ferramenta de corte	E	90
direcionamento dos cavacos de madeira (falta)	subsistema de aspiração do pó da madeira	E	21
limitação do nível de ruído (falta)	ferramenta de corte motor elétrico	I	70
Total			800

Como o produto tem 26 perigos identificados que poderiam alcançar 7020 pontos ao total (ΣP_{MAX} das Equações 6.5 e 6.6), se cada um alcançasse 270 pontos, que é o máximo possível para cada perigo, Porém, o produto

atingiu 800 pontos, o que representa 11,40% do total. Isto significa que o produto oferece uma periculosidade de 11,40% do máximo possível.

Determinou-se, ainda, quais componentes ou subsistemas estão associados ao perigo relacionado anteriormente. Esta estimativa indicou quais subsistemas ou componentes devem ser observados com mais atenção.

Determinou-se a importância de cada subsistema ou componente do produto, somando-se os pontos atribuídos para cada um deles. Ocorreu, algumas vezes, de um subsistema ou componente dividir a pontuação com outro, então, neste caso, atribuiu-se a mesma pontuação para cada um deles, sendo esta igual a pontuação atribuída ao perigo correspondente. Após isto, somou-se a pontuação de cada subsistema ou componente e fez-se o somatório geral, para determinar os percentuais de importância (%IP da Equação 6.1) de cada subsistema ou componente para a insegurança do produto. Os percentuais de importância de cada subsistema ou componente para a insegurança do produto estão apresentados na Tabela 8.7.

Estes percentuais indicam quais perigos possuem maior risco de manifestarem-se como acidentes e maior probabilidade de provocar danos e lesões. Observa-se que o componente avaliado como o mais perigoso foi a ferramenta de corte, com 56,30% de importância, considerando a probabilidade de ocorrência e o potencial para danos e lesões. Este é o componente que mais deve receber atenção por parte do projetista.

Tabela 8.7 - Percentuais de importância dos diversos subsistemas ou componentes do produto para a insegurança.

Subsistemas ou componentes	Perigos	I/E	ΣP	%
botão de acionamento	botão de acionamento não vedado sujeito a trancamento posição inadequada do botão liga/desliga	E	10	1,06
botão de emergência	botão de parada de emergência (falta)	E	27	2,86
estrutura	estrutura de ferro fundido sujeita a trincas regulagem da altura da estrutura (falta) pés da tupa inadequados	E	31	3,28
ferramenta de corte	proteção para ferramenta de corte (falta) limitador de ruído (falta) indicador de movimento da ferramenta de corte temperatura da ferramenta de corte ferramenta de corte proteção dos componentes em movimento (falta) limitação do nível de ruído (falta) avisos (falta) iluminação deficiente	I	532	56,30
gabinete	frestas para entrada de pó porta do gabinete é pequena chave de desligamento na porta do gabinete (falta) raios de arredondamento da chapa do gabinete iluminação deficiente	E	102	10,79
instalação elétrica	aterramento inadequado isolamento e aterramento das instalações elétricas do produto	I	27	2,86
mancal do eixo da ferramenta de corte	mancais não vedados sujeito a trancamento	E	1	0,11
motor elétrico	avisos (falta) temperatura do motor elétrico limitador do nível de ruído (falta)	I	47	4,97
subsistema de aspiração do pó da madeira	sugador do pó de madeira (falta) direcionamento dos cavacos de madeira (falta)	E	121	12,80
transmissão	avisos (falta) temperatura da polias de transmissão	I	47	4,97

8.5 - Verificação da Existência de Normas Aplicáveis

O objetivo deste capítulo é procurar por normas utilizáveis neste estudo de caso. Por isso, foram procuradas nas fontes de informação da ABNT,

normas para a segurança de tupidas de mesa e encontrou-se as seguintes normas aplicáveis:

- NBR13970 - Segurança de máquinas - Temperatura de superfícies acessíveis - Dados ergonômicos para estabelecer os valores limites de temperatura de superfícies aquecidas de 09/1997 (ABNT, 1997a): esta norma estabelece o limite de 43°C para temperaturas de superfícies em contato com pessoas, para um tempo superior a 8 horas de contato;
- NBR13928 - Segurança de máquinas - Requisitos gerais para o projeto e construção de proteções (fixas e móveis) de 08/1997 (ABNT, 1997b): o objetivo desta norma é orientar sobre a proteção do usuário de riscos mecânicos dos produtos, incluindo ruídos e radiação. Sendo assim, prevê a utilização de barreiras físicas para este produto, ou seja, para a tupidia. Observa-se que, para a tupidia, dois tipos de proteções são mais utilizáveis, a proteção móvel, que pode ser ajustada conforme as necessidades da operação de fresamento e a proteção móvel com intertravamento, para a proteção das partes móveis da transmissão;
- NBR13929 - Segurança de máquinas - Dispositivos de intertravamento associados a proteções - Princípios para projeto e seleção de 08/1997 (ABNT, 1997c): esta norma orienta sobre a utilização de dispositivos de bloqueio da proteção, como por exemplo, o intertravamento da proteção física com corte da potência elétrica, evitando a operação da máquina, quando esta for retirada. Ela complementa a norma NBR 13928;
- NBR13761- Segurança de máquinas - Distâncias de segurança para impedir o acesso à zonas de perigo pelos membros superiores de 12/1996 (ABNT, 1996a): orienta sobre distâncias adequadas para impedir o acesso a zonas perigosas. As distâncias recomendadas devem ser utilizadas no projeto da tupidia de mesa, principalmente para evitar o contato entre o operador e a ferramenta de corte;
- NBR13759 - Segurança de máquinas - Equipamentos de parada de emergência - Aspectos funcionais - Princípios para projeto de 12/1996 (ABNT, 1996b): orienta sobre a função dos dispositivos de parada de emergência, que visam impedir o aumento ou reduzir o risco existente às

pessoas, aos equipamentos ou ao trabalho em andamento. Estes dispositivos devem ter seu funcionamento iniciado por uma ação humana simples, quando a parada normal não for adequada. No caso da tupa de mesa, considerando esta norma, deve-se utilizar de botões tipo cogumelo (na cor vermelha e sobre fundo amarelo) que efetuarão o corte de energia em caso de emergência;

- NBRNM213-2 - Segurança de máquinas - Conceitos fundamentais, princípios gerais de projeto - Parte 2: Princípios técnicos e especificações de 01/2000 (ABNT, 2000): orienta sobre a obrigatoriedade de iluminação de partes internas, cuja falta implique em exposição a riscos. Além disso, orienta sobre a utilização de protetores móveis que possam ser facilmente regulados pelo operador, a identificação clara de dispositivos de parada de emergência e a utilização de instruções e avisos em língua oficial;
- NBR14154 - Segurança de máquinas - Prevenção de partida inesperada de 07/1998 (ABNT, 1998): orienta que os dispositivos ou elementos de controle de potência devem ser selecionados ou protegidos de acionamentos desautorizados ou não intencionais, através da utilização de dispositivos adequados para essa finalidade, como por exemplo a utilização de chaves ou dois botões;
- NBR7195 (NB76) Cores para segurança de 06/1995 (ABNT, 1995): orienta que as partes das máquinas devem ser pintadas de acordo com suas características funcionais. Das cores recomendadas por esta norma, são utilizáveis as seguintes para o caso do projeto da tupa: vermelha para botões de parada de emergência, alaranjada para partes móveis ou perigosas, amarela para fundos de avisos de advertência e preta para coletores de resíduos.

Todas estas normas contribuíram para a melhoria da segurança da tupa de mesa, pois forneceram orientações que possibilitaram estabelecer níveis mínimos de segurança para o reprojeto da tupa de mesa, que está apresentado no Anexo A.1.

8.6 – Estabelecimento das Diretrizes

O objetivo deste capítulo é estabelecer as diretrizes que podem ser utilizadas para melhorar a segurança. As diretrizes utilizadas nesta etapa, foram determinadas anteriormente, no Capítulo 6, e a aplicação delas possibilitou, neste caso, a eliminação dos perigos elimináveis e controle, através de proteções e avisos, dos perigos inerentes. Além disso, os perigos semelhantes foram tratados igualmente, segundo o princípio da segurança uniforme.

Os perigos sujeitos à eliminação são aqueles associados a deficiências relacionadas aos botões de acionamento, botões de emergência, estrutura, gabinete, mancal do eixo da ferramenta de corte e subsistema de aspiração do pó da madeira. Felizmente, a funcionalidade da tupa não depende deles, por isso, as necessidades de segurança relacionadas a estes subsistemas e componentes devem ser formuladas de modo a eliminá-los.

Os perigos que são controlados, por serem inerentes à tupa, estão associados principalmente à ferramenta de corte, instalação elétrica, motor elétrico e transmissão. Não havendo perigos semelhantes, não há necessidade de utilizar o princípio da segurança uniforme.

Além disso, as diretrizes garantem que o produto não mate ou lesione pessoas, não mate animais ou plantas e não danifique propriedades e meio ambiente.

A utilização correta destas diretrizes deve proporcionar um projeto desprovido de perigos elimináveis e com os perigos inerentes controlados, no caso da ocorrência de acidentes.

Tanto para perigos inerentes como para perigos elimináveis apontou-se diversas normas e diretrizes que podem contribuir na melhoria da segurança, conforme apresentado na Tabela 8.8.

Tabela 8.8 - Diretrizes e normas aplicáveis aos perigos identificados.

Subsistemas ou componentes	Perigos	Diretrizes e Normas Aplicáveis
botão de acionamento	botão de acionamento não vedado sujeito a trancamento posição inadequada do botão liga/desliga	Eliminar os problemas NBR 14154
botão de emergência	botão de parada de emergência (falta)	Eliminar o problema NBR 13759
estrutura	estrutura de ferro fundido sujeita a trincas regulagem da altura da estrutura (falta) pés da tupa inadequados	Eliminar o problema
ferramenta de corte	proteção para ferramenta de corte (falta) limitador de ruído (falta) indicador de movimento da ferramenta de corte temperatura da ferramenta de corte ferramenta de corte proteção dos componentes em movimento (falta) limitação do nível de ruído (falta) avisos (falta) iluminação deficiente	Controlar os problemas e avisar o usuário NBR 13970, NBR 13928, NBR 13929, NBR 13961, NBRNM 213-2, NBR 7195
gabinete	frestas para entrada de pó porta do gabinete é pequena chave de desligamento na porta do gabinete (falta) raios de arredondamento da chapa do gabinete iluminação deficiente	Eliminar os problemas NBR 13929 e NBRNM 213-2
instalação elétrica	aterramento inadequado isolamento e aterramento das instalações elétricas do produto	Controlar os problemas e avisar o usuário
mancal do eixo da ferramenta de corte	mancais não vedados sujeito a trancamento	Eliminar o problema
motor elétrico	avisos (falta) temperatura do motor elétrico limitador do nível de ruído (falta)	Controlar os problemas e avisar o usuário NBR 13970 e NBR 13928
subsistema de aspiração do pó da madeira	sugador do pó de madeira (falta) direcionamento dos cavacos de madeira (falta)	Eliminar os problemas
transmissão	avisos (falta) temperatura da polias de transmissão	Controlar os problemas e avisar o usuário NBR 13970 e NBR 7195

8.7 - Determinação das Necessidades de Segurança

O objetivo desta etapa é determinar quais são as reais necessidades dos consumidores em relação à segurança oferecida pela tupa de mesa. As necessidades de segurança que foram determinadas estão centradas nos diversos subsistemas e componentes do produto.

As necessidades dos consumidores em relação a segurança estão apresentadas nas Tabelas 8.9 a 8.18.

Tabela 8.9 - Necessidades de segurança para o botão de acionamento da tupa de mesa.

Componente ou subsistema	Botão de acionamento
Perigos	Botão de acionamento não vedado, estando sujeito a trancamento; posição inadequada do botão liga/desliga.
Necessidades de Segurança	O botão de acionamento deve ser vedado contra pó de madeira; o botão de acionamento deve ser corretamente posicionado.

Tabela 8.10 - Necessidades de segurança para o botão de emergência da tupa de mesa.

Componente ou subsistema	Botão de emergência
Perigos	Falta botão de parada de emergência
Necessidades de Segurança	A tupa deve ter um botão ou comando que possibilite a parada de emergência.

Tabela 8.11 - Necessidades de segurança para a estrutura da tupa de mesa.

Componente ou subsistema	Estrutura
Perigos	A estrutura de ferro fundido é sujeita a trincas; falta regulagem da altura da estrutura; os pés da tupa são inadequados.
Necessidades de Segurança	A estrutura deve possibilitar a regulagem da altura da mesa; a estrutura deve oferecer espaço para os pés do usuário; o material da estrutura deve resistir a variação térmica.

Tabela 8.12 - Necessidades de segurança para a ferramenta de corte da tupa de mesa.

Componente ou subsistema	Ferramenta de corte
Perigos	proteção para ferramenta de corte (falta); limitador de ruído (falta); indicador de movimento da ferramenta de corte; temperatura da ferramenta de corte; ferramenta de corte; proteção dos componentes em movimento (falta); limitação do nível de ruído (falta); avisos (falta); iluminação deficiente.
Necessidades de Segurança	A ferramenta de corte deve ter proteção contra contato com o usuário; a ferramenta de corte deve ter proteção contra ruídos emitidos; a ferramenta de corte deve possibilitar a identificação do movimento; a ferramenta de corte deve possuir avisos sobre sua periculosidade; ferramenta de corte deve possuir iluminação, para permitir a visualização da operação.

Tabela 8.13 - Necessidades de segurança para o gabinete da tupa de mesa.

Componente ou subsistema	Gabinete
Perigos	Frestas para entrada de pó; porta do gabinete é pequena; chave de desligamento na porta do gabinete (falta); raios de arredondamento da chapa do gabinete; iluminação deficiente.
Necessidades de Segurança	O gabinete deve oferecer vedação contra entrada de pó de madeira; as chapas metálicas do gabinete devem ter raios de arredondamento adequados; a porta do gabinete deve permitir acesso amplo; quando for aberta a porta do gabinete, a tupa deve ser desligada automaticamente.

Tabela 8.14 - Necessidades de segurança para a instalação elétrica da tupa de mesa.

Componente ou subsistema	Instalação elétrica
Perigos	isolamento e aterramento inadequado das instalações elétricas do produto.
Necessidades de Segurança	A instalação elétrica da tupa deve oferecer isolamento; a instalação elétrica da tupa deve ser aterrada adequadamente.

Tabela 8.15 - Necessidades de segurança para os mancais do eixo da ferramenta de corte da tupa de mesa.

Componente ou subsistema	Mancais do eixo da ferramenta de corte
Perigos	Mancais não vedados sujeito a trancamento.
Necessidades de Segurança	Os mancais do eixo da ferramenta de corte devem ser vedados contra a entrada de pó de madeira.

Tabela 8.16 - Necessidades de segurança para o motor elétrico da tupa de mesa.

Componente ou subsistema	Motor elétrico
Perigos	Avisos (falta); temperatura do motor elétrico.
Necessidades de Segurança	O motor elétrico deve ter avisos sobre seus perigos; o motor elétrico deve ter proteção contra contato durante a manutenção.

Tabela 8.17 - Necessidades de segurança para o subsistema de aspiração do pó da madeira da tupa de mesa.

Componente ou subsistema	Subsistema de aspiração do pó da madeira
Perigos	Sugador do pó de madeira (falta); direcionamento dos cavacos de madeira (falta).
Necessidades de Segurança	A tupa deve ter um sistema de aspiração dos cavacos e do pó da madeira.

Tabela 8.18 - Necessidades de segurança para a transmissão da tupa de mesa.

Componente ou subsistema	Transmissão
Perigos	Avisos (falta); temperatura das polias de transmissão.
Necessidades de Segurança	A transmissão deve ser protegida contra contato do usuário, quando da manutenção; a transmissão deve ter avisos sobre seus perigos.

Estas são as necessidades de segurança que serão utilizadas para a determinação dos requisitos do produto, através da utilização da casa da qualidade. Com a utilização destas necessidades, no projeto de um novo produto, no caso, uma nova tupa de mesa, espera-se a obtenção de melhores

resultados quando da avaliação da segurança do produto tupa. Esta melhora está demonstrada no reprojeto realizado no Anexo A.1.

8.8 – Considerações Finais

As necessidades de segurança obtidas com o auxílio deste método que proporcionaram requisitos de segurança mais adequados, apresentados no Anexo A.1, são bastante específicas e retratam a necessidade de segurança dos produtos, no caso, das tupias.

Para verificar a adequação das necessidades, obtidas neste capítulo, para melhoria da segurança dos produtos, fez-se e registrou-se no Anexo A.1 um reprojeto da tupa. Neste reprojeto observou-se as seguintes vantagens acerca da segurança em relação a tupa da figura 8.1:

- a tupa reprojeta possui um botão de corte de energia, localizado próximo ao operador, para o caso de emergências ocorrerem durante a operação dela;
- a tupa reprojeta possui chaves de interrupção de energia, localizadas nas portas de acesso, que impedem o funcionamento durante as operações de limpeza e manutenção das partes internas que estão enclausuradas. O enclausuramento das partes internas evita o contato do operador com partes móveis ou quentes. Além disso, para facilitar a manutenção e a limpeza interna, a tupa dispõe de ampla porta de acesso e iluminação interna;
- o botão de acionamento foi localizado num pequeno painel de controle de acesso fácil para o operador;
- a tupa reprojeta oferece espaço para os pés do operador. Além disso, possui regulagem da altura da mesa, para possibilitar a operação por usuários de diferentes estaturas;

- em relação à ferramenta de corte, a tupa reprojeta oferece proteção, através de barreira física, para evitar contato do operador com a fresa. Além disso, possui iluminação sobre a ferramenta de corte;
- possui aterramento da estrutura metálica, evitando que possíveis descargas elétricas atinjam o operador;
- a tupa reprojeta possui sistema de aspiração de pó de madeira, que possibilita a redução de pó lançado ao ar do ambiente, que certamente será aspirado pelo operador ou depositar-se-á sobre as máquinas. Este sistema elimina, em parte, a necessidade das vedações contra pó de madeira.

Outras necessidades de segurança do consumidor poderão ser inseridas apenas durante o detalhamento do projeto e de seus componentes, como é o caso de botões vedados contra pó e raios de arredondamento das chapas metálicas do gabinete.

Em relação ao índice de periculosidade (IPP), o modelo antigo da tupa obteve um valor de 11,40% enquanto o modelo reprojeta obteve um valor de 3,13%, conforme calculado no Anexo A. Considerando que a segurança de um produto é consequência direta dos perigos que ele apresenta, a redução da periculosidade certamente irá proporcionar uma redução na quantidade e na gravidade dos acidentes. Caso este novo modelo seja fabricado no futuro, poder-se-á calcular o índice de segurança para confirmar a melhoria da segurança em condições reais de uso. Mesmo assim, pôde-se observar que o método realmente contribuiu para a melhoria da segurança do produto, pois muitos aspectos que contribuem para a segurança foram observados pelo projetista.

Uma característica importante deste método é que ele conseguiu traduzir as exigências do consumidor em necessidades de segurança passíveis de utilização no projeto de produto.

A principal vantagem deste método é que ele alerta o projetista para as características perigosas dos produtos. Uma vez que o projetista toma conhecimento dos perigos dos produtos, ele passa a ter o compromisso de solucioná-los. A solução virá da implementação de todo o método, que aponta

as características perigosas dos produtos e como evitá-las ou amenizá-las, durante o desenvolvimento de novos produtos.

CAPÍTULO IX

9.0 - CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

9.1 - Conclusões

No presente trabalho estudou-se o problema da segurança dos produtos, das causas de acidentes, do projeto dos produtos com relação à segurança e das técnicas e ferramentas de segurança. A partir destes estudos definiu-se segurança, uma forma de mensurá-la e um método para melhorá-la, durante o projeto dos produtos.

Estudou-se, ainda, o erro humano. Resquícios das teorias de acidentes mais antigas, que envolvem as idéias de culpabilidade e fatalidade, permeiam por algumas idéias atuais sobre o erro humano. Estas chamam de erro humano desvios de atitudes e comportamentos em relação a padrões desejados. Mas esquecem que o ser humano possui uma variabilidade de atitudes e comportamentos que lhe são próprias e, normalmente, imutáveis. O erro humano é apontado nos relatórios de acidentes como a principal causa de acidentes.

Porém, durante este trabalho, tornou-se evidente que o erro humano não é uma causa, mas uma consequência de vários fatores como projeto deficiente, falta de treinamento e falta de instrução do operador. Ficou evidente que aqueles que utilizam os produtos normalmente não são responsáveis pela ocorrência de acidentes. Os verdadeiros responsáveis são aqueles que desenvolvem os produtos e esquecem de considerar as características humanas neste desenvolvimento. Além disso, quando se culpa o usuário pelo acidente, inibe-se qualquer tentativa de formular uma solução técnica capaz de resolver o problema, pois se o usuário é o culpado, ele deve ser substituído ou treinado.

A solução do problema abordado por este trabalho inicia com a caracterização de como os acidentes ocorrem e o significado da segurança para as pessoas. Na bibliografia consultada, que trata de segurança e

confiabilidade, os autores são enfáticos em afirmar que segurança não é confiabilidade. Porém, quando desenvolvem estimativas quantitativas de segurança, utilizam valores de probabilidade de falha, ignorando a diferença enfatizada. Esta confusão entre segurança e confiabilidade pôde ser claramente observada e fez o autor deste trabalho compreender que a definição de segurança era extremamente necessária para que o trabalho seguisse adiante. Esta definição possibilitou, entre outras coisas, identificar os parâmetros para o cálculo do índice de segurança e definir quais recomendações seriam utilizáveis para uma ferramenta auxiliar ao projeto de produtos mais seguros.

A definição e a compreensão do que é segurança possibilitou criar uma forma de mensuração que compreende alguns aspectos: é expressa por um único valor quantitativo para um determinado produto, o índice de segurança, permitindo que seja acompanhado seu comportamento ou evolução temporal; como a segurança é expressa por um valor numérico, diminui sensivelmente a subjetividade; a obtenção deste valor é realizada de forma centrada no produto, ou seja, a medição é realizada em função das características do produto, diminuindo a complexidade da medição. Tomando como exemplo o ocorrido com a confiabilidade, quando na década de 60, tornou-se uma propriedade mensurável dos produtos e trabalhável com uso de ferramentas estatísticas. Isso propiciou um grande desenvolvimento da confiabilidade e possibilitou estabelecer o conceito de desempenho confiável como parâmetro quantitativo. Por analogia, supõe-se que isso também pode ocorrer com a segurança, agora que possui um forma de mensuração quantitativa. Então, esta mensuração pode possibilitar que se atinja patamares de desenvolvimento mais elevados para a segurança dos produtos, através de tratamento estatístico, acompanhamento, comparações e estabelecimento de níveis aceitáveis.

As principais vantagens da medição da segurança proposta são: utiliza um índice de segurança que não depende da confiabilidade ou de eventos de falha; diminui a subjetividade, pois permite verificar qual produto é mais seguro e qual é mais perigoso; permite acompanhar o desenvolvimento ou evolução da segurança. A principal desvantagem encontrada é a necessidade de dados

de ocorrência de acidentes para o cálculo do índice de segurança. Porém, apesar de necessitar de dados de ocorrência de acidentes para ser calculado, o índice de segurança pode assumir o caráter preventivo para um novo produto, pois pode ser calculado sobre dados de produtos similares existentes.

Outra vantagem importante da mensuração da segurança é que ela é realizada sobre condições reais de utilização e mede aquilo que o consumidor percebe em relação à segurança: os danos e lesões que ocorrem quando um acidente se manifesta.

A mensuração dá subsídios ao projetista para avaliar a segurança de um produto, possibilitando que ele busque índices mais elevados de segurança, dentro da perspectiva de satisfação do cliente, difundida a partir da filosofia da qualidade. Além disso, a mensuração da segurança pode ser utilizada por empresas como critério de seleção de equipamentos a serem adquiridos. Por exemplo, as indústrias moveleiras que conhecem o histórico de acidentes de seus equipamentos podem calcular os índices de segurança de equipamentos de função semelhante, mas de fabricantes ou de modelos diferentes, optando por adquirir os mais seguros.

Analisando as metodologias de projeto, percebeu-se que diversas etapas do desenvolvimento de produtos propiciavam o surgimento de problemas de segurança. Isso ocorre porque elas não possuem etapas ou procedimentos específicos para garantir que os produtos sejam seguros. O método para determinação das necessidades de segurança dos consumidores em relação ao produto foi concebido para contribuir com a melhoria da segurança dos produtos, pois possibilita estabelecer com maior acuidade os requisitos de segurança do projeto. Uma lista de requisitos precisa favorecer uma melhor definição da função global, inclusive em termos de segurança. Além disso, a lista de requisitos desencadeia decisões que serão tomadas durante o processo de projeto, que tanto serão melhores quanto melhor definida for a lista de requisitos.

A principal vantagem deste método é a possibilidade de utilizá-lo conjuntamente com uma metodologia de projeto, favorecendo o desenvolvimento de um produto inerentemente seguro e assegurando que o

projetista considere os aspectos relevantes de segurança no projeto. Existe outra vantagem importante deste método: os desejos e necessidades dos consumidores, em relação à segurança, são considerados durante o projeto do produto, melhorando a qualidade percebida do produto. Isso certamente ocorrerá com a utilização deste método, considerando que os aspectos da qualidade dos produtos têm diferentes significados para diferentes pessoas. Para o projetista normalmente significa adequação ao cumprimento de funções, resistência física, custo, tempo de desenvolvimento e produtividade. Por isso, conforme comentado no Capítulo 1, os projetistas não se preocupam com a segurança durante o projeto. Para os consumidores, porém, os aspectos da qualidade estão relacionados ao cumprimento de funções, que é o objetivo principal do produto e justifica sua existência e a segurança, que é uma necessidade básica e fundamental do ser humano, conforme afirmado no Capítulo 2.

As hipóteses assumidas no início deste trabalho foram mantidas como verdadeiras, pois observou-se que a ocorrência de acidentes é possibilitada pelas características perigosas, que são inseridas quando da escolha dos princípios de solução e que o operador não é responsável pelo acidente. A hipótese que considera que os perigos são inseridos durante a escolha de princípios de solução poderia ser reformulada. Não somente a decisão dos princípios de solução podem inserir perigos, mas diversas decisões realizadas durante as fases do projeto do produto.

Verifica-se que este trabalho atingiu os objetivos, pois obteve-se uma forma de mensuração de segurança e um método para determinação das necessidades de segurança do consumidor, conforme proposto inicialmente. A mensuração de segurança cumpriu seu principal objetivo que é a possibilidade de orientar os projetistas em termos de análise de segurança, oferecendo uma referência quantitativa sobre a melhoria da segurança dos produtos. O método para determinação das necessidades de segurança do consumidor, cumpriu também seu principal objetivo, que é possibilitar a melhoria do processo de projeto, orientando as decisões do projetista, visando a obtenção de produtos mais seguros. A aplicabilidade da mensuração da segurança e do método pode

ser visto nos Capítulos 7 e 8, onde também pode ser visto que eles realmente cumpriram a finalidade para a qual foram criados.

Na aplicação da mensuração da segurança, apresentada no Capítulo 7, pôde-se observar que alguns equipamentos são mais seguros do que outros. Escolheu-se o equipamento mais inseguro, a tupa de mesa, que foi reprojeto com a utilização de informações provenientes dos relatórios de acidentes, além de outras informações adicionais. Para executar este reprojeto, tornou-se indispensável determinar as necessidades de segurança do consumidor, em relação à tupa de mesa. Então, utilizou-se do método para determinação das necessidades de segurança dos consumidores, cuja aplicação está apresentada no Capítulo 8. A utilização deste método contribuiu significativamente com o estabelecimento da lista de requisitos do produto. O resultado obtido foi positivo: uma tupa de mesa com características mais seguras do que as anteriores, conforme apresentada no Anexo A.

Concluindo, este trabalho apresenta uma contribuição relevante, pois questionou o que realmente é segurança e o que representa para o ser humano, revendo antigos conceitos a respeito da segurança dos produtos. Então, partindo da definição de segurança, conseguiu mostrar como a segurança pode ser inserida no projeto, analisando as definições de segurança desde níveis mais abstratos até os mais concretos e transformando a segurança em passível de mensuração e de utilização no projeto de produtos.

9.2 - Perspectivas Futuras

Ainda há muito para fazer no tocante à segurança dos produtos. Um assunto importante a ser abordado nos próximos trabalhos é o programa de segurança para produtos. Neste trabalho, verificou-se a necessidade de políticas ou diretrizes quantitativas de redução de acidentes com os produtos das empresas. Essa política deve ser gerada a partir de um programa, que sistematize as metas e os procedimentos para incrementar segurança nos produtos. Normalmente, os programas de segurança, apesar de abrangentes,

consideram aspectos puramente qualitativos, não possuindo qualquer método de avaliação de resultados, que permita a redução gradual e constante dos acidentes com os produtos. Por vezes, considera-se o número de acidentes, que é um aspecto quantitativo, mas não reflete a intensidade do acidente, como pôde ser observado comparando as Figuras 6.2 e 6.3.

O estabelecimento de um programa de segurança de produtos, aplicável às empresas, com monitoramento e gerenciamento de perigos e riscos, visaria a redução contínua de acidentes com produtos. O ponto de partida é o estabelecimento de metas a serem atingidas pelo programa, geradas a partir da mensuração da segurança dos produtos, que permitiria o acompanhamento do produto em uso e a análise contínua do produto e seus componentes. A ferramenta de projeto para segurança poderá ser utilizada, dentro do programa, para facilitar o projeto e o reprojeto de produtos, visando a melhoria da segurança. O resultado esperado para esse programa é a redução constante e sistemática de perigos e riscos dos produtos e, conseqüentemente, de acidentes envolvendo produtos. A aplicação de um programa, juntamente com a mensuração da segurança e o método para determinação das necessidades de segurança certamente irão possibilitar incrementos contínuos e sistemáticos da segurança dos produtos. A mensuração e a ferramenta constituem procedimentos técnicos envolvendo o produto, porém um programa atingiria a esfera administrativa, envolvendo não apenas os responsáveis pelo desenvolvimento de produtos, mas toda a empresa.

Outra perspectiva de trabalho futuro é a concepção de uma metodologia de projeto orientada para o desenvolvimento de produtos mais seguros. Não apenas um método para determinação das necessidades de segurança, mas uma metodologia que esteja centrada simultaneamente no cumprimento de funções e na segurança.

Outra possibilidade de trabalho a ser desenvolvido é a verificação da importância de cada um dos quatro parâmetros no cálculo do índice de segurança. Observou-se, no domínio estudado, que as lesões sofridas pelo operador são as conseqüências mais comuns dos acidentes, enquanto danos

ambientais pouco ocorrem. Então, para tornar mais acurado o índice de segurança, os parâmetros poderiam ter pesos diferenciados.

Pode-se ainda estudar a possibilidade de utilizar uma maior quantidade de níveis para os valores de AA, GA, NP, GP e PM. Isto poderia melhorar a precisão da mensuração da segurança.

Como última sugestão, observa-se a necessidade de criar métodos para determinar outras necessidades dos consumidores com maior precisão, possibilitando transformá-las em requisitos, como necessidades funcionais, de custos e estéticas, por exemplo.

CAPÍTULO X

10.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (Abbott, 1987) Abbott, Howard. **Safer by Design: the management of product design risks under strict liability**. London: Design Council, 1987.
- (ABNT, 1994) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. **NBR 5462, Confiabilidade e Manutenibilidade - Terminologia**. Rio de Janeiro, 1994. 37 pg.
- (ABNT, 1995) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. **NBR7195, Cores para segurança**. Rio de Janeiro, 1995.
- (ABNT, 1996) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. **NBR 13760, Segurança de máquinas - Folgas mínimas para evitar esmagamento de partes do corpo humano**. Rio de Janeiro, 1996.
- (ABNT, 1996a) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. **NBR13761, Segurança de máquinas - Distâncias de segurança para impedir o acesso a zonas de perigo pelos membros superiores de 12/1996: orienta sobre distância utilizáveis para impedir o acesso a zonas perigosas**. Rio de Janeiro, 1996.
- (ABNT, 1996b) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. **NBR13759, Segurança de máquinas - Equipamentos de parada de emergência - Aspectos funcionais - Princípios para projeto**. Rio de Janeiro, 1996.
- (ABNT, 1997) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. **NBR 13930, Prensas Mecânicas - Requisitos de Segurança**. Rio de Janeiro, 1997.
- (ABNT, 1997a) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. **NBR 13970, Segurança de máquinas - Temperatura de superfícies acessíveis - Dados ergonômicos para estabelecer os**

- valores limites de temperatura de superfícies aquecidas.** Rio de Janeiro, 1997.
- (ABNT, 1997b) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. **NBR13928, Segurança de máquinas - Requisitos gerais para o projeto e construção de proteções (fixas e móveis).** Rio de Janeiro, 1997.
- (ABNT, 1997c) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. **NBR13929, Segurança de máquinas - Dispositivos de intertravamento associados a proteções - Princípios para projeto e seleção.** Rio de Janeiro, 1997.
- (ABNT, 1998) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. **NBR14154, Segurança de máquinas - Prevenção de partida inesperada.** Rio de Janeiro, 1998.
- (ABNT, 2000) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. **NBRNM213-2, Segurança de máquinas - Conceitos fundamentais, princípios gerais de projeto - Parte 2: Princípios técnicos e especificações.** Rio de Janeiro, 2000.
- (ABPA, 1998) Associação Brasileira para Prevenção de Acidentes. Tecnologia moderna não reduz riscos. **Revista SOS.** 200, 5º bimestre de 1998. pg. 20.
- (ABPA, 1999) Associação Brasileira para Prevenção de Acidentes. Acidentes com elevadores de carga. **Revista SOS.** 202, 1º bimestre de 1999. pg. 12-13.
- (Aken, 1997) Aken, Dirk van. **Consumer Products: hazard analysis, standardization and (re) design.** Safety Science vol. 26, nº 1/2, pg. 87-94, 1997.
- (AR 385-16, 1990) Regulamento das Forças Armadas 385-16. **System Safety Engineering and Management.** Washington, DC: Departamento das Forças Armadas dos Estados Unidos da América, 3 de maio de 1990.
- (Arnold et alli, 1982) Arnold, Wilhelm; Eysenck, Hans Jürgen; Meili, Richard. **Dicionário de Psicologia.** São Paulo: Loyola, 1982.

- (Asimow, 1962) Asimow, M. **Introduction to design**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1962.
- (Back, 1983) Back, Nelson. **Metodologia de projeto de produtos industriais**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.
- (Barnett, 1994) Barnett, Ralph L. **The principle of uniform safety**: Safety Engineering and Risk Analysis, ASME, 1994, vol 2, pg 141-147.
- (Brookes, 1996) Brookes, Caroline. **Making Mistakes**. Engineering World, jun 1996. pg 24-27.
- (Bueno, 1988) Bueno, F.S. **Grande Dicionário Etimológico-Prosódico da Língua Portuguesa: vocábulos, expressões da língua geral e científica - sinônimos contribuições do tupi-guarani**. São Paulo: LISA, 1988. vol 7.
- (Clarke, 1998) Clarke, D.M. **The human face of risk**. Nuclear Engineer, jul-ago 1998, vol. 39, nº 4, pg 115-119.
- (Clausing, 1994) Clausing, Don. **Total Quality Development: a step-by-step guide to world-class concurrent engineering**. New York: The American Society of Mechanical Engineers, 1994.
- (CPSC, 2000) Consumer Product Safety Commission. **Safety Standard for Bicycle Helmets**. Online. Capturado em 04 mai. 2000. Disponível na Internet <http://63.74.109.12/businfo/frnotices/fr94/94-41719.html>.
- (CPSC, 2000a) Consumer Product Safety Commission. **Standard for the Surface Flammability of Carpets and Rugs**. Online. Capturado em 04 mai. 2000. Disponível na Internet <http://63.74.109.12/businfo/frnotices/fr99/carpet.html>.
- (CPSC, 2000b) Consumer Product Safety Commission. **Guidance for Lead (Pb) in Consumer Products**. Online. Capturado em 04 mai. 2000. Disponível na Internet <http://63.74.109.12/businfo/leadguid.html>.
- (Creamer, 1968) Creamer, Robert H. **Machine Design**. Massachussets: Addison-Wesley, 1968.
- (Cunha, 1999) Cunha, Antônio Geraldo da. **Dicionário Etimológico Nova Fronteira da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999. 2.ed.

- (Dahl et al., 1971) Dahl, Robert A.; Lindblom, Charles E. **Política, Economia e Bem Estar Social: planejamento e sistemas político econômicos reduzidos a processos sociais básicos**. Rio de Janeiro: Lidador, 1971.
- (De Cicco et al., 1979) De Cicco, Francesco M.G.A.F.; Fantazzini, Mário Luiz. **Introdução à Engenharia de Segurança de Sistemas**. São Paulo: Fundacentro, 1979.
- (Dela Coleta, 1989) Dela Coleta, José Augusto. **Acidentes do Trabalho: contribuições da psicologia do trabalho, atividades de prevenção**. São Paulo: Atlas, 1989.
- (Dias, 1996) Dias, Acires. **Metodologia para Análise da Confiabilidade em Freios Pneumáticos Automotivos**. Tese de Doutorado. São Paulo: Universidade Estadual de Campinas, 1996. 119 p.
- (Dieter, 1983) Dieter, George E. **Engineering design: a materials and processing approach**. New York: McGraw-Hill, 1983.
- (Dixon, 1966) Dixon, John R. **Design Engineering: inventiveness, analysis and decision making**. New York: McGraw-Hill Company, 1966.
- (Dorin, 1978) Dorin, E. **Dicionário de Psicologia: abrangendo terminologia de ciências correlatas**. São Paulo: Melhoramentos, 1978.
- (Dougherty, 1997) Dougherty, E.M. **Is human failure a stochastic process?** Reliability Engineering and System Safety, 1997, nº 55, pg 209-215.
- (EN 292, 1991) EN 292. **Segurança de Máquinas - conceitos básicos, princípios gerais para projeto - Parte 1: Terminologia Básica, Metodologia**. Brussels: Comitê Europeu para Padronização (CEN), 1991.
- (Evans, 1996) Evans, J. **Human error: a management problem**. Manufacturing Engineer, 1996, jun, pg 102-103, vol 75, nº 3.
- (Ferreira, 1986) Ferreira, Aurélio Buarque de Holanda. **Novo Dicionário da Língua Portuguesa**. 2ed. Revista e aumentada. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986.
- (Fiod, 1993) Fiod, M.N. **Desenvolvimento de Sistema Computacional para Auxiliar a Concepção de Produtos Industriais**. Tese, EMC/UFSC, Florianópolis, agosto, 1993.

- (Florenzo et al., 1994) Florenzo, Valdir; Martello Filho, Ventura Raphael. **Parecer Técnico e Diagnóstico sobre Acidentes de Trânsito**. São Paulo: Dynamics, maio de 1994.
- (Fundacentro, 1990) Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. Nova máquina sisaleira é projeto da Fundacentro. **Fundacentro: atualidades em prevenção de acidentes**. vol. 21, 247, jul. 1990, p.3-4.
- (Fundacentro, 1991) Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. Relatório investiga acidente ocorrido em lavanderia de hotel. **Fundacentro: atualidades em prevenção de acidentes**. vol. 22, 256, jun. 1991, p.4-5.
- (Gruhn, 1991) Gruhn, P. **The pros and cons of qualitative & quantitative analysis of safety systems**. ISA Transactions, 1991, vol. 30, Nº 4, pg 79-86.
- (Hammer, 1993) Hammer, Willie. **Product Safety Management and Engineering**. EUA: ASSE, 1993. 2. Ed.
- (Hansen, 1989) Hansen, P. C. **A causal model of the relationship among accidents, biodata, personality, and cognitive factors**. Journal of Applied Psychology 1989, vol. 74, Nº 1, pg. 81-90.
- (Heinrich, 1959) Heinrich, H.W. **Industrial Accident Prevention**. New York: McGraw-Hill, 1959. 4. Ed.
- (Hersey et al, 1986) Hersey, Paul; Blanchard H. **Psicologia para Administradores: a teoria e as suas técnicas da liderança situacional**. São Paulo: EPU, 1986.
- (Hinze et alii, 1995) Hinze, J.; Bren, D.C.; Piepho, N. **Experience modification rating as measure of safety performance**. Journal of Construction Engineering and Management, dez. 1995, vol. 121, Nº 4, pg 455-458.
- (Hubka, 1984) Hubka, Vladimir; Eder, W. Ernst. **Theory of technical systems: a total concept theory for engineering design**. Berlin: Springer-Verlag: 1984.
- (Iida, 1991) Iida, Itiro. **Novas Abordagens em Segurança do Trabalho**. Rio de Janeiro: Produção, mar. 1991. V.1 nº 2. Pg. 63-73.

- (INSS/SC, 1997) Instituto Nacional de Seguro Social de Santa Catarina; DATAPREV/SC. **Comunicação de Acidente do Trabalho. Relatório 1996.** Florianópolis, 1997.
- (INSS/SC, 1998) INSS - Instituto Nacional de Seguro Social. **Relatório 1997.** Comunicação de Acidente do Trabalho/SC, 1998.
- (Järvinen et alii, 1996) Järvinen, Jari; Kuivanen, Risto; Viitaniemi, Juhani. **Safety Design by Using Tree-dimensional Simulation Models.** International Journal of Industrial Ergonomics. Nº 17, 1996, pg 343-350.
- (Juran, 1992) Juran, J.M. **A Qualidade desde o Projeto: os novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços.** São Paulo: Pioneira, 1992.
- (Kanis et al, 1990) Kanis, H.; Weegels, M.F. **Research into accidents as a design tool.** Ergonomics, 1990, vol 33, Nº 4, pg 439-445.
- (Khan et al, 1997) Khan, F.I.; Abbasi, S.A. **Accident Hazard Index: a multi-attribute method for process industry hazard rating.** Process Safety and Environmental Protection, Nov 1997, vol. 75, nº 4, pg 217-224.
- (Kervill, 2000) Kervill, Greg. **Product Safety: Safety, Product Safety, Directives and Standards.** Online. Capturado em 16 mar. 2000. Disponível na Internet <http://www.emc-journal.co.uk/archive1/980121.html>
- (Koller, 1979) Koller, Rudolf. **Konstruktionsmethode für den Maschinen-, Geräte- und Apparatebau.** Berlin: Springer-Verlag, 1979.
- (Leavell, 1976) Leavell, Hugh; Clark, E. G. **Medicina Preventiva.** São Paulo: McGraw-Hill, 1976.
- (Lederman et alii, 1995) Lederman, L.; Niehaus, F.; Tomic, B. **Probabilistic safety assessment past, present and future.** An IAEA perspective. Nuclear Design and Engineering, Nº 160, 1995. pg. 273-285.
- (Leech et al., 1985) Leech, D.J.; Turner, B.T. **Engineering Design for Profit.** Chichester: Ellis Horwood, 1985.
- (Lima, 1985) Lima, Francisco de Paula Antunes. **Contribuição à Análise da Insegurança no Trabalho e do Projeto de Máquinas mais**

- Seguras.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Mecânica. Florianópolis, SC, 180 págs., agosto de 1985.
- (Macmahon et al., 1975) Macmahon, B.; Pugh, T.F. **Princípios y Métodos de Epidemiologia.** México: Prensa Mexicana, 1975.
- (Main, 1996) Main, Bruce W. **Safer by Design.** Machine Design. September 26, 1996. Pg. 103-107.
- (Main et al., 1992) Main, Bruce W.; Ward, Allen C. **What Do Design Engineers Really Know About Safety.** Mechanical Engineering, August 1992. Pg. 44-51.
- (Mariano, 1995) Mariano, José Antônio. **Peritos informatizados: cuidado! Eles podem descobrir você.** Revista Farmacêutica Kairos, nov. 1995. Pg 44-50.
- (Maribondo, 2000) Maribondo, Juscelino de Farias. **Desenvolvimento de uma metodologia de projeto de sistemas modulares, aplicada a unidades de processamento de resíduos sólidos domiciliares.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Mecânica. Florianópolis, SC, agosto de 2000.
- (MIL-HDBK-217B, 1965) MIL-HDBK-217B. **Military Standartization Handbook: reliability stress and failure rate data for eletronic equipment.** Washington D.C.: Department of Defense, 1965.
- (Ministério da Aeronáutica, 1998) Ministério da Aeronáutica. **Estatísticas de Acidentes Aeronáuticos do Período 1987-1997.** Rio de Janeiro: CENIPA, 1998.
- (Moss, 1985) Moss, Marvi A. **Design for Minimal Maintenance Expense: the practical application of reliability and maintainability.** New York: Marcel Dekker Inc., 1985.
- (Nasa, 1992) National Aeronautics and Space Administration - NASA. **System Safety Guidelines for Hazard Identification and Control.** Houston: Nasa, abr. 1992. OnLine. Capturado em 09 de mar. 2000. Disponível na Internet <http://arioch.gsfc.nasa.gov/302/safety/course/quickpha.htm>.

- (Nasa, 2000) National Aeronautics Space Administration. **Pegasus Design Safety Requirements**. Online. Capturado em 09 mar. 2000. Disponível na Internet <http://arioch.gsfc.nasa.gov/302/safety/TD0005B.pdf>.
- (Nelson & Associates, 2000) Nelson & Associates. **Core Principles of Safety Engineering and the Cardinal Rules of Hazard Control**. Capturado em 02 de mar. 2000. Online. Disponível na Internet <http://www.hazardcontrol.com/coreprinciples.html>.
- (Nutter, 1984) Nutter, James W. **Designing with product liability in mind**. Machine Design, 24 de maio de 1984. Pg. 57-60.
- (OIT, 1993) Organização Internacional do Trabalho. **Anuário de Estatísticas do Trabalho**. São Paulo: OIT, 1993.
- (Pahl et al., 1996) Pahl, G.; Beitz, W. **Engineering design: a systematic approach**. London: Springer-Verlag, 1996. 2. ed.
- (Penteado, 1998) Penteado, Paulo Albano de Godoy - Cel.Av. **Carta nº006/CH/98**. Brasília: Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos - CENIPA/Ministério da Aeronáutica, 1998.
- (Philo, 1989) Philo, H.M. **Preventable Injury and Disease in America**. Product Liability Law Journal, vol.1 nº3, oct. 1989.
- (PRF/SC, 1997) Polícia Rodoviária Federal de Santa Catarina. **Relatório de Acidentes de Trânsito 1995/1996**. Florianópolis, 1997.
- (Priest, 1988) Priest, John W. **Engineering Design for Producibility and Reliability**. New York: Marcel Dekker, 1988.
- (Ribeiro, 1974) Ribeiro Filho, Leonídio F. **Técnicas de Segurança do Trabalho**. São Bernardo do Campo: C.U.C., 1974.
- (Roth, 1982) Roth, Karlheinz. **Konstruieren mit Konstruktionskatalogen**. Berlin: Springer-Verlag, 1982.
- (Sanders et al., 1987) Sanders, M.S., McCormick, E.J. **Human factors in engineering and design**. New York: McGraw-Hill, 1987.
- (Schermerhorn, 1985) Schermerhorn, John R. **Managing Organizational Behavior**. New York: John Wiley & Sons, 1985.
- (Schoone-Harmsen, 1990) Schoone-Harmsen, Marian. **A design method for product safety**. Ergonomics, 1990, vol 33. nº 4, pg 431-437.

- (Schutzinger, 1954) Schutzinger, M.S. **A closer look at "accident proneness"**. National Safety News. pp. 32-3, 194-5, jun 1954.
- (Sell, 1990) Sell, Ingeborg. **A contribuição da ergonomia na segurança do trabalho**. Revista Brasileira de Saúde Ocupacional. Ministério do Trabalho e Previdência Social. Fundacentro. Abr/Mai/Jun. 1990. Pg 44-49. Nº 70, V. 18.
- (Siches, 1965) Siches, Luis Recaséns. **Tratado de Sociologia**. Volume I. Rio de Janeiro: Ed. Globo, 1965.
- (Stephenson, 1974) Stephenson, John. **Engineering Design**. Sydney: Wiley, 1974.
- (Tiffin et al., 1975) Tiffin, J.; McCormick, E.J. **Psicologia Industrial**. São Paulo, EPU, 1975.
- (VDI 2222, 1975) VDI-Richtlinie 2222. **Konstruktionsmethodik: konzipieren technischer produkte**. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1975.
- (Vidal, 1983) Vidal, Mário. **Evolução Conceitual da Noção de Acidente do Trabalho**. João Pessoa, 1983.
- (Wang et alli, 1996) Wang, J.; Yang, J.B.; Sen, P. **Multi-person and multi-attribute design evaluations using evidential reasoning based on subjective safety and cost analyses**. Reliability Engineering and System Safety, nº 52, 1996. pg 113-128.
- (Wang et al., 1997) Wang, J; Ruxton, T. **A Review of Safety Analysis Methods Applied to the Design Process**. Journal of Engineering Design, Vol.8, Nº 2, 1997, pg 131-152.
- (Weinstein, 1997) Weinstein, Alvin S. **Reducing risk in product liability: common sense returns to product-liability laws**. Machine Design, 8 maio de 1997. pg. 95-98.

ANEXO A

A.0 – REPROJETO DA TUPIA DE MESA

O objetivo deste reprojeto é testar a possibilidade de melhoria da segurança das tupidias de mesa universais, através da utilização das necessidades obtidas pelo método de determinação de necessidades do consumidor em relação à segurança, apresentado no Capítulo 6 e aplicado no Capítulo 8. Este reprojeto foi realizado de forma simplificada, apenas e unicamente para testar a validade deste método.

O reprojeto iniciou com a idéia de desenvolver um novo projeto para as tupidias de mesa e utilizou-se das informações oriundas do estudo de caso apresentado no Capítulo 8, complementadas por informações advindas de entrevistas informais com usuários, principalmente para determinação das necessidades não relacionadas com a segurança. Além destas utilizou-se das diretrizes e normas aplicáveis ao projeto da tupidia, também apresentadas no Capítulo 8.

Ao final deste anexo estão apresentados os resultados obtidos com o reprojeto da tupidia de mesa. Porém, este reprojeto foi executado até o momento em que se definiu as principais características da tupidia, tornando possível avaliar os resultados obtidos pelo método de determinação de necessidades do consumidor em relação à segurança. Visto que o objetivo deste reprojeto não é possibilitar a fabricação de um novo modelo de tupidia de mesa, não se realizou todas as fases do processo de projeto, nem se produziu todos os documentos necessários à produção.

A.1 - Planejamento do Produto

O objetivo desta fase é produzir uma lista de requisitos de projeto para a tupidia de mesa. Para isso, fez-se basicamente a identificação das necessidades dos

consumidores e a determinação dos requisitos de projeto. Ao final desta fase, obteve-se uma lista dos requisitos de projeto.

Para simplificação deste reprojeto, alguns passos que fazem parte do planejamento do produto foram simplificados ou suprimidos. O estudo de viabilidade econômica e técnica, por questões de simplificação do reprojeto, não foi realizado, apenas assumiu-se que este produto é econômica e tecnicamente viável. Além disso, considerou-se que a necessidade da tupa é concreta devido a existência de mercados consumidores e que o mercado absorverá um novo modelo. Outro ponto considerado, que é uma característica comercial importante deste reprojeto, foi que ele está voltado à solução de um problema específico, a falta de segurança das tupias. Isto poderia representar, em caso de comercialização, uma vantagem competitiva, pois a falta de segurança está entre as reclamações mais enfatizadas pelos usuários. Vale lembrar, que esta tupa foi reprojetaada tendo em mente limitações de custos e dimensões para que ela fique nos mesmos patamares da tupa apresentada na Figura 8.1.

A.1.1 – Identificação das necessidades dos consumidores

Como já foi comentado anteriormente, as necessidades relativas à segurança, foram determinadas no Capítulo 8, utilizando-se do método apresentado no Capítulo 6. As outras necessidades dos consumidores, em relação à funcionalidade, custos, manutenção, instalação, fabricação e aparência, foram identificadas através de entrevistas informais com usuários, do município de Florianópolis – Santa Catarina, que delas se utilizam. Após ouvir e compreender as necessidades dos consumidores em relação à tupa de mesa, elas foram listadas e divididas em tópicos, estando apresentadas a seguir:

1. Funcionalidade:

- durável, pois equipamentos deste tipo devem possuir uma vida útil superior a 20 anos;
- a velocidade da ferramenta deve ser adequada para o corte de madeiras;
- potência suficiente para o corte de madeiras;

- usinar madeiras de diversas espessuras
- confiável;
- painel simples e completo, contendo botões de acionamento e parada de emergência e indicação de energização do equipamento.

2. Custos:

- baixo custo de aquisição;
- baixo custo de manutenção;
- baixo custo de operação.

3. Manutenção e Instalação:

- baixo peso, para permitir o transporte com talhas comuns;
- pouca manutenção;
- fácil manutenção;
- dispensar mão-de-obra especializada;
- fácil aquisição de peças.

4. Fabricação:

- peças padronizadas, diminuindo os custos de produção e manutenção;
- materiais recicláveis;
- fabricação simples;
- poucos componentes.

5. Aparência: boa aparência.

6. Segurança:

- o botão de acionamento deve ser vedado contra pó de madeira;
- o botão de acionamento deve ser corretamente posicionado;
- a tupa deve ter um botão ou comando que possibilite a parada de emergência;
- a estrutura deve possibilitar a regulação da altura da mesa;
- a ferramenta de corte deve ter proteção contra contato com o usuário;
- a ferramenta de corte deve ter proteção contra ruídos emitidos;
- a ferramenta de corte deve possibilitar a identificação do movimento;
- a ferramenta de corte deve possuir avisos sobre sua periculosidade;
- a ferramenta de corte deve possuir iluminação, para permitir a visualização da operação;
- a estrutura deve oferecer espaço para os pés do usuário;
- a material da estrutura deve resistir a variação térmica;
- a gabinete deve oferecer vedação contra entrada de pó de madeira;
- as chapas metálicas do gabinete devem ter raios de arredondamento adequados;
- a porta do gabinete deve permitir acesso amplo;
- a porta do gabinete da tupa, quando for aberta, deve desligá-la automaticamente;
- a instalação elétrica da tupa deve oferecer isolamento;
- a instalação elétrica da tupa deve ser aterrada adequadamente;
- os mancais do eixo da ferramenta de corte devem ser vedados contra a entrada de pó de madeira;
- o motor elétrico deve ter avisos sobre seus perigos;
- o motor elétrico deve ter proteção contra contato durante a manutenção;
- a tupa deve ter um sistema de aspiração dos cavacos e do pó da madeira;
- a transmissão deve ser protegida contra contato do usuário, quando da manutenção;

- a transmissão deve ter avisos sobre seus perigos.

Não se diferenciou entre necessidades e desejos dos consumidores. Assumiu-se que tudo aquilo que os usuários esperam da tupa são necessidades e que se uma delas não for cumprida pela solução, esta não será aceitável. Todas as necessidades dos consumidores relacionadas anteriormente foram transformadas em requisitos de projeto, na Etapa A.1.2.

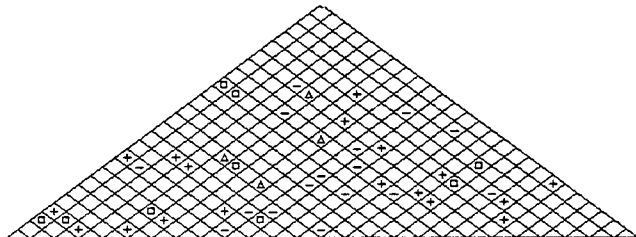
A.1.2 - Requisitos de Projeto

O objetivo desta etapa é transformar as necessidades dos consumidores em requisitos de reprojeto da tupa de mesa, considerando que este são uma valiosa fonte de informação para a racionalização e otimização de um projeto. Estes requisitos expressam as propriedades que a tupa de mesa deverá apresentar, descritas em termos de características técnicas. Esta transformação foi realizada através da utilização da casa da qualidade do QFD. A casa da qualidade, para este reprojeto, está apresentada na Figura A.1.

Alguns requisitos de projeto são óbvios, outros nem tanto. Porém, a transformação de necessidades dos consumidores em requisitos de projeto foi relativamente simples. A principal dificuldade encontrada foi estabelecer valores desejados para os requisitos de projeto, como por exemplo a definição da massa total e dos raios de arredondamento das chapas do gabinete. Nestas definições assume-se que determinados valores são aceitáveis ou ótimos para os consumidores, mas na verdade são valores determinados pelo projetista, quando interpreta os desejos e as necessidades dos consumidores. Para amenizar esta dificuldade, buscou-se valores referenciais para os requisitos em catálogos de similares, em livros de Ergonomia, no relatório de acidentes, entre outros.

Retiroto da Tupia de Mesa
Widomar Pereira Carpes Jr.

- Relacionamentos
- F. Positivo □
 - Positivo +
 - Negativo -
 - F. Negativo △
 - Forte ⊕
 - Médio ⊖
 - Fraca ⊗



Classificação dos Requisitos		Requisitos de Qualidade																				Valor do Consumidor						
		10'	23'	9'	25'	13'	26'	22'	8'	17'	2'	11'	1'	3'	19'	7'	4'	21'	16'	18'	20'		5'	12'	14'	15'	24'	6'
Funcionalidade	Durável																											90
	Vel. de corte adequada																											95
	Pot. suficiente para corte																											99
	Corte madeira várias espes	⊗																										90
Custos	Confiável																											80
	Panel simples e completo																											65
	De aquisição																											70
	De manutenção																											70
Manutenção/instalação	De operação																											80
	Baixo peso	▽	▽	▽	⊕																							50
	Baixa manutenção																											75
	Fácil manutenção																											75
Fabricação	Dispensa m.o. especializ.																											80
	Fácil aquisição de peças																											75
	Peças padronizadas																											85
	Matérias recicláveis																											60
Aparência	Fabricação simples																											70
	Poucos componentes																											75
	Boa aparência	▽	⊕																									70
	Segurança	Vedação do bot. acionam.																										
Posição bot. acionam.		▽																										65
Bot. parada de emergência																												95
Regulagem altura da mesa		⊕	⊕																									55
Prot. ferram. ao contato																												99
Proteção contra ruído																												90
Identificar mov. ferram.																												90
Avisos de per. da ferram.																												70
Iluminação da ferramenta																												75
Espaço para os pés		▽	⊕																									80
Estr. resis. variações térm.																												65
Gabinete vedado contra pó																												65
Raios arredon. chapas gab.																												60
Acesso pela porta gab.		⊕	▽	⊕																								70
Deslig. na abertura do gab.																												80
Instalação elétrica aterrada																												80
Instalação elétrica isolada																												90
Mancais ferram. ved. ao pr.																												75
Motor elétrico com avisos																												65
M. elé. prot. contatos																												55
Sist. asp. de pós e cavacos																											75	
Sist. trans prot. contatos																											85	
Sist. transm. com avisos																											70	
"Quanto"	Valor: $\sum_{i=1}^n v_i * g_i$	1420	660	1525	460	1240	270	700	1690	1100	2420	1395	3765	2065	1032	1712	1935	765	1125	1060	825	1732	1385	1160	1139	655	1715	
	Classificação dos Requisitos	10'	23'	9'	25'	13'	26'	22'	8'	17'	2'	11'	1'	3'	19'	7'	4'	21'	16'	18'	20'	5'	12'	14'	15'	24'	6'	

Figura A.1 - Casa da qualidade para determinação dos requisitos de projeto da tupia de mesa.

Os requisitos de projeto obtidos estão relacionados nas Tabelas A.1, A.2, A.3 e A.4, com os valores recomendados e outras informações pertinentes. As informações pertinentes e as saídas indesejadas, assim como os valores desejados para os requisitos, foram obtidas de várias fontes como: catálogo de fabricantes, bibliografia sobre Ergonomia, consumidores, entre outros.

Tabela A.1 - Descrição dos requisitos de projeto para a tupa de mesa.

Requisitos de Projeto da Tupa de Mesa						
Requisitos	Unidades	Objetivos	Origem das Informações	Saídas Indesejáveis	Comentários	
Altura da mesa	m	Regulagem entre 0,8 e 1,0	Dados ergonômicos e de concorrentes	Altura fixa abaixo ou acima do especificado	Permite o trabalho em pé ou sentado, sem problemas de postura	
Área da mesa	m ²	0,8 m ² (0,8x1,0)	Dados de concorrentes	Área menor ou maior	Estas dimensões permitem acesso e operação fáceis	
Altura dos pés	m	0,15	Dados ergonômicos	Falta de espaço para os pés do operador	Deve oferecer espaço aos pés do operador	
Massa total	kg	inferior a 300 kg	Dados de concorrentes	Massa elevada demais	A massa demasiada dificulta o transporte	
Velocidade da ferramenta	RPM	4000 até 7000	Dados de concorrentes	Rotação que proporcione acabamento deficiente	A velocidade adequada de corte proporciona acabamento e desempenho	
Diâmetro do eixo da ferramenta (porta-ferramenta)	mm	30 e 50 mm sem e com rasgo para chavetas, respectivamente	Dados de concorrentes	Diâmetro fora de padrões comerciais	O diâmetro do eixo porta-ferramentas deve possibilitar os tipos comerciais de fresas	
Espessura das frestas na mesa	mm	inferior a 1mm	Valor definido pelo projetista	Grande frestas que favorecem a entrada de pó no gabinete	O valor deve ser o menor possível	

Tabela A.2 - Descrição dos requisitos de projeto para a tupa de mesa (continuação).

Requisitos de Projeto da Tupa de Mesa						
Requisitos	Unidades	Objetivos	Origem das Informações	Saídas Indesejáveis	Comentários	
Potência consumida	W	Inferior a 3.730W	Catálogos de fabricantes	Consumo elevado demais, que oneraria a operação	O consumo deve ser mais baixo possível, para representar economia ao usuário.	
Materiais recicláveis	%	100	Projetista	Baixo percentual de materiais recicláveis	Necessário em função da necessidade de proteção ambiental	
Custo final do produto	R\$	2.200	Entrevista de mercado	Custo elevado demais	Garante a competitividade	
Peças móveis	%	Inferior a 10%	Projetista	Alto percentual de peças móveis	Deve ser baixo para melhorar a confiabilidade	
Peças padronizadas	%	100	Projetista	Baixo percentual de peças padronizadas	Representa mais qualidade, confiabilidade e menor custo de manutenção	
Vida útil	Anos	20	Empresas consumidoras	Vida útil curta, inferior a 20 anos	Garante uma vida útil média igual às similares	
Espessura da ferramenta	mm	95	Catálogos de fabricantes	Menor que 95 mm e fora de padrão	Deve ser dentro de padrões comerciais	

Tabela A.3 - Descrição dos requisitos de projeto para a tupa de mesa
(continuação).

Requisitos de Projeto da Tupa de Mesa						
Requisitos	Unidades	Objetivos	Origem das Informações	Saídas Indesejáveis	Comentários	
Avisos de Perigos	Unidade	Todos os perigos com avisos	Normas técnicas e diretrizes	Algum ou todos os perigos sem avisos	Necessidade de utilizar as normas e diretrizes, principalmente da segurança uniforme	
Proteções contra contato do usuário	Unidade	Todos os perigos com proteção	Normas técnicas e diretrizes	Algum ou todos os perigos sem proteção	Necessidade de utilizar as normas e diretrizes, principalmente da segurança uniforme	
Raios de arredondamento das chapas do gabinete	mm	5	Projetista	Chapas do gabinete com arestas cortantes	Evita o risco de cortes	
Área da porta do gabinete	m ²	Superior a 0,5X0,5	Catálogos de concorrentes	Porta estreita, que dificulte a manutenção	Garante acesso as partes internas da máquina	
Pó aspirado	%	100%	Projetista	Parte do pó não seja aspirado.	Evitar problemas nas máquinas e nas pessoas	
Iluminação da ferramenta	Lux	700	Dados ergonômicos	Abaixo deste valor, dificulta enxergar com acuidade.	Garante a luminosidade mínima para o trabalho	
Nível de ruído	dBa	Inferior a 80 dBa	Dados ergonômicos	Acima deste valor, pode causar surdez	Garante a exposição sem causar surdez	

Tabela A.4 - Descrição dos requisitos de projeto para a tupa de mesa
(continuação).

Requisitos de Projeto da Tupa de Mesa						
Requisitos	Unidades	Objetivos	Origem das Informações	Saídas Indesejáveis	Comentários	
Distância mínima entre mão e ferramenta de corte	mm	50	Determinado pelo projetista	Contato da mão do operador com a ferramenta de corte	Proteger o operador contra cortes nas mãos e dedos	
Vedação contra pó	%	100%	Determinado pelo projetista	Entrada de pó no gabinete	Evitar limpeza e manutenção em excesso	
Interruptores de parada de emergência	Unidade	Superior a 2	Reclamações de usuários	Falta de botões acessíveis para parada de emergência	Possibilitar desligamento em emergências e manutenções	
Temperatura mínima de operação	Celsius	-10 °C	Determinado pelo projetista	Fratura de estrutura devido a tensões térmicas	Evitar trincas térmicas e ruptura na estrutura da tupa	
Peças móveis pintadas	%	100%	Reclamações de usuários	Alguma parte móvel não pintada	Os operadores visualizam mais facilmente partes em movimento quando pintadas	

Os requisitos de projeto obtidos para a tupa de mesa foram considerados claros e adequadamente definidos, para dar continuidade ao desenvolvimento do projeto.

A.2 - Projeto Conceitual

O objetivo do projeto conceitual é obter, a partir da lista de requisitos da tupia de mesa, um conjunto de princípios de solução ou conceitos viáveis que possam ser utilizados com a finalidade de cumprir a função principal do produto. Para isso, determinou-se a função principal da tupia, a qual foi subdividida em subfunções básicas. Uma vez obtidas as subfunções básicas, buscou-se princípios de solução ou conceitos, que foram avaliados e selecionados entre os melhores, para este projeto. Ao final desta fase, os princípios de solução escolhidos foram listados, possibilitando a continuidade deste reprojeto.

A.2.1 - Estruturação Funcional

O primeiro passo para a estruturação funcional foi a análise da lista de requisitos, da qual extraiu-se a finalidade principal do produto e as limitações, objetivando formular a função global ou principal do produto. Para isso, eliminou-se preferências pessoais do projetista e desconsiderou-se requisitos que não influenciam no cumprimento da função global, como custo. Além disso, traduziu-se parâmetros quantitativos em qualitativos, generalizando-se e formulando-se a função global do produto, que é a seguinte: **fresar madeiras de várias espessuras e com diferentes velocidades de corte, oferecendo segurança e conforto para o usuário**. A função global com uma primeira subdivisão, através da utilização de diagramas de blocos, está apresentada na Figura A.2.

A partir da subdivisão da função global obteve-se subfunções mais básicas ou elementares, expressando os relacionamentos entre entradas e saídas. Esta subdivisão está apresentada, através de diagramas de blocos, na Figura A.3. Com a subdivisão diminuiu-se a complexidade da busca de solução para uma função global, pois pôde-se solucioná-la em partes.

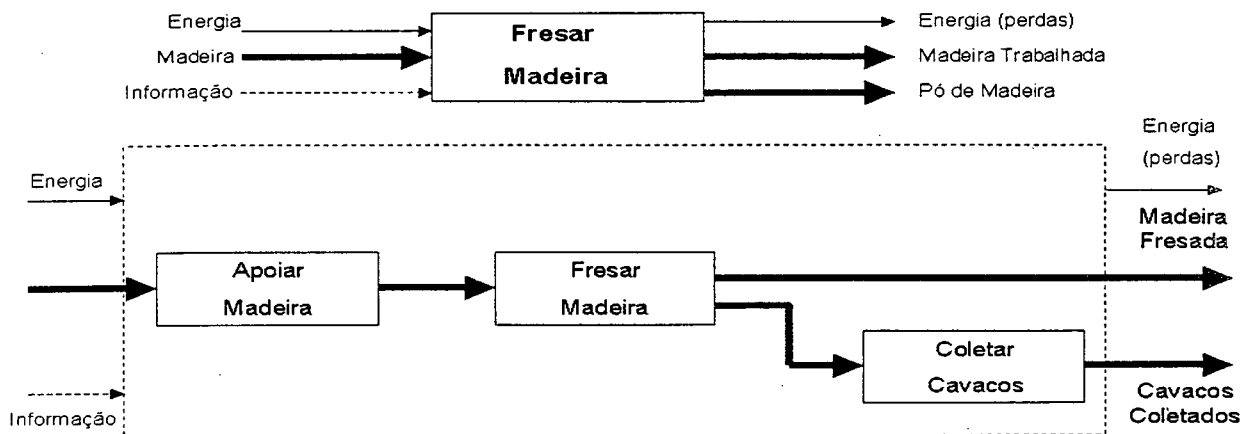


Figura A.2 - Função global e suas subfunções, num detalhamento inicial.

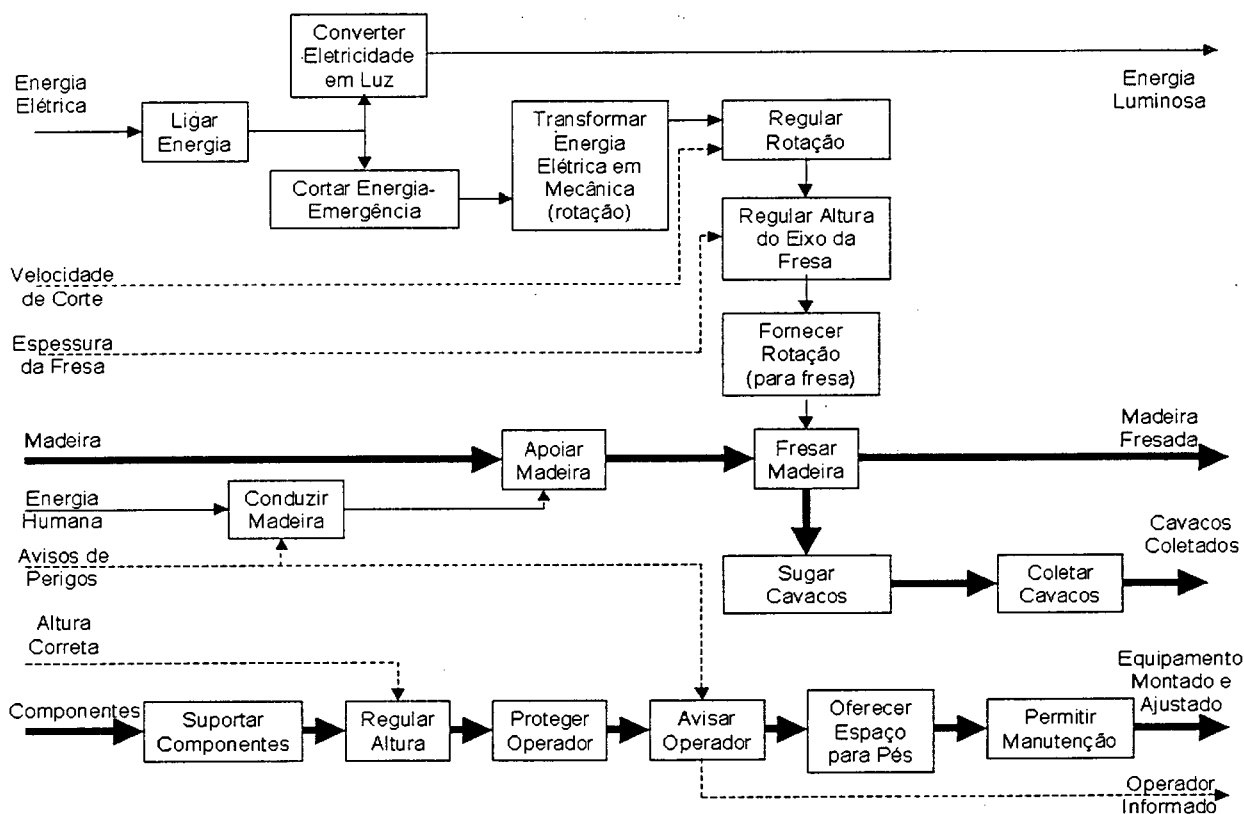


Figura A.3 - Estrutura funcional para a tupa de mesa.

A.2.2 - Busca por Conceitos Utilizáveis

Após a determinação da estrutura de funções da tupa de mesa, buscou-se princípios de solução alternativos capazes de satisfazer as subfunções previamente

determinadas. Estes princípios de solução foram obtidos através da utilização da técnica de criatividade *brainstorming* e foram alocados na matriz morfológica para facilitar a identificação deles. Nas matrizes morfológicas, as subfunções foram agrupadas em subsistemas facilitando a continuidade do reprojeto. Isto também facilita a possibilidade de modularização. As Tabelas A.5 e A.6 apresentam as matrizes morfológicas para os princípios de solução alternativos da tupa de mesa.

Os princípios de solução ou conceitos refletem ou correspondem a objetos capazes de realização de determinados efeitos físicos sobre fluxos de energia, material e sinal ou informação. Estes objetos apresentam determinadas características físicas, geométricas e materiais.

Tabela A.5 - Matriz morfológica para a tupa de mesa.

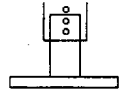
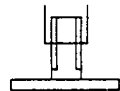
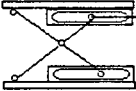
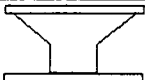
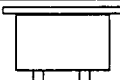
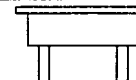


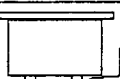
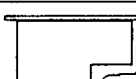
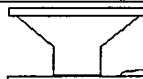




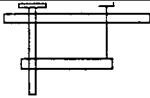
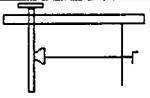
Subsistema	Subfunção	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Estrutural	Regular Altura				
	Suportar Componentes				
	Oferecer Espaço para pés				
	Permitir Manutenção	Componentes totalmente expostos	Portas de acesso	Estrutura fechada com parafusos	
	Apoiar Madeira	Mesa plana	Mesa plana com roletes	Roletes	Guias de apoio
Segurança	Proteger Operador	Barreiras físicas	Dispositivos eletrônicos		
	Cortar Energia	Botão cogumelo	Sensores eletrônicos	Interruptores nas portas	
	Avisar Operador	Avisos sonoros	Avisos luminosos	Placas com informações	

Tabela A.6 - Matriz morfológica para a tupa de mesa (continuação).

Subsistema	Subfunção	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Elétrico	Ligar Energia				
	Converter Eletricidade em Luz	Lâmpada incandescente	Lâmpada fluorescente	Lâmpada dicróica	
Potência	Transformar Energia	Motor elétrico monofásico	Motor elétrico trifásico	Motor elétrico corrente contínua	
Transmissão	Fornecer Movimento	Eixo rígido	Correntes	Correias	
	Regular Rotação	Jogos de polias escalonadas	Caixa de engrenagens	CVT Polias variáveis	Rodas dentadas escalonadas
Fresamento	Fresar Madeira	Fresa móvel e madeira fixa	Fresa fixa e madeira móvel		
	Regular Altura da Fresa				
Aspiração	Sugar Cavacos	Bomba axial	Bomba centrífuga	Bomba de pistões	Bomba de palhetas
	Coletar Cavacos	Cesto	Filtro	Saco	

A.2.3 - Avaliação dos Conceitos

Após os princípios de solução possíveis terem sido obtidos, tornou-se necessário avaliá-los para que fossem escolhidos os melhores e mais aplicáveis para o reprojeto da tupa. A avaliação comparativa entre os diversos conceitos ou princípios de solução alternativos, que se encontram apresentados na matriz morfológica, foi realizada através da utilização da matriz de seleção de conceitos de Pugh (Clausing, 1994). A avaliação dos conceitos, realizada através da matriz de Pugh, proveu uma visão ampla das diversas alternativas.

A matriz de seleção de Pugh permitiu a comparação entre os diversos conceitos tendo como referência critérios previamente estabelecidos. Os critérios previamente estabelecidos foram: a funcionalidade, o custo, a manutenibilidade, a fabricabilidade, a

aparência e a segurança. Estes critérios foram escolhidos porque retratam os aspectos da qualidade da tupa, informados como necessidades pelos consumidores, quando da entrevista informal realizada no início deste reprojeto. Os conceitos foram avaliados e comparados mutuamente em relação ao atendimento de cada um dos critérios. As Tabelas de A.7 até A.25 apresentam as avaliações dos conceitos, nas quais utilizou-se a matriz de seleção de Pugh.

Como os princípios de solução, que possibilitam o cumprimento das subfunções, são alternativos entre si, isto é, a escolha de um deles para cumprimento de uma determinada subfunção não impede ou impossibilita a escolha de outro para outra subfunção. Isto possibilitou a escolha de apenas um grupo de soluções alternativas para a tupa de mesa.

Tabela A.7 - Matriz de seleção de conceitos de Pugh.

Critérios	Alternativas			
	1	2	3	4
Funcionalidade	+	-	S	Referência de Comparação
Custo	-	S	+	
Mantenabilidade	-	S	-	
Fabricabilidade	S	+	+	
Aparência	+	-	+	
Segurança	-	+	-	
Somatório	-	S	+	

Tabela A.8 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção regular altura.

Critérios	Alternativas		
	1	2	3
Funcionalidade	-	-	Referência de Comparação
Custo	+	+	
Mantenabilidade	+	S	
Fabricabilidade	+	-	
Aparência	+	+	
Segurança	S	S	
Somatório	+++	S	

Tabela A.9 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção **regular altura** - reavaliação.

Critérios	Alternativas		
	3	2	1
Funcionalidade	+	-	Referência de Comparação
Custo	-	-	
Mantenabilidade	-	-	
Fabricabilidade	-	-	
Aparência	-	S	
Segurança	S	S	
Somatório	- - -	- - - -	

Tabela A.10 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção **suportar componentes**.

Critérios	Alternativas			
	4	2	3	1
Funcionalidade	S	S	S	Referência de Comparação
Custo	-	-	S	
Mantenabilidade	-	-	S	
Fabricabilidade	S	S	S	
Aparência	-	-	-	
Segurança	-	-	S	
Somatório	- - - -	- - - -	-	

Tabela A.11 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção **oferecer espaço para os pés**.

Critérios	Alternativas			
	1	2	3	4
Funcionalidade	+	-	-	Referência de Comparação
Custo	S	-	-	
Mantenabilidade	-	-	-	
Fabricabilidade	S	-	-	
Aparência	-	-	-	
Segurança	-	S	S	
Somatório	- -	- - - - -	- - - - -	

Tabela A.12 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção **permitir manutenção**.

Critérios	Alternativas		
	1	3	2
Funcionalidade	+	-	Referência de Comparação
Custo	+	+	
Mantenabilidade	+	-	
Fabricabilidade	-	-	
Aparência	-	S	
Segurança	-	S	
Somatório	S	--	

Tabela A.13 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção **apoiar madeira**.

Critérios	Alternativas			
	4	2	3	1
Funcionalidade	S	S	S	Referência de Comparação
Custo	-	-	S	
Mantenabilidade	-	-	-	
Fabricabilidade	-	-	-	
Aparência	-	-	-	
Segurança	S	S	S	
Somatório	----	----	---	

Tabela A.14 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção **proteger operador**.

Critérios	Alternativas	
	2	1
Funcionalidade	S	Referência de Comparação
Custo	-	
Mantenabilidade	-	
Fabricabilidade	-	
Aparência	+	
Segurança	S	
Somatório	--	

Tabela A.15 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção **cortar energia**.

Critérios	Alternativas		
	2	3	1
Funcionalidade	S	+	Referência de Comparação
Custo	-	S	
Mantenabilidade	-	-	
Fabricabilidade	-	S	
Aparência	+	-	
Segurança	S	S	
Somatório	--	-	

Tabela A.16 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção **avisar operador**.

Critérios	Alternativas		
	1	2	3
Funcionalidade	+	+	Referência de Comparação
Custo	-	-	
Mantenabilidade	-	-	
Fabricabilidade	-	-	
Aparência	+	+	
Segurança	S	S	
Somatório	-	--	

Tabela A.17 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção **ligar energia**.

Critérios	Alternativas			
	1	2	4	3
Funcionalidade	S	S	S	Referência de Comparação
Custo	S	S	-	
Mantenabilidade	S	S	S	
Fabricabilidade	S	S	S	
Aparência	S	S	S	
Segurança	-	-	-	
Somatório	-	-	--	

Tabela A.18 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção **converter eletricidade em luz.**

Critérios	Alternativas		
	1	3	2
Funcionalidade	S	S	Referência de Comparação
Custo	+	-	
Mantenabilidade	-	-	
Fabricabilidade	S	S	
Aparência	-	S	
Segurança	-	-	
Somatório	--	---	

Tabela A.19 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção **transformar energia.**

Critérios	Alternativas		
	1	3	2
Funcionalidade	S	+	Referência de Comparação
Custo	-	-	
Mantenabilidade	S	-	
Fabricabilidade	-	-	
Aparência	-	+	
Segurança	S	S	
Somatório	---	-	

Tabela A.20 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção **fornecer movimento.**

Critérios	Alternativas		
	2	3	1
Funcionalidade	-	-	Referência de Comparação
Custo	-	-	
Mantenabilidade	-	-	
Fabricabilidade	+	+	
Aparência	-	-	
Segurança	-	-	
Somatório	-----	-----	

Tabela A.21 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção **regular rotação**.

Critérios	Alternativas			
	1	2	4	3
Funcionalidade	S	S	S	Referência de Comparação
Custo	+	+	+	
Mantenabilidade	-	-	-	
Fabricabilidade	+	-	S	
Aparência	-	S	S	
Segurança	-	S	-	
Somatório	--	-	-	

Tabela A.22 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção **fresar madeira**.

Critérios	Alternativas	
	1	2
Funcionalidade	S	Referência de Comparação
Custo	-	
Mantenabilidade	-	
Fabricabilidade	-	
Aparência	S	
Segurança	-	
Somatório	----	

Tabela A.23 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção **regular altura da fresa**.

Critérios	Alternativas	
	2	1
Funcionalidade	S	Referência de Comparação
Custo	-	
Mantenabilidade	S	
Fabricabilidade	-	
Aparência	S	
Segurança	S	
Somatório	--	

Tabela A.24 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção **sugar cavacos**.

Critérios	Alternativas			
	1	3	4	2
Funcionalidade	-	S	S	Referência de Comparação
Custo	S	-	-	
Mantenabilidade	S	-	-	
Fabricabilidade	-	-	-	
Aparência	S	S	S	
Segurança	S	S	S	
Somatório	- -	- - -	- - -	

Tabela A.25 - Matriz de seleção de conceitos para a subfunção **coletar cavacos**.

Critérios	Alternativas		
	1	2	3
Funcionalidade	-	-	Referência de Comparação
Custo	+	-	
Mantenabilidade	-	-	
Fabricabilidade	+	-	
Aparência	S	+	
Segurança	-	S	
Somatório	-	- - -	

A.2.4 - Lista dos Conceitos Escolhidos

Após serem avaliados, os princípios de solução ou conceitos foram escolhidos para cumprimento das subfunções, organizados de modo a configurar subsistemas. Os princípios de solução ou conceitos escolhidos foram os seguintes:

1. Subsistema estrutural:
 - regular altura: alternativa 1;
 - suportar componentes: alternativa 1;
 - oferecer espaço para os pés: alternativa 4;
 - permitir manutenção: alternativa 2;

- apoiar madeira: alternativa 1;
2. Subsistema de segurança:
 - proteger operador: alternativa 1;
 - cortar energia: alternativa 1. Obs.: por exigência de norma, que prevê o intertravamento de proteções, a alternativa 3 também será utilizada;
 - avisar operador: alternativa 3;
 3. Subsistema elétrico:
 - ligar energia: alternativa 3;
 - converter eletricidade em luz: alternativa 2. Obs.: por exigência de norma haverá iluminação sobre a fresa e dentro do gabinete;
 4. Subsistema de potência:
 - transformar energia: alternativa 2;
 5. Subsistema de transmissão:
 - fornecer movimento: alternativa 1;
 - regular rotação: alternativa 3;
 6. Subsistema de fresamento:
 - fresar madeira: alternativa 2;
 - regular altura da fresa: alternativa 1;
 7. Subsistema de aspiração:
 - sugar cavacos: alternativa 2;
 - coletar cavacos: alternativa 3.

A partir dos princípios de solução escolhidos, apresenta-se um esboço esquemático para as partes funcionais da tupia, que pode ser visto na Figura A.4. Os

esboços das características externas estão apresentados em perspectiva nas Figuras A.5 e A.6.

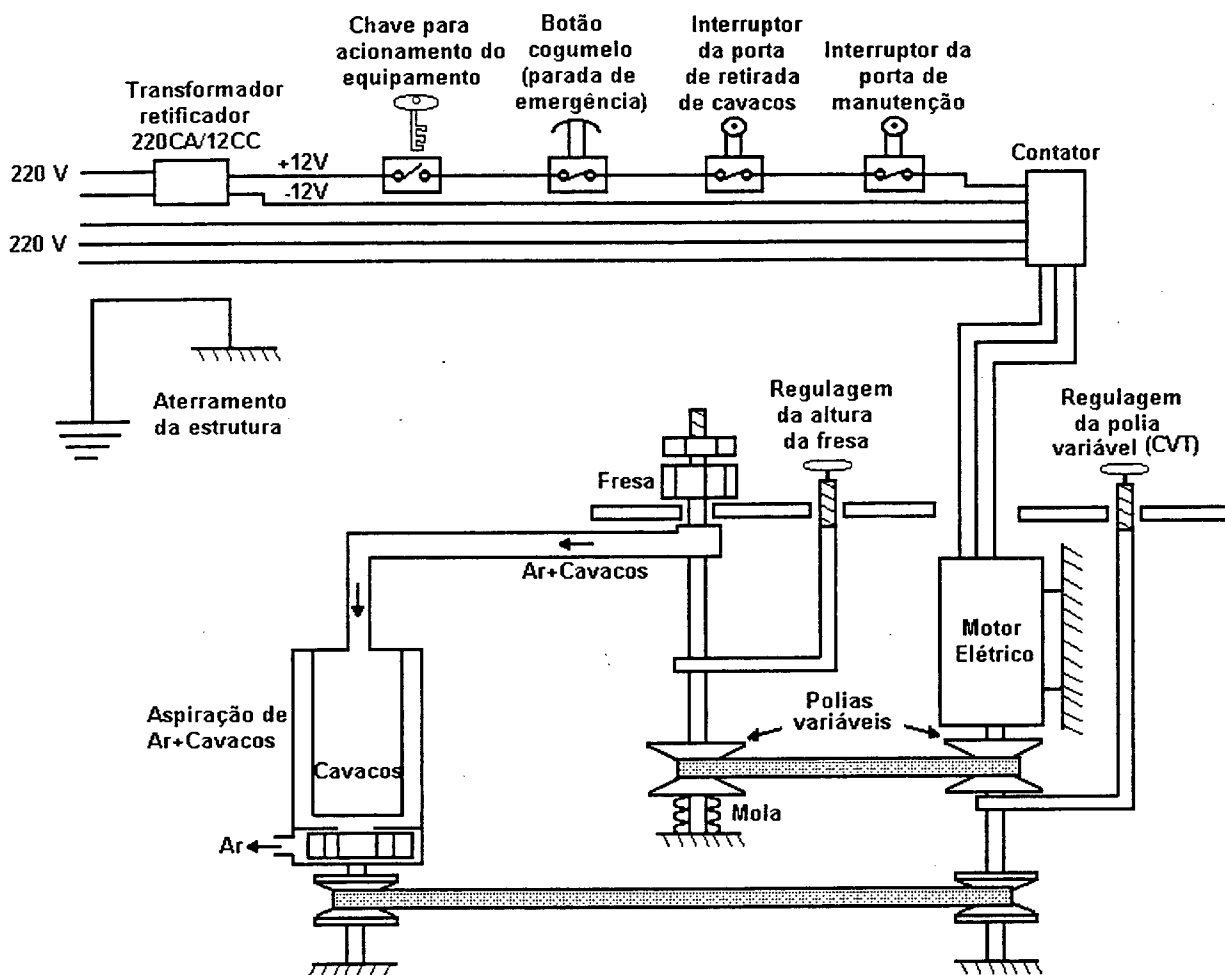


Figura A.4 – Representação esquemática das partes funcionais da tupa de mesa.

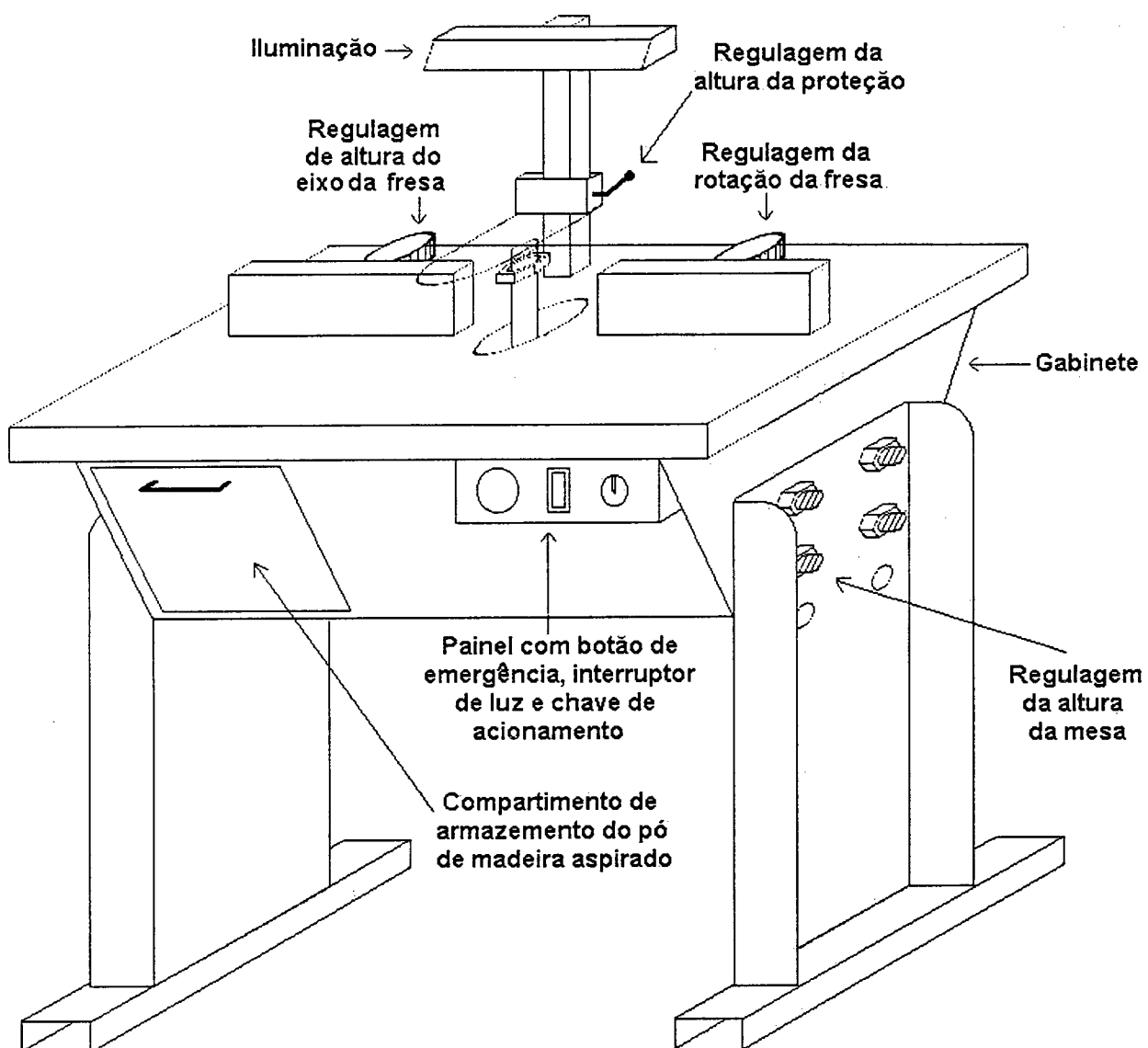


Figura A.5 – Perspectiva da parte anterior da tupa reprojeta.

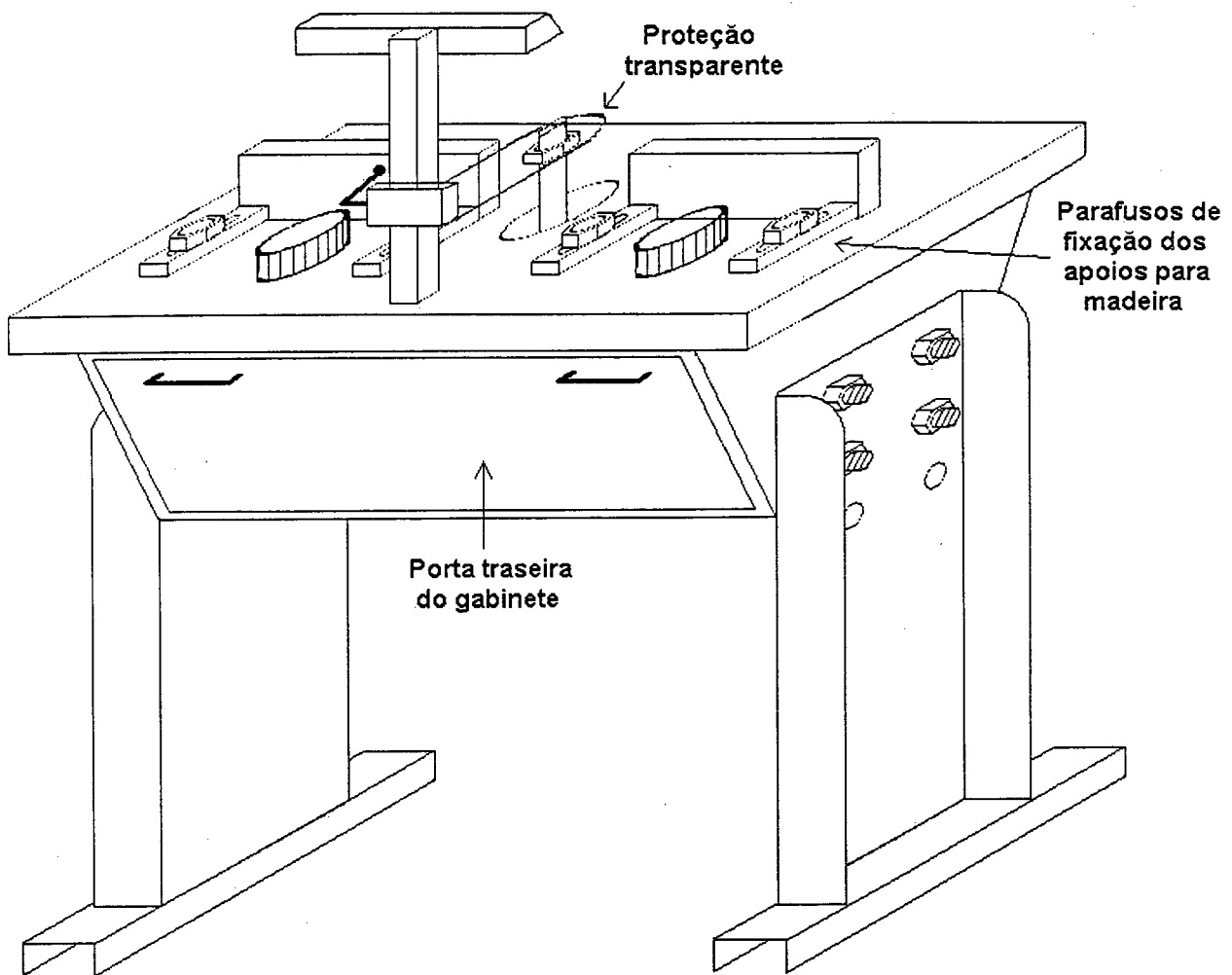


Figura A.6 – Perspectiva da parte posterior da tupa reprojetaada.

A. 3 - Cálculo do Índice de Periculosidade da Tupa Reprojetaada

Os modelos de tupa de mesa, o antigo e o reprojetaado, foram comparados com a finalidade de verificar se houve melhorias de segurança, em decorrência da aplicação do método de determinação das necessidades de segurança do consumidor. Esta comparação foi realizada através da avaliação dos possíveis danos e lesões que as tupias podem causar, resultando no cálculo do índice de periculosidade (IPP).

Verificou-se que a tupa, resultante do reprojeto, não apresentou novos perigos em relação ao modelo anterior. Além disso, todos os perigos elimináveis, dos quais a

funcionalidade do produto não depende, foram suprimidos. Os perigos inerentes tiveram a probabilidade de manifestação controlada pela inclusão de novas características e conceitos para as partes da tupa. Como consequência, obteve-se uma tupa conceitualmente mais segura do que o modelo anterior. A Tabela A.26 apresenta a avaliação da tupa de mesa reprojetada.

Tabela A.26 - Avaliação dos possíveis danos e lesões.

Perigos	Subsistemas ou componentes	I/E	ΣP
avisos (falta)	ferramenta de corte, motor e transmissão	1	9
proteção para ferramenta de corte (falta)	ferramenta de corte	1	9
indicador de movimento da ferramenta de corte	ferramenta de corte	1	9
isolamento e aterramento das instalações elétricas do produto (falta)	instalação elétrica	1	9
temperatura do motor elétrico	motor elétrico	1	2
temperatura da ferramenta de corte	ferramenta de corte	1	2
temperatura da polias de transmissão	transmissão	1	2
lâmina cortante	ferramenta de corte	1	27
limitação do nível de ruído (falta)	ferramenta de corte motor elétrico	1	7
Total			76

Utilizando-se os valores obtidos na Tabela A.26 na Equação 6.4, obtém-se:

$$IPP = \frac{76}{270 \times 9} = 0,0313 \quad (\text{Eq. A.1})$$

A partir dos valores obtidos na avaliação dos possíveis danos e lesões, obteve-se um índice de periculosidade para a tupa (IPP) de 3,13%, o que representa uma melhoria em relação ao índice obtido pelo modelo anterior, que é de 11,40%.

A.4 - Considerações Finais

O reprojeto da tupa de mesa apenas foi realizado até o início da fase de projeto preliminar, onde já foi possível verificar algumas melhorias na segurança da tupa

reprojetada em relação aos modelos comerciais. O reprojeto não foi executado na totalidade em razão de não fazer parte do proposto no trabalho, mas apenas até alguns conceitos importantes estarem definidos. Mesmo porque não é intenção deste trabalho produzir documentos para a fabricação da tupa de mesa.

Com relação à tupa de mesa reprojetada, pode-se observar que o reprojeto diferenciou-a dos modelos tipicamente produzidos e comercializados. As formas e as funções que executa privilegiaram a segurança e a operação dela pelos usuários.

Concluindo, a tupa de mesa foi escolhida para o reprojeto, porque se observou que era o equipamento mais inseguro dentre os que tiveram os índices de segurança calculados. A partir dessa constatação, executou-se o reprojeto que foi realizado de acordo com o método para determinação das necessidades de segurança. Este método permitiu a melhoria do estabelecimento de requisitos de projeto. Como a escolha dos princípios de solução respeita os requisitos de projeto, obteve-se princípios de solução mais adequados à segurança. Além de respeitar os requisitos de projeto, esta escolha dos princípios de solução, respeitou outros referenciais como: as diretrizes para o projeto seguro e as normas de segurança. Isto resultou em melhorias na segurança que certamente irão refletir em melhoria do índice da segurança da tupa, caso este novo modelo seja produzido e utilizado pelos usuários.