



**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA**

**CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL MECÂNICA**

**PAULO BERNARDO KOVALSKI**

**DESENVOLVIMENTO DE UM CONJUNTO DE  
DIRETRIZES PARA A ALOCAÇÃO DO  
PARÂMETRO DE MANUTENIBILIDADE  
DURANTE AS ETAPAS INICIAIS DE PROJETO  
DE SISTEMAS MECÂNICOS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CURITIBA**

**2014**

**PAULO BERNARDO KOVALSKI**

**DESENVOLVIMENTO DE UM CONJUNTO DE  
DIRETRIZES PARA A ALOCAÇÃO DO  
PARÂMETRO DE MANUTENIBILIDADE  
DURANTE AS ETAPAS INICIAIS DE PROJETO  
DE SISTEMAS MECÂNICOS**

Monografia apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 do curso de Engenharia Industrial Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para a aprovação na disciplina.

**Orientador:** Prof. Carlos Cziulik, Ph.D.  
**UTFPR - DAMEC**

**CURITIBA**  
**2014**

## ENCAMINHAMENTO

Venho, por meio deste termo, encaminhar para defesa a monografia do intitulada “Desenvolvimento De Um Conjunto De Diretrizes Para A Alocação Do Parâmetro De Manutenibilidade Durante As Etapas Iniciais De Projeto De Sistemas Mecânicos”, realizada pelo aluno Paulo Bernardo Kovalski como requisito parcial para aprovação na disciplina Projeto Final de Curso 2 do curso de Engenharia Industrial Mecânica da Universidade Tecnológica do Paraná.

**Orientador:** Carlos Cziulik, Ph.D.  
DAMEC, UTFPR

## TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa " Desenvolvimento De Um Conjunto De Diretrizes Para A Alocação Do Parâmetro De Manutenibilidade Durante As Etapas Iniciais De Projeto De Sistemas Mecânicos ", realizado pelo aluno Paulo Bernardo Kovalski, como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Carlos Cziulik, Ph.D.

Departamento Acadêmico de Mecânica, DAMEC da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Orientador

Prof. Dr. Eng. Walter Luís Mikos

Departamento Acadêmico de Mecânica, DAMEC da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Avaliador

Prof. Me. Eng. Josmael Roberto Kampa

Departamento Acadêmico de Mecânica, DAMEC da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Avaliador

Curitiba, 22 de Agosto de 2014.

## RESUMO

KOVALSKI, Paulo Bernardo. Desenvolvimento De Um Conjunto De Diretrizes Para A Alocação Do Parâmetro De Manutenibilidade Durante As Etapas Iniciais De Projeto De Sistemas Mecânicos. 2014. 103 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Engenharia Industrial Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

A manutenibilidade é um fator de projeto que, vem sendo cada vez mais valorizado durante o desenvolvimento de produtos, pois atua como um diferencial entre eles. Mesmo que seja vista desta forma, atualmente não se dispõe de ferramentas que sejam capazes de orientar as equipes de desenvolvimento de produtos de forma a endereçá-la adequadamente durante o processo de desenvolvimento de produtos. Este trabalho apresenta o desenvolvimento e respectiva validação de: um conjunto de diretrizes, ferramenta e métrica de orientação do parâmetro de manutenibilidade durante as etapas iniciais do processo de desenvolvimento de produtos. O crescente interesse que o tema desperta nas empresas ocorre por permitir reduzir gastos de desenvolvimento de produto ao mesmo tempo em que se pode tornar o produto mais atraente aos clientes. De modo a estruturar o trabalho, foi conduzida uma revisão bibliográfica envolvendo os temas de manutenibilidade, guias de referência e metodologia de projeto. Sistemas mecânicos também foram analisados sob a ótica da manutenibilidade. Com base neste conjunto de informações propõe-se uma estrutura de procedimentos, baseadas em guias de referência para verificar a aderência das concepções propostas a parâmetros de manutenibilidade. Um estudo de caso descritivo ilustra o uso dos mecanismos propostos. Os resultados obtidos permitem apontar que o conjunto proposto é capaz de orientar o projeto de produto

Palavras chave: manutenibilidade, projeto de produto, guias de referência de projeto de produto, ferramentas de projeto de produto, acessibilidade, modularidade, manutenção preventiva.

## ABSTRACT

KOVALSKI, Paulo Bernardo. Desenvolvimento de um conjunto de diretrizes para a alocação do parâmetro de manutenibilidade durante as etapas iniciais de projeto de sistemas mecânicos. 2014. 103 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Engenharia Industrial Mecânica, Universidade Tecnológica do Federal Paraná. Curitiba, 2014.

Maintainability is a design topic that each day gains more attention and value during the product development and design, as it acts a differential among them. Even observed this way, nowadays tools that are able to assist the project teams in a proper manner during product design are very scarce. This work presents the development and validation of: a set of directives, a tool and metrics to be applied during the initial maintainability design stages. The crescent interest in this subject arises from the possibility of monetary savings in product development in the same measure that it can make the product more attractive to customers. In order to structure this work, a bibliographical revision of the maintainability subject was the starting point. Mechanical systems were analyzed focusing in maintainability. Based in this information ensemble, a methodical procedure, based in handbooks, is proposed to verify the adherence of proposed product conceptions to maintainability parameters. A case study illustrate the proposed methods. The results found during the analysis can be used as proof of the effectiveness of the proposed directives set in maintainability orientation during product design.

Keywords: maintainability, product design, Handbooks, handbooks for product design, product design tools, accessibility, modularity, preventive maintenance.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Diferentes combinações de valores de MTTR (1/h) e MTBF (h). Fonte MIL-HDBK-470A (1997) .....	29
Figura 2 Orientação de acessos: Fonte DOD-HDBK-791 (1988).....	34
Figura 3 Orientação de fundo. Fonte DOD-HDBK-791 (1988) .....	34
Figura 4 Módulo de turbina M1 para tanque. Fonte: DOD-HDBK-791 (1988).....	36
Figura 5 Módulos do sistema de aquisição e designação de alvos - McDonnell-Douglas AH-64 Apache. Fonte: DOD-HDBK-791 (1988) .....	37
Figura 6 Planilha da Bill of Materials – BOM .....	40
Figura 7 Aspirador de pó Wap Aero Clean.....	43
Figura 8 Aspirador modelado em sistema CAD .....	44
Figura 9 Aspirador desmontado .....	44
Figura 10 Desmontagem das peças 2 e 3, dos sete parafusos empregados nessa união seus possuem a mesma especificação (parte inferior da imagem) e um com especificação diferente (a esquerda). .....	46
Figura 11 Conexões elétricas da chave de contato.....	47
Figura 12 Peças 3 e 4 – Componentes que envolvem o motor.....	49
Figura 13 Planilha de acessibilidade aplicada ao aspirador.....	58
Figura 14 Esquema para aplicação do conjunto de diretrizes de manutenibilidade e ferramenta de manutenibilidade .....	63
Figura 15 Modificações na concepção da peça 3 - carenagem interna. Ao lado esquerdo encontra-se a concepção atual, enquanto ao lado direito estão as novas concepções. ....	71
Figura 16. Nova proposição de montagem da carenagem superior do motor.....	72
Figura 17 Esquema para aplicação do conjunto de diretrizes de manutenibilidade e ferramenta de manutenibilidade .....	78
Figura 18 Aspirador de Pó WAP Aero Clean.....	95
Figura 19 Conjunto de ferramentas.....	96
Figura 20 Sistema completamente desmontado .....	97
Figura 21 Desmontagem das peças 2 e 3, parafusos de mesmo comprimento na parte inferior e parafuso de comprimento diferente no lado esquerdo da imagem.....	97
Figura 22 Conexões elétricas da chave de contato.....	98
Figura 23 Peças 3 e 4 .....	99

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Aspectos de manutenibilidade atendidos pela concepção do produto aspirador de pó .....	45
Tabela 2 – Estrutura do produto .....	48
Tabela 3 – Tabela de classificação da concepção do produto quanto à adequação aos parâmetros de manutenibilidade .....	59
Tabela 4 – Exemplo de aplicação do conjunto de diretrizes através da ferramenta..	65
Tabela 5 – Resultados da Análise do Aspirador na Ferramenta de Manutenibilidade .....	68
Tabela 6 - Resultado final da análise do produto através da ferramenta .....	68
Tabela 7 – Resumo das modificações da concepção do produto .....	70
Tabela 8 – Conceitos básicos de manutenibilidade .....	79
Tabela 9 – Conjunto de diretrizes de acessibilidade .....	81
Tabela 10 – Conjunto de diretrizes de modularidade .....	85
Tabela 11 - Conjunto de diretrizes de manutenção preventiva .....	89
Tabela 12 – Acessibilidade.....	100
Tabela 13 – Simplificação .....	107
Tabela 14 – Padronização.....	110
Tabela 15 – Intercambialidade .....	111
Tabela 16 – Modularidade.....	114

## **LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS**

BOM – *Bill of Materials* (Estrutura de Produto)

CAD – *Computer Aided Design* (Projeto Auxiliado por Computador)

CAE – *Computer Aided Engineering* (Engenharia Auxiliada por Computador)

DFMT – *Design For Maintainability* (Projeto Para a Manutenibilidade)

DFX – *Design For “X”* (Projeto Orientado Para “X”)

FMEA – *Failure Mode and Effects Analysis* (Análise dos Modos e Efeitos de Falha)

FMECA – *Failure Mode and Effects Criticality Analysis* (Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade)

MTBF – *Mean Time Between Failures* (Tempo Médio Entre as Falhas)

MTTR – *Mean Time To Repair* (Tempo Médio Para Reparo)

PDP – Processo de Desenvolvimento de Produtos

QFD – *Quality Function Deployment* (Desdobramento da Função de Qualidade)

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	12
1.1	CONTEXTO .....	12
1.2	OPORTUNIDADE .....	14
1.3	OBJETIVOS .....	16
1.4	JUSTIFICATIVA .....	16
1.5	DESCRIÇÃO DA ABORDAGEM METODOLÓGICA .....	17
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
2	PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS E MANUTENIBILIDADE: RELAÇÕES E INTERFACES .....	20
2.1	PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS .....	20
2.2	MANUTENIBILIDADE .....	22
2.2.1	CONCEITO DE MANUTENIBILIDADE NA LITERATURA. ....	22
2.2.2	LITERATURAS DE MANUTENIBILIDADE .....	27
2.2.3	INTERAÇÕES DE MANUTENIBILIDADE .....	28
2.2.4	ORIENTAÇÕES AVANÇADAS DE MANUTENIBILIDADE. ....	30
2.3	DIRETRIZES DE MANUTENIBILIDADE. ....	30
2.4	LISTAS DE VERIFICAÇÃO DE MANUTENIBILIDADE – ORIENTAÇÃO PROPOSTA PELO MANUAL DOD-HDBK-791 .....	31
2.4.1	ACESSIBILIDADE .....	33
2.4.2	MODULARIDADE .....	35
2.4.3	TESTABILIDADE E DISPOSITIVOS DE DIAGNOSE .....	37
2.4.4	INTERCAMBIALIDADE E PADRONIZAÇÃO .....	38
2.4.5	MANUTENÇÃO PREVENTIVA .....	39
2.5	ESTRUTURA DE PRODUTO .....	39
2.6	IDENTIFICAÇÃO DA OPORTUNIDADE .....	40
3	ESTUDO DO PRODUTO: ASPIRADOR DE PÓ DOMÉSTICO .....	42
3.1	DECISÃO DO SISTEMA MECÂNICO E MODELAGEM EM SISTEMA CAD. 42	
3.2	DESCRIÇÃO DO PRODUTO PARA MANUTENIBILIDADE .....	44
3.3	ANÁLISE CRÍTICA DAS SOLUÇÕES DE MANUTENIBILIDADE ENCONTRADAS NO PRODUTO .....	49
3.4	CONCLUSÕES OBTIDAS COM O ESTUDO DE CASO. ....	51
4	DESENVOLVIMENTO DO CONJUNTO DE DIRETRIZES E FERRAMENTA DE MANUTENIBILIDADE. ....	53
4.1	CONJUNTO DE REQUISITOS DO DESENVOLVIMENTO DO CONJUNTO DE DIRETRIZES DE MANUTENIBILIDADE .....	53
4.2	CONJUNTO DE DIRETRIZES DE MANUTENIBILIDADE .....	53
4.3	FERRAMENTA DE MANUTENIBILIDADE .....	56
4.4	CONCEPÇÃO DO CONJUNTO DE DIRETRIZES, CONCLUSÕES DO MODELO PARA COMPOSIÇÃO DO GUIA DE REFERÊNCIA DE MANUTENIBILIDADE .....	60
4.5	METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DO CONJUNTO DE DIRETRIZES DE MANUTENIBILIDADE E DA FERRAMENTA DE MANUTENIBILIDADE .....	62
4.6	VALIDAÇÃO REVERSA DA FERRAMENTA. ....	64
4.7	RESULTADOS .....	67
4.7.1	ANÁLISE DOS RESULTADOS DA FERRAMENTA DE MANUTENIBILIDADE .....	67

4.7.2 ANÁLISE DAS MODIFICAÇÕES DE CONCEPÇÃO INTRODUZIDAS PELO CONJUNTO DE DIRETRIZES DE MANUTENIBILIDADE.....	69
5 CONCLUSÕES.....	73
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	74
6 REFERÊNCIAS.....	75
APÊNDICE A – TABELAS DE ORIENTAÇÃO DE MANUTENIBILIDADE .....	78
A.1. CONCEITOS BÁSICOS DE MANUTENIBILIDADE .....	78
A.2. ACESSIBILIDADE: .....	80
A.3. MODULARIDADE:.....	85
A.4. MANUTENÇÃO PREVENTIVA:.....	89
A.5. REFERÊNCIAS .....	93
APÊNDICE B – RELATÓRIO DE DESMONTAGEM DO ASPIRADOR DE PÓ. ....	94
B.1 OBJETIVO:.....	94
B.2 PROCEDIMENTO: .....	94
B.3 MODELO: .....	94
B.4 ATIVIDADE RELACIONADA: .....	94
B.5 DATA:.....	94
B.6 ELABORADO POR:.....	94
B.7. CONDIÇÕES DE TESTE:.....	94
B.7.1 SISTEMA MECÂNICO: ASPIRADOR DE PÓ:.....	94
B.7.2. FERRAMENTAS:.....	96
B.7.3. DESMONTAGEM DO EQUIPAMENTO:.....	96
B.8. AVALIAÇÕES ATRAVÉS DO DOCUMENTO DOD HDBK 791.....	100
B.2.1 ACESSIBILIDADE: .....	100
B.2.2.SIMPLIFICAÇÃO:.....	107
B.2.3. PADRONIZAÇÃO: .....	110
B.2.4. INTERCAMBIALIDADE: .....	111
B.2.5. MODULARIDADE:.....	114
B.3. CONCLUSÕES:.....	118
ANEXO A – LISTAS DE VERIFICAÇÃO PRESENTES NA LITERATURA .....	119
A.1 LISTAS DE VERIFICAÇÃO DO MANUAL DOD-HDBK-791 (1986);.....	119
A.1.1. ACESSIBILIDADE .....	119
A.1.1.5. SIMPLIFICAÇÃO .....	123
A.1.1.6 PADRONIZAÇÃO .....	124
A.1.1.7. INTERCAMBIALIDADE .....	124
A.1.1.8. MODULARIDADE .....	125
A.2 LISTAS DE VERIFICAÇÃO CUNNINGHAM E COX (1967) .....	127
A.2.1. ACCESSIBILITY: .....	127
A.2.2. COVERS AND CASES: .....	128
A.2.3. FASTENERS .....	129
A.2.4. HANDLING .....	130
A.2.5. MAINTENANCE CONCEPTS .....	130
A.2.6. MODULES .....	131
A.2.7. PACKING.....	132
A.2.8. PREVENTIVE MAINTENANCE .....	133
A.2.9. RACKS AND CHASSIS .....	134
A.2.10. TOOLS.....	134

## 1. INTRODUÇÃO

A manutenibilidade pode ser compreendida, de acordo com o manual MIL-HDBK-470A (1997) como a medida de quão um sistema pode ser preservado em estado operacional de origem através de intervenções de manutenção. Ela está ligada a múltiplos fatores de desenvolvimento de produto por ser, em muitos, casos um dos parâmetros impostos pelos clientes, ou de poder se caracterizar como um diferencial do produto.

### 1.1 Contexto

No cenário atual, as equipes de projetos tem a sua disposição múltiplas ferramentas as quais podem usar como meios para orientação do desenvolvimento de produtos. De acordo com Coubalibaly *et al.* (2008) o processo de desenvolvimento de produtos atingiu seu limite, forçando as empresas a buscarem diferentes mecanismos para obterem diferenciação de seus produtos em mercados que a cada dia estão: mais competitivos; exigentes quanto às questões ambientais; e preocupados com o ciclo de vida dos mesmos.

O requisito de manutenibilidade não é uma novidade para o desenvolvimento de produtos, e em muitas situações foi usado como característica principal do produto. Dhillon (1999) cita que exemplos de contratos datados do início do século XX onde o produto tinha como requisito ser fácil de ser mantido e de ser operado. Este autor ainda aponta que a Segunda Guerra Mundial foi o evento que catalisou as necessidades de orientações mais precisas de manutenção e manutenibilidade. No período do pós-guerra e da Guerra Fria, a partir de dados obtidos no conflito anterior pôde-se observar que menos da metade dos aviões bombardeiros estavam prontos para entrar em combate a qualquer momento. Isso motivou o desenvolvimento de diversos manuais para a orientação do parâmetro de manutenibilidade.

O manual MIL-HDBK-470A (1997) aponta que à época da publicação do manual, havia trinta anos que se considerava a manutenibilidade como fator chave no desenvolvimento de produtos com aplicações militares, mas que havia menos de dez anos que medidas realmente eficientes passaram a ser empregadas correntemente.

Antes de se explicar a oportunidade identificada deve-se diferenciar manutenção de manutenibilidade. A manutenção é o ato de reparar ou de se realizar serviços de manutenção (conservação do produto em seu estado de uso para o qual foi projetado). A manutenibilidade é um parâmetro de projeto que busca reduzir o tempo de reparo.

As equipes de projeto hoje encontram problemas para a avaliação de manutenibilidade devido às dificuldades e falhas que encontram nos meios atuais de execução dos estudos e análises.

Atualmente, a partir do estudo das referências, pode-se observar que as métricas de avaliação do parâmetro de manutenibilidade são:

- a) dependentes de resultados anteriores (conhecimento obtido com produtos similares);
- b) restritas a tópicos específicos;
- c) de difícil compreensão ou dependentes da interpretação dos projetistas.

A dependência de resultados anteriores se mostra um mecanismo que mantém o produto preso a concepções que com o tempo podem, por conta da exigência de manutenibilidade, não sejam capazes de atender com precisão novos requisitos dos clientes. Essa forma é custosa para implementação, pois é a mais dependente dos conhecimentos anteriores dos projetistas envolvidos no projeto.

O uso de experiências anteriores é debilitado de acordo com Moscheto (2009) por: i) informações de acesso limitado devido a fatores de confidencialidade; ii) problemas de relacionamento entre as diferentes equipes envolvidas no projeto, pois a interface da entidade responsável pelo projeto e os clientes dos projetos anteriores não é a equipe que está desenvolvendo o projeto, mas sim a equipe de vendas e de qualidade.

Quanto à especificidade dos tópicos, nos últimos anos, vários pesquisadores propõem mecanismos para a avaliação do parâmetro de manutenibilidade em pontos específicos, isto é, avaliam e sinalizam/propõem meios de melhora de manutenibilidade apenas nesses pontos, como por exemplo, o posicionamento de componentes ou dispositivos de auxílio a manutenção. Devido às especificidades, as métricas apresentadas são pouco capazes de atender as necessidades de diferentes equipes de projeto, bem como, ainda as mantém dependentes do

conhecimento prévio do assunto através de conjuntos de boas práticas.

Muitas das métricas de manutenibilidade hoje disponíveis, apresentadas por autores como Moss (1996), Cunningham e Cox (1972) os manuais do exército americano MIL-470A (1997), MIL-STD-472(1966) não são de fácil compreensão por parte dos projetistas, usualmente por serem dependentes do conhecimento prévio do assunto pela equipe, ou por não serem de fácil compreensão devido às brechas que contém. Isso pode ser exemplificado através da diferenciação de montagem e submontagem, peça e componente. Tanto Moss (1996) quanto o manual MIL-STD-472 (1966) oferecem definições para uma submontagem. O primeiro aponta que estas são montagens ou componentes subordinados que constituem uma montagem. O segundo, por sua vez, aponta que são dois ou mais componentes que formam uma parte em uma montagem e podem ser substituídas como um conjunto, mas tendo peças que podem ser substituídas independentemente.

Uma explicação possível para este caso é que: montagens podem ser classificadas segundo o princípio matemático de conjunto, onde cada conjunto é subconjunto de si mesmo. Entretanto, a diferenciação entre componente peça e submontagem é mais delicada, pois um componente pode ser composto de várias peças e/ou uma peça pode ser um componente por si só.

O ponto mais crítico do desenvolvimento do conjunto de diretrizes é a redução da influência que o projetista exerce na qualidade da análise de manutenibilidade que está sendo executada, o que afeta a sua posterior qualidade. A revisão da bibliografia demonstra estas dificuldades. Dentre os trabalhos consultados, poucos orientam os projetistas para a obtenção de um bom resultado de manutenibilidade. Deve-se apontar o trabalho de Moscheto (2009) como um dos que melhor orienta os projetistas, entretanto este trabalho necessita que a equipe de projeto faça uso e esteja familiarizada com o software CAD PTC Pro/ENGINEER em sua versão 4.0.

## **1.2 Oportunidade**

A oportunidade de desenvolvimento do presente trabalho surge da dificuldade com que as equipes de projeto são confrontadas com o desenvolvimento de produtos sob a ótica de manutenibilidade.

O interesse de se realizar as avaliações do parâmetro de manutenibilidade durante as etapas iniciais do projeto é consequência dos benefícios que o estudo

conduzido nestas fases traz ao produto. Conforme aponta Moscheto (2009), o custo de se introduzir o conceito de manutenibilidade durante as etapas iniciais do projeto de produto é inferior do que o custo de correções e readequações do projeto para atender os requisitos de manutenibilidade.

Devido às dificuldades encontradas pelos projetistas o parâmetro é mal endereçado ou, no pior dos casos é negligenciado em favor de outros tópicos de projeto, o que é citado pelo manual MIL-HDBK-470A (1997). O manual aponta que este parâmetro de projeto é difícil de ser atingido em consequência de: i) complexidade dos produtos ii) outros objetivos de projeto; iii) uso de tecnologias “imaturas”; iv) questões de custos. Quando o estado de negligência é atingido, o produto terá sua manutenibilidade prejudicada, o que pode fazer o cliente desistir da compra, ou induzir a equipe de projetos trocar a facilidade de manutenção por maior confiabilidade do produto.

A manutenibilidade é também um critério de diferenciação dos produtos, ponto também indicado pelo manual MIL-HDBK-470A (1997) por permitir que os produtos tenham custos de operação mais acessíveis. Produtos que tenham preços de venda muito elevados dificilmente encontram o sucesso no mercado. Entretanto se o custo de manter o dado produto operando for demasiado alto, o produto em questão também não será um sucesso de mercado.

Pode-se ainda apontar como oportunidade a possibilidade de uma boa manutenibilidade permitir que menos oportunidades sejam perdidas por produtos que estão indisponíveis, como descrito pelo manual MIL-HDBK-470A. Um exemplo prático é expresso pela seguinte situação: uma companhia aérea não pode cumprir um voo devido à necessidade de manutenção no avião que estava escalado para o dado voo. A companhia aérea em questão se vê obrigada então a arcar com o voo atrasado, oferecendo hospedagem aos passageiros ou realocando-os em voos de outras companhias. Para a companhia aérea, a perda causada por este evento não pode ser recuperada, e clientes são potencialmente perdidos.

Já no campo do cliente, a uma boa alocação de manutenibilidade é vista por estes como um elemento capaz de interferir na qualidade do produto. O manual MIL-HDBK-470A usa o exemplo da indústria automobilística. Nessa indústria, os clientes normalmente não executam manutenções com a periodicidade ou o nível/rigor

pretendido pelo fabricante. Não obstante, os automobilistas gostam de carros que sejam fáceis de serem reparados e que, quando venham a ter algum tipo de problema, este seja de fácil solução.

### **1.3 Objetivos**

Como objetivo, busca-se desenvolver um conjunto de diretrizes e um método para aplicá-las que permitam à equipe de projeto, trabalhar adequadamente o parâmetro de manutenibilidade desde as etapas iniciais do desenvolvimento do produto. Esta decisão repousa no fato que, orientar o parâmetro ainda nestas fases incorre em menores custos de projeto.

Essas diretrizes a serem propostas devem ser as mais genéricas possíveis, para que encontrem aplicação nas mais diversas áreas de trabalho e, também a mais independente possível dos conhecimentos prévios do projetista. Pretende-se também que as análises conduzidas com esta ferramenta sejam praticamente independente de dados de campo ou de experiências anteriores, o que abre espaço para maior inovação dentro do desenvolvimento de sistemas mecânicos.

### **1.4 Justificativa**

O contexto atual de métricas de manutenibilidade está, segundo Moscheto (2009), ligado a medidas corretivas deste parâmetro, o que leva a aumentos dos custos de projetos e redução da futura competitividade do produto no mercado. Assim, este trabalho se justifica através das reduções dos custos de desenvolvimento de produtos, pois menos correções de concepção serão necessárias. Como consequência, os produtos terão vidas operacionais mais baratas, e com clientes mais satisfeitos. Com este desenvolvimento, avaliar a capacidade de um dado produto ser facilmente mantido será aprimorado.

Ainda, pode-se justificar esta pesquisa pelo desenvolvimento de uma metodologia mais prática do que aquela encontrada nas literaturas do assunto previamente citadas, as quais são muitas vezes antigas como o manual MIL-STD-472 (1966), restritas à áreas específicas como o manual DOD-HDBK-791 (1988) (aplicações militares e de armamentos), ou que se apresentam em formas que sua aplicação deixa espaço para dúvidas como o manual MIL-HDBK-470A ou os trabalhos de, por exemplo: Blanchard *et. al.* (1995 e 1998) e Dhillon (1999) entre outros.

Dhillon (1999) aponta o exemplo da aplicação do parâmetro de manutenibilidade pela McDonnell Douglas. Através de diferentes técnicas de projeto, este fabricante de aeronaves conseguiu reduzir o número de itens a serem mantidos de 339 no McDonnell Douglas DC-8 para sete no McDonnell Douglas DC-10. No DC-10 a item mais afetado foi o sistema de propulsão, que sem as intervenções regulares conseguiu reduzir em mais de 50% o inventário de estoque de componentes de reposição necessário.

A manutenibilidade também desenvolve relações com os conceitos básicos da economia circular. Esta se opõe a economia linear, onde a produção dos produtos é feita a partir da exploração de matérias-primas e não há cuidados com o descarte do produto. Dentro da economia circular, de acordo com a Fundação Ellen MacArthur (2013), cabe aos fabricantes controlar o descarte dos produtos no fim de suas vidas. Isso reduz a dependência de matérias-primas através de produtos dado que estes passam a ser reaproveitados nos novos produtos.

Além da recuperação de matérias-primas, de acordo com Renault (2014), existe a possibilidade de se preservar os produtos em estado de uso por mais tempo, alongando assim o ciclo de vida do produto, e com menores valores monetários menores, aplicando os conceitos de economia circular. Existe a possibilidade de se fornecer componentes de manutenção aos clientes dos produtos a preços menores através do emprego de componentes remanufaturados ou reaproveitados.

### **1.5 Descrição da abordagem metodológica**

O presente trabalho foi desenvolvido seguindo um total de oito etapas:

- 1) Revisão bibliográfica: revisão e estudo dos tópicos de desenvolvimento de produto e metodologias para o desenvolvimento de produtos. Este ponto contemplou também a revisão dos conceitos de manutenibilidade e o levantamento do estado da arte das orientações de manutenibilidade;
- 2) Seleção do sistema mecânico para estudo dos parâmetros de manutenibilidade: esta etapa se concentrou na seleção e consequente análise de um sistema mecânico convencional. O objetivo foi observar a forma como o produto foi concebido e, em seguida comparar os resultados dessa análise com o que a literatura aponta como apropriado no desenvolvimento de produtos com orientação a manutenibilidade;

- 3) Modelagem do sistema mecânico em sistema CAD: esta etapa serviu para analisar o modo como o produto foi construído além de permitir posteriores modificações no desenvolvimento do produto;
- 4) Análise crítica das soluções: a intenção desta parte do desenvolvimento do presente trabalho é avaliar como o produto foi concebido, buscando meios que possam justificar as decisões de projeto encontradas no produto;
- 5) Proposição do conjunto de diretrizes: a partir do estudo de caso e do levantamento bibliográfico, o conjunto de diretrizes pôde então ser proposto. Seu desenvolvimento conduziu ao conjunto de diretrizes e a uma ferramenta para auxílio de sua aplicação. Esta etapa é posterior a análise crítica por esta ser fonte de dados que foram importantes e úteis na concepção do conjunto de diretrizes.
- 6) Validação reversa do conjunto de diretrizes: nesta etapa, o conjunto de diretrizes foi avaliado a fim de se determinar sua capacidade de avaliação de parâmetros de manutenibilidade do produto.
- 7) Análise dos resultados: consiste na discussão dos resultados obtidos através do emprego do conjunto de diretrizes proposto e os resultados anteriores a fim de determinar o comportamento do conjunto de diretrizes proposto.
- 8) Redação do trabalho final: estruturação do texto contendo os métodos de desenvolvimento e os resultados obtidos durante o desenvolvimento do trabalho.

## **1.6 Estrutura do trabalho**

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos, sendo um de referências bibliográficas, um apêndice e um anexo.

O primeiro capítulo serve a introduzir o contexto de manutenibilidade e a oportunidade que conduziu ao desenvolvimento do presente trabalho. O segundo é uma revisão da bibliografia relativa ao assunto, cobrindo tópicos de desenvolvimento de produtos e princípios de manutenibilidade. O capítulo 3 é constituído pelas análises do sistema mecânico selecionado. No capítulo 4 encontra-se o desenvolvimento do conjunto de diretrizes e da ferramenta de manutenibilidade, sua validação e análise dos resultados. O capítulo cinco aponta as conclusões obtidas

durante o desenvolvimento do presente trabalho. O capítulo 6 contém as referências bibliográficas.

O apêndice apresenta tabelas que organizam o conjunto de diretrizes proposto. O anexo traz os textos das bases principais do desenvolvimento do conjunto de diretrizes.

## 2 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS E MANUTENIBILIDADE: RELAÇÕES E INTERFACES

Este capítulo tem o propósito de fornecer aos leitores menos familiarizados com o desenvolvimento de produto noções do assunto e para os já familiarizados permitir uma breve revisão do tópico. Em seguida este capítulo introduz aos leitores o conceito de manutenibilidade tal como pode ser conhecido através do estudo da literatura.

### 2.1 Processo de Desenvolvimento de Produtos

O Processo de Desenvolvimento de Produto (por muitas vezes chamado simplesmente de PDP) é o método pelo qual se orienta o desenvolvimento de um produto. Segundo Pahl *et al* (2007), um dos principais trabalhos apresentados sobre o tema, este processo ocorre nas seguintes etapas:

- a) planejamento da tarefa e clarificação das especificações;
- b) projeto conceitual;
- c) projeto preliminar;
- d) projeto detalhado.

Durante a etapa de planejamento da tarefa e clarificações das especificações, o produto ainda pode ser descrito como um conceito fornecido pelo departamento de marketing ou vendas para a equipe de engenharia. No espaço desta fase que se pode clarificar as necessidades dos clientes, coletar informações a respeito de outros produtos, e já se conhece os limites técnicos que darão as fronteiras de possibilidades de desenvolvimento do produto final. O resultado desta fase é de acordo com os autores, uma lista de requisitos, a qual servirá de base para etapa seguinte. A lista de requisitos é obtida através da aplicação da ferramenta conhecida como *Quality Function Deployment* – QFD, cujo ponto principal é conhecido como casa da qualidade onde, sistematicamente, se transforma as necessidades dos clientes em requisitos técnicos (a fim de se preservar a brevidade deste trabalho, bem como a apresentação dessa ferramenta não constituir o escopo central de trabalho, recomenda-se ao leitor que em caso de desejar ter mais esclarecimentos a respeito do QFD recomenda-se a leitura dos trabalhos de Pahl *et.al.*, Rozenfeld *et al.* (2006), os quais se encontram listados nas referências do

presente trabalho).

Uma vez já formalizada a lista de requisitos que o produto deve cumprir, inicia-se a fase do projeto conceitual. É nela em que se determinam os princípios da solução para a oportunidade do projeto. É importante ressaltar que, no início desta fase se pode aceitar as mais diferentes formas de solução possível para o produto sendo que o desenvolvimento das tarefas relacionadas à esta fase conduzirão a um conjunto de propostas que são possíveis de serem construídas. Assim, esta fase retorna à equipe de projetos a estrutura do produto de forma conceitual. Isto é, a equipe de projetos conhece os meios que serão usados para a construção do produto. Entretanto, ainda não existem especificações exatas para cada elemento do produto. O que existe por sua vez são diferentes propostas para a construção do produto.

Uma vez um conjunto de propostas de desenvolvimento conceitual do produto já feitas, pode-se prosseguir para a definição do projeto preliminar. Nesta etapa do PDP, os diferentes conceitos da etapa anterior são transformados, segundo Pahl *et al.* (2007), em um leiaute, isto é, o produto já possui especificações claras de formas e funções. A definição deste leiaute ocorre a partir dos estudos de viabilidade técnica e econômica do produto. Vale ressaltar que, durante a fase de definição do leiaute final do produto, os conceitos formulados na etapa anterior não necessitam permanecer fixos (i.e. pode-se usar partes de cada conceito para a definição da forma final do produto). Esta fase é menos sistemática que as etapas anteriores pelos seguintes fatores: i) é nela que se executa correções no projeto; ii) várias tarefas são conduzidas em paralelo, e cada uma delas sofre efeitos diretos de cada alteração em cada frente de desenvolvimento. Deve-se salientar que ao fim desta etapa, o produto tem apenas seu leiaute, isto é, o produto está funcionalmente descrito, mas ainda necessita de definições que concernem suas especificações de desempenho e de procedimentos e materiais para a fabricação.

A última etapa do processo de desenvolvimento de produto é o detalhamento de projeto. Nesta etapa, o produto ganha seus parâmetros de desempenho e seus parâmetros produtivos os quais passam a integrar a documentação do produto. Caso alguma falha de concepção exista no produto esta é a última chance de corrigi-la, uma vez que quando terminada, pode-se considerar

o produto como estável para a produção.

## **2.2 Manutenibilidade**

A manutenibilidade é, segundo Dhillon (1999), à medida que se refere aos mecanismos usados durante o desenvolvimento, projeto e instalação de um produto manufaturado que possa reduzir a necessidade de manutenção, horas de trabalho, ferramentas, custo de logística, nível requerido e instalações ao mesmo tempo que permita ao produto atenda aos requisitos para seu uso pretendido. Moss (1996) complementa que o desenvolvimento da manutenibilidade é conjunta ao desenvolvimento da confiabilidade.

Stapelberg (2009) cita o manual MIL-HDBK-470A (1997) que descreve a manutenibilidade como a relativa facilidade e economia de tempo e recursos com a qual um item pode ser mantido em certa condição quando se realiza uma intervenção de manutenção com o emprego de pessoal treinado, seguindo procedimentos especificados, o que a torna uma função de projeto. O autor aponta que o fator chave de medida é o tempo de inatividade, isto é o tempo para recuperar-se um sistema ao seu estado original de funcionamento, o que corresponde à tarefas de manutenção. A medida do tempo de inatividade pode ser determinada tanto pelo estudo de sistemas similares, ou pela análise estatística do comportamento do produto, como aponta Dhillon (2008)

Deve-se antes de se entrar no tópico de literatura de manutenibilidade, discutir a equivalência dos termos manutenibilidade e mantenabilidade. Os dois termos são encontrados e usados por diferentes autores, podendo ser usados como sinônimos um do outro. A razão dessa divergência nos termos é o modo como se traduz o termo da língua inglesa *maintainability*. Na redação do presente trabalho, prefere-se o uso do termo manutenibilidade, pois é de acordo com o Dicionário *online* Priberam da Língua Portuguesa, o termo que significa qualidade do que é manutenível. As ocorrências do termo mantenabilidade devem, portanto, serem tratadas como sinônimo.

### **2.2.1 Conceito de manutenibilidade na literatura.**

O artigo de Calabro e Sgouros (1967) e o livro de Cunningham e Cox (1972) aponta os manuais do exército americano MIL-STD-470 (1966); MIL-STD-471

(1971); MIL-STD-472 (1966) como ricas fontes de instruções para equipe de projeto trabalhar com o parâmetro de manutenibilidade. Estes manuais permitem analisar a manutenibilidade dentro de um escopo prático através da aplicação de diferentes meios qualitativos (como listas de verificação e revisões do projeto), bem como com a aplicação de diferentes métricas as quais permitem quantificar o quão o projeto é manutenível. Recomenda-se cautela na utilização destes manuais, principalmente a MIL-STD-472 (1966), pois mesmo que esta seja uma excelente referência para orientar a manutenibilidade, ela é anterior as proposições de metodologia de projetos utilizadas atualmente.

O documento MIL-HDBK-470A (1997) é o responsável por conduzir a equipe de projeto através das análises quantitativas de manutenibilidade, ela introduz os conceitos básicos de avaliação como o tempo médio entre falhas (Mean Time Between Failures – MTBF) e o tempo médio para reparo (Mean Time to Repair – MTTR). Esses dois conceitos são considerados pela bibliografia fundamentais e servem de base para a análise preliminar de manutenção.

O manual MIL-HDBK-470A (1997) traz ainda os conceitos de manutenibilidade de projeto e manutenibilidade operacional. O primeiro conceito caracteriza-se por: i) ser usado para definir, medir e avaliar os fornecedores de soluções; ii) ser derivado de necessidades operacionais; iii) selecionados a partir da necessidade de se atingir determinados objetivos de manutenibilidade operacional; iv) ser expresso em parâmetros de projeto; v) incluir apenas fatores de projeto; vi) ser caracterizado pelo MTTR e a disponibilidade inerente. O segundo conceito é definido por: i) descrever o desempenho em um ambiente específico; ii) não ser adequado para requisitos contratuais; iii) descrever o nível de desempenho de manutenibilidade em uso real; iv) ser expresso em valores operacionais; v) ser combinado com efeitos de: qualidade do produto, instalação, meio-ambiente, política de manutenção e reparos entre outros; vi) ser caracterizado pelo tempo médio de inatividade e a disponibilidade operacional.

O MTBF pode ser entendido como a frequência em que as falhas ocorrem durante o ciclo de vida do produto, onde cada pontuação determinada por uma falha pode ser entendida como um prazo médio que o produto se permite operar sem haver a preocupação de uma falha ocorrer. É calculado através da equação 2.1:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad \text{Eq. 2.1}$$

Nessa equação  $\lambda$  representa a taxa de falhas, que é calculada pela equação 2.2:

$$\lambda = \frac{\text{n}^\circ \text{ de falhas}}{\text{n}^\circ \text{ total de horas de operação}} \quad \text{Eq. 2.2}$$

O MTTR é largamente usado para a medida de manutenibilidade pois sua medida é de fácil quantificação. Ele representa o tempo necessário para a execução de uma dada tarefa de manutenção. Deve-se notar que ele se refere à execução de um ciclo padrão de manutenção corretiva composto por: detecção da falha, isolamento da falha, desmontagem para acesso, reparo e remontagem. Pode ser calculado pela equação 2.3:

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_i * T_i}{\sum_{i=1}^m \lambda_i} \quad \text{Eq. 2.3}$$

Na equação 2.3,  $T_i$  representa o tempo de reparo de cada componente do sistema enquanto  $\lambda_i$  é a taxa de falhas de cada componente.

A combinação do estudo do tempo médio entre as falhas e o tempo médio para reparar é conhecida como disponibilidade. O uso da disponibilidade permite unir em uma única equação os resultados relativos aos tempos em que o produto está apto a realizar suas tarefas como fora projetado, e os resultados relativos aos tempos em que o produto está sujeito a intervenções de manutenção. A disponibilidade é calculada da forma seguinte:

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Atividade}}{\text{Atividade} + \text{Inatividade}} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad \text{Eq. 2.4}$$

Se multiplicada por 100%, a equação 2.4 passa a ser chamada como disponibilidade inerente. A qual traduz a percentagem de tempo que o produto está disponível.

O manual DOD-HDBK-791 (1988) aponta além das equações e parâmetros apresentados, outros índices aceitos de manutenibilidade: O tempo máximo de reparos, tempo médio de manutenção, o tempo de reparo de equipamento, tempo médio geométrico de reparo, horas de mão de obra de manutenção, taxa de

reparos, taxa de manutenção, probabilidade e detecção de falha, proporção de falhas isoláveis, capacidade de isolamento de falhas, porcentagem de falsos alarmes e porcentagem de falsas remoções. O manual não traz em seu conteúdo, as fórmulas e meios para calculá-los, indicando apenas as bibliografias (outros guias e manuais militares). O manual instrui que esses fatores consideram apenas os efeitos do projeto e aplicação do produto bem como assume que o produto está sendo operado em condições ideais de operação e suporte. Esses resultados, por sua vez, permitem que a manutenibilidade seja orientada de forma específica para o sistema em projeto. Ressalta-se que os valores aqui calculados sejam de natureza operacional e não inerente aos produtos, a fim de se permitir comparações.

Além do uso das métricas do MTBF e do MTTR, Dhillon (1999) recomenda como ferramenta de manutenibilidade o desenvolvimento da análise qualitativa conhecida como *Failure Mode and Effects Analysis* – FMEA (Análise dos Efeitos e Modos de Falha). Ela permite estruturar os modos potenciais de falhas dos produtos e projetos. Ela foi proposta no início dos anos 1950, e revista e ampliada nos anos 1970 com o nome de *Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis* – FMECA. O mesmo autor aponta que esta pode ser orientada de três modos: projeto, processo e nível de sistemas.

O objetivo do estudo da FMECA começa pela análise de nível. Aqui todo o produto é analisado e determina-se quais são as possíveis causas de falhas que ele pode apresentar. Durante a fase de projeto, serve a detectar possíveis defeitos no projeto que possam conduzir a falhas (produto fora de operação) para que estas possam ser corrigidas. As falhas apontadas aqui podem ser tanto decorrência de erros de concepção do produto quanto propostas inadequadas de componentes.

Na FMECA, a orientação da criticidade pode ser feita, segundo Dhillon (1999) através de: método de número de prioridade de risco esta técnica é comumente usada na indústria automobilística e trabalha a partir de: i) probabilidade de ocorrência, ii) severidade dos efeitos da falha e iii) probabilidade de detecção da falha. O método padrão militar é usado pela indústria aeroespacial, nuclear e de defesa, usando, por sua vez, de meios qualitativos e quantitativos para determinar o quão crítica é uma falha. Os meios qualitativos são usados quando não há dados disponíveis a respeito das falhas.

Na fase de processo, estrutura-se como o procedimento de fabricação pode interferir na vida do produto final, isto é, como cada decisão produtiva interfere no produto. Isso pode ser exemplificado através de processos produtivos que usem o trabalho a quente (processos de fabricação que ocorrem acima da temperatura de recristalização do material) possuem menor resistência e maior ductilidade, além de pior acabamento superficial (o que interfere na determinação dos ciclos de vida em fadiga), quando comparado com materiais trabalhados a frio (processos que são conduzidos à uma temperatura inferior àquela de recristalização), de acordo com Callister (2008).

Os estudos de FMECA são baseados, de acordo com Dhillon (1999) nos passos seguintes: i) entendimento dos componentes do sistema, operação e missão; ii) identificação de uma hierarquia de análises; iii) definição de como cada componente deve ser analisado (qual é a classe do componente que estou analisando, isto é ele é? Um componente? um subsistema?, um módulo?); iv) estabelecendo limites e hipóteses de operações; v) identificação das falhas; vi) determinação do efeito que a falha de cada item exerce no sistema e o estudo do efeito da falha de um grupo de componentes; vii) identificação de métodos de reconhecimento de falhas; viii) determinação de meios para prevenir as falhas ou reduzir seus efeitos.

Dhillon (1999) ressalta que a FMECA deve respeitar: os requisitos de projeto como confiabilidade, manutenibilidade, manufacturabilidade, testabilidade, qualidade, regulamentos dos clientes e internos; e de segurança, entre outros. Para a execução da FMECA se faz necessários: desenhos das peças e componentes, diagramas funcionais, descrições de projeto, especificações de operação, esquemas de sistemas entre outros. Informações relativas à FMECA podem ser obtidas a partir de algumas das seguintes fontes: identificação de especificações e nomenclaturas a partir da lista de componentes, requisitos dos clientes, modo ou missão operacional e meios de detecção de falhas.

Os anexos presentes no manual MIL-HDBK-470A (1997) por sua vez apresentam meios para avaliação da manutenibilidade (a ser tratada com maior profundidade no manual MIL-STD-471 e MIL-HDBK-471) e uma curta revisão do tópico V do MIL-HDBK-472 (1984), ambos os documentos tem recomendação para

serem consultados em sua totalidade a fim de se obter informações mais precisas.

O documento MIL-STD-471 (1971) é por sua vez uma série de orientações que permitem tanto ao cliente quanto a equipe de projetos avaliar o parâmetro de manutenibilidade de forma sistemática. A necessidade de sistematização da avaliação pode ser explicada pela origem militar desses documentos, o que permite que a comparação dos resultados obtidos por diferentes programas de manutenibilidade sejam avaliadas nos mesmos termos.

Até o presente momento, os dois manuais permitem à equipe de projeto desenvolver diferentes medidas de manutenibilidade. Entretanto, se confrontadas com a situação onde uma vez o programa de manutenibilidade exigir melhorias, a equipe de projeto se encontra sem subsídios ou meios para poder reverter a situação em que se encontram. Nessa situação a equipe de projeto deve fazer referência a MIL-HDBK-472 (1984). Esse manual apresenta recursos para que a equipe de projeto possa melhorar seu projeto através de várias listas de verificações. Seu uso pode ser feito tanto de forma reativa, isto é, de forma a corrigir a concepção do produto bem como de maneira a fornecer limites de manutenibilidade à equipe de projetos.

### **2.2.2 Literaturas de manutenibilidade**

Sob a influência desses trabalhos, diversos pesquisadores tornaram a manutenibilidade um parâmetro de projeto. Os principais autores são: Ebeling (1997); Blanchard e Fabrycky (1998); Blanchard, Verma e Perterson (1995); Dhillon (1999). Esses autores em seus trabalhos apresentam as métricas dos manuais MIL, mas, de forma já integrada ao processo de desenvolvimento de produto, dentro do conceito conhecido como *Design for X – DFX*. Dentre esses trabalhos os de Dhillon (1999) e de Stapelberg (2009) se destacam por ir além das métricas já mostradas pelos manuais militares ao apresentar recomendações de meios para a melhora do parâmetro de manutenibilidade.

Dentro da visão de manutenibilidade como disciplina de projeto, deve-se atentar ao fato que nestas obras, o parâmetro é orientado como um requisito de cliente, sendo concorrente a outros tipos de orientações específicas de projeto, como o projeto para manufatura, projeto para confiabilidade, projeto para qualidade

entre outros.

Outro possível mecanismo de análise da manutenibilidade ocorre por meio de requisitos de qualidade. Moss (1996) propõe a manutenibilidade como uma forma de aprimorar a qualidade de um dado projeto, produto ou processo. Neste trabalho, a orientação é feita do mesmo modo que uma disciplina de projeto.

É de consenso na literatura que o momento mais adequado para a alocação do parâmetro de manutenibilidade é durante a transição do projeto conceitual para o projeto preliminar. Este momento é oportuno em decorrência do produto já ter sua estrutura funcional proposta e a estruturação funcional do produto começa a ser proposta, permitindo que a manutenibilidade atue como meio que permita aos projetistas decidir quais são as melhores propostas conceituais do produto e que os elementos de leiaute mais adequados sejam empregados no projeto.

### **2.2.3 Interações de manutenibilidade**

Sendo a manutenibilidade uma das várias disciplinas de projeto, pode-se estudar então as relações que ela desenvolve com as outras disciplinas de projeto.

A partir da leitura de Otto (2001), Bralla (1998), Dhillon (1999) e Stapelberg (2007), pôde-se apontar que a manutenibilidade e a manufaturabilidade possuem pontos em comum quanto à orientação do uso de elementos de fixação e meios de posicionamento de componentes. A equipe de projetos pode então se aproveitar das semelhanças entre a manufatura e a manutenibilidade para permitir que o produto tenha as duas vantagens. Entretanto, os dois meios de orientação são divergentes no que concerne às uniões soldadas, pois estas são permitidas (e muitas vezes preferidas) pela manufatura, enquanto a manutenibilidade indica que soldas devem ser evitadas ao máximo quando se busca alta manutenibilidade dos produtos. Moschetto (2009) propõe mecanismos que permitem aos projetistas (desde que usem o pacote CAD/CAE PTC Pro/ENGINEER) examinar a fixação dos componentes.

O principal relacionamento da manutenibilidade é com a confiabilidade, pois são consideradas frequentemente como disciplinas complementares. Stapelberg (2007) define a confiabilidade como a frequência com a qual as falhas ocorrem dentro de um dado período de tempo. A análise é baseada nas interferências das

falhas do equipamento, de acordo com suas distribuições estatísticas de falhas. Deve-se ressaltar que o conceito de confiabilidade não comporta intervenções de manutenção, pois prevê, de acordo com Moss (1996) que o sistema será capaz de se manter capaz de desempenhar suas funções básicas sem sofrer interferência de condições de operação desfavoráveis.

Pode-se entender essa relação da manutenibilidade com a confiabilidade através do estudo da disponibilidade inerente, a qual reflete a porcentagem de tempo que o produto ficaria disponível caso não houvessem paradas para manutenção. A disponibilidade inerente pode ser calculada através da equação 2.5:

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \times 100\% \quad \text{Eq. 2.5}$$

A partir desta equação pode-se desenhar o gráfico da figura 2.1:

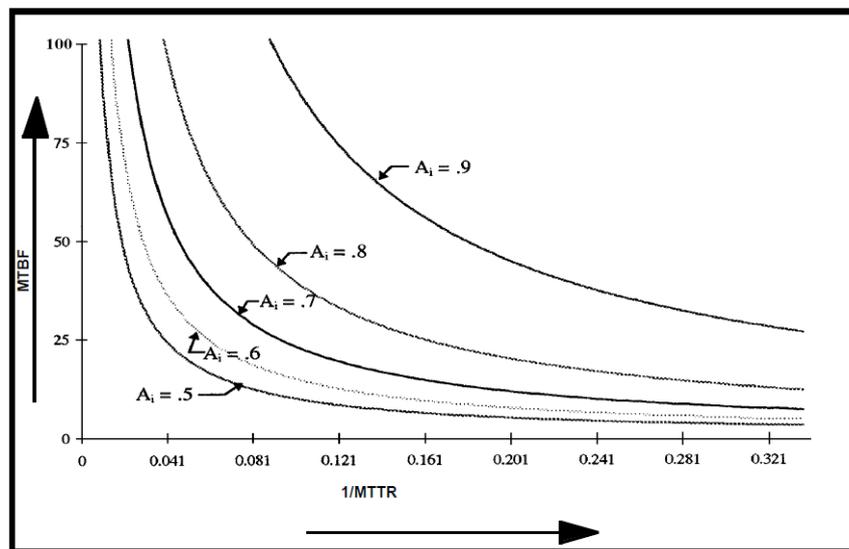


Figura 1 Diferentes combinações de valores de MTTR (1/h) e MTBF (h). Fonte MIL-HDBK-470A (1997)

O estudo deste gráfico demonstra que para se atender a um dado nível de disponibilidade pode ser alcançado com diferentes níveis de confiabilidade (MTBF) de manutenibilidade (MTTR). Quanto menos confiável é o sistema, melhor deve ser a manutenibilidade para se atingir os mesmos níveis de disponibilidade e vice versa. O relacionamento complementar entre as duas disciplinas é importante de ser conhecido dado que isso permite trocas entre os dois requisitos quando existe um dado nível de disponibilidade a ser atendido. Por exemplo, se um dado nível de confiabilidade é muito caro ou tecnicamente difícil de ser atendido, pode-se manter o

nível de disponibilidade através da melhor manutenibilidade do produto.

#### **2.2.4 Orientações avançadas de manutenibilidade.**

Acompanhando as inovações da alocação do parâmetro de manutenibilidade, houve desenvolvimentos nos pacotes de softwares que assistem aos projetistas durante o desenvolvimento de novos produtos. As orientações avançadas dizem respeito à análises que podem ser feitas diretamente em modelos CAD. As análises possíveis de serem conduzidas são: acessibilidade apontada por Moschetto (2009) e o manual DOD-HDBK-791 (1988), fatores humanos descritos por Blanchard *et.al.* (1995) e o DOD-HDBK-791 (1988), requisição de espaço, apresentados por Moschetto (2009), projeto modularizado indicado pelos manuais DOD-HDBK-791 e MIL-HDBK-470A entre outros.

As análises de acessibilidade permitem aos projetistas estudar como a disposição dos componentes pode interferir na qualidade da manutenibilidade, examinando fatores como: número de parafusos no sistema, quantidade de “camadas” de componentes que cobrem um dado componente em análise. Essas análises são complementadas com o desenvolvimento de verificações de caminhos possíveis para a desmontagem dos componentes.

Os fatores humanos que podem ser analisados são os relativos aos limites das articulações humanas e dos tamanhos da anatomia de pessoas. Junto a isso as análises dos fatores humanos consideram também as capacidades ergonômicas (posições de componentes, pesos e capacidade de levantamento de pesos dos componentes, visibilidade) do produto.

O requerimento de espaço é, por sua vez, a previsão de quanto espaço se faz necessário ao interior de uma montagem para que ferramentas possam ser usadas com facilidade pelos operadores. Além das previsões ligadas ao uso de ferramentas, o requerimento de espaços pode ser usado para permitir a saída de componentes com maior facilidade, o que é de grande proveito quando endereçado em conjunto com a acessibilidade dos componentes.

#### **2.3 Diretrizes de manutenibilidade.**

Em seu apêndice C, o manual MIL-HDBK-470A (1997) apresenta uma série de diretrizes de manutenibilidade, desenvolvidas a partir dos conhecimentos

acumulados pela McDonnell-Douglas em seus anos como fornecedora de aviões e helicópteros para as forças armadas americanas (ex.: F-15 Eagle, avião de caça; AH-64 Apache, helicóptero de combate) e para o mercado civil (MD-11; DC-10; série MD-8X e MD-9X).

As diretrizes apontadas neste manual são descritas como meios suplementares os quais permitem a melhora de parâmetros como o MTTR através da “arte” de manutenibilidade. As diretrizes são organizadas em grupos funcionais ligados a diferentes categorias de componentes tais como: elementos de fixação, de potência, conexões entre outras, as quais podem ser consideradas como de aplicabilidade geral, ao mesmo tempo que traz elementos de armamentos e aviônica. São exemplos dessas diretrizes:

- a) deve-se pintar os interiores de compartimentos em branco brilhante a fim de aumentar a reflexividade, visibilidade e capacidade de detecção de vazamentos;
- b) todos os caminhos de cabos e tubos devem ser planejados para que não bloqueiem acessos durante operações de manutenção;
- c) dispositivos de fixação devem ser escolhidos de modo que permitam o uso das mãos ou de ferramentas comuns ao invés do uso de ferramentas muito específicas.

Essas diretrizes tomadas como exemplo mostram que a orientação feita através do manual é variada, mas se restringe a orientações de boas práticas, indicando o que se recomenda e o que não se recomenda para uma boa orientação de manutenibilidade. Pretende-se no desenvolvimento do futuro trabalho usar os conteúdos do manual MIL-HDBK-470A junto às orientações fornecidas pelo manual DOD-HDBK-791, o qual traz diferentes listas de verificações de endereçamento de manutenibilidade.

#### **2.4 Listas de verificação de manutenibilidade – Orientação proposta pelo Manual DOD-HDBK-791**

O manual DOD-HDBK-791 (1988) apresenta técnicas para o projeto de manutenibilidade. Ele aponta os seguintes aspectos que facilitam a manutenibilidade:

- a) Acessibilidade: facilidade de acessar os itens para a manutenção;
- b) Visibilidade: o item é visível durante o trabalho de manutenção?
- c) Testabilidade: capacidade de se isolar com facilidade as falhas;
- d) Complexidade: quantos subsistemas são montados juntos? Quantas peças são usadas no produto? Essas peças são especiais ou “de prateleira”?
- e) Intercambialidade: o item que falhou pode ser trocado por outro semelhante sem necessidade de calibrações ou alterações?
- f) Identificação: facilidade de se identificar os componentes no interior da montagem. Considera-se se as marcações são visíveis durante a operação e durante a manutenção;
- g) Inspeciabilidade: capacidade de se verificar se o item que foi substituído opera adequadamente;
- h) Simplicidade: analisa se o projeto é o mais simples o possível, através do tipo das peças usadas.

Esse manual em seguida propõe métodos que permitem aos projetistas desenvolver meios para:

- a) Simplificação;
- b) Padronização e intercambialidade;
- c) Acessibilidade;
- d) Modularidade;
- e) Identificação;
- f) Testabilidade e técnicas de diagnose;
- g) Manutenção preventiva;
- h) Fatores humanos;
- i) Fatores ambientais.

Para o desenvolvimento do trabalho, os tópicos de acessibilidade, modularidade, intercambialidade e técnicas de diagnose. O objetivo do presente trabalho não é o de desenvolver meios específicos ou novos para a orientação destes tópicos, mas, usar de recursos já apresentados por outros trabalhos para permitir que a ferramenta proposta seja utilizável pelas equipes de projeto.

### 2.4.1 Acessibilidade

A acessibilidade é definida pelo manual DOD-HDBK-791 (1988) como a característica de projeto que trata a facilidade de acesso de uma área para tanto a visualização quanto a realização de uma tarefa de manutenção. É relacionada com a configuração do equipamento, necessidade de uso de equipamentos para o acesso aos dispositivos e fatores de acesso às partes do corpo humano (evitar contorcionismos). O manual MIL-HDBK-759 (1991) aponta este fator como aquele que possui maior influência no projeto para manutenibilidade.

Esta característica é afetada por fatores físicos e ou visuais, tais como:

- a) Posicionamento de componentes: indica-se que os componentes que sofrem mais intervenções de manutenção estejam posicionados de forma a terem o acesso e a visualização mais fácil o possível;
- b) As aberturas devem permitir o acesso aos componentes de modo a permitir que as operações de manutenção sejam executadas.

Por sua vez, essa característica afeta: i) inspecibilidade seja visual ou de toque; ii) testabilidade; iii) ajuste, reparo ou substituição de peças e componentes. Os acessos devem levar em conta: i) localização operacional e relação com o meio em que o produto está; ii) frequência de uso o acesso; iii) tipo das tarefas de manutenção a serem realizadas; iv) tempo necessário para realizar as tarefas de manutenção; v) tipos de ferramentas e acessórios necessários para a manutenção; vi) espaço necessário para a execução da tarefa de manutenção; vii) tipo de vestimenta que o operador deve usar; viii) distancias que o operador deve cumprir; ix) visibilidade da tarefa; x) montagem de elementos que possam estar fora do campo de visão da tarefa; xi) perigos nos acessos; xii) tamanho, forma, peso e capacidade de passagem requeridas.

O manual traz sugestões do tipo “faça, não faça” para a orientação da acessibilidade como os exemplos seguintes:

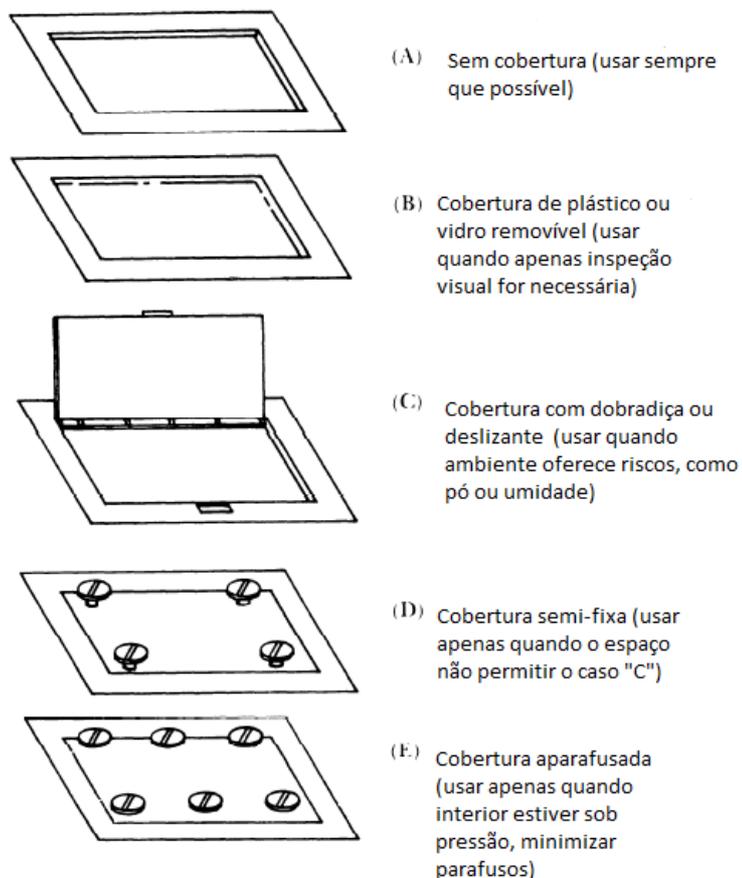


Figura 2 Orientação de acessos: Fonte DOD-HDBK-791 (1988)

Ou ainda o seguinte exemplo a respeito da posição de fundos e das relações com a estrutura do produto:

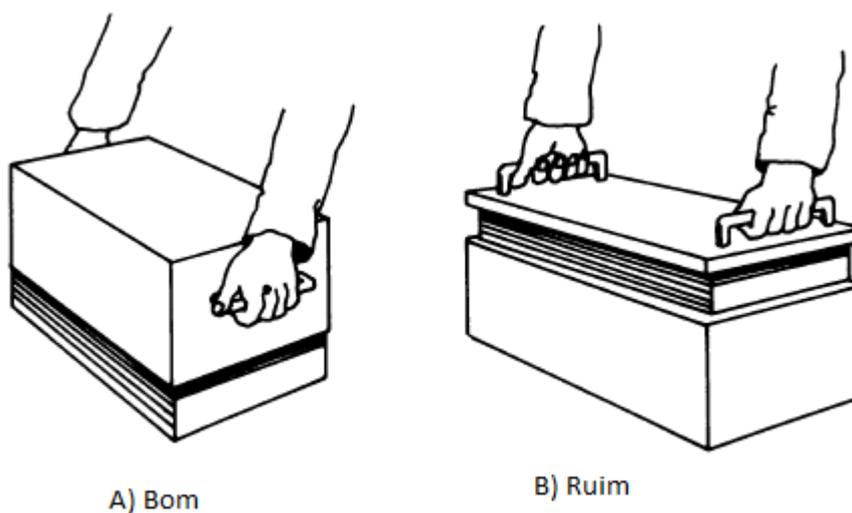


Figura 3 Orientação de fundo. Fonte DOD-HDBK-791 (1988)

Este exemplo instrui aos projetistas que: preferencialmente, a estrutura do produto (ou casco) deve ser a parte com maior facilidade de remoção. Isto evita que conexões entre componentes sejam rompidas, bem como reduz-se o peso a ser levantado pelos operadores de manutenção.

#### **2.4.2 Modularidade**

A modularidade, de acordo com o manual DOD-HDBK-791 (1986), baseia-se no princípio que uma peça, uma submontagem (conjunto de peças), componente, montagem entre outros, possa ser tratado como uma unidade funcional. Esta última pode então ser substituída com facilidade durante a operação de manutenção.

Os módulos devem ser removíveis sem o uso de ferramentas especiais, não devem exigir ajustes adicionais, não devem ser mais caros que a intervenção de manutenção equivalente ao caso de se usar componentes fora dessa estrutura, e devem ter seus períodos operacionais especificados.

O projeto orientado à modularidade traz como vantagens: maior facilidade de manutenção, operações de manutenção mais simples por permitir maior facilidade no isolamento da falha, melhora acessibilidade, reduz tanto o tempo de intervenção quanto a necessidade de mão-de-obra direta necessária no trabalho de manutenção. Os módulos podem também serem intercambiáveis, e padronizados. Entretanto, os módulos podem ser projetados para serem descartados ao fim dos serviços, o que pode causar riscos como: não detecção precisa da causa da falha (sabe-se qual módulo que mais falha, mas não se sabe exatamente o porquê), aumento de custos, redução da confiabilidade. Ainda aponta-se que há a necessidade de módulos sobressalentes sempre disponíveis, confiabilidade do módulo deve ser equivalente à do conjunto de peças que ele substitui, e por fim a confiabilidade dos módulos deve ser suficientemente grande para compensar o aumento de custos.

Aponta-se como exemplos as figuras 4 e 5. Na figura 4 pode-se ver os diferentes módulos que constituem um sistema de propulsão à turbina empregado em um tanque. Já a figura 5 mostra os diferentes módulos encontrados no sistema de designação e aquisição de alvos (Target Acquisition and Designation System – TADS) dos helicópteros Advanced Attack Helicopters – AAH do exército norte-americano.

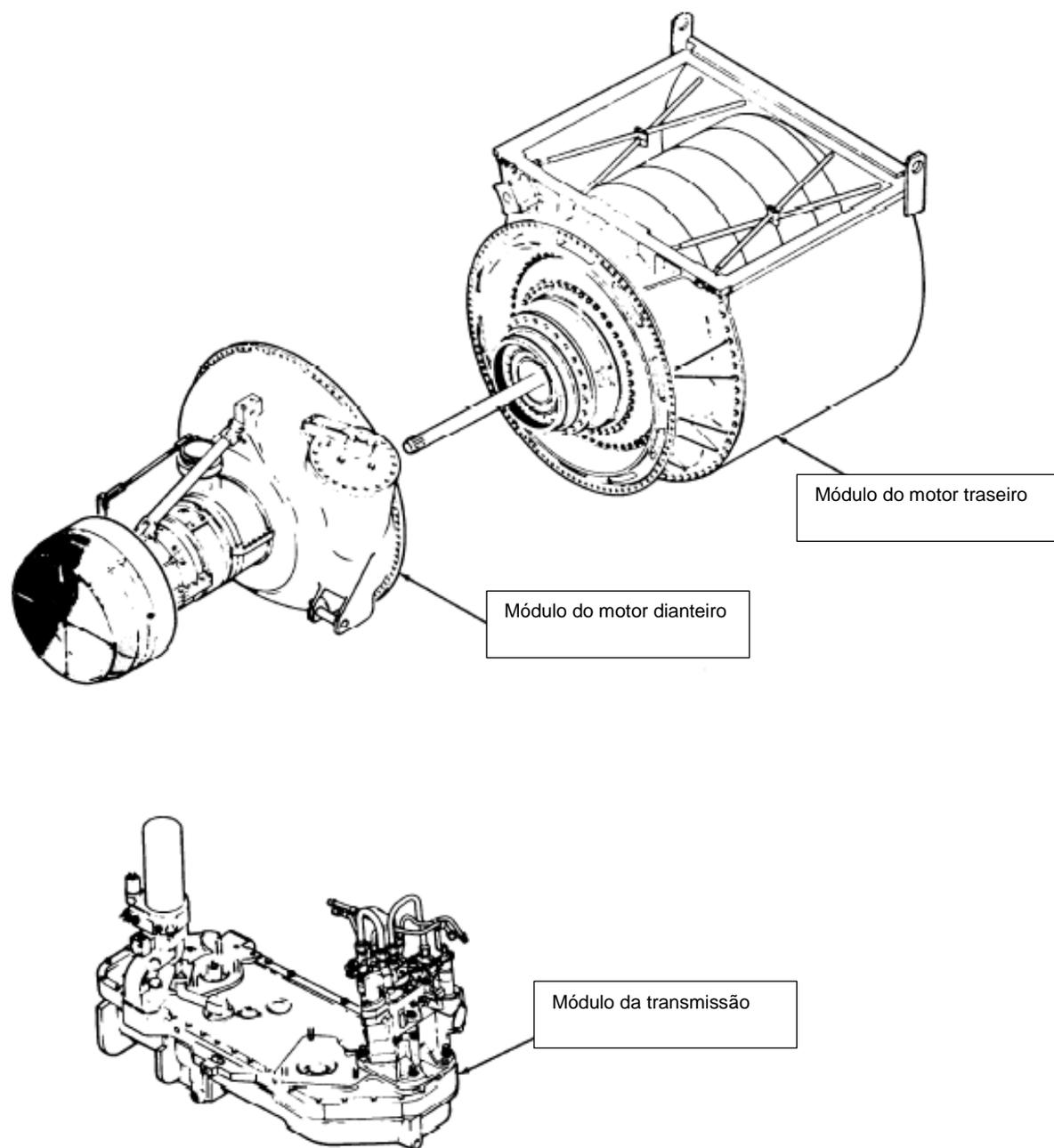
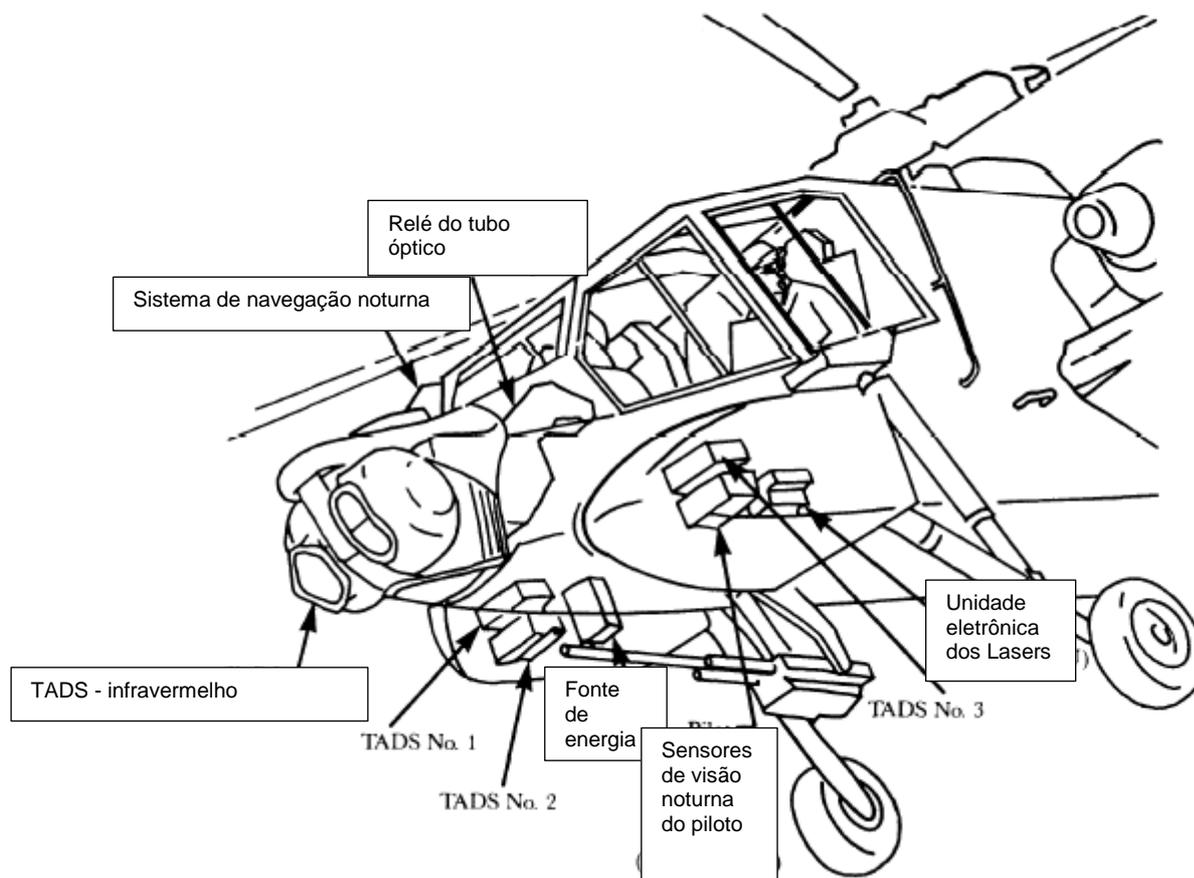


Figura 4 Módulo de turbina M1 para tanque. Fonte: DOD-HDBK-791 (1988)



**Figura 5 Módulos do sistema de aquisição e designação de alvos - McDonnell-Douglas AH-64 Apache.**  
**Fonte: DOD-HDBK-791 (1988)**

### 2.4.3 Testabilidade e dispositivos de diagnose

A testabilidade é definida pelo manual DOD-HDBK-791 (1986) como a característica de projeto que permite determinar o status de uma unidade ou sistema de maneira efetiva. A diagnose por sua vez a capacidade de se isolar as falhas. Essa diferença é ilustrada pelo conjunto de luzes espias do painel de um automóvel. Quando qualquer uma dessas luzes acende, sabemos que há uma falha, entretanto, não sabemos qual é o elemento do sistema que causa esta falha. Por exemplo: se a luz do sistema de injeção se acende, sabemos que este sistema não está funcionando em seu estado de origem, e necessita uma intervenção de manutenção por consequência, entretanto, não sabemos apenas ao olhar para esta luz, qual dos componentes do sistema de ignição que falhou.

Tanto a testabilidade quanto a diagnose necessitam de mecanismos que i) permitam sinalizar a falha apenas quando esta ocorre; ii) permitam avaliações nos níveis mais adequados dos componentes do sistema (nível dos módulos,

submontagens, componentes...); iii) recomenda-se que sejam acompanhados do estudo de árvores de falhas.

Obtém-se os resultados de testabilidade e diagnose através de diagramas lógicos, equipamento de teste automático e através de equipamentos de teste montados no próprio sistema. Esses equipamentos podem ser classificados nos seguintes tipos: i) equipamentos para localização, isolamento e previsão de falhas; ii) equipamentos de verificação; iii) equipamentos para verificar falhas ocultas.

#### **2.4.4 Intercambialidade e Padronização**

A intercambialidade é definida como a capacidade de que duas peças sejam capazes de serem fisicamente e funcionalmente intercambiáveis, isto é, que sejam capazes de desempenhar as mesmas tarefas com o mesmo desempenho, mas sendo duas peças, componentes, módulos diferentes entre si. A intercambialidade pode ser obtida através de: peças intercambiáveis universalmente, as quais podem ser trocadas por outras de diferentes fabricantes e especificações; de peças localmente intercambiáveis, essas por sua vez, não permitem que qualquer peça equivalente seja montada como peça substituta, normalmente, se obtém este resultado através de modificações de especificações de fabricação.

A padronização por sua vez é a característica de projeto que reduz à menor variabilidade possível de peças e componentes os quais podem ser estocados em diferentes instalações.

O uso de componentes padronizados traz como vantagens:

- a) Redução dos custos de aquisição e suporte ao sistema;
- b) Aumenta a disponibilidade dos produtos;
- c) Reduz necessidade de treinamento das equipes de manutenção;
- d) Redução de inventários e de documentos;
- e) Reduz a quantidade de equipamento de teste necessária;
- f) Redução do número de instalações dedicadas à manutenção.

Atenção deve ser dada aos seguintes tópicos:

- a) Usar o maior número possível de peças e montagens comuns;

- b) Reduzir ao máximo a variedade de montagens e peças necessárias, respeitando as aplicações de cada peça e a compatibilidade com as práticas existentes;
- c) Redução dos problemas de estocagem e de cadeia de suprimentos;
- d) Simplificação das atividades de manutenção da mesma forma que se reduz o número de peças;
- e) Usar o maior número possível de peças de prateleira.

#### **2.4.5 Manutenção Preventiva**

As ações de manutenção preventiva são aquelas que são desempenhadas para manter um produto em estado satisfatório de operação através de inspeções sistemáticas, detecção e prevenção de falhas incipientes. A detecção de falhas pode ocorrer antes que elas ocorram ou antes que se transformem em defeitos maiores.

Nela, as intervenções podem ser realizadas tanto com o equipamento em operação, quanto com o equipamento parado para intervenção. Portanto faz-se necessário reconhecer não apenas os tipos e quão críticas são as ações de manutenção bem como o status do equipamento como um todo.

Os principais pontos de orientação de projeto são:

1. Lubrificação: uso de óleos ou graxas;
2. Limpeza e preservação;
3. Ajustes e alinhamentos.

#### **2.5 Estrutura de produto**

Junto as análises principais de manutenibilidade, a estrutura de produto consiste na listagem de componentes presente nos produtos. A estrutura de produto também é conhecida como Bill of Materials.

E estrutura de produtos, conforme descrita por Oliveira (1999) é a listagem de todos os submontagens, componentes intermediários, matérias primas e itens comprados que são usados na montagem e na fabricação de um dado produto mostrando as relações estabelecidas entre eles, como por exemplo, relações de procedência e quantidades necessárias para a fabricação do produto. Este trabalho aponta ainda que um BOM pode conter múltiplos outros objetos, como por exemplo, instruções de trabalho, ferramentas requeridas para a manufatura.

A planilha com a estrutura de produto proposta por esta ferramenta permite aos projetistas, a partir da organização dos componentes, calcular tanto o tempo médio entre falhas quanto o tempo médio para reparo, a partir dos métodos apresentados na literatura.

A proposição da estrutura de produto é um ponto adicional à concepção da ferramenta de manutenibilidade decorrente do desenvolvimento do conjunto de diretrizes de manutenibilidade. Isso faz este ponto não ser estritamente necessário à análise de manutenibilidade através da ferramenta, servindo principalmente como mecanismos de orientação e auxílio aos projetistas dentro dos diferentes produtos que a equipe pode estar desenvolvendo. Tanto a figura 6 quanto a tabela 2 (mostrada no capítulo 3) são exemplos de estrutura de produto, em ambos os casos a estrutura de produto mostrada é a do aspirador de pó.

ITEM		NIVEL		TIPO	PART NUMBER	PART #	DESCRIÇÃO/COMO DA PÇA	NIVEL DE REVISÃO	AUXÍLIO VISUAL (opcional)	AQUINO C/D	QUANTIDADE USADA	MATERIAL	VOLUME UTILIZADO (l) em base de unidades	TAXA DE FALHAS	MASSA LÍQUIDA (kg)	Tempo de reparo
1	2	3	4													
1	X			SP			ASPIRADOR				1					
1.1	X			SM			MONTAGEM SUPERIOR				1					
1.1.1	X			CS			CURVIMOS SUPERIOR				1	ABS		0.4		
1.1.2	X			CS			CURVIMOS INTERMEDIOS				1	ABS		0.4		
1.1.3	X			CS			CURVIMOS DO MOTOR				1	ABS		0.4		
1.1.4	X			SP			AUXILIO PHILIPS				10	1/8 x 10mm				
1.2	X			SM			MOTOR				1					
1.2	X			SM			BILDE				1					
1.2.1	X			CS			BILDE				1	ABS		0.4		
1.2.2	X			CS			RODAS				5	ABS		0.05		
1.2.3	X			SM			RODAS DIFERENCIAIS				2					
	X			CS			SUPORTE				1	ABS		0.05		
	X			CS			RODAS				1	ABS		0.1		

Figura 6 Planilha da Bill of Materials – BOM

## 2.6 Identificação da Oportunidade.

A oportunidade do desenvolvimento do presente trabalho aparece em decorrência das formas que as diretrizes de manutenibilidade são apresentadas, e da possibilidade de se transformar aquilo que pode ser entendido como “arte” em um método prático para a equipe de projetos, pois estas estão submetidas às seguintes situações já descritas nas seções anteriores:

- Vinculados à métricas que lhes permitem quantificar a manutenibilidade, mas com poucos subsídios para melhorá-la;
- Quando estão sujeitos a melhorar a manutenibilidade estão limitados aos estudos da FMECA;

- c) Possuem meios de aprimorar a manutenibilidade quase que unicamente pela melhora da confiabilidade;
- d) Estão muitas vezes sem contato com outras equipes, ou os prazos de desenvolvimento impedem que múltiplas equipes possam trocar informações;
- e) Podem apenas fazer análises reativas, isto é podem apenas corrigir falhas de projeto ao invés de evitá-las.
- f) Em casos extremos, contratos podem ser perdidos por incapacidade da equipe de projetos em atender os requisitos dos clientes.

Nesse contexto, na seção seguinte propõe-se o plano de trabalho para que a equipe possa orientar de forma mais adequada o desenvolvimento de produtos sob a ótica de manutenibilidade.

### **3 ESTUDO DO PRODUTO: ASPIRADOR DE PÓ DOMÉSTICO**

A partir do levantamento de informações, apresentadas no capítulo 2 do presente trabalho, o conjunto de diretrizes de manutenibilidade encontra o início de seu desenvolvimento na decisão do sistema mecânico para as análises, sua modelagem em sistema CAD e avaliação crítica das soluções de projeto com base nos diferentes referenciais teóricos.

#### **3.1 Decisão do sistema mecânico e modelagem em sistema CAD.**

Para a concepção do conjunto de diretrizes que este trabalho se propõe, a decisão do sistema mecânico de base é fundamental. Múltiplos produtos existentes no mercado, tais como: máquinas fotográficas, bicicletas, lavadoras de roupas entre outros foram analisados para que a decisão do sistema fosse tomada. A decisão do sistema foi pautada pelos seguintes atributos: complexidade do sistema, tamanho físico, relevância e custo.

Atendendo a esses requisitos, encontrou-se como, produto adequado ao presente trabalho, um aspirador de pó doméstico. Aponta-se como outros produtos passíveis de análises de manutenibilidade: computadores pessoais, câmeras fotográficas e brinquedos, entretanto nenhum dos dados produtos foi capaz de se adequar aos requisitos com a mesma clareza. Esse produto também teve como elemento auxiliar na sua escolha, a facilidade com o qual pode ser encontrado no comércio e em aplicações cotidianas. O modelo de aspirador de pó escolhido foi o Wap “Aero Clean”, modelo de aspirador escolhido de forma aleatória, isto é, esta decisão não foi fundamentada em estudos das diferentes opções de aspiradores disponíveis no mercado



**Figura 7 Aspirador de pó Wap Aero Clean.**

Com o equipamento em mãos, este foi desmontado a fim de se estudar: i) as diferentes métricas de manutenibilidade que possivelmente foram aplicadas ao desenvolvimento do produto; ii) facilitar a modelagem no sistema CAD; iii) avaliar com que facilidade o sistema pôde ser montado e desmontado.

O produto, uma vez desmontado foi modelado no sistema CAD SolidWorks, conforme mostra a figura 7. Este software foi escolhido devido a facilidade com que permite realizar a modelagem de componentes e sua disponibilidade para uso nos laboratórios da UTFPR. Deve-se salientar que a modelagem tem como objetivo principal a representação virtual para possíveis alterações de concepção do produto, não havendo por objetivo a representação do produto em seus mínimos detalhes.

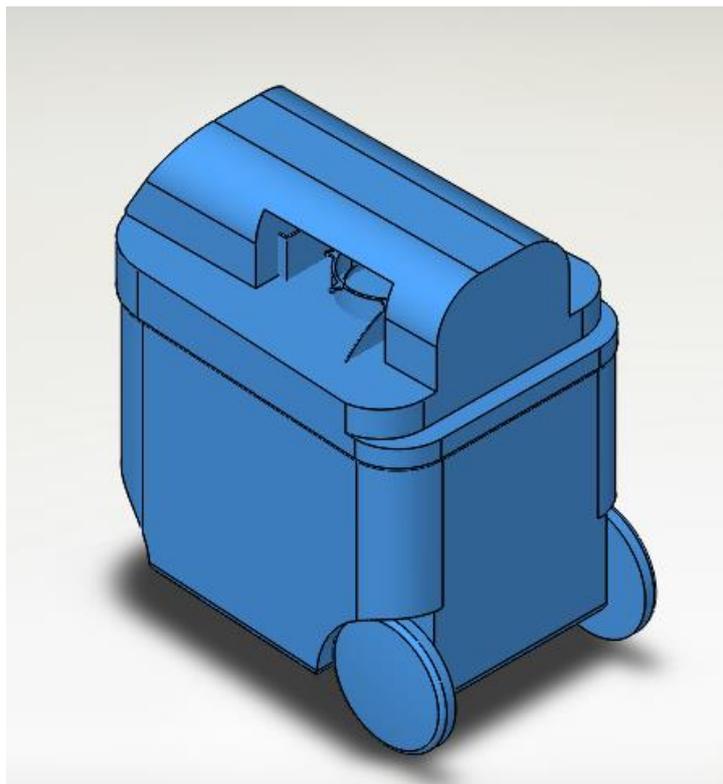


Figura 8 Aspirador modelado em sistema CAD

### 3.2 Descrição do produto para manutenibilidade

Uma vez modelado e desmontado, sua concepção se tornou alvo de análise crítica através da óptica de manutenibilidade. A figura 8 mostra o produto desmontado.



Figura 9 Aspirador desmontado

Durante o procedimento de desmontagem, foi observado que o produto possuiu um bom desempenho em termos de manutenibilidade. A tabela 1 traz exemplos de pontos de análise propostos pelo manual DOD-HDBK-791 onde o produto apresentou boa adequação para a orientação de manutenibilidade.

**Tabela 1 – Aspectos de manutenibilidade atendidos pela concepção do produto aspirador de pó**

Nº	Aspecto observado	Aspecto atendido?	Diretriz de análise atendido
1	Há busca por soluções simples no sistema?	Sim	Simplificação
2	Peças idênticas foram usadas sempre que possível em tarefas análogas?	Sim	Padronização
3	As aberturas da carenagem são intuitivas? Se não há instruções para a abertura?	Sim	Acessibilidade
4	A divisão em módulos acompanha o projeto funcional do equipamento?	Sim	Modularidade
5	As aberturas dos filtros são localizadas de modo que possam ser facilmente acessadas e não necessitem de adaptadores especiais?	Sim	Manutenção preventiva

O produto pode ser desmontado usando apenas uma chave Phillips (o que em acordo com o manual MIL-HDBK-759C (1995) já configura um ponto adequado de manutenibilidade), dado que os parafusos empregados nesse produto possuem a mesma especificação (apenas dois parafusos apresentam especificação diferente dos demais, sendo estes empregados para a fixação do cabo de alimentação).

A partir da desmontagem já prevista entre o balde (peça 1) e a parte superior do produto (peça 2 - onde se encontra o motor e os dispositivos de comando do produto) pôde-se começar o procedimento de desmontagem através do desmonte do filtro de poeira (6); desmontagem da peça 3 e desmontagem da peça 4. Estando a peça 4 desmontada o motor (5) pode enfim ser removido.

A montagem da peça 3 na peça 2 é feita através de 7 parafusos, todos de mesma especificação de rosca. Todavia, um dentre eles conta com comprimento menor que os outros. Os seis parafusos de mesmo tamanho são montados no sentido da peça 3 para a peça 2 (suas cabeças encontram-se na peça 3) enquanto o menor é montado no sentido da peça 2 para a peça 3, o sentido de montagem dos parafusos, bem como suas disposições podem ser observados na figura 10.



**Figura 10** Desmontagem das peças 2 e 3, dos sete parafusos empregados nessa união seus possuem a mesma especificação (parte inferior da imagem) e um com especificação diferente (a esquerda).

Uma vez aberto, o sistema requer a desconexão da chave de contato elétrico com o sistema elétrico do sistema, de acordo com a figura 11:



**Figura 11 Conexões elétricas da chave de contato**

Observa-se que a montagem dos cabos na chave de contato não possui outra identificação possível que pelo código de cores dos cabos, o que pode ser considerado insuficiente, para que, durante a remontagem dos mesmos após a intervenção de manutenção, as conexões sejam refeitas de modo correto.

Cabe às peças 3 e 4 sustentarem o motor. Nelas foram encontrados seis parafusos, de mesma especificação dos anteriores, montados no sentido da peça 4 para a peça 3, como mostrado na figura 12. Também, foi encontrado um par de parafusos menores montados na peça 3 a fim de manter o cabo de força em posição. Uma vez desmontados esses componentes, o aspirador pode ser considerado como completamente desmontado.

Tendo atingido o estado de completa desmontagem, a estrutura do produto é apresentada na tabela 2. Nessa tabela o código de cores empregado serve a orientar o modo como cada componente é visto no interior do produto. A montagem final (abreviada como MF) é o produto em si, as submontagens (abreviadas como "SM") são conjuntos de componentes simples (abreviados como "CS") ou conjuntos de componentes comprados que se comportam como um único componente. Já os

elementos comerciais e/ou de fixação (abreviados como EC e EF respectivamente) são todos os elementos os quais o fabricante do produto pode comprar ao invés de produzir. Nessa tabela, o número da peça faz segue as indicações mostradas na figura 8.

**Tabela 2 – Estrutura do produto**

(ITEM)	N1	N2	N3	TIPO	Número da peça	DESCRIÇÃO/NOME DA PEÇA	QUANTIDADE USADA
1	X			MF		ASPIRADOR	1
1.1		X		SM		MONTAGEM SUPERIOR	1
1.1.1			X	CS	2	CARENAGEM SUPERIOR	1
1.1.2			X	CS	3	CARENAGEM INTERNA	1
1.1.3			X	CS	4	CARENAGEM DO MOTOR	1
1.1.4		x		cs	7 e 8	TRAVA	1
1.1.4			X	EF		PARAFUSO PHILIPS	12
1.2			X	SM	5	MOTOR	1
1.3		X		SM		BALDE	1
1.3.1	X			CS	1	BALDE	1
1.3.2	X			CS	1.1	RODA	2
1.3.3	X			SM	1.2	RODAS DIANTEIRAS	2
		X		CS	1.2.1	SUPORTE	1
		X		CS	1.2.2	RODA DIANTEIRA	2

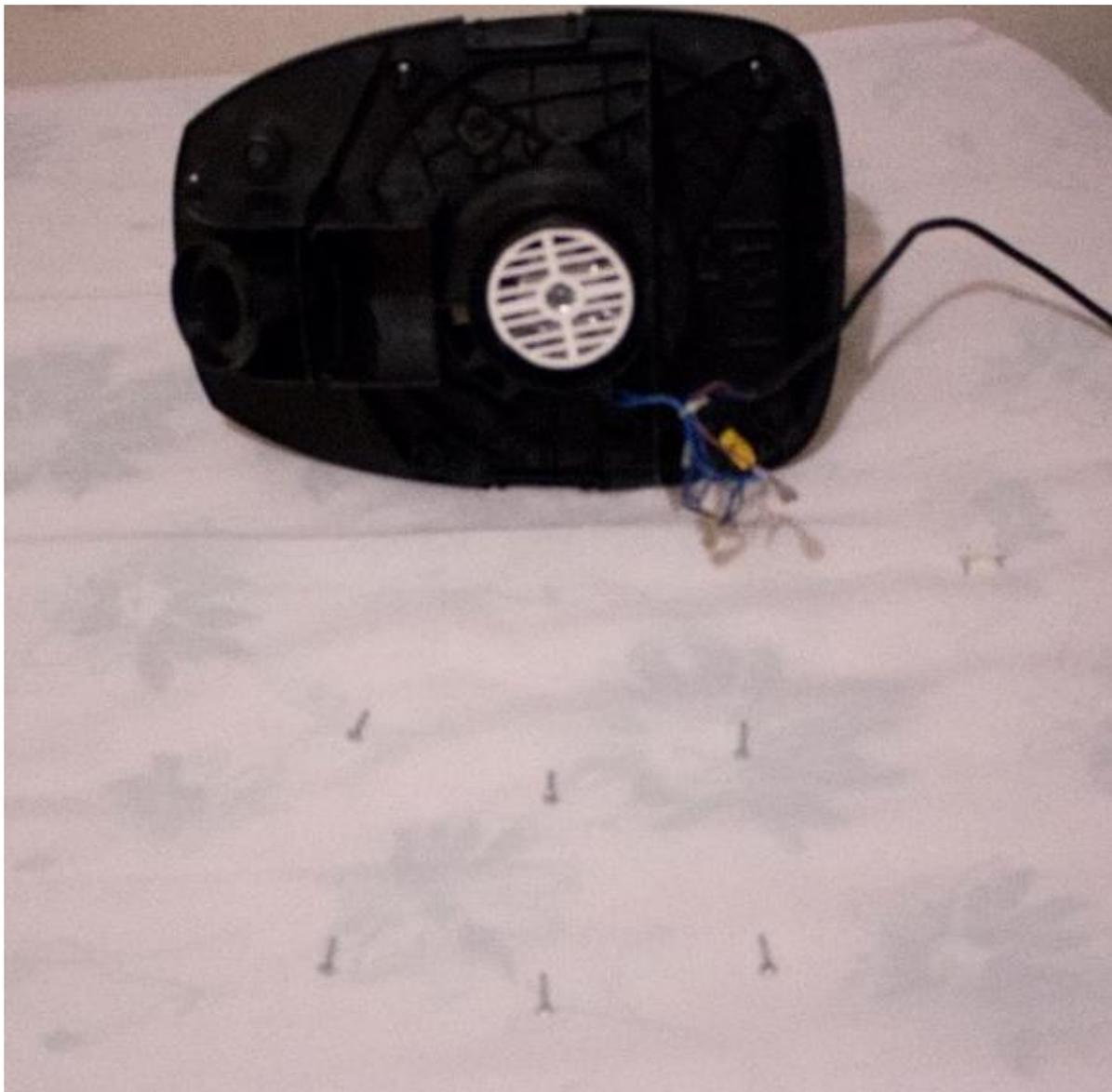


Figura 12 Peças 3 e 4 – Componentes que envolvem o motor

### 3.3 Análise crítica das soluções de manutenibilidade encontradas no produto

Este modelo de aspirador apresentou resultados expressivos quanto à: i) simplificação do projeto, ii) padronização e iii) modularidade. Para a determinação destes resultados, as listas de verificação do manual DOD-HDBK-791 apresentadas no apêndice B, foram completamente respondidas. Essa análise representou o estudo de 193 pontos de verificação, o que pode ser realizado num total de 9 horas de trabalho. Segundo Bralla (1999) esses fatores de projeto nos quais o produto se

destacou, são compartilhados com o projeto orientado para a manufatura, isso observado pelo modo como os diferentes componentes se inter-relacionam.

Dado a importância da acessibilidade no projeto para a manutenibilidade, este ponto requer uma análise mais delicada. Para os procedimentos de manutenção mais simples desse produto, como por exemplo, a substituição do filtro de poeira e esvaziamento do reservatório de detritos, o produto apresenta bom resultado, haja vista que todas essas ações podem ser realizadas facilmente pelo usuário do produto.

Entretanto, se observado que o motor é o componente principal deste produto, e que sua consequente falha é a que causa maior impacto na disponibilidade do produto, observa-se que o produto não foi desenvolvido com ênfase na manutenibilidade. Observa-se que toda e qualquer intervenção nesse componente deve ser realizada apenas por equipes dedicadas à manutenção.

O estudo do produto permite inferir que a manutenibilidade do produto foi assegurada pelas orientações de projeto para manufatura. Esta inferência decorre de análises de diferentes pontos como:

- a) Concepção do produto prefere uniões soldadas entre os componentes elétricos;
- b) O motor é confinado dentro de duas carenagens que, são fixadas pelos dois conjuntos de parafusos encontrados no produto;
- c) O curto comprimento dos cabos elétricos de comando (como mostrado na figura 10);
- d) Filtros adicionais de proteção aos componentes internos são acessíveis apenas após desmontagens (esses filtros escuros na peça 2 e claro na peça 3. Esses filtros possuem formas projetadas para se adequar apenas nas formas do modelo de aspirador proposto.
- e) Sentido da montagem dos componentes. Pode-se observar que existe apenas uma forma de se montar o produto (o que é um elemento de análise de manutenibilidade) o que evidencia o foco na manufatura do produto.

Por outro lado os pontos que a orientação de manufatura auxilia a manutenibilidade são:

- a) Simplificação das tarefas de montagens;
- b) Redução da quantidade de componentes não necessários;
- c) Menor variabilidade dos elementos de fixação e de ferramentas empregadas.

O estudo do produto permitiu avaliar além dos pontos da concepção de manutenibilidade do produto, como as análises são conduzidas atualmente. Como já citado, as análises foram conduzidas através do preenchimento de diferentes listas de verificações de manutenibilidade, como àquelas propostas por Cunningham e Cox (1972), e o manual DOD-HDBK-791. Esse mecanismo de análise se mostra capaz de avaliar a concepção do produto, porém, não é capaz de oferecer subsídios para os projetistas para melhora do projeto do produto. Observa-se também que esse meio de análise apresenta as seguintes limitações:

- a) Interpretação das diferentes questões por parte do projetista a fim de responder se o produto se adequa ou não aos parâmetros de manutenibilidade no caso do DOD-HDBK-791 (1986)
- b) Listas de verificações com muitos pontos a avaliar e que podem não atender as limitações do produto bem como não se adequar às concepções do produto.
- c) Aplicação de pesos ao invés de critérios de passa ou não passa no caso das análises a partir dos trabalhos de Cunningham e Cox. A aplicação dos critérios de pesos não é instruída pelos autores, deixando a atribuição desses valores aos projetistas.
- d) Poucos tópicos de verificação no caso do manual MIL-HDBK-759C (1995).

### **3.4 Conclusões obtidas com o estudo de caso.**

Conclui-se que as listas de verificação são meios capazes de fornecer boas análises de manutenibilidade entretanto, ainda não são propostas de formas que possam ser aplicadas com menos variabilidade de resultados decorrentes de interpretações dos projetistas envolvidos na concepção do produto. Observa-se também que: i) as análises são reativas à concepção do produto, o que torna o

processo custoso e demorado; ii) as análises não possuem interfaces com outras orientações de projeto de produto, isso faz com que determinados fatores de manutenibilidade não possam ser atendidos a fim atender requisitos de outros tipos de orientação de projeto de produto.

A fim de se corrigir o projeto do produto, pode-se seguir as diferentes orientações propostas pelo manual MIL-HDBK-470A (1997). Todavia, este manual apenas aponta diferentes mecanismos para a melhora de manutenibilidade do produto, agindo como um mecanismo de limitação do desenvolvimento do produto, mas sem fornecer meios para que o projetista seja capaz de decidir se a orientação é válida ou não para seu produto.

Em suma, a literatura de manutenibilidade oferece bons mecanismos de orientação de desenvolvimento de produtos, todavia, i) pouco levam em conta outros parâmetros de desenvolvimento de produtos; ii) não são capazes de avaliar a concepção do produto ao mesmo tempo que possam orientar correções de projeto, caso estas se tornem necessárias.

## **4 DESENVOLVIMENTO DO CONJUNTO DE DIRETRIZES E FERRAMENTA DE MANUTENIBILIDADE.**

Uma vez que o produto já foi escolhido e estudado sob a luz da manutenibilidade, o conjunto de diretrizes de manutenibilidade foi proposto. As diretrizes foram estabelecidas a partir dos manuais DOD-HDBK-791 (1988), MIL-HDBK-470A, MIL-HDBK-759C (1995) e o trabalho de Cunningham e Cox (1967). Essas referências foram escolhidas por serem as principais dentro do contexto de manutenibilidade.

Este capítulo apresenta os elementos relativos ao desenvolvimento do conjunto de diretrizes de manutenibilidade, da consequente ferramenta de manutenibilidade proposta e o mecanismo de análise dos resultados fornecidos pela ferramenta de manutenibilidade.

### **4.1 Conjunto de requisitos do desenvolvimento do conjunto de diretrizes de manutenibilidade**

O desenvolvimento do conjunto de diretrizes teve como requisitos principais de desenvolvimento: facilidade de uso e independência do conhecimento prévio do projetista em manutenibilidade e simplicidade de implementação.

Desse modo, para atender a esses requisitos, decide-se que o conjunto de diretrizes proposto deve ser breve, com texto fácil de ser compreendido. Outro requisito de desenvolvimento é também a capacidade de ser o mais genérico o possível.

As listas de verificação do manual DOD-HDBK-791 (1988) são a base para o desenvolvimento do conjunto de diretrizes. Como foi apontado no Capítulo 2, esse manual permite avaliar aspectos de acessibilidade, testabilidade, intercambialidade, simplificação, identificação, modularidade, manutenção preventiva entre outros.

### **4.2 Conjunto de diretrizes de manutenibilidade**

O estudo das referências e as experiências obtidas no estudo de caso, marcam o início do desenvolvimento do conjunto de diretrizes de manutenibilidade que este trabalho se propõem a apresentar.

Seguindo o intuito de atender a facilidade de uso e conforme indicado pelo capítulo 3, a análise do produto quanto a manutenibilidade, baseada no estudo das

listas de verificação do parâmetro fornecidas pelo manual DOD-HDBK-791 (1986), esta forma de análise se mostra simples ao mesmo tempo que eficaz na capacidade de orientação do parâmetro. Assim, este conjunto de pontos de análise é empregado como base para o desenvolvimento do conjunto de diretrizes de manutenibilidade.

As listas de verificação de manutenibilidade empregadas no estudo de caso são combinadas com aquelas encontradas no trabalho de Cunningham e Cox (1967) e do manual MIL-HDBK-759C (1995). Esta combinação de diferentes trabalhos permite reduzir o número de análises de manutenibilidade dos nove tópicos apontados pelo manual DOD-HDBK-791 (1988) para três pontos principais: acessibilidade, modularidade e manutenção preventiva.

A escolha destes três tópicos se dá pelo fato que as três referências tratam estes pontos como aqueles que são mais influentes no domínio de manutenibilidade sendo: i) a acessibilidade a facilidade de se alcançar componentes no interior de montagens para que sejam facilmente substituídos em caso de falha; ii) a modularidade como meio de substituir grupos de componentes com rapidez para que o produto fique fora de serviço durante o menor prazo possível e iii) a manutenção preventiva como o conjunto de medidas que permitem manter o equipamento em uso sem que este venha apresentar falhas.

Dentro de cada um destes tópicos, a comparação dos pontos apresentados pelas diferentes referências é conduzida a análise cruzada dos pontos de análise de manutenibilidade a fim de se determinar de os pontos maior influência na orientação do parâmetro. Os pontos são selecionados se são capazes de fornecer os mesmos resultados de análise.

Junto a estas três listas de verificação é adicionada, a partir do manual MIL-HDBK-759C (1995) a lista de verificação de pontos gerais de manutenibilidade, a qual permite introduzir o parâmetro de projeto. O interesse desta lista é orientar o projetista nos diferentes tipos de orientação de manutenibilidade.

O primeiro conjunto de diretrizes apresentado é o de conceitos básicos de manutenibilidade (esta lista pode ser observada no apêndice A do presente trabalho). Esta lista de verificação foi proposta a partir do manual MIL-HDBK-759C (1995) e do trabalho de Cunningham e Cox (1967). Nele são mostrados os pontos primordiais da análise de manutenibilidade do produto, os quais permitem orientar a correta concepção do produto dentro do parâmetro de manutenibilidade além de apontar quais os tópicos que devem ganhar mais atenção da equipe de projeto.

O segundo conjunto de diretrizes é o de acessibilidade, composto por pontos comuns apresentados pelas referências DOD-HDBK-791 (1986) e Cunningham e Cox (1967). Nele encontram-se meios para endereçar a acessibilidade dos componentes no produto, através da análise de aberturas, emprego de parafusos e influência de fatores humanos.

O terceiro conjunto de diretrizes apresentado cobre os parâmetros de modularidade a serem empregados. As mesmas referências da lista de verificação de acessibilidade foram usadas para a determinação da lista de diretrizes deste parâmetro. Esta análise cobre desde a divisão do produto em diferentes módulos até os possíveis efeitos do emprego de módulos descartáveis na montagem do produto.

O quarto conjunto de diretrizes engloba os fatores de manutenção preventiva. Durante o desenvolvimento do conjunto de diretrizes, essa lista ganhou também elementos de análise oriundos das listas de verificação de simplificação e padronização. A decisão da inclusão destes fatores nessa lista repousa na influência que esses dois fatores exercem nas tarefas de manutenção preventiva. Outro fator que contribuiu para inclusão destes pontos dentro dessa listagem foram os modos como as referências tratam os assuntos de manutenibilidade. Assim, esta lista de verificação inclui também os pontos considerados como relevantes (isto é, foram apontados tanto pelo manual DOD-HDBK-791 (1986) e Cunningham e Cox (1967)) que não se alinham com os pontos de acessibilidade e modularidade, mas que, como dito anteriormente, exercem influência nas intervenções de manutenção.

Uma vez determinado o conjunto de pontos de estudo de manutenibilidade, passa-se a etapa de seleção de diretrizes de apoio e correção do projeto. Estas diretrizes são originadas da MIL-HDBK-470A (1997). Essas diretrizes permitem correções dos pontos de projeto analisados que estão inadequados à manutenibilidade.

A sequência sugerida de análises é: conceitos básicos de manutenibilidade, acessibilidade, modularidade e manutenção preventiva. Cabe a equipe de projeto decidir se os todos os conjuntos de diretrizes apresentados serão analisados, dado que os conjuntos de diretrizes propostos são independentes entre si. Vale ressaltar que todos os tópicos de manutenibilidade presentes dentro de cada subconjunto de análise deve ser estudado.

O conjunto de diretrizes ao fim é composto por quatro subconjuntos de diretrizes de manutenibilidade. Dentro de seu contexto o conjunto de diretrizes

proposto permite conduzir a orientação de manutenibilidade, seja através de seu uso como lista de verificação ou como conjunto de requisitos que o produto deve atender. Os quatro conjuntos de diretrizes podem ser vistos no apêndice A.

### **4.3 Ferramenta de manutenibilidade**

A ferramenta se aplica, durante a etapa de projeto preliminar e projeto detalhado do produto. Entretanto, a partir do estudo do manual MIL-HDBK-759C (1995) pode-se também inferir no projeto de manutenibilidade desde a etapa de projeto conceitual, onde as orientações atuam como restrições do desenvolvimento do produto, que devem ser seguidas pela equipe de projeto.

Vale lembrar ao leitor que esse comportamento restritivo se deve ao fato que na etapa do projeto conceitual, o produto é descrito apenas como um conjunto de funções, e não um conjunto de peças, que juntas realizam uma tarefa principal. A vantagem de se orientar a manutenibilidade desde etapas iniciais está no fato que assim o produto é desenvolvido sem a necessidade de revisões constantes de concepção, pois os projetistas estão cientes das implicações de se orientar o desenvolvimento de produto para a manutenibilidade.

A ferramenta de manutenibilidade usa das orientações apresentadas pelo conjunto de diretrizes de manutenibilidade proposto. Junto as análises propostas a ferramenta implementa meios para a análise de resultados.

A ferramenta é estruturada através do programa Microsoft Excel. A escolha deste software repousa em: ser um software usado com frequência, é de fácil uso pelos projetistas, e ser um software de grande distribuição.

Dentro da ferramenta, os quatro conjuntos de diretrizes tomam a forma de quatro planilhas a serem preenchidas pelos projetistas, dentro da mesma sequência do conjunto de diretrizes, isto é, a planilha de conceitos básicos de manutenibilidade deve ser a primeira a ser preenchida, seguida pela planilha do foco do desenvolvimento do produto de acordo com o projetista, ou pela sequência: acessibilidade – modularidade – manutenção preventiva. Somam-se a essas quatro planilhas: a planilha de estrutura de produto – BOM, a planilha de resumo dos resultados, e as planilhas auxiliares, as quais contêm as imagens de auxílio aos projetistas.

A sequência de análises pela ferramenta de manutenibilidade é orientada de forma diferente do conjunto de diretrizes sendo a seguinte: a primeira análise a ser

feita é a de conceitos básicos de manutenibilidade, em seguida, cabe aos projetistas decidir qual dos três tópicos é mais conveniente para análises de acordo com a concepção do produto. Se o produto não possuir nenhum elemento de restrição de desenvolvimento, ou se não houver consenso na sequência de análises, os trabalhos devem começar pelo estudo de adequação aos parâmetros de acessibilidade, em seguida, estuda-se a adequação à modularidade e, por fim aos parâmetros de manutenção preventiva.

Outras formas de análise foram estudadas como, *plug-ins* para softwares de CAD, essa proposta foi abandonada devido as dificuldades inerentes ao seu desenvolvimento e também as limitações de aplicação que um *plug-in* encontra, devido a sua ligação direta a apenas um tipo de sistema CAD.

A ferramenta de acordo com o modo com o qual o conjunto de diretrizes é proposto requer que o projetista aponte se o produto em desenvolvimento, se adequa ou não ao parâmetro em análise marcando com um “X” na coluna sim se a concepção do produto está adequada ao parâmetro, na coluna não se o produto não se adequa ou ainda se o parâmetro não é aplicável ao produto em desenvolvimento, por questões práticas, nessas colunas, o projetista tem apenas a possibilidade de empregar este caractere, seja através de digitação, seja através da seleção do mesmo através do uso da caixa de diálogo presente na própria célula.

Para todas as marcações do projetista a ferramenta reage visualmente o que pode ser observado na figura 13. No evento da adequação do produto ao parâmetro em análise tanto o número do parâmetro quanto a própria casa se tornam verdes ponto em questão. Caso a concepção não esteja adequada, isto é o “X” é marcado na coluna não, tanto a casa de marcação quanto o número do parâmetro se tornam vermelhos, a ferramenta fornece ainda instruções para correção do problema. Ao fim da análise, a ferramenta calcula o quanto o produto se adequa aos tópicos de manutenibilidade, em duas formas. A primeira é a medida direta de quantos parâmetros foram atendidos quantos não foram atendidos pela concepção do produto, e quantos parâmetros não se adequaram à concepção do produto, sendo que quanto maior o resultado, melhor é o resultado de manutenibilidade do produto. A segunda medida é análoga à primeira, entretanto, sua principal diferença está na contagem de todos os parâmetros os quais os parâmetros de análise não se adequam à concepção do produto; assim a ferramenta calcula a porcentagem de parâmetros atendidos ou não pela concepção do produto levando em consideração

apenas os pontos que realmente afetam a manutenibilidade o produto. A ferramenta, uma vez que todas as análises estejam concluídas avalia a “qualidade” da concepção de manutenibilidade através dos resultados da segunda análise.

O resultado da análise é o número de vezes que a concepção do produto se adequa aos parâmetros de manutenibilidade. Os resultados são contados de duas formas distintas. A primeira forma de apresentação dos resultados é feita através da apresentação dos mesmos mostrando se a concepção do produto se adequa ou não aos parâmetros analisados ou se o parâmetro em si se adequa a concepção do produto, o resultado obtido aqui é denominado resultado geral. Esse resultado, é então tratado para a eliminação dos pontos de análise que não se aplicam ao produto, isso permite avaliar o produto dentro dos parâmetros os quais exercem real influência na manutenção do produto. Os resultados tratados são denominados de efetivos, dado que são estes que afetam efetivamente a manutenção.

Acessibilidade						
	Questão	Avaliação			Medida de correção	Correção a empregar
		Sim	Não	Não Aplicável		
1	Acessibilidade é otimizada para todos os componentes que requerem manutenção, inspeção, remoção e troca?		X		<a href="#">Localize os componentes que necessitam de manutenção frequente de modo que sejam fáceis de observar, testar, reparar.</a>	Facilitar o acesso do motor
2	Existe meios para inspeção visual		X		Use janelas transparentes (as janelas devem ser resistentes à riscos fáceis de limpar), aberturas de abertura fácil, ou nenhuma cobertura (se possível para permitir acesso visual onde necessário).	Inclusão de "janelas" de verificação
3	As aberturas sem cobertura (tampas) usadas em locais que não afetem a performance	X				
4	Carenagens fornecem espaços suficientes para (se necessário) manusear os elementos que estão em seu interior?	X				
5	Componentes funcionais são localizados de modo que as estruturas do produto não impeçam os acessos à elas?	X				
6	Componentes descartáveis ou com alta taxa de falhas são montados de forma que não necessitem da retirada de outros componentes	X				
7	Unidades com peso superior a 110N são instaladas no alcance normal do operador (não estão sobre a cabeça ou muito próximas do solo) quando estas estão submetidas à substituição?			X		
8	Há previsão de suporte de equipamentos quando estes estão sendo removidos ou instalados?		X		<a href="#">Localize os componentes que necessitam de manutenção frequente de modo que sejam fáceis de observar, testar, reparar.</a>	Readequação de geometrias para suporte quando componentes estão desmontados
9	As carenagens podem proteger componentes frágeis, e os operadores?	X				
10	Há identificação adequada de: - Equipamentos atrás da porta? - Perigos possíveis atrás da porta (calor, elétrico...)? - Uso adequado de ferramentas			X		
11	Há instruções adequadas para acessar os componentes?	X				
12	Acessos indicam a frequência de manutenção?			X		
13	Fatores ambientais (como frio, calor, chuva...) considerados no projeto e na manipulação de todos os itens do equipamento?	X				
14	Fusíveis estão localizados de modo que possam ser acessados sem desmontagens de outros itens?			X		
15	Se os fusíveis estão agrupados, eles estão identificados			X		
16	Os furos para a montagem de parafusos nas carenagens indicam caso haja a necessidade de perfeito alinhamento?	X				
17	É impossível fechar a carenagem de forma errada, e se está fechada dessa forma, isso é facilmente observado?	X				
18	Até seis parafusos são usados por par de componentes?	X				
19	Em portas articuladas, elas podem ser mantidas abertas sem o uso das mãos?	X				
20	Alças são projetadas para que possam ser convenientemente guardadas			X		
21	Todos os parafusos são do mesmo tipo e com o mesmo torque	X				

Figura 13 Planilha de acessibilidade aplicada ao aspirador

O resultado final de análise do produto, é apresentado na planilha de resumo das análises, nesta planilha são incluídos os resultados de todos os outros tópicos analisados e o resultado final de manutenibilidade do produto é calculado. Este resultado é obtido a partir da média ponderada dos resultados efetivos de

análises (isto é, os resultados que não levam em consideração os pontos que não se aplicam a concepção do produto). Tomou-se como pesos das análises o número de referências que citam o parâmetro de manutenibilidade analisado como relevante para melhora da característica do produto. Assim o peso das análises de modularidade e manutenção preventiva é quatro, dado que são citados por Cunningham e Cox (1967), DOD-HDBK-791 (1986), DOE-HDBK-1140 (2001). O peso das análises de conceitos básicos e acessibilidade é por sua vez cinco por conta desses parâmetros serem também apontados no manual MIL-HDBK-759C (1995).

As classes de resultados em termos de porcentagens, que podem ser encontrados na tabela 3, também se inclui o veredicto de qualidade do projeto. O resultado ideal é que o produto se adeque completamente aos parâmetros de manutenibilidade, toda não adequação deve ser alvo de revisão do projeto do produto, pois é prejudicial a propriedade de manutenibilidade do produto. Todavia, cabe ao projetista seguir ou não as recomendações fornecidas pela ferramenta no evento da não adequação à manutenibilidade.

**Tabela 3 – Tabela de classificação da concepção do produto quanto à adequação aos parâmetros de manutenibilidade**

Intervalo (%)	Resultado da adequação	Medidas à serem aplicadas
0  → 25	Péssimo	Revisão obrigatória do projeto
25  →50	Ruim	Revisão de projeto necessária
50  → 75	Regular	Revisão de projeto recomendada
75  → 98	Bom	Correções no projeto necessárias
98  →100	Ótimo	Concepção não necessita de correções

O bom resultado de análise através da ferramenta é obtido quando o produto se adequa completamente às diretrizes de manutenibilidade, isto é, que em todos os pontos avaliados, a resposta para a adequação do desenvolvimento do produto seja dada como positiva, isto é que o projetista marque sim em cada um dos tópicos.

Salienta-se que o desenvolvimento da ferramenta e do conjunto de diretrizes

foi orientado para as análises de manutenibilidade, não considerando outros fatores de desenvolvimento que possam estar relacionados com o desenvolvimento do produto (orientações concorrentes de desenvolvimento de produto). Este fato pode implicar em conflitos com outros tipos de restrições de projeto que o produto possa ter, como exemplo, restrições de confiabilidade. No evento de conflitos de restrições e orientações de desenvolvimento de produto, cabe ao projetista decidir qual requisito será preferência de implementação.

#### **4.4 Concepção do conjunto de diretrizes, conclusões do modelo para composição do guia de referência de manutenibilidade**

O estudo das referências e as experiências adquiridas durante o estudo de produto marcam o início do desenvolvimento do conjunto de diretrizes para a orientação do parâmetro de manutenibilidade. Esse conjunto, conforme a seção anterior permite aos projetistas avaliar a manutenibilidade através de conceitos básicos do assunto, acessibilidade, modularidade e manutenção preventiva.

A análise do produto sob a óptica de manutenibilidade mostrou que as listas de verificações constituem um mecanismo eficiente para a revisão da concepção do produto por resumir os tópicos de avaliação de um determinado assunto na forma de elementos a serem respondidas na base passa ou não passa. Isso permite realizar análises a fim de determinar se os conceitos do tema em estudo estão sendo aplicados de forma correta.

A concepção do conjunto de diretrizes é baseada nas listas de verificação de acessibilidade, modularidade, manutenção preventiva, simplificação, padronização e intercambialidade do DOD-HDBK- 791 (1986). A partir das listas de verificações apresentadas por Cunningham e Cox (1967) os tópicos de manutenibilidade mais relevantes foram selecionados. Através da comparação direta entre as verificações apresentadas por essas duas referências, buscou-se encontrar os pontos comuns entre as duas listas de verificação. Foi adotado como critério de escolha dos parâmetros a presença do mesmo nas duas listas de verificações estudadas.

Durante a etapa de seleção é observado que as diferentes relações de parâmetros de manutenibilidade desenvolvidas apontam os mesmos pontos de verificação em diferentes tópicos, isto é, por exemplo, pontos de verificação de simplificação no manual DOD-HDBK-791 (1986) são análogos aos pontos listados dentro do tópico de empacotamento no trabalho de Cunningham e Cox (1967) por

exemplo. Quando conflitos como esse foram encontrados, preferiu-se enquadrar o parâmetro a partir da lista do DOD-HDBK-791 (1986) correspondente.

O número de listas de verificação é reduzido das sete iniciais (acessibilidade, modularidade, manutenção preventiva, padronização e simplificação) para quatro no conjunto de diretrizes proposto sendo estas: conceitos básicos; acessibilidade, modularidade e manutenção preventiva. A ordem na qual estas listas foram apresentadas representa também a ordem na qual as listas devem ser preenchidas para análises.

Em todos eles o resultado adequado de manutenibilidade é observado se a concepção atende o parâmetro apontado. Nessas listas de verificação os parâmetros possuem todos a mesma importância dentro do mesmo tópico. O foco do presente trabalho foi a seleção dos parâmetros mais relevantes de manutenibilidade e não a análise de quão crítico são os efeitos dos parâmetros apontados na manutenção do produto.

Uma vez concluída etapa de análise e seleção dos pontos de verificação o balanço final é a redução do número de pontos a verificar dos duzentos e seis iniciais para cento e dois. O mesmo é aplicável para os tópicos de manutenibilidade a serem avaliados, em que, de sete listagens de pontos a verificar, quatro foram mantidos, essas listagens que antes avaliavam os tópicos (acessibilidade, modularidade, simplificação...) de forma totalmente independente e com redundâncias passaram a ser tratadas dentro dos tópicos considerados pelas referências como principais, isto é, acessibilidade, modularidade e manutenção preventiva, as quais ao fim da análise englobam também pontos de simplificação, padronização e intercambialidade.

Com o conjunto de pontos de verificação determinado, a concepção do conjunto de diretrizes passou para etapa de seleção de instruções para orientar os projetistas caso um ponto de verificação não tenha sido atendido de forma adequada. Assim, para a determinação das diretrizes de assistência, o manual MIL-HDBK-470A (1997) empregado para apontar instruções para os projetistas. Nesse estágio, também foi empregado auxílios visuais a partir das referências quando cabíveis.

A concepção do conjunto de diretrizes e da ferramenta ocorre de forma simultânea durante o desenvolvimento do presente trabalho. Isso é consequência do modo como as diretrizes foram compiladas, o qual permite a implementação da

ferramenta de manutenibilidade e do proposto meio de análise.

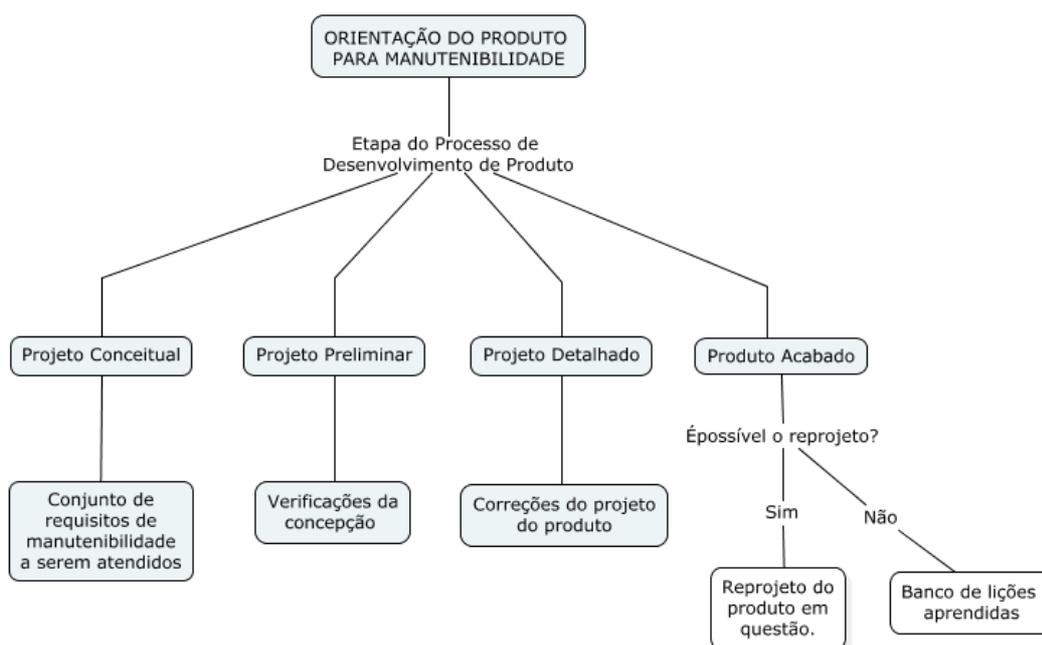
A classificação dos resultados em gerais e efetivos permite avaliações diretas do projeto do produto dado que, a análise geral permite avaliar não apenas se o produto atende ou não os requisitos de manutenibilidade, mas também se o parâmetro de manutenibilidade analisado se aplica ou não ao produto. Os resultados efetivos são aqueles que realmente afetam a manutenibilidade o que permite uma análise mais precisa da manutenibilidade do produto.

Deve-se ressaltar que a sequência de análise é recomendada para o conjunto de diretrizes enquanto as análises com a ferramenta devem seguir a seguinte sequência: a primeira análise a ser feita é a de conceitos básicos de manutenibilidade, em seguida, cabe aos projetistas decidir qual dos três tópicos é mais conveniente para análises de acordo com a concepção do produto. Se o produto não possuir nenhum elemento de restrição de desenvolvimento, ou se não houver consenso na sequência de análises, os trabalhos devem começar pelo estudo de adequação aos parâmetros de acessibilidade, em seguida, estuda-se a adequação à modularidade e, por fim aos parâmetros de manutenção preventiva.

A decisão de inclusão da planilha de estrutura de produto permite manter análises de desenvolvimento de produto orientado à manutenibilidade independentes de outras análises ou de outros materiais (como por exemplo BOM's de processo). Observa-se que a natureza da estrutura de produto está em fase com a estrutura da ferramenta de manutenibilidade o que permite a inclusão deste instrumento dentro da ferramenta proposta.

#### **4.5 Metodologia de aplicação do conjunto de diretrizes de manutenibilidade e da ferramenta de manutenibilidade.**

Durante o desenvolvimento de produto, é recomendado que a orientação de manutenibilidade ocorra desde as etapas iniciais do processo. Esta recomendação permite economia em tempo e recursos por evitar alterações posteriores de projeto de produto. A forma esquemática de utilização do conjunto de diretrizes de manutenibilidade está apresentado na figura 14.



**Figura 14** Esquema para aplicação do conjunto de diretrizes de manutenibilidade e ferramenta de manutenibilidade

O conteúdo do presente trabalho pode ser aplicado durante as etapas de projeto conceitual e preliminar do projeto com ganhos práticos nos termos de orientação de manutenibilidade e durante a etapa de projeto detalhado, onde há ganhos para a manutenibilidade prática do produto.

Durante o projeto conceitual, tanto o conjunto de diretrizes proposto quanto a ferramenta tomam a forma de um conjunto de requisitos que a concepção do produto deve atender a fim de se garantir o bom resultado de manutenibilidade do produto. Nesta etapa considera-se também o emprego das diretrizes de suporte à concepção do produto, dado que permitem orientar o desenvolvimento de produto, sugerindo meios para se atender os requisitos propostos de manutenibilidade. Esta forma é recomendada devido ao fato que o produto pode ser descrito como um conjunto de funções a desempenhar e um conjunto de componentes necessários para o desempenho da dada tarefa.

No projeto preliminar, o conjunto de diretrizes já pode ser usado como um conjunto de listas de verificações a serem executadas no projeto do produto. A ferramenta por sua vez, permite calcular os primeiros resultados práticos e quantitativos de manutenibilidade desde esta etapa. Deve-se apontar que em ambas as fases de projeto mencionadas, o conjunto de diretrizes e a ferramenta afetam a concepção do produto.

A aplicação do conjunto de diretrizes e da ferramenta de manutenibilidade durante a etapa de projeto detalhado permite avaliar a qualidade do projeto com relação a manutenibilidade, dado que esta é a etapa do processo onde o produto ganha sua forma final. Ainda é possível aplicar os conceitos apresentados pelo conjunto de diretrizes, entretanto, as orientações propostas tomam a forma de métodos de retrabalho e reprojeção do produto.

Tanto o conjunto de diretrizes quanto a ferramenta de manutenibilidade também podem ser aplicados a produtos cujo ciclo de desenvolvimento já tenha sido completado, isto é, pode-se estudar produtos acabados. Antes de se iniciar a orientação do parâmetro neste caso é necessário verificar se o produto permite ser reprojetado. Se esta possibilidade existe, o estudo do produto (através de meios como: *teardown*, engenharia reversa, reavaliação do projeto do produto) deve ser conduzido para que os pontos que não estejam de acordo com as orientações de manutenibilidade possam ser determinados para correção através de reprojeção. Se o reprojeção não é possível, as não conformidades devem constituir então a lista de lições aprendidas de boas práticas de projeto.

#### **4.6 Validação reversa da ferramenta.**

Finalizada a concepção da ferramenta, o procedimento de validação empregado teve como objetivo verificar se o conjunto de diretrizes proposto é capaz de melhorar o projeto do produto.

Para esse procedimento, o aspirador de pó continuou como produto em análise de manutenibilidade. Este produto foi novamente avaliado dentro dos parâmetros de manutenibilidade apontados pelo conjunto de diretrizes através da ferramenta.

O conjunto de diretrizes foi validado a partir da análise da relevância dos parâmetros incluídos no conjunto de diretrizes. Isto é, se os parâmetros que são apontados pelo conjunto de diretrizes podem ser aplicados a diferentes produtos (deve-se salientar que as referências consultadas são de origem militar, o que pode torna-las demasiadamente específicas em múltiplos casos) e se os pontos analisados são efetivos na necessidade de correção de concepção do produto para a adequação aos parâmetros de manutenibilidade.

Através destes parâmetros, o conjunto de diretrizes se provou válido, por permitir apontar os pontos em que a presente concepção do produto não se mostra

adequada aos parâmetros de manutenibilidade.

A ferramenta se mostrou durante esta fase mais fácil de ser entendida e trabalhada do que no trabalho com as listas de verificação fornecidas pelas referências, por ser mais curta que as análises propostas pelo manual DOD-HDBK-791 (1986) e menos suscetível a variações de análise por não haver a necessidade de se dar pesos aos parâmetros de análises como apontam Cunningham e Cox (1967). Os resultados das análises conduzidas através do uso da ferramenta e a consequente discussão dos mesmos, estão presentes no capítulo 5.

A maior vantagem do uso da ferramenta é o fornecimento imediato de medidas de correção do projeto de produto, o que facilita o trabalho de correção do projeto, por indicar diretamente qual das diferentes orientações de manutenibilidade fornecidas pela MIL-HDBK-470A (1997) devem ser empregadas na correção do projeto.

Ainda no contexto da validação do conjunto de diretrizes, a tabela 4 apresenta exemplos de pontos de verificação nas quatro planilhas finais de análise, apontando os meios para a correção da concepção e os comentários relativos a concepção do produto aspirador de pó. Nesses exemplos, são mostrados em cada um dos tópicos de manutenibilidade exemplos de pontos onde a concepção do produto foi bem sucedida, onde foi falha e também pontos de estudo não aplicáveis a concepção do produto.

**Tabela 4 – Exemplo de aplicação do conjunto de diretrizes através da ferramenta.**

**(continua)**

Questão	Avaliação			Medida de correção	Comentário
	Sim	Não	N/A		
<b>Conceitos Básicos de Manutenibilidade</b>					
Componentes com falhas prejudiciais ao desempenho do produto possuem fácil acesso?		<b>X</b>			Acesso do motor é impedido por múltiplos componentes
O uso do menor conjunto de ferramentas para a manutenção é usado?	<b>X</b>				Poucas ferramentas são necessárias para as atividades de manutenção
Sistemas modulares ou descartáveis são usados?			<b>X</b>		O produto não possui módulos descartáveis, logo a questão não se aplica

**Tabela 4 – Exemplo de aplicação do conjunto de diretrizes através da ferramenta.**

**(continua)**

Acessibilidade					
Alças são projetadas para que possam ser convenientemente guardadas			X		Dado que o peso do componente é inferior a 110N, alças não são necessárias
O uso de cada ferramenta foi avaliado a fim de se avaliar se são realmente necessárias, ou se podem ser substituídas por outras já especificadas/usadas	X				Apenas uma ferramenta é necessária para realização de tarefas de manutenção.
Existem meios para inspeção visual?		X		Use janelas transparentes (as janelas devem ser resistentes a riscos e fáceis de limpar), aberturas de abertura fácil, ou nenhuma cobertura (se possível para permitir acesso visual onde necessário).	O produto não apresenta meios para a inspeção visual
Modularidade					
Quando uma montagem pode ser feita com mais de uma submontagem modular, a montagem principal é constituída de módulos os quais podem ser removidos sem a necessidade da remoção de outros módulos?		X		Módulos não devem ser encapsulados dentro de outros módulos.	O módulo do motor é encapsulado no módulo da carenagem
Os módulos podem ser testados de forma passa não passa?	X				Todos os módulos funcionais podem ser avaliados por modo passa ou não passa
Sistemas de desconexão rápida foram usados para permitir a facilidade na remoção do módulo?		X		Conexões livres de ferramentas devem ser preferidas.	Módulo do motor e cabos só é desmontável com uso de ferramentas

**Tabela 4 – Exemplo de aplicação do conjunto de diretrizes através da ferramenta.**

**(conclusão)**

Manutenção preventiva					
Se há diferentes lubrificantes, há maneira de identificá-los com facilidade?			X		Há apenas um tipo de lubrificante sendo empregado no sistema
Os componentes são projetados para que possam ser limpos com materiais e consumíveis comuns?	X				Não há a necessidade de procedimentos especiais de limpeza
Peças que possam sofrer com corrosão são protegidas?		X			Peças do motor podem estar expostas à corrosão
A leitura do manual pode ser feita com facilidade por quem pouca escolaridade	X				O manual foi escrito da forma mais simples possível.

## 4.7 RESULTADOS

Os resultados são observados em duas frentes i) através da análise dos resultados da aplicação do conjunto de diretrizes e, ii) através dos efeitos que possuem no desenvolvimento do produto, ou neste caso nas, alterações implicadas na concepção do produto.

### 4.7.1 Análise dos resultados da ferramenta de manutenibilidade

A análise de manutenibilidade do aspirador tem seu resultado apresentado na tabela 5, esta tabela é a transcrição da planilha “Resumo da Análise” da ferramenta. Nesta tabela apresenta-se os resultados conforme a classe em que se enquadram nas duas formas de análise, a forma efetiva e a forma geral de análises.

**Tabela 5 – Resultados da Análise do Aspirador na Ferramenta de Manutenibilidade**

RESUMO DAS PROPRIEDADES DE MANUTENIBILIDADE DO PRODUTO - Visão Geral				
Aderência à conceitos básicos de manutenibilidade	Resultados (%)			Avaliação
	Adequação	Não adequação	Não influência	
Mantenibilidade básica	74%	13%	13%	Resultado regular: revisão de projeto necessária
Acessibilidade	60%	16%	24%	Resultado regular: revisão de projeto necessária
Modularidade	86%	14%	0%	Bom resultado: correções menores de modularidade devem ser conduzidas
Manutenção preventiva	62%	8%	31%	Resultado regular: revisão de projeto necessária

RESUMO DAS PROPRIEDADES DE MANUTENIBILIDADE DO PRODUTO - Visão Efetiva				
Aderência à conceitos básicos de manutenibilidade	Resultados (%)		Avaliação	
	Adequação	Não adequação		
Mantenibilidade básica	85%	15%	Bom resultado: correções menores de manutenibilidade devem ser conduzidas	
Acessibilidade	79%	21%	Bom resultado: correções menores de manutenibilidade devem ser conduzidas	
Modularidade	86%	14%	Bom resultado: correções menores de manutenibilidade devem ser conduzidas	
Manutenção preventiva	89%	11%	Bom resultado: correções menores de manutenibilidade devem ser conduzidas	

**Tabela 6 - Resultado final da análise do produto através da ferramenta**

Resultado final de manutenibilidade do produto:	84%	Bom resultado: correções menores de manutenibilidade devem ser conduzidas
---	-----	---

A comparação dos resultados de análise fornecido pela da ferramenta e os resultados medidos através do manual DOD-HDBK-791 (1986) mostram resultados semelhantes nas análises de acessibilidade e de modularidade. A análise de acessibilidade teve como resultados: 79% de adequação segundo a ferramenta contra 72% de adequação segundo o DOD-HDBK-791. Quanto a modularidade, o aspirador se adequou à 92% dos parâmetros através da análise do manual

enquanto obteve 86% na análise pela ferramenta proposta.

A análise de manutenção preventiva é aquela em que a maior diferença entre os resultados foi observada. O aspirador quando analisado através do manual DOD-HDBK-791 (1986) obteve 59% de adequação aos parâmetros de manutenibilidade, enquanto a ferramenta apontou 89% de adequação. A razão dessa diferença é que a análise de manutenção preventiva do conjunto de diretrizes proposto engloba os fatores de simplificação e padronização em seu escopo de análises, enquanto o manual, por sua vez, conduz análises separadas destes tópicos. Na análise do manual o aspirador obteve níveis de adequação de: 92% nos parâmetros de simplificação, 89% nos parâmetros de padronização e 73% nos parâmetros de intercambialidade, a combinação desses resultados e a adequação do aspirador aos parâmetros apontados que modificam o resultado da análise de manutenção preventiva.

A ferramenta por sua vez, se mostra prática para orientação de manutenibilidade. Sua implementação através do Microsoft Excel a torna ainda mais simples de ser usada, por incorporar diversos recursos que o software disponibiliza. Entretanto, a escolha da concepção da ferramenta na forma de planilhas a torna menos próxima dos softwares de CAD empregados no desenvolvimento do produto. Isto pode tornar as análises mais lentas e difíceis de serem verificadas, dado que o projetista é a única interface entre a ferramenta e o produto no momento das análises.

#### **4.7.2 Análise das modificações de concepção introduzidas pelo conjunto de diretrizes de manutenibilidade**

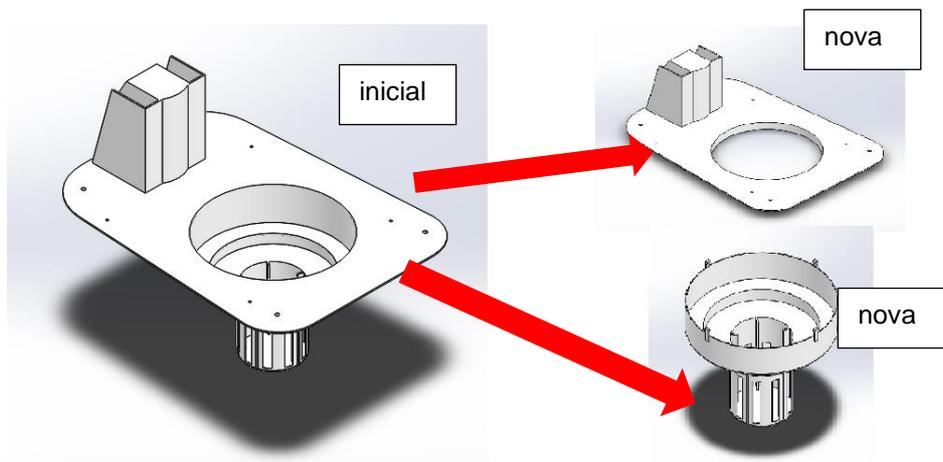
As modificações na concepção do produto são apresentadas na tabela 7 onde são apontadas mudanças de concepção e os tópicos nos quais se enquadram. Nessa tabela são listadas também as mudanças que podem ser executadas para melhorar a concepção do produto diante o parâmetro de manutenibilidade. Estas decisões podem ser tomadas seja pelo projetista sozinho, seja pela equipe de projeto como um todo.

**Tabela 7 – Resumo das modificações da concepção do produto**

Nº	Problema – Inadequação	Tópico afetado	Mudança executada
1	Número de parafusos entre as peças 2 - 3	Acessibilidade	Redução do número de parafusos
2	Encapsulamento do motor	Acessibilidade	Modificação do projeto da peça 3
3	Montagem dos cabos elétricos no motor	Modularidade	Modificação da divisão dos componentes do módulo
4	Montagem da peça 4	Acessibilidade	Remoção dos parafusos e readequação da fixação

A primeira modificação apontada na tabela 7 diz respeito ao número de parafusos empregados na montagem do aspirador. Neste par de peças eram observados 7 parafusos que uniam as peças 2 – carenagem superior e 3 – carenagem interna. Com a modificação da concepção, essas duas peças passam a ser unidas por 4 parafusos.

A modificação número 2 da concepção do produto faz da peça 3 duas novas peças para que o acesso do motor seja facilitado, esse novo par de peças é por sua vez fixo por pinos de fixação para que não haja a necessidade do uso de ferramentas para sua desmontagem, como poder ser visto na figura 15. Entretanto, essa modificação não surtiria efeitos práticos sem a modificação 3.



**Figura 15** Modificações na concepção da peça 3 - carenagem interna. Ao lado esquerdo encontra-se a concepção atual, enquanto ao lado direito estão as novas concepções.

A terceira modificação corresponde a alteração na divisão do módulo do motor e cabos elétricos. Na concepção atual, este conjunto configura-se como um único elemento, entretanto há perdas de manutenibilidade pois a desmontagem do motor implica na desmontagem dos cabos. A modificação proposta consiste em no uso de dispositivo de desconexão rápida entre o motor e os cabos elétricos, o que os torna dois módulos independentes um do outro. Isso permite além da facilidade de desmontagem, possibilidade de testes independentes nos dois módulos, o que facilita a detecção das falhas.

A última modificação se refere a peça 4 – carenagem interna superior do motor. Este componente mantém os cabos elétricos em seu lugar e fornece melhor suporte mecânico para o motor elétrico. As modificações empregadas nessa peça têm como objetivo eliminar a necessidade de parafusos nesse componente através do uso de pinos de localização e travamento por interferência com a carenagem externa do produto como pode ser observado na figura 16.

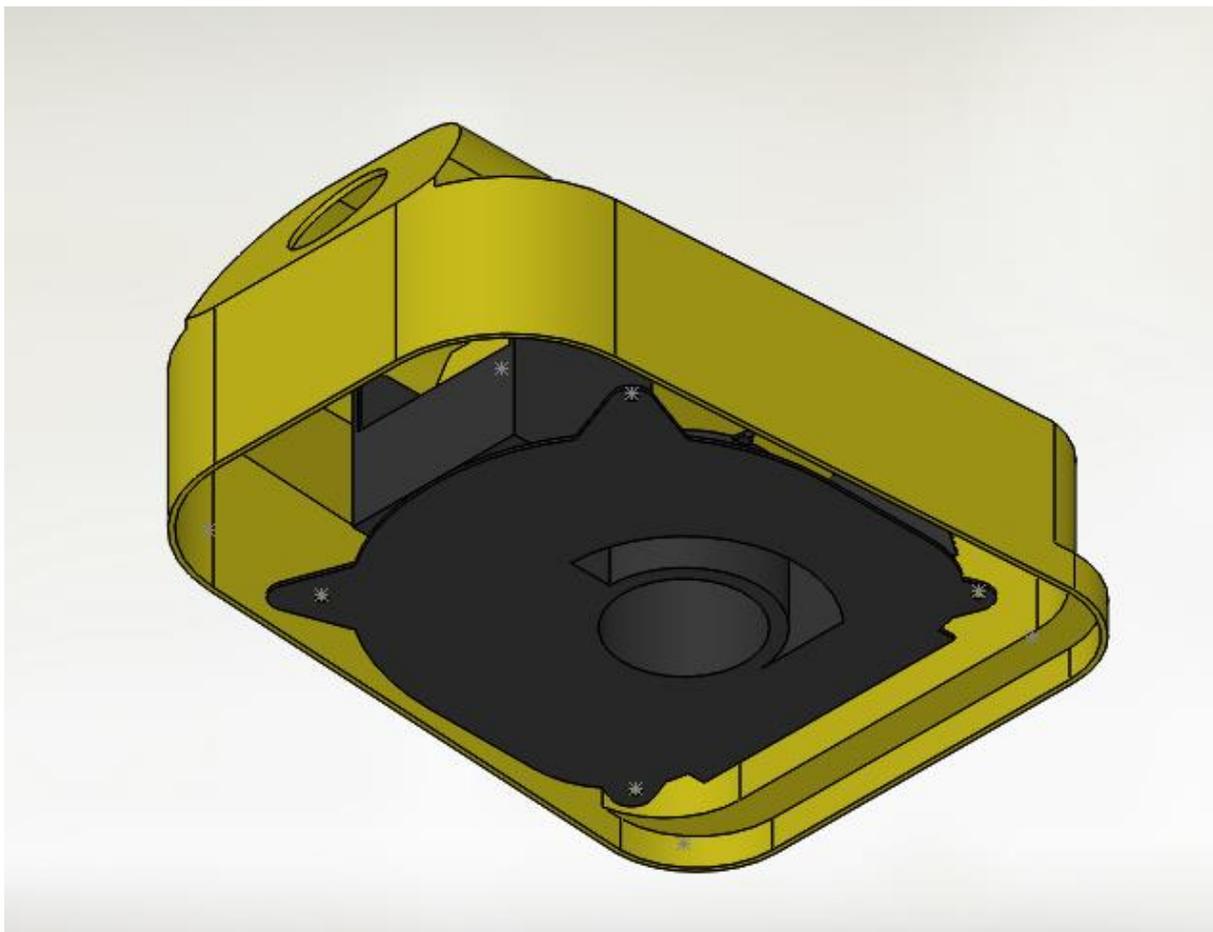


Figura 16. Nova proposição de montagem da carenagem superior do motor

## 5 CONCLUSÕES

A estruturação de diretrizes para a orientação do parâmetro de manutenibilidade durante as etapas iniciais de projeto constituiu uma oportunidade de aplicar os conhecimentos adquiridos durante o curso de engenharia mecânica da UTFPR quanto, de propor uma solução para um problema encontrado por diversas equipes de projeto durante o desenvolvimento de suas atividades.

O trabalho permitiu o desenvolvimento de uma solução capaz de orientar o desenvolvimento de produto para manutenibilidade desde sua etapa mais inicial, auxiliando os projetistas pouco experientes na orientação do parâmetro de manutenibilidade. Todavia a solução apresentada é capaz de orientar a manutenibilidade apenas, o que pode implicar em decisões que venham a prejudicar outras especificações de projeto de produto.

O estudo de caso permitiu verificar que as listas de verificação são meios capazes de fornecer bons resultados de análise, mas que não são formas propriamente robustas para as orientações durante o projeto. Pôde-se também observar que: i) as análises de manutenibilidade são reativas a concepção do produto; ii) as análises possuem poucas interfaces com as outras orientações de projeto de produto.

O estudo de caso também permitiu observar o que a orientação de manutenibilidade não é um objetivo alcançado de forma simples. Ainda se aponta que as orientações de manutenibilidade podem estabelecer conflitos com outras orientações de projeto. Esses conflitos conduzem a decisões específicas de qual parâmetro será usado no produto.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, a principal dificuldade sentida foi o número restrito de referências que estudam este assunto, especialmente fora do contexto de desenvolvimento de materiais com aplicação militar. Isso configura uma dificuldade na aplicação dos parâmetros de manutenibilidade fora deste contexto, dado as necessidades específicas que este setor possui.

O legado deste trabalho é um conjunto conciso e prático de diretrizes de manutenibilidade quando comparado com os diferentes materiais que permitem este estudo, ele permite também que as equipes de projeto tornem seus produtos mais

manuteníveis através da análise de múltiplos pontos dentro de tópicos específicos de projeto. A ferramenta desenvolvida a partir deste conjunto de diretrizes também faz parte do legado, sendo a forma prática de se aplicar o conjunto de diretrizes por meios computacionais.

### **5.1 Recomendações para trabalhos futuros**

O presente trabalho deixa como recomendações para trabalhos futuros os seguintes pontos: i) o desenvolvimento de uma ferramenta que possa executar as análises de manutenibilidade com menor intervenção dos projetistas; ii) o estudo das interfaces que a manutenibilidade possui com outras orientações de desenvolvimento de produto.

O primeiro apontado como recomendação pode vir a ser desenvolvido como um adendo a um software de CAD já existente no mercado, o que pode tornar as análises independentes dos projetistas no que diz respeito a adequação da concepção do produto aos parâmetros de manutenibilidade.

A segunda recomendação diz respeito ao estudo dos meios com os quais a manutenibilidade se relaciona com outras orientações de projeto de produto, como mostrado na figura 1 a manutenibilidade possui forte relação com a confiabilidade. Durante o desenvolvimento deste trabalho, foi observado a falta de meios que permitam ao projetista decidir qual orientação de projeto deve ser empregada para atender os requisitos dos clientes dos produtos:

- a) Pode-se orientar manutenibilidade sem a necessidade de sacrificar a confiabilidade do produto?
- b) Decisões de projeto que favoreçam a manufatura auxiliam a manutenção do produto?
- c) Orientações de manutenibilidade devem ser realizadas respeitando qual ordem dentro do desenvolvimento de produto?

## 6 REFERÊNCIAS

BLANCHARD, Benjamin S.; FABRYCKY, W. J.. **Systems engineering and analysis**. 3.ed. Upper Saddle River, NJ.: Prentice-Hall, 1998. 738p.

BLANCHARD, B. S.; VERMA, D.; PETERSON E. L. **Maintainability: A Key to Effective Serviciability And Maintenance Management**. New York: John Willey & Sons, Inc, 1995.

BRALLA, James. **Design for Manufacturability Handbook**. Boston: McGraw-Hill, c1999.

CALABRO S. R.; SGOUROS P.; Maintainability Prediction in Department of Defense Development Programs. **IEEE Transactions on Reliability**, 1, p. 21-25, 1967.

CALLISTER, William D.; **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 7. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2008. , 705 p.

COUBALIBALY, A.; HOUSSIN, R.; MUTEL B.; Maintainability and safety indicators at design stage for mechanical products. **Journal Computers in Industry**, 59, p. 438-449, 2008.

CUNNINGHAM, C. E.; COX, W. **Applied maintainability engineering**. New York: J. Wiley, 1972. 414p.

DHILLON, B.S., **Engineering Maintainability: How to Design for Reliability and Easy Maintenance**. Houston: Gulf, 1999. 253 p.

DHILLON, B.S., **Mining Equipment Reliability, Maintainability, and Safety**. London: Springer-Verlag, 2008. 209 p.

DOD-HDBK-791 – Military Handbook **Maintainability Design Techniques Metric**, Washington, U. S. Department of Defense, 1988

DOE-HDBK-1140 – Department of Energy Handbook **Human Factors/Ergonomics Handbook For The Design For Ease Of Maintenance**, U.S. Department of Energy, Washington, 2001

EBELING, Charles E. **An introduction to Reliability and Maintainability Engineering**. New York: McGraw-Hill, 1997. 486p.

ELLEN MACARTHUR FONDATION – Chapter 1: **The Art of Design for Disassembly**, Cowes, 2013. Disponível em: <[http://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/explore\\_more/think-differently-1/chapter-1-the-art-of-design-for-disassembly](http://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/explore_more/think-differently-1/chapter-1-the-art-of-design-for-disassembly)>. Acesso em 31 de agosto de 2014.

ELLEN MACARTHUR FONDATION – Chapter 2: **Design for Remanufacture**, Cowes, 2013. Disponível em: < [http://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/explore\\_more/think-differently-1/chapter-2-design-for-remanufacture](http://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/explore_more/think-differently-1/chapter-2-design-for-remanufacture) >. Acesso em 31 de agosto de 2014.

MIL-HDBK-470A – Military Standardization Handbook. **Designing and Developing Maintainable Products and Systems**, Washington, U.S. Department of Defense, 1997.

MIL-HDBK-471A – Military Standard. **Maintainability Verification / Demonstration / Evaluation**, Washington, U.S. Department of Defense, 1971.

MIL-STD-472 – Military Standardization Handbook. **Maintainability Prediction**, Washington, U.S. Department of Defense, 1966.

MIL-HDBK-472 – Military Standardization Handbook. **Maintainability Prediction**, Washington, U.S. Department of Defense, 1984.

MIL-HDBK-759C – Military Standardization Handbook. **Handbook for Human Design Guidelines**, Washington, U.S. Department of Defense, 1995.

MOSCHETO, Andre Diogo. **Desenvolvimento de um conjunto de diretrizes e ferramenta computacional para endereçar o parâmetro de manutenibilidade no PDP**. 2009. 229 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. Área de Concentração em Engenharia de Manufatura, Curitiba, 2009.

MOSS, Marvin A. **Applying TQM to product design and development**. New York: M. Dekker, 1996. 412 p.

OLIVEIRA, C.B.M. **Estruturação, identificação e classificação de produtos em ambientes integrados de manufatura**. 1999. 104p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

OTTO, Kevin N.; WOOD, Kristin L.. **Product design: techniques in reverse engineering and new product development**. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, c2001. 1071 p.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K **Engineering Design a systematic approach** 3rd ed. London: Springer-Verlag, 2007. 617 p.

PRIBERAM, “Manutenibilidade”, Disponível em <<http://priberam.pt/dlpo/manutenibilidade>>. Acesso em 24 de janeiro de 2014.

RENAULT COMMUNICATIONS, **Renault et les grands enjeux de l'économie circulaire // environnement (version longue)**. Boulogne-Billancourt. 2014. 485 s. Disponível em <<http://youtu.be/gZ15YcwNsQU?list=UUjpe-FourUgOLzzPu9qV4qg>>. Acesso em 31 de agosto de 2014.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma Referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Editora Saraiva. 2006.

STAPELBERG, R. F. **Handbook of Reliability, Availability, Maintainability and Safety in Engineering Design**. London: Springer-Verlag, 2009. 827 p.

## APÊNDICE A – TABELAS DE ORIENTAÇÃO DE MANUTENIBILIDADE

Nessa seção, são apresentadas as tabelas com o conjunto de diretrizes desenvolvido. As tabelas são apresentadas na sequência proposta para estudo.

Como discutido no capítulo 4 a ordem de análises segue a sequência indicada na figura 17.

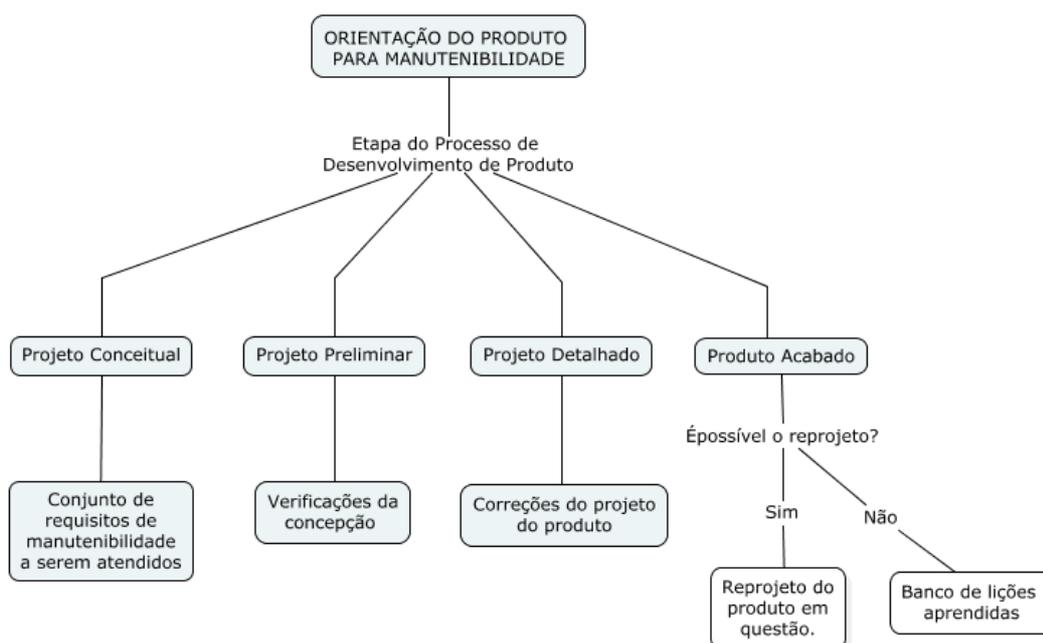


Figura 17 Esquema para aplicação do conjunto de diretrizes de manutenibilidade e ferramenta de manutenibilidade

### A.1. Conceitos básicos de manutenibilidade

A tabela 8 contém os parâmetros básicos de manutenibilidade que devem ser respeitados durante o desenvolvimento de produto. Conforme a etapa de projeto, podem atuar como instruções de desenvolvimento, bem como lista de verificação da concepção do produto. Este conjunto de parâmetros foi determinado a partir do manual MIL-HDBK-759C (1995), Cunningham e Cox (1967) e, MIL-HDBK-470A (1997).

Tabela 8 – Conceitos básicos de manutenibilidade

(continua)

Com relação aos conceitos básicos de manutenibilidade a concepção do produto respeita esses pontos?				
#	Princípio	Princípio aplicado no projeto?		
		Sim	Não	N/A
1	Projete as aberturas de acesso, superfícies de trabalho para que os componentes estejam com boa acessibilidade para a equipe de manutenção			
2	Use sistemas e soluções bem conhecidos.			
3	Componentes de baixa confiabilidade devem ser localizados com fácil acesso (passam por mais intervenções de manutenção)			
4	Componentes com falhas prejudiciais ao desempenho do produto possuem fácil acesso?			
5	Para a manutenção do produto em desenvolvimento, as ferramentas que são necessárias fazem parte do grupo de ferramentas já empregadas na manutenção de outros produtos. (Nenhuma ferramenta nova está sendo proposta?)			
6	Determine toda a documentação necessária para a equipe de manutenção			
7	Simplifique todas as operações de manutenção			
8	Use sistemas modulares ou descartáveis			
9	Use autolubrificação sempre que possível			
10	Use sistemas selados de lubrificação			
11	Empregue sistemas com autoregulação ou calibração			
12	Engrenagens são usadas no lugar de correias sempre que possível			
13	Tarefas de manutenção devem ser minimizadas			
14	O projeto dos componentes deve ser o mais simples possível			
15	Falhas devem ser fáceis a observar			

**Tabela 8 - Conceitos básicos de manutenibilidade****(conclusão)**

16	Todos os componentes são obrigatoriamente identificados quanto a medidas necessárias para descarte ou reparo			
17	Parafusos com torques específicos não devem ser usados			
18	Procedimentos de manutenção devem ser capazes de serem executados por pessoas com pouca instrução.			
19	O uso do menor conjunto de ferramentas para a manutenção é obrigatório			
20	Sistemas que passam por manutenção com maior frequência devem ser os mais fáceis de acessar			
21	A boa segurança da equipe de manutenção deve ser preservada			
22	O produto deve passar por manutenção através de sua parte superior ao invés da parte inferior			
23	Montagem e desmontagem devem ser facilitadas			

**A.2. Acessibilidade:**

A tabela 9 apresenta o conjunto de parâmetros de acessibilidade que devem ser avaliados para a correta orientação de manutenibilidade. Esse conjunto de parâmetros foi estabelecido pela análise do manual DOD-HDBK-791 (1986) e o livro de Cunningham e Cox (1967)

Tabela 9 – Conjunto de diretrizes de acessibilidade

(continua)

Avaliando a acessibilidade dos componentes do produto, sua concepção se adequa a estes parâmetros?					
	Questão	Avaliação			Medida de correção
		Sim	Não	N/A	
1	Acessibilidade é otimizada para todos os componentes que requerem manutenção, inspeção, remoção e troca?				Localize os componentes que necessitam de manutenção frequente de modo que sejam fáceis de observar, testar, reparar.
2	Existe meios para inspeção visual				Use janelas transparentes (as janelas devem ser resistentes a riscos e fáceis de limpar), aberturas de abertura fácil, ou nenhuma cobertura (se possível para permitir acesso visual onde necessário).
3	As aberturas sem cobertura (tampas) usadas em locais que não afetem a performance				Se possível elimine a cobertura (tampa)
4	Carenagens fornecem espaços suficientes para (se necessário) manusear os elementos que estão em seu interior?				Projete os componentes de modo a haver espaço necessário para manuseá-los, incluindo tubulações e dispositivos de fixação
5	Componentes funcionais são localizados de modo que as estruturas do produto não impeçam os acessos à elas?				Evite estruturas que possam "aprisionar" o componente

Tabela 9 – Conjunto de diretrizes de acessibilidade

(continua)

6	Componentes descartáveis ou com alta taxa de falhas são montados de forma que não necessitem da retirada de outros componentes				Componentes descartáveis devem ser montados mais próximo possível do exterior do produto. Recomenda-se uso de dispositivos de fixação de dispensem ferramentas
7	Unidades com peso superior a 110N são instaladas no alcance normal do operador (não estão sobre a cabeça ou muito próximas do solo) quando estas estão submetidas à substituição?				Adeque o projeto às limitações humanas.
8	Há previsão de suporte de equipamentos quando estes estão sendo removidos ou instalados?				Localize os componentes que necessitam de manutenção frequente de modo que sejam fáceis de observar, testar, reparar.
9	As carenagens podem proteger componentes frágeis, e os operadores?				As coberturas não devem oferecer riscos aos operadores. Sempre que possível devem poder permanecer abertas por seus próprios meios
10	Há identificação adequada de - Equipamentos atrás da porta? - Perigos possíveis atrás da porta (calor, elétrico...)? - Uso adequado de ferramentas				Não hesite em incluir etiquetas no produto

Tabela 9 – Conjunto de diretrizes de acessibilidade

(continua)

11	Há instruções adequadas para acessar os componentes?				Para todos os componentes que possam necessitar de cuidados especiais, colar etiqueta com instruções em local próximo ao componente. Esta deve ser clara e de fácil compreensão para pessoas com pouca instrução
12	Acessos indicam a frequência de manutenção?				Use etiquetas sempre que necessário
13	Fatores ambientais (como frio, calor, chuva...) considerados no projeto e na manipulação de todos os itens do equipamento?				Componentes sensíveis ao ambiente devem ser encapsulados (protegidos), através de coberturas que possam ser removidas sem o uso de ferramentas e que possam permanecer abertas por seus próprios meios
14	Fusíveis estão localizados de modo que possam ser acessados sem desmontagens de outros itens?				Como fusíveis são componentes descartáveis, devem ser de fácil remoção. Recomenda-se que a tampa do compartimento que os contém traga indicações claras dos tipos de fusíveis
15	Se os fusíveis estão agrupados, eles estão identificados				Todos os fusíveis necessitam de identificação
16	Os furos para a montagem de parafusos nas carenagens indicam caso haja a necessidade de perfeito alinhamento?				Prefira leiautes de parafusos que permitam apenas um sentido de montagem

Tabela 9 – Conjunto de diretrizes de acessibilidade

(continua)

17	É impossível fechar a carenagem de forma errada, e se está fechada dessa forma, isso é facilmente observado?				A montagem deve ser capaz de se mostrar remontada inadequadamente por seus próprios meios
18	Até seis parafusos são usados por par de componentes?				Use o menor número de parafusos possível. Se necessário, repita especificação mais robusta de parafuso encontrada no produto
19	Em portas articuladas, elas podem ser mantidas abertas sem o uso das mãos?				
20	Alças são projetadas para que possam ser convenientemente guardadas				Sempre que possível, as alças devem ser capazes de serem recolhidas
21	Todos os parafusos são do mesmo tipo e com o mesmo torque				Empregue a menor variabilidade possível de parafusos no sistema.
22	O uso de cada ferramenta foi avaliado a fim de se avaliar se são realmente necessárias, ou se podem ser substituídas por outras já especificadas/usadas				Especifique o menor número possível de ferramentas para serem empregadas no produto.
23	O número de dispositivos de fixação (parafusos, porcas, travas...) foi reduzido ao máximo?				Use o menor número possível de elementos de fixação. Se possível, evite carenagens completamente separáveis umas das outras
24	Locais onde parafusos são necessários são facilmente visíveis com a luz ambiente?				Sempre localize os parafusos. Se necessário use setas e esquemas para tal.

**Tabela 9 – Conjunto de diretrizes de acessibilidade****(conclusão)**

25	Fatores da anatomia humana foram levados em conta no projeto?				Se possível especifique as atividades de manutenção para que sejam capazes de serem realizadas por 75% dos seres humanos, em termos de força e dimensões do corpo humano.
----	---	--	--	--	---

**A.3. Modularidade:**

A tabela 10 apresenta os parâmetros do projeto de modularidade que devem ser respeitados durante o projeto para manutenibilidade. Ela se foca nos pontos onde este parâmetro se acorda com a orientação de manutenibilidade. A tabela foi formulada a partir dos dados apresentados pelos manuais DOD-HDBK-791 (1986), MIL-HDBK-470A (1997) e Cunningham e Cox (1967).

**Tabela 10 – Conjunto de diretrizes de modularidade****(continua)**

Avaliando a modularidade dos componentes do produto, sua concepção se adequa a estes parâmetros?					
	Questão	Avaliação			Medida de correção
		Sim	Não	N/A	
1	O equipamento é dividido em tantas unidades modulares (mecânica, elétrica, eletrônica), de forma mais prática em tentar manter o melhor uso do espaço e dos requisitos gerais de disponibilidade e manutenção?				Divida o equipamento em unidades modulares. Módulos são unidades funcionais independentes entre si, que não são capazes de implementar a função do produto.
2	Há busca por soluções simples no sistema?				Prefira soluções simples e robustas a soluções complexas sempre que possível.

Tabela 10 – Conjunto de diretrizes de modularidade

(continua)

3	Os componentes são padronizados?				Use componentes comerciais ou já usados em outros produtos.
4	Há o uso do menor número de componentes respeitando os requisitos de redundância?				Não especifique mais componentes que o estritamente necessário para assegurar o bom funcionamento do sistema.
5	Todas as funções são realmente necessárias?				Instale no produto apenas as funções realmente necessárias exigidas pelos clientes.
6	Os módulos são livres de componentes caros e/ou pouco confiáveis?				Nenhum módulo deve ser descartado em decorrência da falha de apenas um componente (componente pouco confiável). Módulos devem também ser preferencialmente descartáveis (operacionalmente) e não reparáveis (em campo).
7	Os módulos são eles uniformes em tamanho, forma e melhor embalagem possível?				Mantenha os módulos com tamanhos semelhantes (evite um módulo grande demais em relação aos outros módulos).
8	Todas as peças que compõem um módulo contribuem para uma função única e comum?				Um módulo implementa uma única função dentro do produto.
9	Os módulos permitem testes operacionais de confiabilidade, ao mesmo tempo que não necessitem de muitos ajustes?				Módulos devem ser testados de forma independente do produto. Todos os módulos devem ser instalados sem necessidade de ajustes.
10	A divisão em módulos acompanha o projeto funcional do equipamento?				Cada módulo responde por uma parcela da função do produto, seguindo a função principal do produto.

Tabela 10 – Conjunto de diretrizes de modularidade

(continua)

11	Quando uma montagem pode ser feita com mais de uma submontagem modular, a montagem principal é constituída de módulos os quais podem ser removidos sem a necessidade da remoção de outros módulos?				Módulos não devem ser encapsulados dentro de outros módulos.
12	Os módulos foram projetados para que possam ter remoções e substituições rápidas de unidades com defeitos podem ser desmontadas por apenas um técnico quando possível?				Use conexões padronizadas entre os módulos.
13	Cada módulo pode ser testado de forma independente? Se ajustes são necessários, o módulo em questão pode ser ajustado de forma independente dos outros				Cada módulo deve ser possível de ser testado de forma independente do produto como um todo. Todos os ajustes de um módulo devem ser independentes dos outros módulos
14	Os módulos podem ser testados de forma passa não passa?				Módulos devem ter falhas facilmente observáveis.
15	Sistemas de desconexão rápida foram usados para permitir a facilidade na remoção do módulo?				Conexões livres de ferramentas devem ser preferidas.
16	Os módulos padronizados e receptáculos usados para facilitar a substituição?				Cada módulo de uma classe funcional deve apresentar padrão facilitar substituições.
17	Considera-se medidas para que os módulos possam ser montados de forma única?				Posições de montagem dos módulos devem ser fornecidos Poka-Yokes devem ser empregados.

Tabela 10 – Conjunto de diretrizes de modularidade

(continua)

18	Itens que não são críticos e de baixo custo são descartáveis?				Módulos de baixo custo devem ser preferencialmente descartáveis
19	Todos os módulos encapsulados são projetados para descarte quando tenham falha? Se não o módulo possui meios para reparo?				Módulos devem ser de fácil substituição em campo. Módulos podem ser reparados em oficinas especializadas, desde que de fácil substituição em campo.
20	O nível de manutenção está especificado claramente, isto é, é focado em tempo de reparo ou custo de reparo?				Módulos respeitam as mesmas restrições de projeto que componentes a respeito de planos de substituições.
21	Os meios de teste dão resultados confiáveis a respeito das falhas dos módulos descartáveis?				Toda e qualquer falha em um módulo deve ser facilmente identificável.
22	Há indicação clara do tratamento do tratamento das falhas do módulo, isto é. Descartar ou reparar?				Use quantas etiquetas de identificação necessárias
23	O módulo pode ser recuperado/reparado?				Identificar claramente que o módulo é descartável.
24	Se o módulo possui contaminantes, há instruções para evitar contaminações durante o descarte?				Fornecer informações a respeito do descarte dos módulos.
25	Intercambialidade funcional é presente quando intercambialidade física é presente nos módulos?				Peças de dimensões e formas semelhantes pressupõem funções semelhantes. Caso não sejam, use Poka-Yokes para diferenciá-los
26	Intercambialidade completa existe sempre que possível?				Use componentes intercambiáveis, eles também auxiliam na padronização e na simplificação do produto

**Tabela 10 – Conjunto de diretrizes de modularidade****(conclusão)**

27	As diferenças em tamanho, forma e montagens dos componentes foram privilegiadas para eliminar possíveis sugestões de intercambialidade de peças que não o são?				Caso não exista intercambialidade entre componentes ou módulos use Poka-Yokes para diferenciá-los.
28	Quando a intercambialidade física não é possível, e as peças são projetadas para que a intercambialidade funcional exista, adaptadores possam ser fornecidos para permitir a intercambialidade física sempre que possível?				Se intercambialidade física não for possível, projete adaptadores. Caso contrário não aplique intercambialidade funcional

**A.4. Manutenção preventiva:**

A tabela 11 traz os parâmetros de manutenção preventiva, simplificação e padronização que devem ser aplicados durante o desenvolvimento de produto com orientação para a manutenibilidade. O conteúdo foi formulado a partir do manual DOD-HDBK-791 (1986), MIL-HDBK-470A (1997), Cunningham e Cox (1967) e MIL-HDBK-759C (1995).

**Tabela 11 - Conjunto de diretrizes de manutenção preventiva****(continua)**

Avaliando o projeto de manutenção preventiva dos componentes do produto, sua concepção se adequa a estes parâmetros?					
	Questão	Avaliação			Medida de correção
		Sim	Não	N/A	
1	Os pontos de lubrificação não necessitam de desmontagens?				Pontos de lubrificação devem ser acessados sem o uso de ferramentas

**Tabela 11 - Conjunto de diretrizes de manutenção preventiva****(continua)**

2	Lubrificantes padrão são usados ao invés de específicos?				Use apenas um tipo de lubrificante, exceto se isso não for possível devido a propriedades intrínsecas do produto.
3	Há instruções adequadas de lubrificação, capazes de identificar a frequência, e o tipo de lubrificantes necessários?				Use etiquetas para identificar todas as informações necessárias para a manutenção adequada.
4	Os bocais de alimentação de fluídos são dispostos de modo a evitar vazamentos e derramamentos?				Preveja meios para evitar vazamentos durante operações de manutenção.
5	Válvulas de segurança são instaladas sempre que possível?				Inclua válvulas de segurança para evitar acidentes com os operadores durante as operações de manutenção.
6	Todas as peças que possam necessitar de drenos (tanques de fluídos, filtros, câmeras de flutuação entre outros) os possuem?				Instale drenos em todos esses componentes. Drenos devem estar na posição mais inferior para facilitar o esgotamento dos fluidos.
7	Os drenos são padronizados e usados em poucos modelos através o sistema?				Use drenos padronizados.
8	Torneiras e válvulas são preferidas aos plugs de drenagem? Se forem realmente necessários, eles precisam apenas de ferramentas comuns, as quais possam ser usadas sem impedimentos?				Prefere-se sempre elementos que dispensem o uso sem o uso de ferramentas

**Tabela 11 - Conjunto de diretrizes de manutenção preventiva****(continua)**

9	Ajustes periódicos dos equipamentos é minimizado?				Evite sistemas que necessitem de constante ajustes. Se forem realmente necessários, forneça meios para tornar os ajustes o mais simples possível.
10	Se há diferentes lubrificantes, há maneira de identificá-los com facilidade?				Faça dos diferentes fluidos lubrificantes serem facilmente identificáveis.
11	Os componentes são projetados para que possam ser limpos com materiais e consumíveis comuns?				Evite o uso de meios especiais de limpeza do produto, torne esta operação intuitiva.
12	Peças que possam sofrer com corrosão são protegidas?				Proteja todos os equipamentos sucessíveis à corrosão.
13	A leitura do manual pode ser feita com facilidade por quem pouca escolaridade				Manuais devem ser compreensíveis para pessoas que tenham feito apenas o ensino fundamental.
14	Os requisitos de lubrificação foram minimizados?				Lubrificantes que podem ser usados por longos períodos devem ser preferidos.
15	Conexões de desligamento rápido foram usados para linhas hidráulicas, de óleo, pneumáticas usadas para todos os componentes que possam ser substituídos, em uma vida mínima em serviço para os componentes modulares				Para módulos use sempre meios de desmontagem sem necessidade de ferramentas ou de procedimentos anexos.
16	O projeto prefere componentes que requeiram pouca ou nenhuma manutenção preventiva ou periódica?				Componentes de alta confiabilidade devem ser preferidos no projeto.

**Tabela 11 - Conjunto de diretrizes de manutenção preventiva****(continua)**

17	O projeto permite sequencias funcionais e lógicas de alocações de tarefas?				Construa o sistema da forma mais intuitiva o possível para as atividades de manutenção.
18	O uso de circuitos elétricos ajustáveis foi reduzido?				Como módulos, circuitos elétricos não devem necessitar de ajustes finos durante a manutenção.
19	A montagem dos furos e suportes acomodam diferentes unidades de diferentes marcas, como motores de mesma potência, mas fabricados por fabricantes diferentes?				Projete o produto para que possa aceitar componentes de diferentes marcas.
20	São as porcas, parafusos e outros componentes de fixação do mesmo tamanho para as carenagens de um dado equipamento				Varição de tipos de parafuso deve ser sempre evitada
21	É prevista a intercambialidade para componentes que tenham altas taxas de falhas?				Especifique alternativas para componentes com altas taxas de falhas.
22	Todas as fontes de padronização foram procuradas para itens comuns, materiais e práticas?				Especifique produtos de prateleira sempre que possível.
23	Cada requisito para uma ferramenta ou equipamento de suporte foi analisado para que sejam usados o menor número possível deles ou até mesmo os eliminar?				Use de redundância somente quando esta for imprescindível para a confiabilidade do produto.

**Tabela 11 - Conjunto de diretrizes de manutenção preventiva****(conclusão)**

24	Circuitos elétricos padronizados podem ser usados e compatíveis com equipamentos de teste padronizados?				Use sempre conexões padronizadas.
25	Há a redução máxima da variedade dos circuitos elétricos?				Use do menor número possível de tipos de circuitos elétricos analógicos. Prefira circuitos integrados.
26	Componentes como dispositivos de fixação, conectores, linhas e cabos são padronizados através do sistema?				Prefira dispositivos de fixação padronizados.

**A.5. Referências**

CUNNINGHAM, C. E.; COX, W. **Applied maintainability engineering**. New York: J. Wiley, 1972. 414p.

DOD-HDBK-791 – Military Handbook **Maintainability Design Techniques Metric**, Washington, U. S. Department of Defense, 1988

MIL-HDBK-470A – Military Standardization Handbook. **Designing and Developing Maintainable Products and Systems**, Washington, U.S. Department of Defense, 1997.

MIL-HDBK-759C – Military Standardization Handbook. **Handbook for Human Design Guidelines**, Washington, U.S. Department of Defense, 1991.

## **APÊNDICE B – RELATÓRIO DE DESMONTAGEM DO ASPIRADOR DE PÓ.**

### **B.1 Objetivo:**

Avaliação do procedimento de desmontagem de aspirador de pó para análise de parâmetros de manutenibilidade

### **B.2 Procedimento:**

- a) Desmontagem do equipamento em questão com ferramentas comerciais;
- b) Avaliação dos parâmetros através das listas de verificação do manual DOD-HDBK 791 (1988)

### **B.3 Modelo:**

WAP Aero Clean.

### **B.4 Atividade relacionada:**

Trabalho de Conclusão de Curso 2.

### **B.5 Data:**

15/04/2014.

### **B.6 Elaborado por:**

Paulo Bernardo KOVALSKI.

### **B.7. Condições de teste:**

#### **B.7.1 Sistema mecânico: Aspirador de Pó:**

Modelo de aspirador de pó escolhido: WAP Aero Clean.

### Especificações:

- \* Potência elétrica: 1400W
- \* Vácuo (máximo): 150mbar
- \* Tensão: 127V ou 220V
- \* Peso: 6kg
- \* Peso com embalagem: 7kg
- \* Corrente elétrica: 11A ou 6A
- \* Motor: 1 estágio
- \* Dimensões Máquina CxLxA (mm): : 280x370x420
- \* Dimensões Embalagem CxLxA (mm): 300x390x500
- \* Recipiente: 15L
- \* Tamanho de cabo elétrico: 5m
- \* Mangueira: 1,5m

Dados do fabricante.



Figura 18 Aspirador de Pó WAP Aero Clean

### B.7.2. Ferramentas:

Conjunto de ferramentas (apresentado na figura 19):

- \* Jogo com 101 peças de parafusar multifunção;
- \* Chave de teste digital;
- \* Jogo de chaves de fenda e precisão 22 peças;
- \* Jogo de chaves “Torx” 8 peças canivete;
- \* Jogo de chaves “Allen” 14 peças – tipo canivete: de 1,5mm a 6mm e de 1/16” a 1/4”
- \* Jogo de chaves combinadas

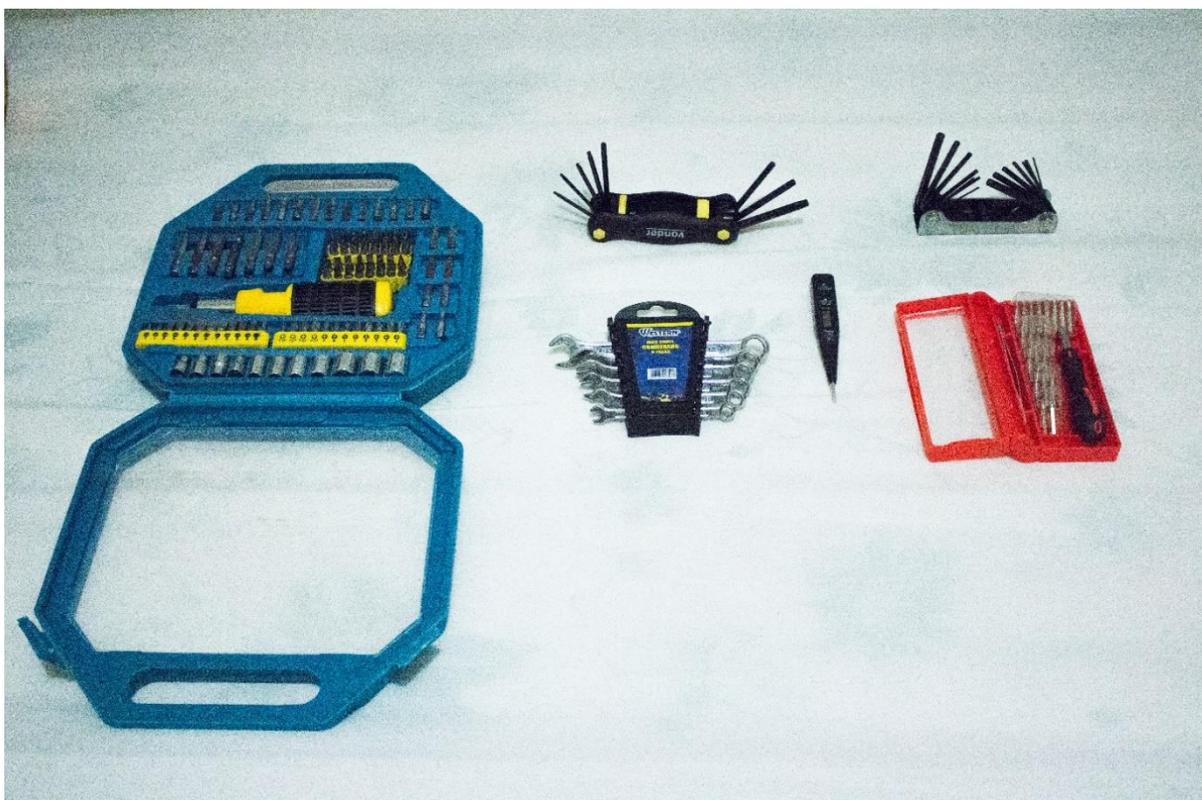


Figura 19 Conjunto de ferramentas

### B.7.3. Desmontagem do equipamento:

O processo de desmontagem do aspirador de pó tomou 30 minutos para se atingir o estado de desmontagem completa do sistema



**Figura 20 Sistema completamente desmontado**

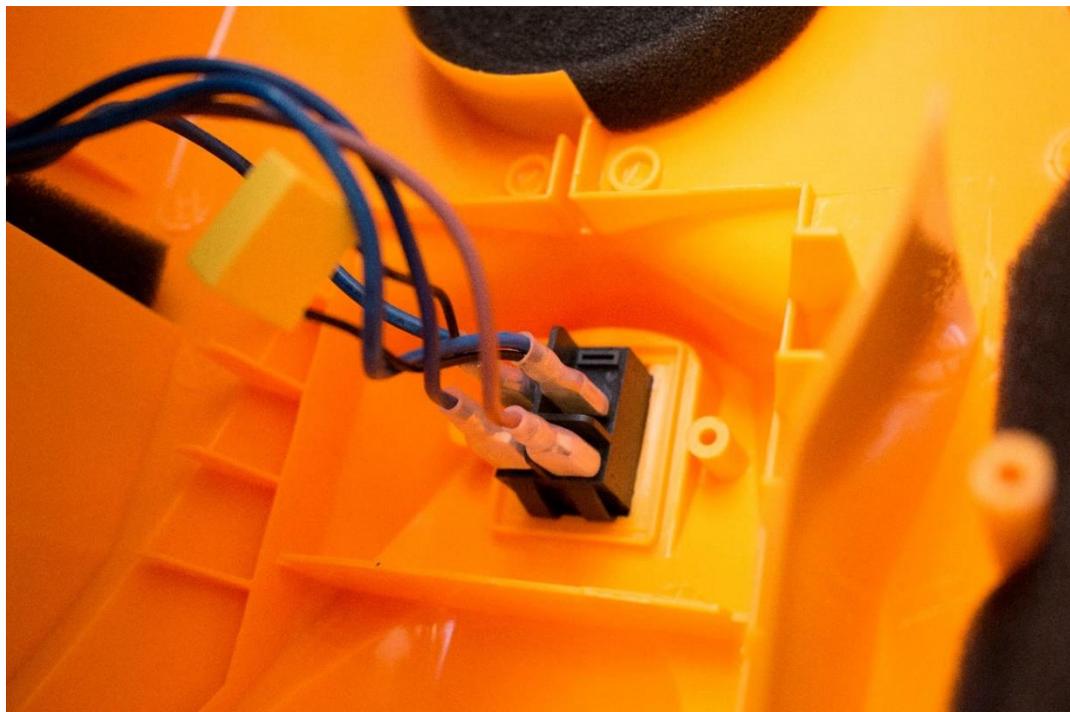
A partir da desmontagem já prevista entre a peça 1 e 2 pôde-se começar o procedimento de desmontagem através do desmonte do filtro de poeira (6); desmontagem da peça 3 e desmontagem da peça 4. Estando a peça 4 desmontada o motor (5) pode enfim ser desmontado.

A montagem da peça 3 na peça 2 é feita através de 7 parafusos, todos de mesma especificação de rosca, mas um dentre eles conta com comprimento menor que os outros. Os seis parafusos de mesmo tamanho são montados no sentido da peça 3 para a peça 2 (suas cabeças encontram-se na peça 3) enquanto o menor é montado no sentido da peça 2 para a peça 3



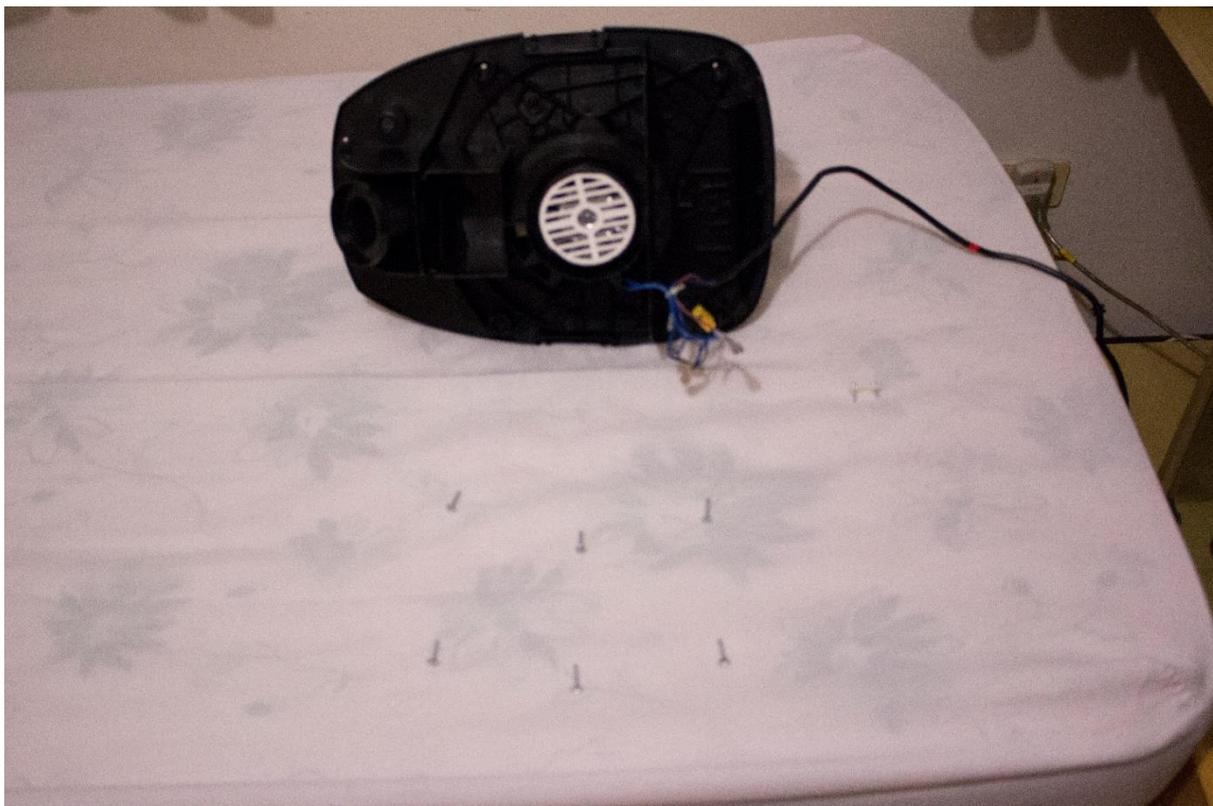
**Figura 21 Desmontagem das peças 2 e 3, parafusos de mesmo comprimento na parte inferior e parafuso de comprimento diferente no lado esquerdo da imagem**

Uma vez aberto, o sistema requer a desconexão da chave de contato elétrico com o sistema elétrico do sistema, de acordo com a figura 22:



**Figura 22 Conexões elétricas da chave de contato**

As peças 3 e 4 sustentam o motor, nelas foram encontrados seis parafusos, de mesma especificação dos seis anteriores, montados no sentido da peça 4 para a peça 3. Também foi encontrado um par de parafusos menores montados na peça 3 a fim de manter o cabo de força em posição. Uma vez desmontados esses componentes, o aspirador pode ser considerado como completamente desmontado.



**Figura 23 Peças 3 e 4**

## B.8. Avaliações através do documento DOD HDBK 791.

### B.2.1 Acessibilidade:

Tabela 12 – Acessibilidade

GERAL			
Geral	Questão	Avaliação	Comentários
1	Acessibilidade é otimizada para todos os componentes que requerem manutenção, inspeção, remoção e troca	Não	Motor elétrico construído de forma inacessível
2	Existe meios para inspeção visual	Sim	
3	As aberturas sem cobertura usadas em locais que não afetem a performance	Sim	
4	Aberturas articuladas são usadas no lugar de componentes aparafusados.	Não	Não há nenhuma articulação nas peças principais
5	Se na falta de espaço para uso de articulações nas aberturas, os componentes são mantidos no lugar por mecanismos de fácil desmontagem?	Não	Todos os componentes estruturais são presos por parafusos
6	Peças grandes não impedem o acesso à outros componentes	Não	Não há componentes, além dos estruturais, bloqueando acessos
7	Os componentes são montados com espaços suficientes para uso de sondas de testes, ferros de solda, e outras ferramentas sem dificuldades	Sim	

8	As unidades são localizadas de modo que os componentes estruturais não impeçam os acessos à elas?	Sim	Componentes unitizados, como mangueiras e rodas são externas à estrutura. Não para o motor
9	As peças são montadas em um único plano, isto é sem, não são empilhadas	Sim	Componentes são montados em um único plano vertical
10	Todos os componentes descartáveis são montados de forma que não necessitem da retirada de outros componentes	Não	Acesso ao filtro requer desmontagem
11	O equipamento é projetado para que não se necessite a desmontagem de componentes principais para detecção de problemas	Não	Problemas no motor requerem desmontagem do equipamento como um todo
12	Os componentes são montados de modo que os operadores não tenham movimentos restringidos durante as operações de manutenção?	Sim	Equipamento é facilmente manuseável
13	Controles operados por chaves de fenda permitem ajustes com a empunhadura livre de obstruções	N/A	Não há componentes deste tipo
14	quando ajustes feitos com chave de fenda devem ser feitos por toque, os parafusos são montados verticalmente a fim de evitar que a chave caia do local de montagem? Parafusos Allen e Phillips são preferidos?	N/A	Não há componentes deste tipo
15	Para as tarefas que necessitam das duas mãos e/ou braços, há espaço suficiente previsto?	Sim	Para as duas mãos, equipamento demasiado pequeno para a consideração dos braços

16	O técnico de manutenção pode facilmente ver o interior do equipamento (e a tarefa de manutenção que tem a executar) quando este já possui tanto os braços quanto as mãos no interior do equipamento?	Sim	Para as duas mãos, equipamento demasiado pequeno para a consideração dos braços
17	Acessórios como mangueiras, guias, porcas e mesas, de fácil remoção antes do manuseio do equipamento	Sim	
18	As unidades são removíveis em linha reta?	Sim	
19	Unidades com peso superior a 110N são instaladas no alcance normal do operador quando estas estão submetidas à substituição?	Sim	Equipamento pesa menos que 110N
20	Há previsão de suporte de equipamentos quando estes estão sendo removidos ou instalados?	Sim	
21	Proteções são fornecidas para que componentes frágeis não fiquem expostos à riscos durante a desmontagem?	Sim	Chave de contato elétrico é protegida pela carenagem
22	Projeto de linha de seção é usado sempre que possível?	Sim	
23	Todos os acessos de manutenção estão identificados para facilitar sua identificação, seja nos manuais ou nas instruções de trabalho?	Não	Nenhum componente possui identificação
24	Acessos são identificados para que possam ser alcançados a partir de um dado ponto?	N/A	Não há
25	Acessos indicam a necessidade de equipamentos extras para execução de tarefas após determinado ponto?	N/A	Não há
26	Acessos indicam a frequência de manutenção?	Não	
27	Componentes que requerem a abertura de mais de uma porta, são indicados a fim de evitar danos na	N/A	

	tentativa de desmontagem por acesso único?		
28	Os limites de força humana são levados em consideração a respeito dos componentes que devem ser carregados, levantados, puxados, empurrados, e virados?	Sim	
29	Fatores ambientais (como frio, calor, chuva...) considerados no projeto e na manipulação de todos os itens do equipamento?	N/A	Equipamento de pequenas dimensões para uso doméstico
30	Quando necessário, partes internas são iluminadas?	N/A	Não há necessidade
31	Fusíveis estão localizados de modo que possam ser acessados sem desmontagens de outros itens?	N/A	Não há fusíveis
32	Se os fusíveis estão agrupados, eles estão identificados	N/A	Não há fusíveis
33	A montagem dos fusíveis é feita de modo que não seja necessário usar ferramentas?	N/A	Não há fusíveis
	Sim	15	
	Não	8	
Acessos, portas e coberturas			
	Questão	Avaliação	Comentários
1	Os furos para a montagem de parafusos nas carenagens indicam a necessidade de perfeito alinhamento?	Sim	
2	As carenagens são projetadas para serem removidas e deixar as unidades e não o contrário	Sim	
3	As carenagens são grandes o suficiente para impedir danos aos fios e componentes?	Sim	
4	As carenagens são passíveis de serem montadas em apenas um sentido?	Sim	

5	As aberturas da carenagem são intuitivas? Se não há instruções para a abertura	Sim	
6	Quando as coberturas e carenagens estão fora de lugar há meios para se observar isso?	Sim	
7	Há mais de quatro parafusos que seguram a carenagem?	Sim	
8	É usado o mesmo tipo de elemento de fixação para todos os componentes da estrutura?	Sim	
9	Nas aberturas de ventilação há meios que impeçam que sondas ou condutores venham a entrar em contato com alta tensão?	Sim	
10	As portas de acesso tem formas que permitem a passagem de componentes e implementos que devam passar por elas?	Sim	
11	Em portas articuladas, elas podem ser mantidas abertas sem o uso das mãos?	N/A	
12	Se há instruções nas portas, estas podem ser lidas com as portas abertas?	N/A	
13	Há outras rotas de acesso aos componentes para que possam ser mantidos por outras direções	Não	
Alças			
	Questão	Avaliação	
1	Alças são usadas quando os componentes pesam mais de 45N	Sim	
2	Alças são fornecidas para componentes pequenos a fim de evitar que os controles desses componentes sejam usados como alças	N/A	
3	Alças são usadas para facilitar o transporte de unidades?	Não	

4	As alças são posicionadas acima do centro de gravidade e permitem bom balanço das cargas?	Sim	
5	As alças que requerem um manuseio firme possuem dimensões adequadas (115mm de largura e 50mm de profundidade)?	Sim	
6	As alças são confortáveis durante manuseio?	Sim	
7	São posicionadas de modo a evitar cabos e outras unidade	N/A	
8	Alças recolhíveis são usadas nos equipamentos pesados para facilitar seu manuseio?	Sim	
9	são localizadas de modo que evitem acionamento acidental dos controles?	Não	
10	São usadas como suportes para as operações de ?	Não	
11	Se duas pessoas são necessárias para o levantamento do componente, há dois grupos de alças previstos?	N/A	
12	São projetadas para que possam ser removidas ou desmontadas se necessário?	Não	
<b>Cabos</b>			
	Questão	Avaliação	
1	Cabos elétricos tem comprimento suficiente para que as unidades possam ser avaliadas sem dificuldades?	Não	
2	É possível de se movimentar unidades com dificuldades de acesso para que possam ser movimentadas para conexão, desconexão dos cabos?	N/A	
3	Os cabos são acessíveis diretamente?	Sim	
4	Os cabos são montados sem a necessidade de que tenham de ser	Sim	

	dobrados em cantos vivos?		
5	Os cabos são orientados de modo que não sejam dobrados por porta, ou que possam ser usados como alças?	Sim	
6	são fornecidos meios para que quando os componentes são montados em gavetas, os cabos não exerçam interferência?	N/A	
7	Os componentes são montados do mesmo lado que os cabos associados ao outro lado?	Sim	
8	Uma liberação mínima de 75mm é fornecida sempre que possível entre cabos e fiações de controle através de meios físicos para evitar atritos?	N/A	
9	Os cabos são orientados de modo a evitar linhas de oxigênio e/ou inflamáveis?	Sim	
10	Há cuidado no projeto para evitar o contato dos cabos com água ou poeira que possam interferir na operação	Sim	
11	Há cuidado para que não haja a necessidade de desmontar as conexões se possível?	Não	
12	Evita-se a passagem de cabos por zonas congestionadas?	Sim	
13	Os cabos são orientados de modo que não sejam obstáculos?	Sim	
14	Soldas são suficientemente afastadas para que uma não interfira na outra?	Sim	
Totais	Sim	40	54%
	Não	16	22%
	N/A	18	24%
		74	

Fonte: DOD-HDBK-791 (1986) – Adaptado pelo autor

Os resultados desta tabela indicam que o sistema possui acessibilidade prejudicada. Isso se observa pela necessidade da desmontagem completa do equipamento para acesso ao componente principal da montagem, isto é, o motor.

### B.2.2.Simplificação:

**Tabela 13 – Simplificação**

	Questão	Avaliação	Comentário
1	Há busca por soluções simples no sistema?	Sim	
2	Os componentes são padronizados?	Sim	dentro do catálogo de produtos
3*	Há duas extremidades funcionais no equipamento?	Não	
4	O uso de coletor ou de multiplexação reduzir o número de peças elétricas necessárias?	Não	Já são em quantidade mínima os componentes dessa natureza
5	A leitura do manual pode ser feita com facilidade por quem pouca escolaridade	Sim	
6	Há documentação para os softwares que acompanham o produto	N/A	
7	Um brainstorming de simplificação foi executado	Sim	Por hipótese
8	As funções podem ser consolidadas em termos de local, tempo, pessoal ou instrumentos	Sim	
9	Há o uso do menor número de componentes respeitando os requisitos de redundância?	Sim	Não requer redundância
10	Todos as funções são realmente necessárias?	Sim	

11*	O componente é fácil de ser mantido porém com prejuízos à operação do produto, isto é, a simplificação foi contraprodutiva?	Não	
12	Os requisitos de lubrificação foram minimizados?	Sim	
13	Os mostradores de óleo são facilmente visíveis para que a equipe de serviço não tenha a necessidade do uso de equipamentos especiais para verificações? É fácil de se adicionar fluídos para mantê-los em seus níveis especificados? Recipientes são transparentes para facilitar a visão dos níveis de fluídos	N/A	Não há óleo nesse sistema
14	Locais onde parafusos são necessários são facilmente visíveis com a luz ambiente?	Sim	
15	Todos os parafusos são do mesmo tipo e com o mesmo torque	Não	Existem dois parafusos de especificação diferente das dos demais, porém desempenham funções diferentes dos demais. Um parafuso é diferente em comprimento que os demais
16	O uso de cada ferramenta foi avaliado a fim de se avaliar se são realmente necessárias, ou se podem ser substituídas por outras já especificadas/usadas	Sim	
17	O número de fixações foi reduzido ao máximo?	Sim	

18	Conexões de desligamento rápido foram usados para linhas hidráulicas, de óleo, pneumáticas usadas para todos os componentes que possam ser substituídos, em uma vida mínima em serviço para os componentes modulares	Sim	
19	O projeto foi conduzido tendo conhecimento do histórico de confiabilidade dos materiais que são empregados?	Sim	
20	O projeto prefere componentes que requeiram pouca ou nenhuma manutenção preventiva ou periódica?	Sim	
21	O projeto permite sequências funcionais e lógicas de alocações de tarefas?	Sim	
22	Evita-se o uso de circuitos que requerem alto grau de regulação de voltagem?	Sim	
23	O uso de circuitos elétricos ajustáveis foi reduzido?	Sim	
24	Os ajustes mecânicos ocorrem no menor número possível?	Sim	
25	Os componentes de fixação de portas e outros itens são do mesmo tamanho em cada aplicação? Diferenças de tamanho são necessárias	Sim	Todos os componentes dessa classe são do mesmo tamanho e intercambiáveis entre eles

26	As técnicas de diagnose são simplificadas?	N/A	
27	Fatores da anatomia humana foram levados em conta no projeto?	Sim	
Totais	Sim	22	81%
	Não	2	7%
	N/A	3	11%
		27	

Fonte: DOD-HDBK-791 (1986) – Adaptado pelo autor

O resultado desta análise prova que o projeto deste aspirador de pó é simples, o que auxilia a manutenibilidade.

### B.2.3. Padronização:

Tabela 14 – Padronização

Padronização	Questão	Avaliação	Comentário
1	Todas as fontes de padronização foram procuradas para itens comuns, materiais e práticas?	Sim	Dentro do portfólio do fabricante
2	Cada requisito para uma ferramenta ou equipamento de suporte foi analisado para que sejam usados o menor número possível deles ou até mesmo os eliminar?	Sim	Pouca variedade de ferramentas necessária
3	O sistema Internacional de unidades foi usado no projeto	Sim	
4	Métodos especiais de fabricação foram evitados?	Sim	
5	Materiais são conforme as especificações militares?	N/A	
6	Circuitos elétricos padronizados podem ser usados e compatíveis com equipamentos de teste padronizados?	Sim	

7	Há a redução máxima da variedade dos circuitos elétricos?	Sim	
8	Peças idênticas foram usadas sempre que possível em tarefas análogas?	Sim	Todos os conjuntos de rodas são iguais
9	Componentes como dispositivos de fixação, conectores, linhas e cabos são padronizados através do sistema?	Sim	
Totais	Sim	8	89%
	N/A	1	11%
	Não	0	

Fonte: DOD-HDBK-791 (1986) – Adaptado pelo autor

Dentro dos limites do fabricante, este sistema possui uma boa padronização com os outros produtos disponíveis, o que facilita o processo de manutenção por permitir que produtos diferentes sejam mantidos com os mesmos componentes. Isso pode também ser um indício da orientação de projeto de manufatura executada durante o projeto.

#### B.2.4. Intercambialidade:

Tabela 15 – Intercambialidade

Intercambialidade	Questão	Avaliação	Comentário
1	Intercambialidade funcional é presente quando intercambialidade física é presente?	Sim	
2	Intercambialidade completa existe sempre que possível?	Sim	

3	Existem informações suficientes para que, sem os manuais técnicos, possa-se decidir por outros componentes similares?	Não	Nenhuma etiqueta é presente no interior do sistema
4	As diferenças em tamanho, forma e montagens dos componentes foram privilegiadas para eliminar possíveis sugestões de Intercambialidade de peças que não o são?	Sim	
5	Completa Intercambialidade é fornecida para componentes os quais são idênticos, intercambiáveis, ou projetados para que tenham a mesma função em diferentes aplicações?	Sim	Aplicável aos parafusos
6	A montagem dos furos e suportes acomodam diferentes unidades de diferentes marcas, como motores de mesma potência, mas fabricados por fabricantes diferentes?	Sim	Por hipótese
7	Os arreios de cabos são projetados para que possam ser fabricados e montados como uma unidade?	Não	Soldados no próprio sistema
8	Intercambialidade mecânica e elétrica provida para todos os	Sim	Por hipótese

	tipos de componentes removíveis?		
9	São as porcas, parafusos e outros componentes de fixação do mesmo tamanho para as carenagens de um dado equipamento	Sim	
10	É prevista a intercambialidade para componentes que tenham altas taxas de falhas?	Sim	Filtro é um elemento comercial
11	Quando a intercambialidade não é prática, as peças são projetadas para que a intercambialidade funcional exista e adaptadores possam ser fornecidos para permitir a intercambialidade física sempre que possível?	Não	Apenas substituição é prevista
Totais	Sim	8	73%
	Não	3	27%
	N/A	0	

Fonte: DOD-HDBK-791 (1986) – Adaptado pelo autor

Assim como a padronização, a intercambialidade de componentes é boa nesse sistema. O resultado inferior à padronização pode ser consequência da especificidade do produto diante aos outros produtos oferecidos pelo fabricante.

**B.2.5. Modularidade:****Tabela 16 – Modularidade**

Modularidade	Questão	Avaliação	Comentários
1	O equipamento é dividido em tantas unidades modulares (mecânica, elétrica, eletrônica), tão práticas para a manutenção de forma mais pratica em tentar manter o melhor uso do espaço e dos requisitos gerais de disponibilidade?	Sim	Módulo estrutural e de depósito
2	Se todos os componentes de um módulo, exceto um ou dois são extremamente confiáveis, considera-se que os componentes que não o são estejam localizados do lado de fora do pacote? Isso considera meios que aumentem a confiabilidade dos itens?	Não	
3	Uma abordagem integrada, considerando simultaneamente o problema de materiais, projeto de componentes, e aplicação do conceito de modularidade foram considerados?	Sim	
4	Os módulos são eles uniformes em tamanho, forma e melhor embalagem possível?	N/A	
5	As unidades modularizadas contem componentes que são otimizados para uma dada função ao invés de serem de uso múltiplo?	Sim	

6	Os módulos permitem testes operacionais de confiabilidade, ao mesmo tempo que não necessitem de muitos ajustes?	Sim	
7	A divisão em módulos acompanha o projeto funcional do equipamento?	Sim	
8	Quando uma montagem pode ser feita com mais de uma submontagem modular, a montagem principal é constituída de módulos os quais podem ser removidos sem a necessidade da remoção de outros módulos?	Não	
9	Os módulos foram projetados para que possam ter remoções e substituições rápidas de unidades com defeitos podem ser desmontadas por apenas um técnico quando possível?	Sim	
10	Quando possível unidades são pequenas e leves para que possam ser manuseadas por apenas uma pessoa?	Sim	
11	Cada módulo pode ser testado de forma independente? Se ajustes são necessários, o módulo em questão pode ser ajustado de forma independente dos outros	Sim	
12	O conceito de modularidade foi aplicado para subsistemas maiores de veículos, para que possam ser reparados e	Sim	

	testados fora dos veículos?		
13	As alavancas de controle e elementos de ligação e outros encaixes foram projetados para que possam ser facilmente desconectados e facilmente corridos e reconectados aos módulos de modo a reforçar o conceito de modularidade para facilidade de manutenção	Sim	
14	a modularização foi conduzida para que permitir a manutenção em nível operacional e assim aumentar a disponibilidade?	não	
15	Os módulos padronizados e receptáculos usados para facilitar a substituição? Considera-se medidas para evitar que conexões erradas sejam feitas? Sistemas de identificação foram usados nos receptáculos?	Sim	Não são usados elementos de identificação nos receptáculos
16	Sistemas de desconexão rápida foram usados para permitir a facilidade na remoção do módulo?	Sim	
Modularidade de itens descartáveis			
1*	A falha de um módulo de alto valor pode ser causada por um equipamento de pequeno valor?	N/A	
2*	A falha de uma peça de vida curta causa a falha	N/A	

	de peças de longa vida?		
3	Itens que não são críticos e de baixo custo são descartáveis?	N/A	
4	Todos os módulos encapsulados são projetados para descarte quando tenham falha? Se não o módulo possui meios para reparo?	N/A	
5	O nível de manutenção está especificado claramente, isto é, é focado em tempo de reparo ou custo de reparo?	N/A	
6	Os meios de teste dão resultados confiáveis a respeito das falhas dos módulos descartáveis?	N/A	
7	A placa de identificação do módulo contém a inscrição "descartar na falha"? Os manuais e catálogos os indicam?	N/A	
8	Se o módulo tem materiais preciosos que devem ser recuperados ao final do ciclo de vida, há indicações nos módulos nessas condições?	N/A	
9	Se o módulo possui contaminantes, há instruções para evitar contaminações durante o descarte?	N/A	
10	São os módulos elementos de segurança que adequadamente identificados e com instruções de providenciados para o	N/A	

	descarte?		
Totais	Sim	12	46%
	Não	3	12%
	N/A	11	42%
		26	

Fonte: DOD-HDBK-791 (1986) – Adaptado pelo autor

Mesmo que este sistema tenha boa intercambialidade e padronização, não observamos uma boa modularidade, isto pelo fato do número de componentes necessários à construção do equipamento é pequeno. Pode-se, por sua vez, considerar o motor como sendo o módulo não descartável desse sistema.

### **B.3. Conclusões:**

Pela análise através da referência DOD HDBK 791, podemos observar que o sistema tem manutenibilidade razoável (69% de média de condições conformes às especificações do manual; 16% de não conformidade e 26% de não aplicabilidade das avaliações).

## **ANEXO A – LISTAS DE VERIFICAÇÃO PRESENTES NA LITERATURA**

### **A.1 Listas de verificação do manual DOD-HDBK-791 (1986);**

#### A.1.1. Acessibilidade

##### A.1.1.1 Geral

1. Acessibilidade é otimizada para todos os componentes que requerem manutenção, inspeção, remoção e troca
2. Existe meios para inspeção visual
3. As aberturas sem cobertura usadas em locais que não afetem a performance
4. Aberturas articuladas são usadas no lugar de componentes aparafusados.
5. Se na falta de espaço para uso de articulações nas aberturas, os componentes são mantidos no lugar por mecanismos de fácil desmontagem?
6. Peças grandes não impedem o acesso a outros componentes
7. Os componentes são montados com espaços suficientes para uso de sondas de testes, ferros de solda, e outras ferramentas sem dificuldades
8. As unidades são localizadas de modo que os componentes estruturais não impeçam os acessos à elas?
9. As peças são montadas em um único plano, isto é sem, não são empilhadas
10. Todos os componentes descartáveis são montados de forma que não necessitem da retirada de outros componentes
11. O equipamento é projetado para que não se necessite a desmontagem de componentes principais para detecção de problemas
12. Os componentes são montados de modo que os operadores não tenham movimentos restringidos durante as operações de manutenção?
13. Controles operados por chaves de fenda permitem ajustes com a empunhadura livre de obstruções
14. Quando ajustes feitos com chave de fenda devem ser feitos por toque, os parafusos são montados verticalmente a fim de evitar que a chave caia do local de montagem? Parafusos Allen e Phillips são preferidos?
15. Para as tarefas que necessitam das duas mãos e/ou braços, há espaço suficiente previsto?
16. O técnico de manutenção pode facilmente ver o interior do equipamento (e a tarefa de manutenção que tem a executar) quando este já possui tanto os

- braços quanto as mãos no interior do equipamento?
17. Acessórios como mangueiras, guias, porcas e mesas, de fácil remoção antes do manuseio do equipamento
  18. As unidades são removíveis em linha reta?
  19. Unidades com peso superior a 110N são instaladas no alcance normal do operador quando estas estão submetidas à substituição?
  20. Há previsão de suporte de equipamentos quando estes estão sendo removidos ou instalados?
  21. Proteções são fornecidas para que componentes frágeis não fiquem expostos a riscos durante a desmontagem?
  22. Projeto de linha de seção é usado sempre que possível?
  23. Todos os acessos de manutenção estão identificados para facilitar sua identificação, seja nos manuais ou nas instruções de trabalho?
  24. Acessos são identificados para que possam ser alcançados a partir de um dado ponto?
  25. Acessos indicam a necessidade de equipamentos extras para execução de tarefas após determinado ponto?
  26. Acessos indicam a frequência de manutenção?
  27. Componentes que requerem a abertura de mais de uma porta, são indicados a fim de evitar danos na tentativa de desmontagem por acesso único?
  28. Os limites de força humana são levados em consideração a respeito dos componentes que devem ser carregados, levantados, puxados, empurrados, e virados?
  29. Fatores ambientais (como frio, calor, chuva...) considerados no projeto e na manipulação de todos os itens do equipamento?
  30. Quando necessário, partes internas são iluminadas?
  31. Fusíveis estão localizados de modo que possam ser acessados sem desmontagens de outros itens?
  32. Se os fusíveis estão agrupados, eles estão identificados
  33. A montagem dos fusíveis é feita de modo que não seja necessário usar ferramentas?

#### A.1.1.2 Acessos, portas e coberturas

1. Os furos para a montagem de parafusos nas carenagens indicam a

necessidade de perfeito alinhamento?

2. As carenagens são projetadas para serem removidas e deixar as unidades e não o contrário
3. As carenagens são grandes o suficiente para impedir danos aos fios e componentes?
4. As carenagens são passíveis de serem montadas em apenas um sentido?
5. As aberturas da carenagem são intuitivas? Se não há instruções para a abertura
6. Quando as coberturas e carenagens estão fora de lugar há meios para se observar isso?
7. Há mais de quatro parafusos que seguram a carenagem?
8. É usado o mesmo tipo de elemento de fixação para todos os componentes da estrutura?
9. Nas aberturas de ventilação há meios que impeçam que sondas ou condutores venham a entrar em contato com alta tensão?
10. As portas de acesso têm formas que permitem a passagem de componentes e implementos que devam passar por elas?
11. Em portas articuladas, elas podem ser mantidas abertas sem o uso das mãos?
12. Se há instruções nas portas, estas podem ser lidas com as portas abertas?
13. Há outras rotas de acesso aos componentes para que possam ser mantidos por outras direções

#### A.1.1.3 Alças

1. Alças são usadas quando os componentes pesam mais de 45N
2. Alças são fornecidas para componentes pequenos a fim de evitar que os controles desses componentes sejam usados como alças
3. Alças são usadas para facilitar o transporte de unidades?
4. As alças são posicionadas acima do centro de gravidade e permitem bom balanço das cargas?
5. As alças que requerem um manuseio firme possuem dimensões adequadas (115mm de largura e 50mm de profundidade)?
6. As alças são confortáveis durante manuseio?
7. São posicionadas de modo a evitar cabos e outras unidades

8. Alças recolhíveis são usadas nos equipamentos pesados para facilitar seu manuseio?
9. São localizadas de modo que evitem acionamento acidental dos controles?
10. São usadas como suportes para as operações de manutenção?
11. Se duas pessoas são necessárias para o levantamento do componente, há dois grupos de alças previstos?
12. São projetadas para que possam ser removidas ou desmontadas se necessário?

#### A.1.1.4. Cabos

1. Cabos elétricos tem comprimento suficiente para que as unidades possam ser avaliadas sem dificuldades?
2. É possível de se movimentar unidades com dificuldades de acesso para que possam ser movimentadas para conexão, desconexão dos cabos?
3. Os cabos são acessíveis diretamente?
4. Os cabos são montados sem a necessidade de que tenham de ser dobrados em cantos vivos?
5. Os cabos são orientados de modo que não sejam dobrados por porta, ou que possam ser usados como alças?
6. São fornecidos meios para que quando os componentes são montados em gavetas, os cabos não exerçam interferência?
7. Os componentes são montados do mesmo lado que os cabos associados ao outro lado?
8. Uma liberação mínima de 75mm é fornecida sempre que possível entre cabos e fiações de controle através de meios físicos para evitar atritos?
9. Os cabos são orientados de modo a evitar linhas de oxigênio e/ou inflamáveis?
10. Há cuidado no projeto para evitar o contato dos cabos com água ou poeira que possam interferir na operação?
11. Há cuidado para que não haja a necessidade de desmontar as conexões se possível?
12. Evita-se a passagem de cabos por zonas congestionadas?
13. Os cabos são orientados de modo que não sejam obstáculos?
14. Soldas são suficientemente afastadas para que uma não interfira na outra?

#### A.1.1.5. Simplificação

1. Há busca por soluções simples no sistema?
2. Os componentes são padronizados?
3. Há duas extremidades funcionais no equipamento?
4. O uso de coletor ou de multiplexação reduzir o número de peças elétricas necessárias?
5. A leitura do manual pode ser feita com facilidade por quem pouca escolaridade
6. Há documentação para os softwares que acompanham o produto
7. Um brainstorming de simplificação foi executado
8. As funções podem ser consolidadas em termos de local, tempo, pessoal ou instrumentos
9. Há o uso do menor número de componentes respeitando os requisitos de redundância?
10. Todos as funções são realmente necessárias?
11. O componente é fácil de ser mantido porém com prejuízos à operação do produto, isto é, a simplificação foi contra produtiva?
12. Os requisitos de lubrificação foram minimizados?
13. Os mostradores de óleo são facilmente visíveis para que a equipe de serviço não tenha a necessidade do uso de equipamentos especiais para verificações? É fácil de se adicionar fluídos para mantê-los em seus níveis especificados? Recipientes são transparentes para facilitar a visão dos níveis de fluídos
14. Locais onde parafusos são necessários são facilmente visíveis com a luz ambiente?
15. Todos os parafusos são do mesmo tipo e com o mesmo torque
16. O uso de cada ferramenta foi avaliado a fim de se avaliar se são realmente necessárias, ou se podem ser substituídas por outras já especificadas/usadas
17. O número de fixações foi reduzido ao máximo?
18. Conexões de desligamento rápido foram usados para linhas hidráulicas, de óleo, pneumáticas usadas para todos os componentes que possam ser substituídos, em uma vida mínima em serviço para os componentes modulares

19. O projeto foi conduzido tendo conhecimento do histórico de confiabilidade dos materiais que são empregados?
20. O projeto prefere componentes que requeiram pouca ou nenhuma manutenção preventiva ou periódica?
21. O projeto permite sequencias funcionais e lógicas de alocações de tarefas?
22. Evita-se o uso de circuitos que requerem alto grau de regulagem de voltagem?
23. O uso de circuitos elétricos ajustáveis foi reduzido?
24. Os ajustes mecânicos ocorrem no menor número possível?
25. Os componentes de fixação de portas e outros itens são do mesmo tamanho em cada aplicação? Diferenças de tamanho são necessárias
26. As técnicas de diagnose são simplificadas?
27. Fatores da anatomia humana foram levados em conta no projeto?

#### A.1.1.6 Padronização

1. Todas as fontes de padronização foram procuradas para itens comuns, materiais e práticas?
2. Cada requisito para uma ferramenta ou equipamento de suporte foi analisado para que sejam usados o menor número possível deles ou até mesmo os eliminar?
3. O sistema Internacional de unidades foi usado no projeto
4. Métodos especiais de fabricação foram evitados?
5. Materiais são conforme as especificações militares?
6. Circuitos elétricos padronizados podem ser usados e compatíveis com equipamentos de teste padronizados?
7. Há a redução máxima da variedade dos circuitos elétricos?
8. Peças idênticas foram usadas sempre que possível em tarefas análogas?
9. Componentes como dispositivos de fixação, conectores, linhas e cabos são padronizados através do sistema?

#### A.1.1.7. Intercambialidade

1. Intercambialidade funcional é presente quando intercambialidade física é presente?
2. Intercambialidade completa existe sempre que possível?
3. Existem informações suficientes para que, sem os manuais técnicos, possa-

se decidir por outros componentes similares?

4. As diferenças em tamanho, forma e montagens dos componentes foram privilegiadas para eliminar possíveis sugestões de intercambialidade de peças que não o são?
5. Completa intercambialidade é fornecida para componentes os quais são idênticos, intercambiáveis, ou projetados para que tenham a mesma função em diferentes aplicações?
6. A montagem dos furos e suportes acomodam diferentes unidades de diferentes marcas, como motores de mesma potência, mas fabricados por fabricantes diferentes?
7. Os arreios de cabos são projetados para que possam ser fabricados e montados como uma unidade?
8. Intercambialidade mecânica e elétrica provida para todos os tipos de componentes removíveis?
9. São as porcas, parafusos e outros componentes de fixação do mesmo tamanho para as carenagens de um dado equipamento
10. É prevista a intercambialidade para componentes que tenham altas taxas de falhas?
11. Quando a intercambialidade não é prática, as peças são projetadas para que a intercambialidade funcional exista e adaptadores possam ser fornecidos para permitir a intercambialidade física sempre que possível?

#### A.1.1.8. Modularidade

##### A.1.1.8.1 Modularidade geral

1. O equipamento é dividido em tantas unidades modulares (mecânica, elétrica, eletrônica), tão práticas para a manutenção de forma mais prática em tentar manter o melhor uso do espaço e dos requisitos gerais de disponibilidade?
2. Se todos os componentes de um módulo, exceto um ou dois são extremamente confiáveis, considera-se que os componentes que não o são estejam localizados do lado de fora do pacote? Isso considera meios que aumentem a confiabilidade dos itens?
3. Uma abordagem integrada, considerando simultaneamente o problema de materiais, projeto de componentes, e aplicação do conceito de modularidade foram considerados?

4. Os módulos são eles uniformes em tamanho, forma e melhor embalagem possível?
5. As unidades modularizadas contém componentes que são otimizados para uma dada função ao invés de serem de uso múltiplo?
6. Os módulos permitem testes operacionais de confiabilidade, ao mesmo tempo que não necessitem de muitos ajustes?
7. A divisão em módulos acompanha o projeto funcional do equipamento?
8. Quando uma montagem pode ser feita com mais de uma submontagem modular, a montagem principal é constituída de módulos os quais podem ser removidos sem a necessidade da remoção de outros módulos?
9. Os módulos foram projetados para que possam ter remoções e substituições rápidas de unidades com defeitos podem ser desmontadas por apenas um técnico quando possível?
10. Quando possível unidades são pequenas e leves para que possam ser manuseadas por apenas uma pessoa?
11. Cada módulo pode ser testado de forma independente? Se ajustes são necessários, o módulo em questão pode ser ajustado de forma independente dos outros
12. O conceito de modularidade foi aplicado para subsistemas maiores de veículos, para que possam ser reparados e testados fora dos veículos?
13. As alavancas de controle e elementos de ligação e outros encaixes foram projetados para que possam ser facilmente desconectados e facilmente corridos e reconectados aos módulos de modo a reforçar o conceito de modularidade para facilidade de manutenção
14. A modularização foi conduzida para que permitir a manutenção em nível operacional e assim aumentar a disponibilidade?
15. Os módulos padronizados e receptáculos usados para facilitar a substituição? Considera-se medidas para evitar que conexões erradas sejam feitas? Sistemas de identificação foram usados nos receptáculos?
16. Sistemas de desconexão rápida foram usados para permitir a facilidade na remoção do módulo?

#### A.1.1.8.2 Modularidade de itens descartáveis

1. A falha de um módulo de alto valor pode ser causada por um equipamento

de pequeno valor?

2. A falha de uma peça de vida curta causa a falha de peças de longa vida?
3. Itens que não são críticos e de baixo custo são descartáveis?
4. Todos os módulos encapsulados são projetados para descarte quando tenham falha? Se não o módulo possui meios para reparo?
5. O nível de manutenção está especificado claramente, isto é, é focado em tempo de reparo ou custo de reparo?
6. Os meios de teste dão resultados confiáveis a respeito das falhas dos módulos descartáveis?
7. A placa de identificação do módulo contém a inscrição "descartar na falha"? Os manuais e catálogos os indicam?
8. Se o módulo tem materiais preciosos que devem ser recuperados ao final do ciclo de vida, há indicações nos módulos nessas condições?
9. Se o módulo possui contaminantes, há instruções para evitar contaminações durante o descarte?
10. São os módulos elementos de segurança que adequadamente identificados e com instruções de providenciados para o descarte?

## **A.2 Listas de verificação Cunningham e Cox (1967)**

They are applied in a scale from zero (worst result) to 3 (best result)

### **A.2.1. Accessibility:**

1. Access is planned on grand scale – as, split line hinged chassis
2. Accesses are located for maximum maintenance convenience
3. Access locations conform to heights of work stands, carts, among others
4. Accesses and lighting allow men to see what they are doing
5. Plastic or glass windows allow visual access where needed
6. Openings with no covers are employed wherever practical
7. Access size and shape are adequate for the work to be performed
8. Accesses allow for various tasks, clothing, accessories, tools among others;
9. Most frequently pulled units are on slides, hinges, roll-outs
10. Direct quick access is provided to all test and service points
11. Small accesses use hinged, sliding, quick-open plates or caps
12. Checkout of each unit is possible without special harness/rigs

13. Units over 18 pounds are within an 18-inch reach of removal
14. Large, heavy items can be slid-out rather than lifted out
15. Access edges are lined as necessary to protect personnel
16. Guards and shields protect men from high voltages, other hazards
17. Safety interlocks are provided on accesses to such hazards
18. Switches can override interlocks are provided on accesses to such hazards
19. Each access is uniquely identified for instruction reference
20. Labels identify hazards, test or service points behind accesses
21. Labels identify equipment/material behind or used the access
22. Labels on small accesses show proper insertion of tools/ spares
23. Access covers and fasteners conform to preferred types, practices
24. LRU removal involves minimum covers, fasteners, mounts, among others
25. Access is not reduced or blocked in manufacture/installation

#### A.2.2. Covers and cases:

1. Covers and cases are removable/replaceable/portable by one man
2. Covers and cases are ruggedized, but can be reordered if needed
3. Covers and cases bear no load, will open without interference
4. Cases lift off units rather than units out of cases
5. Case removal exposes all significant maintenance features
6. Cases provide adequate clearance all around enclosed items
7. Proper orientation is obvious from shape, handles and labels
8. No disassembly is needed to open or fine positioning to close
9. Improper closing is impossible, unsecured items are obvious
10. Removal/opening does not dangerously imbalance the equipment
11. Like covers & their fasteners are completely interchangeable
12. Similar covers operate alike, but are not interchangeable (if specifications differs)
13. Six or less fasteners (same size/type) are used per cover/case
14. Captive, quick opening fasteners are used wherever practical
15. Removable items can be set aside in a convenient place
16. Non-removable covers/cases are self-supporting while open
17. Hinges and tongues are used to reduce the number of fasteners
18. Instructions for covered units are readable with cover open

19. Covers/cases cannot drop on personnel or fragile equipment
20. Top surfaces are smooth and sloped to reduce dust and corrosion
21. Edges and corners are rounded to preclude injury or damage
22. Handles, handholds & lift eyes are provided where needed
23. Props retainers, supports and latches are provided as needed
24. Guides, tracks and stops are provided where appropriate
25. Hinged tethered items will not obstruct tasks or workspaces

#### A.2.3. Fasteners

1. A minimum number and variety of standard fasteners are used
2. Fasteners are large, strong, durable and freeze proof
3. Fasteners can be reached and removed without disassembly
4. Different thread types are discriminable different diameter
5. Identical heads are used wherever practical to minimize tools
6. Like fasteners in different lengths are never used together
7. Fasteners can be operated with one hand, one tool, one man
8. The number of turns to remove fasteners is minimal (10 or less)
9. Adequate working and tool clearances surround each fasteners
10. Special fasteners are avoided or are colour or stamp coded
11. Standard size, type, torque value codes are etched or embossed
12. Regularly used fasteners contrast in colour with the surface
13. Replacement of stripped, worn, damaged fasteners is possible
14. Combination heads (deep slot, and hex) allow alternate tool use
15. Winged nuts are preferred to knurled nuts avoid tapped holes
16. Captive fasteners are used where dropped items create problems
17. Washers/seals fit tightly are durable in a few standard sizes
18. Rivets are not used on any part that may require removal
19. Safety wiring/cotter keys are avoided, can be replaced if used
20. Studs or soft, rustable, close tolerance fasteners are avoided
21. Nut plates are easy aligned, each ganged nut is replaceable
22. Retainer chains/rigs prevent loss of small items, hold covers
23. Chains hang externally, cannot drop into moving gear, among others
24. Chains are no longer than necessary, bead-link-chain is avoided
25. Plug-ins, hinges, catches among other reduce number of fasteners used

#### A.2.4. Handling

1. All maintenance items can be handled by one man
2. All outdoor equipment is planned for use with artic mittens
3. All units have suitable means for grasping and carrying
4. Units over 10 pounds have handholds, handles and/or lift eyes
5. Portable items weigh about 14 pounds, no more than 24 pounds
6. Frequent, moderate distance, one man loads are under 40 pounds
7. Infrequent short distance, one man loads are under 75 pounds
8. Loads are less for bulky, slippery items or difficult terrain
9. Men are not required to lift/carry items over 150 pounds
10. Handle types, dimensions are most appropriate to applications
11. Minimum handle dimensions: Length 4,5", depth: 2.0" diameter 0,5"
12. Clearances about handles or handholds is at least 2.0"
13. Artic mitten handle dimensions: Length 5.5", depth 3.0"
14. Fingers are protected from telescoping parts, edges, among others
15. Delicate parts are protected against damage during handling
16. Handles serve as stands/hangers and protect delicate equipment
17. Handles/grasps areas are properly placed near the centre of gravity
18. Stops hold nonfixed handles perpendicular to the surface
19. Handles, grasp areas have nonslip surfaces where practical
20. Straps & hooks will hold items where both hands are needed
21. Rollers, levers and guides are provided to assist handling
22. Items are shaped, packaged, planned for convenient storage
23. Extensions et protuberances are removed for handling storage
24. Dust covers and others are provided for items needing protection
25. Needed instructions are readable while item is stored, held

#### A.2.5. Maintenance concepts

1. Describe operational objectives, general character of the system
2. Describe basic hardware, facilities approaches and key features
3. Specify readiness, availability, restore and repair time criteria
4. Present relevant service/shelf life, wear-in and failure data
5. Define maintenance-significant geographic/environmental factors
6. Identify communication/transport media, limitations, time lags
7. Define responsibilities/organization of each maintenance level

8. Define number of men, conduct workweek of maintenance teams
9. Identify any special training, skills or experience required
10. Outline control scheduling work order and inspection procedures
11. Define maintenance records, forms, logs and work units codes
12. Outline data collection, problem analysis and product improvement
13. Outline preventive maintenance program card decks codes
14. Outline corrosion control programs policies and responsibilities
15. Devine methods end-points criteria or each maintenance phase
16. Identify which phase/units will be automatic semi- or manual
17. Define equipment levels for replacement, repair, disposal among others
18. Outline precision measurement equipment calibration and repair
19. Specify policies periods criteria and units for field/depot repair
20. Outline request, inspection, care of supplies received/shipped
21. Outline supply, storage, tool, crib, housekeeping procedures
22. Present lists of planned maintenance tools, testers, materials
23. Specify preferred design features (fasteners and oil type)
24. Identify other factors effecting neglect, error, total workload
25. Define emergency, contract, other resources, lags, applications

#### A.2.6. Modules

1. Piece parts are mounted on, or as subassemblies or modules
2. Parts are mounted in an orderly array & are not stacked
3. Parts are mounted on one surface, wiring on the reverse side
4. All parts in a module contribute to a single, common function
5. Modules are packed with greatest practical density
6. But adequate workspace is provided for bench maintenance
7. Module design complements planned diagnostic capabilities
8. Modules are tested as units on go/no-go basis for minimum error
9. Very expensive or unreliable parts are not encapsulated
10. Modules are sealed only if assembly requires special conditions
11. "Identical modules" are interchangeable without realignment
12. Like modules with different functions are not interchangeable
13. LRU's weights less than 45 lbs; weight is labelled if heavier
14. Units 45-90 lbs, are designed for two men to lift and carry

15. Units over 90 lbs are mobile or deigned for power lift
16. Unreliable parts can be removed from exterior modules
17. Irregular hoses, waveguides, etc. are removed before handling
18. All connections are failsafe, will tolerate jumper cables
19. A system consistent colour code discriminates similar modules
20. Codes and labels identify functional groups of items
21. The direction of flow (maintenance highway) is indicated
22. Test and service points, their values and limits are labelled
23. Module nameplates show functions characteristics and part number.
24. Lift points are indicated circuits are shown on sealed networks
25. Standardized, preferred circuits are used for routine functions

#### A.2.7. Packing

1. Packing is based on single layout principle (as logic flow)
2. Number of inputs/outputs and criss-cross signals is minimized
3. Delicate items are located/guarded against damage or misuse
4. Components are segregated by maintenance skills and tasks
5. Packing minimizes place to place movement of the technician
6. Adequate workspace is provided for tools test service equipment
7. LRU are mounted on two dimensional surface, not stacked
8. Like items are grouped together and mounted in uniform fashion
9. LRU's are removable along straight or slight curved lines
10. LRU's are not concealed; manner of mounting is always obvious
11. All throwaway items are readily accessible with no disassembly
12. Items cleaned by different methods are separated for masking
13. High failure rate and serviceable items are the most accessible
14. Large items , cables, mounts do not impede access to LRU's
15. Plug-in, snap-on items are replaceable without interference
16. Sequential assembly requiring sequential disassembly is avoided
17. All plug-ins sockets, keys, are oriented in the same direction
18. Guides/pins assists mounting, particularly of self-connect LRU's
19. No functioning parts or LRU's are permanently attached
20. LRU's are independent mounted and blind mounting is avoided
21. LRU's cannot be improperly mounted (staggered holes, etc.)

22. Mounting requires a minimum number of standardized fasteners
23. Plug-in, quick-disconnect connectors/fasteners are used widely
24. Locking pins, shock mounts, tie-downs are used where needed
25. LRUs are removed/replaced by hand or with common hand tools

#### A.2.8. Preventive maintenance

1. A comprehensive PM program is established for the equipment
2. There is a PM card deck and checklist schedule for each unit
3. All tools and materials required for PM are specified and available
4. Each PM task is adequate, simple and will not interfere with operations
5. Periodic inspection/replacement & marginal testing are scheduled
6. Periodic align/adjust is minimized, scheduled as required
7. All items requiring PM are directly and easily accessible
8. A minimum number of items are removed from the line for PM
9. All calibrations are accomplished at field or depot levels
10. Corrosion prevent/control methods are specified for all surfaces
11. Corrosion resistant materials/finishes/sealers are specified
12. Cleaning periods/methods are specified, hand-cleaning is avoided
13. A minimum number of standard non-interchangeable fluids are used
14. Fluid lines/drains/plugs are located to minimize spills and leaks
15. Drains are provided at low points, bleed valves are provided where they are needed
16. Fluid pressure is checked without disconnection of lines
17. Pressure relief valves and check valves are provided where they are needed
18. Tethered access caps prevent entry of foreign matter, cap loss
19. Lubrication schedules are provided for each lubricated unit
20. Standard lubricants are applied with standard tools and devices
21. Lubrication points are easily accessible with no disassembly
22. One standard colour code fitting is used for each lubricant
23. Labels at each lube point show type and frequency of lubrication
24. Electronic equipment users as few lubricants as practical
25. Routine PM can be accomplished without equipment shutdown

#### A.2.9. Racks and chassis

1. Racks are uniform in size, division and use characteristics
2. Racks displays are between 40-70 inches from the floor
3. Racks controls are between 40-55 inches from the floor
4. Replaceable items over 25 lbs are located below 51 inches
5. Drawers and doors open with one hand and less than 40 lbs of force
6. Replaceable items over 25 lbs are located below 51 inches
7. Frequently pulled units are on pull-out /tiltable chassis
8. Movable chassis open/close without disconnection/interference
9. Sliding/rotating/hinged units open fully, freely and easily
10. Movable chassis can be quickly, easily and completely removed
11. Movable chassis stay in each position without being held
12. Drawer/access/door locations consider installed workspace
13. Interlocks disconnect hazardous items (with override switches)
14. Limit stops, retainers, supports among others are provided if needed
15. Handles, retainers, bumpers reduce of hazards of dropped bars, etc.
16. All walking, climbing, standing surfaces have non-skid treads
17. Guardrails/handrails are provided wherever men climb/might fall
18. Handrail diameters are at least 1.25" with 2.0" clearance
19. Platform minimum is 6 sq. ft. support allow both hands free
20. Continuous standing surfaces is provided around each work area
21. Platform gaps are less than 6" less than 2" preferred
22. Stairs/ladders/ramps are provided as needed in preferred in design
23. Shelters/decks/covers protect men and equipment where necessary
24. Cranes, hoists and accessories are provided where necessary
25. Crane and hoist have handles, safety locks and ball-wheels

#### A.2.10. Tools

1. Each specialist need carry a minimum number and weight of tools
2. A minimum number of tools are required per maintenance task
3. Required tools are selected from standard user tools list
4. Tool allowances will cover all maintenance procedures and tasks
5. Tool kits are small, light, rugged, durable easy to handle
6. Tool kits have comfortable handles, straps, adequate storage
7. Special tools are required only if no standard tool would do

8. Any special tool are required only if no standard tool would do
9. "Unusual" standard tools (offsets, etc.) are avoided
10. Speed/ratchet tools are provided if they will expedite tasks
11. A minimum variety of sizes (screwdrivers, sockets...) are needed
12. All tools are durable, rugged and have dull finishes
13. Metal tool handles are avoided for use in extreme temperatures
14. Tools used near high voltages are insulated (handle, slips...)
15. Nonsparking, insulated tools are used near high flammables
16. Normal operation of module pullers cannot damage/short modules
17. Extenders, fasteners, clips, adaptors are provided as required
18. Extension cables/hoses, etc. are provided as needed
19. Precision or calibrated tools are avoided for field use
20. Tasks requiring many special or delicate tools are shop tasks.
21. Tools tips and wearing surfaces are generally replaceable