

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA**

**UMA PROPOSTA DE METODOLOGIA DE PROJETO DE INTERFACES NA
FASE DE PROJETO CONCEITUAL**

Tese submetida à

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

para a obtenção do grau de

DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA

LUIZ FERNANDO SEGALIN DE ANDRADE

Florianópolis, Setembro de 2008

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA**

**UMA PROPOSTA DE METODOLOGIA DE PROJETO DE INTERFACES NA
FASE DE PROJETO CONCEITUAL**

LUIZ FERNANDO SEGALIN DE ANDRADE

**Esta tese foi julgada adequada para a obtenção do título de
Doutor EM ENGENHARIA**

**ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA
sendo aprovada em sua forma final.**

Prof. Fernando Antônio Forcellini, Dr. Eng. – Orientador

Prof. Régis Kovacs Scalice, Dr. Eng. – Co- Orientador

Prof. Eduardo Alberto Fancello, D. Sc. - Coordenador do Curso

BANCA EXAMINADORA

Prof. Fernando Antônio Forcellini, Dr. Eng. – UFSC - Orientador

Prof. Ricardo Manfredi Naveiro, D. Sc. - Escola Politécnica do Rio de Janeiro -Relator

**Prof. Paulo Carlos Kaminski, Dr. Eng. – Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo**

Prof. Abelardo A. de Queiroz, PhD. - UFSC

Prof. Rodrigo Lima Stoterau, Dr. Eng. - USP

*Quem me dera, ao menos uma vez, Ter de volta todo o ouro que entreguei
A quem conseguiu me convencer Que era prova de amizade
Se alguém levasse embora Até o que eu não tinha.*

*Quem me dera, ao menos uma vez, Esquecer que acreditei que era por brincadeira
Que se cortava sempre um pano-de-chão De linho nobre e pura seda.*

*Quem me dera, ao menos uma vez, Explicar o que ninguém consegue entender:
Que o que aconteceu ainda está por vir E o futuro não é mais como era antigamente.*

*Quem me dera, ao menos uma vez, Provar que quem tem mais do que precisa ter
Quase sempre se convence que não tem o bastante E fala demais, por não ter nada a dizer.*

*Quem me dera, ao menos uma vez, Que o mais simples fosse visto como o mais importante,
Mas nos deram espelhos E vimos um mundo doente.*

*Quem me dera ao menos uma vez, Entender como um só Deus ao mesmo tempo é três
E esse mesmo Deus foi morto por vocês - É só maldade então, deixar um Deus tão triste.*

*Eu quis o perigo e até sangrei sozinho. Entenda - assim pude trazer você de volta pra mim,
Quando descobri que é sempre só você Que me entende do princípio ao fim
E é só você que tem a cura pro meu vício De insistir nessa saudade que eu sinto
De tudo que eu ainda não vi.*

*Quem me dera, ao menos uma vez, Acreditar por um instante em tudo que existe
E acreditar que o mundo é perfeito E que todas as pessoas são felizes.*

*Quem me dera, ao menos uma vez, Fazer com que o mundo saiba que seu nome
Está em tudo e mesmo assim Ninguém lhe diz ao menos obrigado.*

*Quem me dera, ao menos uma vez, Como a mais bela tribo, dos mais belos índios,
Não ser atacado por ser inocente.*

*Eu quis o perigo e até sangrei sozinho. Entenda - assim pude trazer você de volta pra mim
Quando descobri que é sempre só você Que me entende do início ao fim
E é só você que tem a cura pro meu vício De insistir nessa saudade que eu sinto
De tudo que eu ainda não vi.*

Nos deram espelhos e vimos um mundo doente - Tentei chorar e não consegui.

"Índios"

Letra: Renato Russo

*Dedico este trabalho a minha esposa Zuleica,
e as minhas filhas Beatriz e lara (que ainda está por vir), companheiras de vida e
combustível para vencer diferentes etapas da minha formação.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, pela credibilidade no trabalho, pelas orientações e pelo apoio.

À Universidade Federal de Santa Catarina, pela educação pública, gratuita e de qualidade e pela estrutura oferecidas.

À CAPES pelo apoio financeiro durante parte do desenvolvimento do trabalho.

Aos professores e colegas de formação, pela história construída em sala de aula.

Aos colegas e amigos do CEFET-SC, muitos dos quais já foram meus professores e hoje são companheiros de trabalho, pelo apoio e incentivo dados desde o primeiro dia de trabalho, em especial aos colegas Joel, Milton e Raimundo que dispuseram seu tempo para ler parte do trabalho e contribuíram de forma fundamental na fase mais crítica do mesmo.

Aos amigos e colegas do NeDIP e do GEPP, pela convivência durante o período de graduação e do doutorado, em especial a Andréa, Marcelo Gitirana e Régis Scalice pela contribuição em diferentes etapas do trabalho.

Aos amigos, porque sem o seu apoio e suas risadas, nada seria possível.

Ao Pedrão e à Nilcéia, pelos inúmeros galhos quebrados.

Enfim, a todos que tiveram sua parte na história, não só deste trabalho, mas de toda a minha história, pois cada um representa um pequeno pedaço do que sou.

A minha família, porque um homem sem família não é nada.

Aos meus pais, pela educação, não apenas a dos livros, pelo apoio, e por tudo que já fizeram por mim e que é impossível enumerar neste agradecimento.

A Beatriz pela sua presença constante, sua espontaneidade e seu sorriso e a Iara pela sua recente presença incentivando o final do trabalho.

A Zuleica, pela (im) paciência, convivência e apoio incondicional, pelo norte apontado sempre que me percebia perdido, pela motivação de querer fazer e querer ser melhor.

SUMÁRIO

| | |
|---|-------------|
| LISTA DE FIGURAS | IX |
| LISTA DE QUADROS..... | XI |
| LISTA DE TABELAS..... | XIII |
| LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES..... | XIV |
| RESUMO | XV |
| ABSTRACT | XVI |
| 1. CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1. IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA | 9 |
| 1.2. DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA | 10 |
| 1.3. OBJETIVOS | 10 |
| 1.3.1. <i>Geral</i> | 11 |
| 1.3.2. <i>Específicos</i> | 11 |
| 1.4. JUSTIFICATIVA | 11 |
| 1.5. METODOLOGIA DA PESQUISA..... | 13 |
| 1.6. ESTRUTURA DA PROPOSTA | 15 |
| 2. CAPÍTULO 2 – LEVANTAMENTO DO ESTADO DA ARTE..... | 16 |
| 2.1. DEFINIÇÕES | 16 |
| 2.2. MODELOS DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS | 22 |
| 2.3. PROJETO DE INTERFACES | 23 |
| 2.4. MODELAGEM FUNCIONAL | 28 |
| 2.5. ARQUITETURA DO PRODUTO..... | 29 |
| 2.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 38 |
| 3. CAPÍTULO 3 – AVALIAÇÃO DOS MODELOS DE PROJETO DE INTERFACES..... | 40 |
| 3.1. MODELOS DE PROJETO DE INTERFACES APLICADOS NO PROJETO PRELIMINAR | 40 |
| 3.1.1. <i>Modelo de uniões de plástico injetado</i> | 40 |
| 3.1.2. <i>Processo de seleção de interfaces</i> | 41 |
| 3.1.3. <i>Modelo de projeto de interfaces para sistemas de precisão reconfiguráveis</i> | 45 |
| 3.1.4. <i>Modelo de desenvolvimento de interfaces robustas</i> | 47 |
| 3.1.5. <i>Avaliação dos modelos de projeto de interfaces na fase preliminar</i> | 49 |
| 3.2. MODELOS DE DEFINIÇÃO DA ARQUITETURA DO PRODUTO..... | 49 |
| 3.2.1. <i>Modelo de Ulrich e Eppinger (2004) – Arquitetura do produto</i> | 49 |
| 3.2.2. <i>Modelo de definição da estrutura funcional e da arquitetura do produto de Rozenfeld et al (2006)</i> | 51 |
| 3.2.3. <i>Avaliação dos modelos de definição da arquitetura do produto</i> | 53 |
| 3.3. MODELOS DE DEFINIÇÃO DA ARQUITETURA DO PRODUTO PELO MÉTODO DAS HEURÍSTICAS DE PROJETO | 53 |
| 3.3.1. <i>Método das heurísticas de projeto</i> | 53 |
| 3.3.2. <i>Método dos fluxos de esforço</i> | 54 |
| 3.3.3. <i>Avaliação dos modelos de definição da arquitetura do produto pelo método das heurísticas de projeto</i> | 55 |
| 3.4. MÉTODOS DE DEFINIÇÃO DE LEIUTE PARA O PRODUTO | 55 |
| 3.4.1. <i>Método de Pahl e Beitz (1996)</i> | 55 |
| 3.4.2. <i>Configuração do produto</i> | 57 |
| 3.4.3. <i>Modelo de Ullman (1992 / 2003)</i> | 58 |
| 3.4.4. <i>Avaliação dos modelos de definição do leiaute do produto</i> | 63 |
| 3.5. MÉTODOS COMPUTACIONAIS DE ESTABELECIMENTO DA ESTRUTURA DO PRODUTO | 63 |
| 3.5.1. <i>Avaliação dos modelos computacionais</i> | 65 |
| 3.6. MÉTODOS DE APOIO AO PROJETO DE INTERFACES | 65 |
| 3.6.1. <i>Técnica sistemática de análise funcional (FAST)</i> | 65 |
| 3.6.2. <i>Método de avaliação de interfaces</i> | 67 |
| 3.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 68 |
| 4. CAPÍTULO 4 – MÉTODOS E FERRAMENTAS DE APOIO AO PROJETO DE INTERFACES | 73 |
| 4.1. PROJETO PARA MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)..... | 73 |
| 4.1.1. <i>Diretrizes para o DFA e o DFM</i> | 75 |
| 4.1.2. <i>Modelos de DFM e DFA aplicados no projeto conceitual</i> | 79 |

| | |
|--|------------|
| 4.1.3. Proposta de modelo de aplicação de DFA e DFM no projeto conceitual | 83 |
| 4.2. FMEA | 84 |
| 4.2.1. FMEA Contínuo | 91 |
| 4.3. COMO UTILIZAR OS MÉTODOS E A FERRAMENTA ESTUDADOS NA FASE DE PROJETO CONCEITUAL..... | 94 |
| 4.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 96 |
| 5. CAPÍTULO 5 – PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA O PROJETO DE INTERFACES NA FASE CONCEITUAL..... | 97 |
| 5.1. METODOLOGIA DE PROJETO DE INTERFACES NA FASE CONCEITUAL DO PROJETO DE PRODUTOS..... | 98 |
| 5.2. LIMITAÇÕES NO MODELO DE REFERÊNCIA..... | 98 |
| 5.3. MODIFICAÇÕES SUGERIDAS NO MODELO DE REFERÊNCIA | 100 |
| 5.4. PROJETO INFORMACIONAL | 100 |
| 5.4.1. Levantamento dos requisitos para o projeto de interfaces..... | 101 |
| 5.4.2. Definição das especificações para o projeto das interfaces | 101 |
| 5.5. PROJETO CONCEITUAL | 103 |
| 5.5.1. Definição da arquitetura do produto | 104 |
| 5.5.2. Gerar concepções para o produto..... | 114 |
| 5.5.3. Avaliar concepções para o produto | 120 |
| 5.6. DETALHAR CONCEPÇÕES | 120 |
| 5.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 121 |
| 6. CAPÍTULO 6 – VALIDAÇÃO DO MODELO DE PROJETO DE INTERFACES NO PROJETO CONCEITUAL..... | 125 |
| 6.1. ESTUDO DE CASO 1 – PROJETO DE UM EQUIPAMENTO PARA LIMPEZA DE VASO SANITÁRIO | 125 |
| 6.2. ATIVIDADE 1 – LEVANTAMENTO DOS REQUISITOS DAS INTERFACES..... | 127 |
| 6.3. ATIVIDADE 2 – DEFINIÇÃO DAS ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO DE INTERFACES | 128 |
| 6.4. ATIVIDADE 3 – ESTABELECIMENTO DAS ESTRUTURAS FUNCIONAIS E DOS RELACIONAMENTOS ENTRE FUNÇÕES..... | 129 |
| 6.5. ATIVIDADE 4 – DEFINIÇÃO DAS FUNÇÕES DE INTERFACE | 132 |
| 6.6. ATIVIDADE 5 – LEVANTAMENTO DAS FUNÇÕES CRÍTICAS..... | 133 |
| 6.7. ATIVIDADE 6 – DEFINIÇÃO DOS AGRUPAMENTOS FUNCIONAIS | 135 |
| 6.8. ATIVIDADE 7 – GERAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO | 135 |
| 6.9. ATIVIDADE 8 – ANÁLISE DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO..... | 137 |
| 6.10. ATIVIDADE 9 – COMBINAR E EVOLUIR EM CONCEPÇÕES | 143 |
| 6.11. ATIVIDADE 10 – AVALIAR CONCEPÇÕES..... | 148 |
| 6.12. ATIVIDADE 11 – DETALHAR CONCEPÇÕES | 151 |
| 6.13. ANÁLISE COMPARATIVA DE MODELOS - ESTUDO DE CASO 1..... | 152 |
| 7. ESTUDO DE CASO 2 – DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA MECÂNICO PARA A LIMPEZA E CLASSIFICAÇÃO DE OSTRAS..... | 157 |
| 7.1. ATIVIDADE 1 – LEVANTAMENTO DOS REQUISITOS DAS INTERFACES..... | 157 |
| 7.2. ATIVIDADE 2 – DEFINIÇÃO DAS ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO DE INTERFACES | 157 |
| 7.3. ATIVIDADE 3 – ESTABELECIMENTO DAS ESTRUTURAS FUNCIONAIS E DOS RELACIONAMENTOS ENTRE FUNÇÕES..... | 159 |
| 7.4. ATIVIDADE 6 – DEFINIÇÃO DOS BLOCOS FUNCIONAIS | 162 |
| 7.5. ATIVIDADE 4 – DEFINIÇÃO DAS FUNÇÕES DE INTERFACE..... | 164 |
| 7.6. ATIVIDADE 5 – LEVANTAMENTO DAS FUNÇÕES CRÍTICAS..... | 166 |
| 7.7. ATIVIDADE 7 – GERAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO | 167 |
| 7.8. ATIVIDADE 8 – ANÁLISE DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO | 171 |
| 7.9. ATIVIDADE 9 – COMBINAR E EVOLUIR EM CONCEPÇÕES | 182 |
| 7.10. ANÁLISE COMPARATIVA DE MODELOS - ESTUDO DE CASO 2..... | 195 |
| 8. ESTUDO DE CASO 3 – DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA MECÂNICO PARA DESLOCAMENTO DE ESTRUTURAS DE CULTIVO DE OSTRAS | 200 |
| 8.1. ATIVIDADE 1 – LEVANTAMENTO DOS REQUISITOS DAS INTERFACES..... | 200 |
| 8.2. ATIVIDADE 2 - DEFINIÇÃO DAS ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO DE INTERFACES..... | 200 |
| 8.3. ATIVIDADE 3 – ESTABELECIMENTO DAS ESTRUTURAS FUNCIONAIS E DOS RELACIONAMENTOS ENTRE FUNÇÕES..... | 201 |
| 8.4. ATIVIDADE 6 – DEFINIÇÃO DOS BLOCOS FUNCIONAIS | 207 |
| 8.5. ATIVIDADE 4 – DEFINIÇÃO DAS FUNÇÕES DE INTERFACE..... | 207 |
| 8.6. ATIVIDADE 5 – LEVANTAMENTO DAS FUNÇÕES CRÍTICAS..... | 209 |
| 8.7. ATIVIDADE 7 – GERAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO | 210 |
| 8.8. ATIVIDADE 8 – ANÁLISE DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO | 212 |
| 8.9. ATIVIDADE 9 – COMBINAR E EVOLUIR EM CONCEPÇÕES | 219 |

| | |
|---|------------|
| 8.10. ANÁLISE COMPARATIVA DE MODELOS - ESTUDO DE CASO 3..... | 229 |
| 9. CAPÍTULO 9 – ANÁLISE DE RESULTADOS..... | 234 |
| 9.1. ANÁLISE DO ESTUDO DE CASO 1..... | 234 |
| 9.2. ANÁLISE DO ESTUDO DE CASO 2..... | 236 |
| 9.3. ANÁLISE DO ESTUDO DE CASO 3..... | 236 |
| 9.4. ANÁLISE GERAL DO MODELO | 237 |
| 9.4.1. <i>Diminuir incertezas</i> | 237 |
| 9.4.2. <i>Reduzir tempo de desenvolvimento</i> | 238 |
| 9.4.3. <i>Ser claro</i> | 238 |
| 9.4.4. <i>Ser fácil de desenvolver</i> | 239 |
| 9.4.5. <i>Fácil manipulação</i> | 239 |
| 9.4.6. <i>Fácil visualização</i> | 239 |
| 9.4.7. <i>Conter informações de todas as etapas do Ciclo de Vida</i> | 240 |
| 9.4.8. <i>Ter consistência de informações</i> | 240 |
| 9.4.9. <i>Restringir soluções</i> | 240 |
| 9.4.10. <i>Possuir gama de possibilidades</i> | 240 |
| 9.4.11. <i>Atender diferentes domínios</i> | 240 |
| 9.4.12. <i>Agregar restrições funcionais, geométricas, e físicas</i> | 241 |
| 9.4.13. <i>Analisar compatibilidade de soluções</i> | 241 |
| 9.4.14. <i>Prover informações de custo</i> | 241 |
| 9.4.15. <i>Ser baseado na Estrutura Funcional</i> | 242 |
| 9.4.16. <i>Considerar diferentes arquiteturas</i> | 242 |
| 9.4.17. <i>Possibilitar a avaliação de concepções com diferentes graus de detalhamento.</i> | 242 |
| 9.5. LIMITAÇÕES DO MODELO | 242 |
| 10. CAPÍTULO 10 – CONCLUSÕES | 244 |
| 10.1. ANÁLISE DE OBJETIVOS E RESULTADOS | 244 |
| 10.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 245 |
| 10.3. ENCERRAMENTO DO TRABALHO | 246 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 247 |
| ANEXOS | 258 |
| ANEXO 1 - ANÁLISE DE DFA E DFM DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO DE UM DISPOSITIVO PARA LIMPEZA DE VASOS SANITÁRIOS..... | 259 |
| ANEXO 2 – ANÁLISE DE DFA E DFM DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO DE UM SISTEMA DE LAVAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE OSTRAS..... | 265 |
| ANEXO 3 – ANÁLISE DE DFA E DFM DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO DE UM SISTEMA MECÂNICO PARA O DESLOCAMENTO DE ESTRUTURAS DE CULTIVO DE OSTRAS | 272 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| FIGURA 1.1: MODELO DE PROJETO CONSENSUAL - BASEADO EM FORCELLINI (2003)..... | 2 |
| FIGURA 1.2: MODELO DE PROJETO CONCEITUAL – BASEADO EM FORCELLINI (2003)..... | 3 |
| FIGURA 1.3: MODELO DA FASE DE PROJETO PRELIMINAR - BASEADO EM FORCELLINI (2003)..... | 4 |
| FIGURA 1.4: MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE CONCEPÇÕES (REIS, 2003, p.70). | 6 |
| FIGURA 2.1: FASES DO CICLO DE VIDA DO PRODUTO SEGUNDO FONSECA (2000). | 20 |
| FIGURA 2.2: MODELO UNIFICADO APRESENTADO POR ROZENFELD ET AL (2006, p.44). | 25 |
| FIGURA 2.3: FASE DE PROJETO CONCEITUAL SEGUNDO ROZENFELD ET AL (2006, p. 236)..... | 25 |
| FIGURA 2.4: FATORES CONSIDERADOS NAS DIFERENTES VISÕES DE GERENCIAMENTO DO PRODUTO (ISHII E YANG 2003)..... | 27 |
| FIGURA 2.5 – DIFERENÇAS NO GERENCIAMENTO DO DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO CONFORME A ABORDAGEM ARQUITETURAL (ULRICH, 1995, p. 434)..... | 30 |
| FIGURA 2.6 – COMPLEXIDADE DO MAPEAMENTO DE ELEMENTOS FUNCIONAIS E COMPONENTES FÍSICOS NUM PRODUTO DE ARQUITETURA INTEGRAL (BASEADO EM ULRICH, 1995, p. 422). | 31 |
| FIGURA 2.7 - COMPLEXIDADE DO MAPEAMENTO DE ELEMENTOS FUNCIONAIS E COMPONENTES FÍSICOS NUM PRODUTO DE ARQUITETURA MODULAR (BASEADO EM ULRICH, 1995, p. 421). | 31 |
| FIGURA 2.8: ASPECTOS DA DEFINIÇÃO DA ARQUITETURA DO PRODUTO (ADAPTADO DE FIXSON, 2005)..... | 32 |
| FIGURA 2.9A – MODULARIDADE TIPO <i>SLOT</i> (ULRICH E EPPINGER, 2004, p.166). | 33 |
| FIGURA 2.9B – MODULARIDADE TIPO <i>BUS</i> (ULRICH E EPPINGER, 2004, p.166)..... | 33 |
| FIGURA 2.9C – MODULARIDADE TIPO <i>SECCIONAL</i> (ULRICH E EPPINGER, 2004, p.166)..... | 33 |
| FIGURA 2.10 – DIFERENTES FORMAS DE CONEXÃO DE ELEMENTOS NUMA ARQUITETURA MODULAR SEGUNDO TJALVE (1979) APUD BAXTER (2000, p.236). | 34 |
| FIGURA 2.11: DOMÍNIOS ENVOLVIDOS NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS E SUAS INTERCONEXÕES (TRADUZIDO DE FIXSON, 2005). | 35 |
| FIGURA 2.12. ASPECTOS RELACIONADOS AO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS SEGUNDO ULLMAN (2003)..... | 36 |
| FIGURA 3.1: ETAPAS DO PROCESSO DE SISTEMATIZAÇÃO DA SELEÇÃO DO TIPO DE UNIÃO DE COMPONENTES DE PLÁSTICO INJETADOS. (SIQUEIRA, 2001)..... | 41 |
| FIGURA 3.2 - PROCESSO DE SELEÇÃO DE INTERFACES (PSI) – SCALICE (2003, p. 70). | 42 |
| FIGURA 3.3. MATRIZ PARA A DETERMINAÇÃO DAS NECESSIDADES DE INTERFACES – CRIAÇÃO DA MATRIZ. | 43 |
| FIGURA 3.4. PASSOS NECESSÁRIOS PARA A AVALIAÇÃO DAS INTERFACES ENTRE OS MÓDULOS (PEREIRA, 2004).46 | 46 |
| FIGURA 3.5. MATRIZES DE INTERFACES DE ERIXON ET AL. (1996) (A) E PEREIRA (2004) (B). | 47 |
| FIGURA 3.6: MODELO DE DESENVOLVIMENTO DE INTERFACES ROBUSTAS, SEGUNDO BLACKENFELT E SELLGREN (2000)..... | 48 |
| FIGURA 3.7: MODELO DE CAIXA-PRETA PARA CONCEITUALIZAÇÃO DE INTERFACES, SEGUNDO BLACKENFELT E SELLGREN (2000). | 48 |
| FIGURA 3.8 – TAREFAS DA ATIVIDADE DE MODELAR FUNCIONALMENTE (ROZENFELD ET AL, 2006, p.238). | 51 |
| FIGURA 3.9 – MATRIZ DE INTERFACES PROPOSTA POR ERIXON ET AL (1996) E DETALHADA POR ROZENFELD ET AL (2006, p. 263). | 52 |
| FIGURA 3.10 – MATRIZ DE COMPATIBILIDADE DE PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO (DREIBHOLZ, 1975 APUD PAHL E BEITZ, 1996, p.98). | 56 |
| FIGURA 3.11 – MODELO DE ESTRUTURA DE TRABALHO DE UM ELEVA-CAR (GOMES FERREIRA, 1997, p. 108)..... | 56 |
| FIGURA 3.12 – ENTRADAS E SAÍDAS DO PROCESSO DE CONFIGURAÇÃO DO PRODUTO (BAXTER, 2000, p. 232)..... | 57 |
| FIGURA 3.13 – PROCESSO DE CONFIGURAÇÃO DO PRODUTO SEGUNDO BAXTER (2000, p. 235). | 58 |
| FIGURA 3.14 – PROCESSO DE PASSAGEM DO ABSTRATO PARA O CONCRETO SEGUNDO ULLMAN (1992, p. 197). | 61 |
| FIGURA 3.15 – DIAGRAMA DE INTERFACES DE UM IMPLEMENTO PARA ABERTURA E ADUBAÇÃO DE SULCOS (SOUSA, 1998, p. 133)..... | 62 |
| FIGURA 3.16 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DA FAST (TAVARES JÚNIOR, 1997). | 66 |
| FIGURA 4.1: INTERAÇÕES ENTRE O PROJETO CONCEITUAL DO PRODUTO E PROJETO CONCEITUAL DO PROCESSO (FONTE: FENG E SONG, 2000). | 80 |
| FIGURA 4.2 – METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DO DFA NA FASE DE PROJETO CONCEITUAL (STONE, MCADAMS E KAYALETHEKKEL, 2004, p.305). | 82 |
| FIGURA 4.3: RELACIONAMENTO ENTRE OS MÉTODOS DE DFA E DFM NA DEFINIÇÃO DO PRODUTO. (FONTE: ULLMAN, 2003, ADAPTADO POR ROZENFELD ET AL, 2006)..... | 83 |
| FIGURA 4.4: FASES DO FMEA AVANÇADO (KMENTA ET AL, 1999)..... | 87 |
| FIGURA 4.5: REPRESENTAÇÃO DO MODELO ESQUEMÁTICO PROPOSTO POR HATA ET AL (2000)..... | 88 |
| FIGURA 4.6: MÉTODO DE PROJETO DE ELEMENTOS DE FALHAS DA FUNÇÃO (EFDM) (STOCK, 2003)..... | 89 |
| FIGURA 5.1: DESDOBRAMENTO DAS ATIVIDADES DE MODELAGEM FUNCIONAL, DESENVOLVIMENTO DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO E DEFINIÇÃO DA ARQUITETURA DO PRODUTO (ROZENFEL ET AL, 2006). | 99 |
| FIGURA 5.2: ATIVIDADE DE LEVANTAMENTO DOS REQUISITOS PARA O PROJETO DAS INTERFACES. | 101 |
| FIGURA 5.3: ATIVIDADE DE DEFINIÇÃO DAS ESPECIFICAÇÕES PARA O PROJETO DAS INTERFACES. | 102 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 5.4: PROJETO INFORMACIONAL ALTERADO A PARTIR DO MODELO DE REFERÊNCIA (MODIFICADO A PARTIR DE ROZENFELD ET AL, 2006, P. 212) | 103 |
| FIGURA 5.5: PROJETO CONCEITUAL ALTERADO A PARTIR DO MODELO DE REFERÊNCIA (MODIFICADO A PARTIR DE ROZENFELD ET AL, 2006, P. 236) | 104 |
| FIGURA 5.6: ETAPA DE DEFINIÇÃO DA ARQUITETURA DO PRODUTO E SEUS DESDOBRAMENTOS. | 105 |
| FIGURA 5.7: DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA FUNCIONAL | 106 |
| FIGURA 5.8: ATIVIDADE DE DEFINIÇÃO DAS FUNÇÕES DE INTERFACE. | 108 |
| FIGURA 5.9: FLUXOS DE ENERGIA, MATERIAL E INFORMAÇÃO. | 109 |
| FIGURA 5.10: MATRIZ DE COMPARAÇÃO DE INTERFACES..... | 109 |
| FIGURA 5.11: ATIVIDADE DE DEFINIÇÃO DAS FUNÇÕES CRÍTICAS..... | 111 |
| FIGURA 5.12: TAREFA DE DESENVOLVIMENTO DOS BLOCOS FUNCIONAIS. | 112 |
| FIGURA 5.13: ETAPA DE GERAÇÃO DE CONCEPÇÕES PARA O PRODUTO | 114 |
| FIGURA 5.14: ATIVIDADE DE DESENVOLVIMENTO DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO..... | 115 |
| FIGURA 5.15: DESENVOLVIMENTO DE PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO (GOMES FERREIRA, 1997). | 115 |
| FIGURA 5.16: ETAPA DE AVALIAÇÃO DAS CONCEPÇÕES PARA O PRODUTO..... | 120 |
| FIGURA 5.17: METODOLOGIA DE PROJETO DE INTERFACES NA FASE CONCEITUAL | 122 |
| FIGURA 6.1: ESTRUTURA FUNCIONAL DE UM EQUIPAMENTO DE LIMPEZA DE VASO SANITÁRIO (ADAPTADO DE SOUZA ET AL, 2003). | 130 |
| FIGURA 6.2: MATRIZ DE INTERFACES UM EQUIPAMENTO DE LIMPEZA DE VASO SANITÁRIO. | 131 |
| FIGURA 6.3: GRÁFICO COMPARATIVO DE AVALIAÇÃO DAS CONCEPÇÕES SEGUNDO OS PARÂMETROS ESPECIFICADOS | 149 |
| FIGURA 6.4: CONCEPÇÃO 1 MOSTRADA COM DETALHES CONSTRUTIVOS (ADAPTADA DE SOUZA ET AL, 2003). ... | 150 |
| FIGURA 6.5: CONCEPÇÃO 6 MOSTRADA COM DETALHES CONSTRUTIVOS (ADAPTADA DE SOUZA ET AL, 2003). ... | 150 |
| FIGURA 6.6: CONCEPÇÃO 8 MOSTRADA COM DETALHES CONSTRUTIVOS (ADAPTADA DE SOUZA ET AL, 2003). ... | 151 |
| FIGURA 7.1: FUNÇÃO GLOBAL E DESDOBRAMENTO EM FUNÇÕES PARCIAIS (NOVAES, 2005, P.42 E 43)..... | 159 |
| FIGURA 7.2: DESDOBRAMENTO DA ESTRUTURA FUNCIONAL EM FUNÇÕES ELEMENTARES (DEFINIDO A PARTIR DE NOVAES, 2005)..... | 160 |
| FIGURA 7.3: MATRIZ DE INTERFACES..... | 163 |
| FIGURA 7.4: GRÁFICO COMPARATIVO DAS CONCEPÇÕES..... | 189 |
| FIGURA 7.5: GRÁFICO COMPARATIVO DA DAS CONCEPÇÕES SEGUNDO OS CRITÉRIOS DE COMPARAÇÃO LEVANTADOS | 193 |
| FIGURA 7.6 – CONCEPÇÃO DESENVOLVIDA POR NOVAES (2005) COM BASE NAS CONCEPÇÕES AVALIADAS (P.62). | 194 |
| FIGURA 7.7: CURVA DE COMPROMETIMENTO DO CUSTO DO PRODUTO (ROZENFELD ET AL, 2006, P.7)..... | 195 |
| FIGURA 8.1: FUNÇÃO GLOBAL DE UM EQUIPAMENTO PARA DESLOCAMENTO DE LANTERNAS PARA O CULTIVO DE OSTRAS (HAMAD, 2005, P. 66) | 202 |
| FIGURA 8.2: DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO GLOBAL DE UM EQUIPAMENTO PARA DESLOCAMENTO DE LANTERNAS PARA O CULTIVO DE OSTRAS (HAMAD, 2005, P. 67)..... | 202 |
| FIGURA 8.3: DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO GLOBAL DE UM EQUIPAMENTO PARA DESLOCAMENTO DE LANTERNAS PARA O CULTIVO DE OSTRAS (HAMAD, 2005, P. 69)..... | 203 |
| FIGURA 8.4: DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO GLOBAL DE UM EQUIPAMENTO PARA DESLOCAMENTO DE LANTERNAS PARA O CULTIVO DE OSTRAS (HAMAD, 2005, P. 70)..... | 203 |
| FIGURA 8.5: DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO GLOBAL DE UM EQUIPAMENTO PARA DESLOCAMENTO DE LANTERNAS PARA O CULTIVO DE OSTRAS (HAMAD, 2005, P. 70)..... | 203 |
| FIGURA 8.6: MATRIZ DE INTERFACES DE UM EQUIPAMENTO PARA DESLOCAMENTO DE LANTERNAS PARA O CULTIVO DE OSTRAS. | 206 |
| FIGURA 8.7: GRÁFICO DE COMPARAÇÃO ENTRE CONCEPÇÕES..... | 227 |
| FIGURA 8.8: GRÁFICO COMPARATIVO DE CONCEPÇÕES CONSIDERANDO OS VALORES DE FUNCIONALIDADE DO PRODUTO. | 229 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|-----|
| QUADRO 1.1: PRINCIPAIS CONCEITOS DA ESTRUTURAÇÃO FUNCIONAL (REIS, 2003, p. 66)..... | 4 |
| QUADRO 1.2: MATRIZ MORFOLÓGICA (FONTE: PAHL E BEITZ, 1996)..... | 5 |
| QUADRO 1.3: CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE PESQUISA SEGUNDO GONSALVES (2003)..... | 13 |
| QUADRO 2.1: DIFERENÇAS ENTRE OS TIPOS DE ARQUITETURA SEGUNDO PARÂMETROS DE DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO(ULRICH E EPPINGER, 2004, pp.167-171; ULRICH,1995)..... | 32 |
| QUADRO 3.1: QUADRO COMPARATIVO ENTRE OS DIFERENTES MODELOS DE PROJETO DE INTERFACES | 70 |
| QUADRO 4.1: DIRETRIZES PARA O PROJETO PARA MANUFATURA E MONTAGEM (EDWARDS, 2002). | 77 |
| QUADRO 4.2: DIRETRIZES DE AVALIAÇÃO DA MONTABILIDADE E MANUFATURABILIDADE NO PROJETO CONCEITUAL | 84 |
| QUADRO 5.1: SÍNTESE DO MODELO DE PROJETO DE INTERFACES NA FASE CONCEITUAL DE PROJETO DE PRODUTO | 123 |
| QUADRO 6.1: LISTA DE ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO DE UM LIMPADOR DE VASO SANITÁRIO (SOUZA ET AL, 2003). | 126 |
| QUADRO 6.2: ENTRADAS E SAÍDAS DAS FUNÇÕES ELEMENTARES DE UM EQUIPAMENTO DE LIMPEZA DE VASO SANITÁRIO. | 130 |
| QUADRO 6.3: BLOCOS FUNCIONAIS DE UM EQUIPAMENTO DE LIMPEZA DE VASO SANITÁRIO. | 132 |
| QUADRO 6.4: FUNÇÕES DE INTERFACE E SUAS RESPECTIVAS CLASSIFICAÇÕES SEGUNDO PERSSON (2004), HILLSTRÖM (1994) E SCALICE (2003) PARA UM EQUIPAMENTO DE LIMPEZA DE VASO SANITÁRIO. | 132 |
| QUADRO 6.5: FUNÇÕES ORDENADAS EM TERMOS DE SUA CRITICIDADE | 134 |
| QUADRO 6.6: MATRIZ MORFOLÓGICA DO PROJETO DO LIMPADOR DE VASO SANITÁRIO | 136 |
| QUADRO 6.7: MATRIZ DE VÍNCULOS DE MODOS DE FALHA. | 139 |
| QUADRO 6.8: MATRIZ MORFOLÓGICA ALTERADA. | 140 |
| QUADRO 6.9: MODELO DE PROJETO INFORMACIONAL UTILIZADO POR SOUZA ET AL (2003). | 153 |
| QUADRO 6.10: MODELO PROPOSTO DE PROJETO INFORMACIONAL APLICADO NO ESTUDO DE CASO. | 154 |
| QUADRO 6.11: MODELO DE PROJETO CONCEITUAL UTILIZADO POR SOUZA ET AL (2003). | 155 |
| QUADRO 6.12: MODELO PROPOSTO DE PROJETO CONCEITUAL APLICADO NO ESTUDO DE CASO. | 156 |
| QUADRO 7.1: DEFINIÇÃO DAS ENTRADAS E SAÍDAS DAS FUNÇÕES. | 161 |
| QUADRO 7.2: BLOCOS FUNCIONAIS ESTABELECIDOS A PARTIR DA MATRIZ DE INTERFACES..... | 163 |
| QUADRO 7.3: FUNÇÕES DE INTERFACE COM AS RESPECTIVAS CLASSIFICAÇÕES DE PERSSON (2004), HILLSTRÖM (1994) E SCALICE (2003). | 164 |
| QUADRO 7.4: FUNÇÕES ORDENADAS POR ORDEM DE CRITICIDADE. | 167 |
| QUADRO 7.5: MATRIZ MORFOLÓGICA (NOVAES, 2005, p. 46 – 48)..... | 168 |
| QUADRO 7.6: MATRIZ MORFOLÓGICA COMPLEMENTAR – INTERFACES. | 170 |
| QUADRO 7.7: PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO SELECIONADOS COM OS RESPECTIVOS PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO. | 178 |
| QUADRO 7.8: ANÁLISE DE DFA E DFM DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO DA FUNÇÃO CRÍTICA DO BLOCO FUNCIONAL 1. | 180 |
| QUADRO 7.9: CONCEPÇÃO COMPARATIVA PROPOSTA NESTE TRABALHO. | 182 |
| QUADRO 7.10: CONCEPÇÕES APRESENTADAS POR NOVAES (2005, p. 49 – 57) COM VALORES DE NPR E ANÁLISE DE DFA E DFM. | 183 |
| QUADRO 7.11: CONCEPÇÕES E SEUS RESPECTIVOS NPRS. | 188 |
| QUADRO 7.12: ANÁLISE DE VIABILIDADE DAS CONCEPÇÕES (NOVAES, 2005, p. 60)..... | 190 |
| QUADRO 7.13: MODELO DE PROJETO INFORMACIONAL UTILIZADO POR NOVAES (2005). | 196 |
| QUADRO 7.14: MODELO PROPOSTO DE PROJETO INFORMACIONAL APLICADO NO ESTUDO DE CASO. | 197 |
| QUADRO 7.15: MODELO DE PROJETO CONCEITUAL UTILIZADO POR NOVAES (2005)..... | 198 |
| QUADRO 7.16: MODELO PROPOSTO DE PROJETO CONCEITUAL APLICADO NO ESTUDO DE CASO. | 199 |
| QUADRO 8.1: ENTRADAS E SAÍDAS DAS FUNÇÕES ELEMENTARES. (ADAPTADO DE HAMAD, 2005, p. 69 – 70). | 204 |
| QUADRO 8.2: BLOCOS FUNCIONAIS DO EQUIPAMENTO DE DESLOCAMENTO DE LANTERNAS DE OSTRAS. | 207 |

| | |
|---|-----|
| QUADRO 8.3: FUNÇÕES DE INTERFACE CLASSIFICADAS SEGUNDO OS CRITÉRIOS DE PERSSON (2004), HILLSTRÖM (1994) E SCALICE (2003). | 208 |
| QUADRO 8.4: FUNÇÕES ORDENADAS EM TERMOS DA SUA CRITICIDADE. | 210 |
| QUADRO 8.5: MATRIZ MORFOLÓGICA DO EQUIPAMENTO DE DESLOCAMENTO DE LANTERNAS PARA O CULTIVO DE OSTRAS (HAMAD, 2005, P. 75 – 77). | 211 |
| QUADRO 8.6: FUNÇÕES DE INTERFACE DO EQUIPAMENTO. | 212 |
| QUADRO 8.7: PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO COM SEUS RESPECTIVOS PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO. | 216 |
| QUADRO 8.8: PRINCÍPIOS ANÁLISE DE DFA E DFM DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO DA FUNÇÃO CRÍTICA DO BLOCO FUNCIONAL 1. | 218 |
| QUADRO 8.9: PROPOSTA DE CONCEPÇÃO COMPARATIVA. | 219 |
| QUADRO 8.10: CONCEPÇÃO 1 DESCRITA POR HAMAD (2005, P. 79). | 220 |
| QUADRO 8.11: CONCEPÇÃO 2 DESCRITA POR HAMAD (2005, P. 80). | 221 |
| QUADRO 8.12: CONCEPÇÃO 3 DESCRITA POR HAMAD (2005, P. 81). | 222 |
| QUADRO 8.13: CONCEPÇÃO 4 DESCRITA POR HAMAD (2005, P. 82). | 223 |
| QUADRO 8.14: CONCEPÇÃO 5 DESCRITA POR HAMAD (2005, P. 83). | 224 |
| QUADRO 8.15: CONCEPÇÃO 6 DESCRITA POR HAMAD (2005, P. 83). | 225 |
| QUADRO 8.16: CONCEPÇÃO 7 DESCRITA POR HAMAD (2005, P. 83). | 226 |
| QUADRO 8.17: MODELO DE PROJETO INFORMACIONAL UTILIZADO POR HAMAD (2005). | 230 |
| QUADRO 8.18: MODELO PROPOSTO DE PROJETO INFORMACIONAL APLICADO NO ESTUDO DE CASO. | 231 |
| QUADRO 8.19: MODELO DE PROJETO CONCEITUAL UTILIZADO POR HAMAD (2005). | 232 |
| QUADRO 8.20: MODELO PROPOSTO DE PROJETO CONCEITUAL APLICADO NO ESTUDO DE CASO. | 233 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| TABELA 3.1. CRITÉRIOS PROPOSTOS PARA COMPARAÇÃO ENTRE INTERFACES | 44 |
| TABELA 4.1: SEVERIDADE DOS EFEITOS FUNCIONAIS ADAPTADA DE BEM-DAYA E RAOUF (1996) | 91 |
| TABELA 4.2: MATRIZ DE RELACIONAMENTO ENTRE FUNÇÕES E ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO | 92 |
| TABELA 4.3: MATRIZ MORFOLÓGICA | 92 |
| TABELA 4.4: FMEA DE PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO | 93 |
| TABELA 4.5: ÍNDICE DE OCORRÊNCIA DOS MODOS DE FALHA SEGUNDO SUA PROBABILIDADE (BEM-DAYA E RAOUF,1996)..... | 93 |
| TABELA 4.6: ÍNDICE DE DETECÇÃO DAS FALHAS SEGUNDO SUA PROBABILIDADE DE DETECÇÃO (BEM-DAYA E RAOUF,1996)..... | 93 |
| TABELA 4.7: MATRIZ DE INTERRELACIONAMENTO ENTRE MODOS DE FALHA..... | 94 |
| TABELA 5.1: TABELA DE COMPARAÇÃO ENTRE REQUISITOS DE PROJETO E CRITÉRIOS DE INTERFACES. | 102 |
| TABELA 6.1: ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO DE INTERFACES DO PROJETO DE LIMPADOR DE VASO SANITÁRIO..... | 129 |
| TABELA 6.2: LEVANTAMENTO DAS FUNÇÕES CRÍTICAS PARA UM EQUIPAMENTO DE LIMPEZA DE VASO SANITÁRIO | 134 |
| TABELA 6.3: FMEA DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO. | 138 |
| TABELA 6.4: VALORES DE DFA E DFM PARA CADA PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO | 141 |
| TABELA 6.5: CONCEPÇÃO 1..... | 144 |
| TABELA 6.6: CONCEPÇÃO 2..... | 144 |
| TABELA 6.7: CONCEPÇÃO 3..... | 144 |
| TABELA 6.8: CONCEPÇÃO 4..... | 145 |
| TABELA 6.9: CONCEPÇÃO 5..... | 145 |
| TABELA 6.10: CONCEPÇÃO 6..... | 145 |
| TABELA 6.11: CONCEPÇÃO 7..... | 146 |
| TABELA 6.12: CONCEPÇÃO 8..... | 146 |
| TABELA 6.13: CONCEPÇÃO 9..... | 146 |
| TABELA 6.14: MATRIZ DE AVALIAÇÃO COM VALOR DE NPR. | 147 |
| TABELA 7.1: DEFINIÇÃO DE ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO DE INTERFACES..... | 158 |
| TABELA 7.2: DEFINIÇÃO DAS FUNÇÕES CRÍTICAS..... | 166 |
| TABELA 7.3: FMEA DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO PARA A FUNÇÃO CRÍTICA DE RESTRINGIR FLUXO. | 171 |
| TABELA 7.4: FMEA DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO PARA A FUNÇÃO CRÍTICA DE TRANSPORTAR OSTRAS. | 172 |
| TABELA 7.5: FMEA DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO PARA A FUNÇÃO CRÍTICA DE LIMPAR OSTRAS. | 173 |
| TABELA 7.6: FMEA DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO PARA A FUNÇÃO CRÍTICA DE CLASSIFICAR OSTRAS..... | 174 |
| TABELA 7.7: FMEA DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO PARA A FUNÇÃO CRÍTICA DE SEPARAR RESÍDUOS. | 175 |
| TABELA 7.8: MATRIZ DE VÍNCULO DOS MODOS DE FALHA JUNTO COM OS NPRS DE CADA PRINCÍPIO DE SOLUÇÃO. | 176 |
| TABELA 7.9: MATRIZ DE AVALIAÇÃO DAS CONCEPÇÕES (ADAPTADA DE NOVAES, 2005, P. 61)..... | 192 |
| TABELA 8.1: DEFINIÇÃO DE ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO DE INTERFACES..... | 201 |
| TABELA 8.2: LEVANTAMENTO DAS FUNÇÕES CRÍTICAS DE UM EQUIPAMENTO PARA DESLOCAMENTO DE LANTERNAS DE OSTRAS. | 209 |
| TABELA 8.3: FMEA DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO DAS FUNÇÕES CRÍTICAS DE CADA BLOCO FUNCIONAL. | 213 |
| TABELA 8.4: MATRIZES DE VÍNCULOS ENTRE MODOS DE FALHA DAS FUNÇÕES CRÍTICAS. | 214 |
| TABELA 8.5: VALORES DE NPR, DFA E DFM DAS CONCEPÇÕES | 227 |
| TABELA 8.6: MATRIZ DE AVALIAÇÃO DE UM EQUIPAMENTO PARA O DESLOCAMENTO DE ESTRUTURAS PARA O CULTIVO DE OSTRAS | 228 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

| | |
|-------|--|
| FG | Função Global |
| FP | Função Parcial |
| FE | Função Elementar |
| EF | Estrutura Funcional |
| CAD | Computer Aided Design |
| ES | Engenharia Simultânea |
| PDP | Processo de Desenvolvimento de Produtos |
| SSC | Sistemas, Subsistemas e Componentes |
| DFA | Design for Assembly |
| DFM | Design for Manufacture |
| FMEA | Failure Modes and Effects Analysis |
| CV | Ciclo de Vida |
| MoI | Método das Imprecisões |
| DFMA | Design for Manufacture and Assembly |
| P&D | Pesquisa e Desenvolvimento |
| DOF | Graus de Liberdade (Degrees of Freedom) |
| PSI | Processo de Seleção de Interfaces |
| PDE | Elemento de Projeto de Produto |
| FAST | Function Analysis System Technique |
| AFMEA | Advanced FMEA |
| CFMA | Conceptual Failure Modes and Effect Analysis |
| EFDM | Elemental Function-Failure Design Method |
| EDM | Expanded Design Matrix |
| RF | Requisito Funcional |
| DP | Parâmetro de Projeto (Design Parameter) |
| Sev | Severidade |
| NPR | Número de Prioridade de Risco |
| PS | Princípio de Solução |
| MF | Modo de Falha |
| QFD | Quality Function Deployment |
| BF | Bloco Funcional |
| DSM | Design Structure Matrix |
| MFD | Modular Function Deployment |
| MIM | Module Indication Matrix |
| BOM | Bill of Materials |
| DFX | Design for X |
| CAE | Computer Aided Engineering |

RESUMO

O desenvolvimento das interfaces de um produto ainda é um tema pouco estudado na literatura. Diferentes autores têm desenvolvido pesquisas em relação à modularidade do produto e ao desenvolvimento de leiautes construtivos. Estes estudos procuram definir as formas do produto antes de estabelecer como estas formas serão agrupadas em termos de interface. Isto acaba por gerar problemas de combinação de concepções nas fases de projeto preliminar e/ou projeto detalhado do produto o que ocasiona a necessidade de retorno ao projeto conceitual. Estes retrabalhos, por sua vez, provocam o aumento do desenvolvimento do produto e, conseqüentemente, o aumento dos custos do mesmo, reduzindo sua competitividade no mercado. Diante disso, o presente trabalho procurou desenvolver uma proposta de metodologia de projeto de interfaces entre componentes na fase conceitual do processo de desenvolvimento do produto. Para tanto, foi realizada uma pesquisa bibliográfica que levantou as diferentes dimensões envolvidas com o projeto das interfaces do produto, os métodos e modelos associados com tais dimensões e as ferramentas que possuíam alguma relação com o assunto. Esta pesquisa gerou uma lista de requisitos para a proposta de modelo. Assim, gerou-se um modelo que procurou atender as diretrizes apontadas e procurou-se validar esta proposta por meio de três estudos de caso. Os estudos de caso desenvolvidos foram realizados com base em produtos projetados anteriormente e a validação da proposta deu-se de maneira comparativa com os mesmos. Os resultados obtidos apontaram para uma melhoria nas informações para avaliação e seleção das concepções do produto, pois agregaram aspectos de montagem, manufatura e confiabilidade ao processo de escolha das concepções, reduzindo a quantidade de retrabalhos nas fases finais do processo de desenvolvimento de produtos e tornando mais efetivo o uso da engenharia simultânea como filosofia de trabalho nos ambientes de projeto.

Palavras-chave: projeto de interfaces, projeto conceitual, redução de incertezas, engenharia simultânea.

ABSTRACT

The product interface design is still a topic few studied in the literature. Different authors have developed research in relation to the product modularity and the development of constructive layout. These studies seek to define the forms of the product before establishing how these forms will be grouped in terms of interface. This ultimately generate problems of combining concepts in the preliminary stages of design and / or detailed design of the product that causes the need to return to the conceptual design. These rework, in turn, cause the increase in product development and, consequently, the rising cost of it, reducing their competitiveness in the market. The present study aimed to develop a proposal for a methodology for design of interfaces between components in the conceptual stage of the process of product development. For both, was performed a literature search that lifted the different dimensions involved in the design of the interfaces of the product, the methods and models associated with these dimensions and tools that had some connection with the matter. This research has generated a list of requirements for the proposed model. So there was a model that sought to meet the guidelines suggested and tried to validate this proposal through three case studies. The case studies were developed on the basis of products previously designed and validation of the proposal gave themselves on a comparison with them. The results pointed to an improvement in the information for evaluation and selection of product designs, as added features for assembly, manufacturing and reliability to the process of choosing the design, reducing the amount of rework in the final stages of the process of developing products and making more effective use of both engineering and philosophy of working in environments by design.

Keywords: interface design, conceptual design, reduction of uncertainties, simultaneous engineering.

1. Capítulo 1 - Introdução

O projeto de engenharia vem sofrendo constantes modificações ao longo das últimas décadas no que diz respeito à forma de desenvolvimento, acarretando diferentes teorias, metodologias ou abordagens para sua realização. Diversos autores vêm propondo formas de sistematizá-lo de modo a criar uma metodologia para o seu desenvolvimento buscando atender os critérios, cada vez mais exigentes, de tempo, custo e qualidade. Estes têm implicações diretas na competitividade das empresas e no grau de inovação dos produtos desenvolvidos.

Devido aos critérios de tempo, custo e qualidade serem, na maioria das vezes, conflitantes, é comum adotar soluções de compromisso durante o desenvolvimento de um produto. Com o objetivo de buscar alternativas a estas, vêm sendo desenvolvidos diferentes métodos e ferramentas de auxílio ao projeto de produto. Assim, cada vez mais amplia-se o campo de alternativas de escolha para o projetista no que diz respeito à forma como se dará o desenvolvimento do processo de projeto.

Dentro dessas alternativas encontram-se os modelos de Suh (1990), Pahl e Beitz (1996), French (1985), Hubka (1980), entre outros. Tais modelos apresentam diferentes formas de abordagem do processo de desenvolvimento do produto (PDP). Apesar disso, muitos seguem um caminho comum, tal como apresentado por Gomes Ferreira (1997) e Ogliari (1999), no modelo denominado “modelo consensual”, o qual é composto de quatro fases: Projeto Informacional, Projeto Conceitual, Projeto Preliminar e Projeto Detalhado (Figura 1.1).

Tomando este modelo como base, percebe-se que a passagem do campo abstrato do processo de projeto, – onde o problema é tratado num nível de funções - para o campo concreto, – onde são definidas as formas do produto – é realizada durante as fases de projeto conceitual e projeto preliminar, cujos desdobramentos são apresentados nas Figuras 1.2 e 1.3.

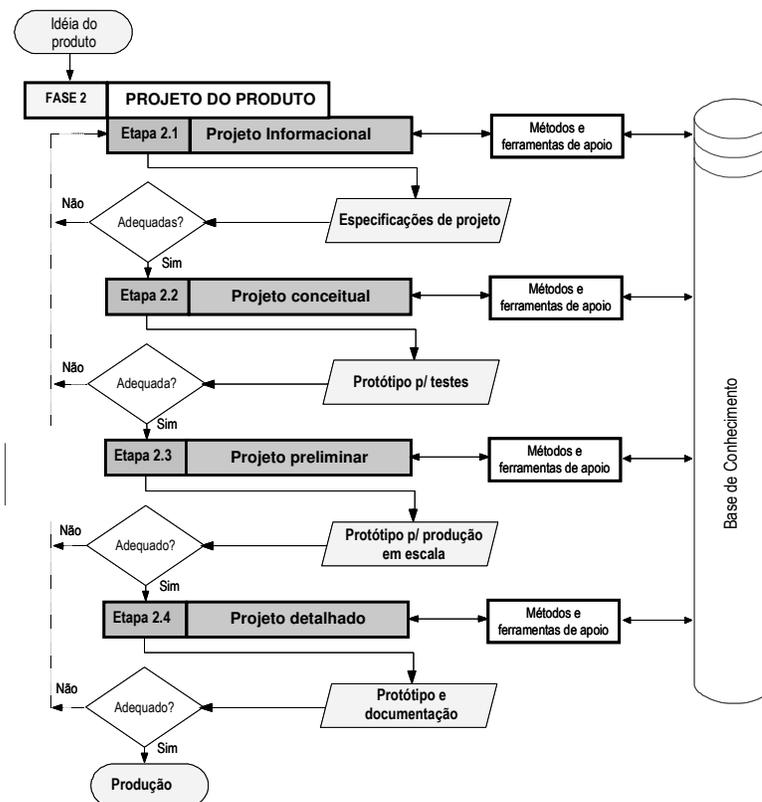


Figura 1.1: Modelo de Projeto Consensual - baseado em Forcellini (2003).

Durante o projeto conceitual são realizadas as atividades de estruturação funcional (EF) do produto, a geração de princípios de solução, a combinação dos princípios e a sua evolução em concepções. Estas concepções, por sua vez, são avaliadas por critérios de atendimento de especificações de projeto previamente estabelecidas e por avaliação comparativa pela ferramenta da Matriz de Pugh (Pugh,1990).

A estruturação funcional ou modelagem funcional compreende, segundo Pahl e Beitz (1996), a representação do problema de acordo com suas entradas e saídas. Já segundo Ullman (2003), a estruturação funcional é a decomposição do problema de projeto em termos de energia, material e informação. Esta decomposição, aponta o autor, propicia ao projetista um entendimento detalhado do problema de projeto ainda na sua fase inicial.

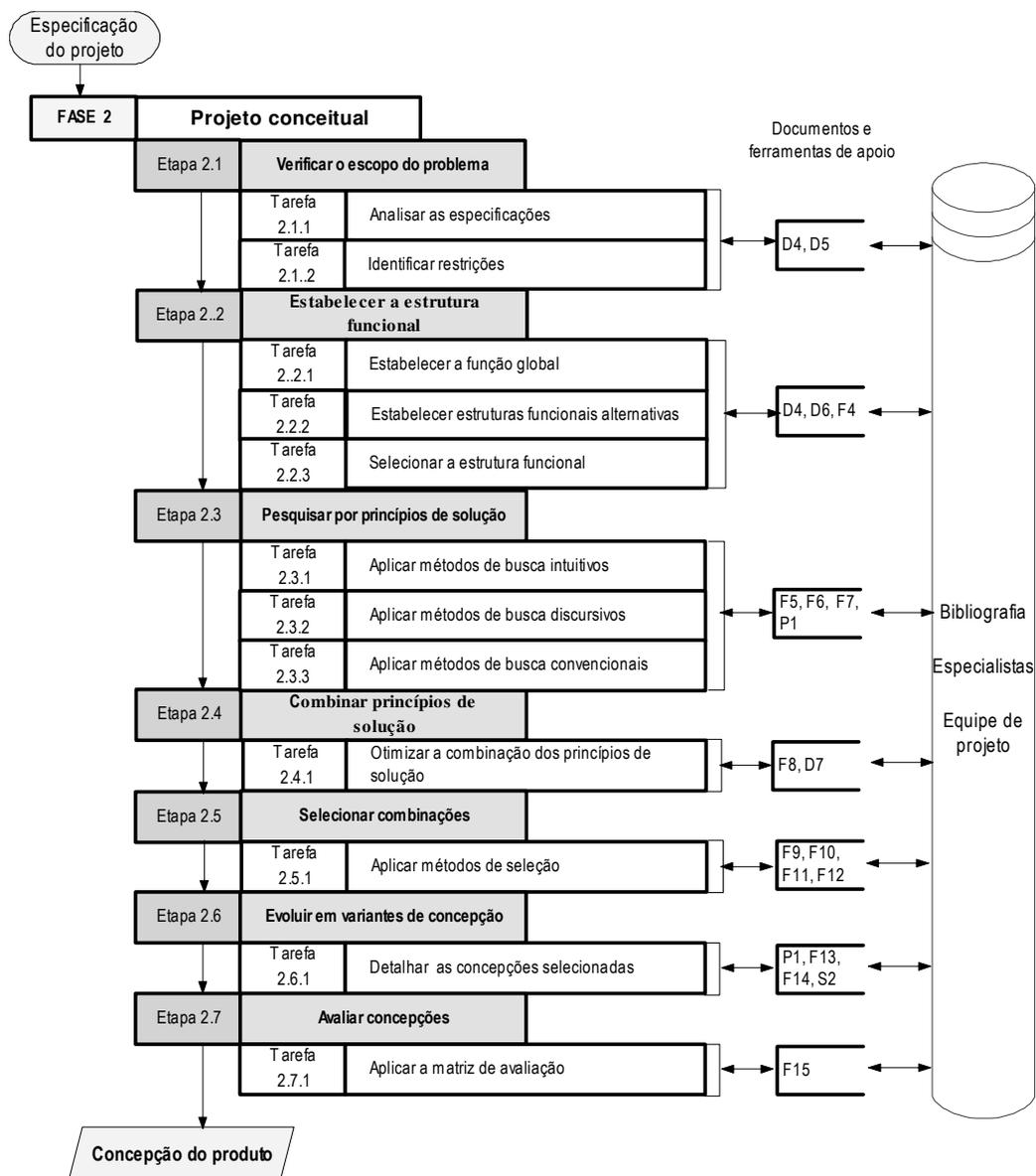


Figura 1.2: Modelo de Projeto Conceitual – baseado em Forcellini (2003).

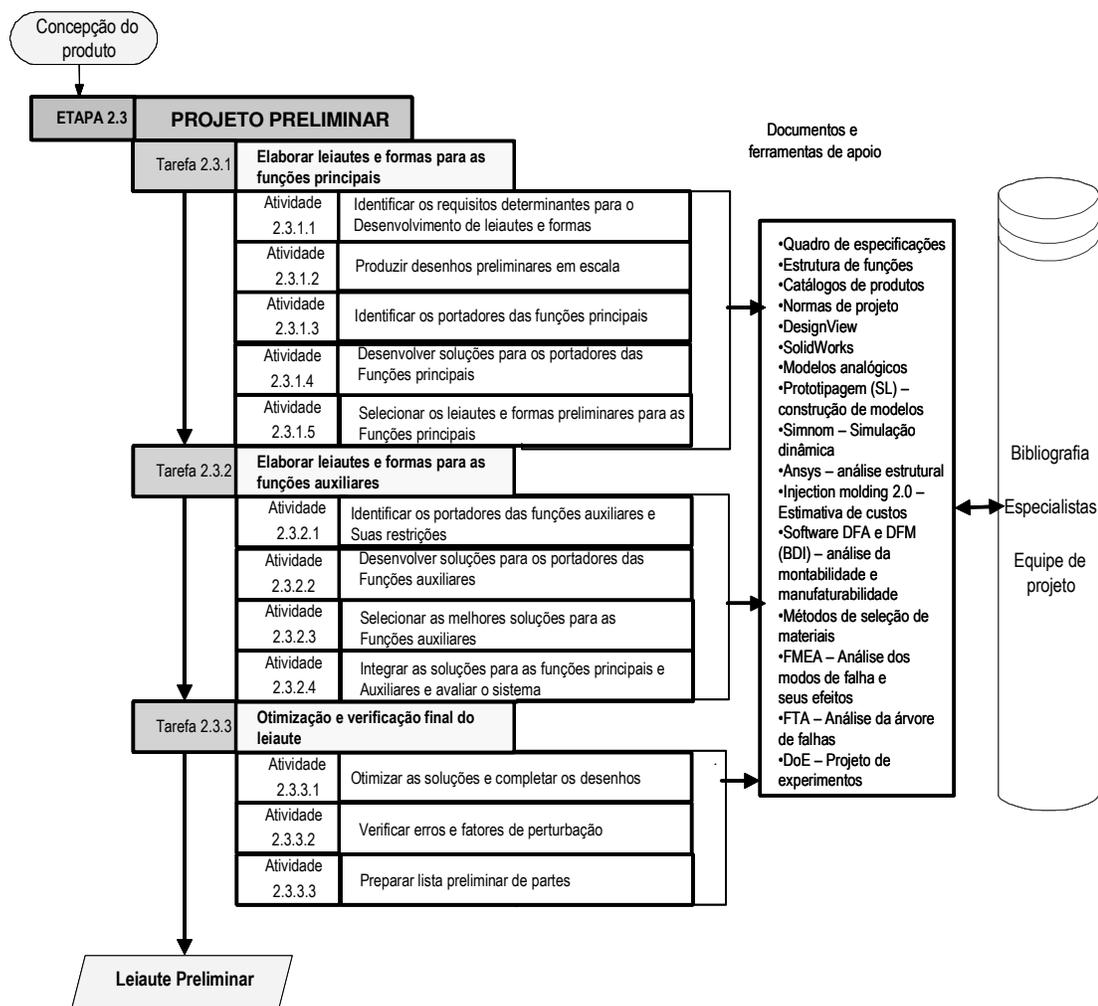


Figura 1.3: Modelo da fase de Projeto Preliminar - baseado em Forcellini (2003).

Dessa forma, o problema de projeto é descrito na sua Função Global (FG) e decomposto em sub-problemas - Funções parciais (FPs) - até o nível de Funções Elementares (FEs), as quais são definidas no Quadro 1.1 (Reis, 2003, p. 66) .

Quadro 1.1: Principais conceitos da estruturação funcional (Reis, 2003, p. 66).

| Termo | Significado |
|---------------------|---|
| Função | Relação entre as entradas e saídas (em termos de energia, material e sinal) de um sistema que tem o propósito de desempenhar uma tarefa. |
| Função global | Expressa a relação entre as entradas e saídas de todas as quantidades envolvidas assim como as suas propriedades. É a função última do sistema técnico. |
| Função parcial | Ou subfunção, divisão da função global com menor grau de complexidade. |
| Função auxiliar | Contribui para a função global de uma forma indireta. Tem caráter complementar ou de apoio |
| Função elementar | Último nível de desdobramento da função global, não admitindo subdivisão. |
| Estrutura funcional | Combinação de funções parciais representativas da função global do sistema |

Depois de desdobradas as funções do produto até o nível das FEs, são geradas diferentes formas de agrupamento destas funções em estruturas de funções alternativas. Estas são, então, submetidas a um processo de seleção para a determinação daquelas mais adequadas ao problema de projeto. Esta seleção é baseada nas informações contidas nas Especificações de Projeto. Considerando-se que estas especificações possuem parâmetros qualitativos pode-se inferir que a seleção das EFs possui pontos onde o julgamento ocorre de modo subjetivo. Além disso, por estar-se trabalhando com funções, que na verdade são elementos abstratos, o grau de incerteza envolvido nesta fase do projeto é elevado.

Selecionadas as melhores estruturas funcionais (EFs), cada uma das FEs é colocada numa matriz de relacionamento de Funções X Princípios de Solução (Quadro 1.2). Esta é apresentada por Zwicky (1977) apud Pahl e Beitz (1996) como “uma forma de estruturar e investigar o conjunto total de relacionamentos contidos em problemas complexos, multifuncionais e não-quantificáveis” (Zwicky, 1966, 1969 apud Ritchey, 2002) e é denominada de matriz morfológica.

Quadro 1.2: Matriz Morfológica (Fonte: Pahl e Beitz, 1996)

| Funções / PSs | PS ₁ | PS ₂ | ... | PS _n |
|---------------|-----------------|-----------------|-----|-----------------|
| Função 1 | | | | |
| Função 2 | | | | |
| ... | | | | |
| Função n | | | | |

A matriz morfológica é uma ferramenta que auxilia na visualização simultânea das funções e dos seus princípios de solução associados. Segundo Ritchey (2002), ela “incentiva a investigação das condições de contorno de um problema e compele a consideração de diferentes configurações para a solução dos problemas”.

Com base nos princípios de solução são feitas combinações de modo a serem estabelecidas estruturas de trabalho as quais são desenvolvidas em concepções.

As concepções constituem-se, segundo Gomes Ferreira (1997), de soluções gerais para o problema de projeto.

Entretanto, devido ao grande número de combinações possíveis dentro da matriz morfológica, surge a pergunta: quais das combinações são passíveis de desenvolvimento?

Roozenburg e Eekels (1995) sugerem que se coloquem os princípios de solução mais prováveis de serem utilizados nas primeiras colunas da matriz. Esta disposição aponta para uma tendência de que a solução conterà um deles o que reduziria o número de combinações. Contudo, este procedimento aponta para um pré-julgamento, que nem sempre é possível pelo próprio desconhecimento da equipe em relação ao princípio de solução, e que gera uma tendência a escolher uma solução já existente para o problema de projeto.

A partir das concepções geradas, é realizada a seleção da(s) melhor(es) concepção(ões). Neste processo são avaliados, inicialmente, aspectos de viabilidade econômica e tecnológica, para então ser realizada uma análise comparativa, tanto de forma absoluta concepção *versus* Especificações de Projeto, como de maneira relativa Concepção *versus* Concepções (Figura 1.4). Algumas ferramentas utilizadas nesta fase são a Matriz de Pugh (Pugh, 1990) e exame passa / não-passa.

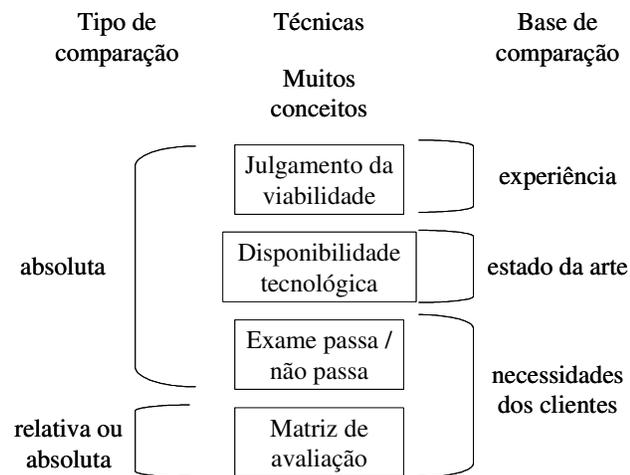


Figura 1.4: Método de avaliação de concepções (Reis, 2003, p.70).

Reis (2003) citando Back e Forcellini (1997), apresenta a Figura 1.4, na qual estão apresentados os meios de avaliação de concepções, bem como os tipos de comparação utilizados (absoluta – quando a comparação é feita apenas da concepção avaliada com parâmetros externos; relativa – quando se compara as diferentes concepções de modo a apontar aquelas que melhor atendem os parâmetros de avaliação). Também na figura apresentada estão as técnicas de avaliação e as bases de comparação utilizadas.

Os principais problemas nesta fase são as incertezas para uma análise mais criteriosa das concepções. Isto ocorre porque muitas informações sobre o funcionamento dos princípios de solução ainda não estão disponíveis, uma vez que para se fazer a análise de uma concepção é necessário um estudo aprofundado da mesma o que implica em tempo, custo e esforço. No caso, como se está trabalhando com diversas concepções, isto acaba não sendo viável. Outra questão é o grau de detalhamento das concepções, que nem sempre apresentam uma uniformidade. Isto vai de encontro ao que apontam Rozenfeld et al (2006), estes sugerem que as concepções devem ser expressas na mesma linguagem e com o mesmo grau de abstração. Também não são consideradas as interações existentes entre as concepções que compõem o produto como um todo.

Definido o conceito, parte-se para a fase de Projeto Preliminar.

Segundo Pahl e Beitz (1996), esta “é a fase do processo de projeto na qual, partindo da concepção de um produto técnico, o projeto é desenvolvido, de acordo com critérios técnicos e econômicos e à luz de informações adicionais, até o ponto em que o projeto detalhado subsequente possa conduzir diretamente à produção”. Na fase preliminar são feitas a elaboração e identificação de leiautes e formas para as funções principais e auxiliares otimizando e verificando o leiaute do produto. É nesta fase que são desenvolvidas as interfaces do produto.

Ainda de acordo com os autores, o nível de detalhamento a ser alcançado nessa fase deve incluir:

- o estabelecimento do leiaute definitivo (arranjo geral e compatibilidade espacial);
- projeto preliminar das formas (formato de componentes e materiais);
- procedimentos de produção;
- estabelecimento de soluções para qualquer função auxiliar.

Dentro desta fase então são desenvolvidos os parâmetros de funcionamento e produção do produto. Contudo, o que ocorre geralmente é que, devido às incertezas decorrentes da fase conceitual do projeto, encontram-se problemas nas concepções geradas o que faz que com haja a necessidade de voltar para o projeto conceitual para corrigir tais problemas. Este retorno numa fase tão avançada do projeto implica em custos muito altos por já estar-se trabalhando com modelos e simulações. Assim, pode-se detectar uma necessidade latente de redução dos retrabalhos durante esta fase do projeto de produtos.

Portanto, a forma como o processo de desenvolvimento de produtos encontra-se estruturado apresenta problemas no que diz respeito a dicotomização do produto em diversos elementos. Se por um lado esta divisão é benéfica por tornar mais simples a busca de solução para as funções do produto, por outro a mesma é nociva por ignorar os fatores de interação entre os diferentes elementos que compõem o produto como um todo. O desconhecimento destes fatores faz com que a avaliação da melhor concepção seja feita de forma deficiente pois não são levados em conta dados relevantes para o funcionamento do produto. O que ocorre, então, é que muitas vezes a necessidade de tais dados pode impossibilitar a adoção de uma determinada concepção, provocando o seu descarte e, conseqüentemente, trazendo a necessidade de retrabalho, envolvendo as atividades de elaboração de uma nova concepção.

Neste processo, surgem incertezas associadas ao desenvolvimento do produto bem como à avaliação das concepções geradas. Tais incertezas provocam uma grande carga de subjetividade durante a atividade de seleção de concepções. Esta subjetividade, por sua vez, limita o universo de concepções àquelas familiares à equipe de projeto.

Por isso, deve-se considerar a necessidade de se levar em conta no desenvolvimento das concepções para o produto aquelas informações associadas aos elementos de interação do mesmo, no caso as suas interfaces.

Neste trabalho entende-se por projeto de interfaces o desenvolvimento das conexões ou ligações entre diferentes elementos funcionais, princípios de solução, princípios de trabalho ou mesmo módulos construtivos de um produto. Sendo assim, cabe delimitar o termo interface para o domínio das interfaces construtivas entre componentes, especialmente os componentes mecânicos.

Outra questão a ser levantada é a possibilidade de determinados elementos funcionais estarem associados ao desenvolvimento explícito de interfaces. Um exemplo é a existência de uma função elementar denominada “unir partes”. Este tipo de função é geralmente aplicado em projetos de produtos mais simples e/ou em elementos estruturais. Cabe ressaltar que este caso pode ser considerado como parte do projeto das interfaces do produto. Apesar disso, este é um caso específico que não reflete a realidade como um todo.

Considerando-se a complexidade dessas tarefas e a disponibilidade de tecnologia disponível na época de elaboração de grande parte dos modelos de desenvolvimento de produtos torna-se compreensível a lógica empregada. Atualmente o nível de desenvolvimento computacional, com diversos tipos de sistemas CAD (Computer-Aided Design) e as novas filosofias de trabalho como a Engenharia Simultânea (ES), permitem às equipes de projeto visualizar e desenvolver produtos com um grau de exatidão muito maior, pois as técnicas citadas permitem uma melhor manipulação de informações complexas como as citadas anteriormente já na fase de projeto conceitual. Assim, pode-se perguntar porque o processo de projeto ainda não contempla as interfaces do produto dentro do Projeto Conceitual?

Para responder esta pergunta pode-se levantar algumas hipóteses a respeito:

- por motivos culturais: resistência a uma implantação efetiva de um ambiente de ES nas empresas, uma vez que seria necessária uma readequação de pessoal, ambiente e filosofia de trabalho. A ES também implica num nível de relacionamento interpessoal mais constante com necessidade de interação e troca de experiências. Outro ponto chave é que há um modelo de desenvolvimento posto, isto implica dizer que, mesmo com o surgimento de novas tecnologias e ferramentas, existe uma resistência a mudanças nesse processo;
- por motivos tecnológicos: mesmo com todo o desenvolvimento tecnológico atual, as informações trabalhadas durante o Projeto Conceitual ainda são

muito abstratas para uma utilização mais efetiva das ferramentas disponíveis atualmente;

- por motivos metodológicos: não surgiu ainda um método de desenvolvimento das interfaces para o projeto conceitual que aponte um caminho viável de desenvolvimento das mesmas nesta fase do projeto, seja por fatores culturais ou tecnológicos ou mesmo ambos.

Por meio de uma pesquisa bibliográfica preliminar verificou-se que diversos autores vêm pesquisando nas áreas citadas. Não necessariamente devido ao projeto das interfaces mas em relação aos aspectos de mudanças culturais nas empresas, no desenvolvimento de novas ferramentas de projeto e no desenvolvimento de novos métodos que buscam antecipar as tomadas de decisão para as fases iniciais do Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP). Linhares (2000) aponta, por exemplo que “a situação atual do projeto de sistemas mecânicos em indústrias de máquinas e equipamentos não tem acompanhado a evolução tecnológica” (p.1) e que “há uma necessidade de linhas de pesquisas que envolvam ferramentas computacionais de auxílio ao projeto de sistemas mecânicos” (p.1). Tais afirmações vêm confirmar as hipóteses levantadas e reforçam a idéia de que não existe apenas uma barreira para o desenvolvimento de uma sistemática para o desenvolvimento das interfaces no projeto conceitual, ou seja, é necessário o desenvolvimento de métodos e ferramentas que antecipem atividades das fases de projeto preliminar e projeto detalhado para a fase de projeto conceitual.

1.1. Identificação do problema

Segundo Botomé (1997), “um problema de pesquisa aparece sob a forma de uma expressão, geralmente como uma pergunta ou uma afirmação que constitui uma hipótese a verificar” (p.41). Diante do exposto anteriormente e de acordo com tal informação, pode-se verificar que o problema desta pesquisa é declarado pela seguinte pergunta:

O desenvolvimento das interfaces do produto na fase de projeto conceitual reduz as incertezas no processo de projeto e torna mais completo o processo de seleção de concepções?

Para isso é necessário que se identifiquem as variáveis que interferem nestes problemas. No caso em questão para que se reduza o número de iterações no desenvolvimento de produtos é preciso que se reduzam as incertezas durante o processo de projeto. Assim, um dos fatores preponderantes para a redução das incertezas é a melhoria da qualidade e da completeza das informações sobre o produto que está sendo projetado.

Dessa forma, pode-se partir da premissa que o projeto das interfaces confere boa parte das informações necessárias para o bom desenvolvimento do produto, uma vez que fornece aquelas informações referentes às interações e compatibilidades entre os diversos princípios de solução e estes, por sua vez, darão origem aos Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSC's) do produto. Assim, as incertezas quanto ao funcionamento do produto serão reduzidas e, conseqüentemente, se terão mais subsídios para a correta avaliação das concepções e, com isso, os retrabalhos serão reduzidos.

Também deve-se assumir o pressuposto que existe retrabalho se as interfaces do produto não forem bem projetadas.

Outra questão a ser considerada é que, tendo-se parâmetros mais concretos de avaliação das concepções o grau de subjetividade envolvido nesta tarefa fica sensivelmente reduzido. Isto implica numa seleção baseada em dados concretos e explícitos e não apenas em conhecimentos tácitos advindos da experiência do projetista. Portanto, com a utilização das informações provenientes das interações entre os diversos elementos da concepção pode-se definir se esta atende às Especificações de Projeto.

1.2. Delimitação do problema

O conceito de interfaces pode ser entendido de diversas maneiras no desenvolvimento de produtos. Pode ser entendido como a interseção entre as várias áreas do conhecimento envolvidas no projeto, pode ser a interface entre os elementos que formam um princípio de solução que cumpre determinada função, pode ser a interface entre o projetista e o problema de projeto, pode ser também a interface entre o produto em projeto e o ambiente que o cerca (inclusive com o usuário) ou pode ser a interface entre as funções ou princípios de solução associados a estas. Por ser um tema tão abrangente é necessário que se faça um recorte do mesmo.

Por isso, o presente trabalho focar-se-á nas interfaces do produto com o ambiente que o cerca e a interface entre as funções ou princípios de solução associados. Procurar-se-á enfatizar este último uma vez que será preponderante no desenvolvimento de uma arquitetura final para o produto com enfoque nas interfaces mecânicas.

1.3. Objetivos

Visando solucionar o problema apresentado para o projeto de interfaces, o presente trabalho tem como objetivos:

1.3.1. Geral

Desenvolver uma sistemática para o projeto de interfaces entre componentes na fase de Projeto Conceitual de modo a reduzir o número de iterações do projeto de produto reduzindo a subjetividade no processo de criação e seleção do mesmo. Para tanto será desenvolvido um modelo prescritivo dividido em etapas, atividades e tarefas visando facilitar o seu entendimento e aplicação.

1.3.2. Específicos

- a) Verificar os métodos existentes para o projeto de interfaces propostos pelas diversas abordagens do PDP.
- b) Gerar dados mais concretos para aplicação nos processos de seleção de concepções no Projeto Conceitual.
- c) Disponibilizar um método para auxiliar no desenvolvimento e seleção da melhor concepção para o produto.
- d) Antecipar o desenvolvimento das interfaces para a fase de projeto conceitual de modo a desenvolver o conceito do produto de forma mais integrada.
- e) Agregar informações de confiabilidade, manufatura e montagem na definição da arquitetura do produto.
- f) Reduzir a quantidade de retrabalhos nas fases posteriores do PDP.

1.4. Justificativa

Para que uma pesquisa tenha relevância científica é necessário que existam justificativas para isso. Salomon (2001) aponta que os problemas relevantes para a ciência são aqueles que possuem relevância operativa, contemporânea e humana.

Como relevância operativa se entende aquele problema que em sua solução demanda geração de novos conhecimentos.

Relevância contemporânea é quando o problema se refere à atualização ou novidade.

Relevância humana quando a solução tem relevância para a humanidade.

A relevância operativa do presente trabalho se refere, inicialmente, ao interesse crescente de desenvolvimento das fases iniciais do PDP constatado por estudos nos meios científicos da área de metodologias de projetos. Diversos autores (Rozenfeld et al, 2006; Hari

e Weiss, 2001; Jiao et al, 2005; Andrade e Forcellini, 2007; Sousa, 1998; entre outros) apontam a necessidade de se antecipar determinadas atividades e tarefas para as etapas iniciais do projeto. Isto implica dizer que pela ES pode-se desenvolver o produto de uma maneira mais integrada e breve, principalmente pela disponibilidade crescente de meios computacionais de apoio ao projeto.

Assim, o desenvolvimento de uma sistemática de desenvolvimento de interfaces no projeto conceitual vem ao encontro do acima exposto uma vez que busca, com a antecipação da definição das interfaces do produto, reduzir o grau de incerteza existente nas tomadas de decisão bem como melhorar os processos de seleção e definição do leiaute do produto.

Entretanto, o desenvolvimento das interfaces requer uma série de informações de outras fases do Ciclo de Vida do produto como, por exemplo, formas de montagem, produção, manutenção e assistência técnica. Por isso, é necessária a participação de pessoal ligado a essas fases num esforço colaborativo para o desenvolvimento adequado do produto como um todo. Dessa forma, o desenvolvimento de um método específico para o desenvolvimento das interfaces do produto contribui para a implantação de um ambiente efetivo de ES no PDP. Este, por sua vez, também propicia uma melhoria na definição de materiais, processos de manufatura e montagem pela participação de pessoal de cada uma das áreas na fase de definição da concepção.

Há que se ressaltar que pela necessidade de uma maior quantidade de definições nesta fase o esforço despendido também será maior. Contudo, como diversas pesquisas mostram (Anderson, 2004; Stone et al, 2004, Van Wie et al, 2003, Rozenfeld et al, 2006) os esforços nas fases iniciais de desenvolvimento acarretam menores custos e necessidade de mudanças nas fases posteriores do PDP. Além disso, o levantamento de maior quantidade de informações relativo à definição das interfaces acaba por gerar uma maior quantidade de conhecimento a respeito do problema de projeto, gerando assim uma redução da subjetividade envolvida no processo de escolha de concepções.

Todos esses fatores citados ainda propiciam a possibilidade de utilização de métodos auxiliares como o DFA, DFM e FMEA nas fases iniciais do PDP, além da possibilidade de registros de conhecimento mais efetivos.

Também acredita-se que a sistemática a ser desenvolvida auxiliará no trabalho com estruturas abstratas, que são as funções do produto e seus inter-relacionamentos.

Por relevância de contemporaneidade deve-se considerar o ineditismo desta pesquisa, uma vez que o projeto de interfaces não foi estudado sob a ótica pretendida neste trabalho, o que será mostrado nos capítulos posteriores.

Por fim, devido a todos os aspectos listados temos a relevância humana. Isto porque o resultado esperado é uma redução da quantidade de retrabalhos durante o PDP. Esta redução

provoca uma redução tempo de desenvolvimento e, conseqüentemente do *time-to-market*. Também em função disso há uma redução do custo do produto e conseqüente aumento da competitividade da empresa. Dentro do mercado globalizado este pode ser um diferencial para as empresas e, assim, uma garantia de sobrevivência das mesmas.

Espera-se também que o método desenvolvido seja viável para aplicação nas indústrias e não apenas nos ambientes de pesquisa.

1.5. Metodologia da Pesquisa

A qualidade do trabalho baseia-se no controle das atividades desenvolvidas no decorrer do processo. Um dos fatores que influenciam a qualidade da pesquisa é a escolha da metodologia a ser utilizada.

Gonsalves (2003, p. 64) apresenta no Quadro 1.3, onde estão apresentados alguns tipos de pesquisa classificados segundo critérios pré-definidos.

Quadro 1.3: Classificação dos tipos de pesquisa segundo Gonsalves (2003).

| Tipos de pesquisas segundo os objetivos | Tipos de pesquisas segundo os procedimentos de coleta | Tipos de pesquisas segundo as fontes de informação | Tipos de pesquisas segundo a natureza dos dados |
|---|---|---|---|
| Exploratória Descritiva Experimental Explicativa | Experimento Levantamento Estudo de Caso Bibliográfica Documental Participativa | Campo Laboratório Bibliográfica Documental | Quantitativa Qualitativa |

Assim, por se tratar de um trabalho de cunho inicialmente teórico, a metodologia a ser empregada na pesquisa foi determinada segundo os tipos de metodologia levantados por Fernandes e Gomes (2003) e Gonsalves (2003). De acordo com a descrição feita pelos autores, a primeira fase da pesquisa é bibliográfica (quanto aos meios – procedimentos de coleta e fontes de informação) de cunho exploratório (quanto aos fins - objetivos) e de natureza qualitativa (quanto à natureza dos dados). Estas informações são corroboradas por Gil (1991) *apud* Fernandes e Gomes (2003), Cervo e Bervian (1996) *apud* Fernandes e Gomes (2003), Lakatos e Marconi (1985) *apud* Fernandes e Gomes (2003) e Vergara (2000) *apud* Fernandes e Gomes (2003).

Isto porque uma pesquisa bibliográfica trata-se de uma pesquisa que procura, segundo Köche (2004, p. 122), permitir ao pesquisador “(...) conhecer e analisar as principais contribuições teóricas existentes sobre um determinado tema ou problema (...)”.

Porém, é também uma pesquisa exploratória porque, segundo Cervo e Bervian (1996, p. 49) *apud* Fernandes e Gomes (2003):

(...) o estudo exploratório (...) é normalmente o passo inicial de pesquisa pela experiência e auxílio que traz na formulação de hipóteses significativas para posteriores pesquisas. Os estudos exploratórios não elaboram hipóteses a serem testadas no trabalho, restringindo-se a definir objetivos e buscar maiores informações a respeito do tema em estudo. (p.76).

Por fim, é uma pesquisa qualitativa, pois, segundo Gonsalves (2001), uma pesquisa qualitativa “preocupa-se com a compreensão, com a interpretação do fenômeno, considerando o significado que os outros dão às suas práticas” (p.68).

Portanto, para a realização desta pesquisa será feito um levantamento que procurará abranger o projeto de interfaces e as informações pertinentes para a elaboração de uma sistemática que atinja os objetivos propostos pela pesquisa. Com base nestas informações, será proposto um modelo de desenvolvimento que necessitará de testes para sua validação. Assim, partir-se-á para a segunda etapa da pesquisa que será realizada por meio de Estudos de Caso.

O Estudo de Caso permite estudar com profundidade um problema de modo a poder estabelecer parâmetros ou comparações por meio dele. Gonsalves (2001) aponta que o estudo de caso

(...) é o tipo de pesquisa que privilegia um caso particular, uma unidade significativa, considerada suficiente para análise de um fenômeno. Retrata a realidade específica e a multiplicidade de aspectos globais. (...) objetiva colaborar na tomada de decisões sobre o problema estudado, indicando as possibilidades para a sua modificação. (p.67)

Neste trabalho, os Estudos de Caso procurarão validar a sistemática proposta com base nas informações levantadas para a identificação do problema de pesquisa.

Serão realizados estudos de caso na área de projetos de sistemas mecânicos, ou seja, procurar-se-á enfatizar projetos que possuam interfaces mecânicas. Esta é uma limitação necessária para não se correr o risco de tornar a pesquisa excessivamente ampla.

Os parâmetros a serem avaliados nos estudos de caso serão aqueles levantados na pergunta de pesquisa (item 1.2). Sendo assim, deverá ser avaliada a redução das incertezas e a redução da subjetividade durante o PDP. Nota-se ambos os parâmetros são, em sua essência, qualitativos. Contudo, por envolver um parâmetro que pode ser de certa forma mensurado (a quantidade de informações sobre o projeto), estes podem ser avaliados a partir dos próprios resultados do projeto. Também deve-se enfatizar que boa parte das informações na fase de projeto conceitual podem ser medidas quantitativamente o que facilitará a análise do produto final.

Assim, o modelo proposto será aplicado em pesquisas nas quais foi utilizado um modelo de desenvolvimento sistemático de produtos e serão avaliadas as características de

confiabilidade, manufatura e montagem do projeto de produtos desenvolvidos a partir das concepções levantadas. Estas, por sua vez, serão comparadas com os resultados obtidos pelos desenvolvedores das respectivas pesquisas.

1.6. Estrutura da proposta

O presente trabalho foi dividido em dez partes como forma de melhor atender o objetivo de apresentar o problema de pesquisa e a forma de abordá-lo. Assim, foram estipulados os seguintes tópicos:

Introdução – Capítulo 1;

Revisão bibliográfica ou fundamentação teórica – Capítulos 2, 3 e 4;

Proposição da sistemática – Capítulo 5;

Avaliação da sistemática – Capítulos 6, 7, 8 e 9;

Considerações finais – Capítulo 10.

Na introdução foi feita a apresentação do assunto, a identificação do problema de pesquisa, sua delimitação, os objetivos da pesquisa, a metodologia a ser empregada, e a estrutura do trabalho.

Na revisão bibliográfica serão feitas uma descrição e análise crítica sobre os métodos e as abordagens existentes do PDP no que diz respeito ao projeto das interfaces do produto, os tipos de metodologia empregados e as possíveis ferramentas de auxílio utilizadas. Tais informações serão utilizadas como base para a geração do modelo nas fases posteriores do trabalho.

O quinto capítulo diz respeito à apresentação da sistemática para o desenvolvimento das interfaces no Projeto conceitual. Neste capítulo pretende-se, com base na revisão bibliográfica realizada anteriormente propor o método que é título deste trabalho.

Os capítulos sexto, sétimo, oitavo e nono apresentarão a avaliação do modelo proposto. Esta avaliação envolverá o desenvolvimento dos estudos de caso e sua avaliação. Também incluirão a análise dos resultados desta avaliação.

Por fim, o último tópico deste trabalho diz respeito às conclusões e considerações finais nas quais será feita uma avaliação do trabalho como um todo verificando o cumprimento ou não das metas inicialmente estipuladas e realizando uma auto-crítica da pesquisa.

2. Capítulo 2 – Levantamento do estado da arte

O objetivo deste capítulo é apresentar uma revisão bibliográfica sobre a redução de incertezas durante o desenvolvimento do projeto de um produto enfocando, principalmente, o desenvolvimento das interfaces e da arquitetura do produto. Assim, serão apresentadas definições, modelos e ferramentas relacionados ao tema.

2.1. Definições

Uma incerteza pode ser definida, conforme Bittencourt (2006), como “imperfeições da informação”. Estas imperfeições podem assumir diversas formas. Um exemplo dos diferentes graus de incertezas é dado pelo autor:

Suponhamos, por exemplo, que queiramos descobrir a que horas começa um determinado filme. Algumas das respostas que podemos obter são:

- Informação perfeita: O filme começa às 8h 15min.
- Informação imprecisa: O filme começa entre 8h e 9h.
- Informação incerta: Eu acho que o filme começa às 8h (mas não tenho certeza).
- Informação vaga: O filme começa lá pelas 8h.
- Informação probabilista: É provável que o filme comece às 8h.
- Informação possibilista: É possível que o filme comece às 8h.
- Informação inconsistente: Maria disse que o filme começa às 8h, mas João disse que ele começa às 10h.
- Informação incompleta: Eu não sei a que horas começa o filme, mas usualmente os filmes neste cinema começam às 8h.
- Ignorância total: Eu não faço a menor idéia do horário do filme.

Por meio deste exemplo pode-se verificar que a informação pode variar de uma informação perfeita até a ignorância total sendo que entre estes extremos podem existir diversos graus intermediários de imperfeições da informação.

No processo de projeto as imperfeições da informação são oriundas de diversos fatores, tais como: levantamento incompleto de informações a respeito do produto, indisponibilidade de informações, desconhecimento da equipe de projeto a respeito do tema, indisponibilidade de tecnologia são alguns exemplos de tais imperfeições. Dentro deste contexto os estudos em metodologia de projeto buscam cada vez mais aprimorar a completeza e o tratamento de informações durante o projeto de um produto. Um dos aspectos a serem levantados é a questão do desenvolvimento das interfaces no projeto conceitual do produto

como meio de redução de incertezas, o qual ainda configura-se como uma lacuna dentro deste campo de estudos.

Para tanto, deve-se inicialmente definir o que são interfaces. Segundo Ferreira (2003), interfaces podem ser definidas como “a área de fronteira entre regiões adjacentes, e que constitui ponto em que interagem sistemas independentes de diversos grupos” ou “a interconexão entre dois equipamentos que possuem diferentes funções e que não se poderiam conectar diretamente”, ou seja, o presente trabalho ficará restrito às interfaces entre dispositivos do produto não abordando temas como a interface homem-máquina. Ullman (1992) enfatiza a importância das interfaces dizendo que as “funções ocorrem nas interfaces entre componentes”.

Sellgren e Andersson (1995) definem interface como sendo um par de faces de acoplamento entre dois elementos.

Segundo Miller e Elgard (1998), interfaces são as fronteiras entre os módulos e interações descrevem as relações de entrada e saída entre os módulos as quais precisam ser compatíveis.

As interfaces podem ainda ser divididas, segundo os autores, em funcionais as quais são aquelas que surgem a partir da alocação das funcionalidades do sistema, mecânicas que são as interfaces concretas de ligação entre os sistemas e elétricas que são aquelas que envolvem comunicação, sinais ou energia.

Neste trabalho, utilizar-se-á a definição de interfaces funcionais como sendo as interfaces existentes entre as funções desenvolvidas na elaboração da estrutura funcional para o produto. Os outros tipos de interfaces listadas por Miller e Elgard (1998) serão considerados interfaces construtivas as quais podemos definir como sendo as interfaces existentes entre os princípios de solução desenvolvidos, ou seja, serão definidas como interfaces construtivas aquelas que envolvem algum princípio físico, sendo responsáveis pela ligação entre os sistemas, subsistemas e componentes do produto.

Zeng (2004) estabelece o conceito de fronteira do produto, o qual o autor aponta que é o conjunto de interações entre o produto e seu ambiente de trabalho. Esta está dividida em fronteira estrutural – estrutura física compartilhada entre o produto e seu ambiente de trabalho – e interações físicas – que incluem ações do ambiente ao produto e as respostas do produto ao ambiente. Apesar de o autor se referir à fronteira com o ambiente externo do produto pode-se entender como sendo as fronteiras existentes entre os módulos e componentes, ou seja, o local onde estarão as interfaces.

Além disso, Siqueira (2001) aponta que “produtos são constituídos por um conjunto de componentes e para que o produto desempenhe suas funções, esses componentes precisam ser conectados entre si. A conexão entre os componentes ocorre nas interfaces, elementos nos

quais são criadas e desenvolvidas as uniões de componentes”. Entretanto, para o projeto das interfaces do produto é necessário que se elabore um esquema de distribuição das diferentes partes que compõem o produto. Este esquema é conhecido como arquitetura do produto.

A partir destas definições pode-se constatar que há um senso comum de que uma interface é a região onde há um fluxo de energia, material, informação ou uma interação espacial entre dois módulos ou componentes ao menos (Pimmler e Eppinger, 1994). Com base nesta constatação pode-se fazer uma análise do papel do desenvolvimento das interfaces durante o projeto de um produto.

O conceito de interfaces está atrelado diretamente à definição de arquitetura do produto. Arquitetura do produto ou configuração do produto é definida como a distribuição, estrutura ou arranjo dos componentes e montagens dos componentes no produto. Seu estabelecimento envolve decisões que dividem o produto em componentes individuais e o desenvolvimento de sua localização e orientação. Sob este aspecto, Ulrich (1995) coloca que diferentes arquiteturas para o produto terão diferentes tipos de interfaces. Mesmo entre os diferentes tipos de arquitetura modular apontados pelo autor (*Slot, Bus ou Sectional*) pode ocorrer a necessidade de se utilizar diferentes tipos de interface.

A arquitetura do produto ou configuração do produto pode ser definida, segundo Ulrich (1995), como sendo o arranjo de elementos funcionais de modo que a partir destes se obtenham os componentes físicos e então se especifique as interfaces entre os componentes físicos que interagem entre si. A importância da definição da arquitetura do produto é assinalada por Anderson (2004) o qual aponta que “60% do custo cumulativo do ciclo de vida do produto é determinado até a fase de otimização da arquitetura do produto” e por Dahmus e Otto (2001) que colocam que “determinar a arquitetura do produto é um passo crítico em qualquer atividade de desenvolvimento de produto”.

Já a estrutura do produto é definida por Gomes Ferreira (1997, p.78) como sendo “a representação de um produto através de suas entradas e saídas desejadas”, já segundo Rozenfeld et al (2006), a estrutura do produto é “a representação, de forma hierárquica e estruturada, da lista de funções que o produto deve possuir”.

Para a determinação da estrutura funcional do produto é necessário que se trabalhe com elementos que definam o comportamento desejado para o produto. Estes elementos são denominados de funções. As funções são responsáveis pela representação abstrata do produto, ou seja, a função é modelada como uma “caixa-preta”. Segundo os autores, isto se faz de forma a representar o produto “dissociado de qualquer sistema físico concreto” (Gomes Ferreira, 1997, p.76) o que propicia uma manipulação mais fácil dos componentes formadores do produto. Além disso, deve-se considerar que “em um sistema técnico, apenas as

propriedades de energia, material e sinal, bem como os seus fluxos é que são alterados” Back (1983).

É importante que se diferencie arquitetura do produto de estrutura do produto. A primeira diz respeito ao arranjo em módulos ou agrupamentos funcionais de modo a definir a forma de combinação destes elementos. Já a estrutura do produto está ligada diretamente ao conceito de estrutura funcional o qual diz respeito às funções e fluxos de energia, material e sinal que compõem o produto conforme mostrado nas definições acima.

A partir das funções, da estrutura funcional e da arquitetura do produto são obtidos os Princípios de Solução. Estes são os meios físicos pelos quais as funções são implementadas. Roozenburg e Eekels (1995) apontam que um princípio de solução, “é a representação idealizada da estrutura de um sistema ou subsistema, na qual as características dos elementos e as relações que são essenciais ao seu funcionamento são qualitativamente determinados”. Gomes Ferreira (1997) aponta que o conceito de Princípio de trabalho de Pahl e Beitz (1996) equivale ao conceito de Princípio de Solução adotado por este trabalho.

Pela união dos princípios de solução obtém-se a Concepção do Produto. Esta, segundo Gomes Ferreira (1997), pode ser definida como “(...) uma idéia do que é ou do que possa vir a ser o produto” (p. 19). Outra definição é apresentada por Rozenfeld et al (2006). Nesta os autores apontam que concepção do produto:

(...) é uma descrição aproximada das tecnologias, princípios de funcionamento e formas de um produto, geralmente expressa através de um esquema ou modelo tridimensional, que, freqüentemente pode ser acompanhado por uma explicação textual. É uma descrição concisa de como o produto irá satisfazer as necessidades dos clientes. Pode conter a estrutura inicial do produto mostrando as relações entre os Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSCs) principais.(p.240).

A partir desta definição pode-se constatar que a concepção para um produto nada mais é que a geometria do mesmo. Para a determinação desta concepção é necessário que se agrupem informações de diversas áreas envolvidas no projeto tais como: a manufatura, montagem, vendas, distribuição, descarte, entre outras. Estas áreas estão ligadas ao que Fonseca (2000) chama de Ciclo de Vida do produto.

O Ciclo de Vida é definido por Rozenfeld et al (2006) como sendo

“(...) a descrição gráfica da história do produto, descrevendo os estágios pelos quais o produto passa, desde os primeiros esforços para a sua realização até o final do suporte pós-vendas, ou seja, quando é finalizada qualquer forma de compromisso da empresa com o suporte ao produto” (p.215).

Uma representação dos diversos clientes e fases do Ciclo de Vida do produto é apresentada por Fonseca (2000) (Figura 2.1).

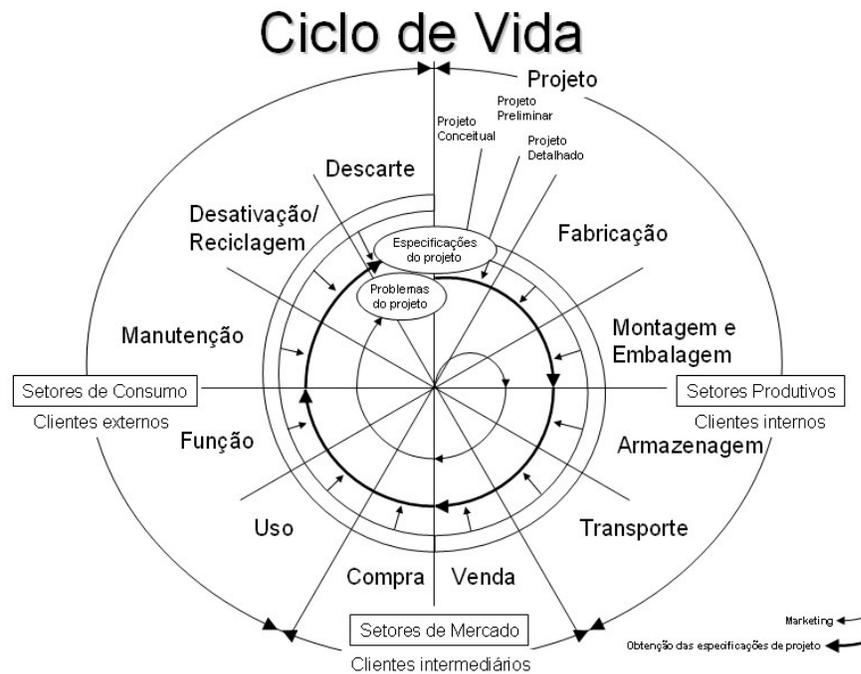


Figura 2.1: Fases do Ciclo de Vida do produto segundo Fonseca (2000).

Nesta figura nota-se a existência de diversos clientes envolvidos no projeto de um produto. Estes clientes devem ser incluídos de forma a contribuir para o desenvolvimento completo do produto. Isto é feito através da utilização de um ambiente de Engenharia Simultânea.

A Engenharia Simultânea (ES) pode ser definida como aponta Romano (2003):

(...) para Canty apud Molloy e Browne (1993), a ES é uma filosofia e também um ambiente. Como filosofia é baseada no reconhecimento de cada indivíduo e de suas responsabilidades para com a qualidade do produto, e como um ambiente, é baseada no projeto paralelo do produto e dos processos que o afetam ao longo do seu ciclo de vida. Segundo Noble (1993), a ES é tipicamente definida como a integração dos processos de projeto: de produto e de manufatura. O objetivo desta integração é reduzir o tempo de desenvolvimento do produto, reduzir o custo e produzir um produto que melhor atenda às expectativas dos clientes. De acordo com Kerzner (1998), a ES é uma tentativa de executar o trabalho em paralelo, melhor do que o realizado seqüencialmente – onde o grande inconveniente é que a concepção escolhida passará por todas as etapas de projeto sem uma avaliação detalhada das dificuldades de fabricação (execução) do produto, - buscando projetar ‘certo da primeira vez’ por meio da simultaneidade entre o projeto do produto e seus processos relacionados. (p.44).

Chen et al (1998) apontam que, no sentido de se desenvolver um produto integrado, é importante a utilização da engenharia simultânea e citam definição desta filosofia de trabalho apresentada por Winner et al (1988):

Engenharia simultânea é uma abordagem sistemática para o projeto integrado, simultâneo de produtos e seus processos relacionados, incluindo a manufatura e o suporte. Esta abordagem pretende fazer com que os

colaboradores considerem todos os elementos do ciclo de vida do produto da concepção ao descarte, incluindo qualidade, custo, planejamento e requisitos do usuário (p.92).

Assim, o desenvolvimento do produto passou a ser feito de uma forma mais sistemática e passou-se a valorizar mais os conhecimentos práticos dos diversos personagens do ciclo de vida do produto. Um exemplo disso é que, se forem analisados os atuais procedimentos de seleção de estruturas funcionais e concepções será constatado que estes têm como base a experiência da equipe de projeto. Portanto, pode-se notar que os métodos de DFA e DFM possuem um grande potencial de atuação neste sentido. Dufour (1996) *apud* Ferrari, Martins e Toledo (2001) aponta que

(...) o DFMA refere-se à compreensão das interações dos elementos (processos, materiais e mão-de-obra) nos sistemas de manufatura e montagem, e à externalização, disseminação e uso destes conhecimentos no processo de desenvolvimento de produtos (PDP), para otimizá-los, visando à eficiência na qualidade, custo e tempo de manufatura e montagem.

Portanto, pode-se constatar a necessidade de se estabelecer uma metodologia que trabalhe com fases em paralelo e que esteja preocupada também com os processos de produção (manufatura e montagem). Para isso a ES busca utilizar equipes multi-funcionais que unam as opiniões dos projetistas com a do chão-de-fábrica permitindo um desenvolvimento convergente do produto e processo.

Considerando-se que o ciclo de vida é composto de diversas fases e clientes, então é necessário o envolvimento de pessoal destas etapas. Assim, para o desenvolvimento do produto são importantes informações de montagem, manufatura, uso, descarte, manutenção, aparência e custo. Estas informações são detalhadas a seguir:

- montagem – a montagem diz respeito à união dos componentes que compõem o produto na sua forma final;
- manufatura – é o processo de fabricação das peças que compõem o produto, onde normalmente existem restrições tecnológicas para a produção;
- uso – diz respeito ao cumprimento da função pelo produto, ou seja, seu desempenho perante a expectativa do cliente;
- descarte – relaciona-se a finalidade dada aos componentes ao fim da vida do produto, muitas vezes pela reciclagem dos mesmos, está diretamente relacionada à (des)montabilidade do produto;
- manutenção – meio pelo qual o produto é mantido em operação, isto é cumprindo sua função;

- ergonomia – está relacionada com as características, habilidades, necessidades das pessoas e com as interfaces entre as pessoas e os produtos;

- estética do produto – a estética do produto está relacionada a todas as características percebidas pelo cliente do ponto de vista da aparência – é o que muitas vezes atrai o consumidor para compra;

- custo do produto – custos associados com o desenvolvimento, produção, operação e descarte do mesmo, deve-se levar em conta o lucro esperado e o lucro obtido com o mesmo.

Além destas informações ainda existem outras definições importantes na fase de projeto conceitual que devem ser consideradas para o projeto do produto.

Restrições são limitações impostas ao produto, geralmente de cunho externo, que podem ser provenientes de legislação, impossibilidade técnica, custos, materiais, espacial, entre outras.

“*Features*”, segundo Brunetti e Golob (2000), são:

(...)unidades (elementos) de informação representando uma região de interesse dentro de um produto. Elas são descritas pela agregação de propriedades de um produto numa região. Esta descrição contém as propriedades relevantes incluindo seus valores e suas relações (estrutura e restrições). Além do mais, são definidas no escopo de uma visão específica dentro da descrição do produto com respeito às classes de propriedades e às fases do ciclo de vida do produto. São descritas pelas propriedades externas as muitas diferentes classes de propriedades, relacionando assim, estas umas às outras (p.880).

A partir dessas definições pode-se iniciar um estudo mais aprofundado das técnicas, métodos e ferramentas empregados na fase de projeto conceitual associados ao tratamento de incertezas, geração e evolução de concepções, e definição da forma do produto.

A seguir serão descritas algumas abordagens e técnicas existentes na literatura que procuram dar uma base para o desenvolvimento da forma durante a fase de projeto conceitual e que serão úteis na formulação de um modelo para o projeto de interfaces na fase conceitual.

2.2. Modelos de desenvolvimento de produtos

Na literatura existem diferentes abordagens de desenvolvimento de produtos. Dentre esses modelos destacam-se os modelos prescritivos. Estes modelos descrevem as fases do projeto na forma de diagramas de desenvolvimento que buscam estabelecer uma seqüência lógica para o desenvolvimento de produtos.

Dentre estes modelos pode-se citar o apresentado por Gomes Ferreira (1997) e Ogliari (1999), os quais procuram sintetizar diferentes modelos de projeto em um modelo

denominado “Modelo Consensual”. Este, possui uma série de características, entre elas pode-se apontar a sua seqüencialidade de fases, etapas, tarefas e atividades e a sua disposição didática de representação.

Outra forma de desenvolvimento de produtos é o desdobramento da função qualidade (Quality Function Deployment – QFD) proposto por Hauser e Clausing (1988). Neste modelo o projeto se desenvolve pelo desdobramento sucessivo e evolutivo de diversas matrizes cujas informações levam ao produto final.

Também pode-se citar o modelo axiomático de desenvolvimento de produtos (Suh, 1990). Neste modelo o autor utiliza-se de axiomas de projeto para o atendimento de requisitos funcionais e estabelece os parâmetros de projeto os quais procuram solucionar de forma independente os requisitos apresentados.

Os modelos de projeto de produtos modulares também apresentam-se como formas de estabelecer um caminho para a resolução do problema de projeto. Dentre estes modelos encontram-se os de Huang e Kusiak (1996), Ishii (1998), Ulrich e Eppinger (2004), entre outros. Nestas propostas os autores apontam modos de projeto específicos para produtos modulares, baseados em modelos prescritivos e em ferramentas que apontam para a modularização dos produtos.

Por fim, pode-se citar o modelo de Rozenfeld et al (2006). Este modelo procura definir o desenvolvimento do produto como um conjunto das melhores práticas de projeto de produtos. Isto significa que os autores fizeram um apanhado de diferentes modelos e representaram o mesmo num modelo de referência para o PDP. Assim, por ser uma forma mais abrangente e bem delimitada de PDP o mesmo foi escolhido como base para o presente trabalho.

2.3. Projeto de Interfaces

O projeto de interfaces é o processo de definição das conexões entre os elementos funcionais do produto. Ele se dá de forma a buscar a melhor integração entre os diversos componentes da estrutura funcional do produto procurando-se respeitar os fluxos de energia, material e informação da mesma.

A importância das interfaces para o projeto de produtos tem sido evidenciada por vários autores. Erixon et al. (1996) afirmam que as interfaces apresentam uma influência vital no produto final e na flexibilização da variedade. Ullman (2003) aponta, “este é um passo crítico quando se desenvolve um conceito porque as conexões ou interfaces entre

componentes suportam suas funções e determinam suas posições relativas e suas localizações”.

Hillström (1994) utiliza a teoria de projeto axiomático de Suh (1990), combinado às ferramentas de DFMA (*Design for Manufacture and Assembly*) convencionais para criar um método para auxiliar o projetista a esclarecer como as interfaces entre módulos influenciam os mesmos, e a selecionar as melhores posições dessas interfaces. Para tanto, o autor se utiliza das informações contidas nas hierarquias funcionais e físicas com o intuito de esclarecer a interação entre função e interface.

Para o autor as interfaces são superfícies funcionais que tem a finalidade de unir dois ou mais módulos e podem ser definidas como uma superfície que realiza ao menos uma das seguintes funções: providenciar suporte, transmitir força, localizar o componente na montagem, providenciar a localização para outros componentes na montagem e transmitir movimento.

Entretanto, atualmente o mesmo é realizado apenas no Projeto Preliminar, pois, de acordo com os atuais modelos de PDP, é necessária a definição do leiaute do produto, ou seja, a definição dos princípios de solução e sua posição dentro da estrutura do produto. Um exemplo deste tipo de representação é o Modelo Consensual proposto por Gomes Ferreira (1997) e Ogliari (1999) (Figura 1.1). Neste modelo a tarefa de projetar interfaces se dá na atividade de definição do leiaute a qual está inserida na fase de Projeto Preliminar do referido modelo (Figura 1.2).

Uma proposta de modificação desta estrutura é apresentada por Rozenfeld et al (2006) (Figura 2.2). O modelo proposto pelos autores é baseado nos preceitos da ES. Nesta representação fica evidente a existência de três macro-fases para o PDP: o Pré-desenvolvimento, o Desenvolvimento e o Pós-desenvolvimento. Estas macro-fases representam e ampliam o escopo do modelo de projeto de produtos em relação aos outros modelos desenvolvidos anteriormente. Isto se deve ao fato de a definição utilizada pelos autores ser mais voltada ao PDP como um processo de negócio que busca englobar todas as fases do ciclo-de-vida do produto, ou seja, é uma visão mais atual do que representa um projeto de produtos. Assim, os autores buscaram desenvolver um modelo que abrangesse desde o planejamento estratégico dos produtos até a retirada do mesmo do mercado.

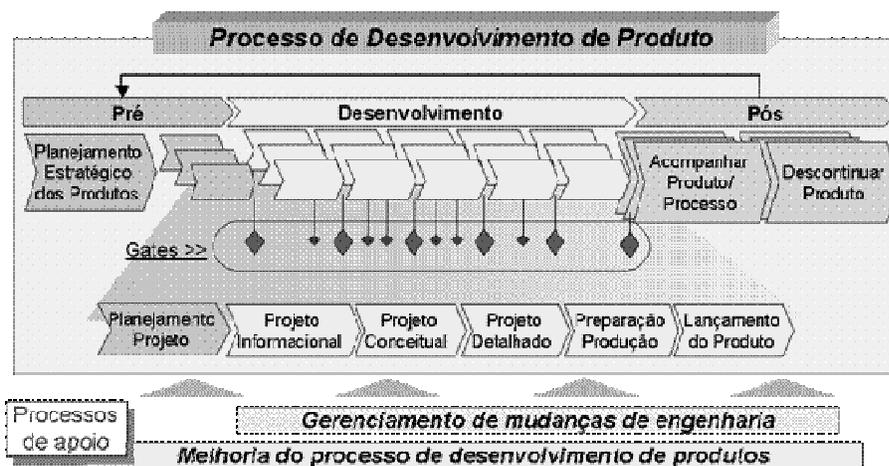


Figura 2.2: Modelo unificado apresentado por Rozenfeld et al (2006, p.44).

Desdobrando a Figura 2.2 e enfocando a etapa de projeto conceitual pode-se constatar que o modelo aponta a definição da arquitetura do produto na fase de Projeto Conceitual conforme a Figura 2.3.

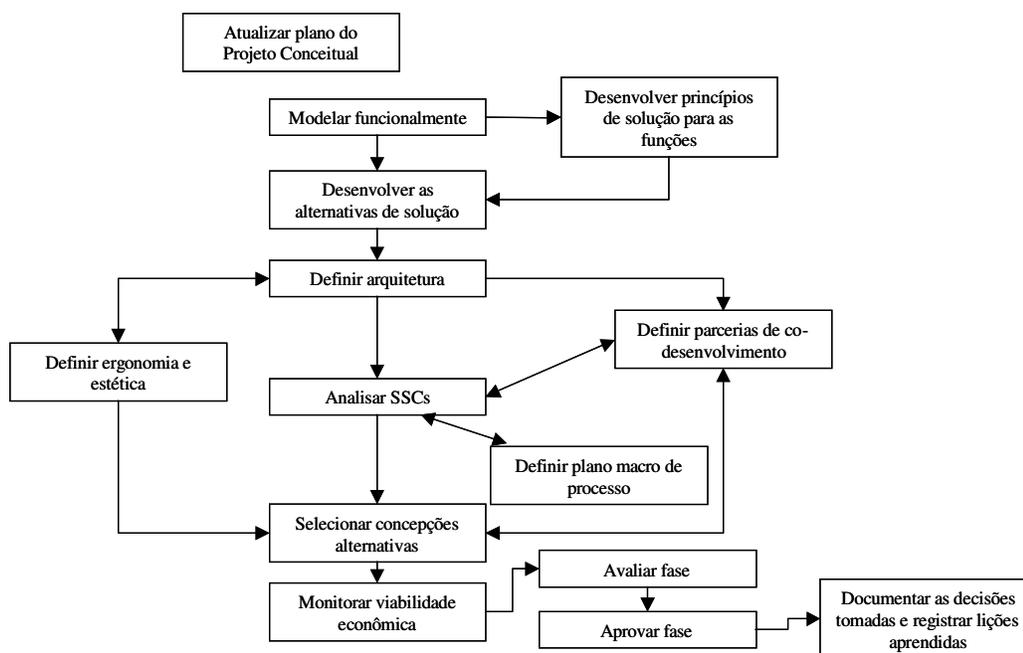


Figura 2.3: Fase de projeto conceitual segundo Rozenfeld et al (2006, p. 236).

Este modelo busca apresentar uma visão mais voltada às práticas empresariais do processo de projeto. Além disso, ainda preocupa-se não só com o produto em si, mas também, com o processo de produção deste produto. Ele inicia-se com a Atualização do plano do Projeto Conceitual onde a equipe atualiza o planejamento realizado no planejamento estratégico do produto de acordo com os resultados obtidos até esta fase. A seguir é feita a

modelagem funcional do produto que busca a representação abstrata do produto desvinculando-o de soluções concretas. Permite a representação das interações funcionais internas e com o ambiente. Depois de modelado funcionalmente o produto, são desenvolvidos os Princípios de Solução e as Alternativas de Solução do produto para, então, definir-se a arquitetura do mesmo.

Definida a Arquitetura do Produto, o processo de desenvolvimento começa a se dividir em frentes de trabalho que ocorrem simultaneamente. A equipe de projeto começa a desenvolver os parâmetros de estética e ergonomia, inicia o desenvolvimento de parcerias de co-desenvolvimento se necessário e passa a analisar os sistemas, subsistemas e componentes (SSCs). Percebe-se neste ponto a necessidade de uma equipe multidisciplinar e integrada de modo a conseguir trabalhar os diferentes aspectos de um mesmo produto. Cumpridas estas tarefas é definido o plano macro do processo e parte-se para a seleção das alternativas de concepção. Com a concepção selecionada é feito o monitoramento da viabilidade econômica e então se avalia e aprova a fase, além de documentar as decisões e registrar as lições aprendidas durante o processo de projeto.

O que ocorre então é que o processo de definição das interfaces do produto mantém-se praticamente inalterado do ponto de vista prático, ou seja, não é contemplado como uma tarefa relevante do ponto de vista da metodologia de projeto. Sendo assim, é necessário um estudo mais aprofundado nos métodos e ferramentas utilizados na definição das estruturas do produto de modo a detectar os reais problemas dos projetos de interface no decorrer do desenvolvimento do mesmo.

Algumas limitações percebidas nos modelos no que diz respeito ao tema deste trabalho são as ausências de ferramentas, métodos ou mesmo diretrizes para a definição das interfaces do produto.

Além disso, diferentes visões estão envolvidas no desenvolvimento do projeto. Segundo Ishii e Yang (2003) (Figura 2.4), o projeto pode ser visualizado sob a ótica de desenvolvimento orientado ao produto, a qual inclui a definição dos aspectos técnicos e gerenciais associados diretamente ao desenvolvimento do mesmo, ou sob a ótica não orientada ao produto, a qual está relacionada ao desenvolvimento da cadeia de fornecedores e à producibilidade do produto. Além disso, os autores relacionam como definir se um produto será modular e quais os benefícios e desafios desta definição no início do processo de projeto. Tira-se destas informações que o projeto de interfaces inicia-se com a definição de algumas estratégias gerenciais da empresa e vai até a fase de detalhamento do projeto e projeto do processo.

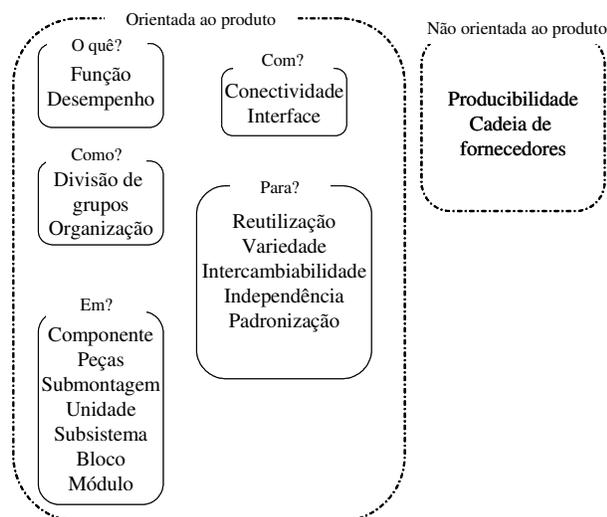


Figura 2.4: Fatores considerados nas diferentes visões de gerenciamento do produto (Ishii e Yang 2003)

Andrade e Forcellini (2007a) apontam que para haver um efetivo ambiente de Engenharia Simultânea no desenvolvimento de produtos, é necessário que se faça concomitantemente ao desenvolvimento das concepções, o desenvolvimento das interfaces para o produto. Isto porque, ao se desenvolver as interfaces entre os componentes do produto, estão sendo consideradas informações de processo, cadeia de fornecedores e uso do produto.

Ullman (2003) e Linhares e Dias (1998) apontam que a ES deve considerar quatro elementos básicos: função, geometria, material e processos de manufatura. Além do mais, eles colocam que o projeto e a manufatura (incluindo a montagem) devem ser desenvolvidos simultaneamente. Também apontam que o desenvolvimento de cada peça precisa ser integrado à definição das funções e o refino de suas interfaces. Linhares e Dias (1998) ainda apontam que o projeto deve levar em conta duas tarefas na concepção de uma peça individual: (1) projetá-la como se fosse um produto e (2) considerar que ela é parte de um módulo realizável e levar em conta suas interfaces. Siqueira e Forcellini (2001) fazem a consideração de que os requisitos das uniões são fatores primordiais para a avaliação das concepções.

Assim, denota-se que o projeto de interfaces inicia-se com a definição da forma de gerenciamento do projeto de produtos, se for utilizada uma metodologia seqüencial ou de simultaneidade.

Dessa forma, o projeto das interfaces acaba por se tornar uma tarefa secundária, consequência das tarefas anteriores.

Assim, outros temas que se relacionam diretamente com a definição das interfaces do produto são: a definição da Arquitetura do mesmo e a Modelagem Funcional. A seguir encontra-se uma breve revisão sobre estes temas.

2.4. Modelagem funcional

A Modelagem Funcional ou Estruturação Funcional está baseada na definição das funções realizadas pelo produto e de seus fluxos de material, energia e informação. Esta é uma forma muito utilizada de representação de um produto, pois, segundo Rozenfeld et al (2006):

Tratar o problema de forma generalizada com a sua formulação num plano abstrato é uma forma de abrir caminho para a obtenção de soluções melhores. Ignorar o particular e deter-se no que é geral e essencial previne que as experiências, preconceitos e convenções limitem a solução do problema de projeto. Esta generalização propicia uma formulação ampla e aberta, juntamente com o entendimento claro das restrições essenciais sem a consideração prévia de uma solução. A abstração também pode ser empregada na identificação de restrições fictícias, que poderiam limitar o emprego de novas tecnologias, materiais, processos de fabricação e mesmo novas descobertas científicas. O resultado desse estudo pode quebrar preconceitos e conduzir a uma melhor solução do problema proporcionando um entendimento mais claro da tarefa de projeto, e a identificação das funções do produto, o que é indispensável para o êxito nas etapas subsequentes do Projeto Conceitual. (p.237).

Outras vantagens são apontadas por Otto e Wood (2001):

(...) concentração sobre ‘o quê’ tem que ser realizado por um novo conceito ou reprojeto, e não ‘como’ vai ser realizado; auxilia a organização da equipe de projeto, tarefas e processo; as funções podem ser obtidas ou geradas diretamente das necessidades dos clientes, definindo os contornos da solução final de projeto; a criatividade é favorecida pela possibilidade de decomposição de problemas e manipulação de soluções parciais; pelo mapeamento das necessidades dos clientes primeiro para funções e depois para forma, mais soluções podem ser sistematicamente geradas para a resolução do problema de projeto. (p.192 - 194).

Conforme pode-se constatar pelas vantagens apontadas pelos autores, na modelagem funcional não interessam os meios pelos quais a função será atendida mas sim que ela seja atendida. Outra constatação a partir do que colocam os autores é quanto à decomposição funcional e à manipulação de soluções parciais. Esta é uma questão apontada por Ullman (1992). Segundo o autor “um sistema é geralmente considerado um conglomerado de objetos que realizam uma função específica” (p.17).

Assim, torna-se mais viável a decomposição do problema de projeto (Função Global) (Gomes Ferreira, 1997) em problemas menores (as funções parciais, elementares e básicas).

Ullman (1992) ainda aponta os passos para a decomposição funcional ressaltando a importância de usar notações padronizadas quando possível, considerar os fluxos lógicos, conectar entradas e saídas adequadamente, documentar “o quê” deve ser feito e não “como” deve ser feito, e dividir a função até o nível mais baixo possível. Além disso, o autor ainda coloca que “a decomposição funcional é freqüentemente mais difícil que a decomposição

física, pois cada função pode usar partes de muitos componentes e cada componente pode servir a muitas funções” (p.20).

Um dos principais pontos a serem destacados é a questão da padronização das notações. Apesar de Ullman (1992) e Back (1983) apud Gomes Ferreira (1997) já apontarem como um fator importante da modelagem funcional, diversos autores (Brunetti e Golob, 2000; Gui e Mäntylä, 1994; Rehman e Yan, 2003; Wilhelms, 2003; entre outros) vêm colocando esta como uma necessidade.

Isto ocorre porque, ao se tornar a linguagem funcional padronizada, facilita-se o reconhecimento de funções já desenvolvidas e/ou semelhantes em termos de princípios de solução associados, agilizando-se, assim, o processo de geração destes princípios bem como facilitando a detecção das melhores soluções para determinados problemas.

2.5. Arquitetura do Produto

Conceitua-se arquitetura do produto como sendo a distribuição do produto em termos construtivos de forma a cumprir uma determinada função.

A definição da arquitetura do produto é de fundamental importância para o sucesso do projeto pois, uma vez definido o leiaute do produto, podem ser realizadas as definições de parâmetros de desempenho para os elementos funcionais. Da mesma forma que Dahmus e Otto (2001) colocam que a otimização da arquitetura do produto tem o maior potencial para garantir o sucesso do mesmo. Entretanto, esta atividade muitas vezes é negligenciada, pois muitos projetistas meramente assumem como a arquitetura do produto a mesma dos produtos concorrentes. Apesar disso, esta atividade serve para auxiliar na otimização do produto podendo-se atingir outras metas de projeto importantes como: qualidade, confiabilidade, projeto dos serviços, flexibilidade, customização, atendimento de normas.

Outro ponto que o autor cita como vantajoso na otimização da arquitetura é a redução do *time-to-market* se a atividade for realizada no início do projeto conceitual. Isto ocorre porque são minimizadas as necessidades de revisões ou iterações além de já conter as diretrizes necessárias à fabricação. Isto provoca um aumento considerável no tempo da fase de geração de conceito, mas, devido à mesma trabalhar com informações e modelos de síntese ao invés de modelos analíticos e funcionais, as fases posteriores são facilitadas e conseqüentemente acabam sendo também abreviadas.

Dentro desta perspectiva, Ulrich (1995) e Ulrich e Eppinger (2004) fazem uma diferenciação quanto aos tipos de arquitetura. Segundo os mesmos, pode-se classificar a arquitetura do produto em dois grupos: integral e modular. Esta definição depende da

estratégia de combinação/ integração de peças estabelecida pela empresa. É necessário que a equipe de projeto defina se vai utilizar uma arquitetura modular ou integral pois esta decisão interfere em diversos aspectos das fases posteriores do desenvolvimento do produto. Ulrich (1995) aponta que as fases posteriores do desenvolvimento do produto diferem em diversos aspectos dependendo do tipo de arquitetura definida para o produto (Figura 2.5).

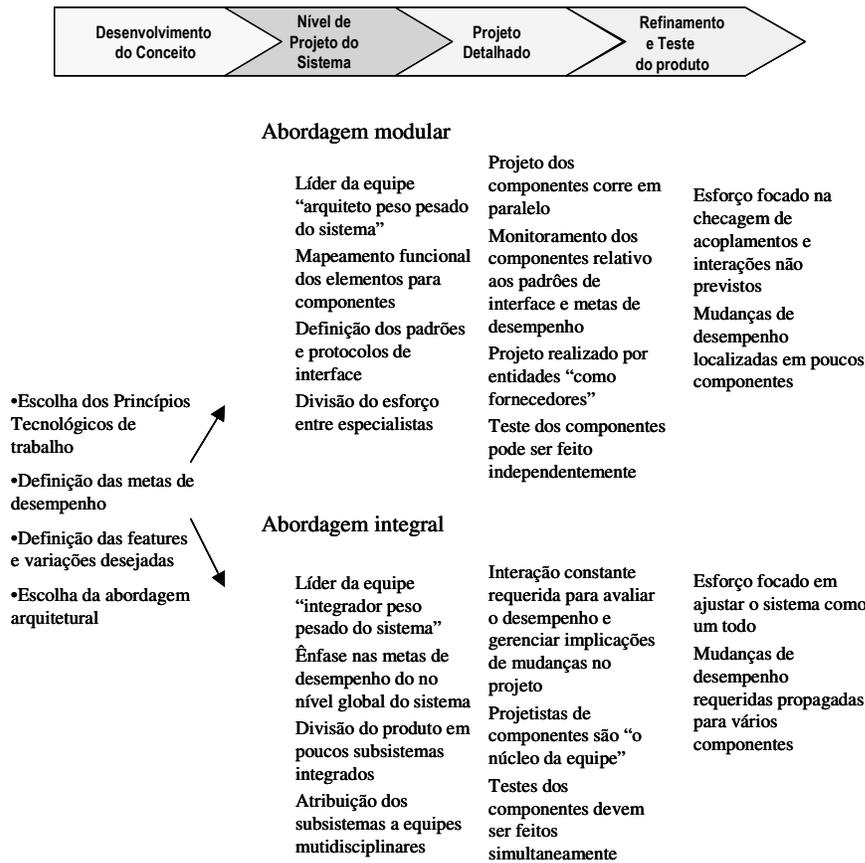


Figura 2.5 – Diferenças no gerenciamento do desenvolvimento do produto conforme a abordagem arquitetural (Ulrich, 1995, p. 434).

A arquitetura integral caracteriza-se pela integração entre as partes, ou seja, pela combinação de vários elementos funcionais dentro de um componente físico ou a combinação de vários elementos físicos para o atendimento de uma função o que resulta numa relação de um-para-muitos ou de muitos-para-um no cumprimento das funções do produto (Figura 2.6). Isto implica dizer que um princípio de solução pode atender a várias funções ou vice-versa. Outra característica da arquitetura integral é o acoplamento funcional. Dizer que um produto possui uma arquitetura integral implica dizer que qualquer mudança em um componente implica em modificações em outros componentes para o atendimento de uma função. Esta característica acaba por provocar a necessidade de um desenvolvimento integrado de produto para que o produto atinja o objetivo proposto.

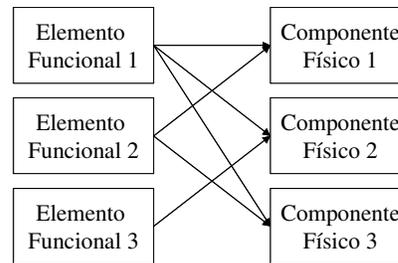


Figura 2.6 – Complexidade do mapeamento de elementos funcionais e componentes físicos num produto de arquitetura integral (baseado em Ulrich, 1995, p. 422).

Quanto a arquitetura modular, esta apresenta-se como uma arquitetura que busca a composição de pares de elementos funcionais e componentes físicos numa relação de um-para-um (Figura 2.7) e que provoca o desacoplamento funcional, isto é, qualquer mudança necessária pode ser feita sem que haja a necessidade de modificações em outros elementos do produto.

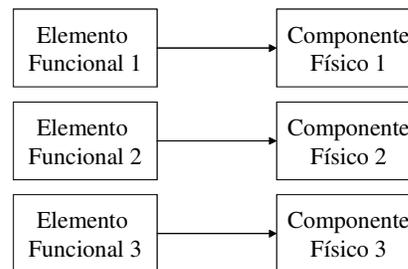


Figura 2.7 - Complexidade do mapeamento de elementos funcionais e componentes físicos num produto de arquitetura modular (baseado em Ulrich, 1995, p. 421).

Höltkä e Otto (2005) citando Höltkä e Salonen (2003) mostram que diversos métodos de modularização quando aplicados a um mesmo problema apresentam diferentes resultados. Os métodos apresentados auxiliam a modularização de aproximadamente 70% do produto o restante é deixado a cargo do projetista. Os engenheiros necessitam de informações do estágio preliminar do projeto para agrupar funções em módulos (Stake e Blackenfelt, 1998; Smith et al, 2001).

Os autores ainda definem “*module core*” como as principais funções ao redor das quais um módulo é construído ou ainda aquelas que são claramente atendidas por um módulo. Pode haver funções que se realizam em mais de um módulo sem quebrar as regras dos métodos.

Diversos autores (Ulrich e Tung, 1991; Gershenson et al, 1999; Van Wie et al, 2001; Newcomb et al, 1998; Kusiak e Huang, 1996) vêm estudando a modularização de produtos e apontam como um ponto crucial para isso o desenvolvimento das interfaces inter-modulares.

Ao mesmo tempo apontam a dificuldade de se estabelecer o grau de modularidade de um produto (Fine, 1999, Fixson, 2005, Figura 2.8).

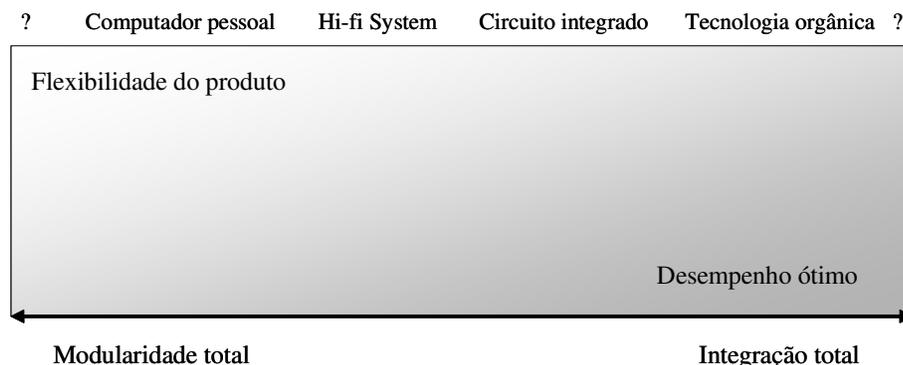


Figura 2.8: Aspectos da definição da arquitetura do produto (adaptado de Fixson, 2005).

Ulrich (1995) e Ulrich e Eppinger (2004) apontam alguns aspectos relacionados a estas decisões diferenciando os tipos de arquitetura conforme as vantagens e desvantagens perante esses parâmetros. Esta comparação é explicitada no Quadro 2.1.

Quadro 2.1: Diferenças entre os tipos de arquitetura segundo parâmetros de desenvolvimento do produto (Ulrich e Eppinger, 2004, pp.167-171; Ulrich, 1995).

| Parâmetro | Tipo de Arquitetura | |
|------------------------------|---|--|
| | Modular | Integral |
| Variação do produto | - grande variedade de produtos com a utilização de poucos itens padronizados; | - variedade de produtos baixa devido a sua especificidade de componentes; |
| Modificação do produto | - facilidade de modificação de produtos pela simplicidade dos componentes; facilidade de modificação de módulos sem interferência em outros módulos; | - quando necessária implica na modificação de diversos componentes para a obtenção do resultado funcional esperado devido à integração das partes; |
| Padronização dos componentes | - Busca-se a padronização dos componentes de modo a permitir ao usuário adquirir apenas os módulos necessários; - Busca-se a padronização das interfaces entre os módulos; | - não é o objetivo principal deste tipo de arquitetura; |
| Desempenho do produto | - o desempenho do produto não é tão relevante se comparado a os outros fatores citados; | - para a arquitetura integral o desempenho do produto é o principal objetivo; - busca-se o melhor desempenho possível sendo a manufaturabilidade a restrição imposta a este tipo de arquitetura; |
| Manufaturabilidade | - a modularidade pode ser considerada no nível de blocos de componentes; - a integração de blocos de componentes pode ser muito difícil; | - dentro de um bloco de componentes estes podem ser agrupados segundo o princípio de DFM de integração de partes; - quanto menos componentes menos operações de fabricação podem ser necessárias; |

| | | | |
|---|----|---|--|
| Gerenciamento do desenvolvimento do produto | do | - requer grandes esforços na definição do conceito mas as fases seguintes exigem menos da equipe de projeto; - depois da geração de conceitos os trabalhos podem ser realizados de maneira mais dividida, com cada parte da equipe realizando um trabalho simultaneamente. | - a fase de definição de conceito preocupa-se mais com o desempenho do produto; - no decorrer das outras fases o trabalho deve ser integrado pois cada elemento interfere diretamente no desempenho do produto. |
|---|----|---|--|

Também a arquitetura modular pode ser classificada em três tipos: modularidade em gavetas (slot) (Figura 2.9a) – onde cada módulo possui interface própria não podendo ser conectado em outra posição -, em série (bus) (Figura 2.9b) – onde há um elemento conector com diversas interfaces padronizadas que permitem o acoplamento de qualquer módulo do sistema - ou seccional (sectional) (Figura 2.9c)– a qual é composta de vários módulos com interfaces padronizadas as quais permitem a união de diferentes blocos de diferentes maneiras.

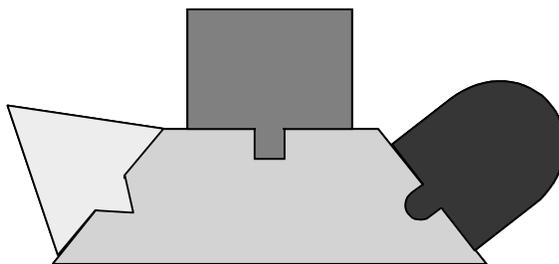


Figura 2.9a – Modularidade tipo *slot* (Ulrich e Eppinger, 2004, p.166).

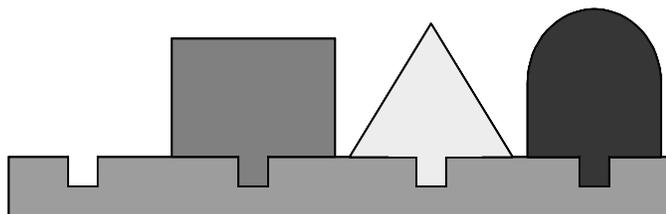


Figura 2.9b – Modularidade tipo *bus* (Ulrich e Eppinger, 2004, p.166).

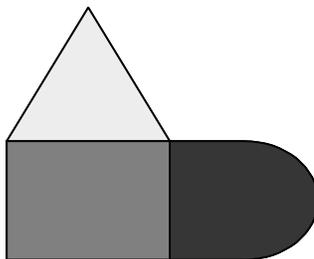


Figura 2.9c – Modularidade tipo *seccional* (Ulrich e Eppinger, 2004, p.166).

Outra classificação que busca representar as formas de combinação dos componentes num produto é proposta por Tjalve (1979) *apud* Baxter (2000). Nela o produto pode ser formado por diferentes combinações ou permutações de componentes de acordo com sua

distribuição geométrica. As diferentes formas de combinação apresentadas pelo autor estão representadas na Figura 2.10.

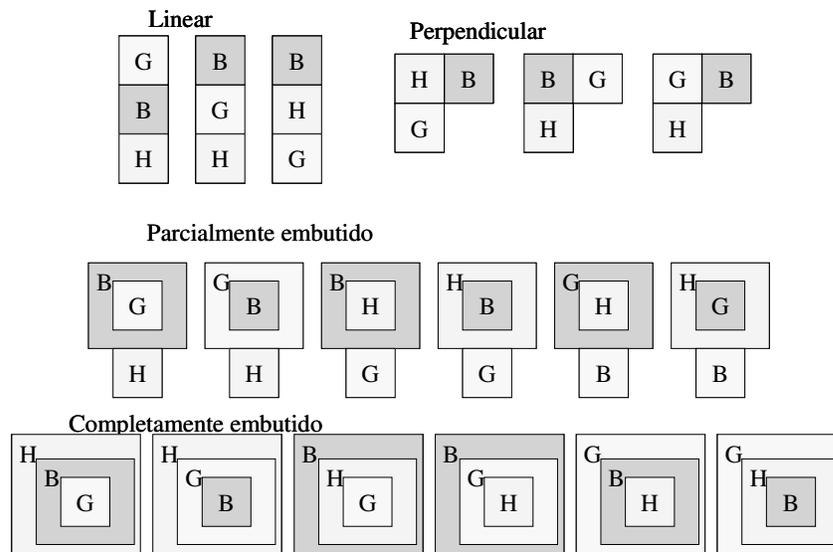


Figura 2.10 – Diferentes formas de conexão de elementos numa arquitetura modular segundo Tjalve (1979) apud Baxter (2000, p.236).

É importante frisar que, segundo Ulrich (1995), raramente um produto terá sua arquitetura totalmente integral ou totalmente modular e que os diferentes arranjos da arquitetura serão função das decisões estratégicas descritas anteriormente e da complexidade do sistema.

Fixson (2005), por sua vez, apresenta um método de avaliação da arquitetura do produto. Neste método o autor aponta a existência de ligações entre três áreas distintas do processo de projeto: produto, processo e cadeia de fornecedores e a maneira como elas interagem (Figura 2.11). Este coloca ainda que uma metodologia de avaliação da arquitetura do produto pode servir como elemento de ligação entre as decisões que precisam ser tomadas em cada domínio sem que um interfira no outro também denominado de desacoplamento funcional. O autor utiliza a definição de arquitetura do produto de Ulrich (1995), apresenta questões que surgem conforme aumenta a complexidade do produto e aponta Ulrich e Eppinger (2004, p.182) como referência para a utilidade da arquitetura do produto, ou seja, serve para definir “(...) os blocos construtivos básicos do produto em termos do que eles fazem e o que suas interfaces são para o resto do produto”.

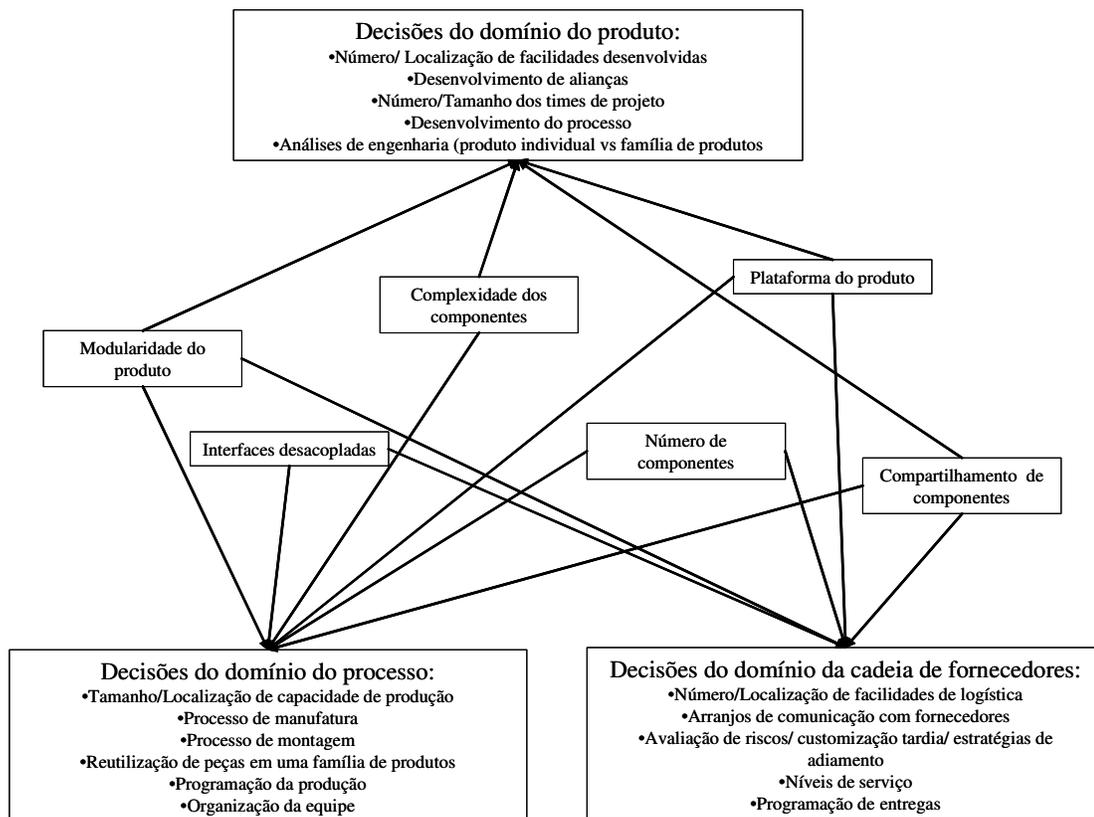


Figura 2.11: Domínios envolvidos no desenvolvimento de produtos e suas interconexões (Traduzido de Fixson, 2005).

Whitney (2004, p.349) argumenta que “a modularização, em muitas aplicações, é possibilitada pela padronização das interfaces”, pois esta padronização está intimamente ligada ao desacoplamento funcional. Este desacoplamento acaba por auxiliar na redução da ocorrência de efeitos incidentais. Outro aspecto apontado pelo autor é que a padronização das interfaces surge quando:

- As interfaces não são submetidas a grandes cargas de trabalho ou de tensão;
- Elas não desempenham uma função principal ou afetam o desempenho do produto;
- Não consomem muitos recursos do projeto como espaço, por exemplo;
- É necessária economia de escala para sua manufatura;
- Elas podem ser definidas e projetadas independentemente dos itens os quais são unidos por elas.

Em se tratando do projeto de interfaces, especificamente, é necessário que sejam abordados diferentes pontos do desenvolvimento de produto. Isto porque, diversos aspectos do desenvolvimento do produto estão inter-relacionados, conforme ilustra a Figura 2.12.

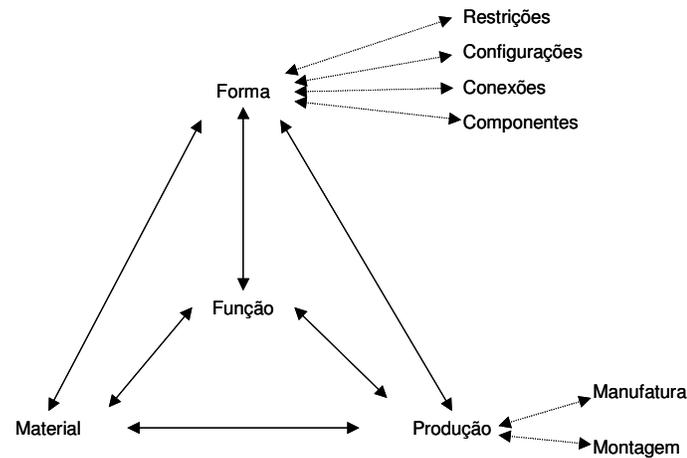


Figura 2.12. Aspectos relacionados ao desenvolvimento de produtos segundo Ullman (2003).

Nesta figura percebe-se que a definição da forma está diretamente relacionada à função do produto, à definição do material do mesmo e a sua produção, sendo esta última entendida como formada pelos processos de manufatura e montagem. Além disso, a própria determinação da forma deve envolver as restrições do produto, a configuração do mesmo, suas conexões e seus componentes.

Todos estes aspectos possuem algum tipo de relacionamento com o desenvolvimento das interfaces do produto. Siqueira (2001), aponta que:

(...) a seleção e o projeto das uniões de componentes de plástico injetados é um processo que envolve a análise criteriosa e integrada de aspectos tais como: informações relativas ao processo de fabricação dos componentes; informações relativas à geometria e materiais dos componentes e uniões existentes; informações relativas às condições de uso a que o produto estará submetido; recomendações de projeto de componentes e uniões de componentes; e informações relacionadas ao projeto e fabricação de moldes.

Apesar de o autor abordar um domínio específico, isto pode ser generalizado para outros tipos de projeto de componentes mecânicos. Além disso, para Ullman (2003), as restrições do produto, segundo o autor, são os muros ou o envelope para o produto. Portanto, o projetista deve iniciar com o conhecimento sobre as interfaces com outros objetos, pois muitos produtos devem trabalhar em relação com outros objetos existentes e imutáveis.

Com base nestas informações pode-se detectar a necessidade de, para a determinação das interfaces do produto, considerar todos os aspectos do ciclo de vida do produto. Isto se deve ao fato de que se está trabalhando com elementos que unem diferentes componentes e que interferem diretamente nos processos de manufatura, montagem, uso e reciclagem.

Segundo Scalice (2003), o desenvolvimento das interfaces é de suma importância em um projeto de produtos modulares. Outros autores que apontam tal importância são Erixon et al (1996) os quais afirmam que “as interfaces apresentam uma influência vital no produto final e na flexibilização da variedade”.

Outro aspecto importante apontado pelos autores é que o leiaute preliminar do produto propicia uma melhor noção das interdependências existentes entre os módulos o que permite definir posições e formas de ligação entre os mesmos.

Entretanto, para a determinação destas características é preciso que haja um cuidado quanto à localização e orientação dos componentes. Ullman (2003) aponta que a primeira “é a medida dos componentes relativa à posição no espaço x,y,z” e a segunda “refere-se ao relacionamento angular entre os componentes”. Assim, o projeto de configuração é um problema de localização e orientação.

Também é necessário ressaltar que as conexões determinam diretamente os graus de liberdade (DOF – *degrees of freedom*) entre os componentes e cada interface deve ser pensada como restringindo algum ou todos esses graus de liberdade (Blanding, 1999). Fundamentalmente, toda conexão entre dois componentes tem seis graus de liberdade – três translações e três rotações. É o projeto das conexões que determina quantos DOF o produto final terá. Não entender as conexões como restritoras de DOF resultará num comportamento imprevisível. Além disso, o autor coloca algumas diretrizes para o desenvolvimento e o refino das interfaces entre componentes:

- As interfaces devem sempre refletir equilíbrio de forças e consistência de fluxos de energia, material e informação;
- Depois de desenvolver interfaces com objetos externos, considerar as interfaces das funções mais críticas;
- Tentar manter a independência funcional no projeto de uma montagem ou componente;
- Ser cuidadoso quando separar o produto em componentes separados;
- Criar e refinar interfaces pode forçar decomposições que resultam em novas funções ou podem encorajar o refinamento da decomposição funcional.

Assim, Ullman (2003) cita que, conforme as interfaces são refinadas, novos componentes e montagens são criados (ou tomam forma), ou seja, “os componentes evoluem primariamente das interfaces”. Um passo para a avaliação de cada peça em potencial é determinar como cada novo componente muda a funcionalidade do projeto.

Um correto desenvolvimento das interfaces de um produto modular pode facilitar a montagem e desmontagem de um produto. Isto acaba também por possibilitar a construção de diferentes produtos ou sistemas pela combinação dos diferentes módulos construtivos

(Baldwin e Clark, 1997 apud Chen e Liu, 2005). Também pode reduzir custos de treinamento para a montagem, pois se pode primar por processos de montagem conhecidos. Além disso, pode-se reduzir os custos da própria montagem em si pela utilização de preceitos de montagem advindos de técnicas como o projeto para montagem (DFA – Boothroyd et al, 1994).

Sanchez (1996) apud Chen e Liu (2005) também enfatiza a padronização das interfaces entre módulos como potencializadora da flexibilidade do produto, pois, com a mudança de poucos módulos pode-se obter uma família de produtos.

Com isso, o papel das interfaces dentro do projeto de um produto modular torna-se essencial para a obtenção dos melhores resultados possíveis.

Assim, de modo a gerar a interface, pode ser necessário tratá-la como um novo problema de projeto e utilizar as técnicas de geração de concepções. Quando desenvolve-se uma conexão, classifica-se a mesma em um ou mais dos tipos abaixo (Ullman, 2003):

- Fixa, conexão não ajustável.
- Conexão ajustável;
- Conexão separável;
- Conexão de localização;
- Conexão de pivotamento.

2.6. Considerações finais

A partir do que foi exposto neste capítulo, percebe-se que existem diferentes formas de tratamento e redução de incertezas em diferentes áreas do conhecimento, inclusive no campo das metodologias de projeto de produtos. Contudo, também nota-se que não há um caminho definitivo para a resolução destas incertezas.

Fica explícito, então, que o melhor caminho para a resolução das incertezas durante o projeto de um produto é adicionar o máximo de informações possível o que implica que, para a geração de conceitos, é necessário que mais informações sejam agregadas. Aí entra o projeto das interfaces do produto.

As interfaces surgem, neste contexto, como um elemento adicional que agrega o conhecimento de como é feita a conexão entre as peças. Assim, torna-se preponderante o desenvolvimento das interfaces do produto de modo a adicionar esta informação e também de agregar elementos adicionais ao projeto do produto.

No próximo capítulo serão apresentados alguns modelos de projeto de interfaces encontrados na literatura. Também serão mostrados modelos e ferramentas de definição da

estrutura do produto e da sua arquitetura como elementos complementares da definição das interfaces do produto.

3. Capítulo 3 – Avaliação dos modelos de projeto de interfaces

Neste capítulo será feita uma avaliação dos modelos de Projetos de interfaces existentes na literatura bem como outras atividades que se relacionam com o desenvolvimento das interfaces como a definição da Arquitetura do Produto e a Modelagem Funcional.

Para tanto, será realizado um levantamento dos modelos propostos na literatura de modo a definir as especificações para o modelo de projeto de interfaces na fase de projeto conceitual. Além disso, será feita uma análise destes modelos tomando-se como base características pré-definidas e, assim, será determinado o quanto tais modelos atendem tais especificações.

Por isso, os modelos serão classificados segundo características de forma e estágio de aplicação, apresentados e avaliados conforme parâmetros de abrangência do modelo – tipo de arquitetura contemplada e domínio de conhecimento que atende -, consistência, grau de detalhamento e completeza de informações, além do estágio de aplicação do modelo.

Assim, a seguir inicia-se a descrição dos modelos de projeto de interfaces.

3.1. Modelos de projeto de interfaces aplicados no projeto preliminar

Neste tópico serão apresentados alguns modelos específicos para o projeto de interfaces que desenvolvem as mesmas na fase preliminar do projeto de produtos.

3.1.1. Modelo de uniões de plástico injetado

Siqueira (2001) desenvolveu uma sistemática para seleção de uniões de plásticos injetados. Esta sistemática é desenvolvida no Projeto Preliminar e tem como entrada a concepção escolhida no projeto conceitual conforme mostra a Figura 3.1.

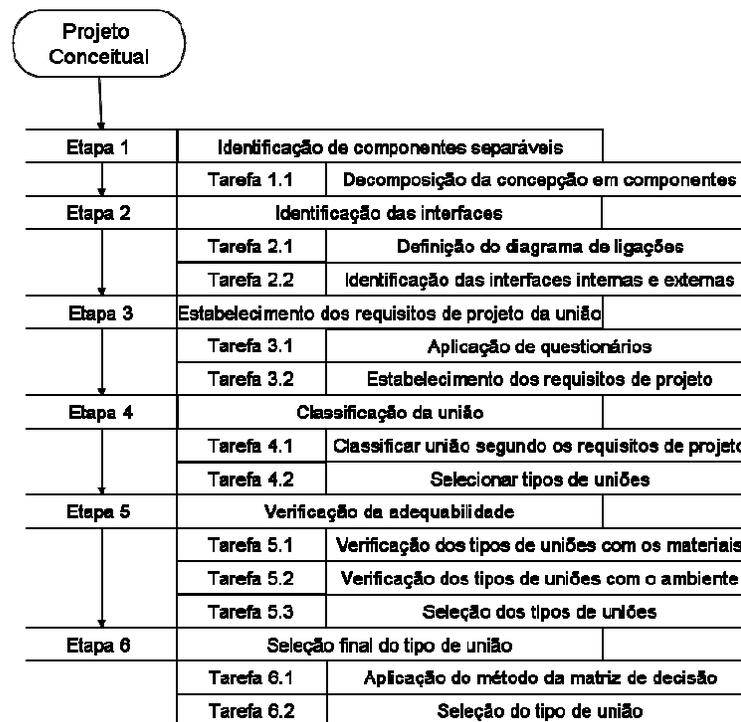


Figura 3.1: Etapas do processo de sistematização da seleção do tipo de união de componentes de plástico injetados. (Siqueira, 2001).

Como mostra a figura, o processo proposto por Siqueira (2001) possui a forma seqüencial e segue aproximadamente o fluxo de um modelo de desenvolvimento de produtos, mas no sentido de desenvolver as uniões entre componentes. Também é necessário ressaltar que o autor foca o desenvolvimento de produtos de plástico injetado.

3.1.2. Processo de seleção de interfaces

Scalice (2003) desenvolveu uma ferramenta de projeto de interfaces denominada Processo de Seleção de Interfaces (PSI) para produtos modulares. A ferramenta proposta por Scalice (2003) é parte do Projeto Preliminar de produtos modulares e é baseada em procedimentos adotados no Projeto Conceitual. Segundo Scalice et al (2001) “o conhecimento prévio de quais serão os módulos a serem projetados e das funções que irão compô-los é o requisito básico para o início da determinação das interfaces”.

Portanto, segundo Scalice (2003) o processo de desenvolvimento das interfaces é realizado seguindo três passos que são mostrados esquematicamente na Figura 3.2.

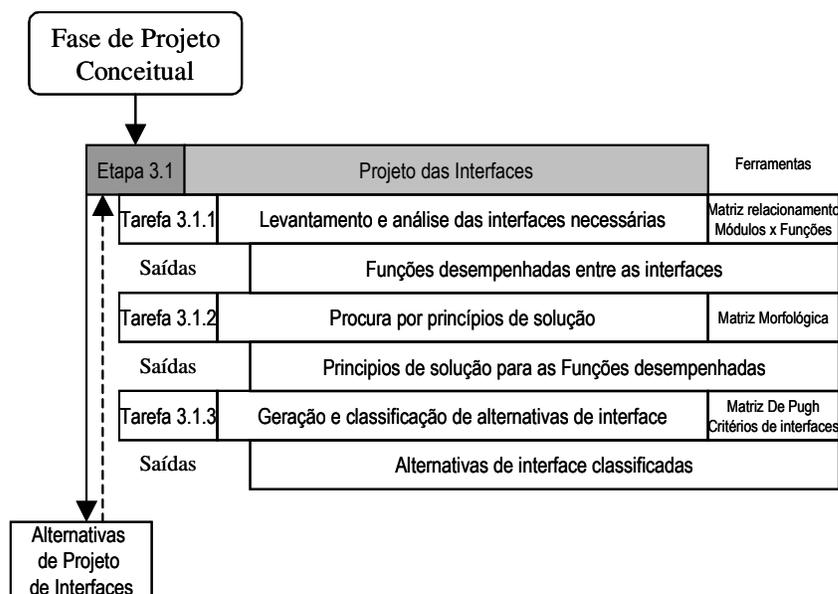


Figura 3.2 - Processo de Seleção de Interfaces (PSI) – Scalice (2003, p. 70).

O Levantamento e análise das interfaces necessárias é feito pela aplicação de uma matriz que relaciona os módulos determinados na fase de projeto conceitual com as funções para interfaces apresentadas por Hillström (1994) e detalhadas por Scalice (2003). Estas são:

- Transmitir energia: agrupa as diferentes possibilidades de trocas energias mecânicas (forças, movimentos, etc.), eletromagnéticas (ondas, eletricidade, etc.) ou de quaisquer outras fontes.
- Providenciar suporte: relacionado à existência de apoios, temporários ou permanentes, entre módulos.
- Localizar o componente na montagem: relacionados a execução da montagem dos módulos do produto entre si.
- Providenciar a localização para outros componentes na montagem: ligado à montagem do produto ou de seus módulos com outros componentes pertencentes a outros sistemas.
- Transmitir informação: relacionado a interações cognitivas entre módulo-usuário (sinais visuais, táteis, etc.) e algumas possibilidades de trocas entre módulo-módulo (a exemplo do uso de sensores).

| | | 01 | 02 | SH | MA |
|---------------|--|----|----|----|----|
| 01 (base) | Transmitir energia | | | | |
| | Providenciar suporte | | | | |
| | Localizar o componente na montagem | | | | |
| | Providenciar a localização para outros componentes na montagem | | | | |
| | Transmitir informação | | | | |
| 02 (phone) | Transmitir energia | | | | |
| | Providenciar suporte | | | | |
| | Localizar o componente na montagem | | | | |
| | Providenciar a localização para outros componentes na montagem | | | | |
| | Transmitir informação | | | | |

| Relacionamentos | |
|-----------------|---|
| Forte | ● |
| Médio | ⊙ |
| Fraco | ○ |

| | |
|---------------|----|
| Ser humano | SH |
| Meio-ambiente | MA |

Figura 3.3. Matriz para a determinação das necessidades de interfaces – criação da matriz.

Na Figura 3.3, as células da matriz consideradas desnecessárias foram eliminadas, ou seja, aquelas que correlacionam um módulo a si mesmo (módulo 1 x módulo 1 e módulo 2 X módulo 2), assim como a correlações redundantes, como a entre o módulo 2 e o módulo 1. No exemplo proposto, restam apenas a relação entre módulo 1 e módulo 2, e as relações destes módulos com o usuário e o meio-ambiente.

O próximo passo do preenchimento da matriz é feito atribuindo-se pesos às funções a serem desempenhadas pelas interfaces dos módulos.

Uma vez conhecidas as funções necessárias para a realização das interfaces, deve-se partir para a “Procura por princípios de solução”, uma vez que cada uma das funções a serem desempenhadas pelas interfaces pode ser atendida de diferentes maneiras. Neste sentido, propõe-se que durante esta tarefa do projeto seja feita a busca por tais princípios de solução, os quais podem ser organizados através de uma matriz morfológica.

Finalizando o processo de seleção de interfaces, deve-se realizar uma etapa de Geração e classificação de alternativas de interface. Para a geração das alternativas de interface, devem ser escolhidos os princípios de solução que melhor se ajustam a cada uma das necessidades de funções observadas na etapa de “Levantamento e análise das interfaces necessárias”. Para a determinação das alternativas de interface mais adequadas, pode-se optar pela comparação das mesmas em uma matriz de seleção ou matriz de Pugh (PUGH, 1991). Como base de comparação, são sugeridos 11 critérios ligados a aspectos do projeto de interfaces, apresentados na Tabela 3.1, aos quais devem ser atribuídos pesos de 1 a 5 conforme sua importância para o produto e o escopo do projeto.

Tabela 3.1. Critérios propostos para comparação entre interfaces Scalice (2003).

| Critérios | Descrição |
|--------------------------------------|--|
| Estanqueidade | Garantir isolamento entre funções, princípios ou componentes |
| Intercambiabilidade | Facilidade em se substituir módulos em uma mesma interface |
| Montabilidade | Facilidade em proceder a montagem do módulo |
| Desmontabilidade | Facilidade em proceder a desmontagem do módulo |
| Geometria | Importância em não serem efetuadas adaptações geométricas nos módulos para a implementação da interface |
| Material | Adequação do material a ser empregado na interface ao produto |
| Forças, energias e movimentos | Eficiência na passagem de forças, energias e movimentos (perdas) |
| Produção | Facilidade de fabricação, montagem, transporte, etc. |
| Segurança e ergonomia | Influência na saúde do operador do equipamento |
| Custo | Necessidade em se minimizar o custo |
| Manutenção | Importância em se reduzir a periodicidade e a necessidade de manutenção das interfaces propostas |

O resultado final do PSI são alternativas de projeto priorizadas para cada uma das interfaces entre os módulos do produto. É importante deixar claro que não se pretende, neste instante, decidir quais serão as interfaces a serem empregadas, mas apenas ordená-las segundo o atendimento aos critérios usados para comparação. Nos próximos passos do projeto, é importante considerar aspectos de intercambiabilidade com módulos de outras famílias e de evoluções técnicas do produto. Aspectos de dimensionamento e tolerâncias também são de grande importância para a manutenção desta intercambiabilidade.

O Processo de Seleção de Interfaces, ou PSI, permite visualizar as interfaces necessárias para o produto, mapear as funções destas interfaces e definir e classificar propostas de interface entre módulos. O procedimento adotado se assemelha ao de projeto conceitual de produtos, partindo de uma análise das funções das interfaces, seguindo para a proposta de alternativas, finalizando com a determinação do grau de importância de cada uma. Para facilitar a realização destes procedimentos, foi proposta uma matriz para auxiliar na determinação das funções das interfaces e estabelecidos requisitos de interfaces para a realização da seleção das mesmas.

Como vantagens do PSI pode-se destacar que esta ferramenta, de forma simples, apresenta soluções viáveis e adequadas à implementação de interfaces entre módulos. Além disso, o fato de ser possível propor alternativas para vários módulos, simultaneamente, ajuda no estabelecimento de padronização de interfaces. Também é importante destacar que definir as interfaces do produto auxilia no detalhamento do mesmo.

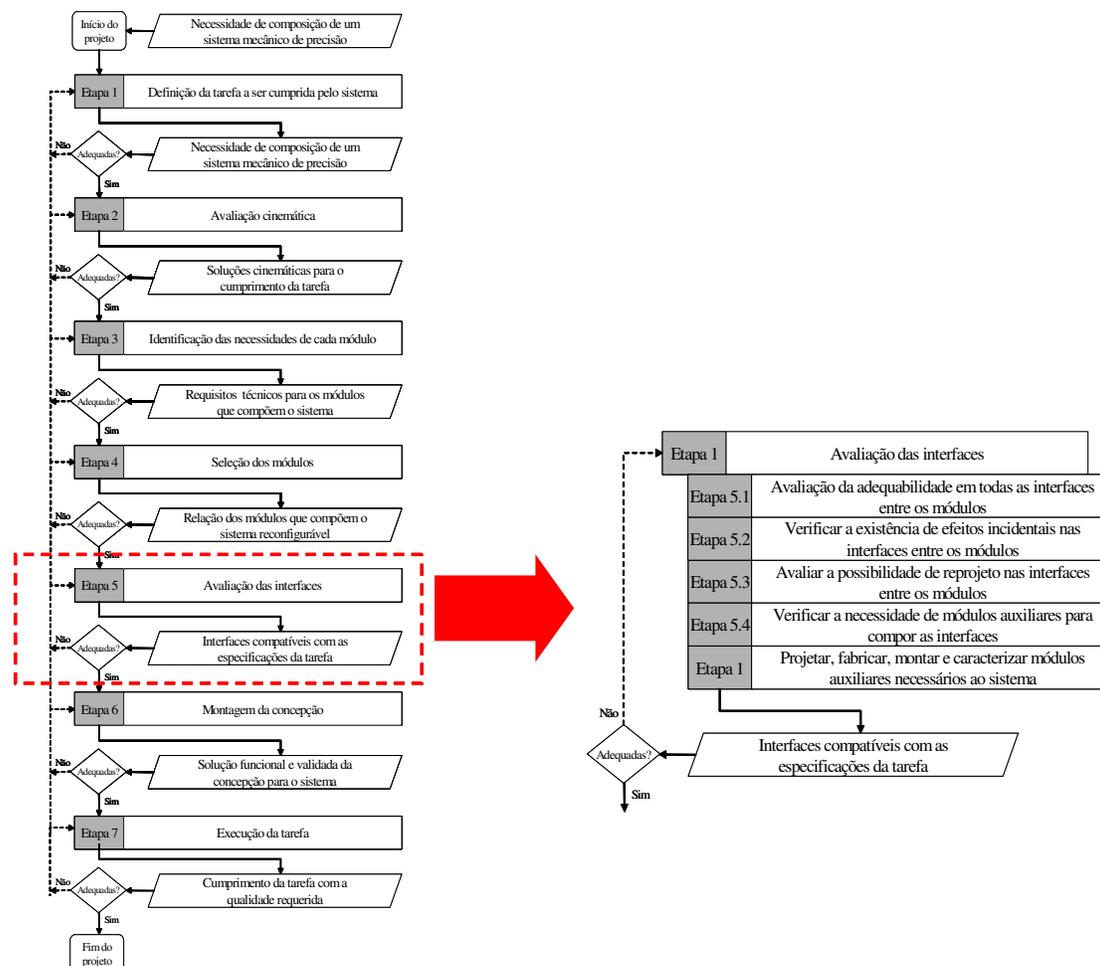
O caráter orientativo da ferramenta deve ser ressaltado, uma vez que as soluções propostas para as interfaces são limitadas por aspectos como a estrutura física dos módulos, viabilidade técnica de execução, padronização de interfaces, entre outras.

Algumas limitações também são levantadas:

- as ferramentas propostas não utilizam todas as potencialidades do uso de sistemas CAD no desenvolvimento das interfaces;
- o desenvolvimento das interfaces não é realizado simultaneamente ao desenvolvimento das concepções;
- não é feito o mapeamento das interfaces funcionais;
- pode-se questionar se as funções de interface apontadas por Hillström (1994) definem todas as funções de interface possíveis.

3.1.3. Modelo de projeto de interfaces para sistemas de precisão reconfiguráveis

Outro trabalho relacionado ao projeto de interfaces é o de Pereira (2004) o qual apresenta uma metodologia de projeto de interfaces para produtos reconfiguráveis. Neste trabalho o autor apresenta os passos necessários para a avaliação das interfaces entre os módulos, sendo esses mostrados na Figura 3.4. Este modelo está situado na fase de Projeto Preliminar, uma vez que é necessário que os conceitos dos módulos estejam desenvolvidos para, então, serem geradas as interfaces do produto.



| Recurso | Comentários |
|---|--|
| Graus de liberdade | Descreve os graus de liberdade necessários para o cumprimento da tarefa e requisitos de integração |
| Soluções cinemáticas | Arranjos cinemáticos possíveis para o cumprimento da tarefa |
| Requisitos dos módulos | Requisitos técnicos para cada um dos módulos necessários para compor as soluções cinemáticas |
| Biblioteca de módulos | Relação de módulos disponíveis para compor sistema |
| Catálogos de fabricantes | Catálogos de componentes e sistemas comerciais que podem compor módulos |
| Módulos selecionados | Relação de módulos selecionados para cada configuração cinemática |
| Requisitos das interfaces | Requisitos necessários às interfaces para garantir qualidade final |
| Identificação interfaces | Relação das interfaces, suas interdependências e soluções para efeitos incidentais |
| Princípios de engenharia de precisão no projeto | Levantamento bibliográfico sobre princípios de engenharia de precisão no projeto de sistemas mecânicos de precisão e ultraprecisão |
| Sistema CAD | Software CAD para projeto virtual das soluções cinemáticas |
| Internet | Ferramentas de busca de catálogos <i>on line</i> |
| Metodologia de projeto tradicional | Metodologia de projeto e reprojeção para obtenção de módulos necessários ao sistema mecânico de precisão |
| Sistema CAE | Software CAE para simulação das características dos módulos e propagação de efeitos incidentais |
| Matriz de avaliação das interfaces | Matriz de correlação entre os módulos para identificação de influências entre os módulos |

Figura 3.4. passos necessários para a avaliação das interfaces entre os módulos (PEREIRA, 2004).

Este modelo levanta a adequabilidade das interfaces entre módulos, avalia a influência entre os módulos, verifica se há a necessidade de se realizar um reprojeção das interfaces, mas não apresenta como desenvolver as interfaces.

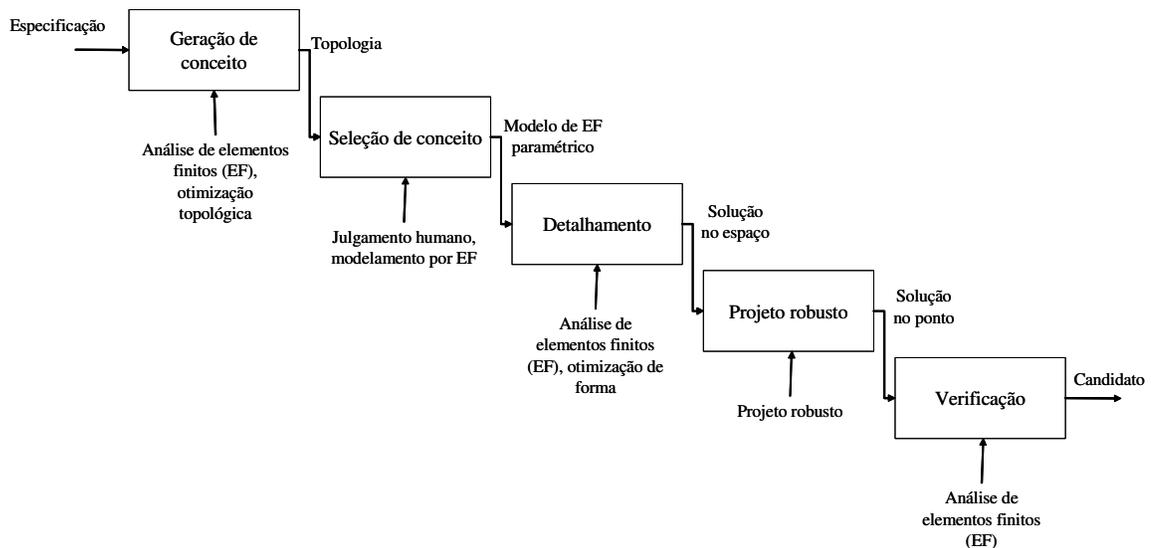


Figura 3.6: Modelo de desenvolvimento de interfaces robustas, segundo Blackenfelt e Sellgren (2000).

Este modelo, como ilustra a Figura 3.6, possui a limitação da necessidade de já se possuir os módulos que compõem as funções principais do produto. Isto torna-se evidente na conceitualização das interfaces pelo modelo da “caixa-preta” apontado pelos autores (Figura 3.7).

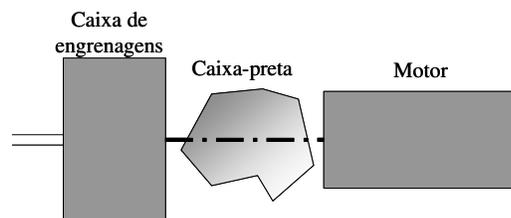


Figura 3.7: Modelo de caixa-preta para conceitualização de interfaces, segundo Blackenfelt e Sellgren (2000).

A partir da Figura 3.7 pode-se verificar que assim como os modelos de Siqueira (2001) e de Scalice (2003), este modelo busca desenvolver as interfaces no projeto preliminar (com os módulos definidos) e trata as interfaces como um novo problema de projeto. Esta abordagem apresenta a vantagem de se trabalhar com diferentes alternativas de interface, mas ainda possui a limitação de se definir a interface tardiamente, o que, conforme apontado anteriormente pode ser uma fonte de retrabalho.

3.1.5. Avaliação dos modelos de projeto de interfaces na fase preliminar

Se formos analisar os modelos de projeto de interfaces apresentados percebe-se que os mesmos apresentam como característica comum a especificidade de arquitetura e/ou de domínio dos modelos. Isto é percebido pela ênfase dos autores em colocar que os modelos são desenvolvidos para produtos modulares ou para produtos específicos de aplicação. Siqueira (2001) desenvolveu um modelo para o projeto de uniões de componentes de plástico injetado. Scalice (2003), por sua vez, desenvolveu um modelo de projeto de interfaces para uma família de produtos modulares. Pereira (2004) enfatizou o projeto das interfaces de produtos de precisão reconfiguráveis. Blackenfelt e Sellgren (2001) apresentaram o desenvolvimento de interfaces robustas para produtos modulares.

3.2. Modelos de definição da arquitetura do produto

Neste tópico serão apresentados modelos de definição da arquitetura do produto.

3.2.1. Modelo de Ulrich e Eppinger (2004) – Arquitetura do produto

Ulrich e Eppinger (2004) estabelecem um método composto de quatro passos para a definição da arquitetura do produto:

- 1 - criação do esquema do produto;
- 2 - agrupamento dos elementos do esquema;
- 3 - criação do esboço do leiaute geométrico;
- 4 - identificação das interações fundamentais e incidentais.

Este método parte da estruturação funcional do produto para a definição, ainda num nível de funções, do leiaute ou esquema do produto. Com base nas funções, pode-se estabelecer diversas alternativas de arquiteturas do produto. Os autores ainda colocam que, caso o grau de complexidade do produto seja elevado, pode-se estabelecer o esquema baseando-se apenas nos principais elementos funcionais do produto.

A partir deste esquema os autores apontam que o segundo passo é o agrupamento em blocos dos elementos do esquema. Neste agrupamento a equipe de projeto pode tomar a decisão de estabelecer uma arquitetura totalmente modular onde cada elemento funcional seria estabelecido por um bloco ou totalmente integral caso todos os elementos fossem

agrupados em apenas um bloco. Para a definição de como fazer o agrupamento, os autores colocam que a equipe deve considerar uma série de fatores, a saber:

- Integração geométrica e precisão;
- Compartilhamento de função;
- Capacidade dos fornecedores;
- Similaridade de tecnologia de projeto ou produção;
- Localização da mudança;
- Acomodação da variedade;
- Possibilidade de padronização;
- Portabilidade de interfaces.

O terceiro passo da metodologia proposta aponta a elaboração de um esboço de leiaute geométrico. Este esboço pode ser elaborado de diversas formas desde um modelo em duas dimensões até um modelo em espuma, por exemplo. O objetivo da confecção deste modelo é a verificação da viabilidade de utilização das interfaces entre os blocos definidos no passo anterior e a determinação das dimensões básicas entre os mesmos. Pode-se elaborar mais de uma alternativa de modelo tornando possível à equipe avaliar e escolher a melhor estrutura. Também, a partir deste modelo, pode-se verificar a viabilidade ou não das estruturas desenvolvidas no passo anterior.

Por fim, o método proposto aponta a necessidade de se identificar as interações entre os blocos desenvolvidos. Para isso, os autores colocam a possibilidade de se utilizar um gráfico de interações ou uma matriz de interações conforme a complexidade do produto. Também há que se diferenciar os tipos de interações em fundamentais e incidentais. As interações fundamentais são aquelas onde existem as conexões básicas entre os elementos, isto é, onde ocorrem os fluxos de material, energia e informação. Estas são, por assim dizer, as interações desejadas. Já as interações incidentais são aquelas que se originam de interações desconhecidas, ou mesmo resultantes de interações esperadas, mas com conseqüências inesperadas por influência de variáveis externas.

Este modelo trata o desenvolvimento das interfaces como um item secundário da definição da arquitetura do produto. Assim, os autores acabam por não estabelecer uma forma definida de como fazer o desenvolvimento destas interfaces. Entretanto, os mesmos apontam as interações como fator relevante no desenvolvimento da arquitetura. Dessa forma, apesar de não poder ser realizada uma análise similar aos outros modelos, pode-se constatar que este modelo é abrangente, uma vez que não se atem a nenhuma área de conhecimento específica. Também pode-se avaliá-lo como um modelo que não detalha as informações num nível palpável tornando-se uma referência geral para outros modelos.

3.2.2. Modelo de definição da estrutura funcional e da arquitetura do produto de Rozenfeld et al (2006)

Rozenfeld et al (2006) partem da definição de modelagem funcional que para eles é: “a modelagem funcional auxilia o time de projeto a descrever os produtos num nível abstrato possibilitando a obtenção da estrutura do produto sem restringir o espaço de pesquisa a soluções específicas” (p. 237). Ela também faz a representação das interações funcionais (internas) e com o ambiente (externas). Assim, as vantagens de se modelar funcionalmente são:

- obtenção de melhores soluções pelo tratamento generalizado e aberto do problema;
- prevenção quanto a limitação das soluções por experiências, preconceitos e convenções;
- formulação ampla e aberta do problema de projeto juntamente com o entendimento claro das restrições essenciais sem a consideração prévia de uma solução;
- identificação de restrições fictícias limitadoras de inovações;
- quebra de preconceitos e condução à melhor solução para o projeto.

Sendo assim, os autores propõem um modelo de elaboração da Estrutura Funcional para o produto o qual encontra-se representado na Figura 3.8.

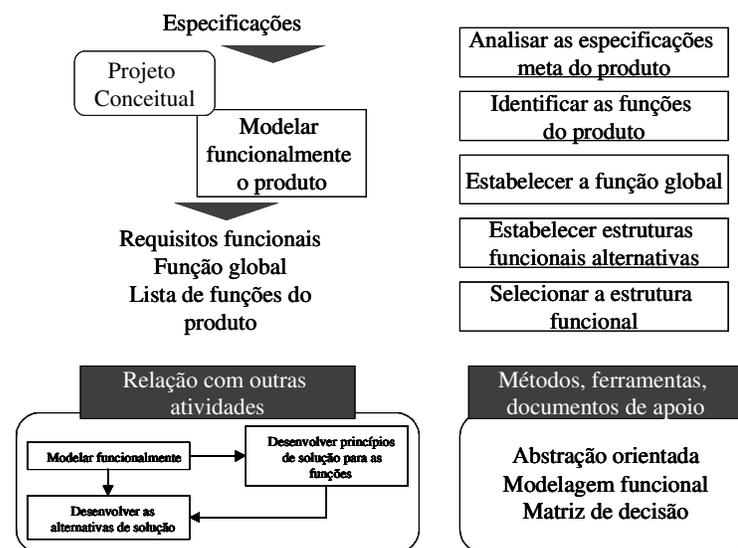


Figura 3.8 – Tarefas da atividade de modelar funcionalmente (Rozenfeld et al, 2006, p.238).

As estruturas funcionais devem conter todos os fluxos de energia, material e sinal envolvidos. Deve-se garantir a compatibilidade entre as entradas e as saídas das funções adjacentes.

A partir das estruturas de função são desenvolvidos os Princípios de Solução e as Alternativas de Solução. Depois disso, os autores apontam que é desenvolvida a arquitetura do produto.

Para a definição da arquitetura do produto os mesmos colocam que deve ser feito o desdobramento das Alternativas de Solução em SSC's que deverão atender as funções do produto. Assim, cada alternativa de projeto ou modelo de princípio de solução total gerado na atividade precedente terá uma arquitetura específica.

A classificação do tipo de arquitetura baseia-se na proposta por Ulrich e Eppinger (2004). Além disso, colocam que os elementos que constituem o produto bem como os seus inter-relacionamentos, incluindo a sua estrutura, não são representados na forma exata. Também o desenvolvimento da arquitetura envolve a divisão e identificação dos SSC's individuais, sua localização e orientação.

A partir disso são definidas as interações entre os SSC's as quais podem ser definidas por meio das interfaces entre os mesmos. Estas, por sua vez, podem ser móveis, fixas ou ser um meio de transmissão. Portanto, elas têm um papel importante no produto final em virtude da intercambiabilidade entre os SSC's e serem determinantes para a sua montagem.

A definição das Interfaces pode ser realizada pelo emprego da Matriz de Interfaces de Erixon et al (1996) na versão apresentada por Rozenfeld et al (2006) Figura 3.9.

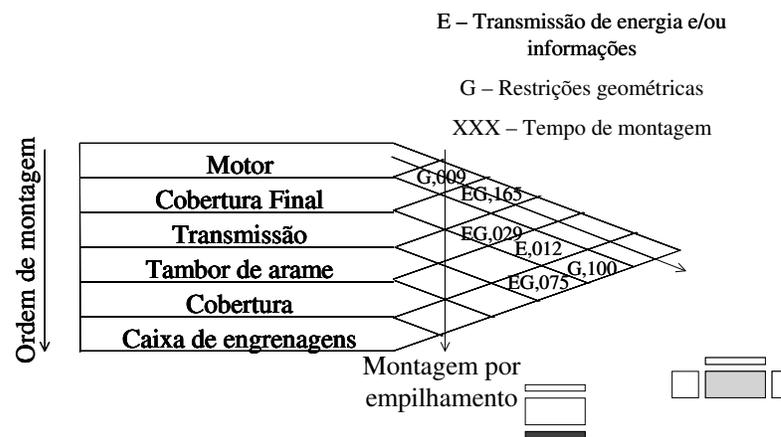


Figura 3.9 – Matriz de Interfaces proposta por Erixon et al (1996) e detalhada por Rozenfeld et al (2006, p. 263).

Nesta matriz são colocados os componentes ou módulos geométricos. Também são apontadas as relações de energia, informações ou restrições geométricas existentes entre os módulos. Assim, de acordo com a direção que os relacionamentos assumem na matriz, pode-se estabelecer a forma de montagem do conjunto. Para a montagem desta matriz é necessário que se conheça os módulos construtivos do equipamento.

3.2.3. Avaliação dos modelos de definição da arquitetura do produto

Os modelos de Ulrich e Eppinger (2004) e Rozenfeld et al (2006) apresentam características similares entre si. Isto porque o modelo de Rozenfeld et al (2006) é baseado no primeiro. Assim, sendo ambos apresentam a definição da arquitetura do produto mas no que diz respeito à definição das interfaces do mesmo não apontam como defini-las.

Dentro da perspectiva da avaliação definida neste capítulo pode-se apontar que os modelos propostos não apresentam completeza de informações. Além disso, os modelos diferem no estágio de aplicação. Enquanto o primeiro modelo aponta a definição da arquitetura no projeto preliminar, o segundo define a mesma no projeto conceitual.

3.3. Modelos de definição da arquitetura do produto pelo método das heurísticas de projeto

Neste tópico serão apresentados os modelos que definem a arquitetura do produto pelo método das heurísticas de projeto definido por Stone, Otto e Wood (2001).

3.3.1. Método das heurísticas de projeto

Uma outra proposta de formulação da arquitetura de produtos é feita por Stone, Otto e Wood (2001). Os autores propõem que a definição da arquitetura do produto se baseie em regras que agrupam as funções em módulos conforme parâmetros pré-determinados. Para tanto, os autores apontam que o processo de projeto é essencialmente heurístico, ou seja, não possui apenas uma solução. Por isso, denominam o método desenvolvido de método de heurísticas de projeto.

O método de heurísticas é elaborado de modo a buscar a definição de módulos construtivos para o produto pelo agrupamento de funções conforme o tipo de fluxo (se é dominante ou ramificado) ou se existe a transformação e transmissão de fluxos. Cada um destes processos define uma possibilidade de agrupamento de funções que pode constituir um módulo. Cabe frisar que os autores não restringem a concepção dentro de um módulo ao tipo modular. Caso o projetista queira integrar componentes dentro de um módulo isto é possível. Outra questão é que pode haver diversas possibilidades de agrupamento as quais devem ser avaliadas pelo projetista conforme a sua percepção de qual a mais interessante para o seu contexto.

Assim, o método consiste em, a partir das estruturas funcionais elaboradas, buscar-se os possíveis agrupamentos segundo três parâmetros:

- Fluxo dominante – pode-se agrupar as funções conforme um determinado tipo de fluxo (material, energia ou sinal) que é comum entre as funções selecionadas. Isto quer dizer que há um fluxo principal “atravessando” as funções de modo a haver uma compatibilidade entre as mesmas.
- Fluxo ramificado – no caso de haver uma ramificação do fluxo, ou seja, um desmembramento do fluxo em fluxos menores que ocorrem paralelamente, ou mesmo no caso de uma convergência de fluxos pode-se determinar diferentes módulos funcionais. Esta determinação ocorre porque não há um fluxo dominante sendo este caso uma negação do caso anterior, isto é, ao invés de haver um agrupamento pela existência de um fluxo dominante, há a criação de diferentes módulos pela pulverização dos fluxos.
- Conversão – transmissão – este tipo de agrupamento diz respeito a funções que trabalham com conversão e transmissão de fluxos de energia. Para haver este tipo de módulo é necessário que haja um par de funções converter e transmitir em série. Isto ocorre em equipamentos que necessitam de elementos transformadores de energia para o seu funcionamento.

Com base nestes três tipos de agrupamentos os autores determinam a possibilidade de estabelecimento da arquitetura do produto num nível funcional. Uma limitação deste método é a sua aplicação sem a consideração das interfaces internas aos módulos uma vez que as interfaces inter-modulares são especificadas apenas após a definição dos módulos e estes estão sujeitos a retornar a fase de definição, pois não são consideradas as interfaces como elemento de seleção. Quanto às interfaces intra-modulares, são relegadas a segundo plano podendo ser definidas somente após a definição da arquitetura modular.

3.3.2. Método dos fluxos de esforço

Outro método proposto que vai ao encontro do método proposto por Stone, et al (2001) é o proposto por Greer e Wood (2004) os quais apontam a possibilidade de decomposição do produto projetado em fluxos de esforço o que implica dizer que pode-se definir a arquitetura do produto pela necessidade de se executar um esforço por um determinado caminho, ou seja, o caminho necessário para a execução deste esforço pode ser determinante para a definição da arquitetura do produto.

Também baseado no método das heurísticas, Otto e Dahmus (2001) apontam que as estruturas de função servem para estabelecer especificações, gerar Princípios de solução e especificar requisitos de interface.

Outro aspecto apontado por Otto e Dahmus (2001) é a preocupação com aspectos como custos de reparo durante o ciclo de vida denotando a possibilidade de aplicação da ferramenta de FMEA nas decisões sobre a estrutura de funções do produto.

3.3.3. Avaliação dos modelos de definição da arquitetura do produto pelo método das heurísticas de projeto

Os modelos de definição da arquitetura pelo método das heurísticas de projeto apresentam como principal característica o seu ponto de partida na estrutura funcional do produto. Este é um aspecto importante pois, a partir da estruturação funcional do produto, pode-se verificar a existência de interações entre as funções do mesmo.

Também começam a surgir informações que podem ser utilizadas na montagem e manufatura do produto. Entretanto, os modelos apontam a existência de interações e a possibilidade de agrupamentos funcionais, mas não apontam como definir as interfaces e como evoluir estas informações em concepções mais completas ainda na fase conceitual do projeto de produto.

3.4. Métodos de definição de leiaute para o produto

Os métodos de definição de leiaute do produto são a forma mais geral de definição da distribuição geométrica do produto. Estes métodos primam por estabelecer os diferentes aspectos de distribuição do produto para depois definir as interfaces entre os elementos geométricos do mesmo. Eles assumem diferentes nomes na literatura como definição de leiaute e definição da configuração do produto. Abaixo encontram-se descritos e avaliados alguns dos modelos existentes.

3.4.1. Método de Pahl e Beitz (1996)

Pahl e Beitz (1996) estabelecem a definição do leiaute do produto na fase de Projeto Preliminar. Esta inicia-se com o conceito do produto gerado no Projeto Conceitual e, a partir deste, geram-se os leiautes preliminar, inicialmente, e detalhado ou definitivo posteriormente.

Assim, o projeto de interfaces do produto é desenvolvido, para estes autores, no Projeto Preliminar.

Entretanto, ao analisar-se mais detalhadamente a proposta de Projeto Conceitual dos autores, pode-se perceber a existência de um pré-desenvolvimento do leiaute. Isto porque existe a aplicação de ferramentas de combinação de Princípios de Solução como a Matriz de Compatibilidade (Figura 3.10), a qual auxilia na determinação do que os autores chamam de estrutura de trabalho. Esta estrutura de trabalho nada mais é que um esboço de um leiaute do produto que posteriormente será avaliado, mas que leva em conta a compatibilidade entre os princípios de solução na mesma concepção do produto. Um exemplo de estrutura de trabalho é apresentado por Gomes Ferreira (1997) e mostrada na Figura 3.11.

| Componente Variação de energia do mecanismo | | mudar energia | | | |
|--|-----|------------------|-----|-----|-----|
| | | PS1 | PS2 | ... | PSn |
| | | 1 | 2 | ... | N |
| CA | A | | | | |
| CB | B | | | | |
| ... | ... | | | | |
| Cn | n | | | | |

Figura 3.10 – Matriz de compatibilidade de Princípios de Solução (Dreibholz, 1975 *apud* Pahl e Beitz, 1996, p.98).

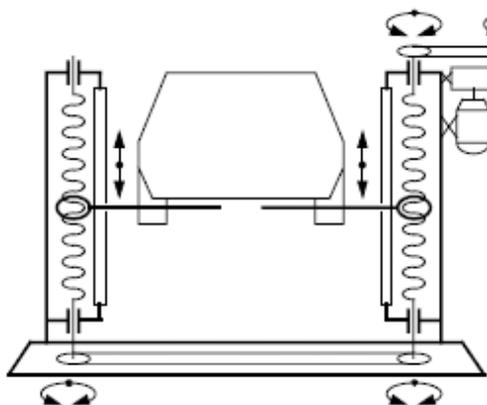


Figura 3.11 – Modelo de estrutura de trabalho de um eleva-car (Gomes Ferreira, 1997, p. 108).

Outros métodos apresentados pelos autores para a geração de Princípios de Solução podem ser úteis na definição das interfaces para o produto. Estes métodos são os propostos

por Dreibholz (1975), Método sistemático de busca com a ajuda de esquemas de classificação-, Roth et al (1975) e Koller (1976) - catálogos de projeto, Zwicky (1966 -1971) - métodos sistemáticos de combinação de soluções o qual o autor denomina de Matriz Morfológica e Föllinger e Weber (1967) e Rodenacker (1970) – métodos algébricos de combinação de princípios de solução, todos citados por Pahl e Beitz (1996).

Com base nestes métodos e ferramentas pode-se estabelecer uma estrutura de trabalho para o produto. Os autores apontam que “no processo de combinação de princípios de solução o principal problema é garantir a compatibilidade física e geométrica dos princípios de trabalho a serem combinados o que, por sua vez, garante um fluxo adequado de energia, material e informação” (p.167). Além disso, apontam ainda a preocupação com fatores técnicos e econômicos para executar tais combinações.

Nota-se, entretanto, que apesar dos autores apontarem a necessidade de se escolher as estruturas que apresentam princípios compatíveis, há uma tendência a deixar o projeto de interfaces para ser desenvolvido nas fases posteriores, servindo esta apenas como um levantamento de necessidades para o projeto de interfaces. Desta forma, os autores apontam a necessidade de desenvolvimento do leiaute e das interfaces na fase de Projeto Preliminar, juntamente com outras definições que acaba por gerar os problemas já citados.

3.4.2. Configuração do produto

Segundo Baxter (2000), “a fase de configuração do produto diferencia-se da fase de projeto conceitual pela introdução de diversos instrumentos de teste e avaliação do produto”. Isto implica dizer que o processo de definição da configuração do produto é externo ao projeto conceitual. Isto fica evidente na Figura 3.12, a qual aponta as entradas e saídas da etapa de configuração do produto.

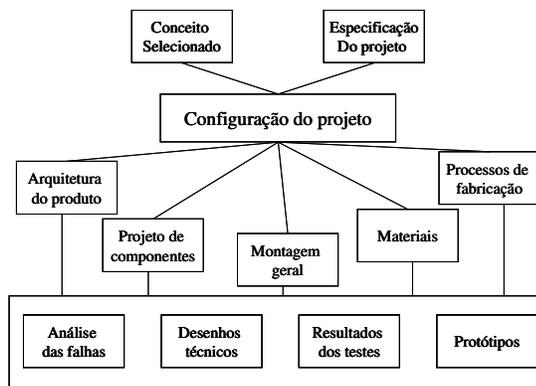


Figura 3.12 – Entradas e saídas do processo de configuração do produto (Baxter, 2000, p. 232).

Nota-se também que a arquitetura do produto é uma das saídas desta etapa, ou seja, é um dos resultados esperados desta etapa. O autor define a arquitetura do produto como sendo “o estudo das interações entre os blocos de elementos físicos e o arranjo físico dos mesmos, constituindo a configuração do produto, chama-se arquitetura do produto”.

O processo de configuração do produto proposto pelo autor busca realizar as tarefas descritas na Figura 3.13.

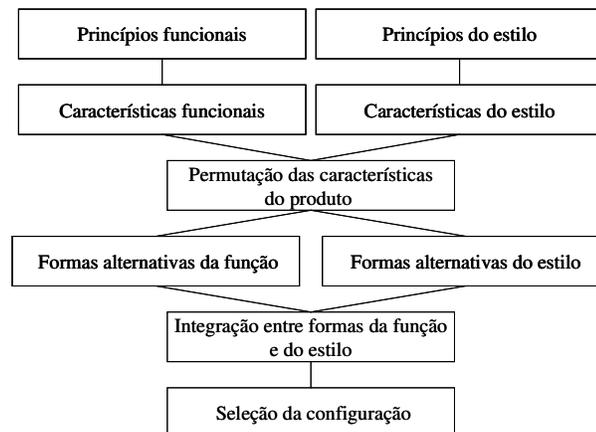


Figura 3.13 – Processo de configuração do produto segundo Baxter (2000, p. 235).

Nesta, nota-se a proposta do autor de trabalhar com função e estilo de maneira separada integrando-as numa fase subsequente. Outra questão que se torna evidente pela figura é que o autor enfatiza a utilização da arquitetura integral uma vez que a classifica como um tipo de configuração “simples e elegante” (p. 242).

3.4.3. Modelo de Ullman (1992 / 2003)

Ullman (1992) aponta a modelagem funcional como uma técnica para auxiliar o projetista a melhor compreender o problema de projeto. Assim, o mesmo coloca que “um sistema é um conglomerado de objetos que realizam uma função específica” (p. 17). Por isso, o mesmo afirma a necessidade de se fazer uma decomposição funcional para que o projetista consiga reduzir um problema complexo em vários subproblemas de modo a resolvê-los por partes para então agrupar as soluções desenvolvidas formando o produto final.

Esta é uma visão de “cima para baixo” (*Top-down*), ou seja, o projetista inicia pelo produto como um todo até chegar ao nível de componentes ou funções elementares. É muito utilizado nos projetos originais pelo desconhecimento de que sistemas serão os utilizados para

formar o produto final. Contudo, pode ser utilizado para o reprojeto de produtos uma vez que, segundo o autor, “forma e função são decompostas ao longo das mesmas fronteiras” (p. 20).

Para a técnica de decomposição funcional o autor aponta que a “função é o comportamento de um homem ou de uma máquina que é necessário para atingir os requisitos do projeto” (p. 142) e esta pode ser descrita em termos de fluxo de energia, material e informação.

As funções associadas com o fluxo de energia podem ser classificadas tanto pelo tipo de energia (térmica, elétrica, mecânica) como pela sua ação no sistema (armazenada, transformada, fornecida).

Já as funções associadas ao fluxo de material são divididas em três grupos principais:

- Fluxo passante ou processos de conservação de material;
- Fluxo divergente ou divisor de material entre duas ou mais partes;
- Fluxo convergente ou montagem ou união de materiais.

Por fim, as funções associadas ao fluxo de informações podem estar em forma de sinais mecânicos, elétricos ou software.

A proposta para a decomposição funcional feita pelo autor é composta de dois passos:

1º - determinar a Função Global

2º - decompor a função em sub-funções.

Dentro destes passos o autor aponta algumas regras:

- documentar “o quê” e não “como”;
- usar notação padronizada quando possível;
- considerar os fluxos lógicos;
- acoplar entradas e saídas na decomposição funcional;
- desdobrar as funções até o nível mais baixo possível.

Dentro desta perspectiva observa-se que o projeto encontra-se num nível de abstração onde é considerado apenas o processo de transformação de energia, material e sinal e não como se dará esta transformação. Isto porque busca-se a separar a função da forma mantendo-se abertas as possibilidades de geração de princípios de solução. Também percebe-se a indicação de se padronizar a linguagem funcional de forma a se utilizar termos comuns para transformações similares mesmo em produtos diferentes.

Apesar do autor apontar como uma diretriz o mesmo não indica como fazê-lo na prática. Além disso, deve-se considerar que em diferentes áreas do conhecimento surgem termos distintos para o mesmo processo de transformação e isto torna custoso para o projetista pensar em pesquisar em outras áreas para padronizar termos funcionais.

Quanto à consideração de fluxos lógicos é uma diretriz importante e necessária mas, ao mesmo tempo, devido à complexidade de alguns sistemas ou mesmo a sua originalidade,

torna-se dificultosa para o projetista pois existem diversas interações internas e externas que não ficam claras durante o projeto. Assim surge a necessidade de se estabelecer uma forma de identificar as interações que não ficam evidentes durante esta atividade.

Assim como a diretriz anterior, o acoplamento das entradas e saídas durante a decomposição funcional possui a sua importância. Entretanto, esta também torna-se refém do pré-conhecimento do produto o que aumenta o grau de incertezas associado ao projeto.

Por fim, o desdobramento das funções pode se transformar numa tarefa lenta e onerosa se começar a se estender por muitos níveis. Dessa forma, é aconselhável a limitação do número de níveis aos quais serão desdobradas as funções possibilitando viabilizar a execução desta tarefa e, ao mesmo tempo, fornecendo uma redução do problema de projeto passível de geração de princípios de solução.

Deve-se destacar que esta é uma técnica passível de implementação computacional no caso da existência de um glossário de funções, por exemplo. No entanto, o autor não considera (na edição pesquisada) esta possibilidade.

Quanto à arquitetura do produto o autor aponta que a transformação do campo abstrato para o concreto segue a forma da Figura 3.14 que é composta por 9 passos os quais são realizados na fase de Projeto Preliminar:

- 1 – encontrar produtos disponíveis que atendam às necessidades dos clientes;
- 2 – selecionar materiais e técnicas de produção;
- 3 – verificar as restrições espaciais;
- 4 – identificar componentes separados;
- 5 – criar e refinar as interfaces para as funções;
- 6 – conectar as interfaces funcionais com os materiais;
- 7 – avaliar o projeto de produto;
- 8 – refinar ou padronizar o material e as escolhas de produção;
- 9 – refinar ou padronizar a forma.

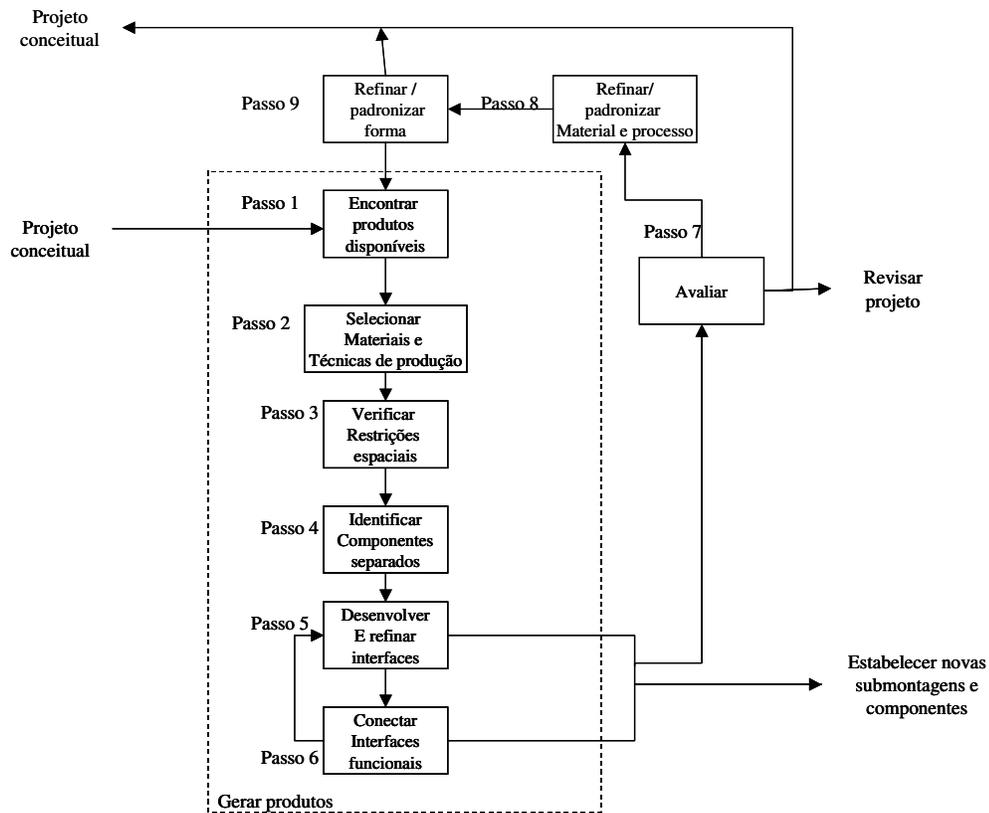


Figura 3.14 – Processo de passagem do abstrato para o concreto segundo Ullman (1992, p. 197).

Dentro destes passos destacam-se aqueles que estão envolvidos com este trabalho. Assim, o passo número 5 – criar e refinar interfaces para as funções utiliza-se das funções desenvolvidas durante o Projeto Conceitual as quais, segundo o autor, devem apresentar equilíbrio de forças e fluxos de energia, material e informação consistentes. Além disso, uma indicação feita pelo mesmo é a realização desta análise a partir das interfaces externas e a seguir partir para as interfaces que envolvem as funções mais críticas do projeto. Outro ponto destacado por Ullman (1992) é a importância de manter-se a independência funcional do projeto de uma montagem ou componente.

Também deve-se ter cuidado ao separar-se componentes podendo-se inclusive, criar componentes durante a decomposição de forças.

Quanto ao passo número 6 – conectar as interfaces funcionais com materiais, o autor aponta que menos de 20% das dimensões na maioria dos componentes são críticas para a performance daquele componente. Isto ocorre porque a maioria dos materiais está lá para conectar as interfaces funcionais e não necessitam de dimensionamento crítico. Também deve ser levado em conta que o material existente nas interfaces serve geralmente três propósitos: transmitir forças ou outras formas de energia, agir como encapsulador ou de guia para outros

componentes e prover superfícies de aparência. Outra regra que deve ser considerada é que a conexão de interfaces deve ser feita com formas estruturais robustas de modo a transmitir o mínimo de esforço entre estas. Levar em consideração que a rigidez frequentemente determina o tamanho adequado de um componente e utilizar, sempre que possível, formas padronizadas.

Ainda quanto ao desenvolvimento das interfaces do produto o autor aponta a necessidade de se estabelecer as interfaces na aplicação do DFA. Isto ocorre porque ao lidar com a montagem do produto se lida especialmente com as interfaces. Assim, coloca que para fazer uma seqüência de montagem eficiente o projetista deve dentre outras coisas:

- listar todos os componentes e processos envolvidos na operação de montagem;
- listar as interfaces entre componentes e gerar um diagrama de interfaces (Figura 3.15)
 - interface é uma conexão ou contato entre componentes físicos ou processos;
- determinar para cada acoplamento as interfaces que devem ser realizadas prioritariamente;
- determinar, para cada acoplamento, as interfaces que devem ser deixadas para serem realizadas depois da sua realização;
- gerar seqüências de interfaces sujeitas a relações restritivas;
- eliminar do diagrama de seqüências aquelas “desajeitadas” e as que resultam em submontagens separadas.

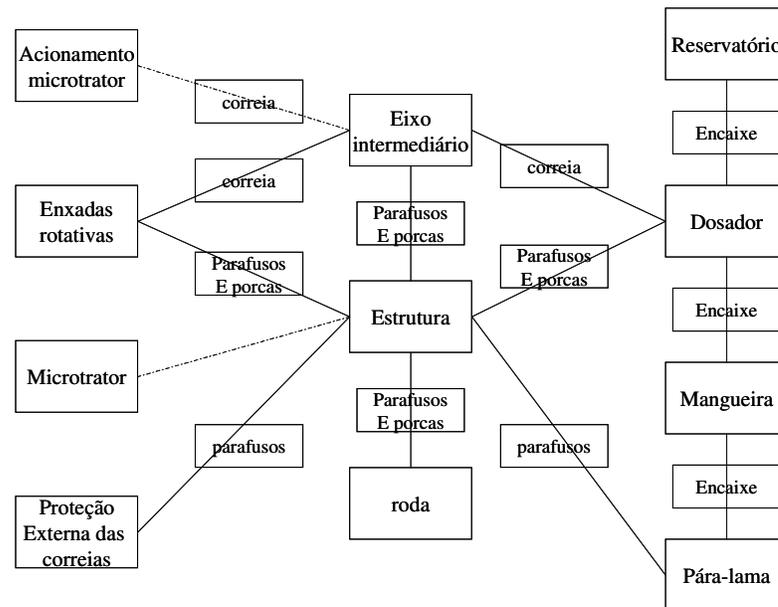


Figura 3.15 – Diagrama de Interfaces de um implemento para abertura e adubação de sulcos (Sousa, 1998, p. 133).

3.4.4. Avaliação dos modelos de definição do leiaute do produto

Os modelos de definição de leiaute do produto são modelos que encontram-se difundidos na área de conhecimento de desenvolvimento de produtos. Entretanto, apresentam limitações em relação a apenas definirem o leiaute do produto na fase preliminar do projeto. No que tange ao projeto das interfaces este é deixado em segundo plano pelos diferentes modelos.

Considerando os aspectos apontados para avaliação dos modelos, pode-se dizer que os mesmos, em relação ao projeto de interfaces, o fazem tardiamente, com pouco detalhamento e completeza das informações. Cabe ressaltar que, por serem modelos mais antigos, não consideram as novas tecnologias e filosofias de trabalho.

3.5. Métodos computacionais de estabelecimento da estrutura do produto

Os métodos computacionais de elaboração da estrutura do produto buscam empregar novas tecnologias e ferramentas para o desenvolvimento do projeto. São métodos que procuram explorar formas alternativas para definir o leiaute dos produtos. Os mesmos vêm sendo desenvolvidos progressivamente conforme se desenvolvem novas técnicas de representação e modelagem de produtos. Assim, estes podem se tornar o grande foco de novas pesquisas no campo das metodologias de projeto.

Brunetti e Golob (2000) apresentam uma forma de estruturação do produto a partir da modelagem computacional do mesmo. Esta é baseada em features da semântica do produto, em particular das funções do mesmo, na fase de projeto conceitual.

A vantagem do modelo proposto é que há um detalhamento da relação entre função e forma de modo a obter-se um meio de modelar explicitamente a estrutura de funções representando não apenas informações estáticas da função, mas também, carregando o conhecimento sobre sua intenção e sua forma concreta em termos de Princípios de Solução. Apesar disso, o que se percebe é que os autores não apresentam uma forma de modelar as interfaces do produto, ou seja, falam do modelamento das inter-relações entre partes, features e montagens mas não falam de como cria-las dentro do sistema proposto.

Outro fator relevante é a preocupação dos autores em não trabalhar com as diversas estruturas de informação de maneira desvinculada, isto é, desenvolver separadamente e sem explicitar as relações existentes entre Princípios de Solução e fluxos entre funções, por exemplo. Isto torna o modelo menos susceptível a incompatibilidades funcionais e geométricas.

Wilhelms (2003), por sua vez, propõe um modelo de Modelagem Funcional que permita a reutilização de elementos de Princípios de Solução e, ao mesmo tempo, a adição de novos elementos sem inibir a diversidade durante o projeto com vistas à utilização de uma rede semântica de modelagem de funções no projeto conceitual.

Seu objetivo é contribuir com um modelo de informação semântica com maior formalização de Princípios de Solução reutilizáveis permitindo a instanciação dos elementos bem como fornecer um suporte limitado para a síntese e o detalhamento.

Apesar de não ser citado pelo autor, este tipo de modelagem permite uma boa visualização de possíveis interfaces entre os componentes do produto por rastrear as conexões entre Princípios de Solução e funções. O modelo resultante mantém e documenta as relações semânticas e valores dos conceitos e o espaço completo de soluções, não apenas um Princípio de Solução ou esboço final. O processo é uma seqüência interativa de passos de modelagem, escolha e cálculo com informações quantitativas principalmente funcionais, mas também geométricas. Permite a troca entre diferentes níveis de abstração.

Gui e Mäntylä (1994) propõem uma ferramenta computacional que possibilita a modelagem funcional da montagem do produto. Isto implica dizer que os autores buscam, por meio deste modelo, ligar a função do produto à sua forma como um banco de dados de Princípios de Soluções e Estruturas Funcionais definindo, assim, um modelo geral de montagem que permita suportar tanto os altos níveis de abstração do Projeto Conceitual como o modelamento de features.

Devido a sua característica de relacionar a forma à função este modelo acaba por incorporar novos parâmetros na busca por um modelo de projeto de interfaces na fase de projeto conceitual. Isto ocorre porque ao definir elementos de conexão entre forma, função e montagem, o modelo acaba por ampliar o campo de possibilidades para a busca de uma metodologia de projeto de interfaces. Entretanto, devido a não ser explorado pelos autores este tema acaba por não ser solucionado pelo modelo.

Rehman e Yan (2003) desenvolvem uma metodologia que se baseia no que os autores denominam de Elemento de Projeto de Produto (PDE). A proposta tem como objetivo o suporte pró-ativo das funções no Projeto Conceitual de artefatos mecânicos usando os conhecimentos das conseqüências do contexto que ocorrem devido à seleção de um PDE, ou seja, forma e função são bem entendidos. No entanto, as conexões entre elas não.

O que se percebe com este modelo é o seu alinhamento com os outros modelos apresentados no que diz respeito à padronização funcional e de PDE's e utilização de features como elemento de trabalho. Isto implica dizer que há uma tendência das pesquisas em modelagem funcional neste sentido. Outro aspecto importante deste modelo é a questão do contexto funcional. Apesar de o modelo não falar do desenvolvimento das interfaces entre os

componentes ou entre os PDE's, a consideração do contexto funcional deve ser levada em conta no momento da geração daquelas estruturas.

3.5.1. Avaliação dos modelos computacionais

Os modelos computacionais apresentam-se como uma ferramenta de apoio importante na definição da estrutura do produto. A partir da modelagem das informações do produto pode-se criar uma ferramenta poderosa de armazenamento de informações de um projeto que pode ser utilizada em outros produtos. Contudo, o grau de maturação destes sistemas ainda não permite um completo desenvolvimento dos mesmos, os quais carecem de completeza e consistência de informações. Isto se deve à complexidade das informações envolvidas nos projetos de produto as quais requerem modelos sofisticados de modelamento e análise de informações.

Como vantagens destes modelos pode-se apontar que os mesmos buscam cada vez mais aplicar ferramentas antes utilizadas no projeto preliminar e detalhado no projeto conceitual. Além disso, na medida que os sistemas evoluem pode-se constatar que a implementação computacional facilita o gerenciamento e a manipulação das informações encaminhando o campo das metodologias de projeto para uma virtualização do desenvolvimento de produtos.

3.6. Métodos de apoio ao projeto de interfaces

Neste tópico serão apresentados métodos de apoio ao projeto de interfaces os quais apontam características e formas de obtenção de interfaces no projeto conceitual.

3.6.1. Técnica sistemática de análise funcional (FAST)

A Técnica Sistemática de Análise Funcional (FAST) (Csillag, 2000) é uma técnica empregada para analisar a estrutura funcional de um sistema técnico. Ela permite o desdobramento das estruturas de função do nível de função global até o nível de função elementar. Também permite a verificação da existência de relacionamento entre as funções de um determinado sistema sem necessariamente definir como se dão essas interações. Também propicia um melhor entendimento do produto, pois com ela é possível verificar como desdobrar funções de níveis hierárquicos mais altos.

O FAST, chamado por vezes de diagrama funcional lógico, é uma apresentação das funções de serviço e das funções técnicas de uma solução (existente ou em curso de desenvolvimento) de um produto.

Segundo Tavares Júnior (1997), um diagrama FAST (Figura 3.16) é limitado por dois traços verticais que limitam o campo do problema, e à esquerda do traço esquerdo, coloca-se a funções de ordem superior, que representa a necessidade geral.

Caminha-se no diagrama de um lado do diagrama para o outro:

- da esquerda para a direita coloca-se a questão COMO?
- da direita para a esquerda coloca-se a questão PORQUÊ?

Podem surgir funções desenvolvidas em paralelo com outras, sendo estas representadas verticalmente.

As funções identificadas por uma reflexão lógica e intuitiva não colocadas para constituir uma espécie de diagrama que podemos modificar até obter as relações previstas e uma cadeia representando bem o funcionamento do produto. Algumas falhas nesta lógica sugerem que algumas funções foram esquecidas e que elas devem ser procuradas.

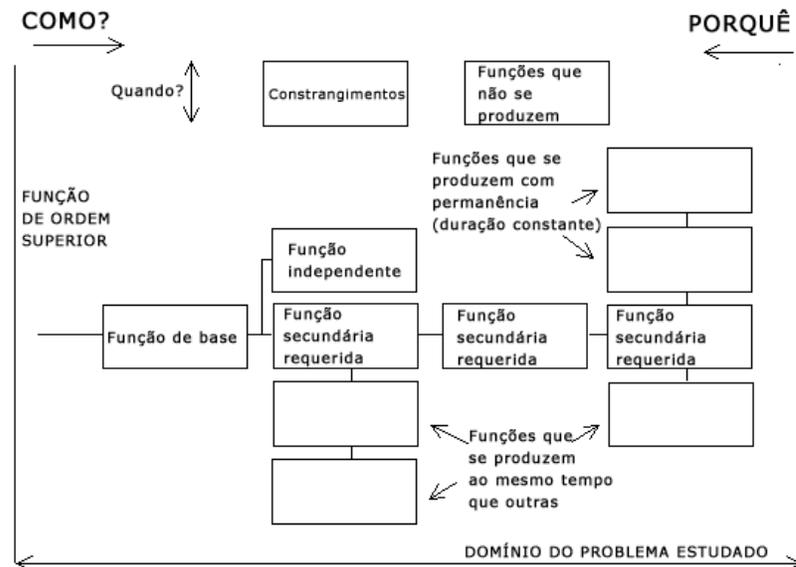


Figura 3.16 - Diagrama esquemático da FAST (Tavares Júnior, 1997).

Barraza (2003) aponta como vantagens da utilização do diagrama FAST que: a análise das funções pode esclarecer um projeto e encontrar apenas as funções que são relacionadas ao custo do projeto, as funções propiciam que a equipe seja mais criativa pelo seu grau de abstração e por fazerem a ligação entre as informações e as fases de definição da forma.

Entretanto, a autora aponta também algumas dificuldades associadas ao FAST: é necessário tempo para aplicação completa e correta do FAST, é necessário treinamento para aperfeiçoar a aplicação da técnica, como é um diagrama de lógica como/porque/quando

requer paciência, e como pode haver muitas interpretações diferentes na aplicação do FAST o processo pode se tornar excessivamente complexo.

3.6.2. Método de avaliação de interfaces

Fixson (2005), por sua vez, criou uma forma de avaliação da arquitetura do produto baseada em alguns parâmetros do produto. Uma das métricas propostas pelo autor é baseada na característica das interfaces do mesmo. Esta característica das interfaces diz respeito ao grau de acoplamento entre os elementos funcionais que compõem o produto. O autor aponta que a medida das interfaces deve ser realizada de maneira desagregada para que permita uma investigação dos seus efeitos individuais. Para isso, o autor dividiu em três categorias de informações a respeito das interfaces: tipo, reversibilidade e padronização.

- O tipo de interface diz respeito ao papel que a mesma desempenha para a função do produto;
- A reversibilidade diz respeito à capacidade de execução de mudanças no produto;
- A padronização relaciona-se à capacidade de substituição e elaboração de famílias de produtos.

Para a definição do tipo é necessário considerar a intensidade da interface. Fixson (2005) aponta que a intensidade da interface reflete sua força e desejabilidade com respeito ao seu papel funcional. Esta pode ser uma medida do acoplamento. O autor segue os quatro princípios de interação definidos por Pimmler e Eppinger (1994): interação espacial, interação energética, interação de informação e a interação de material.

Para a medição da reversibilidade, o autor utiliza-se do esforço necessário para desconectar uma interface. Este esforço depende fundamentalmente de dois fatores: a dificuldade física de desconexão e a posição da interface na arquitetura do produto como um todo. Ele denomina estes dois fatores como esforço e profundidade.

Para a medição da padronização o autor aponta um mapeamento de acordo com o tipo de interface e com os componentes envolvidos na interface. Em um extremo estão as interfaces onde é muito difícil ou existem poucas possibilidades de mudança de componentes. No outro extremo estão as interfaces onde há múltiplas possibilidades de substituição para ambos os componentes.

Estas características proporcionam a possibilidade de um mapeamento da arquitetura do produto o que facilita a verificação da melhor alternativa de arquitetura para o produto.

Este método apresenta algumas características que devem ser consideradas no projeto das interfaces de um produto que são a questão da padronização das interfaces, a

reversibilidade das interfaces (a qual está diretamente ligada a montagem do sistema) e a intensidade das interfaces. Estas características, apesar de não serem avaliadas sob a ótica proposta neste capítulo são importantes para a geração do modelo de projeto das interfaces.

3.7. Considerações finais

A partir do que foi apresentado neste capítulo foi possível verificar que o projeto de interfaces ainda é relegado ao segundo plano no processo de projeto de produtos. Entretanto, nota-se que há uma tendência de crescimento de sua importância no campo de estudos de metodologia de projetos.

Trabalhos como os de Scalice (2003) e Siqueira (2001) buscam a definição de uma metodologia para o projeto de interfaces sendo que o primeiro fala em definição de interfaces entre módulos e o segundo restringe o domínio para o universo dos componentes de plástico injetado. Alguns dos requisitos para a definição das interfaces levantados pelos autores são as questões do conhecimento prévio dos módulos ou funções que os compõem. Este requisito vem ao encontro do modelo de Rozenfeld et al (2006) os quais definem a estrutura de funções antes de definir a forma do produto.

Contudo, tanto Scalice (2003) como Siqueira (2001), conforme as Figuras 3.1 e 3.2 fazem a definição das interfaces apenas na fase de Projeto Preliminar. Rozenfeld et al (2006), por sua vez, definem a arquitetura do produto no Projeto Conceitual mas não explicitam como fazer a definição das interfaces envolvidas.

Além disso, outros trabalhos procuram utilizar de meios que possibilitem uma visualização dos componentes de modo a definir por meio de diagramas ou matrizes as interfaces do produto. Esta abordagem é apresentada por Erixon et al (1996) e Sousa (1998). Contudo, uma limitação apontada por Sousa (1998) é a questão da viabilidade de utilização de métodos gráficos para produtos complexos. Também, há a dificuldade de se avaliar simultaneamente as diversas dimensões envolvidas no projeto, as quais foram apresentadas anteriormente.

Outros trabalhos buscam a definição da arquitetura do produto ou sistema ainda nas fases iniciais para o projeto. Entretanto, a maioria deles aponta a modularização como peça chave para que o projeto seja bem-sucedido. Contudo, esta estratégia de desenvolvimento nem sempre é a mais adequada, pois, conforme o contexto um produto com arquitetura integral pode ser mais vantajoso. Assim, a utilização de métricas como a proposta por Fixson (2005) pode ser de grande valia.

Ao mesmo tempo o agrupamento é definido por Ulrich e Eppinger (2004) considerando-se uma série de fatores, a saber:

- Integração geométrica e precisão;
- Compartilhamento de função;
- Capacidade dos fornecedores;
- Similaridade de tecnologia de projeto ou produção;
- Localização da mudança;
- Acomodação da variedade;
- Possibilidade de padronização;
- Portabilidade de interfaces.

Isto acaba por inserir uma série de parâmetros de avaliação das alternativas de arquitetura para o produto e define uma série de diretrizes para a definição da arquitetura como a necessidade de agregação de restrições que, segundo Pahl e Beitz (1996) podem ser funcionais, geométricas e/ou físicas, bem como de análise das compatibilidades de soluções também previstas por estes autores através da Figura 3.8.

Ainda segundo Ulrich e Eppinger (2004) é necessário elaborar esboços do leiaute do produto de modo que sejam feitas verificações de consistência de informações, de verificação de restrições e definição das interações fundamentais e incidentais para o produto.

Otto e Dahmus (2001) apontam a preocupação com aspectos como custos de reparo durante o ciclo de vida denotando a possibilidade de aplicação da ferramenta de FMEA nas decisões sobre a estrutura de funções do produto.

Para Rozenfeld et al (2006) deve-se inicialmente utilizar a modelagem funcional para a definição da estrutura funcional para que haja uma resolução para o problema de forma ampla e aberta sem restrição de soluções.

Já a linha de pesquisa computacional busca desenvolver esquemas semânticos, gráficos ou diagramáticos para a definição do leiaute do produto. Brunetti e Golob (2000), Wilhelms (2003) e Gui e Mäntylä (1994) são alguns dos exemplos desta linha. Em comum os autores apontam a necessidade de um sistema deste porte ser claro, de fácil desenvolvimento e de fácil manipulação.

Além disso, informações de montagem, manufatura e confiabilidade estão diretamente relacionadas com as interfaces. Conforme apontado no Capítulo 1, o projeto de interfaces é ainda um assunto pouco explorado e a sua potencialidade em relação a inserção de informações de outras fases do ciclo de vida do produto torna-se clara na medida que diferentes autores abordam o tema de formas tão distintas.

Portanto, a partir da revisão bibliográfica desenvolvida pôde-se comprovar a importância do estudo de interfaces e a viabilidade de seu desenvolvimento no projeto conceitual. Estas comprovações têm como consequência que o projeto de interfaces torna-se uma maneira de efetivar o uso da Engenharia Simultânea no desenvolvimento de produtos.

Assim, com base no que foi levantado pela pesquisa bibliográfica pode-se listar os seguintes requisitos para o método a ser desenvolvido:

1. Diminuir incertezas
2. Reduzir tempo de desenvolvimento
3. Ser claro
4. Ser fácil de desenvolver
5. Fácil manipulação
6. Fácil visualização
7. Conter informações de todas as etapas do CV
8. Ter consistência de informações
9. Restringir soluções
10. Possuir gama de possibilidades
11. Atender diferentes domínios
12. Agregar restrições funcionais, geométricas, e físicas
13. Analisar compatibilidade de soluções
14. Verificar restrições
15. Prover informações de custo
16. Fornecer informações sobre diversos domínios
17. Ser baseado na Estrutura Funcional
18. Considerar diferentes arquiteturas
19. Utilizar métricas para a avaliação da modularização do produto
20. Verificar as interações fundamentais e incidentais
21. Possibilitar a avaliação de concepções com diferentes graus de detalhamento.

Com base nesta lista e nos aspectos avaliados em cada modelo no decorrer deste capítulo, pode-se apresentar um quadro comparativo entre os modelos apresentados (Quadro 3.1).

Quadro 3.1: Quadro comparativo entre os diferentes modelos de projeto de interfaces

| Modelos | Especificidade | Estágio de aplicação | Consistência de informações | Completeza de informações | Grau de detalhamento |
|-----------------|---|----------------------|--|---|---|
| Siqueira (2001) | Limitado a componentes de plástico injetado | Projeto preliminar | Levanta informações consistentes sobre o domínio de aplicação | Completo em informações sobre o domínio de aplicação | Bastante detalhado no domínio de aplicação |
| Scalice (2003) | Limitado a produtos modulares | Projeto preliminar | Levanta informações consistentes sobre as interfaces e mapeia as interações entre os módulos | Completo para a definição dos módulos e suas interfaces | Bastante detalhado para o projeto de interfaces |
| Pereira (2004) | Limitado a produtos modulares e sistemas | Projeto preliminar | Levanta informações consistentes sobre | Completo, define os módulos, suas | Bastante detalhado |

| | | | | | |
|-------------------------------|--|---------------------------------|--|--|--|
| | de precisão | | as interfaces e mapeia as interações entre os módulos | interfaces e as interações fundamentais e incidentais entre os módulos | |
| Blackenfelt e Sellgren (2001) | Limitado a produtos modulares | Projeto preliminar | Utiliza o modelo da caixa-preta para o projeto das interfaces | Preocupa-se apenas com a definição estrutural das interfaces | Bastante detalhado no dimensionamento das interfaces mas não apresenta outros aspectos das interfaces |
| Ulrich e Eppinger (2004) | Limitado à definição da arquitetura do produto | Projeto preliminar | Apresenta uma seqüência lógica para a definição da arquitetura do produto | Não apresenta como desenvolver as interfaces entre os módulos | Não detalha a definição das interfaces |
| Rozenfeld et al (2006) | Limitado à definição da arquitetura do produto | Projeto conceitual | Apresenta uma seqüência lógica para a definição da arquitetura do produto | Não apresenta como desenvolver as interfaces entre os módulos | Não detalha a definição das interfaces |
| Stone, Otto e Wood (2001) | Define a arquitetura do produto e os agrupamentos funcionais | Projeto conceitual | Apresenta as heurísticas de projeto e como agrupar funções para a definição dos módulos, especifica as interações entre funções e então define as interfaces | Não mostra interfaces intra-modulares, nem como desenvolver as interfaces entre os módulos | Apresenta os modelos detalhadamente |
| Greer, Jensen e Wood (2004) | Define a arquitetura do produto e os agrupamentos funcionais, estabelece os fluxos de esforço | Projeto conceitual | Baseia-se nas heurísticas de projeto e busca definir uma outra dimensão para agrupamento funcional que é o fluxo de esforço | Não mostra interfaces intra-modulares, nem como desenvolver as interfaces entre os módulos | Apresenta os modelos detalhadamente |
| Pahl e Beitz (1996) | Define o leiaute do produto | Projeto preliminar | As informações possuem um encadeamento lógico durante o projeto de produto | Falta um método para a definição das interfaces | Não detalha o projeto das interfaces |
| Baxter (2000) | Define a configuração do produto | Projeto preliminar | As informações possuem um encadeamento lógico durante o projeto de produto | Falta um método para a definição das interfaces | Não detalha o projeto das interfaces |
| Ullman (2003) | Define a estrutura do produto | Projeto preliminar | As informações possuem um encadeamento lógico durante o projeto de produto | Falta um método para a definição das interfaces | Não detalha o projeto das interfaces |
| Brunetti e Golob (2000) | Define um modelo topológico para o desenvolvimento do produto | Inicia-se no projeto conceitual | Considera as interações entre os diversos elementos do sistema | Bastante completo do ponto-de-vista da evolução da função para a forma | Faz um detalhamento evolutivo da montagem até as features do produto considerando as intenções do projetista |
| Wilhelms (2003) | Propõe uma ferramenta de catalogação e reaproveitamento dos princípios de solução por meio de uma rede semântica | Projeto conceitual | Considera os diversos aspectos de funcionamento do produto | Completo do ponto-de-vista do estabelecimento dos princípios de solução | Bastante detalhado |
| Gui e Mäntylä (1994) | Propõem uma ferramenta de modelagem funcional | Inicia-se no projeto conceitual | Possui uma certa complexidade de encadeamento de | Bastante completo, inclui informações de producibilidade e | Bastante detalhado |

| | | | | | |
|---------------------|--|---------------------------------|---|---|--|
| | da montagem do produto | | informações | montabilidade além das relações funcionais | |
| Rehman e Yan (2003) | Define o produto a partir do Elemento de projeto de produtos | Inicia-se no projeto conceitual | Busca uma padronização funcional do produto | Não apresenta como desenvolver as interfaces do produto | Detalha a parte de estabelecimento funcional |

Com base no quadro apresentado pode-se verificar a possibilidade de se trabalhar com diferentes aspectos do desenvolvimento do produto para a geração das interfaces entre módulos ou componentes. Um aspecto preponderante é a utilização de informações de manufatura, montagem e confiabilidade para a definição de princípios de solução e concepções para o produto. Cabe ressaltar que poderiam ser utilizados outros aspectos abordados pelos DFX, tais como considerações em relação ao meio-ambiente, desmontagem, descarte, por exemplo. Entretanto, devido ao grande volume de avaliações e informações necessárias, procurou-se enfatizar apenas alguns parâmetros para que se obtivesse um resultado prático da metodologia proposta de modo a avaliar como poderia ser feita a análise global dos resultados. Considerando-se que são parâmetros distintos entre si pode-se obter disparidades na avaliação de uma mesma concepção pelos diferentes critérios de análise. Estas informações tendem a auxiliar uma equipe de projeto na definição das melhores alternativas para a solução de um problema de projeto.

A partir disso, procurar-se-á no próximo capítulo levantar modelos de projeto para manufatura e montagem, assim como verificar modelos de projeto considerando fatores de confiabilidade no projeto conceitual de produtos.

4. Capítulo 4 – Métodos e ferramentas de apoio ao projeto de interfaces

No capítulo anterior o projeto de interfaces foi relacionado a outros aspectos do ciclo de vida do produto. Dentre estes aspectos, destacam-se a manufatura, montagem e desmontagem, confiabilidade, entre outros. Portanto, para a definição das interfaces do produto deve-se considerar informações relacionadas a tais aspectos. Isto é baseado na afirmação de Boothroyd e Alting (1992) citados por Sousa (1998) os quais apontam que fatores como qualidade e confiabilidade também se aprimorarão quando as devidas considerações forem dadas à manufatura e à montagem do produto.

Além disso, Jo et al (1991) apontam que

(...) as decisões do projeto feitas no início do ciclo de desenvolvimento do produto podem ter um efeito significativo na sua manufaturabilidade, qualidade, no custo, no seu lançamento, e, assim, no sucesso final do produto no mercado. Isto implica dizer que toda a informação do sistema de manufatura deve ser usada para aumentar a informação do projeto de produto para chegar no projeto para manufatura finalizado (p.35).

Assim, o presente capítulo busca fazer um levantamento do estado da arte de alguns métodos e ferramentas utilizados no campo das metodologias de projeto de modo a considerar estas informações no desenvolvimento das interfaces na fase conceitual do projeto de produtos.

Os métodos estudados serão os métodos de projeto para manufatura (DFM) e projeto para montagem (DFA) e a ferramenta será a análise dos modos de falha e seus efeitos (FMEA). Estes instrumentos serão utilizados como instrumentos de apoio ao projeto de produto sendo adaptados, neste trabalho, a utilização no projeto de interfaces no projeto conceitual.

Para tanto, apresentar-se-á algumas formas de aplicação destes instrumentos metodológicos e uma proposta de utilização para o objetivo proposto.

4.1. Projeto para manufatura e montagem (DFMA)

A manufatura e a montagem possuem papel fundamental no projeto das interfaces do produto. Isto porque se considerarmos que quando se está verificando a montabilidade de um componente, se está analisando se suas interfaces estão cumprindo a função para a qual foram projetadas.

A manufatura, apesar de ser de maneira mais indireta, também possui sua relação com as interfaces. Pode-se pensar que ao projetar-se uma interface deve-se pensar na forma como

esta interface interagirá com outra interface. Esta forma de interação implicará na determinação de uma forma de manufatura adequada para que a interação ocorra de forma correta.

Assim, os métodos de DFA e DFM visam otimizar o projeto ainda na fase de definição de processos e formas finais, buscando-se menores tempos e custos de manufatura e montagem. Estes métodos foram desenvolvidos a princípio por Boothroyd et al (1994) e, inicialmente, eram utilizados em conjunto (DFMA). No entanto, devido à importância de cada um dos processos e a possibilidade de serem aplicados separadamente conforme o caso, eles foram desmembrados em dois métodos: DFM e DFA. Para se ter uma idéia da relevância de tais métodos Boothroyd et al (1994) *apud* Pereira e Manke (2001) estimam que 50% dos custos de manufatura estão relacionados ao processo de montagem e ambos representam uma grande parcela no custo final do produto. Poli et al (1986), por sua vez, citam que a montagem era responsável por 25 a 50 % do custo e por 40 a 60 % do tempo total de produção da maioria dos manufaturados da década de 1980, dados estes corroborados por Whitney (2004) que aponta que ainda hoje isto é verdade. Além desses autores diversas bibliografias apontam a importância de tais métodos (Whitney, 1988; Otto e Wood, 2001; Pahl e Beitz, 1996; Ulrich e Eppinger, 2004; Ullman, 2003; entre outros).

Além disso, os dois métodos baseiam-se na experiência passada e buscam externalizar e sistematizar o conhecimento (Ferrari, Martins e Toledo, 2001). Com isso observa-se a sua importância como mecanismos não só de auxílio técnico mas, também, de apoio à gestão de conhecimento da empresa.

Com o desenvolvimento das metodologias de projeto e aprimoramento das técnicas de DFA e DFM, esses custos e tempos de manufatura e montagem sofreram reduções significativas. Contudo, isto trouxe um aumento do grau de competitividade que levou as empresas a um novo estágio do desenvolvimento de produtos. Este estágio tende a integração cada vez maior entre os setores de desenvolvimento de produtos, processos e fornecedores. Whitney (2004) aponta ainda que os métodos de “DFM e DFA tornaram-se veículos de melhoria da integração do projeto de produto como um todo” (p.382).

Além destes aspectos, os métodos de DFA e DFM possuem outras características relevantes para o processo de desenvolvimento do produto como um todo. Sousa (1998) aponta que estas técnicas “consistem em criticar, a todo momento, os métodos e as soluções adotadas tentando simplificar ou eliminar a montagem enquanto mantém o projeto flexível ao analisar e questionar a estrutura do produto”. Esta estrutura do produto, por sua vez, “influencia diretamente a estrutura e o projeto das linhas de montagem” (p.13).

No entanto, para sua aplicação, é necessário que haja um ambiente de desenvolvimento integrado de produtos, com engenheiros de processos e de produtos trabalhando em conjunto nas fases iniciais do projeto. Esta é outra característica dos métodos

de DFMA, que impõem a necessidade de implementação de um ambiente de engenharia simultânea através de representantes de varias áreas de conhecimento na equipe de projetos.

Segundo Keys (1990) *apud* Valeri e Trabasso (2003) os métodos de DFx podem ser definidos como sendo

(...) um conjunto de técnicas geralmente aplicadas nas fases iniciais do desenvolvimento integrado de produtos, para garantir que os diversos aspectos do ciclo de vida estejam considerados no produto, tais como: necessidades dos clientes, desenvolvimento do produto, processos de manufatura, qualificação do produto, confiabilidade, suportabilidade e meio-ambiente (p.3).

Dentro desta definição mais ampla o autor aponta que o método de DFM é uma

(...) prática aplicada no projeto, visando a definição de alternativas que facilitem a otimização do sistema de manufatura como um todo, identificando conceitos de produtos fáceis de fabricar, auxilia o projeto de componentes fáceis de fabricar e montar, facilita a integração entre o desenvolvimento de processos de manufatura e o projeto do produto (p.4).

A partir do acima exposto, aponta-se alguns trabalhos que indicam diretrizes para o DFA e DFM. Estes encontram-se mostrados no tópico a seguir.

4.1.1. Diretrizes para o DFA e o DFM

Diversos autores apontam formas de aplicar o DFM e o DFA. Muitos optam por definir diretrizes para o projeto de componentes de forma a obter-se um resultado melhor do ponto-de-vista da manufatura e da montagem.

Stoll (1988) e Keys (1990) *apud* Valeri e Trabasso (2003), por exemplo, colocam uma lista de diretrizes para o DFM:

- minimizar o número de peças;
- desenvolver projetos modulares;
- minimizar as variações de peças;
- projetar peças multifuncionais;
- projetar peças para multiuso;
- projetar para facilitar a fabricação;
- evitar o uso de fixadores separados;
- diminuir as direções de montagem;
- maximizar a compliância das montagens;
- minimizar o manuseio;
- avaliar os métodos de montagem;

- eliminar ou simplificar os ajustes.

Quanto ao DFA Lee e Hahn (1996) apud Valeri e Trabasso (2003) definem como “um grupo de técnicas de projeto utilizados no desenvolvimento de produtos para melhorar a montagem”. Os autores dividem o DFA em três abordagens:

- regras gerais utilizadas pelos projetistas como diretrizes;
- índices que medem o grau de montabilidade de peças e do produto como um todo;
- revisões do projeto para combinar os índices de montabilidade com tempos de montagem e seus custos com regras de montabilidade de modo a auxiliar na revisão do projeto.

Além destas diretrizes Chen et al (1998) ainda citam a abordagem de aplicação do DFA e DFM computadorizado e mais cinco alternativas de aplicação sugeridas por O’Grady e Oh (1991), a saber:

- Teorias específicas de operações de montagem: fazer exame microscópico de uma regra particular de projeto e sua aplicação na montabilidade de peças adjacentes.
- Abordagem axiomática: segue dois axiomas fundamentais: (a) Manter a independência de requisitos funcionais; e (b) minimizando a quantidade de informação durante o processo de projeto.
- Regras e diretrizes não estruturadas: Para fornecer regras gerais e diretrizes para DFA.
- Aplicação procedural de regras: Fornecem procedimentos sistemáticos como listas detalhadas de verificação escritas ou em programas computacionais.
- Abordagens baseadas em inteligência artificial: Para construir um sistema computadorizado para DFA baseado em sistemas baseados em regras ou usar redes de restrição da inteligência artificial.

Edwards (2002), por sua vez, define o DFM como um procedimento sistemático para a maximizar o uso de processos de manufatura no projeto de componentes e o DFA como um procedimento sistemático para otimizar o uso de componentes no projeto de um produto.

O autor apresenta um levantamento de diretrizes para os métodos de projeto para manufatura e montagem obtidas na literatura sobre o assunto. Esta lista encontra-se no Quadro 4.1.

Quadro 4.1: Diretrizes para o projeto para manufatura e montagem (Edwards, 2002).

| Estágio de Projeto para montagem (DFA) | Estágio de Projeto para manufatura (DFM) |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ● Incorporar componentes padronizados | <ul style="list-style-type: none"> ● O projetista deve avaliar as capacidades do seu local de trabalho, fornecedores de peças e de material |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Material e métodos de fabricação devem ser os mais baratos possível | <ul style="list-style-type: none"> ● Projetar peças ocas para minimizar o custo de remoção de material. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Processos manuais devem ser reduzidos a um mínimo. | <ul style="list-style-type: none"> ● Prover apenas o material suficiente em todos os pontos onde a usinagem é requerida para permitir a usinagem dentro dos limites especificados. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Os componentes devem ser projetados de forma a serem intercambiáveis | <ul style="list-style-type: none"> ● Evitar o uso de “undercuts” onde for possível. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● O projeto deve ser planejado para produção. | <ul style="list-style-type: none"> ● Selecionar os materiais mais adequados para cada operação de processo. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Projetar componentes simétricos. | <ul style="list-style-type: none"> ● Evitar processos lentos e projetar para processos contínuos de alta velocidade. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Projetar um componente de base para reduzir a necessidade de gabaritos e fixadores. | <ul style="list-style-type: none"> ● Eliminar operações de alto custo que não sejam realmente necessárias para realizar uma função e simplificar detalhes de projeto. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Projetar um produto que seja montado por empilhamento de forma a ter montagens mais simples. | <ul style="list-style-type: none"> ● Eliminar a necessidade de usinagens de alto custo por tolerâncias excessivamente apertadas. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Produtos projetados para montagem automática são fáceis de montar manualmente. | <ul style="list-style-type: none"> ● Selecionar materiais pela adequabilidade bem como pelo baixo custo e disponibilidade. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Minimizar as tolerâncias e acabamentos superficiais dos componentes para reduzir custos de produção. | <ul style="list-style-type: none"> ● Garantir o máximo de simplicidade no projeto como um todo. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Reduzir o número de componentes e operações de montagem. | <ul style="list-style-type: none"> ● O projetista deve fazer qualquer esforço para especificar a classe de material mais baixa possível que for necessária ao projeto. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Simplificar a manipulação dos componentes. | <ul style="list-style-type: none"> ● A melhor forma de atingir a confiabilidade é pela simplicidade. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Não especificar materiais que estarão disponíveis apenas por ordem de compra especial a menos que não haja alternativa. | <ul style="list-style-type: none"> ● Projetar para enxugar processos de manufatura e reduzir custos. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Considerar o uso de quantidades econômicas de produção. | <ul style="list-style-type: none"> ● Escolher materiais para uma combinação de propriedades. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Considerar o uso de itens do estoque quando precisar de uma pequena quantidade de componentes. | <ul style="list-style-type: none"> ● Projetar carcaças que combinarão quantos componentes forem permitidos e ainda evitarão complexidades desnecessárias e custos excessivos. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Projetar para o processo mais adequado com montagem econômica como meta. | <ul style="list-style-type: none"> ● Utilizar seções de espessura uniforme. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Reprojetar para simplificar a montagem. | <ul style="list-style-type: none"> ● Arredondamentos devem ser usados em arestas sempre que possível evitando cantos vivos mas não tão grandes que produzam grandes mudanças de seção. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Projetar componentes para servir mais de uma função. | <ul style="list-style-type: none"> ● Evitar projeto de estruturas com mudanças bruscas de seção. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Eliminar ajustes de alta precisão sempre que possível. | <ul style="list-style-type: none"> ● Procurar criar carcaças tão simples quanto possível. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Reduzir o número de componentes diferentes | <ul style="list-style-type: none"> ● Empregar nervuras para ajudar a evitar deformações ou sobrecargas. Também podem ser utilizadas para redução de peso. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● A introdução de automação pode resultar em um produto mais barato mas cujo reparo não é econômico. | <ul style="list-style-type: none"> ● Raios internos em curvaturas não devem ser menores que a espessura do metal. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Eliminar arestas dos componentes de modo que eles possam ser guiados para sua posição correta durante a montagem. | <ul style="list-style-type: none"> ● Detalhamento do projeto deve ser o menor possível. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Introduzir guias e engates que facilitem diretamente a montagem. | <ul style="list-style-type: none"> ● O tamanho do estoque deve ser tão pequeno quanto as condições permitirem. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Evitar features que induzam o embaraçamento ou a conexão entre componentes. | <ul style="list-style-type: none"> ● Se um componente fica exposto à visualização, tornar o mesmo tão visualmente agradável quanto a economia do processo permitir. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Se a simetria não pode ser atingida, exagerar na assimetria para facilitar a orientação. | <ul style="list-style-type: none"> ● Evitar furos quadrados quando um furo feito com uma broca convencional atende os requisitos. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Evitar operações de montagem caras e que consumam tempo. | <ul style="list-style-type: none"> ● Não estipular a remoção de rebarbas a menos que esta seja necessária. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Para conseguir um nível elevado da confiabilidade | <ul style="list-style-type: none"> ● Projetar o componente de modo que o número e a duração das |

| | |
|---|--|
| considerar o uso de componentes e materiais conhecidos e testados, ao invés dos novos e incertos. | operações de usinagem requeridas sejam minimizados. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Padronizar e reduzir o número dos materiais e dos componentes. | <ul style="list-style-type: none"> ● Selecionar os materiais que, consistentes com o custo mínimo e com outras exigências, sejam usados o mais prontamente. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Evitar exigências desnecessárias para a exatidão da manufatura. | <ul style="list-style-type: none"> ● Projetar os componentes de modo que o menor diâmetro do estoque que está prontamente disponível possa ser usado e de modo que o comprimento total seja minimizado. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Os tamanhos e os componentes padrão devem ser usados sempre que possível. | <ul style="list-style-type: none"> ● Projetar o componente de modo que possa ser feito à máquina com um número mínimo de ferramentas e com ferramentas padronizadas a menos que uma especial efetue economicamente. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Introduzir sistemas de referência sempre que um grau elevado de exatidão é necessário no posicionamento de componentes permutáveis. | <ul style="list-style-type: none"> ● Desenvolver o projeto para conter tantos componentes idênticos quanto possíveis. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Uma chave de boca caberá em todos os parafusos e porcas de fixação? | <ul style="list-style-type: none"> ● Padronizar sempre que houver possibilidade de eliminar fixadores. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Seguir disposições simétricas. | <ul style="list-style-type: none"> ● O projetista poderá quase sempre reduzir o número dos componentes combinando duas ou mais funções em um único componente. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Os projetos devem ser feitos para facilitar a embalagem. | <ul style="list-style-type: none"> ● Assegurar que haja mudanças graduais de seção. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Usar componentes, processos e procedimentos padrão sempre que possível. | <ul style="list-style-type: none"> ● Permitir o efeito de dilatações térmicas. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Usar os componentes comprados fora sempre que possível. | <ul style="list-style-type: none"> ● Visar a espessura e seção uniformes de parede e em mudanças graduais de seção. |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Certificar-se que a desmontagem é igualmente praticável como a montagem. | <ul style="list-style-type: none"> ● Usar padrões e códigos sempre que possível. |
| | <ul style="list-style-type: none"> ● Por razões econômicas, a tentativa deve sempre ser feita para cumprir diversas funções com um único portador de função. |
| | <ul style="list-style-type: none"> ● Pôr preços sobre cada tolerância e acabamento. |
| | <ul style="list-style-type: none"> ● Os processos de manufatura favorecem objetos com planos ortogonais entre si e aqueles que podem ser rotacionados em um eixo. |
| | <ul style="list-style-type: none"> ● Selecionar os materiais que levarão a um baixo custo de produção bem como atenderão às exigências do projeto. |

Com isso, pode-se definir que as diretrizes básicas para o DFA são a minimização do número de peças e facilitação da montagem para reduzir o custo do produto (Valeri e Trabasso, 2003). Kuo *et al* (2001) *apud* Valeri e Trabasso (2003) citam que, para atingir tais diretrizes deve-se:

- minimizar: número de peças e elementos de fixação, variações de projeto, movimentos de montagem, direções de montagem;
- prover: chanfros, alinhamento automático, acesso fácil, peças simétricas ou exageradamente assimétricas, simples manipulação e transporte;
- evitar: obstruções visuais às peças, peças emaranhadas ou escondidas, necessidade de ajustes posteriores nas montagens.

Diante disso, constata-se que os métodos apresentados buscam tornar o produto e o processo mais simples, acabando com barreiras entre as diferentes especialidades envolvidas no desenvolvimento de produtos.

A partir disso, pode-se pensar numa melhor utilização dos mesmos sugerindo aplicá-los na fase conceitual conforme será descrito posteriormente.

A seguir serão apresentadas algumas propostas de aplicação do DFA e DFM no projeto conceitual de produtos.

4.1.2. Modelos de DFM e DFA aplicados no projeto conceitual

A utilização do DFA e DFM no projeto conceitual ainda é um assunto pouco desenvolvido no campo das metodologias de projeto. Isto porque, devido a esses métodos estarem relacionados ao desenvolvimento e à otimização de concepções, os mesmos estão muito relacionados a aspectos concretos do desenvolvimento de produtos. Assim, existem alguns obstáculos para a sua utilização na geração de idéias e concepções.

Apesar disso, Andrade e Forcellini (2004) apontam a possibilidade de utilização destes métodos ainda na fase conceitual como ferramentas para a definição das interfaces entre componentes do produto. Isto tornou-se possível pelo desenvolvimento das tecnologias de modelagem computacional (CAD/CAE) que podem ser utilizadas ainda na fase conceitual. Também tornou-se possível graças ao desenvolvimento da filosofia da engenharia simultânea que difundiu a idéia de se utilizar informações das etapas de manufatura, montagem, uso e manutenção para o desenvolvimento do projeto de produtos. Todas essas informações somadas ao desenvolvimento de interfaces entre componentes fizeram com que fosse possível utilizar as informações advindas do projeto do processo cada vez mais cedo no projeto de produto.

Dentro desta perspectiva foi feito um levantamento de aplicação dos métodos de DFA e DFM no projeto conceitual.

Segundo Yuyin et al (1996) a “manufaturabilidade do produto no projeto conceitual pode ser estimada por meio do seu custo de produção, da sua configuração, producibilidade, montagem e função” (p. 1222).

Assim, Herrmann et al (2004) fizeram um levantamento das diversas possibilidades de aplicação do DFM no desenvolvimento do projeto de um produto. Neste levantamento os autores apontam que a aplicabilidade do DFM no projeto conceitual está baseada na definição de métricas para o desenvolvimento das concepções do produto, sendo o método propagado para as fases subseqüentes do desenvolvimento do produto.

Ainda dentro desta perspectiva, os autores colocam que a ferramenta de aplicação do DFM no projeto conceitual mais comumente utilizada é o QFD. No caso em questão o QFD é desdobrado em diversos níveis dentro do projeto conceitual chegando até o estágio de definição de processos. Assim, ele serve como uma ferramenta de levantamento de como resolver as características do projeto pelo preenchimento das suas matrizes.

Crow (2001) e Valeri e Trabasso (2003) destacam que tanto o DFM quanto o DFA integram-se com diferentes ferramentas de comunicação e informação como os CAD, CAE, ERP, MRP e CAPP. Esta integração pode propiciar a utilização destes métodos com o projeto conceitual, pois o mesmo vem cada vez mais englobando ferramentas do projeto preliminar e detalhado.

Feng e Song (2000) apontam que a evolução das tecnologias faz com que os engenheiros de produto tenham que considerar a manufaturabilidade no processo de projeto. Esta afirmação é feita com base nos estudos feitos por Dixon e Poli (1995), Shah e Mäntylä (1995), Nederbragt et al (1998), Feng e Zhang (1999) e Dewhurst e Boothroyd (1989).

Apesar dos autores desenvolverem um método de modelagem de informações entre o projeto conceitual e o planejamento conceitual do processo, sem detalhar como será desenvolvido o projeto do produto, os mesmos apontam as interações que devem existir entre estas duas áreas e que é apontada como uma forma de aplicação da Engenharia Simultânea por Andrade e Forcellini (2007). Estas interações são mostradas pelos autores na Figura 4.1.

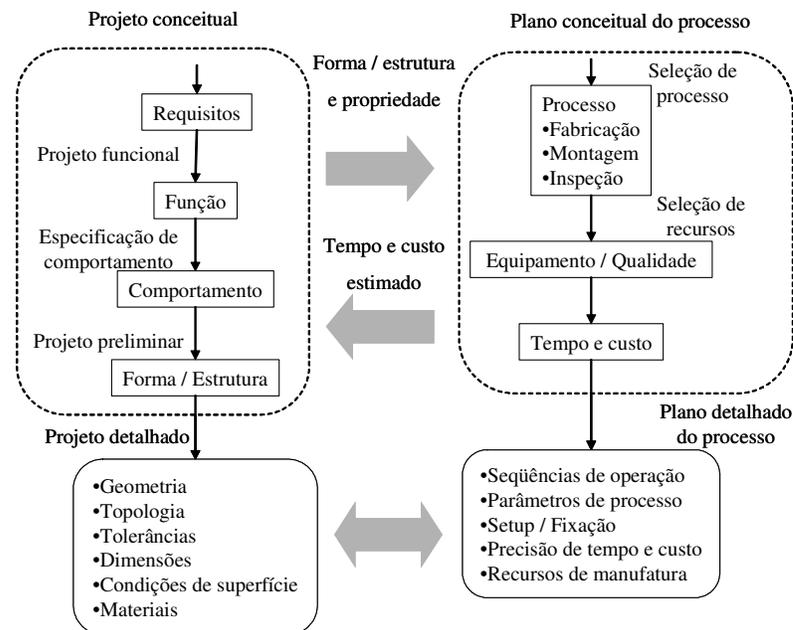


Figura 4.1: Interações entre o projeto conceitual do produto e projeto conceitual do processo (Fonte: Feng e Song, 2000).

Esta figura mostra como o projeto conceitual de um produto pode caminhar paralelamente com o projeto conceitual do processo desde que haja uma efetiva troca de informações entre os ambientes de projeto de produto e projeto de processo.

Stark (1998) aponta que “tanto o DFA como o DFM são melhor aplicados no projeto conceitual, antes que as principais decisões sobre o produto e o processo sejam tomadas e

finalizadas”. Contudo, o autor aponta que neste estágio do projeto, não existe muita informação disponível o que pode dificultar a utilização desses métodos.

Assim, percebe-se que não existem muitos trabalhos na literatura que trabalhem com o DFM na fase conceitual.

O DFA, por outro lado, vem sendo explorado como método de auxílio para a geração da arquitetura do produto. Há diversos métodos de DFA listados na bibliografia. Sousa (1998) fez uma avaliação de diferentes modelos de DFA disponíveis. Entre estes modelos encontram-se os de Boothroyd et al (1994), AEM Hitachi, método de Lucas, projeto orientado à montagem, DAC da Sony, método de Kroll-Lenz-Wolberg, sistema MOSIM da Siemens, Novo método de DFA e Planilhas de DFA. Whitney (2004) aponta a existência de outros métodos como o AEM Hitachi (o qual evoluiu do AEM), a calculadora de DFA da Westinghouse e o método de avaliação ergonômica da Toyota são alguns exemplos.

Dentro desta análise, o autor constatou que todos os métodos encontram-se nas fases de projeto preliminar e projeto detalhado iterando com o projeto conceitual. Outro aspecto relevante apontado por Sousa (1998) é a importância de qualquer método de DFx, se aplicado no projeto conceitual. Isto porque, nesta fase do projeto de produto, são definidos aspectos relacionados ao desempenho e à competitividade do produto.

Dessa forma, é enfatizada a importância de se desenvolver o DFA na fase conceitual.

Nesta linha, Stone et al (2004) desenvolveram um método de DFA que busca desenvolver a arquitetura do produto na fase conceitual com o auxílio da técnica das heurísticas de projeto desenvolvida por Stone et al (1998). Neste método os autores buscam a modularização do produto com base na decomposição funcional do produto. Depois os mesmos aplicam o método de DFA conceitual o qual consiste em aplicar módulo por módulo as diretrizes de tempo e custo de montagem (os quais podem ser baseados no modelo de Boothroyd e Dewhurst), e quanto ao menor número possível de peças.

Os resultados apontados pelos autores são expressivos no que diz respeito à redução do número de peças de um dispositivo existente. Contudo, não foi apresentado um exemplo de projeto de um novo equipamento.

Stone, McAdams e Kayyalethekkel (2004) apresentam uma metodologia de utilização do método de Projeto para montagem (DFA – Design for Assembly) na fase de Projeto Conceitual. Este modelo está baseado no método das heurísticas de projeto. Neste modelo há uma preocupação com a montagem do produto e conseqüentemente com suas interfaces. Uma representação das fases propostas pelos autores encontra-se na Figura 4.2.

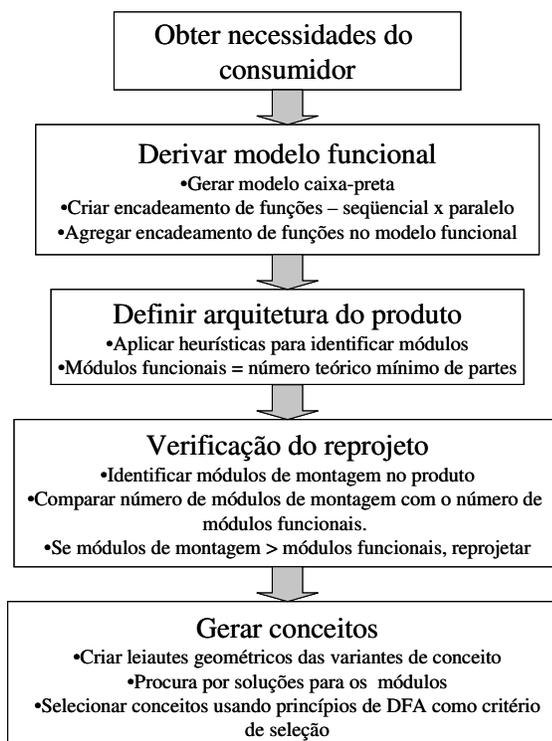


Figura 4.2 – Metodologia de aplicação do DFA na fase de projeto conceitual (Stone, McAdams e Kayyalethekkel, 2004, p.305).

Apesar de considerar as interfaces percebe-se que o principal foco do modelo é o reprojeto, uma vez que é necessária a existência de um produto para que o mesmo possa ser otimizado pela aplicação do DFA. Contudo, o emprego do método de DFA nas fases iniciais do projeto já é importante para a melhoria da qualidade do projeto e da definição do processo de produção do produto. Também é importante porque o modelo aponta para uma preocupação com as interfaces do produto.

Rozenfeld et al (2006) apontam ainda que, “na fase de projeto conceitual, catálogos de exemplos, como princípios e diretrizes, e listas de controle (*checklists*) são as ferramentas de maior aplicação e eficiência em termos do DFA”(p.272).

Ullman (2003) adaptado por Rozenfeld et al (2006), por sua vez, aponta que o DFA e o DFM e suas relações com o projeto de produto são representados conforme a Figura 4.3.

Conforme mostrado na figura as relações existentes entre o DFA e o DFM no que diz respeito aos processos de montagem e fabricação, à função e à forma diferem principalmente no que diz respeito à função. Isto porque, devido à montagem estar diretamente relacionada às interfaces e estas, por sua vez, estarem ligadas à função do produto, ocorre este inter-relacionamento, enquanto que a manufatura está mais ligada à complexidade dos componentes como afirmam Fixson (2005) e Rozenfeld et al (2006).

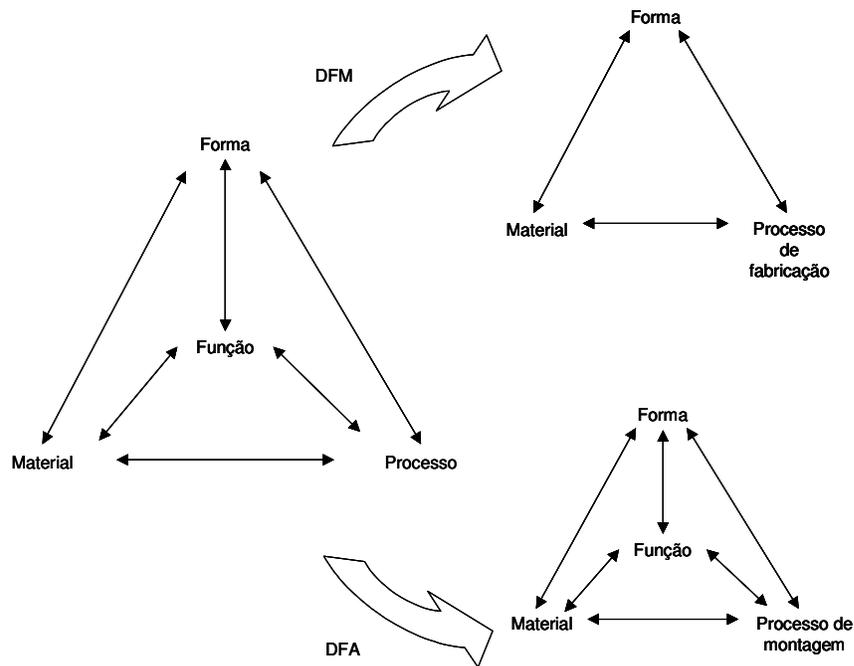


Figura 4.3: Relacionamento entre os métodos de DFA e DFM na definição do produto.
(Fonte: Ullman, 2003, adaptado por Rozenfeld et al, 2006).

O problema na implantação dos métodos de DFA e DFM no projeto conceitual é a falta de informações concretas sobre o produto. Isto quer dizer que faltam informações a respeito do quê compõe o produto: que Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSC's) formam o produto, quais são as interfaces do mesmo e como serão estabelecidas as relações entre estes elementos. Por isso fica tão difícil a definição da montagem e manufatura. Tendo-se as informações das interfaces pode-se estabelecer: features de montagem, materiais, tolerâncias de montagem, métodos de fabricação apropriados, acabamentos superficiais, seqüências de montagem, fornecedores, lista de peças, etc.

Assim, percebe-se que o desenvolvimento das interfaces na fase conceitual, com o apoio de ferramentas como os atuais sistemas CAD e métodos de definição de arquitetura, pode potencializar o desenvolvimento das concepções num nível onde se possa avaliar as características de montabilidade e exequibilidade dos componentes dos sistema.

4.1.3. Proposta de modelo de aplicação de DFA e DFM no projeto conceitual

Como visto no item anterior, as propostas de aplicação do DFA e DFM no projeto conceitual são ainda muito pouco exploradas. Assim, neste trabalho se proporá uma forma de aplicação do DFA e DFM no projeto conceitual do produto.

Esta inicia-se com a determinação dos blocos funcionais e acompanha o projeto conceitual do produto até a fase de geração de concepções. Nas etapas iniciais ela é aplicada por meio de consideração das diretrizes do projeto para montagem e projeto para manufatura. Contudo, ao chegar na geração dos princípios de solução do produto pode-se utilizar-se estes métodos para avaliação dos princípios de solução o que, juntamente com as métricas de confiabilidade e funcionalidade traçam um mapa do valor da concepção em termos de cumprimento dos requisitos do produto.

A forma de aplicação dos métodos de DFA e DFM, na avaliação dos princípios de solução é por meio de *checklists*. Estes *checklists* são baseados no atendimento das diretrizes de DFA e DFM mais significativas e que implicam em resultados práticos para a producibilidade dos princípios avaliados.

Tais diretrizes serão estabelecidas pela equipe de projeto e podem variar em número e tipo conforme a especialidade da empresa. Um exemplo será utilizado neste trabalho e atenderá as diretrizes mostradas no Quadro 4.2.

Quadro 4.2: Diretrizes de avaliação da montabilidade e manufaturabilidade no projeto conceitual

| Diretrizes para aplicação do DFA e DFM | |
|--|------------------------------------|
| DFA | DFM |
| Geometria | Complexidade |
| Número de componentes | Número de componentes padronizados |
| Acessibilidade | Materiais especiais |
| Processo de montagem simples | Processos especiais |

Estas diretrizes serão avaliadas de forma qualitativa atribuindo-se valores de 1 a 5 conforme o atendimento ou não das diretrizes. Estes valores serão posteriormente somados e colocados, juntamente com a avaliação da confiabilidade, em um mapa do princípio de solução de forma que a equipe de projeto verifique com facilidade quais os melhores princípios segundo estas óticas.

4.2. FMEA

O método de Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA) foi desenvolvido com o intuito de auxiliar no diagnóstico e previsão de falhas de equipamentos. Ele é um método analítico padronizado para detectar e eliminar problemas potenciais de forma sistemática e completa (Helman, 1995 apud Ferrari, Martins e Toledo, 2001). Além disso, é

uma ferramenta que utiliza o conhecimento dos membros do PDP sobre problemas de qualidade e desempenho do produto advindos do seu projeto e/ou processo de produção. O FMEA permite a hierarquização das causas dos problemas e estabelece parâmetros para a adoção de medidas preventivas ou corretivas (Helman, 1995 apud Ferrari, Martins e Toledo, 2001). Outra definição é apresentada por Sakurada (2001) segundo o qual FMEA "é um método qualitativo que estuda os possíveis modos de falha dos componentes, sistemas, projetos e processos e os respectivos efeitos gerados por esses modos de falha".

Por causa do seu caráter preditivo, o FMEA passou a ser utilizado no projeto de produtos. Isto porque ao aplicar um FMEA durante o projeto pode-se prever os pontos críticos do mesmo fazendo com que a equipe, por meio de análises de modos de falha e efeitos defina ações corretivas durante o projeto, prioridades no dimensionamento e seleção de materiais de cada componente. Contudo, a aplicação do FMEA ainda é questionada por muitas organizações.

Segundo Tumer, Stone e Bell (2003) ele é considerado

(...) trabalhoso e com custos tanto em termos econômicos quanto em relação ao tempo. Além disso, muitas aplicações têm tido resultados insatisfatórios na sua aplicação devido a descrições inconsistentes das funções dos componentes do sistema e das falhas as quais eles estão sujeitos (p. 2).

Apesar disso, os autores colocam que "o aumento da importância das métricas de confiabilidade vem abastecendo o aprimoramento dos métodos de predição, especialmente aqueles utilizados em novos projetos" (p. 2).

Outra característica da FMEA tradicional é criticada por Pillay e Wang (2003). Esta diz respeito à forma como estão estabelecidas as escalas de severidade, frequência e detecção. Segundo os autores, devido à linearidade das escalas propostas, podem ocorrer distorções nos números de prioridade de risco (NPR), com itens com alto grau de severidade de falha tendo um NPR menor que outro item que possua alto grau de ocorrência e detecção, mas baixo índice de severidade, por exemplo. Assim, os mesmos propõem um modelo baseado em regras de lógica difusa.

Há ainda outra limitação destacada por Andrade e Forcellini (2007). Esta limitação diz respeito a como as falhas múltiplas são tratadas na aplicação da FMEA. Falhas múltiplas na definição de Rausand e Øien (1996) correspondem àquelas falhas que possuem relação de dependência com outros modos de falha. Estes autores sub-dividem esses modos de falha dependentes em dois grupos principais: falhas com causas comuns e falhas em cascata sendo o primeiro tipo definido como sendo falhas que possuem a mesma causa e o segundo tipo como várias falhas que são decorrentes da falha de um dos componentes do sistema (Rausand e Øien, 1996).

A seguir serão descritos alguns modelos de aplicação da FMEA nas fases iniciais do projeto de produto com o intuito de se levantar informações relevantes para o desenvolvimento das interfaces do produto.

Segundo Hawkins e Woollons (1998), existem duas abordagens para um FMEA de projeto: a abordagem de hardware – que é avaliada pela consideração de mudanças que ocorrem em cada componente em termos de mudança de comportamento – e a abordagem funcional – que pode ser adotada nas fases iniciais do processo de projeto e que considera informações relativas à especificação de propósitos e funções de cada peça do equipamento. Ainda segundo os autores a primeira abordagem é realizada quando o projeto já está suficientemente desenvolvido e a segunda quando o projeto está num estágio incipiente.

Dentro desta perspectiva, diversos autores têm proposto formas de aplicação da FMEA nas fases iniciais do processo de projeto. Arcidiacono et al (2003) propõem a utilização da FMEA em conjunto com outras técnicas de projeto nas fases iniciais do PDP para o projeto axiomático. Devido a este adiantamento da utilização do FMEA os autores afirmam que ocorre uma simplificação na sua aplicação, pois muitos modos de falha são evitados devido aos esforços serem despendidos antes que se construa um protótipo, por exemplo.

Pela sua aplicação no Projeto Conceitual a FMEA possui a vantagem de detectar o problema mais cedo e no nível de funções podendo, assim, resolvê-lo com o menor custo possível. Porém, a sua utilização no início do projeto ainda apresenta a desvantagem de possuir poucas informações disponíveis, o que pode representar uma fonte de incertezas. Estas informações são corroboradas por Weiss e Hari (1999). Apesar disso, considerando-se que o mesmo deve ser aplicado num ambiente de desenvolvimento integrado de produto, acredita-se que muitos dos conhecimentos tácitos da equipe de projeto possam ser externalizados pela sua aplicação.

Algumas análises da forma de aplicação da FMEA são apresentadas por Kmenta et al (1999) com base em outros autores:

- FMEA é aplicada demasiado tarde e, em tal detalhe, que perde, do ponto-de-vista do sistema como um todo, modos de falha em serviço (Bednarz e Marriott, 1988).
- Ao aplicar tardiamente a FMEA não se influenciam importantes decisões de projeto e processo (McKinney, 1991).
- A análise é freqüentemente um pensamento atrasado, aplicado como um exercício de "*checklist*" (Kara-Zaitri et al., 1991).
- Sem uma abordagem sistemática, os engenheiros analisam subjetivamente de modo que a análise fique dependente de seu nível da experiência (Bell et al., 1992).

Além disso, os autores fazem um estudo da aplicação do método de FMEA avançado (AFMEA) sobre o qual afirmam que:

A FMEA avançada, proposta primeiramente por Eubanks et por al. (1996), busca resolver algumas das deficiências associadas com o FMEA tradicional. AFMEA usa a modelagem de comportamento para simular operações do dispositivo e para ajudar o raciocínio sobre causas e efeitos. O objetivo de AFMEA é fornecer um método sistemático para capturar um conjunto maior de modos de falha nas fases iniciais do projeto (p. 2).

Também apontam que a AFMEA pode ser baseada na análise dos componentes ou das funções. O modelo de aplicação do AFMEA é apontado pelos autores conforme a Figura 4.4.

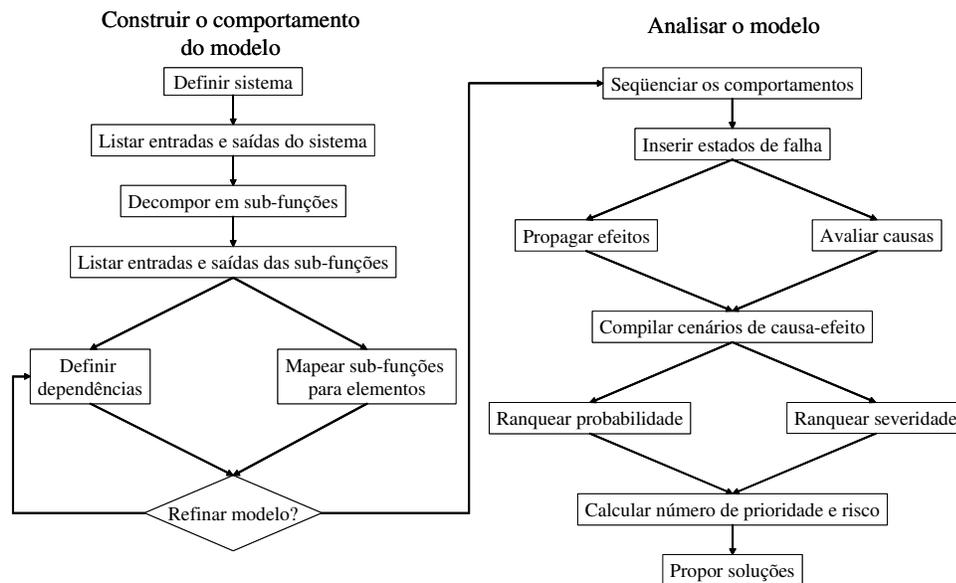


Figura 4.4: Fases do FMEA avançado (Kmenta et al, 1999).

Hata et al (2000), por sua vez, apontam que:

(...) em um sistema mecânico, as relações entre componentes têm um importante papel no preenchimento das funções. Algumas das relações entre componentes, relações de montagem, por exemplo, podem ser modeladas em sistemas de CAD geométricos. Além das relações representadas nos sistemas de CAD atuais, os projetistas esperam considerar relações funcionais tais como pares cinemáticos e descrever semanticamente os papéis das peças. Estas intenções dos projetistas não estão diretamente conectadas à análise de falhas. Técnicas baseadas em features têm aumentado a capacidade dos modelos capturarem as intenções dos projetistas (SHAH e MÄNTYLÄ, 1995) (p.2).

Sob esta ótica os autores propõem um modelo que avalia, com o auxílio de sistemas CAD, tanto questões de cumprimento de função, como de intenção do projetista, de geometria e de montagem do sistema. Estas características encontram-se ilustradas na Figura 4.5.

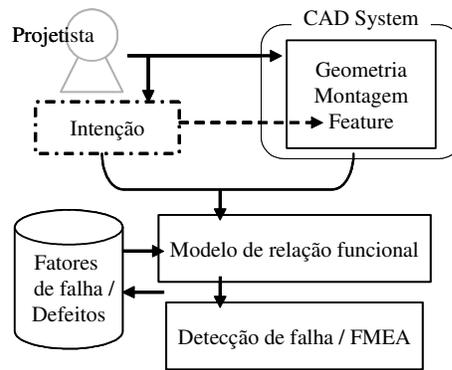


Figura 4.5: Representação do modelo esquemático proposto por Hata et al (2000).

Nesta figura está representado o modelo de sistema para a determinação de falhas proposto por Hata et al (2000) no qual os autores procuram mapear desde as intenções do projetista até os modos de falha considerando, inclusive, as relações funcionais entre os componentes além de informações de geometria, montagem, restrições e as “*features*” que compõem o produto. Também faz parte do sistema proposto, uma base de dados de falha dos componentes que fazem parte do produto.

A consideração de modelos em CAD é importante neste sistema, pois considera as informações de montagem e funcionamento em conjunto dos elementos. Isto, juntamente com as relações funcionais, define o comportamento esperado para o componente. Outro aspecto relevante é que a modelagem por cadeias funcionais permite a identificação de possíveis falhas nas interfaces dos componentes.

Outra possibilidade de aplicação do FMEA nas fases iniciais do projeto de produto é apresentada por Weiss e Hari (1999) os quais desenvolveram um modelo denominado “*Conceptual Failure Modes Analysis*” (CFMA). Este método é apresentado como sendo um FMEA para os requisitos e restrições do projeto conceitual, funções e experiências organizacionais.

Segundo os autores um modo de falha é uma qualidade perdida da função do sistema. O modelo foca em analisar as falhas em potencial das funções do sistema ou na melhoria dos seus efeitos de modo a prevenir que a falha atinja os clientes. Outra característica do mesmo é que este é baseado na avaliação da severidade, frequência e detecção que são as métricas comumente utilizadas no FMEA.

Este modelo consiste em responder algumas questões a saber:

- Como um sistema pode vir a falhar ao desempenhar uma função?
- Quais poderiam ser as causas e o efeitos destes modos de falha?
- Qual o efeito da falha para o cliente?
- Qual a chance de ocorrência de um modo de falha?

- Como nós podemos detectar se existe um modo de falha em nosso projeto, tão cedo quanto possível no processo de projeto?
- Se um modo de falha existe, como pode-se evitar que ele chegue até o cliente?
- Qual é a prioridade para eliminação ou minimização dos modos de falha?

Uma colocação importante dos autores é que pode haver potenciais falhas na função e não apenas nos princípios de solução.

Entretanto, conforme Stock (2003) o CFMA dá o primeiro passo na direção “correta” de analisar o produto a partir do cumprimento das funções a que se propõe atender, mas ainda há uma dependência da existência da forma e guarda resquícios de linguagem tradicional adicionados de um alto grau de subjetividade (p. 10).

Stock (2003), por sua vez, propõe o “*Elemental Function-Failure Design Method*” método de projeto de elementos de falhas da função (EFDM). Neste método o autor procura acoplar o processo de geração de concepções do projeto conceitual à análise de falhas.

O modelo em questão é mostrado na Figura 4.6.

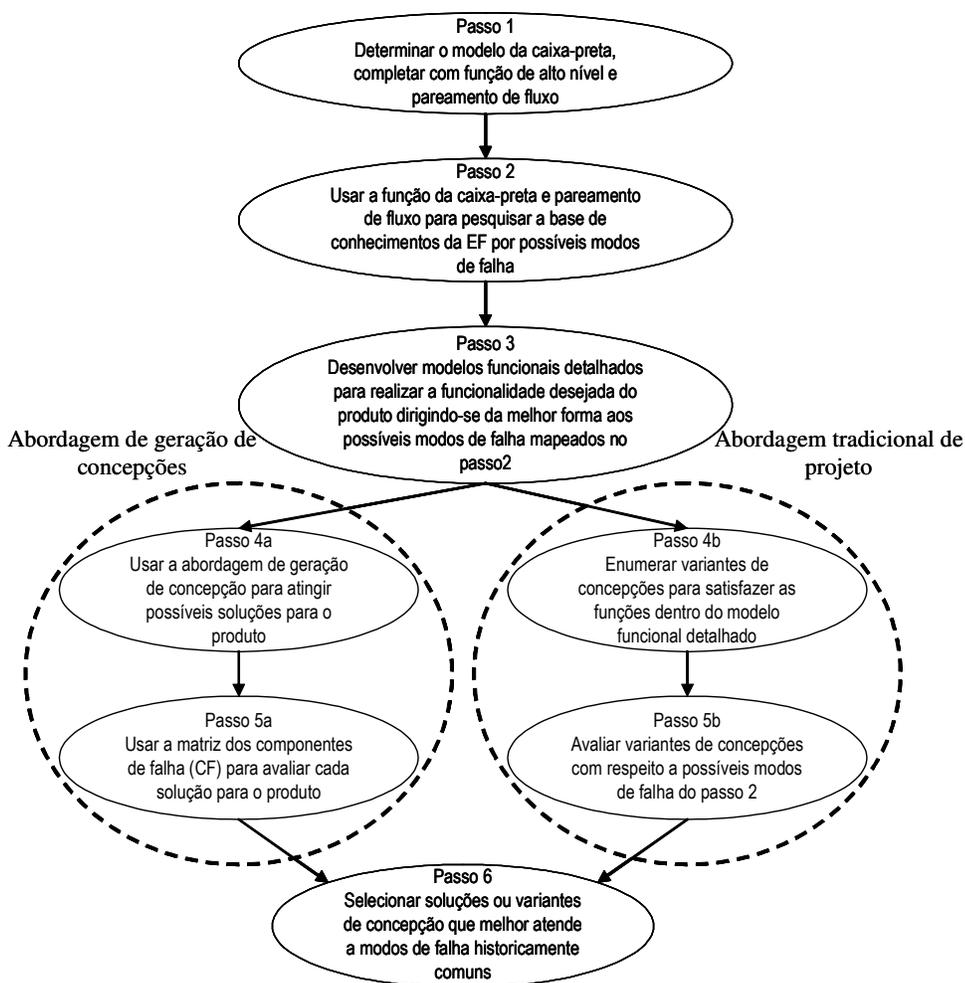


Figura 4.6: Método de projeto de elementos de falhas da função (EFDM) (Stock, 2003).

Neste modelo o projetista define a estrutura funcional e os fluxos de energia, material e sinal, para então fazer uma análise do cumprimento ou não da função comparando-a com uma base de conhecimentos de modos de falha existentes ou similares. É então feito um levantamento destes modos de falha e verificado se é necessário que seja inserida alguma função auxiliar que minimize ou exclua o modo de falha. Depois disso, o projetista, de posse da estrutura de funções detalhada, iniciam a geração de concepções que, conforme a figura, pode ser realizada pelo que o autor chama de abordagem tradicional ou pela abordagem de geração de conceito.

Após a geração de concepções, o projetista avalia, a partir dos possíveis modos de falha levantados anteriormente, a melhor concepção para o produto.

Este procedimento apresenta algumas características importantes. A análise do modo de falha ainda na modelagem funcional é uma delas, pois o modo de falha se caracteriza exatamente pelo não cumprimento total ou parcial da função. Outra característica que chama a atenção no modelo é a criação de funções auxiliares para que o modo de falha seja minimizado. A necessidade desta função parte do princípio que há um conhecimento prévio de soluções para o modo de falha, provavelmente oriundos da base de conhecimento.

Há que se ter o cuidado de destacar que existe um conhecimento prévio (o qual encontra-se explícito na base de conhecimento), que pode gerar problemas de redução de busca por saídas inovadoras pelo apassivamento da equipe de projeto.

Algumas vantagens apontadas por Stock (2003) são, por exemplo, a possibilidade de uma equipe de projeto formada por pessoas sem experiência avaliar a confiabilidade do produto com o suporte da base de conhecimento, outra vantagem apontada pelo autor é a possibilidade de desenvolver um produto com boa confiabilidade sem a necessidade de múltiplos reprojeto devido a problemas de confiabilidade. Ainda há a vantagem de o processo de análise da confiabilidade ser de execução mais fácil e barata.

Como desvantagens o autor aponta que a principal é a necessidade de uma base de conhecimentos muito grande para relacionar as falhas à funcionalidade. Outra desvantagem importante em relação à FMEA é a perda da procura pela causa do problema e também a consideração de informações de manufatura do produto. Estas são considerações importantes para a avaliação deste modelo pois, por se tratar de um modelo para aplicação em projeto de produto considerações de causas de problemas e de manufaturabilidade do produto são cruciais para o ciclo de vida do mesmo.

Com base nos modelos expostos, verifica-se que há uma tendência de se realizar a avaliação da FMEA a partir da estrutura funcional do produto. Assim, a seguir e apresentará um modelo de análise de FMEA desenvolvido por Andrade e Forcellini (2007) denominado de FMEA contínuo o qual será utilizado neste trabalho.

4.2.1. FMEA Contínuo

Andrade e Forcellini (2007) apresentam uma proposta de aplicação da FMEA que se inicia no projeto conceitual e é desenvolvida até o projeto detalhado, podendo inclusive avaliar a manufacturabilidade do produto. Esta é denominada FMEA contínuo. Uma característica importante desta proposição é que, por sua aplicação, torna-se possível avaliar compatibilidades e interações entre os sistemas, subsistemas e componentes e seus modos de falha perfazendo uma análise de efeitos incidentais além daquela proposta para verificação dos efeitos nas interfaces funcionais.

A proposta apresentada inicia-se com a Estruturação Funcional do produto onde depois de desdobrada ao nível de funções elementares e definidos os fluxos de energia, material e sinal é feita a primeira etapa do FMEA que é o levantamento das possíveis falhas do produto em termos funcionais. Cabe aqui ressaltar que o conceito de falha do produto utilizado é o não cumprimento total ou parcial da função para o qual o mesmo foi projetado e, ainda, que o objetivo do produto é o cumprimento da função. Sendo assim, o enfoque na confiabilidade como parâmetro de seleção de concepções torna-se preponderante para a qualidade do produto gerado.

Para o levantamento das falhas é realizado o levantamento dos possíveis efeitos que as mesmas gerariam, inclusive detectando a severidade associada à falha. Os valores de Severidade são estabelecidos conforme a Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Severidade dos efeitos funcionais adaptada de BEM-DAYA e RAOUF (1996).

| Severidade | Escore |
|--|--------|
| Não interfere na função | 1-3 |
| Apresenta uma leve perda no desempenho da função | 4-5 |
| Apresenta perdas consideráveis no desempenho da função | 6-8 |
| Inviabiliza o cumprimento da função | 9-10 |

Também se deve considerar o aspecto do peso relativo das funções no desempenho do produto, uma vez que a falha pode estar relacionada a uma função básica do produto tornando inviável a sua utilização ou então relacionada a uma função secundária que não cause grandes influências no seu funcionamento. Por isso, é necessário estabelecer o uso de uma Matriz de relacionamento entre Funções e Especificações de Projeto na qual serão detectadas as funções que estão conectadas a cada Especificação do Projeto. Esta matriz apresenta a vantagem de facilitar a resolução de possíveis soluções de compromisso nas fases posteriores. Esta etapa é baseada na idéia de Arcidiacono, Campatelli e Citti (2003) e sua EDM na qual os autores apontam a importância relativa dos DPs em relação aos RFs. Um exemplo desta está

representado na Tabela 4.2 e o cálculo do peso relativo da função é determinado pela Equação 4.1.

$$\text{Peso Funcional} = \sum P_i \times R \quad 4.1$$

Onde: P_i – Peso da especificação

R – Valor do relacionamento determinado na matriz (se existe é 1, senão é 0).

Tabela 4.2: Matriz de relacionamento entre Funções e Especificações de Projeto

| Especificações de projeto / Funções | Peso das especificações | Função 1 | Função 2 | ... | Função n |
|-------------------------------------|-------------------------|----------|----------|-----|----------|
| Especificação 1 | | X | ⊗ | | |
| Especificação 2 | | | | | |
| ... | | | | | |
| Especificação n | | | | | |
| Peso funcional | | | | | |

Legenda: ⊗ - há relacionamento entre a especificação e a função

X - não há relacionamento entre a especificação e a função.

Com base nos valores obtidos, são estabelecidas as funções críticas para o projeto do produto.

Partindo-se da medida da confiabilidade, Andrade e Forcellini (2007a) prosseguem com o FMEA contínuo de modo a utilizar informações levantadas na definição das funções críticas e definem os parâmetros de confiabilidade para os princípios de solução e para as concepções estabelecidas.

Nesta fase o modelo busca reduzir o número de combinações a serem avaliadas, bem como faz uma análise das interações entre os princípios de solução por meio de uma triagem prévia dos mesmos, baseada em critérios de confiabilidade. Para tanto, os autores sugerem a aplicação do FMEA apenas nos PSs críticos usando como base para a definição de criticidade o peso funcional obtido na Tabela 4.2. Na aplicação do FMEA também aproveita-se o índice de Severidade já obtido na fase funcional do mesmo.

Dessa forma, tão logo a MM esteja montada (Tabela 4.3) é aplicado o FMEA (Tabela 4.4) nos PSs críticos. Depois de mapeados os efeitos e associadas as severidades aos PSs é feito o cálculo dos NPRs para cada modo de falha dos PSs. Este cálculo é feito segundo a Equação 4.2.

Tabela 4.3: Matriz Morfológica

| Funções / PSs | PS ₁ | PS ₂ | ... | PS _n |
|---------------|-----------------|-----------------|-----|-----------------|
| Função 1 | | | | |
| Função 2 | | | | |
| ... | | | | |
| Função n | | | | |

Tabela 4.4: FMEA de Princípio de Solução

| Princípio de Solução | Função | Modos de Falha | Efeitos | Severidade | Causas | Ocorrência | Controle | Detecção | NPR |
|----------------------|----------|-----------------|----------|------------|---------|------------|----------|----------|-----|
| PS _i | Função n | MF ₁ | Efeito 1 | | Causa 1 | | Tipo 1 | | |
| | | MF ₂ | Efeito 2 | | Causa 2 | | Tipo 2 | | |

$$\text{NPR (PS}_i\text{)} = \sum [\text{Sev (MF}_i\text{)} \times \text{Oc (MF}_i\text{)} \times \text{Detec (MF}_i\text{)}] \quad 4.2$$

Onde: NPR – Número de prioridade de risco

Sev – Severidade do efeito (Tabela 4.1)

Oc – Ocorrência (probabilidade de ocorrência – Tabela 4.5)

Detec – Capacidade de detecção do problema (Tabela 4.6)

Tabela 4.5: Índice de Ocorrência dos Modos de Falha segundo sua probabilidade (BEM-DAYA e RAOUF,1996).

| Probabilidade de Ocorrência | Chances de Ocorrência | Escore |
|-----------------------------|-----------------------|--------|
| Remota | 0 | 1 |
| Baixa | 1/20.000 | 2 |
| | 1/10.000 | 3 |
| Moderada | 1/2.000 | 4 |
| | 1/1.000 | 5 |
| | 1/200 | 6 |
| Alta | 1/100 | 7 |
| | 1/20 | 8 |
| Muito alta | 1/10 | 9 |
| | ½ | 10 |

Tabela 4.6: Índice de Detecção das Falhas segundo sua probabilidade de detecção (BEM-DAYA e RAOUF,1996).

| Probabilidade de não detectar a falha | Probabilidade (%) de um defeito individual alcançar o cliente | Escore |
|---------------------------------------|---|--------|
| Remota | 0-5 | 1 |
| Baixa | 6-15 | 2 |
| | 16-25 | 3 |
| Moderada | 26-35 | 4 |
| | 36-45 | 5 |
| | 46-55 | 6 |
| Alta | 56-65 | 7 |
| | 66-75 | 8 |
| Muito alta | 76-85 | 9 |
| | 86-100 | 10 |

Entretanto, para a determinação do NPR de cada PS é necessário determinar a interdependência dos modos de falha associados a cada PS. Isto pode ser feito por meio de uma matriz (Tabela 4.7) que determina se a relação entre os modos de falha é independente – ocorrem sem a necessidade de ocorrência de outro - , vinculados – só ocorrem quando outro modo de falha já está ocorrendo - , indeterminada – não se pode dizer nada a respeito pois nem todos os modos de falha possuem uma relação explícita ou mesmo conhecida o que pode

dificultar a determinação das interdependências. Dessa forma, deve-se considerar o modo de falha para posterior investigação. É necessário enfatizar que esta etapa do FMEA é realizada para a determinação dos principais PSs a serem utilizados na geração de concepções para o produto.

Tabela 4.7: Matriz de interrelacionamento entre Modos de Falha

| Modos de Falha X Modos de Falha | MF ₁ | MF ₂ | ... | MF _{n+1} |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|-----|-------------------|
| MF ₁ | | | | |
| MF ₂ | | | | |
| ... | | | | |
| MF _n | | | | |

Legenda: V – Modos de falha vinculados

I – Modos de falha independentes

N – Necessita de investigações

Depois de determinados os NPRs dos PSs críticos, são geradas as concepções pela união dos PSs. Assim, é necessário combinar os diferentes princípios de forma a se obter concepções para a resolução do problema de projeto. Deve-se então fazer uma análise da influência que cada PS terá sobre os outros e sobre os seus modos de falha. Esta análise se dá através do estudo das interfaces entre os PSs. Desta forma, é preciso verificar se existem interfaces e, caso existam, quais tipos de interfaces existem entre os princípios dentro de cada concepção e estabelecer o tipo de relação entre os PSs de modo a identificar se haverá interferência mútua no cumprimento da função. Esta tarefa pode ser feita por uma nova aplicação do FMEA no nível de concepções.

Tendo as concepções avaliadas sob a ótica de confiabilidade pode-se estabelecer que as concepções que possuem o menor NPR apresentam-se como as mais indicadas para solucionar o problema de projeto. Entretanto, deve-se destacar que devem ser avaliados outros fatores para que a equipe de projeto possa definir de forma conclusiva.

A seguir, serão descritas formas de aplicação dos métodos estudados na fase de projeto conceitual do desenvolvimento de produtos bem como serão levantados os potenciais resultados destas aplicações.

4.3. Como utilizar os métodos e a ferramenta estudados na fase de Projeto

Conceitual

A utilização dos métodos de DFMA e da ferramenta FMEA na fase de Projeto Conceitual é uma nova perspectiva no campo de desenvolvimento integrado de produtos, pois pode aproveitar todo o potencial que os mesmos apresentam em relação ao tipo de conhecimento empregado na geração e seleção de concepções para o produto. Isto porque,

sendo os mesmos externalizadores do conhecimento tácito da equipe de projeto, podem contribuir para a difusão do conhecimento de especialistas para a organização como um todo disponibilizando estes especialistas para trabalhos prioritários. Além disso, os mecanismos apresentados surgem como elementos integralizadores de princípios de solução e redutores de incertezas. Estas características provêm da determinação das interações e interfaces do produto, uma vez que tais informações auxiliam na visualização de aspectos geométricos, de montagem, de manufatura e de funcionamento do produto.

Outra vantagem da utilização do DFA, do DFM e da FMEA é a sua capacidade de sistematizar o processo de projeto das interfaces do produto, fornecendo diretrizes e meios para prever possíveis problemas na combinação dos princípios de solução e concepções de projeto gerados. Nesta linha pode-se verificar a possibilidade de, a partir de suas diretrizes, determinar métricas para a seleção da melhor concepção para o produto. Para tanto, pode-se dizer que existe a possibilidade de utilização dos métodos de DFA e DFM e da ferramenta de FMEA para execução das atividades de: geração da arquitetura do produto, geração de concepções e seleção da melhor concepção.

Como forma de geração da arquitetura do produto o DFA e o DFM podem servir de base para o estabelecimento de seqüências de montagem direcionadas ainda no nível funcional. Isto pode ser feito pela determinação das inter-relações entre as funções do produto, as funções de interfaces e os fluxos de energia material e sinal. A matriz de Erixon et al (1996) é um bom exemplo de como aplicar princípios de DFA no projeto conceitual para a determinação da arquitetura do produto, uma vez que a mesma procura estabelecer possibilidades de distribuição e montagem dos diferentes módulos.

Também pela consideração do DFA para geração da arquitetura pode-se citar o modelo de Stone et al (2004) o qual procura reduzir o número de peças do produto ainda na definição da arquitetura do produto por meio da sua modularização.

Outra forma de aplicação do DFA e DFM é na geração e avaliação dos princípios de solução para o produto. Pode-se avaliar os princípios desenvolvidos e suas interações a partir da facilidade de manufatura e montagem dos mesmos. Estas aplicações podem ser sustentadas por sistemas CAD, uma vez que os mesmos já atingiram um nível de desenvolvimento que permite ao projetista criar modelos sólidos detalhados dos princípios de solução. Este detalhamento permite a visualização de problemas de montagem e manufatura, por exemplo.

Quanto ao FMEA, a grande vantagem encontra-se na avaliação do cumprimento da função, ou seja, na previsão de potenciais falhas. Esta forma de enxergar o produto acaba por definir formas alternativas de cumprimento da função caso seja detectado algum problema com alto grau de severidade no produto. Outro ponto importante do FMEA é que ele fornece dados quantitativos para avaliação do conceito do produto. Também com o desenvolvimento

dos sistemas CAD pode-se ter mais informações sobre a forma do produto e, assim, ter uma visão mais clara sobre o funcionamento do mesmo.

Uma ferramenta que pode auxiliar no desenvolvimento da FMEA para o nível funcional é a matriz de avaliação de interfaces de Pereira (2004). Isto porque esta matriz aponta a existência de potenciais efeitos incidentais entre módulos (ou funções), o que implica no não cumprimento total ou parcial da função prevista.

Esta ferramenta, juntamente com a matriz de interfaces apresentada por Scalice (2003) propicia uma avaliação do produto projetado como um todo, dando base para uma avaliação técnica do mesmo e de determinação de componentes mais completa. Assim, pode-se chegar no final do projeto conceitual com um projeto bem estruturado e com uma lista de peças pronta para a seleção de componentes e fornecedores.

4.4. Considerações finais

Com base no acima exposto pôde-se perceber a viabilidade de utilização dos métodos e da ferramenta citados inclusive com indicativos para possíveis trabalhos na área de inteligência artificial, uma vez que esta é uma área que permite lidar com o conhecimento tácito do ser humano de forma a torná-lo explícito, e está ligada, de certa forma, a problemas de natureza heurística como o da geração, avaliação e seleção da melhor concepção para um produto.

Também constata-se que os métodos tornam-se cada vez mais integrados e se torna necessário o desenvolvimento de ferramentas que facilitem a visualização dos elementos e das informações que compõem o produto. Assim, é importante que sejam desenvolvidas ferramentas integradas com outras já existentes como os sistemas CAD, por exemplo.

Outro aspecto que deve-se ter em mente é que os diferentes tipos de projeto tais como os projetos hidráulicos, mecânicos, elétricos, possuem suas especificidades o que requer a utilização de modelos e sistemas de simulação apropriados para cada caso.

Assim, o modelo a ser proposto deve considerar a utilização dos métodos e ferramentas apresentados de modo a torná-los viáveis de aplicação nas fases iniciais do projeto de produto.

5. Capítulo 5 – Proposta de metodologia para o projeto de interfaces na fase conceitual

Com base na revisão bibliográfica realizada, na lista de especificações levantadas nos capítulos anteriores, bem como nas características dos métodos de DFA, DFM e FMEA pesquisados, propõe-se, neste capítulo, a metodologia para o projeto de interfaces na fase conceitual do processo de projeto do produto. Para isso, far-se-á a consideração de que a metodologia de projeto para interfaces no projeto conceitual está inserida num contexto maior do desenvolvimento do produto. Este contexto, será denominado de cenário de projeto, o qual representa o ambiente de desenvolvimento de produtos com seus aspectos gerenciais, metodológicos e de mercado que envolve o projeto de um produto.

O cenário de projeto ou cenário para o desenvolvimento de produto é composto por um conjunto de fatores os quais envolvem: os clientes do ciclo de vida do produto (mostrados na Figura 2.1), o modelo de desenvolvimento do produto – o qual engloba as macro-fases de pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento do produto (mostrado na Figura 2.2), a estratégia de desenvolvimento da empresa, a pesquisa de marketing realizada, entre outros aspectos.

Dessa forma, o desenvolvimento das interfaces do produto engloba informações que vão desde a estratégia da empresa em relação ao gerenciamento do projeto de um produto até as informações de processo onde serão relacionados aspectos da forma final dos componentes a serem fabricados. Entretanto, o desenvolvimento das interfaces propriamente dito se dá na fase de projeto conceitual.

A partir desta constatação será proposta uma metodologia de projeto de interfaces para a fase conceitual pressupondo-se que o ambiente de desenvolvimento de produto estará pautado nos preceitos da engenharia simultânea. Mesmo porque não haveria sentido em estabelecer um projeto de interfaces na referida fase do projeto sem informações relativas a outras fases do ciclo de vida do produto.

Cabe salientar que o modelo será apresentado baseando-se no modelo de referência de Rozenfeld et al (2006) os quais dividem o modelo em macro-fases, fases, atividades, tarefas e ferramentas, nesta ordem de hierarquia. Entretanto, neste trabalho será definido um novo nível nesta hierarquia que será denominado de “etapa”. Este nível será implementado apenas no Projeto Conceitual por este assumir uma complexidade maior devido ao agrupamento de algumas atividades antes consideradas em separado pelo modelo de referência. Assim, a forma final da hierarquia será macro-fases, fases, etapas, atividades, tarefas e ferramentas.

A seguir está descrita a metodologia proposta.

5.1. Metodologia de projeto de interfaces na fase conceitual do projeto de produtos

Com base nas características levantadas para o modelo de projeto de interfaces apresentadas anteriormente, será apresentado um modelo de projeto de interfaces na fase conceitual do projeto de produto.

Uma vez que o modelo em questão utiliza-se da estrutura do modelo de Rozenfeld et al (2006) se fará uma comparação entre os dois modelos apontando suas diferenças. Para tanto, serão descritas as modificações propostas no modelo de Rozenfeld et al (2006). O primeiro ponto a ser apontado é a estrutura dos modelos. Enquanto o modelo de referência possui uma estrutura formada por macro-fases, fases, atividades, tarefas e ferramentas, o modelo proposto será composto por macro-fases, fases, etapas, atividades, tarefas e ferramentas. Esta modificação se faz necessária devido a uma mudança na forma de estruturação de algumas das atividades estabelecidas pelo modelo.

Também serão feitas alterações na seqüência e no nível de algumas atividades propostas no modelo de Rozenfeld et al (2006). A seguir serão apontados os pontos que sofrerão alterações no modelo desses autores de forma a mostrar as limitações encontradas no mesmo, justificando assim, as alterações propostas.

5.2. Limitações no modelo de referência

O modelo de referência adotado é o modelo de Rozenfeld et al (2006). O mesmo já foi descrito no item 3.2.2 o qual mostra como os autores definem a arquitetura do produto na fase conceitual do projeto de produtos.

As limitações apontadas no Capítulo 3 dizem respeito à maneira como é estabelecida esta arquitetura. Os autores utilizam a seqüência lógica do modelo de Ulrich e Eppinger (2004) no qual define-se a estrutura funcional do modelo, os princípios de solução para os mesmos e as alternativas de solução. Desenvolvida esta seqüência é, então, estabelecida a arquitetura do produto (Figura 2.3).

A partir desta atividade de definição da arquitetura do produto inicia-se a análise de sistemas, subsistemas e componentes, a definição de fornecedores, parâmetros de estética do produto e aspectos de ergonomia e estática do produto. Ao término destas atividade se realiza a seleção das concepções alternativas.

Ao se desdobrar as atividades de modelagem funcional, desenvolvimento dos princípios de solução, desenvolvimento das alternativas de solução e definição da arquitetura do produto tem-se as tarefas apresentadas na Figura 5.1.

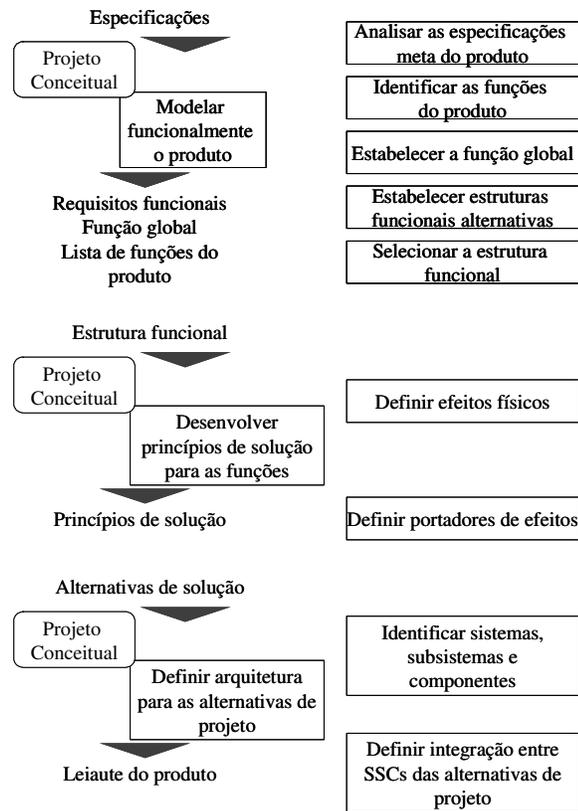


Figura 5.1: Desdobramento das atividades de modelagem funcional, Desenvolvimento dos princípios de solução e Definição da arquitetura do produto (Rozenfel et al, 2006).

Com base na Figura 5.1 pode-se perceber que a atividade de modelagem funcional não tem ligação com a atividade de definição da arquitetura do produto. Outra observação que pode ser feita é que a definição da arquitetura do produto é realizada apenas depois da definição dos princípios de solução. Isto implica dizer que a definição da arquitetura se dá apenas depois de ser definida a forma do produto. Esta constatação indica que o modelo de Rozenfeld et al (2006) define as interfaces do produto apenas depois de definir os princípios de solução que cumprem as funções do produto e não juntamente com os mesmos.

A definição da arquitetura dissociada da estruturação funcional do produto também pode ser considerada um contra-senso, uma vez que a definição de arquitetura segundo os autores é “o esquema pelo qual os elementos funcionais do produto são arranjados em partes físicas e como essas partes interagem” (p.239). Isto implica dizer que existe a possibilidade de se mapear as interações entre os elementos funcionais e definir seu arranjo para então definir a

sua forma física, ou seja, a definição da arquitetura do produto pode iniciar na fase de estruturação funcional do produto o que propicia uma maior integração entre os módulos e um melhor detalhamento dos fluxos de energia, material e sinal do produto. Isto, por sua vez, permitiria uma arquitetura mais consistente, podendo considerar as interfaces ainda no nível abstrato do projeto.

Esta possibilidade permite uma visualização mais completa do produto e permite, como dito no capítulo anterior que se observem aspectos de definição do projeto do processo ainda na fase conceitual do projeto do produto. A importância de se ter esta definição na fase abstrata do produto é ressaltada pelos autores quando apontam que as fases iniciais do desenvolvimento do projeto comprometem 80 a 90% do custo final do produto.

Outra limitação do modelo é a falta de informações a respeito do projeto das interfaces. Os autores apontam que é possível a utilização da Matriz de Interfaces de Erixon et al (1996) (Figura 3.13) mas não dizem como estabelecer as interfaces propriamente ditas. Esta limitação acaba por criar lacunas no desenvolvimento e avaliação das concepções de uma forma mais completa. Assim, a seleção das concepções torna-se sujeita a incertezas e à subjetividade da equipe de projeto.

A partir das considerações realizadas neste tópico do trabalho, apresentar-se-á, a seguir, modificações, a partir do modelo de referência, para a realização do desenvolvimento das interfaces do produto e suas conseqüências para o desenvolvimento do restante do projeto.

5.3. Modificações sugeridas no modelo de referência

Considerando as limitações do modelo de referência apresentadas, neste item far-se-á a descrição das modificações propostas. Como dito anteriormente, as alterações buscam preencher aquelas limitações apontadas.

As alterações serão apresentadas seguindo a seqüência do modelo, iniciando-se na fase de projeto informacional, partindo para a fase conceitual e finalizando na fase de projeto detalhado. Esta apresentação procurará traçar um paralelo entre os modelos ressaltando as vantagens das mudanças propostas.

5.4. Projeto informacional

A primeira alteração sugerida diz respeito ao projeto informacional. Nele serão adicionadas as atividades de Levantamento de requisitos de interfaces e de Definição das

especificações de interfaces. Estas atividades procuram identificar as informações relevantes para a definição das interfaces do produto.

5.4.1. Levantamento dos requisitos para o projeto de interfaces

A primeira atividade do projeto das interfaces do produto é o levantamento dos requisitos para o projeto destas interfaces. As entradas e saídas desta atividade, bem como as ferramentas associadas a mesma estão representados na Figura 5.2.

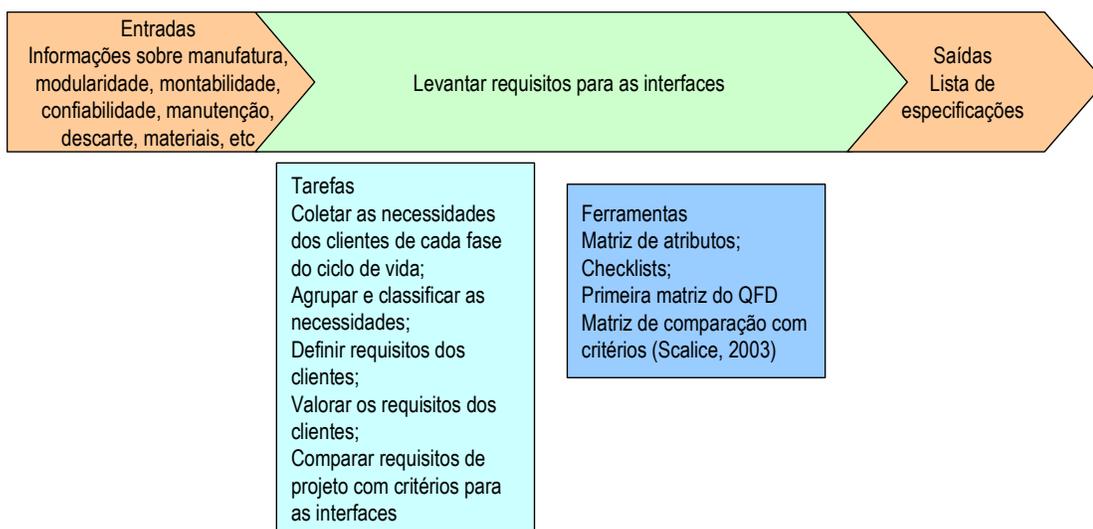


Figura 5.2: Atividade de levantamento dos requisitos para o projeto das interfaces.

A etapa de levantamento dos requisitos de interfaces, na verdade, nada mais é que uma extensão do levantamento dos requisitos do projeto de produto, não dispensando um esforço adicional pela equipe de projeto.

Depois de levantados os requisitos para o projeto de interfaces, é feita a definição das especificações para o projeto das mesmas.

5.4.2. Definição das especificações para o projeto das interfaces

A atividade de definição das especificações para o projeto de interfaces é realizada pela comparação das especificações de projeto do produto com os valores a elas atribuídos pelo QFD, com os critérios de interfaces adotados por Scalice (2003, Tabela 3.1). Essa comparação é feita por meio de uma ferramenta chamada de Matriz de definição das especificações das interfaces do produto (Tabela 5.1). São então relacionados estes

parâmetros do produto e mensurados conforme o grau de importância do cliente. Essa mensuração é avaliada de acordo com os relacionamentos existentes entre os mesmos e é feito um somatório levando-se em conta o Peso das Especificações resultante do QFD. Dessa forma, pode-se hierarquizar tanto as especificações de projeto como os critérios para a definição das interfaces.

Tabela 5.1: Tabela de comparação entre requisitos de projeto e critérios de interfaces.

| Requisitos Critérios | Peso das especificações | Estanqueidade | Intercambiabilidade | Montabilidade | Desmontabilidade | Geometria | Material | Forças, energias e movimentos | Produção | Segurança e ergonomia | Custo | Manutenção | Somatório |
|-------------------------|-------------------------|---------------|---------------------|---------------|------------------|-----------|----------|-------------------------------|----------|-----------------------|-------|------------|-------------|
| Requisito 1 | V1 | n* | | | | | N | | | | | | $\sum V1*n$ |
| Requisito 2 | V2 | | | | | n | | | n | | | | $\sum V2*n$ |
| Requisito 3 | V3 | | n | | | | | | | n | | | $\sum V3*n$ |
| ... | | | | | | | | | | | n | | ... |
| Requisito n | Vn | | | | | | | | | | | | $\sum Vn*n$ |
| Somatório | | $\sum Vn*n$ | | | | | | | | | | | |

No caso de haver relação entre o requisito de projeto e o critério de interface deve-se colocar um valor numérico a ser definido pelo projetista. Este valor numérico multiplicado pelo peso do requisito aponta o grau de importância do critério para o projeto das interfaces. Ao mesmo tempo pode-se analisar o grau de importância dos requisitos de projeto para o projeto das interfaces diferenciando os mesmos da classificação dada pelo QFD que considera a classificação para o projeto de produto como um todo.

A partir desta tabela estabelece-se que as especificações de projeto das interfaces diferenciam-se das especificações de projeto do produto como um todo pela sua especificidade.

Esta atividade está representada na Figura 5.3.



Figura 5.3: Atividade de definição das especificações para o projeto das interfaces.

Assim, o projeto informacional passa a ter mais duas atividades executadas conforme a Figura 5.4.

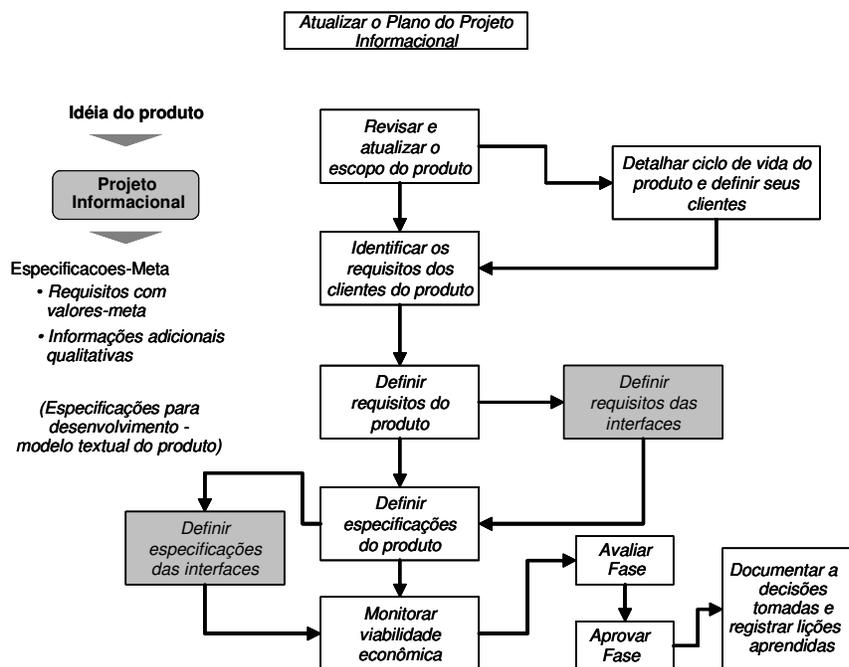


Figura 5.4: Projeto informacional alterado a partir do modelo de referência (modificado a partir de Rozenfeld et al, 2006, p. 212)

Definidas as especificações de projeto das interfaces, inicia-se a fase conceitual de projeto de produto.

5.5. Projeto conceitual

O projeto conceitual é a fase do projeto onde são propostas as maiores modificações em relação ao modelo de referência. Isto porque é nesta fase que é realizada a efetiva definição da forma do produto. Também é nela que serão definidos os parâmetros principais do projeto do produto que são a arquitetura e a forma do produto.

A primeira modificação diz respeito à estrutura do projeto conceitual. Ao invés da estrutura apresentada na Figura 2.3, a estrutura do projeto conceitual tomará a forma da Figura 5.5.

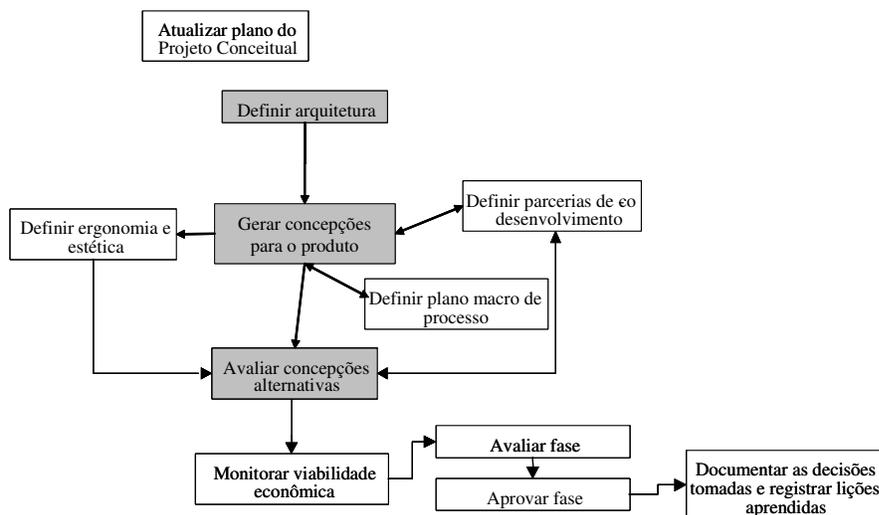


Figura 5.5: Projeto conceitual alterado a partir do modelo de referência (modificado a partir de Rozenfeld et al, 2006, p. 236)

Na Figura 5.5 encontra-se a versão do projeto conceitual modificada. Nesta configuração do modelo a primeira etapa estabelecida passa a ser a Definição da arquitetura do produto. Isto porque o entendimento de arquitetura do produto que assume-se neste trabalho é o de que a arquitetura é formada tanto pela estrutura funcional do produto como pela definição de possíveis agrupamentos funcionais sendo a forma do produto estabelecida pelas concepções.

Depois de definida a arquitetura do produto passa-se a gerar concepções para o produto, bem como definir parcerias de co-desenvolvimento, definir o plano macro do processo e definir aspectos de ergonomia e estética.

Após a etapa de geração das concepções para o produto, se faz a avaliação das concepções alternativas. Esta é feita com base em métricas de montabilidade, confiabilidade e manufaturabilidade além da funcionalidade do produto.

Estas etapas que foram modificadas serão detalhadas a seguir.

5.5.1. Definição da arquitetura do produto

Conforme mostrado na Figura 5.5, a primeira etapa após o projeto informacional é a definição da arquitetura do produto. Esta etapa, na realidade, inicia-se ainda na fase de planejamento do projeto. Isto porque, como dito anteriormente, o projeto de interfaces inicia-se no pré-desenvolvimento do produto com a definição das estratégias de desenvolvimento a serem utilizadas pela empresa. Nessa fase são tomadas decisões de cunho mais gerencial como a definição da forma de gerenciamento do projeto, elaboração dos planejamentos de

tempo e recursos, bem como a elaboração da pesquisa de marketing a respeito do produto a ser desenvolvido. Também como entrada desta etapa tem-se as Especificações de projeto do produto as quais foram definidas na fase de projeto informacional e apontam as diretrizes para o restante do projeto do produto.

Ericsson e Erixon (1999) reconhecem a importância de uma etapa para o projeto de interfaces mas não apresentam uma ferramenta para tal.

Sem o suporte necessário os engenheiros olham para as interfaces sob a ótica de suas experiências específicas o que não é suficientemente geral e pode levar a fronteiras entre módulos excessivamente complexas.

Métodos existentes usam avaliações subjetivas de atributos qualitativos para identificar módulos e para avaliar diferentes arquiteturas.

Muitas decisões dependem do projetista o que afeta a repetibilidade do método.

A avaliação da arquitetura depende de diversos fatores como a facilidade de atualizações, facilidade de suporte de variantes, facilidade de projeto, capacidade de fornecedores (Mikkola, 2000; Camuffo, 2001) e suporte da manufatura (Ericsson e Erixon, 1999). Um importante fator é a dificuldade de reprojeter sem interferir nas interfaces e no restante do produto.

Não há meios na literatura para comparar tipos de interação entre componentes para avaliar fronteiras entre módulos. Assim, um dos pontos de partida é a definição do tipo de arquitetura do produto.

Esta definição é considerada uma etapa do projeto conceitual. Isto porque depende, como mostrado anteriormente, de diferentes tipos de informação. Assim, a etapa de definição da arquitetura do produto foi separada em diferentes atividades as quais estão representadas na Figura 5.6.

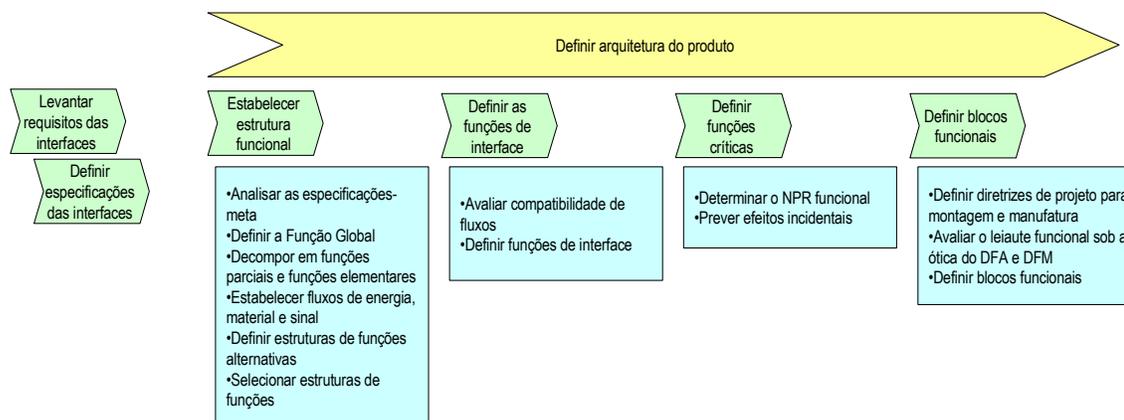


Figura 5.6: Etapa de Definição da arquitetura do produto e seus desdobramentos.

No modelo proposto houve uma modificação quanto a forma de definição da arquitetura do produto. Como visto na Figura 5.5 esta etapa passa a ser a primeira da fase de projeto conceitual e passa a englobar as etapas de modelagem funcional do produto.

Além disso, são acrescentadas outras atividades que são, por sua vez, a definição das funções de interface, a definição das funções críticas e a definição dos agrupamentos funcionais.

Estas atividades possuem a característica de interdependência mútua e que não implica numa seqüencialidade de aplicação das mesmas, podendo estas serem aplicadas e readequadas conforme os resultados das outras atividades.

Dessa forma, a seguir estarão descritas as atividades que compõem esta etapa do modelo proposto.

5.5.1.1. Estabelecimento da estrutura funcional

O estabelecimento da estrutura funcional diz respeito a forma como as diferentes funções, as quais o produto deve desempenhar, são distribuídas de modo a atingir as especificações-meta propostas para o mesmo. A definição da estrutura funcional nada mais é que a modelagem funcional do produto.

Assim, para executar esta atividade, procurou-se dividi-la em tarefas a serem desenvolvidas. Estas tarefas encontram-se explicitadas nas Figuras 5.6 e 5.7 e descritas mais detalhadamente em Rozenfeld et al (2006).

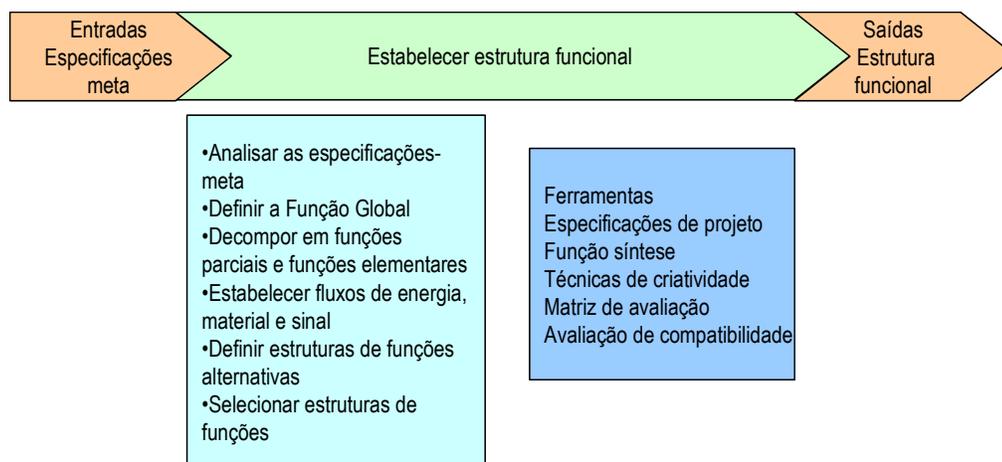


Figura 5.7: Definição da estrutura funcional

O processo de estabelecimento das estruturas funcionais do produto tem como entrada a lista das especificações meta do produto e como saída a Estrutura funcional do mesmo. Para

o procedimento de estruturação funcional do produto deve-se, inicialmente, analisar as especificações meta para o produto. A seguir desenvolve-se a modelagem funcional. Esta é derivada da metodologia apresentada por Rozenfeld et al (2006) e diz respeito à definição da Função Global do produto – à qual, segundo Pahl et al (2005), é obtida pela tradução dos requisitos de um sistema em uma definição da tarefa global a ser executada, apontando, por meio de um diagrama de blocos, a inter-relação entre variáveis de entrada e de saída do sistema – e o desdobramento desta Função Global em Funções Parciais e Elementares, gerando, assim, a estrutura de funções para o produto.

Este desdobramento está inserido dentro da ferramenta denominada de Função Síntese. Concluído este desdobramento, são estabelecidos os fluxos de energia, material e sinal.

Depois de estabelecidos as funções elementares e os fluxos envolvidos, é realizada a criação de estruturas funcionais alternativas. Estas buscam definir uma nova estrutura de distribuição funcional para o produto. Para tanto, são utilizadas técnicas de criatividade como suporte para este estabelecimento.

Por fim, para a definição de qual a estrutura funcional de produto a ser utilizada, é feito um processo de seleção da melhor função. Para a avaliação das estruturas pode-se utilizar a matriz de avaliação de Pugh (1991). Esta se baseia nas especificações meta para valorar as estruturas funcionais.

Por esta atividade já ser descrita em Rozenfeld et al (2006), não serão dispendidas explicações mais aprofundadas a seu respeito. Assim, a seguir será descrita a próxima atividade do modelo.

5.5.1.2. Definição das funções de interface

O levantamento das interfaces do produto inicia-se na fase de desenvolvimento com o projeto informacional. Este busca levantar as necessidades dos clientes e elaborar a lista de requisitos dos clientes. Nesta lista de requisitos procura-se estabelecer os requisitos dos clientes de todas as fases do ciclo de vida do produto. Para o desenvolvimento das interfaces pode-se levantar os requisitos necessários a partir de informações de montagem, modularidade, manufatura, confiabilidade, manutenção, descarte, materiais, entre outros. Estas informações servem de entrada para a elaboração dos requisitos para os projetos de interfaces.

Esta atividade é estruturada conforme a Figura 5.8.

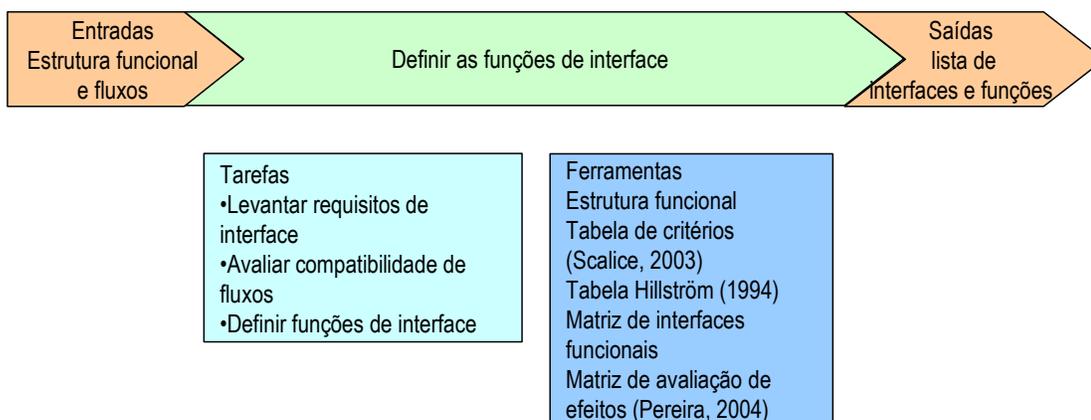


Figura 5.8: Atividade de definição das funções de interface.

Esta atividade é dividida em três tarefas. A primeira diz respeito ao levantamento dos requisitos para o projeto das interfaces. A definição dos requisitos que deverão ser levados em conta na definição das interfaces é feita pela comparação dos requisitos levantados para o produto com a lista de critérios de comparação entre interfaces apresentada por Scalice (2003) (Quadro 3.1).

Além dos critérios apontados na tabela, Blackenfelt (2001), Erixon (1998) e Ulrich (1995), sob a ótica dos produtos modulares, colocam como requisitos para interfaces que estas devem ser padronizadas e bem-definidas. Padronizadas quando a variedade é a principal razão da modularização, ou seja, deve ser comum a diferentes módulos. Bem-definidas e especificadas de modo a fazer o produto funcionar da forma correta e evitar ambigüidades (montagem e funcionamento) (p.36).

Para Smith e Reinertsen (1995) apud Blackenfelt (2001), as interfaces devem ser simples, suportar a variedade e ser definidas no início do processo de projeto. Ulrich (1995) aponta ainda que estas devem ser desacopladas, ou seja, independentes e não ter sensibilidade à mudanças.

Também devem ser levadas em conta as características do tipo de arquitetura para o produto. Isto se dá pela consideração dos requisitos levantados na fase de projeto informacional. Estas características encontram-se listadas na Tabela 5.2.

Outro ponto relevante para a definição da arquitetura do produto é a estruturação funcional do mesmo. Pela própria distribuição da estrutura funcional pode-se chegar à conclusão de que a arquitetura do produto ou pelo menos parte dela deve ser modular ou integralizada. Assim, deve-se fazer uma análise crítica da mesma de forma a se estabelecer a distribuição das funções do produto.

A segunda tarefa desta atividade é a avaliação da compatibilidade de fluxos. Esta se dá pela determinação das interações e das interfaces funcionais. Para tanto, deve-se considerar os

fluxos de energia, material e sinal existentes entre elas. Ao perpassarem uma função pelo menos um destes fluxos deve sofrer transformações, pois, o conceito de função está associado ao processo de transformação de algum dos elementos do sistema. Assim, pode ocorrer de um determinado tipo de fluxo atravessar uma função sem sofrer alterações conforme a Figura 5.9.



Figura 5.9: Fluxos de energia, material e informação.

Detalhados os fluxos, é necessário que se faça a determinação de compatibilidades entre as diferentes funções tomando-se como base os fluxos e as interações. Esta verificação pode ser feita por observação direta em sistemas mais simples ou com o auxílio de uma matriz de compatibilidade funcional (Figura 5.10) adaptada de Pereira (2004), no caso de produtos de maior complexidade. A matriz de compatibilidade funcional deve considerar a posição de cada função na EF e também se há uma continuidade do fluxo entre as funções. Estas características podem ser avaliadas segundo as perguntas:

1 – Há interação entre as funções? Caso a resposta seja afirmativa, deve-se apontar a existência de ligação entre as funções respondendo-se as próximas questões. Caso a resposta seja negativa deve-se passar para o próximo par de combinação;

2 – Esta função provoca transformação em quais elementos? A resposta deve englobar pelo menos um dos elementos de fluxo.

3 – Existe uma continuidade no fluxo ou na transformação de fluxo de algum dos elementos no percurso da estrutura funcional? Caso a resposta seja afirmativa pode-se pensar no agrupamento das funções nas quais este fato é constatado em módulos, por exemplo.

4 – Existe compatibilidade entre as entradas e saídas de cada uma das funções analisadas?

5 – É possível agrupar estas funções de modo a criar um módulo funcional para as mesmas?

| | Entradas | Saídas | |
|----------|----------|--------|--|
| Função 1 | | | |
| Função 2 | | | |
| Função 3 | | | |
| Função 4 | | | |
| Função N | | | |

Figura 5.10: Matriz de comparação de interfaces.

Nesta matriz são colocadas as funções elementares levantadas, suas respectivas entradas e saídas (material, energia e sinal) e são feitos os inter-relacionamentos entre as funções. Com isso, pode-se verificar a existência de compatibilidades entre as funções.

Este mapeamento proporciona uma visualização mais completa do produto como um todo. Assim, pode-se levantar as funções de interface.

A definição das funções das interfaces, por sua vez, pode ser derivada do trabalho de Hilström (1994). Nele o autor aponta que as interfaces podem ser classificadas em um dos tipos abaixo os quais são complementados por Scalice (2003):

- Transmitir energia: agrupa as diferentes possibilidades de trocas energias mecânicas (forças, movimentos, etc.), eletromagnéticas (ondas, eletricidade, etc.) ou de quaisquer outras fontes.
- Providenciar suporte: relacionado à existência de apoios, temporários ou permanentes, entre módulos.
- Localizar o componente na montagem: relacionados a execução da montagem dos módulos do produto entre si.
- Providenciar a localização para outros componentes na montagem: ligado à montagem do produto ou de seus módulos com outros componentes pertencentes a outros sistemas.
- Transmitir informação: relacionado a interações cognitivas entre módulo-usuário (sinais visuais, táteis, etc.) e algumas possibilidades de trocas entre módulo-módulo (a exemplo do uso de sensores).

Também pode-se acrescentar que existem outras funções realizadas por uma interface. São elas o isolamento de um elemento em relação a outro – quando um determinado fluxo não deve ser passado de um componente a outro -, a transmissão de informações – não é só força e energia que pode ser transmitida de um elemento a outro, amortização – quando é necessário implementar um sistema que amortize efeitos incidentais provindos de outras funções.

Outro aspecto relevante diz respeito ao tipo de interface. Este irá variar com a função do produto, os requisitos levantados e as funções as quais as interfaces deverão atender. Sanchez (1999) aponta uma lista de tipos de interface com suas características. Esta lista é corroborada por Persson (2004).

- interfaces de montagem - definem como um componente é acoplado fisicamente a outro.
- interfaces espaciais - definem o espaço físico (dimensão e posição) que um componente ocupa em relação a outros componentes.

- interfaces de transferência - definem o meio pelo qual um componente transfere energia de qualquer tipo a outro.
- interfaces de controle e comunicação - definem o meio pelo qual um componente informa a outro seu estado atual e o meio pelo qual outros componentes comunicam um sinal para mudar o componente original do seu estado atual.
- interfaces de ambiente - definem os efeitos, normalmente não intencionais, cuja presença ou funcionamento de um componente possa ter no funcionamento de outros.
- interfaces do ambiente de trabalho - definem a amplitude das condições do ambiente de utilização no qual um componente deve funcionar.
- interfaces com o usuário - definem os meios específicos pelos quais os usuários interagirão com um produto.

A partir do acima exposto, percebe-se que deve-se fazer um mapeamento de funções de interface entre as funções para o produto. Este mapeamento deve levar em conta os fluxos de energia, material e sinal, bem como a possível distribuição espacial dos elementos funcionais. Aspectos específicos do tipo de produto em desenvolvimento também devem ser considerados na definição dos requisitos das interfaces.

Como saída desta atividade, tem-se uma lista completa de funções, compatibilidades e efeitos relacionados às interfaces.

5.5.1.3. Definição das funções críticas

Depois de levantadas estas compatibilidades, é feito um levantamento das funções críticas do produto (Figura 5.11). Este levantamento é realizado pela utilização do FMEA contínuo apresentado por Andrade e Forcellini (2007).

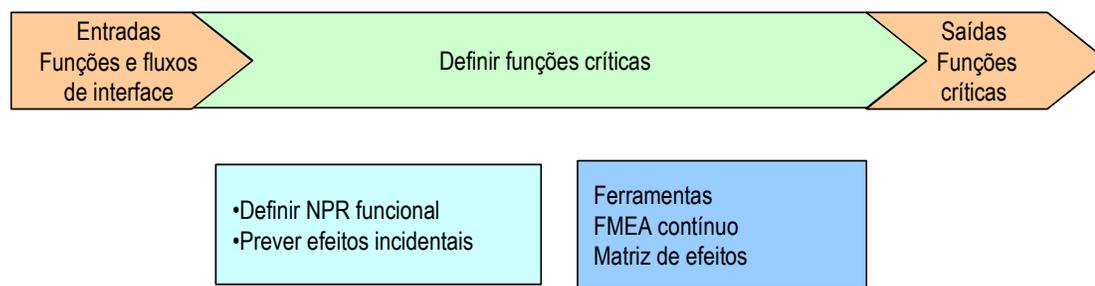


Figura 5.11: Atividade de Definição das funções críticas

Realizado o levantamento das funções críticas, realiza-se um estudo sobre a possibilidade de se criar grupos funcionais tomando como núcleo as funções críticas do sistema. Isto vai ao encontro da afirmação de Ullman (2003) o qual diz que o desenvolvimento da concepção deve ser feito a partir das funções críticas.

Feito o levantamento das funções críticas do produto, parte-se para a próxima tarefa que é a aplicação do DFA e DFM funcionais.

5.5.1.4. Definição dos blocos funcionais

A atividade seguinte do processo de definição da arquitetura do produto é a aplicação dos métodos de DFA e DFM na estrutura funcional do produto. Estes métodos são aplicados a partir das diretrizes de DFA e DFM apontadas por Edwards (2002). Estas diretrizes usam como base de aplicação as informações de fluxos e de interfaces levantadas até o momento e buscam conectar as funções de modo a já fazer um pré-desenvolvimento das estruturas funcionais. A representação desta atividade é apontada na Figura 5.12.

Assim, as tarefas a serem desenvolvidas são: o estabelecimento das diretrizes a serem utilizadas para avaliação do leiaute funcional do mesmo, a avaliação propriamente dita e a definição dos blocos funcionais.

Como dito anteriormente, as duas primeiras tarefas são a escolha e utilização daquelas diretrizes, o que depende das informações existentes até o momento e das especificações – meta do projeto. Uma ferramenta que pode auxiliar nestas tarefas é a matriz de Erixon et al (1996) com um viés mais funcional. Sendo que as informações de fluxo e forma existentes auxiliam nestas definições.

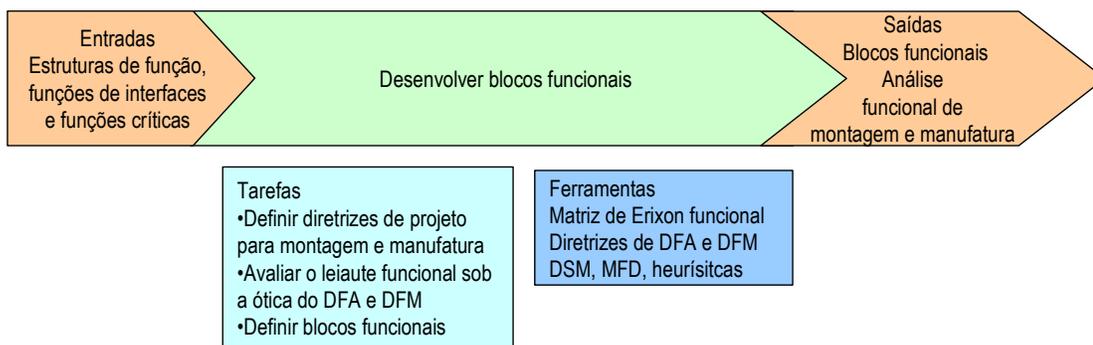


Figura 5.12: Tarefa de desenvolvimento dos blocos funcionais.

Para a elaboração dos grupos funcionais pode-se utilizar a ferramenta da matriz de estrutura do projeto (Design Structure Matrix – DSM) Kusiak e Szczerbicki (1993) e Pimmler e Eppinger (1994) a qual identifica os grupos interdependentes, o método das heurísticas de projeto apresentado por Stone, Otto e Wood (2001), ou mesmo o desdobramento da função

modularidade (Modular Function Deployment – MFD) proposto por Ericsson e Erixon (1998) pela utilização da Matriz de integração de módulos (MIM).

Isto depende fundamentalmente de como as funções do produto estarão distribuídas e das especificações levantadas até o momento.

É importante ressaltar que Malloy (1994) apud Siqueira (2001) aponta que, para a seleção de uniões de componentes de plástico injetados, deve-se considerar aspectos de fabricação, estéticos, ambientais, estruturais, custos, materiais e funcionalidade. Analisando estes requisitos pode-se perceber que os mesmos podem ser generalizados para outros domínios.

O intuito destas técnicas é mapear as interdependências entre as funções e agrupar o produto em módulos, entretanto, a própria forma de agrupamento pode permitir que estes módulos, internamente possuam uma arquitetura integral. Isto porque, conforme apontado no capítulo anterior, muitas técnicas de modularização preocupam-se em agrupar um conjunto de componentes em módulos e nada dizem a respeito da constituição intra-modular.

Como saída desta atividade tem-se os possíveis agrupamentos funcionais, os quais podem representar possíveis módulos construtivos. Nesta etapa pode-se avaliar os agrupamentos segundo suas características funcionais. Ulrich e Eppinger (2004) apontam que o agrupamento deve considerar:

- Integração geométrica e de precisão;
- Compartilhamento de funções;
- Capacidade dos fornecedores;
- Similaridade de tecnologia de projeto ou produção;
- Localização da mudança;
- Acomodação da variedade;
- Possibilidade de padronização;
- Portabilidade das interfaces.

Além disso, deve-se avaliar o acoplamento funcional e a intercambiabilidade dos módulos.

Por meio desta análise pode-se tomar a decisão sobre utilizar uma arquitetura integral ou modular dentro dos agrupamentos funcionais. Isto porque, pelas características apresentadas por estes e por suas interfaces pode-se avaliar qual a melhor arquitetura intra e inter-agrupamentos.

A seguir é tomada a decisão sobre a modularização ou integralização do sistema como um todo. Esta decisão deve ser tomada com base nos resultados da atividade anterior, e em critérios de estratégia da empresa. As características levantadas para um produto modular

estão relacionadas a diversos aspectos do ciclo de vida do produto (Ishii, 1998; Gershenson et al, 1999; Newcomb et al, 1998; Kusiak e Huang, 1996). Elas vão desde o projeto – onde, conforme a estratégia da empresa, pode-se desenvolver um produto modular ou uma família de produtos que utilizam módulos similares com diferentes configurações (Jiao et al, 2006) –, processo – no qual a padronização dos módulos provoca uma redução na variedade de processos, aumento do número de itens similares, e redução nos custos de produção (Hashemian, 2005) –, montagem – pela padronização das interfaces entre os módulos acaba-se por reduzir-se número de operações, tempos e custos de montagem (Whitney, 2003) –, uso - onde pode-se não ter uma performance melhor que um produto de arquitetura integral mas, devido às características dos produtos modulares que enfatizam a intercambiabilidade acaba que este tipo de arquitetura torna-se mais amigável do ponto de vista de reparo, manutenção e descarte como citado anteriormente, também em relação a reciclabilidade do produto – onde a característica de fácil desmontabilidade, padronização e intercambiabilidade tornam o produto mais propenso a reutilização de componentes. Também pode-se destacar a customização do produto.

Depois de feita a escolha do tipo de arquitetura empregado passa-se a definição dos princípios de solução para o produto e suas interfaces.

5.5.2. Gerar concepções para o produto

A segunda etapa da fase de projeto conceitual é a passagem do campo abstrato para o campo físico do projeto de produto. Esta passagem se dá de forma a gerar o maior número possível de conceitos para definir soluções inovadoras para o produto. Apesar de a arquitetura do produto estar definida na etapa anterior, a definição das concepções pode ser o passo mais importante na definição de como o problema de projeto será solucionado.

Esta etapa é composta pelas atividades e tarefas mostradas na Figura 5.13.

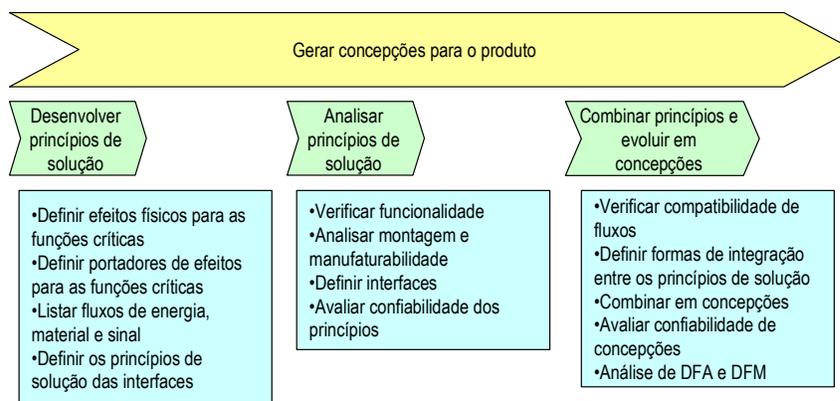


Figura 5.13: Etapa de geração de concepções para o produto

5.5.2.1. Desenvolver princípios de solução

O desenvolvimento de princípios de solução baseia-se no modelo apresentado por Pahl e Beitz (1996). Este modelo parte da montagem da matriz morfológica do produto Figura 5.14.

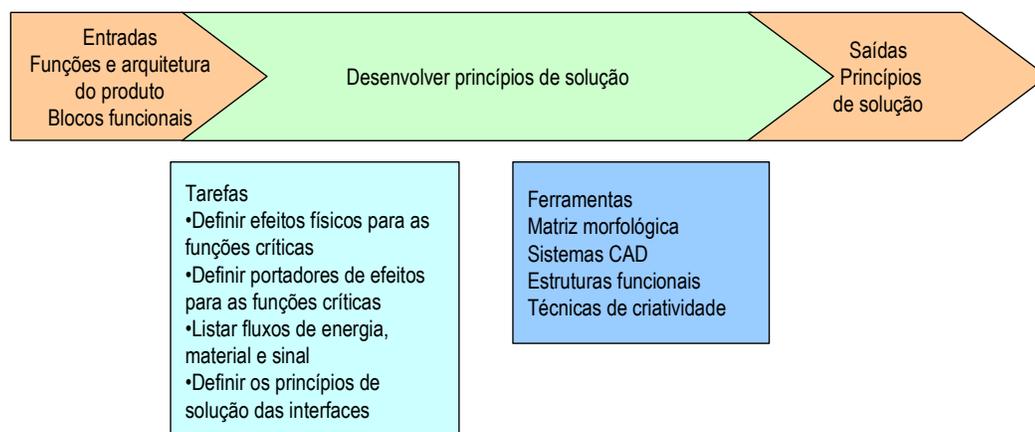


Figura 5.14: Atividade de desenvolvimento dos princípios de solução.

Para tanto, deve-se considerar o esquema de criação de princípios de solução mostrado por Gomes Ferreira (1997), mostrado na Figura 5.15. Nele o autor coloca que a ordem de criação do princípio de solução deve partir da função a ser atendida, definir o efeito físico desejado, determinar um portador de efeito e então gerar um princípio de solução para este portador.

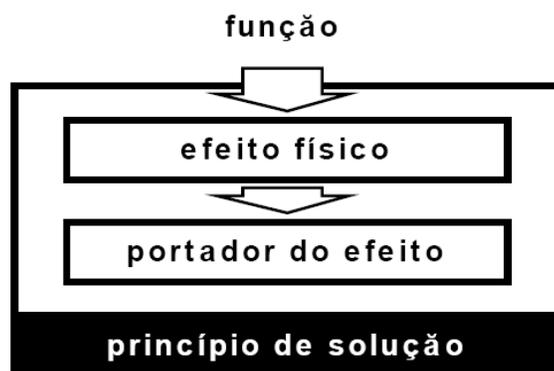


Figura 5.15: Desenvolvimento de princípio de solução (Gomes Ferreira, 1997).

Para esta tarefa é utilizada a ferramenta da matriz morfológica proposta por Dreiholz (1975) apud Pahl e Beitz (1996), Quadro 1.2. A geração de conceitos é estabelecida considerando-se as funções elementares e as funções de interface. Assim, listam-se as funções

na primeira coluna da matriz e os princípios de solução nas colunas restantes. No caso desta metodologia procurar-se-á colocar as funções que possuem interfaceamento (o qual foi levantado na matriz de compatibilidade funcional) agrupadas, conforme indicação da MIM, por exemplo, e Menegatti (2004), ou seja, em blocos funcionais. Também deverá se considerar a possibilidade de integralização de princípios, ou seja, não tornar os princípios e as funções com uma relação de um-para-um (Figura 2.6).

Neste estágio de geração dos princípios de solução, indica-se a utilização de modelos feitos em CAD de forma a obter-se uma visão mais completa dos princípios bem como da necessidade de componentes específicos para posterior análise.

Como saída desta tarefa obtém-se a matriz morfológica montada com os princípios de solução modelados em CAD e também com os fluxos detalhados na própria matriz.

5.5.2.2. Analisar princípios de solução

Depois de criados os princípios de solução, é necessário realizar uma análise de compatibilidade entre princípios. Esta análise deverá ser feita considerando-se aspectos de restrição para a definição das interfaces. Estas restrições são apontadas por Gomes Ferreira (1997) o qual aponta que estas podem ser Restrições de uso, funcionais, financeiras, legais, de normalização e de operação importantes.

Sozo (2002), por sua vez, diz que existem dois tipos de restrições: restrições de projeto, as quais são restrições estabelecidas como especificações de projeto e restrições do meio, as quais são impostas pelo sistema onde a solução de projeto irá operar. As restrições de projeto são normalmente expressas como limites em dimensões, pesos, materiais e custo. As restrições do meio refletem as capacidades de máquinas e leis da natureza.

Também devem ser considerados os princípios físicos associados aos princípios de solução. Os princípios físicos devem considerar as variáveis envolvidas em cada princípio de solução e nos fluxos de energia, material e sinal de forma a verificar a compatibilidade entre os diversos princípios.

Com base nesta análise, pode-se descartar uma série de combinações de princípios o que facilita o trabalho do projetista na definição e desenvolvimento das concepções. Andrade (2003), por exemplo, propôs um sistema especialista que busca estabelecer a compatibilidade de princípios para um sistema de adubação de precisão (Menegatti, 2004) em termos dos requisitos físicos e construtivos do produto. Esta visão poderia ser implementada em termos de princípios físicos e restrições de projeto.

A consideração dos graus de liberdade (DOFs) envolvidos também torna-se importante para a definição das interfaces mais adequadas para cada princípio de solução. Isto porque pode-se avaliar a montagem dos princípios de solução e utilizar esta medida como base para a escolha dos melhores princípios para o produto. Além disso, segundo Ullman (2003):

as conexões determinam diretamente os graus de liberdade entre os componentes e cada interface deve ser pensada como restringindo algum ou todos esses graus de liberdade. Fundamentalmente, toda conexão entre dois componentes tem seis graus de liberdade – três translações e três rotações. É o projeto das conexões que determina quantos DOF o produto final terá. Não entender as conexões como restritoras de DOF resultará num comportamento imprevisível. Deve-se, portanto, determinar quanto um componente deve ser restringido, e restringi-lo exatamente aquela quantidade.

Pereira (2004) afirma que

o modelo em CAD é o ponto de partida para geração das configurações necessárias. Nele, deverão constar todas as informações relativas ao dimensionamento dos módulos, as restrições nas interfaces, os graus de liberdade e outros dados necessários para a realização de simulações numéricas de características estáticas e dinâmicas tanto do módulo quanto do sistema montado.

Neste sentido, Andrade e Forcellini (2007b) colocam que o desenvolvimento das interfaces no projeto conceitual potencializa o ambiente de engenharia simultânea, uma vez que incorpora informações de projeto do processo para a definição da arquitetura e dos princípios de solução para o produto. Portanto, não apenas informações de montabilidade devem ser consideradas, mas também informações de manufaturabilidade e confiabilidade.

A montagem deve considerar alguns aspectos. Whitney (2000) coloca que um modelo de projeto para montagem deve conter não apenas informações de geometria das peças ou uma lista desestruturada de peças, mas também deve apresentar:

- que peças são interligadas umas com as outras, e por quais features;
- quais features de montagem são definidas como “*mates*” no sentido de serem portadoras de restrições dimensionais;
- que peças estão em quais submontagens e sob quais condições;
- a identificação das features que são possíveis pontos de fixação, ou que são definidas como pontos de fixação ou medição;
- quais peças estão em quais versões do produto;
- onde ou por quem as peças ou submontagens são produzidas.

Cabe ainda ressaltar que o autor aponta que existem dois tipos de conexões entre peças numa montagem: as “*mates*” são conexões que transmitem restrições dimensionais e de localização de uma peça para outra enquanto que os “*contatos*” são todos os outros tipos,

feitos para prover resistência ou reforço mas que não provêm restrições de localização por serem afastamentos, calços, ou elementos estruturais secundários.

Ainda segundo Whitney (2000), pode-se pensar em duas abordagens para o projeto de montagem:

- projetar e alocar as peças em suas posições e orientações relativas no espaço [eg., Shah and Rogers, De Fazio et al, Rocheleau and Lee, Kim and Lee]
- projetar os relacionamentos e interfaces entre peças e submontagens “antecipadas”, e então
- projetar peças específicas que cumprem estes relacionamentos. [e.g., Mäntylä, Eversheim and Baumann, Lee and Gossard].

Outras ferramentas passíveis de utilização nesta etapa são as matrizes propostas por Pereira (2004) e Erixon et al (1996). Isto porque, Pereira (2004) aponta a relevância de se considerar as interações incidentais entre módulos para o desenvolvimento de sistemas de precisão reconfiguráveis. Para tanto, o autor aponta a possibilidade de utilização de uma matriz de avaliação de interfaces onde o projetista deve estabelecer as correlações existentes entre os módulos. Esta ferramenta é muito similar à apresentada por Erixon et al (1996). A diferença entre ambas está em quais parâmetros de avaliação são utilizados pelos autores. Enquanto Pereira (2004) avalia as compatibilidades e interações existentes entre os módulos, Erixon et al (1996) enfatizam a compatibilidade de formas e tempos de montagem (Figura 3.5a e 3.5b).

Neste estágio, é fundamental a geração de modelos para definição de formas e análise de montagens. Estes modelos podem ser desenvolvidos em sistemas CAD. Isto porque, devido ao caráter virtual envolvido nestes modelos, os custos permanecem baixos se comparados com construção de modelos funcionais reais.

Também com base nos modelos virtuais, pode-se fazer uma avaliação da manufaturabilidade das peças. Esta análise se dá com a participação de membros envolvidos diretamente com os processos produtivos e, em determinados domínios, com softwares de simulação, de modo a aproveitar a experiência dessas pessoas no desenvolvimento das concepções.

Como base para estas avaliações Edwards (2002) faz uma síntese das diretrizes para um bom projeto para montagem e manufatura. Segundo o autor, as diretrizes para o projeto para a manufatura e projeto para a montagem encontram-se listados no Quadro 4.1.

Pereira (2004) define que:

Na definição das interfaces, geralmente existem planos de montagem. Assim, um desenho em duas dimensões, com as tolerâncias de posicionamento de elementos de fixação necessários à montagem, pode acompanhar a documentação do módulo. Isto facilitará a vida do projetista

que necessite integrar módulos não compatíveis através de elementos auxiliares de montagem. Estes elementos geralmente devem ser fabricados e a qualidade final da montagem do sistema depende da qualidade de fabricação destes elementos. As interfaces devem garantir a qualidade de montagem dos módulos selecionados para compor o sistema, de acordo com os graus de liberdade previstos e com as soluções cinemáticas encontradas.

Além disso o autor aponta a possibilidade de emprego de Sistemas CAE para simular a ação desses efeitos incidentais e sua influência no comportamento do sistema montado. Nesta etapa podem ser realizadas simulações e análises de diversos tipos. Gomes Ferreira (1997) aponta possíveis ferramentas de modelagem de produtos.

Durante a análise de montabilidade e manufaturabilidade do produto pode-se constatar a necessidade de adicionar componentes para realização das funções de interface. Esta observação é feita por Pereira (2004) o qual aponta que pode ser necessário consultar fabricantes externos ou desenvolver projeto de componentes para compatibilizar diferentes módulos. Assim, obtém-se uma lista de sistemas, subsistemas e componentes completa para o produto (Bill of materials – BOM).

5.5.2.3. Combinar e evoluir em concepções

Com base nas análises realizadas obtém-se uma avaliação sob diferentes óticas dos princípios de solução e, assim, pode-se gerar diferentes concepções para o produto. As informações levantadas em relação à montagem, manufatura e confiabilidade, pode-se assim dizer, que satisfazem boa parte das incertezas no desenvolvimento do produto. Também pode-se perceber que boa parte do projeto de processo de produção das concepções foi avaliado até esta etapa, o que garante um ganho de tempo considerável no *time-to-market*.

Como colocado na atividade anterior, é feita uma combinação dos princípios de solução baseada nas informações e modelos realizados até este momento. Assim, obtém-se resultados mais desenvolvidos e consistentes para a avaliação da melhor concepção para o produto.

Como saídas pode-se listar a Arquitetura do produto com seus SSC's, uma lista de possíveis fornecedores (quando for o caso), dados de processos (manufatura e montagem), dados de manutenção, dados de descarte, entre outros aspectos do ciclo de vida do produto.

5.5.3. Avaliar concepções para o produto

Desenvolvidas as concepções para o produto, parte-se para a etapa de avaliação das concepções. Esta está representada na Figura 5.16.

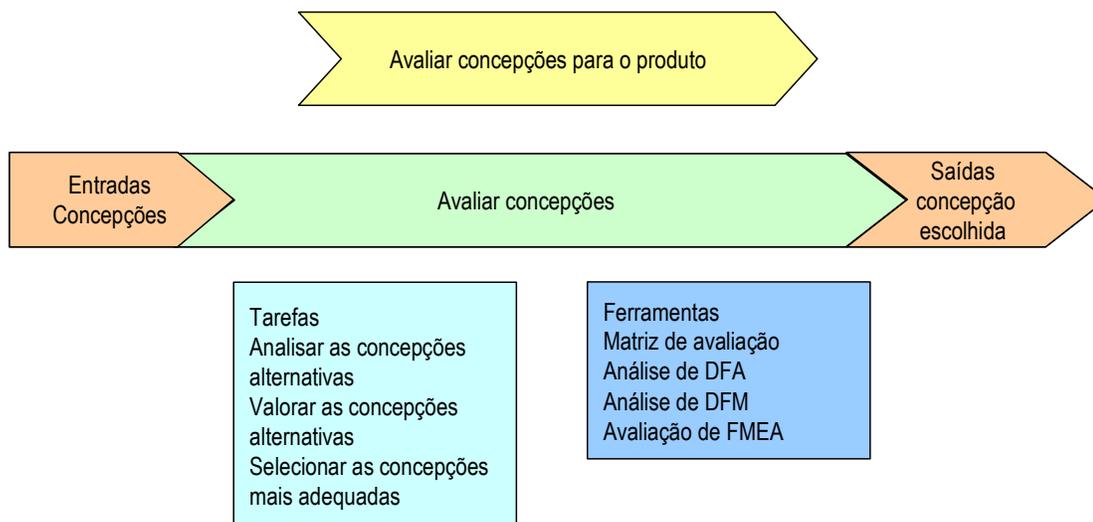


Figura 5.16: Etapa de avaliação das concepções para o produto.

Nesta etapa pode-se aplicar as ferramentas de julgamento apontadas por Reis (2003) (Figura 1.4). Contudo, diferentemente dos modelos consensual e do modelo de Rozenfeld et al (2006), já haverá uma série de informações mais concretas para a avaliação das concepções, o que pode tornar esta etapa mais rápida e menos sujeita a subjetividades.

Dessa forma, as avaliações serão feitas em função do desempenho, fabricação, confiabilidade e montagem do produto o que garantirá uma melhor qualidade do produto final.

Para finalizar a seleção da melhor concepção, ainda pode-se fazer uma avaliação comparativa com as Especificações de projeto por meio da utilização da Matriz de Pugh (1991). Esta matriz já é amplamente utilizada no desenvolvimento de produtos e confere bons resultados na análise de alternativas de concepção baseando-se em critérios de requisitos do cliente.

5.6. Detalhar concepções

Como última etapa da metodologia pode-se apontar o Detalhamento das concepções. Esta etapa já é parte do Projeto Detalhado do produto e consiste em fazer toda a

documentação para a fabricação. As ferramentas para esta atividade já incluem projeto do processo, lista final de peças, fornecedores entre outras. Por não fazer parte do escopo deste trabalho esta etapa não será detalhada.

5.7. Considerações finais

A metodologia proposta apresentada neste capítulo busca olhar de uma forma diferente o desenvolvimento da arquitetura do produto. Isto porque o entendimento de arquitetura apresentado na literatura exclui, de certa forma, o caráter funcional do produto, enfatizando apenas aspectos de montagem e distribuição do mesmo.

Assim, com base em ferramentas e métodos existentes na literatura e em uma lista de especificações para o desenvolvimento desta metodologia, buscou-se apresentar um modelo que utilizasse os recursos existentes e adaptasse algumas ferramentas para o desenvolvimento dessa característica do produto. Todo este trabalho foi desenvolvido com o intuito de se estabelecer um conceito para o produto de modo a reduzir as incertezas e subjetividades na avaliação das concepções de projeto.

Além disso, como resultado desta metodologia pode-se citar que a definição da arquitetura do produto estará baseada em aspectos concretos do desenvolvimento do produto e do processo o que garante uma maior qualidade final do produto e um menor grau de incertezas envolvido.

A partir disso, apresenta-se na Figura 5.17 uma representação esquemática do modelo proposto e no Quadro 5.1 uma síntese do modelo proposto com suas entradas e saídas de cada etapa.

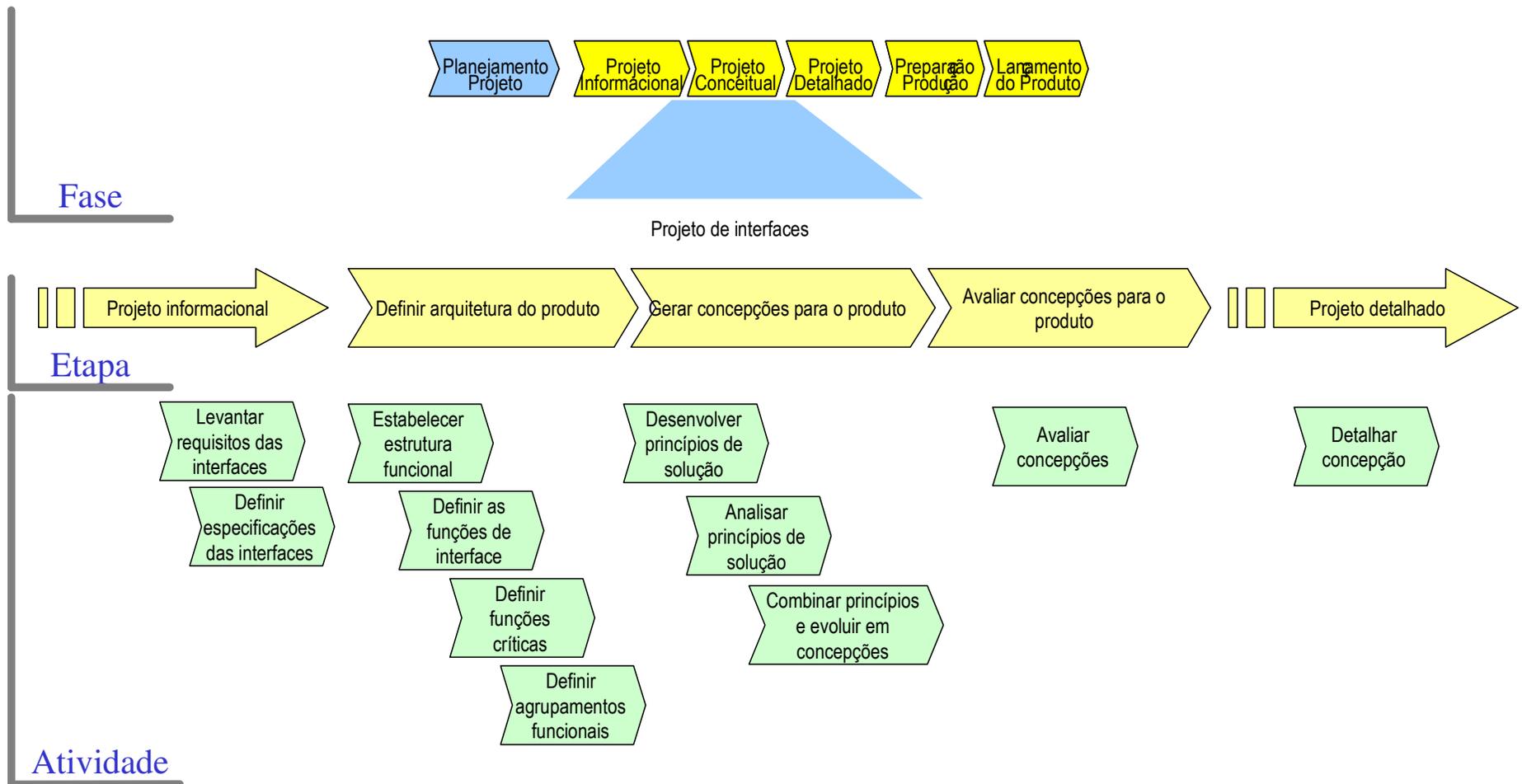


Figura 5.17: Metodologia de projeto de interfaces na fase conceitual

Quadro 5.1: Síntese do modelo de projeto de interfaces na fase conceitual de projeto de produto

| | | |
|---|--|---|
| Atividade – Levantamento dos requisitos das interfaces | | |
| Objetivos: levantar as informações necessárias para o desenvolvimento das interfaces | | |
| Entradas | Ferramentas | Saídas |
| Informações sobre montagem, modularidade, manufatura, confiabilidade, manutenção, descarte, materiais, etc | Questionários Briefing Pesquisa de marketing | Requisitos para o desenvolvimento de interfaces |
| Atividade – Definição das Especificações das interfaces | | |
| Objetivos: Estabelecer metas, de preferência mensuráveis, para o desenvolvimento das interfaces do produto. | | |
| Entradas | Ferramentas | Saídas |
| Requisitos das interfaces | Comparação com critérios QFD | Especificações para interfaces |
| Atividade – Estabelecimento das estruturas funcionais e dos relacionamentos entre funções | | |
| Objetivos: Definir as funções necessárias para o cumprimento da função global do produto e os relacionamentos existentes entre elas. | | |
| Entradas | Ferramentas | Saídas |
| Especificações para interfaces | Função síntese e matriz de relacionamento funcional | Compatibilidade entre funções |
| Atividade – Definição das funções de interface | | |
| Objetivos: Estabelecer as funções das interfaces com base na lista de funções de Hillström (1994). | | |
| Entradas | Ferramentas | Saídas |
| Compatibilidade entre funções | Comparação com a lista de funções de interfaces de Hillström (1994) | Funções de interface para cada interação |
| Atividade – Levantamento dos tipos de função de interface | | |
| Objetivos: Classificar as funções de interface segundo os tipos apontados por Pearsson (2004) | | |
| Entradas | Ferramentas | Saídas |
| Funções de interface para cada interação | | Tipos estabelecidos |
| Atividade – Definição das funções críticas | | |
| Objetivos: Estabelecimento das funções críticas para o desenvolvimento das concepções | | |
| Entradas | Ferramentas | Saídas |
| Tipos estabelecidos | FMEA funcional | Funções críticas para o produto e interfaces |
| Atividade – Definição dos agrupamentos funcionais | | |
| Objetivos: A partir das funções críticas estabelecidas, definir possíveis agrupamentos funcionais. | | |
| Entradas | Ferramentas | Saídas |
| Funções críticas para o produto e interfaces | Método das heurísticas MFD DSM | Grupos funcionais |
| Atividade – Definição do tipo de arquitetura | | |
| Objetivos: Estabelecer a partir dos agrupamentos funcionais e das especificações de projeto qual o melhor tipo de arquitetura para o produto | | |
| Entradas | Ferramentas | Saídas |
| Grupos funcionais | Matriz de modularidade | Tipo de arquitetura definido |
| Atividade – Geração dos Princípios de solução | | |
| Objetivos: localizar e gerar princípios de solução que atendam as funções elementares e de interface para o produto. | | |
| Entradas | Ferramentas | Saídas |
| Tipo de arquitetura definido | Matriz Morfológica | Matriz montada Princípios modelados |
| Atividade – Análise dos Princípios de solução | | |
| Objetivos: Fazer uma avaliação de diferentes pontos-de-vista de modo a facilitar a escolha dos melhores princípios de solução para o produto. | | |
| Entradas | Ferramentas | Saídas |
| Matriz montada Princípios modelados | Confiabilidade (FMEA), restrições, compatibilidade (Matriz de compatibilidade, Verificação dos fluxos), manufaturabilidade (DFM), montabilidade (DFA), efeitos, DOFs | Combinações, concepções, interfaces |
| Atividade – Combinar e evoluir em concepções | | |

| | | |
|--|--|---|
| Objetivos: Definir a partir das análises realizadas, as combinações de princípios de solução e desenvolver as mesmas de modo a definir as formas o mais detalhadas possível. | | |
| Entradas | Ferramentas | Saídas |
| Combinações, concepções, interfaces | Análise Projeto do processo Modelos Protótipos CAE FMEA | Concepções desenvolvidas |
| Atividade – Avaliar concepções | | |
| Objetivos: Definir qual a concepção mais adequada para o produto. | | |
| Entradas | Ferramentas | Saídas |
| Concepções desenvolvidas | Matriz de Pugh | Melhor concepção |
| Atividade – Detalhar concepção | | |
| Objetivos: Detalhar a concepção escolhida definindo aspectos do projeto do processo. | | |
| Entradas | Ferramentas | Saídas |
| Concepção escolhida | Análise Projeto do processo Modelos | BOM Seqüência de montagens Produto otimizado Lista de fornecedores |

6. Capítulo 6 – Validação do modelo de projeto de interfaces no projeto conceitual

Este capítulo tem como objetivo descrever o processo de avaliação do modelo de projeto de interfaces para a fase de projeto conceitual proposto no capítulo anterior.

O procedimento de avaliação do modelo se dará por meio de três estudos de caso os quais serão aplicados para avaliar não apenas o modelo como um todo, mas também os métodos e ferramentas propostos o que dará uma idéia do quanto o modelo atende os requisitos propostos para o mesmo.

O objetivo destes estudos de caso será fazer uma análise comparativa entre as avaliações feitas pelos autores e as informações disponibilizadas pela aplicação do modelo proposto. Também serão avaliadas as ferramentas propostas em termos de aplicabilidade.

O primeiro estudo de caso será desenvolvido com base em um trabalho desenvolvido por Souza et al (2003) para a disciplina de Projeto Conceitual do curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina. Os outros estudos de caso serão aplicados com base nos trabalhos de dissertação de mestrado de Novaes (2005) e Hamad (2005).

Assim, esta parte do trabalho estará dividida em quatro partes: a apresentação dos estudos de caso (Souza et al, 2003; Novaes, 2005; e Hamad, 2005) pelos quais serão avaliados os métodos e ferramentas em sua funcionalidade e a análise dos resultados dos estudos de caso.

A seguir serão descritos os estudos de caso desenvolvidos.

6.1. Estudo de caso 1 – projeto de um equipamento para limpeza de vaso sanitário

O primeiro estudo de caso foi a aplicação do modelo no desenvolvimento de um equipamento para limpeza de vasos sanitários. Por se tratar de um desenvolvimento específico para avaliar os métodos e ferramentas apresentados no modelo, foi utilizado o trabalho de Souza et al (2003). Neste trabalho os autores desenvolveram o equipamento citado até a fase de projeto conceitual.

Para o presente trabalho serão aproveitadas as informações advindas da fase de projeto informacional as quais se encontram sintetizadas nas Especificações de projeto (Quadro 6.1). A partir destas informações, foram aplicadas as ferramentas propostas pelo modelo de projeto de interfaces.

Quadro 6.1: Lista de Especificações de Projeto de um limpador de vaso sanitário (Souza et al, 2003).

| LISTA DE ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO | | | | | |
|---------------------------------------|-----|-------------------------|-----------------------------------|---|--|
| Requisitos de Projeto | Und | Objetivo | Sensor | Saídas indesejadas | Obs./ Restrições |
| 1. Alcançar todas as partes do vs | % | Vs 100% alcançado | Inspeção visual – teste com tinta | Partes não atingidas | Usuário longe do vs |
| 2. Limpar todas as partes do vs | % | Vs 100 % limpo | Inspeção visual – teste com tinta | Partes sujas | Algumas sujeiras são de difícil remoção |
| 3. Número de acessórios | Nº | 4 (max) | Contagem | Mais de 4 Acessórios | Lembrar que os req acima são mais imp do que esses |
| 4. Custo de Produção | R\$ | R\$7,00 | Custos | Custo ultrapassar o valor meta | Mão-de-obra, materiais, gastos gerais |
| 5. Custo de materiais | R\$ | R\$3,00 | Custos | Custo ultrapassar o valor meta | Matéria-prima |
| 6. Comprimento variável | mm | 300 mm (min) | Escala métrica | Pouca variabilidade | Projeto p/ pessoas entre 1,5 m e 1,9 m |
| 7. Preço de venda | R\$ | R\$50,00 (máx) | Custos | Alto preço de venda | |
| 8. Volume | l | 7 l (max) | Escala volumétrica | Difícil de guardar | Ser fácil de guardar |
| 9. Peso | kg | 1 kg (max) | balança | Dificuldade de transporte e manipulação | |
| 10. Resistência mecânica | MPa | Consulta a especialista | Ensaio | Quebra, flexão, torção | |
| 11. Força de remoção da sujeira | N | 200 N (max) | Célula de carga | Desconforto p/ usuário | Pag 136 – fig9.21 - Back |
| 12. Número de componentes | Nº | 100 (max) | Nº de componentes | Mais de 100 componentes | Cerdas constituem 65 componentes |
| 13. Aplicabilidade de produto químico | | existência | Sim/não | Não aplicar produto químico | |
| 14. Forma anatômica | | Existência | Conforto do usuário | Desconforto do usuário | Forma da pegada |
| 15. Reter umidade | % | 100 % umidade retida | Inspeção visual/manual | Vs e piso molhados após limpeza | Preocupação com a parte externa e assento |
| 16. Cantos vivos | Nº | Inexistência | Inspeção visual | Segurança | Interface usuário/equipamento |
| 17. Superfície lisa | µm | N6 | rugosímetro | Dificuldade de limpeza (pós uso) | Função do molde de injeção |
| 18. Materiais atóxicos | % | 100% atoxico | Contagem | Uso de materiais tóxicos | Segurança do operador e usuário |
| 19. Componentes padronizados | % | 100 % | Contagem | Muitos componentes não padronizados | Maior número possível de componentes padronizados |
| 20. Impermeabilidade | % | 100% | Teste de impermeabilidade | Uso de materiais permeáveis | Maior número possível de componentes impermeáveis |
| 21. Componentes simples | % | 100% | Contagem do número de features | Necessidade de componentes com geometrias complexas | Maior número possível de componentes simples |
| 22. Cantos que acumulam sujeira | Nº | Inexistência | Inspeção | Existência de cantos que acumulam | Menor número possível de cantos que acumulam sujeira |

| | | | | | |
|---------------------------------------|---------------|---------------------|-------------------------|---|---|
| | | | | sujeira | |
| 23. Processos conhecidos | % | 100% | Contagem | Necessidade da implementação de processos desconhecidos | Maior número possível de processos conhecidos |
| 24. Materiais recicláveis | % | 100% | Contagem | Uso de materiais não recicláveis | |
| 25. Estabilidade química | % | 100% não reagente | Teste de reação química | Material reagente | Principalmente peças que entram em contato com o reagente químico |
| 26. Componentes com tamanho pequeno | Nº | Inexistência | Contagem | Necessidade de componentes de geometria pequena | Menor número possível de componentes pequenos |
| 27. Materiais comuns | % | 100% | Contagem | Uso de materiais não comuns | |
| 28. Cor | Nº de cores | 08 cores | Contagem | Impossibilidade de se fabricar com mais de uma cor | |
| 29. Número de operações de fabricação | Nº/componente | 02/componente | Contagem | Mais de 2 operações por componente | |
| 30. Forma moderna | | Formas arredondadas | Inspeção visual | Formas angulares | Falta de definições/opiniões |

Algumas informações foram aproveitadas também do projeto conceitual. Entretanto, pelo fato de Souza et al (2003) utilizarem parte do modelo consensual de desenvolvimento de produtos, na fase de projeto conceitual serão utilizadas as etapas, atividades e tarefas propostas neste trabalho. Dessa forma, serão destacadas as diferenças entre os modelos utilizados, bem como a diferença de resultados obtidos, procurando-se, assim, apontar os pontos positivos e negativos do modelo proposto.

A seguir, serão descritas as atividades propostas no modelo de projeto de interfaces para o projeto do equipamento de limpeza de vasos sanitários.

6.2. Atividade 1 – Levantamento dos requisitos das interfaces

A atividade de levantamento dos requisitos das interfaces do produto foi realizada pela utilização de questionários junto aos clientes e por informações que constam no documento de estabelecimento do tipo de produto a ser projetado. Este documento é comumente chamado de “*Briefing*”. Contudo, os requisitos de interface confundem-se constantemente com os requisitos do produto. Assim, a lista de requisitos de interface está inserida na mesma atividade de levantamento dos requisitos do produto sendo separada apenas na próxima atividade.

6.3. Atividade 2 – Definição das especificações de projeto de interfaces

A definição das especificações de projeto de interfaces é feita a partir da aplicação da matriz de comparação com os critérios das interfaces de Scalice (2003), sendo a primeira apresentada na Tabela 6.1 e os critérios na Tabela 3.1.

Esta matriz partiu das Especificações de projeto levantadas por Souza et al (2003) (Quadro 6.1). Foram colocadas na matriz tais especificações e seus pesos nas linhas e nas colunas foram apontados os critérios das interfaces. Com base nas relações existentes entre os critérios de interface e as especificações de projeto foi realizado o cálculo da importância dos requisitos para as interfaces ao mesmo tempo em que foram calculados os pesos dos critérios. Estas informações estão mostradas na Tabela 6.1 a qual aponta as especificações que devem ser consideradas para a determinação das interfaces (a quais correspondem a mais de 75% do valor da soma de todos os requisitos e estão em destaque na matriz). Os critérios, por sua vez, estão listados de forma a terem sua importância ressaltada pelo valor atribuído pela matriz.

Com base nesta tabela, consegue-se visualizar os requisitos e os critérios das interfaces mais importantes para o projeto em questão.

Percebe-se, pela análise desta matriz, que as especificações de interfaces diferem em termos de importância das especificações de projeto do produto como um todo. Isto ocorre porque as interfaces são partes muito específicas do produto, e, portanto, possuem fatores que as diferenciam do todo.

Tabela 6.1: Especificações de projeto de interfaces do projeto de limpador de vaso sanitário.

| Requisitos de Projeto | Peso das especificações | geometria | segurança e ergonomia | custo | forças, energias e movimentos | produção | material | montabilidade | desmontabilidade | intercambiabilidade | Estanqueidade | manutenção | |
|---------------------------------------|-------------------------|-----------|-----------------------|-------|-------------------------------|----------|----------|---------------|------------------|---------------------|---------------|------------|------|
| 1. Número de acessórios | 176 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1584 |
| 5. Número de componentes | 118 | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 826 |
| 4. Comprimento variável | 166 | 1 | 1 | | | | | 1 | 1 | | | | 664 |
| 20. alcançar partes | 193 | 1 | 1 | | 1 | | | | | | | | 579 |
| 10. Componentes padronizados | 72 | 1 | | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 576 |
| 28. resistência mecânica | 133 | 1 | | | 1 | | 1 | | | | | | 399 |
| 27. força de remoção de sujeira | 132 | 1 | 1 | | 1 | | | | | | | | 396 |
| 21. limpar partes | 193 | 1 | | | 1 | | | | | | | | 386 |
| 2. Custo de Produção | 169 | | | 1 | | 1 | | | | | | | 338 |
| 3. Custo de materiais | 167 | | | 1 | | | 1 | | | | | | 334 |
| 7. Forma anatômica | 107 | 1 | 1 | | | | | | | | | | 214 |
| 29. componentes simples | 65 | 1 | | 1 | | | | | | 1 | | | 195 |
| 22. cantos vivos | 89 | 1 | 1 | | | | | | | | | | 178 |
| 19. preço de venda | 161 | | | 1 | | | | | | | | | 161 |
| 26. volume | 159 | 1 | | | | | | | | | | | 159 |
| 6. Aplicabilidade de produto químico | 148 | | | | | | | | | | 1 | | 148 |
| 9. Materiais atóxicos | 73 | 1 | 1 | | | | | | | | | | 146 |
| 23. peso | 136 | | 1 | | | | | | | | | | 136 |
| 25. cantos que acumulam sujeira | 63 | 1 | 1 | | | | | | | | | | 126 |
| 13. Estabilidade química | 56 | | | | | | 1 | | | | 1 | | 112 |
| 14. Componentes com tamanho pequeno | 55 | 1 | | | | 1 | | | | | | | 110 |
| 8. Reter umidade | 105 | | | | | | | | | | 1 | | 105 |
| 15. Materiais comuns | 80 | | | | | | 1 | | | | | | 80 |
| 24. superfície lisa | 76 | 1 | | | | | | | | | | | 76 |
| 11. Impermeabilidade | 67 | | | | | | | | | | 1 | | 67 |
| 12. Processos conhecidos | 62 | | | | | 1 | | | | | | | 62 |
| 30. materiais recicláveis | 61 | | | | | | 1 | | | | | | 61 |
| 17. Número de operações de fabricação | 53 | | | | | 1 | | | | | | | 53 |
| 18. Forma moderna | 47 | 1 | | | | | | | | | | | 47 |
| 16. Cor | 54 | | | | | | | | | | | | 0 |
| Peso dos critérios | | 1917 | 1135 | 928 | 827 | 705 | 569 | 532 | 532 | 431 | 376 | 366 | |

6.4. Atividade 3 – estabelecimento das estruturas funcionais e dos relacionamentos entre funções

O estabelecimento das estruturas funcionais já é uma atividade desenvolvida em diferentes modelos de desenvolvimento de produto (Back, 1983; Pahl e Beitz, 1996; Rozenfeld et al, 2006; entre outros). Conforme dito no capítulo anterior, esta atividade inicia-se com a definição da Função Global do sistema e esta é desdobrada até o nível das Funções Elementares. Este procedimento encontra-se mostrado na Figura 6.1.

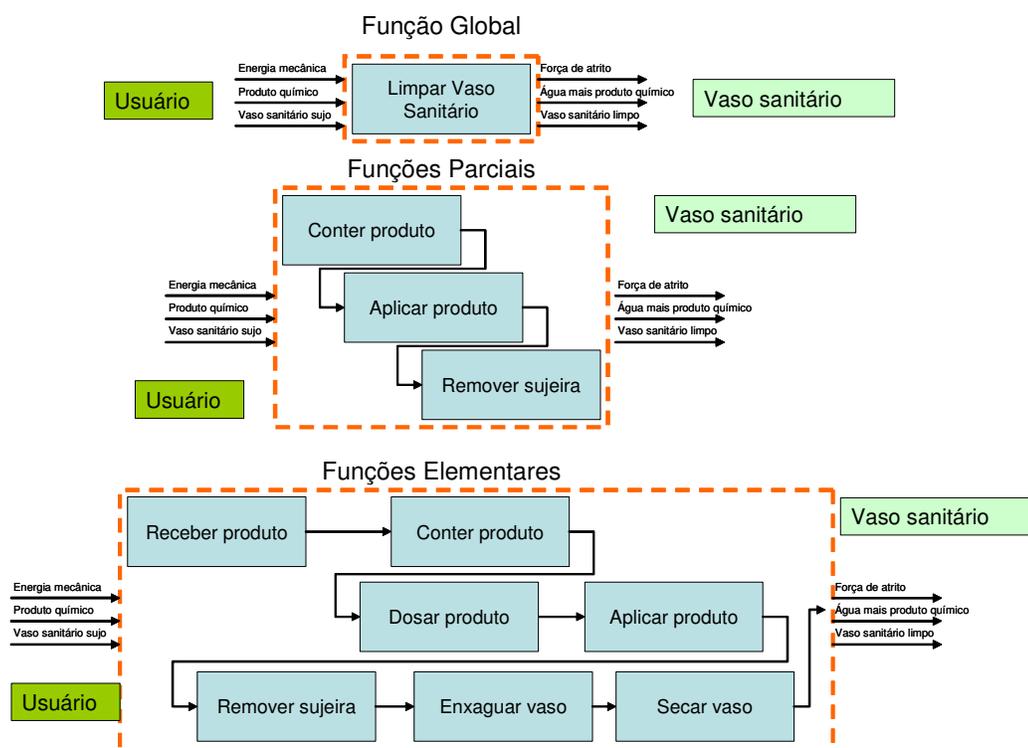


Figura 6.1: Estrutura funcional de um equipamento de limpeza de vaso sanitário (Adaptado de Souza et al, 2003).

Esta atividade busca demonstrar as conexões entre os diferentes elementos funcionais do produto. Contudo, é possível estabelecer as conexões de forma mais detalhada. Isto pode ser realizado pelo mapeamento das interfaces funcionais. Este mapeamento requer que os elementos funcionais possuam um nível de detalhamento onde os tipos de energia, material e informação estejam explicitados. Assim, estabeleceu-se as entradas e saídas de cada um dos elementos funcionais (Quadro 6.2).

Quadro 6.2: Entradas e saídas das Funções Elementares de um equipamento de limpeza de vaso sanitário.

| Entradas | Elemento funcional | Saídas |
|---|--------------------|--|
| E – Energia potencial M – produto químico S – quantidade de produto | Receber produto | E – Energia cinética M – produto químico S – quantidade de produto |
| E – energia cinética M – produto químico S – quantidade de produto | Conter produto | E – Energia potencial M – produto químico S – quantidade de produto |
| E – energia potencial M – produto químico S – quantidade de produto | Dosar produto | E – Energia cinética M – produto químico S – quantidade de produto |
| E – Energia cinética M – produto químico S – quantidade de produto | Aplicar produto | E – energia cinética M – produto químico S – produto aplicado |
| E – Força do usuário M – produto e água | Remover sujeira | E – Força de atrito e/ou impacto M – sujeira solta + água + produto químico |

| | | |
|---|---------------|--|
| S – vaso sanitário sujo | | S – vaso sanitário limpo |
| E – energia potencial M – água S – vaso com sujeira solta e produto químico (espuma) | Enxaguar vaso | E – Energia cinética M – água + sujeira solta + espuma S – vaso sanitário sem espuma |
| E – Energia mecânica + capilaridade ou energia térmica ou energia química M – água S – vaso sanitário molhado | Secar vaso | E – Energia mecânica + capilaridade ou energia térmica ou energia química M – água S – vaso sanitário seco |

A partir desta tabela, foi possível a utilização da matriz de interfaces. Esta estabelece quais elementos funcionais possuem inter-relação com outros elementos. A matriz é baseada nas matrizes de Erixon et al (1996) e de Pereira (2004). A seguir encontra-se a matriz com seu mapeamento de interfaces Figura 6.2. Cabe ressaltar que a matriz apresenta também as relações do produto com o ambiente e com o usuário.

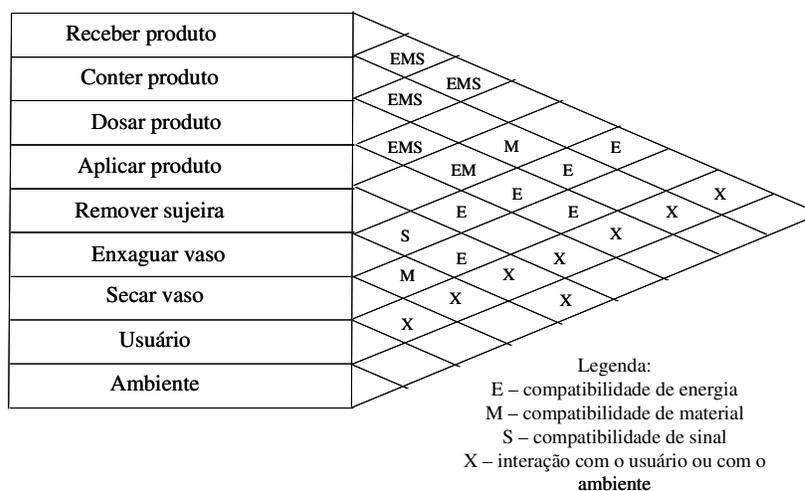


Figura 6.2: Matriz de interfaces um equipamento de limpeza de vaso sanitário.

Como resultado obtido desta matriz, pôde-se constatar que algumas interfaces funcionais estabelecem um possível módulo construtivo. As quatro primeiras funções apresentadas possuem interações de energia, material e sinal o que indica que estas podem ser possivelmente integradas. Quanto às outras funções não fica evidente a formação de um novo módulo integrado, pois as interações existentes são fracas. Assim, pela análise de compatibilidade de entradas e saídas das funções (Quadro 6.2 e Figura 6.2), fica estabelecido que a arquitetura do produto será definida por meio de blocos funcionais ou módulos os quais estão distribuídos conforme Quadro 6.3.

Quadro 6.3: Blocos funcionais de um equipamento de limpeza de vaso sanitário.

| | |
|-----------------|-------------------|
| Funções | Blocos funcionais |
| Receber produto | Bloco Funcional 1 |
| Conter produto | |
| Dosar produto | |
| Aplicar produto | |
| Remover sujeira | Bloco Funcional 2 |
| Enxaguar vaso | Bloco Funcional 3 |
| Secar vaso | Bloco Funcional 4 |

Percebe-se, neste caso, que pôde-se definir o tipo de arquitetura do produto pela aplicação da matriz de interfaces. Por ser um primeiro estudo de caso, não é possível analisar se todas as possibilidades de agrupamento em blocos funcionais se tornam visíveis pela aplicação da matriz. Isto porque se está avaliando os aspectos de fluxos de material, energia e informação, sem se avaliar aspectos de geometria e montagem, por exemplo. Entretanto, esta matriz pode vir a ser um indicativo de modularização ou integralização do produto. Desta forma, a atividade de definição do tipo de arquitetura já foi desenvolvida o que demonstra que o modelo não é necessariamente seqüencial.

6.5. Atividade 4 – Definição das funções de interface

Estabelecidos os relacionamentos entre funções foi realizada a definição das funções das interfaces. Isto foi feito comparando-se os relacionamentos funcionais estabelecidos pela matriz de interfaces com os tipos de interfaces definidos por Persson (2004) e com os critérios de interface de Scalice (2003). Além disso, a lista de funções de interface de Hillström (1994) também serve de base para o estabelecimento das funções de interface.

Esta lista apresentada no capítulo 3 serve de referência para a determinação das funções que as interfaces exercem no produto. Assim, buscou-se enquadrar as interfaces determinadas na classificação proposta. A lista das funções de interface encontra-se no Quadro 6.4.

Quadro 6.4: Funções de interface e suas respectivas classificações segundo Persson (2004), Hillström (1994) e Scalice (2003) para um equipamento de limpeza de vaso sanitário.

| Interfaces funcionais | Funções de interface | Classificação segundo Persson (2004) | Classificação segundo Hillström (1994) | Classificação segundo Scalice (2003) |
|---------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|--|--------------------------------------|
| Bloco Funcional 1 – Bloco Funcional 2 | Receber produto | Transferência | Transformar energia | Força, energia e movimento |
| Bloco Funcional 1 – Bloco Funcional 3 | Compartilhar energia, | Transferência, montagem e espacial | Transformar energia, localizar | Força, energia e movimento, |

| | posicionar componente | | componentes | montabilidade |
|---------------------------------------|-----------------------|--------------------|--|---|
| Bloco Funcional 2 – Bloco Funcional 4 | Posicionar componente | Montagem, espacial | Localizar componentes | Força, energia e movimento, montabilidade |
| Bloco Funcional 1 – usuário | Isolar usuário | usuário | Não há menção de interface com o usuário | Estanqueidade e Segurança ergonomia |
| Bloco Funcional 2 – usuário | Isolar usuário | usuário | Não há menção de interface com o usuário | Estanqueidade e Segurança ergonomia |
| Bloco Funcional 3 – usuário | Isolar usuário | usuário | Não há menção de interface com o usuário | Estanqueidade e Segurança ergonomia |
| Bloco Funcional 4 – usuário | Isolar usuário | usuário | Não há menção de interface com o usuário | Estanqueidade e Segurança ergonomia |
| Bloco Funcional 2 – vaso sanitário | Não degradar o vaso | Ambiente | Transmitir informação | Materiais, manutenção |

Com base nesta tabela pode-se verificar que algumas funções de interface são comuns a todos os sistemas. No caso do produto desenvolvido um exemplo é a função de isolar usuário. Esta função sendo comum a todos os blocos funcionais que compõem o produto, pode ser desenvolvida pelo mesmo princípio físico.

Assim, levantadas as funções de interface, parte-se para a definição da criticidade das funções.

6.6. Atividade 5 – Levantamento das funções críticas

O levantamento das funções críticas estabelece aquelas funções que possuem um grau de severidade mais alto no caso de deixarem de cumprir suas funções. Assim, é realizado um FMEA funcional de modo a identificá-las e dar prioridade às mesmas.

Como descrito no capítulo anterior, o processo de FMEA funcional é realizado apenas com relação ao parâmetro de severidade da falha. Esta severidade é avaliada a partir do cumprimento ou não da função.

Para a determinação da função crítica é levado em conta quais as especificações de projeto são atendidas por cada uma das funções e o peso destas especificações. Outro ponto que deve ser estabelecido é a definição do grau de severidade da função em caso de falha. Isto é feito com base na Tabela de Severidade (Tabela 4.1).

Assim, o resultado desta avaliação encontra-se ilustrado na Tabela 6.2.

Tabela 6.2: Levantamento das funções críticas para um equipamento de limpeza de vaso sanitário

| Requisitos de Projeto | Peso das especificações | Funções Críticas | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------------|------------------|--------|-------|---------|---------|------------|---------|------------|----------|-------|--------|--------------|
| | | Colocar | Conter | Dosar | Aplicar | Receber | Posicionar | Remover | Posicionar | Enxaguar | Secar | Isolar | Não degradar |
| 20. alcançar partes | 193 | | | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 21. limpar partes | 193 | | | | | | | 1 | | | | | |
| 1. Número de acessórios | 176 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 2. Custo de Produção | 169 | | | | 1 | | 1 | | 1 | | | | |
| 3. Custo de materiais | 167 | | | | | | | | | | | | 1 |
| 4. Comprimento variável | 166 | | | | | | 1 | | 1 | | | 1 | |
| 19. preço de venda | 161 | | | | | | | | | | | | |
| 26. volume | 159 | | | | | | | | | | | | |
| 6. Aplicabilidade de produto químico | 148 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | | | 1 | |
| 23. peso | 136 | | | | | | | | | | | | |
| 28. resistência mecânica | 133 | | | | | | | 1 | | | | | |
| 27. força de remoção de sujeira | 132 | | | | | | | 1 | | | | 1 | 1 |
| 5. Número de componentes | 118 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 7. Forma anatômica | 107 | | | | | | | | | | | | |
| 8. Reter umidade | 105 | | | | | | | | | | 1 | 1 | |
| 22. cantos vivos | 89 | | | | | | | | | | | | |
| 15. Materiais comuns | 80 | | | | | | | | | | | 1 | |
| 24. superfície lisa | 76 | | | | | | | | | | | | |
| 9. Materiais atóxicos | 73 | | | | | | | | | | | 1 | |
| 10. Componentes padronizados | 72 | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | |
| 11. Impermeabilidade | 67 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | 1 | |
| 29. componentes simples | 65 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | | |
| 25. cantos que acumulam sujeira | 63 | | | | | | | | | | | | |
| 12. Processos conhecidos | 62 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | | 1 | 1 | | |
| 30. materiais recicláveis | 61 | | | | | | | | | | | | |
| 13. Estabilidade química | 56 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | | | 1 | | 1 |
| 14. Componentes com tamanho pequeno | 55 | | | | | | | | | | | | |
| 16. Cor | 54 | | | | | | | | | | | | |
| 17. Número de operações de fabricação | 53 | | | | | | | | | | | | |
| 18. Forma moderna | 47 | | | | | | | | | | | | |
| Peso funcional | | 692 | 692 | 885 | 1054 | 415 | 766 | 1348 | 1107 | 621 | 847 | 1258 | 355 |
| severidade | | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 9 | 4 | 4 | 5 | 8 | 3 |
| valor peso funcional e severidade | | 2768 | 2768 | 4425 | 5270 | 2075 | 3064 | 12132 | 4428 | 2484 | 4235 | 10064 | 1065 |
| | | 8 | 8 | 5 | 3 | 11 | 7 | 1 | 4 | 10 | 6 | 2 | 12 |

Com base nesta tabela constata-se que as funções críticas são, na ordem (Quadro 6.5):

Quadro 6.5: Funções ordenadas em termos de sua criticidade

| Ordem | Função |
|-------|-----------------------|
| 1 | Remover sujeira |
| 2 | Isolar usuário |
| 3 | Aplicar produto |
| 4 | Posicionar componente |
| 5 | Dosar produto |
| 6 | Secar vaso |
| 7 | Posicionar componente |
| 8 | Receber produto |
| 8 | Conter produto |
| 10 | Enxaguar vaso |
| 11 | Receber produto |
| 12 | Não degradar vaso |

6.7. Atividade 6 – Definição dos agrupamentos funcionais

Esta atividade já foi executada juntamente com a atividade 3.

6.8. Atividade 7 – Geração dos princípios de solução

A geração dos princípios de solução utiliza como ferramenta a matriz morfológica. Assim, por se tratar de uma ferramenta difundida na bibliografia será apenas apresentada a matriz resultante do estudo de caso (Quadro 6.7).

Cabe ressaltar que a matriz morfológica encontra-se apresentada segundo o modelo da Matriz Indicadora de Modularidade (MIM) de Erixon et al (1996) na qual os agrupamentos funcionais encontram-se explicitados.

6.9. Atividade 8 – Análise dos princípios de solução

A análise dos princípios de solução passa pela avaliação de confiabilidade, montabilidade e exeqüibilidade dos mesmos. Isto implica dizer que deve-se aplicar a FMEA em cada um dos princípios de solução de modo a estabelecer o NPR de cada um destes, a verificação de compatibilidades e a análise de fabricação. Esta tarefa é executada para detectar os princípios de solução mais confiáveis do ponto de vista de cumprimento da função.

Para tanto, se faz necessário o esclarecimento do princípio de funcionamento de cada um deles.

Dessa forma, propõem-se a explicitação na matriz morfológica dos princípios de funcionamento de cada um dos princípios de solução. Esta explicitação auxilia na verificação dos modos de falha destes elementos. O Quadro 6.9 mostra esta matriz alterada. Também, nesta matriz, procurou-se apontar os valores de Severidade, Ocorrência e Detecção bem como o NPR resultante de cada princípio de solução.

Os valores em questão foram classificados segundo as tabelas 4.1, 4.5, e 4.6. Além disso, os modos de falha apontados estão representados na Tabela 6.3 juntamente com os NPRs calculados.

Outro ponto relevante é a definição dos modos de falha vinculados. Esta definição é realizada pela aplicação de uma matriz que identifica quais modos de falha são dependentes uns dos outros e quais ocorrem independentemente, esta é denominada de Matriz de Vínculos de Modos de Falha e encontra-se representada no Quadro 6.8.

Tabela 6.3: FMEA dos princípios de solução.

| | | | | | | | |
|-----------------------------------|---|---------------------|-------------------|-------------------|------------------|-----------------------|-----|
| seringa | furo ressecamento | quebra vazamento | 8 10 8 8 | 1 4 8 2 | 1 1 4 1 | 8 40 256 16 | 264 |
| haste | quebra | flexão | 10 7 | 2 8 | 1 4 | 20 224 | 224 |
| jato de vapor | falta de pressão | respingo | 10 1 | 5 10 | 6 1 | 300 10 | 310 |
| pano e escova | degradação excessiva perda de cerdas | deformação | 10 6 6 | 10 6 6 | 1 6 2 | 100 216 72 | 316 |
| esponja | degradação | | 10 | 10 | 1 | 100 | 100 |
| ar quente | queima de resistência de pressão | falta de pressão | 10 10 | 1 1 | 3 6 | 30 60 | 90 |
| Regulador de vazão + tubo venturi | entupimento vazamento | degradação | 10 1 5 | 1 1 5 | 6 3 1 | 60 3 25 | 88 |
| chuveiro | entupimento | vazamento | 7 2 | 8 5 | 3 1 | 168 10 | 178 |
| capa para vaso | quebra | vazamento | 10 6 | 3 6 | 1 5 | 30 180 | 180 |
| escova | perda de cerdas | | 8 | 6 | 3 | 144 | 144 |
| acessórios intercambiáveis | desgaste no acoplamento | | 6 | 6 | 4 | 144 | 144 |
| catalisador | armazenagem inadequada degradação | | 10 10 | 5 5 | 10 10 | 500 500 | 500 |
| espátula | desgaste | quebra | 7 10 | 3 1 | 3 1 | 63 10 | 73 |
| engate rápido | desgaste | quebra | 6 10 | 6 3 | 4 1 | 144 30 | 174 |
| descarga | fadiga | | 10 | 1 | 2 | 20 | 20 |
| caixa para vaso | quebra | vazamento | 10 6 | 3 6 | 1 5 | 30 180 | 180 |
| escova rotatória | perda de cerdas desgaste | quebra respingo | 8 6 3 1 | 6 2 1 10 | 3 1 2 1 | 144 12 6 10 | 162 |
| balde | quebra | vazamento | 10 5 | 3 5 | 1 3 | 30 75 | 75 |
| luva | furo | ressecamento | 10 3 | 10 3 | 2 2 | 200 18 | 200 |
| vácuo | falta de pressão | respingo | 10 1 | 8 3 | 4 1 | 320 3 | 323 |
| tubo | furo ressecamento | quebra vazamento | 8 10 5 8 | 3 5 1 5 | 5 1 1 6 | 120 50 5 240 | 360 |
| pedra abrasiva | quebra do vaso | desgaste | 10 9 | 8 2 | 1 6 | 80 108 | 188 |
| naturalmente | lentidão | | 10 | 10 | 1 | 100 | 100 |
| lixa | deterioração | respingo | 10 1 | 10 10 | 1 1 | 100 10 | 110 |
| rodo | quebra da forma | inadequação | 10 9 | 3 10 | 1 3 | 30 270 | 270 |

Cabe frisar que, inicialmente a FMEA desenvolvida terá uma duração mais longa pelo desconhecimento da equipe de projeto em relação ao funcionamento ou não do produto. Entretanto, ao serem mapeados os modos de falha de determinados elementos que se repetem ao longo de diferentes projetos pode-se ter uma boa base de conhecimento acumulado que pode ser implementada por meio de uma base de dados computacional.

Outro aspecto importante a ser explicitado é o que faz com que o princípio de solução atenda a função, ou seja, seu princípio de funcionamento. Este está relacionado com os portadores de efeitos apontados por Gomes Ferreira (1997). Assim, pode-se colocar os princípios de funcionamento na própria matriz morfológica como elemento adicional de avaliação. Além disso, os princípios de funcionamento tornam visíveis quais os princípios de solução que podem ser combinados. Isto vai de encontro ao que Andrade (2003) desenvolveu como regras num sistema especialista.

Por fim, pode-se fazer uma análise qualitativa sobre a manufaturabilidade e montabilidade dos princípios de solução de modo a fazer uma triagem prévia de alguns dos princípios gerados.

Estas análises foram feitas com o auxílio de uma tabela de definição de valores de montabilidade e manufaturabilidade dos princípios de solução (Anexo 1). Como apontado no Quadro 4.2 foram utilizadas apenas algumas diretrizes para os métodos propostos, pois seria inviável utilizar-se todas as diretrizes apontadas por Edwards (2002), por exemplo. Assim obtiveram-se os seguintes valores para alguns princípios de solução (Tabela 6.4).

Tabela 6.4: Valores de DFA e DFM para cada princípio de solução

| | Diretrizes de DFA | | Diretrizes de DFM | |
|-----------------------------------|--------------------------|-----------|------------------------------------|-----------|
| funil em "V" | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 5 |
| | Total | 20 | | 16 |
| recipiente calibrado | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 5 |
| | Total | 20 | | 15 |
| manual | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 5 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 5 |
| | Total | 20 | | 20 |
| Regulador de vazão + tubo venturi | Geometria | 3 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 3 |
| | Total | 14 | | 12 |

| | | | | |
|---------------|--------------------------|-----------|------------------------------------|-----------|
| Recipiente | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 5 |
| | Total | 20 | | 16 |
| saco plástico | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 2 | número de componentes padronizados | 3 |
| | Total | 17 | | 14 |
| mangueira | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 5 |
| | Total | 18 | | 16 |
| seringa | Geometria | 4 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 4 |
| | Total | 14 | | 13 |
| pano | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 1 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 4 |
| | Total | 20 | | 11 |
| tubo | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 4 |
| | Total | 18 | | 15 |
| esponja | Geometria | 3 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 1 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 3 |
| | Total | 14 | | 10 |
| Spray | Geometria | 4 | Complexidade | 3 |
| | número de componentes | 2 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 3 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 4 |
| | Total | 12 | | 12 |
| chuveiro | Geometria | 2 | Complexidade | 3 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 3 |
| | Total | 17 | | 10 |

Com estes resultados pode-se verificar a montabilidade e manufaturabilidade de cada princípio de solução. Associados com o valor do NPR do princípio de solução os valores de DFA e DFM podem auxiliar na escolha e avaliação das concepções para o produto. Além disso, a definição dos mesmos já fazem com que a equipe de projeto busque informações do levantamento e definição de processos de fabricação e montagem.

Os resultados da avaliação de DFA e DFM também podem ser explicitados na Matriz Morfológica para que a equipe possa avaliar em conjunto os resultados.

Todas estas análises devem levar em conta a necessidade de se elaborar modelos em CAD de modo a facilitar a visualização e prever possíveis problemas de fabricação, montagem e/ou funcionamento que inviabilizariam os princípios de solução.

6.10. Atividade 9 – Combinar e evoluir em concepções

A partir da montagem da matriz morfológica e da geração e análise dos princípios de solução, parte-se para a combinação e evolução de concepções. Esta atividade é desenvolvida pela avaliação da compatibilidade de princípios e da elaboração de concepções por meio de combinações diversas dos princípios de solução gerados.

Para a execução desta atividade são então mapeados os princípios de funcionamento de cada princípio de solução e avaliados quanto a sua compatibilidade. Esta compatibilidade pode ser de fluxo de energia, material e/ou sinal, de tipo de esforço empregado entre outros fatores.

Também são analisadas questões de manufaturabilidade como o tipo de material empregado e os processos de fabricação necessários para a produção dos seus componentes. Cabe ressaltar que alguns princípios acabam gerando a necessidade de funções auxiliares específicas a estes que não foram previstas na estrutura funcional do produto. Assim, estas entram como um elemento a mais a ser avaliado.

Dessa forma, para a combinação e evolução de concepções são elaborados modelos mais detalhados dos elementos combinados, procura-se levantar que componentes os compõem, deve-se fazer uma triagem criteriosa de modo a ser definido um número menor de concepções que serão combinadas. Esta triagem deve considerar os NPRs e os resultados da análise de DFA e DFM dos princípios de solução de modo a estabelecer valores NPR, DFA e DFM de concepção, os quais podem ser indicativos de uma concepção problemática. Portanto, deve-se fazer uma soma dos valores obtidos nos princípios de solução que compõem uma concepção, desconsiderando princípios que se repetem para o cumprimento de funções que encontram-se no mesmo bloco funcional. Tendo em mãos os resultados das concepções e as Tabelas 6.5 a 6.13, pode-se eliminar algumas das concepções geradas.

Para a execução desta tarefa procurou-se utilizar as mesmas concepções geradas por Souza et al (2003) de modo a avaliar as concepções geradas pelos autores a partir da perspectiva proposta por este trabalho.

Tabela 6.5: Concepção 1

| concepção 1 | NPR | DFA | DFM |
|----------------------|------|-----|-----|
| recipiente calibrado | 30 | 20 | 15 |
| recipiente calibrado | | 20 | 15 |
| spray | 250 | 12 | 12 |
| spray | | 12 | 12 |
| conexão | 360 | 18 | 15 |
| haste | 224 | 20 | 17 |
| escova | 144 | 13 | 12 |
| acessório combinado | 70 | 10 | 10 |
| descarga | 20 | 20 | 20 |
| esponja | 100 | 14 | 10 |
| cabo longo e curvo | 250 | 18 | 12 |
| material flexível | 250 | 20 | 10 |
| valor | 1698 | 197 | 160 |

Tabela 6.6: Concepção 2

| concepção 2 | NPR | DFA | DFM |
|----------------------------|------|-----|-----|
| recipiente calibrado | 30 | 20 | 15 |
| recipiente calibrado | | 20 | 15 |
| spray | 250 | 12 | 12 |
| spray | | 12 | 12 |
| mangueira | 360 | 18 | 16 |
| haste | 224 | 20 | 17 |
| escova | 144 | 13 | 12 |
| acessórios intercambiáveis | 144 | 15 | 14 |
| descarga | 20 | 20 | 20 |
| catalisador | 500 | 20 | 8 |
| cabo longo e curvo | 250 | 18 | 12 |
| material flexível | 250 | 20 | 10 |
| valor | 2172 | 208 | 163 |

Tabela 6.7: Concepção 3

| concepção 3 | NPR | DFA | DFM |
|---------------------|------|-----|-----|
| Funil | 626 | 20 | 16 |
| Tubo | | 18 | 15 |
| spray | | 12 | 12 |
| spray | | 12 | 12 |
| chuveiro | 178 | 17 | 10 |
| haste | 224 | 20 | 17 |
| escova | 144 | 13 | 12 |
| acessório combinado | 70 | 10 | 10 |
| descarga | 20 | 20 | 20 |
| naturalmente | 100 | 20 | 20 |
| cabo longo e curvo | 250 | 18 | 12 |
| material flexível | 250 | 20 | 10 |
| valor | 1862 | 200 | 166 |

Tabela 6.8: Concepção 4

| | | | | |
|-------------------|----------------------|-----|-----|-----|
| | concepção 4 | NPR | DFA | DFM |
| | recipiente calibrado | 280 | 20 | 15 |
| | recipiente calibrado | | 20 | 15 |
| | spray | | 12 | 12 |
| | spray | | 12 | 12 |
| | conexão | 360 | 18 | 15 |
| | haste | 224 | 20 | 17 |
| | esponja | 100 | 14 | 10 |
| | acessório combinado | 70 | 10 | 10 |
| | descarga | 20 | 20 | 20 |
| | naturalmente | 100 | 20 | 20 |
| | cabo longo e curvo | 250 | 18 | 12 |
| material flexível | 250 | 20 | 10 | |
| valor | 1654 | 204 | 168 | |

Tabela 6.9: Concepção 5

| | | | | |
|-------------------|----------------------------|-----|-----|-----|
| | concepção 5 | NPR | DFA | DFM |
| | recipiente calibrado | 280 | 20 | 15 |
| | recipiente calibrado | | 20 | 15 |
| | spray | | 12 | 12 |
| | spray | | 12 | 12 |
| | mangueira | 360 | 18 | 16 |
| | haste | 224 | 20 | 17 |
| | escova rotatória | 162 | 7 | 9 |
| | acessórios intercambiáveis | 144 | 15 | 14 |
| | descarga | 20 | 20 | 20 |
| | pano | 110 | 20 | 11 |
| | cabo longo e curvo | 250 | 18 | 12 |
| material flexível | 250 | 20 | 10 | |
| valor | 1800 | 202 | 163 | |

Tabela 6.10: Concepção 6

| | | | | |
|-------------------|------------------------------|-----|-----|-----|
| | concepção 6 | NPR | DFA | DFM |
| | Funil | 642 | 20 | 16 |
| | Tubo | | 18 | 15 |
| | Regulador de vazão + venturi | | 14 | 12 |
| | chuveiro | | 17 | 10 |
| | mangueira | 360 | 18 | 16 |
| | haste | 224 | 20 | 17 |
| | escova | 144 | 13 | 12 |
| | acessório combinado | 70 | 10 | 10 |
| | descarga | 20 | 20 | 20 |
| | esponja | 100 | 14 | 10 |
| | cabo longo e curvo | 250 | 18 | 12 |
| material flexível | 250 | 20 | 10 | |
| valor | 2060 | 202 | 160 | |

Tabela 6.11: Concepção 7

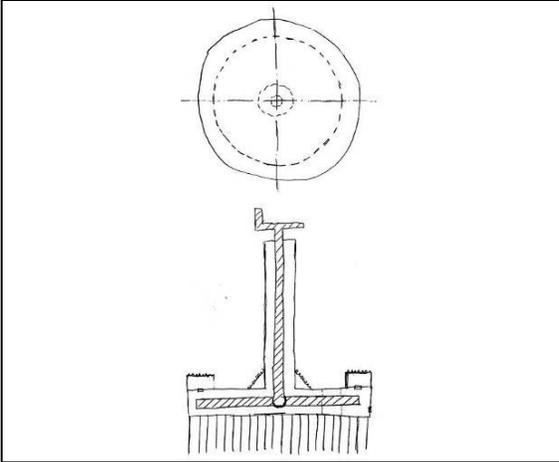
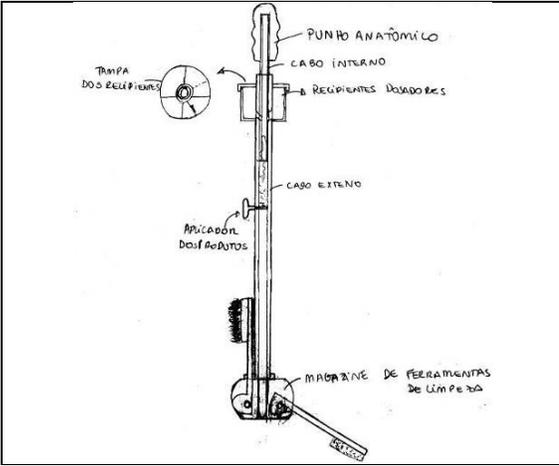
| | | | | |
|---|----------------------|------|-----|-----|
|  | concepção 7 | NPR | DFA | DFM |
| | Manual | 494 | 20 | 20 |
| | Recipiente calibrado | | 20 | 15 |
| | Manual | | 20 | 20 |
| | Manual | | 20 | 20 |
| | conexão | 360 | 18 | 15 |
| | haste | 224 | 20 | 17 |
| | escova rotatória | 162 | 7 | 9 |
| | acessório combinado | 70 | 10 | 10 |
| | descarga | 20 | 20 | 20 |
| | esponja | 100 | 14 | 10 |
| | cabo longo e curvo | 250 | 18 | 12 |
| | material flexível | 250 | 20 | 10 |
| | valor | 1930 | 207 | 178 |

Tabela 6.12: Concepção 8

| | | | | |
|--|---------------------|------|-----|-----|
|  | concepção 8 | NPR | DFA | DFM |
| | Manual | 574 | 20 | 20 |
| | Pano | | 20 | 11 |
| | Manual | | 20 | 20 |
| | manual | | 20 | 20 |
| | conexão | 360 | 18 | 15 |
| | haste | 224 | 20 | 17 |
| | escova | 144 | 13 | 12 |
| | acessório combinado | 70 | 10 | 10 |
| | descarga | 20 | 20 | 20 |
| | pano | 110 | 20 | 11 |
| | cabo longo e curvo | 250 | 18 | 12 |
| | material flexível | 250 | 20 | 10 |
| | valor | 2002 | 219 | 178 |

Assim, com base nestas 8 concepções procurou-se gerar os NPRs das mesmas. Estes estão mostrados na tabela 6.13. Também foi feita uma combinação de princípios que apresentasse o menor NPR possível. Esta resultou na tabela 6.14.

Tabela 6.13: Concepção 9

| | | | |
|---------------------------------|-----|-----|-----|
| concepção 9 | NPR | DFA | DFM |
| recipiente calibrado | 280 | 20 | 15 |
| recipiente calibrado | | 20 | 15 |
| Spray | | 12 | 12 |
| Spray | | 12 | 12 |
| funil em "V" | 16 | 20 | 16 |
| Sistema acoplado à descarga | 40 | 10 | 9 |
| Esponja | 100 | 14 | 10 |
| acessório combinado | 70 | 10 | 10 |
| Descarga | 20 | 20 | 20 |
| ar quente | 90 | 5 | 4 |
| dispositivo acoplado à descarga | 40 | 10 | 9 |
| material flexível | 250 | 20 | 10 |
| Valor | 906 | 173 | 142 |

Tabela 6.14: Matriz de avaliação com valor de NPR.

| Requisitos de Projeto | Peso das especificações | Concepções | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | Concepção 1 | Concepção 2 | Concepção 3 | Concepção 4 | Concepção 5 | Concepção 6 | Concepção 7 | Concepção 8 | Concepção 9 |
| 20. alcançar partes | 193 | 0 | 1 | -1 | 0 | 0 | 1 | -1 | 1 | -1 |
| 21. limpar partes | 193 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 |
| 1. Número de acessórios | 176 | 0 | -1 | 0 | 1 | -1 | 0 | 0 | 1 | -1 |
| 2. Custo de Produção | 169 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 3. Custo de materiais | 167 | 0 | -1 | 0 | -1 | -1 | 0 | 0 | -1 | -1 |
| 4. Comprimento variável | 166 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | 0 | -1 |
| 19. preço de venda | 161 | 0 | -1 | 0 | -1 | -1 | 0 | -1 | -1 | -1 |
| 26. volume | 159 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 | -1 | -1 | -1 |
| 6. Aplicabilidade de produto químico | 148 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 23. peso | 136 | 0 | -1 | 0 | -1 | -1 | 0 | 0 | -1 | -1 |
| 28. resistência mecânica | 133 | 0 | 0 | -1 | 0 | 1 | -1 | 0 | 0 | -1 |
| 27. força de remoção de sujeira | 132 | 0 | -1 | -1 | 0 | 1 | -1 | 1 | 0 | -1 |
| 5. Número de componentes | 118 | 0 | -1 | 0 | -1 | -1 | 0 | -1 | -1 | -1 |
| 7. Forma anatômica | 107 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 |
| 8. Reter umidade | 105 | 0 | 1 | -1 | 1 | -1 | 0 | 0 | -1 | -1 |
| 22. cantos vivos | 89 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 |
| 15. Materiais comuns | 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | -1 |
| 24. superfície lisa | 76 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 |
| 9. Materiais atóxicos | 73 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10. Componentes padronizados | 72 | 0 | -1 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 11. Impermeabilidade | 67 | 0 | -1 | -1 | 0 | -1 | -1 | 0 | -1 | -1 |
| 29. componentes simples | 65 | 0 | -1 | -1 | 1 | -1 | 0 | -1 | -1 | -1 |
| 25. cantos que acumulam sujeira | 63 | 0 | 1 | -1 | -1 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 12. Processos conhecidos | 62 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 30. materiais recicláveis | 61 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13. Estabilidade química | 56 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14. Componentes com tamanho pequeno | 55 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16. Cor | 54 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17. Número de operações de fabricação | 53 | 0 | -1 | 0 | -1 | -1 | 0 | -1 | -1 | -1 |
| 18. Forma moderna | 47 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 |
| Peso funcional | | 0 | -11,75 | -14,46 | -8,17 | -16,38 | -7,63 | -10,27 | -9,95 | -25,32 |
| NPR concepção | | 1698 | 2172 | 1862 | 1654 | 1800 | 2060 | 1930 | 2002 | 906 |
| DFA Concepção | | 197 | 208 | 200 | 204 | 202 | 202 | 207 | 219 | 173 |
| DFM Concepção | | 160 | 163 | 166 | 168 | 163 | 160 | 178 | 178 | 142 |

Com base nesta análise pôde-se constatar que há uma diferença substancial em termos de Número de Prioridade de Risco o que pode ser um fator relevante na escolha da concepção para o produto. Cabe ressaltar que as diferentes concepções encontram-se em diferentes graus de detalhamento, mas que, devido ao seu princípio de funcionamento estar estabelecido, torna-se possível avaliar o seu funcionamento.

6.11. Atividade 10 – Avaliar concepções

A atividade de avaliar concepções é feita por diferentes análises. Segundo Rozenfeld et al (2006), o processo de avaliação de concepções pode ser realizado de forma absoluta ou relativa. O método mais empregado é o método da Matriz de Decisão ou Matriz de Pugh (1991). Este consiste em colocar as concepções nas diferentes colunas e as especificações de projeto na primeira coluna relacionando o grau de atendimento de cada concepção em relação à especificação. Também é escolhida uma das concepções para servir de referência. Esta concepção terá valor “0”. As outras são valoradas relativamente a esta o que atribui valores positivos e negativos conforme o atendimento seja mais ou menos adequado do que a referência.

Assim, foi realizado este procedimento com as concepções geradas e definiu-se as concepções que melhor atenderam as especificações de projeto. Estas concepções também levaram em conta os valores do FMEA e uma análise de manufatura e montagem. A partir desta definição pôde-se estabelecer a concepção mais adequada para o produto.

A partir desta tabela constata-se que o peso dos NPRs do DFA e do DFM na decisão da concepção pode ser determinante para a seleção de uma ou outra alternativa. Entretanto, esta é uma opção que a equipe de projeto deve considerar e definir se será levado em conta ou não nesta atividade.

Pela métrica da confiabilidade pode-se dizer que a Concepção 9 é a que mais se destaca, pela métrica da montagem é a Concepção 8, já pela manufatura aponta-se as concepções 7 e 8, enquanto que pela funcionalidade a Concepção 1 é a melhor. Pode-se ainda considerar o gráfico mostrado na Figura 6.3. Nele é possível ver os resultados de forma comparativa de cada concepção, sendo apresentado no eixo “X” as diferentes avaliações realizadas e no eixo “Y” um ranqueamento de cada concepção segundo o critério avaliado.

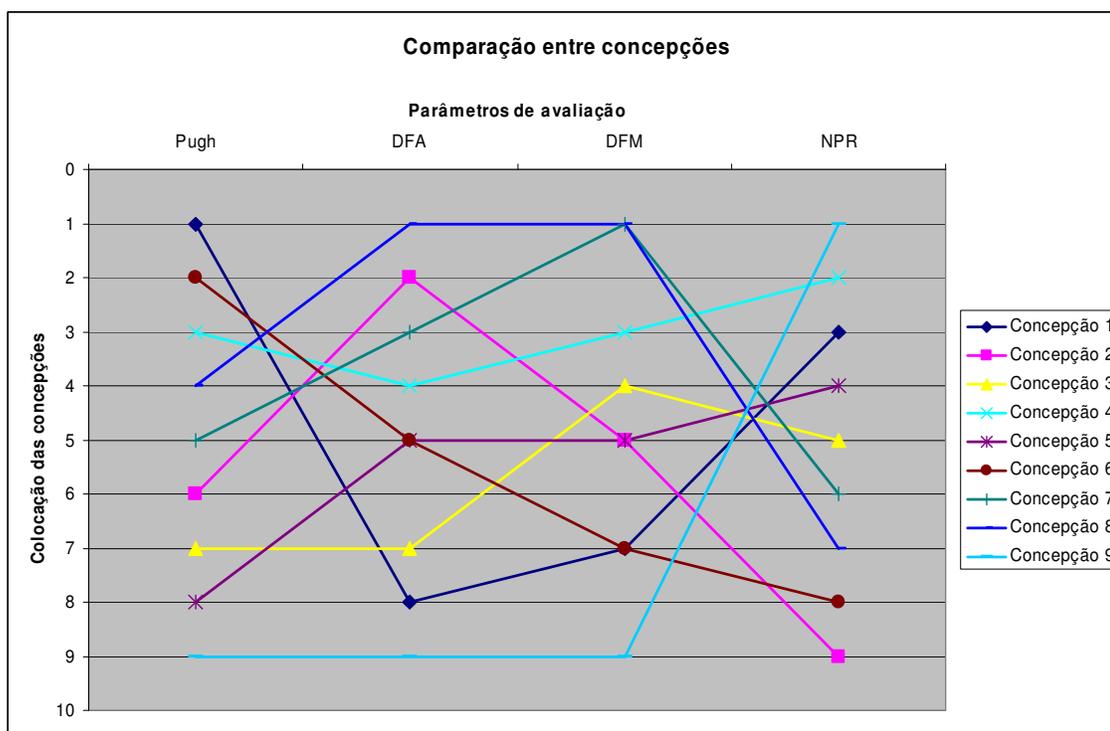


Figura 6.3: Gráfico comparativo de avaliação das concepções segundo os parâmetros especificados.

A análise das concepções apresentadas apresenta uma série de dificuldades. Conforme o olhar dado pela equipe de projetos pode-se obter diferentes melhores concepções. Uma possibilidade sugerida é a ênfase dada na Tabela 6.1, na qual o parâmetro mais importante é a definição da geometria do produto e de suas interfaces. Outra possibilidade é a realização de uma avaliação da estratégia da empresa em relação ao produto desenvolvido. É necessário um levantamento para verificar a adequação das concepções a essa estratégia.

Contudo, pela aplicação do modelo proposto pode-se ter uma idéia mais ampla das concepções e avalia-las sob diferentes aspectos. Esta ênfase pode ser verificada nas Figura 6.4, 6.5 e 6.6 nas quais três concepções são modeladas em um *software* de CAD e nas quais estão mostrados detalhes que podem auxiliar na avaliação das concepções.

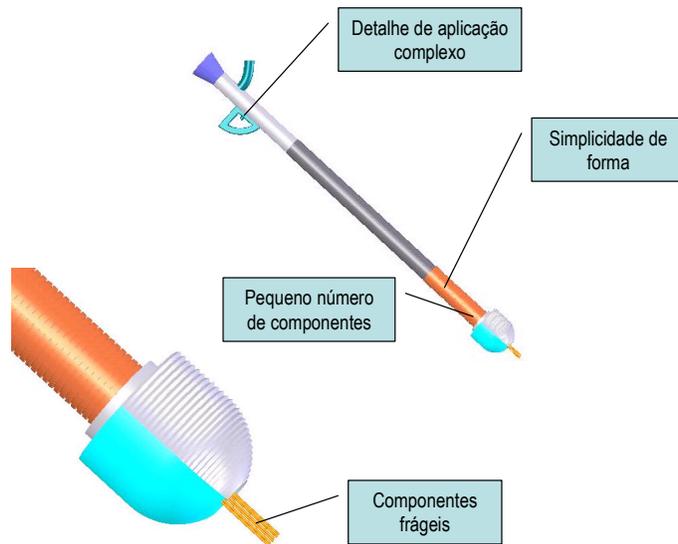


Figura 6.4: Concepção 1 mostrada com detalhes construtivos (adaptada de Souza et al, 2003).

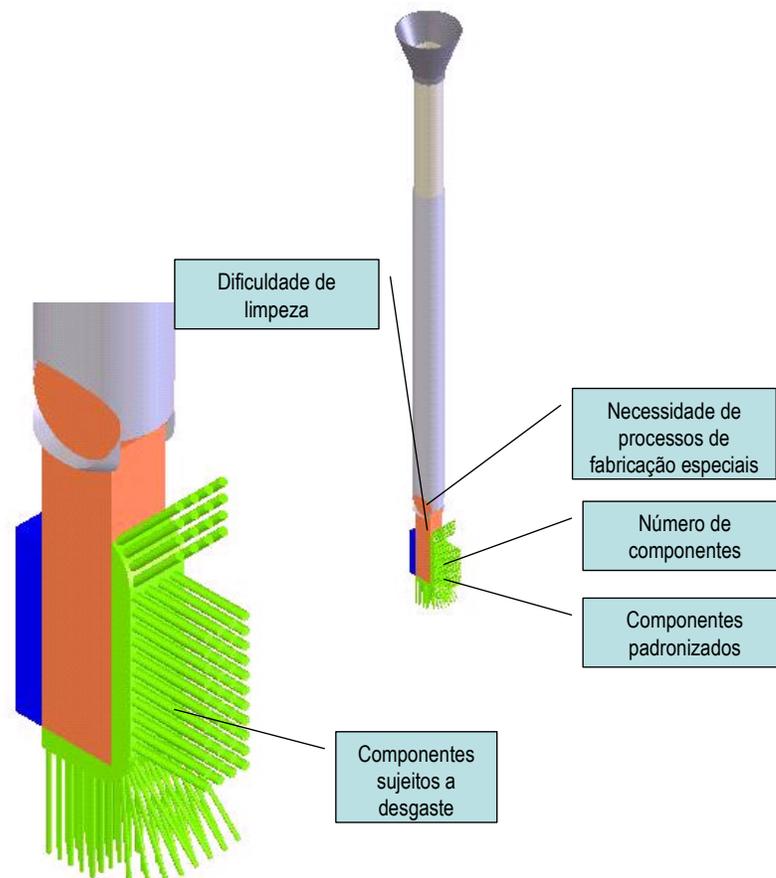


Figura 6.5: Concepção 6 mostrada com detalhes construtivos (adaptada de Souza et al, 2003).

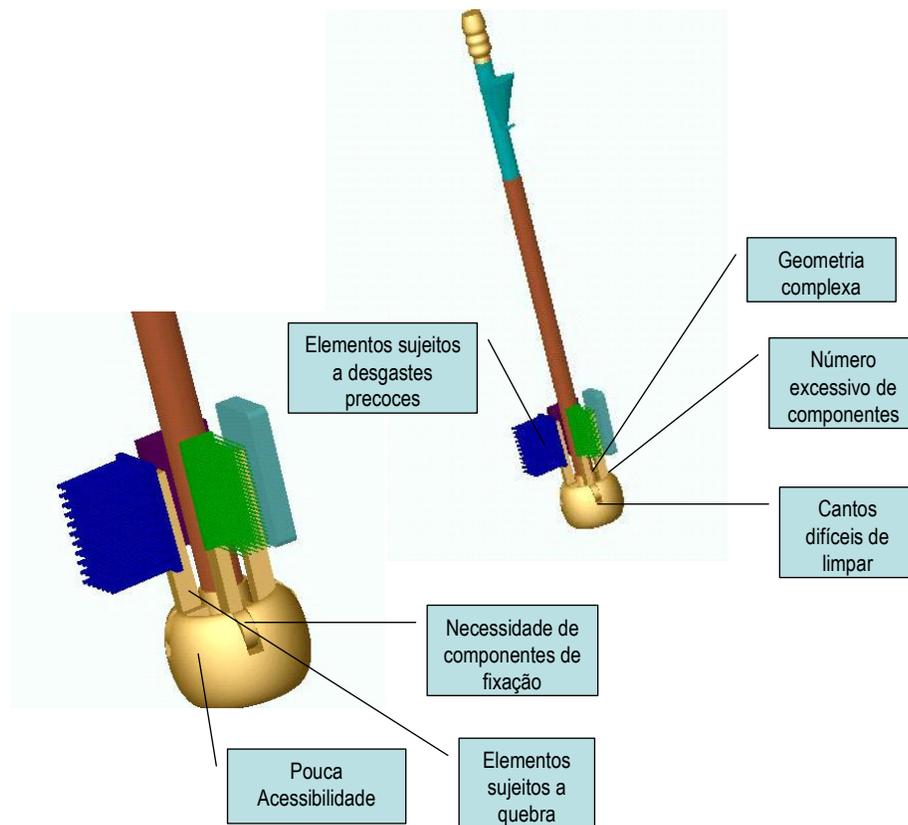


Figura 6.6: Concepção 8 mostrada com detalhes construtivos (adaptada de Souza et al, 2003).

6.12. Atividade 11 – Detalhar concepções

A atividade de detalhamento das concepções envolve as atividades listadas por Rozenfeld et al (2006) para esta fase do projeto de produto. Cabe ressaltar que já estão definidos nesta fase os processos de manufatura e montagem a serem utilizados uma vez que já estão definidas as listas de peças, faltando apenas definir os fornecedores (se necessário).

Também há que se considerar que a passagem de uma fase para outra é relativamente nebulosa, ou seja, não há uma definição muito clara para isso, pois muitas informações da fase de detalhamento já estão disponíveis no projeto conceitual.

Neste estudo de caso não será realizado o detalhamento do projeto, pois este não é parte do escopo do trabalho.

6.13. Análise comparativa de modelos - Estudo de Caso 1

Com base neste primeiro estudo de caso pode-se fazer algumas análises em termos comparativos de aplicação do modelo de projeto de interfaces proposto neste trabalho com o modelo adotado por Souza et al (2003).

Assim, como no modelo de Rozenfeld et al (2006), o modelo consensual adotado pelos autores para o desenvolvimento do equipamento de limpeza de vaso sanitário também não aponta formas de desenvolvimento das interfaces do produto no projeto conceitual. Assim, foram adicionadas etapas, atividades e tarefas com este fim no decorrer do seu desenvolvimento.

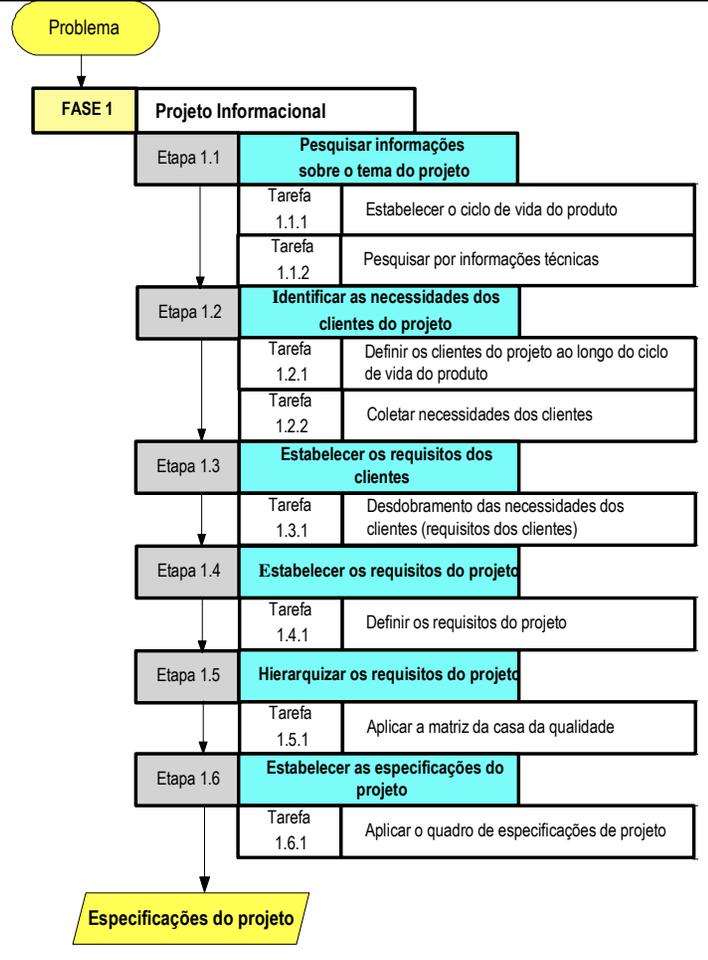
Além disso, o modelo aplicado por Souza et al (2003) é seqüencial, o que faz com que as atividades e tarefas sejam dependentes daquelas anteriores.

Traçando-se um paralelo entre os dois modelos pode-se constatar que o modelo proposto apresenta-se de forma mais completa no que diz respeito à completeza de informações do produto. Desde o projeto informacional são adicionadas informações acerca do desenvolvimento das interfaces do produto. Também pela ênfase na definição da modularização ou não do produto aspectos da definição da arquitetura do produto são definidos nas fases iniciais como o planejamento do produto, por exemplo.

Quanto ao projeto conceitual, diversas etapas, atividades e tarefas foram inseridas. Isto porque o modelo foi desenvolvido com base no modelo de projeto de Rozenfeld et al (2006) no qual a fase de projeto preliminar é englobada pelas fases de projeto conceitual e projeto detalhado. Além disso, outros itens foram adicionados ao modelo de forma que o modelo proposto apresenta uma maior quantidade de informações e de definições sobre o produto nesta fase do projeto. Esta característica do modelo proposto propicia uma menor quantidade de incertezas durante o processo de avaliação. Isto fica evidente a partir da Tabela 6.13 na qual as concepções para o produto são avaliadas sob diferentes óticas.

Dessa forma, os Quadros 6.10 a 6.13 mostram os modelos de projeto informacional e conceitual empregados no trabalho de Souza et al (2003) e no presente estudo de caso bem como as características dos modelos e os resultados obtidos em cada um dos trabalhos.

Quadro 6.9: Modelo de projeto informacional utilizado por Souza et al (2003).

| Forma do modelo | Características | Resultados |
|---|---|---|
|  <p>The flowchart illustrates the project model starting with a yellow oval labeled 'Problema'. An arrow points down to a yellow box labeled 'FASE 1'. Below this is a large box labeled 'Projeto Informacional'. The process then follows six sequential stages, each in a grey box with a cyan title box, connected by downward arrows:</p> <ul style="list-style-type: none"> Etapa 1.1 (Pesquisar informações sobre o tema do projeto): <ul style="list-style-type: none"> Tarefa 1.1.1: Estabelecer o ciclo de vida do produto Tarefa 1.1.2: Pesquisar por informações técnicas Etapa 1.2 (Identificar as necessidades dos clientes do projeto): <ul style="list-style-type: none"> Tarefa 1.2.1: Definir os clientes do projeto ao longo do ciclo de vida do produto Tarefa 1.2.2: Coletar necessidades dos clientes Etapa 1.3 (Estabelecer os requisitos dos clientes): <ul style="list-style-type: none"> Tarefa 1.3.1: Desdobramento das necessidades dos clientes (requisitos dos clientes) Etapa 1.4 (Estabelecer os requisitos do projeto): <ul style="list-style-type: none"> Tarefa 1.4.1: Definir os requisitos do projeto Etapa 1.5 (Hierarquizar os requisitos do projeto): <ul style="list-style-type: none"> Tarefa 1.5.1: Aplicar a matriz da casa da qualidade Etapa 1.6 (Estabelecer as especificações do projeto): <ul style="list-style-type: none"> Tarefa 1.6.1: Aplicar o quadro de especificações de projeto <p>An arrow from the final stage points to a yellow box labeled 'Especificações do projeto'.</p> | <p>Modelo consensual (Gomes Ferreira, 1997; Ogliari, 1999) Modelo sequencial; Não apresenta referências sobre as interfaces do produto; Dividido em fases, etapas e tarefas.</p> | <p>Obtém-se, pela aplicação deste modelo, uma lista de especificações de projeto com seus respectivos valores meta, saídas desejáveis e indesejáveis e quais os sensores a serem utilizados para verificar se os objetivos foram atingidos ou não. No trabalho de Souza et al (2003) tais resultados foram satisfatórios.</p> |

Quadro 6.10: Modelo proposto de projeto informacional aplicado no estudo de caso.

| Forma do modelo | Características | Resultados |
|---|--|--|
| <p style="text-align: center;"><i>Atualizar o Plano do Projeto Informacional</i></p> <p>Idéia do produto</p> <p>Projeto Informacional</p> <p>Especificacoes-Meta</p> <ul style="list-style-type: none"> • Requisitos com valores-meta • Informações adicionais qualitativas <p>(Especificações para desenvolvimento - modelo textual do produto)</p> <p>Definir especificações das interfaces</p> <p>Definir requisitos das interfaces</p> <p>Definir especificações do produto</p> <p>Monitorar viabilidade econômica</p> <p>Avaliar Fase</p> <p>Aprovar Fase</p> <p>Documentar a decisões tomadas e registrar lições aprendidas</p> <p>Revisar e atualizar o escopo do produto</p> <p>Identificar os requisitos dos clientes do produto</p> <p>Definir requisitos do produto</p> <p>Detalhar ciclo de vida do produto e definir seus clientes</p> | <p>Prevê atividades em paralelo (ES); Adaptado do modelo de Rozenfeld et al (2006);</p> <p>Estabelece requisitos e especificações de projeto para as interfaces do produto;</p> <p>Estabelece COMO definir as especificações de projeto das interfaces com a inclusão de atividades específicas para isso;</p> <p>É dividido em fases, atividades e tarefas;</p> <p>Estabelece as atividades em destaque para o projeto das interfaces do produto.</p> | <p>Pela aplicação do modelo de projeto de interfaces obteve-se não apenas as informações obtidas por Souza et al (2003), mas também informações sobre as interfaces, uma hierarquização dos requisitos para o projeto das interfaces, bem como uma classificação dos critérios para o desenvolvimento das interfaces para o produto.</p> |

Quadro 6.11: Modelo de projeto conceitual utilizado por Souza et al (2003).

| Forma do modelo | Características | Resultados | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|----------------------------|--------------|------------------------|--------------|-----------------------------|--------------|--|--------------|----------------------------------|--------------|-------------------------------------|--------------|--------------------------------------|--------------|--|--------------|---|--------------|----------------------------|--------------|-------------------------------------|--------------|-------------------------------|--|--|
| <p data-bbox="163 310 268 354">Especificação do projeto</p> <p data-bbox="184 378 247 402">FASE 2</p> <p data-bbox="289 378 457 402">Projeto conceitual</p> <p data-bbox="260 418 575 443">Etapa 2.1 Verificar o escopo do problema</p> <table border="1" data-bbox="344 456 730 540"> <tr> <td data-bbox="344 456 428 480">Tarefa 2.1.1</td> <td data-bbox="428 456 730 480">Analisar as especificações</td> </tr> <tr> <td data-bbox="344 513 428 537">Tarefa 2.1.2</td> <td data-bbox="428 513 730 537">Identificar restrições</td> </tr> </table> <p data-bbox="260 545 575 570">Etapa 2.2 Estabelecer a estrutura funcional</p> <table border="1" data-bbox="344 583 730 703"> <tr> <td data-bbox="344 583 428 607">Tarefa 2.2.1</td> <td data-bbox="428 583 730 607">Estabelecer a função global</td> </tr> <tr> <td data-bbox="344 638 428 662">Tarefa 2.2.2</td> <td data-bbox="428 638 730 662">Estabelecer estruturas funcionais alternativas</td> </tr> <tr> <td data-bbox="344 693 428 717">Tarefa 2.2.3</td> <td data-bbox="428 693 730 717">Selecionar a estrutura funcional</td> </tr> </table> <p data-bbox="260 724 575 748">Etapa 2.3 Pesquisar por princípios de solução</p> <table border="1" data-bbox="344 761 730 881"> <tr> <td data-bbox="344 761 428 786">Tarefa 2.3.1</td> <td data-bbox="428 761 730 786">Aplicar métodos de busca intuitivos</td> </tr> <tr> <td data-bbox="344 800 428 824">Tarefa 2.3.2</td> <td data-bbox="428 800 730 824">Aplicar métodos de busca discursivos</td> </tr> <tr> <td data-bbox="344 839 428 863">Tarefa 2.3.3</td> <td data-bbox="428 839 730 863">Aplicar métodos de busca convencionais</td> </tr> </table> <p data-bbox="260 888 575 912">Etapa 2.4 Combinar princípios de solução</p> <table border="1" data-bbox="344 925 730 961"> <tr> <td data-bbox="344 925 428 950">Tarefa 2.4.1</td> <td data-bbox="428 925 730 961">Otimizar a combinação dos princípios de solução</td> </tr> </table> <p data-bbox="260 967 575 992">Etapa 2.5 Selecionar combinações</p> <table border="1" data-bbox="344 1005 730 1040"> <tr> <td data-bbox="344 1005 428 1029">Tarefa 2.5.1</td> <td data-bbox="428 1005 730 1040">Aplicar métodos de seleção</td> </tr> </table> <p data-bbox="260 1047 575 1071">Etapa 2.6 Evoluir em variantes de concepção</p> <table border="1" data-bbox="344 1084 730 1120"> <tr> <td data-bbox="344 1084 428 1109">Tarefa 2.6.1</td> <td data-bbox="428 1084 730 1120">Detalhar as concepções selecionadas</td> </tr> </table> <p data-bbox="260 1127 575 1151">Etapa 2.7 Avaliar concepções</p> <table border="1" data-bbox="344 1164 730 1200"> <tr> <td data-bbox="344 1164 428 1188">Tarefa 2.7.1</td> <td data-bbox="428 1164 730 1200">Aplicar a matriz de avaliação</td> </tr> </table> <p data-bbox="212 1252 373 1276">Concepção do produto</p> | Tarefa 2.1.1 | Analisar as especificações | Tarefa 2.1.2 | Identificar restrições | Tarefa 2.2.1 | Estabelecer a função global | Tarefa 2.2.2 | Estabelecer estruturas funcionais alternativas | Tarefa 2.2.3 | Selecionar a estrutura funcional | Tarefa 2.3.1 | Aplicar métodos de busca intuitivos | Tarefa 2.3.2 | Aplicar métodos de busca discursivos | Tarefa 2.3.3 | Aplicar métodos de busca convencionais | Tarefa 2.4.1 | Otimizar a combinação dos princípios de solução | Tarefa 2.5.1 | Aplicar métodos de seleção | Tarefa 2.6.1 | Detalhar as concepções selecionadas | Tarefa 2.7.1 | Aplicar a matriz de avaliação | <p data-bbox="758 310 1339 375">Modelo consensual (Gomes Ferreira, 1997; Ogliari, 1999)</p> <p data-bbox="758 380 995 412">Modelo seqüencial;</p> <p data-bbox="758 417 1346 482">Não apresenta referências sobre as interfaces do produto;</p> <p data-bbox="758 487 1346 584">Avalia o produto sob as óticas da disponibilidade tecnológica, viabilidade técnica e funcionalidade;</p> <p data-bbox="758 589 1272 621">As avaliações são subjetivas e qualitativas;</p> <p data-bbox="758 626 1182 659">Dividido em fases, etapas e tarefas.</p> | <p data-bbox="1367 310 1955 716">Como resultados da aplicação do modelo em Souza et al (2003) obteve-se a seleção da alternativa baseada nos critérios de funcionalidade. Esta análise não considera as interfaces entre funções nem mesmo as interfaces entre componentes. Estas são definidas apenas na fase de projeto preliminar. Os modelos em CAD foram feitos apenas das concepções mais pontuadas, a estrutura funcional foi realizada superficialmente. Assim, o nível de incertezas na geração e avaliação das concepções foi elevado.</p> |
| Tarefa 2.1.1 | Analisar as especificações | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tarefa 2.1.2 | Identificar restrições | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tarefa 2.2.1 | Estabelecer a função global | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tarefa 2.2.2 | Estabelecer estruturas funcionais alternativas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tarefa 2.2.3 | Selecionar a estrutura funcional | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tarefa 2.3.1 | Aplicar métodos de busca intuitivos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tarefa 2.3.2 | Aplicar métodos de busca discursivos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tarefa 2.3.3 | Aplicar métodos de busca convencionais | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tarefa 2.4.1 | Otimizar a combinação dos princípios de solução | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tarefa 2.5.1 | Aplicar métodos de seleção | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tarefa 2.6.1 | Detalhar as concepções selecionadas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tarefa 2.7.1 | Aplicar a matriz de avaliação | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Quadro 6.12: Modelo proposto de projeto conceitual aplicado no estudo de caso.

| Forma do modelo | Características | Resultados |
|--|--|--|
| <pre> graph TD A[Atualizar plano do Projeto Conceitual] --> B[Definir arquitetura] B --> C[Gerar concepções para o produto] D[Definir ergonomia e estética] --> C E[Definir parcerias de eo desenvolvimento] --> C C --> F[Avaliar concepções alternativas] G[Definir plano macro de processo] --> F F --> H[Monitorar viabilidade econômica] H --> I[Avaliar fase] I --> J[Aprovar fase] J --> K[Documentar as decisões tomadas e registrar lições aprendidas] </pre> | <p>Prevê atividades em paralelo (ES); Adaptado do modelo de Rozenfeld et al (2006); Estabelece requisitos e especificações de projeto para as interfaces do produto; Estabelece COMO definir a arquitetura do produto, as funções das interfaces e princípios de solução para estas; Estabelece formas de avaliação dos princípios de solução em termos de confiabilidade, montabilidade e manufaturabilidade, individualmente e no contexto das concepções; Analisa as compatibilidades entre funções e princípios de solução; Aponta o desenvolvimento de modelos em CAD ainda em sua fase de geração de princípios de solução; É dividido em fases, etapas atividades e tarefas; Estabelece as atividades em destaque para o projeto das interfaces do produto.</p> | <p>Como resultados da aplicação deste modelo, pode-se destacar as diferentes avaliações possíveis das concepções geradas. Estas permitem que a equipe de projeto tenha uma visão global do desenvolvimento do produto. Isto se deve à quantidade de informações disponível, uma vez que se tem a disposição dados sobre a compatibilidade de funções, funções de interfaces, funções críticas do produto, possíveis agrupamentos funcionais, princípios de funcionamento dos princípios de solução disponíveis, tipos de energia, material e informação que perpassam as funções e os princípios, entre outros. Os modelos em CAD também possibilitam uma avaliação mais palpável do produto sem a necessidade de se dispender recursos para construir um modelo real. Estes modelos ainda podem ser analisados cinematicamente, estruturalmente e dinamicamente conforme o software utilizado. Assim, os riscos envolvidos na seleção das concepções são minimizados pois as incertezas nesta fase também são. Pode-se ainda iniciar o projeto do processo de produção e o estabelecimento de seqüências de montagem ainda nesta fase do projeto.</p> |

7. Estudo de caso 2 – Desenvolvimento de um sistema mecânico para a limpeza e classificação de ostras

O segundo estudo de caso foi a aplicação do modelo no desenvolvimento de um sistema mecânico para a limpeza e classificação de ostras. Este estudo de caso baseou-se no trabalho desenvolvido por Novaes (2005). Neste trabalho o autor desenvolveu o equipamento citado até a fase de projeto detalhado.

Para o presente trabalho serão aproveitadas as informações advindas da fase de projeto informacional as quais se encontram relatadas em Novaes (2005). A partir destas informações, foram aplicadas as ferramentas propostas pelo modelo de projeto de interfaces.

Algumas informações foram aproveitadas também do projeto conceitual. Entretanto, pelo fato do autor utilizar o modelo consensual de desenvolvimento de produtos, nesta etapa serão feitas alterações no andamento do mesmo. Dessa forma, algumas atividades foram re-elaboradas e outras foram adicionadas.

A seguir, serão descritas as atividades propostas no modelo de projeto de interfaces para o projeto do equipamento de limpeza e classificação de ostras.

7.1. Atividade 1 – Levantamento dos requisitos das interfaces

A atividade de levantamento dos requisitos das interfaces do produto foi realizada pela utilização das informações advindas do projeto informacional do produto já projetado. Assim, esta análise parte já da lista de Especificações de projeto determinada por Novaes (2005). Conforme apontado no Estudo de Caso anterior, os requisitos de interface confundem-se constantemente com os requisitos do produto. Assim, a lista de requisitos de interface está inserida na mesma atividade de levantamento dos requisitos do produto sendo separada apenas na próxima atividade.

7.2. Atividade 2 – Definição das especificações de projeto de interfaces

A definição das especificações de projeto de interfaces é feita a partir da aplicação da matriz de comparação com os critérios das interfaces de Scalice (2003) (Tabela 7.1).

Com base nesta tabela, consegue-se visualizar os requisitos e os critérios das interfaces mais importantes para o projeto em questão.

Tabela 7.1: Definição de Especificações de projeto de interfaces

| Requisitos de Projeto | Peso das especificações | geometria | segurança e ergonomia | custo | forças, energias e movimentos | produção | material | montabilidade | desmontabilidade | intercambiabilidade | Estanqueidade | manutenção | Peso dos requisitos para o projeto de interfaces |
|---|-------------------------|-----------|-----------------------|-------|-------------------------------|----------|----------|---------------|------------------|---------------------|---------------|------------|--|
| Frequência de ocorrência de falhas | 156 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1248 |
| Custo de manutenção | 136 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1088 |
| Número de componentes | 136 | 1 | | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1088 |
| Custo de fabricação | 127 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1016 |
| número de componentes com geometria simples | 131 | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 917 |
| Custo de aquisição | 143 | 1 | | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | 858 |
| Número de componentes padronizados | 106 | 1 | | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 848 |
| Número de cantos vivos e arestas cortantes expostas | 133 | 1 | 1 | | | | | 1 | 1 | | 1 | | 665 |
| Frequência de manutenção | 120 | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 600 |
| Tempo de manutenção | 71 | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 497 |
| Custo de material | 149 | | | 1 | | 1 | 1 | | | | | | 447 |
| Número de componentes disponíveis no mercado local | 84 | 1 | | | | 1 | 1 | | | 1 | | 1 | 420 |
| Custo de montagem | 80 | 1 | | | | | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 400 |
| Vida útil | 110 | | | | | | 1 | | | 1 | | 1 | 330 |
| Nível de vibrações | 108 | 1 | 1 | | | | | | | | 1 | | 324 |
| Número de materiais utilizados na fabricação | 120 | | | 1 | | | 1 | | | | | | 240 |
| Processos convencionais de fabricação | 60 | 1 | | 1 | | 1 | 1 | | | | | | 240 |
| Peso do sistema | 119 | | 1 | | | | 1 | | | | | | 238 |
| Volume ocupado pelo sistema | 75 | 1 | 1 | | 1 | | | | | | | | 225 |
| número de componentes móveis expostos | 107 | | 1 | | | | | | | | 1 | | 214 |
| Resistência à corrosão | 71 | | | 1 | | 1 | 1 | | | | | | 213 |
| Capacidade de processamento | 67 | 1 | | | 1 | | | | | | 1 | | 201 |
| Nível de ruído | 62 | | 1 | | 1 | | | | | | 1 | | 186 |
| Resistência ao desgaste dos componentes | 61 | 1 | | | 1 | | 1 | | | | | | 183 |
| Ostras danificadas no processamento | 79 | 1 | | | 1 | | | | | | | | 158 |
| Capacidade de carga do alimentador | 78 | 1 | | | 1 | | | | | | | | 156 |
| Custo de operação | 67 | | 1 | 1 | | | | | | | | | 134 |
| Potência de acionamento | 115 | | | | 1 | | | | | | | | 115 |
| Segurança | 93 | | 1 | | | | | | | | | | 93 |
| Exigência de esforços físicos do operador | 81 | | 1 | | | | | | | | | | 81 |
| Número de componentes recicláveis | 18 | 1 | | | | | 1 | | | 1 | | 1 | 72 |
| Consumo de energia | 51 | | | | 1 | | | | | | | | 51 |
| Peso dos critérios | | 1849 | 1179 | 1115 | 744 | 1163 | 1918 | 1339 | 1339 | 1275 | 477 | 1148 | |

7.3. Atividade 3 – estabelecimento das estruturas funcionais e dos relacionamentos entre funções

Após a definição das especificações de projeto do produto e das especificações de projeto das interfaces, partiu-se para a definição das estruturas funcionais. Como esta atividade já fora desenvolvida no trabalho de Novaes (2005) partiu-se da estrutura de funções escolhida pelo autor (Figura 7.1). A partir desta estrutura fez-se um desdobramento das funções elementares apontadas no trabalho em questão e definiu-se os fluxos de material, energia e informação existentes entre as funções. Assim, obteve-se a forma final da estrutura funcional mostrada na Figura 7.2.

A partir da estrutura funcional apresentada pôde-se definir o quadro de interfaces entre funções mostrado no Quadro 7.1.

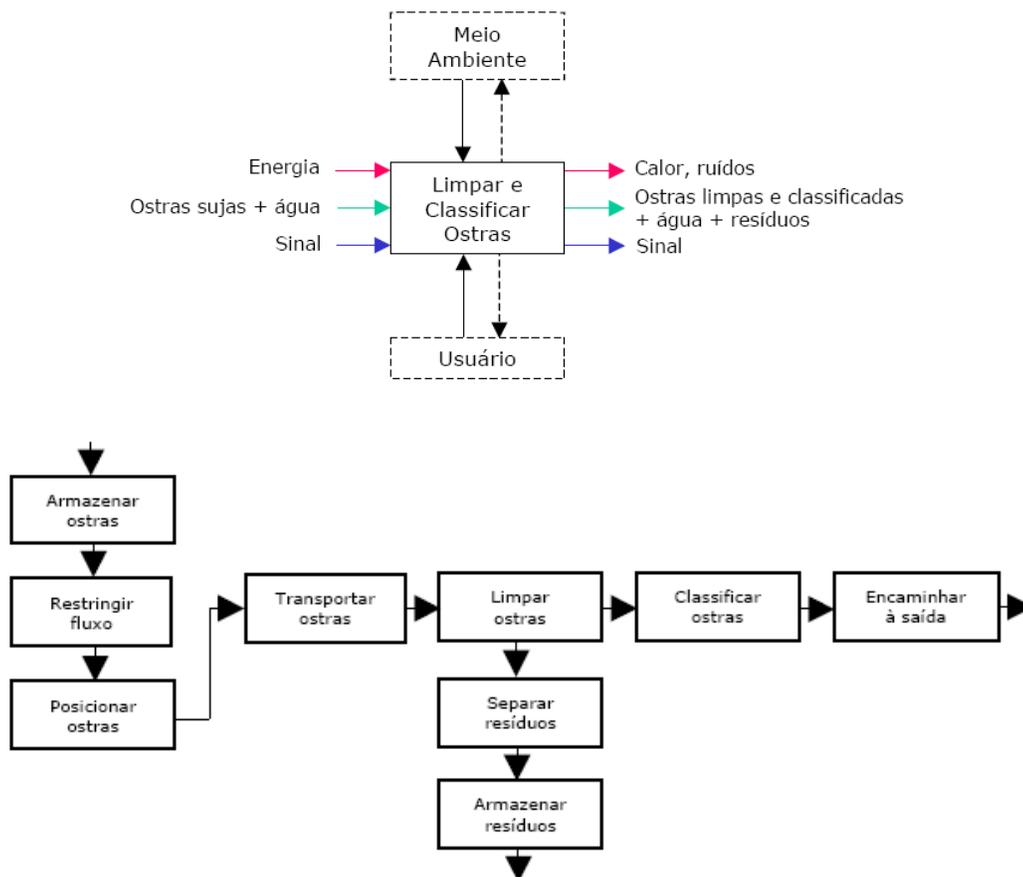


Figura 7.1: Função Global e desdobramento em Funções Parciais (Novaes, 2005, p.42 e 43).

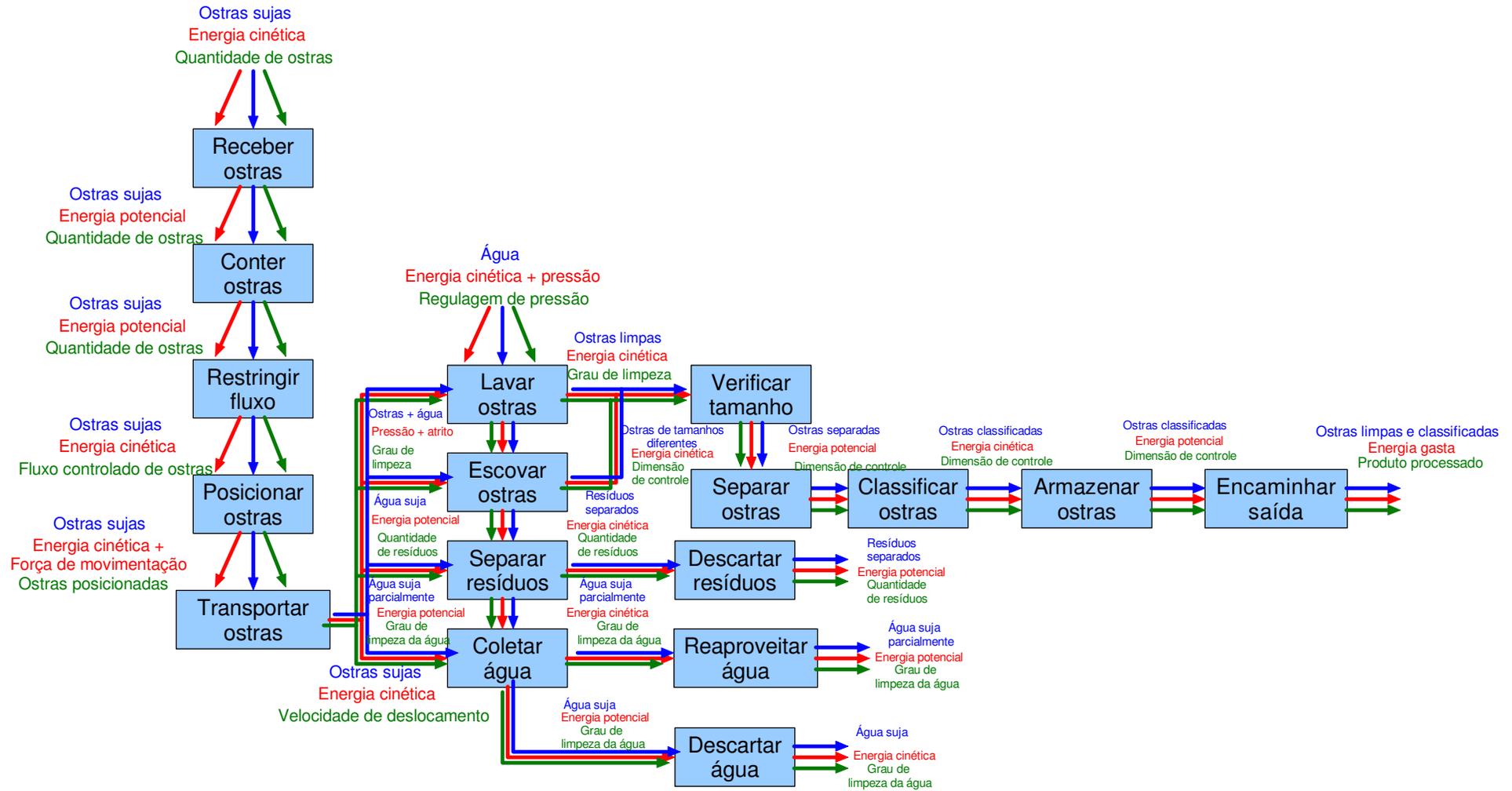


Figura 7.2: Desdobramento da Estrutura funcional em Funções Elementares (Definido a partir de Novaes, 2005).

Quadro 7.1: Definição das entradas e saídas das funções.

| Entradas | Elemento funcional | Saídas |
|---|--------------------|---|
| E – Energia cinética M – Ostras sujas S – quantidade de ostras | Receber ostras | E – Energia potencial M – Ostras sujas S – quantidade de ostras |
| E – Energia potencial M – Ostras sujas S – quantidade de ostras | Conter ostras | E – Energia potencial M – Ostras sujas S – quantidade de ostras |
| E – Energia potencial M – Ostras sujas S – quantidade de ostras | Restringir fluxo | E – Energia cinética M – Ostras sujas S – fluxo controlado de ostras |
| E – Energia cinética M – Ostras sujas S – fluxo controlado de ostras | Posicionar ostras | E – Energia cinética + força de movimentação M – Ostras sujas S – ostras posicionadas |
| E – Energia cinética + força de movimentação M – Ostras sujas S – ostras posicionadas | Transportar ostras | E – Energia cinética M – Ostras sujas S – velocidade de deslocamento |
| E – Energia cinética + pressão M – Ostras sujas + água S – velocidade de deslocamento + regulagem de pressão | Lavar ostras | E – Energia cinética + pressão + atrito M – água + ostras limpas S – Grau de limpeza |
| E – Pressão + atrito + energia cinética M – água + ostras sujas S – Grau de limpeza + velocidade de deslocamento | Escovar ostras | E – Energia cinética + Energia potencial M – água suja + ostras limpas S – Grau de limpeza + quantidade de resíduos |
| E – Energia potencial + energia cinética M – água suja + ostras sujas S – quantidade de resíduos + velocidade de deslocamento | Separar resíduos | E – Energia cinética + energia potencial M – resíduos separados + água suja parcialmente S – quantidade de resíduos + grau de limpeza da água |
| E – energia potencial + energia cinética M – água suja parcialmente + ostras sujas S – grau de limpeza da água + velocidade de deslocamento | Coletar água | E – energia cinética + energia potencial M – água suja parcialmente/água suja S – grau de limpeza da água |
| E – Energia cinética M – ostras limpas S – Grau de limpeza | Verificar tamanho | E – Energia cinética M – ostras de tamanhos diferentes S – Dimensão de controle |
| E – Energia cinética M – ostras de tamanhos diferentes S – Dimensão de controle | Separar ostras | E – Energia potencial M – ostras separadas S – Dimensão de controle |
| E – Energia potencial M – ostras separadas S – Dimensão de controle | Classificar ostras | E – Energia cinética M – ostras classificadas S – Dimensão de controle |
| E – Energia potencial M – ostras classificadas S – Dimensão de controle | Armazenar ostras | E – Energia potencial M – ostras classificadas e acondicionadas S – controle de armazenagem |
| E – Energia potencial M – ostras classificadas e acondicionadas S – controle de armazenagem | Encaminhar saída | E – Energia potencial M – ostras limpas, classificadas e acondicionadas S – controle de transporte e armazenagem |
| E – Energia cinética M – resíduos separados S – quantidade de resíduos | Descartar resíduos | E – Energia potencial M – resíduos separados S – quantidade de resíduos |
| E – energia potencial | Reaproveitar água | E – energia cinética |

| | | |
|---|----------------|--|
| M – água suja parcialmente S – grau de limpeza da água | | M – água suja parcialmente S – grau de limpeza da água |
| E – energia potencial M – água suja S – grau de limpeza da água | Descartar água | E – energia cinética M – água suja S – grau de limpeza da água |

A partir desta tabela, foi possível a utilização da matriz de interfaces. Esta estabelece quais elementos funcionais possuem inter-relação com outros elementos (Figura 7.3). Cabe ressaltar que a matriz apresenta também as relações do produto com o ambiente e com o usuário.

No caso em questão, pelo número de funções existentes e pelos diferentes tipos de energia, material e informação envolvidos, pode-se verificar que houve uma necessidade de se estabelecer uma diferenciação entre as interações funcionais. Isto porque, para estabelecer um bloco funcional é necessário que haja compatibilidade entre os tipos de fluxo determinados.

Assim, constata-se que no caso de produtos de maior complexidade pode haver mais dificuldade de se estabelecer todas as relações entre funções.

7.4. Atividade 6 – Definição dos blocos funcionais

Como resultado da matriz de interfaces, pôde-se constatar que algumas interfaces funcionais estabelecem possíveis módulos construtivos. Estes módulos são configurados pela compatibilidade de energia, material e sinal e permitem estabelecer as funções que executam tarefas semelhantes no contexto do produto.

O Quadro 7.2 procura mostrar os blocos funcionais definidos.

| Elemento funcional | Blocos Funcionais |
|--------------------|-------------------|
| Receber ostras | Bloco Funcional 1 |
| Conter ostras | |
| Restringir fluxo | |
| Posicionar ostras | Bloco Funcional 2 |
| Transportar ostras | |
| Lavar ostras | Bloco Funcional 3 |
| Escovar ostras | |
| Separar resíduos | |
| Coletar água | |
| Reaproveitar água | |
| Descartar água | |
| Verificar tamanho | Bloco Funcional 4 |
| Separar ostras | |
| Classificar ostras | |
| Armazenar ostras | |
| Encaminhar saída | |
| Descartar resíduos | Bloco Funcional 5 |

Com base nestes módulos construtivos e na matriz de interfaces é possível verificar as interfaces existentes entre os módulos e definir as funções existentes nas interfaces intermodulares.

7.5. Atividade 4 – Definição das funções de interface

A definição das funções de interface foi realizada a exemplo do estudo de caso 1, isto é, comparou-se os relacionamentos funcionais estabelecidos pela matriz de interfaces com os tipos de interfaces definidos por Persson (2004) e com os critérios de interface de Scalice (2003). Além disso, a lista de funções de interface de Hillström (1994) também serve de base para o estabelecimento das funções de interface.

Esta lista apresentada no capítulo 3 serve de referência para a determinação das funções que as interfaces exercem no produto. Assim, buscou-se enquadrar as interfaces determinadas na classificação proposta. A lista das funções de interface encontra-se na Quadro 7.3.

Quadro 7.3: Funções de interface com as respectivas classificações de Persson (2004), Hillström (1994) e Scalice (2003).

| Interfaces funcionais | Funções de interface | Classificação segundo Persson (2004) | Classificação segundo Hillström (1994) | Classificação segundo Scalice (2003) |
|---------------------------------------|---|--------------------------------------|--|---|
| Bloco Funcional 1 – Bloco Funcional 2 | Prover fluxo | Transferência | Transformar energia | Força, energia e movimento |
| Bloco Funcional 1 – Bloco Funcional 3 | Compartilhar energia, posicionar componente | Transferência, montagem e espacial | Transformar energia, localizar componentes | Força, energia e movimento, montabilidade |

| | | | | |
|---------------------------------------|---|------------------------------------|--|---|
| Bloco Funcional 1 – Bloco Funcional 4 | Compartilhar energia, posicionar componente | Transferência, montagem e espacial | Transformar energia, localizar componentes | Força, energia e movimento, montabilidade |
| Bloco Funcional 1 – Bloco Funcional 5 | Compartilhar energia, posicionar componente | Transferência, montagem e espacial | Transformar energia, localizar componentes | Força, energia e movimento, montabilidade |
| Bloco Funcional 1 – usuário | Prover posição | Usuário, espacial | Não há menção de interface com o usuário | Segurança e ergonomia |
| Bloco Funcional 2 – Bloco Funcional 3 | Compartilhar energia, posicionar componente | Transferência, montagem e espacial | Transformar energia, localizar componentes | Força, energia e movimento, montabilidade |
| Bloco Funcional 2 – Bloco Funcional 4 | Compartilhar energia, posicionar componente | Transferência, montagem e espacial | Transformar energia, localizar componentes | Força, energia e movimento, montabilidade |
| Bloco Funcional 2 – Bloco Funcional 5 | Compartilhar energia, posicionar componente | Transferência, montagem e espacial | Transformar energia, localizar componentes | Força, energia e movimento, montabilidade |
| Bloco Funcional 3 – Bloco Funcional 4 | Compartilhar energia, posicionar componente | Transferência, montagem e espacial | Transformar energia, localizar componentes | Força, energia e movimento, montabilidade |
| Bloco Funcional 3 – Bloco Funcional 5 | Transferir resíduos Transmitir energia | Transferência, montagem e espacial | Transformar energia, localizar componentes | Força, energia e movimento, montabilidade |
| Bloco Funcional 3 – usuário | Verificar resíduos | Controle comunicação | Informação | - |
| Bloco Funcional 3 – ambiente | Controlar água | Controle comunicação | Informação | - |
| Bloco Funcional 4 – Bloco Funcional 5 | Transformar energia | Transferência, montagem e espacial | Transformar energia, localizar componentes | Força, energia e movimento, montabilidade |
| Bloco Funcional 5 – ambiente | Analisar resíduos | Controle comunicação | Informação | - |

Com base nesta tabela pode-se verificar que o sistema possui diversas funções de interfaces, sendo algumas possíveis de aplicar em mais de um bloco funcional. Estas, assim como no estudo de caso 1 podem ser desenvolvidas pelo mesmo princípio físico. O que integraria alguns blocos funcionais.

Outra observação é quanto às funções de interfaces que podem ser agrupadas em uma mesma linha da matriz morfológica uma vez que existe uma semelhança entre diversas das funções de interface levantadas. Assim, apesar de estarem reunidas em uma linha de princípios de solução, não necessariamente serão atendidas pelos mesmos princípios.

Assim, levantadas as funções de interface, parte-se para a definição da criticidade das funções.

7.6. Atividade 5 – Levantamento das funções críticas

O levantamento das funções críticas estabelece aquelas funções que possuem um grau de severidade mais alto no caso de deixarem de cumprir suas funções. Assim, é realizado um FMEA funcional de modo a identificá-las e dar prioridade às mesmas.

Como descrito no estudo de caso anterior, o processo de FMEA funcional é realizado apenas com relação ao parâmetro de severidade da falha. Esta severidade é avaliada a partir do cumprimento ou não da função.

Assim, o resultado desta avaliação encontra-se ilustrado na Tabela 7.2.

Tabela 7.2: Definição das funções críticas.

| Requisitos de Projeto | Peso das especificações | Receber ostras | Conter ostras | Restringir fluxo | Posicionar ostras | Transportar ostras | Lavar ostras | Escovar ostras | Separar resíduos | Coletar água | Resprovelar água | Descartar água | Verificar tamanho | Separar ostras | Classificar ostras | Armacenar ostras | Encaminhar saída | Descartar resíduos | |
|---|-------------------------|----------------|---------------|------------------|-------------------|--------------------|--------------|----------------|------------------|--------------|------------------|----------------|-------------------|----------------|--------------------|------------------|------------------|--------------------|---|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Frequência de ocorrência de falhas | 156 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Custo de manutenção | 136 | | | 1 | | 1 | 1 | 1 | | | 1 | | | | 1 | 1 | | | |
| Número de componentes | 136 | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | | |
| Custo de fabricação | 127 | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | | | | | | 1 | | |
| número de componentes com geometria simples | 131 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| Custo de aquisição | 143 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | |
| Número de componentes padronizados | 106 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | | | | | | | |
| Número de cantos vivos e arestas cortantes expostas | 133 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | | | | | | 1 | 1 | | | |
| Frequência de manutenção | 120 | | | | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | |
| Tempo de manutenção | 71 | | | | | 1 | 1 | 1 | | | 1 | | | | 1 | 1 | | | |
| Custo de material | 149 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Número de componentes disponíveis no mercado local | 84 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Custo de montagem | 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vida útil | 110 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nível de vibrações | 108 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Número de materiais utilizados na fabricação | 120 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Processos convencionais de fabricação | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Peso do sistema | 119 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Volume ocupado pelo sistema | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| número de componentes móveis expostos | 107 | | | | | 1 | 1 | 1 | | | 1 | | | | | | | | |
| Resistência à corrosão | 71 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Capacidade de processamento | 67 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | |
| Nível de ruído | 62 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | | 1 | 1 | | 1 | 1 |
| Resistência ao desgaste dos componentes | 61 | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| Ostras danificadas no processamento | 79 | | | 1 | | 1 | | | | | | | | | | 1 | | 1 | |
| Capacidade de carga do alimentador | 78 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Custo de operação | 67 | | | | | 1 | 1 | 1 | | | 1 | | | | | | 1 | | |
| Potência de acionamento | 115 | | | | | 1 | 1 | 1 | | | 1 | | | | | | | | |
| Segurança | 93 | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | 1 |
| Exigência de esforços físicos do operador | 81 | | 1 | | | | | | | | | 1 | | 1 | | | | 1 | 1 |
| Número de componentes recicláveis | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Consumo de energia | 51 | | | | | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | | | | | | | |
| Peso funcional | | 1117 | 1157 | 1250 | 837 | 2083 | 1999 | 1999 | 1100 | 748 | 1620 | 917 | 840 | 1459 | 1457 | 1039 | 721 | 735 | |
| severidade | | 5 | 3 | 3 | 5 | 6 | 10 | 10 | 2 | 2 | 2 | 1 | 8 | 8 | 10 | 3 | 2 | 2 | |
| valor peso funcional e severidade | | 5585 | 3471 | 3750 | 4185 | 12498 | 19990 | 19990 | 2200 | 1496 | 3240 | 917 | 6720 | 11672 | 14570 | 3117 | 1442 | 1470 | |

Com base nesta tabela constata-se que as funções críticas são, na ordem (Quadro 7.4):

Quadro 7.4: Funções ordenadas por ordem de criticidade.

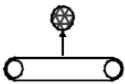
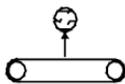
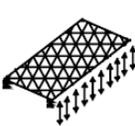
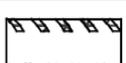
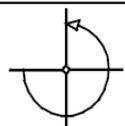
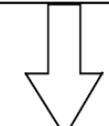
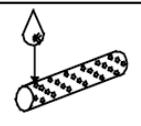
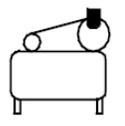
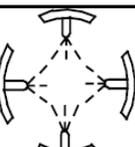
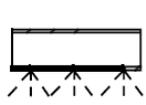
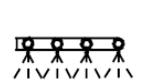
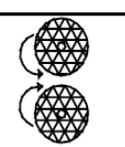
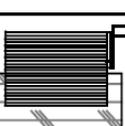
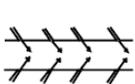
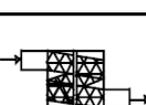
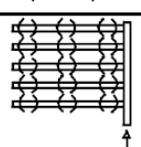
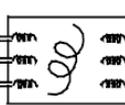
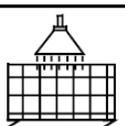
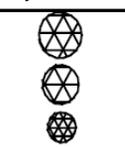
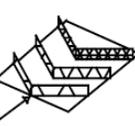
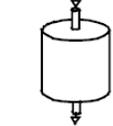
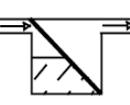
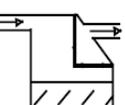
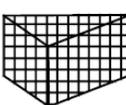
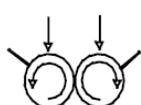
| Ordem | Função |
|-------|--------------------|
| 1 | Lavar ostras |
| 2 | Escovar ostras |
| 3 | Classificar ostras |
| 4 | Transportar ostras |
| 5 | Separar ostras |
| 6 | Verificar tamanho |
| 7 | Receber ostras |
| 8 | Posicionar ostras |
| 9 | Restringir fluxo |
| 10 | Conter ostras |
| 11 | Reaproveitar água |
| 12 | Armazenar ostras |
| 13 | Separar resíduos |
| 14 | Coletar água |
| 15 | Descartar resíduos |
| 16 | Encaminhar saída |
| 17 | Descartar água |

7.7. Atividade 7 – Geração dos princípios de solução

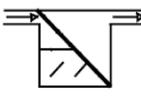
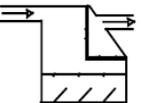
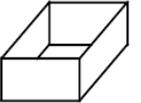
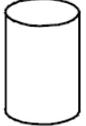
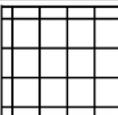
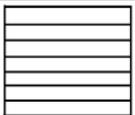
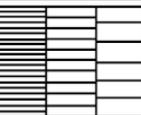
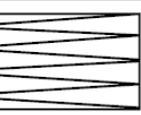
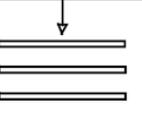
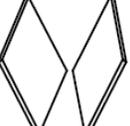
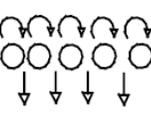
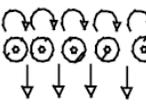
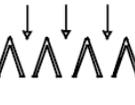
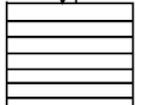
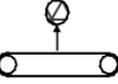
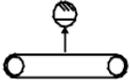
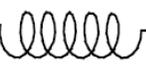
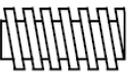
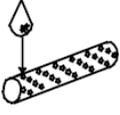
A geração dos princípios de solução utiliza como ferramenta a matriz morfológica. Assim, por se tratar de uma ferramenta difundida na bibliografia será apenas apresentada a matriz resultante do estudo de caso (Quadro 7.5). Esta parte da matriz é apresentada por Novaes (2005), sendo complementada pelo Quadro 7.6.

Por motivo de simplificação do trabalho, as funções do produto serão aquelas traçadas por Novaes (2005) sendo apenas as funções de interface acrescentadas à matriz morfológica do sistema. Também por não ser o intuito desenvolver um novo produto, não serão acrescentados novos princípios de solução.

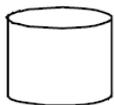
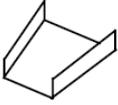
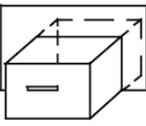
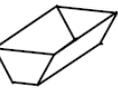
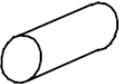
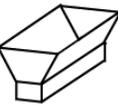
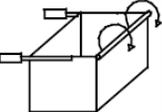
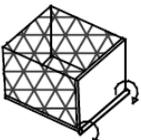
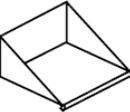
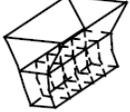
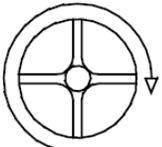
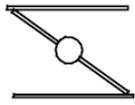
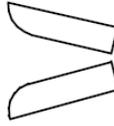
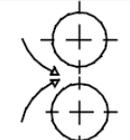
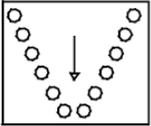
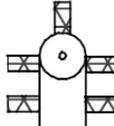
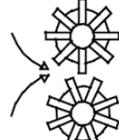
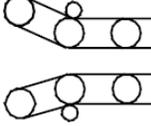
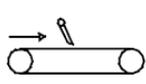
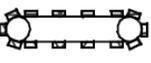
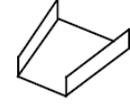
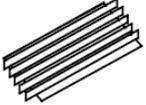
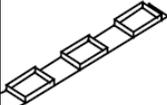
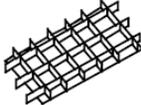
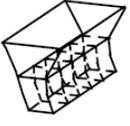
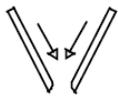
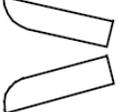
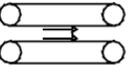
Quadro 7.5: Matriz morfológica (Novaes, 2005, p. 46 – 48).

| Princípios de solução | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Função | Esteira borracha | Esteira vazada | Sup. vibratória | Calha | Transp. roletes |
| Transportar ostras |  |  |  |  |  |
| | S. fim borracha | S. fim de escovas | S. fim interno | "Pig tail" | Pás em hélice |
| |  |  |  |  |  |
| | Eixo vertical c/ pás | Gravidade | Tubo de anéis | Escovas rotativas | Jatos em hélice |
|  |  |  |  |  | |
| Limpar ostras | Aspersor simples | Ar comprimido | Arpersão radial | Tubo perfurado | Aspersão long. |
| |  |  |  |  |  |
| | Escovas | Tambonamento | Aspersão. oblíqua | Hélice vertical | Asp. múltipla |
| |  |  |  |  |  |
| Turbilionamento | Asp. na caixa | | | | |
|  |  | | | | |
| Separar resíduos | Malha simples | Conj. de malhas | Antep. de malhas | Filtro de areia | Saco de aniagem |
| |  |  |  |  |  |
| | Reserv. + Filtro | Reserv. + Filtro | Reserv. de malha | Maihas conc. | Rolos + anteparo |
|  |  |  |  |  | |

Quadro 7.5: Matriz morfológica – continuação.

| Princípios de solução | | | | | |
|---------------------------|---|--|--|--|--|
| Função | Saco de aniagem | Reserv. + Filtro | Reserv. + Filtro | Caixa | Coletor cônico |
| Armazenar resíduos |  |  |  |  |  |
| | Coletor cilíndrico  | Coletor trapezoidal  | | | |
| Separa ostras por tamanho | Tela metálica  | Grade simples  | Grad. seqüenciais  | Grad. divergentes  | Grad. sobrepostas  |
| | Grad. circulares  | Tubos divergentes  | Guias divergentes  | Guias sobrepostas  | Roletes  |
| | Escovas em série  | Cantoneiras  | Tubo ranhurado  | Grade regulável  | Grade semi circular  |
| | Esteira borracha  | Esteira vazada  | Sup. vibratória  | Calha  | Transp. roletes  |
| | S. fim borracha  | S. fim de escovas  | S. fim interno  | "Pig tail"  | Pás em hélice  |
| Encaminhar ostras à saída | Fuso  | Gravidade  | Tubo de anéis  | Escovas rotativas  | Jatos em hélice  |

Quadro 7.5: Matriz morfológica - continuação.

| | | Princípios de solução | | | | |
|---|---|---|---|---|---|--|
| Função | Balde cilíndrico | Calha trapezoidal | Funil cônico | Calha | Caixa fundo falso | |
| Armazenar ostras |  |  |  |  |  | |
| | Funil c/ rampa | Funil trapezoidal | Tubo cilíndrico | Funil c/ pescoço | Caixa articulada | |
| |  |  |  |  |  | |
| | Articulador | Pá articulada | Funil posicionador | Funil para tubo | Alim. rotativo | |
| Restringir fluxo |  |  |  |  |  | |
| | Funil cônico | Grade simples | Borboleta | Guias articuladas | Guias rotativas | |
| |  |  |  |  |  | |
| | Guia de pinos | Canecas | Roda dentada | Guias de correias | Anteparo | |
| |  |  |  |  |  | |
| | Correia de caixas | Cilindro + Funil | Funil de placas | Guia curvada | Calha trapezoidal | |
|  |  |  |  |  | | |
| Posicionar ostras | Guias paralelas | Berço tipo caixa | Engradado | Funil posicionador | Funil cônico | |
| |  |  |  |  |  | |
| | Funil de placas | Guia articulada | Guia curvada | Guias de correias | Jatos paralelos | |
|  |  |  |  |  | | |

Quadro 7.6: Matriz morfológica complementar – interfaces.

| | | | | | |
|----------------------|------------------|--------------------|-----------------|------------------|--|
| Funções de interface | | | | | |
| Prover fluxo | Energia mecânica | Energia hidráulica | Energia térmica | Energia elétrica | |
| Compartilhar | Conexão | contato | transmissão | | |

| | | | | | |
|-----------------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|------------------|------------|
| energia, | | | | | |
| posicionar componente | suporte | Elemento de fixação | de geometria | | |
| Transferir resíduos | Correia | Basculante | Rosca transportadora | Queda livre | Espátula |
| Transmitir energia | Correia | Polia | Engrenagens | Contato elétrico | Hidráulico |
| Verificar resíduos | Visual | Análise microscópica | Peneira | | |
| Controlar água | Tratamento químico | | | | |
| Transformar energia | Bomba hidráulica | Mudança de fluxo | Manual | | |
| Analisar resíduos | Verificar solubilidade no ambiente | | | | |

7.8. Atividade 8 – Análise dos princípios de solução

No estudo de caso em questão, optou-se por fazer a análise dos princípios de solução por bloco funcional. Isto ocorreu devido ao grande número de funções do sistema como um todo. Também priorizou-se as funções críticas de cada subsistema pois, devido ao grande número de princípios de solução, uma análise completa dos mesmos seria excessivamente longa o que inviabilizaria o projeto do produto.

Assim, foram realizadas avaliações de confiabilidade, montabilidade e exequibilidade dos mesmos. Isto implica dizer que deve-se aplicar a FMEA em cada um dos princípios de solução de modo a estabelecer o NPR de cada um destes, a verificação de compatibilidades e a análise de fabricação. Esta tarefa é executada para detectar os princípios de solução mais confiáveis do ponto de vista de cumprimento da função.

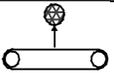
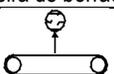
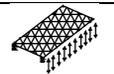
A seguir encontram-se as matrizes morfológicas com os modos de falha e os NPRs das funções críticas de cada um dos diferentes blocos funcionais (Tabelas 7.3, 7.4, 7.5, 7.6 e 7.7).

Tabela 7.3: FMEA dos princípios de solução para a função crítica de Restringir fluxo.

| Função crítica | Princípio de solução | Modos de falha | S | D | O | NPR |
|------------------|--|-----------------|----|---|----|-----|
| Restringir fluxo |  Funil cônico | entupimento | 10 | 1 | 10 | 100 |
| | | corrosão | 3 | 3 | 3 | 27 |
| | | transbordamento | 1 | 1 | 1 | 1 |
| |  Grade simples | entupimento | 10 | 2 | 10 | 200 |
| | | corrosão | 3 | 3 | 3 | 27 |
| |  Borboleta | quebra | 10 | 5 | 3 | 150 |
| | | entupimento | 10 | 3 | 8 | 240 |
| |  | entupimento | 10 | 3 | 6 | 180 |
| | | corrosão | 3 | 3 | 3 | 27 |

| | | | | | | |
|--|---|-------------------|----|---|----|-----|
| | | desgaste | 2 | 5 | 1 | 10 |
| |  | entupimento | 10 | 2 | 8 | 160 |
| | | corrosão | 3 | 3 | 3 | 27 |
| | | desgaste | 2 | 5 | 1 | 10 |
| |  | entupimento | 10 | 2 | 10 | 200 |
| | | corrosão | 3 | 3 | 3 | 27 |
| | | desgaste | 2 | 5 | 1 | 10 |
| |  | quebra | 10 | 3 | 5 | 150 |
| | | corrosão | 3 | 3 | 3 | 27 |
| | | desgaste | 2 | 5 | 1 | 10 |
| |  | entupimento | 10 | 1 | 3 | 30 |
| | | corrosão | 3 | 3 | 3 | 27 |
| | | quebra das ostras | 4 | 5 | 5 | 100 |
| | | desgaste | 2 | 5 | 1 | 10 |
| |  | desgaste | 2 | 5 | 1 | 10 |
| | | rompimento | 10 | 1 | 6 | 60 |
| |  | quebra | 10 | 1 | 3 | 30 |
| | | corrosão | 3 | 3 | 3 | 27 |
| | | desgaste | 2 | 5 | 1 | 10 |
| |  | quebra | 10 | 1 | 3 | 30 |
| | | corrosão | 3 | 3 | 3 | 27 |
| | | desgaste | 2 | 5 | 1 | 10 |
| | | rompimento | 10 | 1 | 6 | 60 |
| |  | entupimento | 10 | 1 | 10 | 100 |
| | | corrosão | 3 | 3 | 3 | 27 |
| | | desgaste | 2 | 5 | 1 | 10 |
| |  | entupimento | 10 | 1 | 10 | 100 |
| | | corrosão | 3 | 3 | 3 | 27 |
| | | desgaste | 2 | 5 | 1 | 10 |
| |  | entupimento | 10 | 1 | 5 | 50 |
| | | corrosão | 3 | 3 | 3 | 27 |
| | | desgaste | 2 | 5 | 1 | 10 |
| |  | entupimento | 10 | 1 | 2 | 20 |
| | | corrosão | 3 | 3 | 3 | 27 |
| | | desgaste | 2 | 5 | 1 | 10 |

Tabela 7.4: FMEA dos princípios de solução para a função crítica de Transportar ostras.

| Função crítica | Princípio de solução | Modos de falha | S | D | O | NPR |
|--------------------|---|------------------|----|----|---|-----|
| Transportar ostras |  | rompimento | 10 | 1 | 2 | 20 |
| | | degradação | 3 | 5 | 1 | 15 |
| |  | rompimento | 10 | 1 | 2 | 20 |
| | | degradação | 3 | 5 | 1 | 15 |
| |  | desgaste | 2 | 5 | 1 | 10 |
| | | fadiga | 1 | 10 | 1 | 10 |
| |  | entupimento | 10 | 1 | 8 | 80 |
| | | desgaste | 2 | 5 | 1 | 10 |
| | | degradação | 3 | 5 | 1 | 15 |
| |  | quebra de ostras | 6 | 4 | 2 | 48 |

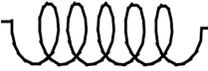
| | | | | | | |
|--|--|--------------------|----|---|-----|-----|
| | Roletes | trancamento | 10 | 1 | 5 | 50 |
| | | desgaste | 2 | 5 | 1 | 10 |
| | | degradação | 3 | 5 | 1 | 15 |
| |  Sem fim de borracha | trancamento | 10 | 1 | 2 | 20 |
| | | degradação | 3 | 5 | 1 | 15 |
| |  Sem fim de escovas | pouca efetividade | 8 | 2 | 8 | 128 |
| | | degradação | 6 | 5 | 5 | 150 |
| | | perda de cerdas | 5 | 6 | 5 | 150 |
| |  Sem fim interno | desgaste | 2 | 5 | 1 | 10 |
| | | quebra de ostras | 6 | 4 | 2 | 48 |
| |  "Pig tail" | trancamento | 10 | 1 | 8 | 80 |
| | | degradação | 3 | 5 | 1 | 15 |
| |  Pás em hélice | quebra de ostras | 6 | 4 | 2 | 48 |
| | | quebra das hélices | 10 | 3 | 2 | 60 |
| | | degradação | 3 | 5 | 1 | 15 |
| |  Eixo vertical com pás | trancamento | 10 | 1 | 6 | 60 |
| | | degradação | 3 | 5 | 1 | 15 |
| | | quebra de ostras | 6 | 4 | 2 | 48 |
| | | quebra de pás | 10 | 3 | 2 | 60 |
| |  Gravidade | quebra de ostras | 6 | 4 | 2 | 48 |
| pouca efetividade | | 8 | 2 | 8 | 128 | |
| trancamento | | 10 | 1 | 5 | 50 | |
|  Tubo de anéis | trancamento | 10 | 1 | 8 | 80 | |
| | degradação | 3 | 5 | 1 | 15 | |
|  Escovas rotativas | pouca efetividade | 8 | 2 | 8 | 128 | |
| | degradação | 6 | 5 | 5 | 150 | |
| | perda de cerdas | 5 | 6 | 5 | 150 | |
| | trancamento | 10 | 1 | 3 | 30 | |
|  Jatos em hélice | pouca efetividade | 8 | 2 | 8 | 128 | |
| | entupimento | 10 | 3 | 5 | 150 | |
| | falta de pressão | 10 | 4 | 2 | 80 | |

Tabela 7.5: FMEA dos princípios de solução para a função crítica de Limpar ostras.

| Função crítica | Princípio de solução | Modos de falha | S | D | O | NPR |
|----------------|---|-------------------|----|---|---|-----|
| Limpar ostras |  Aspersor simples | pouca efetividade | 10 | 3 | 2 | 60 |
| | | entupimento | 10 | 3 | 5 | 150 |
| | | falta de pressão | 10 | 4 | 2 | 80 |
| |  Ar comprimido | pouca efetividade | 10 | 2 | 8 | 160 |
| | | entupimento | 10 | 3 | 5 | 150 |
| | | falta de pressão | 10 | 4 | 2 | 80 |
| |  Aspersão radial | pouca efetividade | 10 | 2 | 8 | 160 |
| | | entupimento | 10 | 3 | 5 | 150 |
| | | falta de pressão | 10 | 4 | 2 | 80 |
| |  Tubo perfurado | pouca efetividade | 10 | 5 | 8 | 400 |
| | | entupimento | 10 | 3 | 5 | 150 |
| | | falta de pressão | 10 | 4 | 2 | 80 |

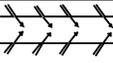
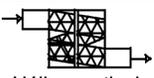
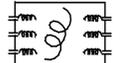
| | | | | | | |
|--|--|-------------------|----|----|-----|-----|
|  Aspersão longitudinal | pouca efetividade | 10 | 2 | 9 | 180 | |
| | entupimento | 10 | 3 | 5 | 150 | |
| | falta de pressão | 10 | 4 | 2 | 80 | |
| |  Escovas | pouca efetividade | 10 | 2 | 5 | 100 |
| | | desgaste | 2 | 5 | 1 | 10 |
| | | perda de cerdas | 3 | 2 | 5 | 30 |
| | | degradação | 3 | 5 | 1 | 15 |
| |  Tamponamento | quebra de ostras | 6 | 4 | 2 | 48 |
| | | pouca efetividade | 10 | 3 | 8 | 240 |
| |  Aspersão oblíqua | pouca efetividade | 10 | 2 | 8 | 160 |
| | | entupimento | 10 | 3 | 5 | 150 |
| | | falta de pressão | 10 | 4 | 2 | 80 |
| |  Hélice vertical | pouca efetividade | 10 | 2 | 8 | 160 |
| | | entupimento | 10 | 3 | 5 | 150 |
| | | falta de pressão | 10 | 4 | 2 | 80 |
| |  Aspersão múltipla | pouca efetividade | 10 | 2 | 5 | 100 |
| | | entupimento | 10 | 3 | 5 | 150 |
| | | falta de pressão | 10 | 4 | 2 | 80 |
| |  Turbilhonamento | quebra de ostras | 6 | 4 | 2 | 48 |
| pouca efetividade | | 10 | 1 | 10 | 100 | |
| desgaste | | 2 | 5 | 1 | 10 | |
|  Aspersão na caixa | pouca efetividade | 10 | 6 | 10 | 600 | |
| | entupimento | 10 | 3 | 5 | 150 | |
| | falta de pressão | 10 | 4 | 2 | 80 | |

Tabela 7.6: FMEA dos princípios de solução para a função crítica de Classificar ostras.

| Função crítica | Princípio de solução | Modos de falha | S | D | O | NPR |
|--|---|-------------------|----|----|-----|-----|
| Classificar ostras |  Tela metálica | entupimento | 10 | 2 | 10 | 200 |
| | | corrosão | 3 | 3 | 3 | 27 |
| | | quebra | 10 | 5 | 3 | 150 |
| | | pouca efetividade | 10 | 1 | 9 | 90 |
| |  Grade simples | entupimento | 10 | 2 | 10 | 200 |
| | | corrosão | 3 | 3 | 3 | 27 |
| | | quebra | 10 | 5 | 3 | 150 |
| | | pouca efetividade | 10 | 1 | 9 | 90 |
| |  Grades sequenciais | entupimento | 10 | 2 | 10 | 200 |
| | | corrosão | 3 | 3 | 3 | 27 |
| | | quebra | 10 | 5 | 3 | 150 |
| | | pouca efetividade | 10 | 1 | 6 | 60 |
| |  Grades divergentes | entupimento | 10 | 2 | 10 | 200 |
| | | corrosão | 3 | 3 | 3 | 27 |
| | | quebra | 10 | 5 | 3 | 150 |
| | | pouca efetividade | 10 | 1 | 5 | 50 |
| |  Grades sobrepostas | entupimento | 10 | 2 | 10 | 200 |
| | | corrosão | 3 | 3 | 3 | 27 |
| | | quebra | 10 | 5 | 3 | 150 |
| | | pouca efetividade | 10 | 1 | 6 | 60 |
| |  Grades circulares | entupimento | 10 | 2 | 10 | 200 |
| corrosão | | 3 | 3 | 3 | 27 | |
| quebra | | 10 | 5 | 3 | 150 | |
| pouca efetividade | | 10 | 1 | 9 | 90 | |
|  Tubos divergentes | entupimento | 10 | 2 | 10 | 200 | |
| | corrosão | 3 | 3 | 3 | 27 | |
| | quebra | 10 | 5 | 3 | 150 | |
| | pouca efetividade | 10 | 1 | 3 | 30 | |
|  | entupimento | 10 | 2 | 10 | 200 | |
| | corrosão | 3 | 3 | 3 | 27 | |

| | | | | | | |
|---|---------------------|-------------------|----|---|----|-----|
| | Guias divergentes | quebra | 10 | 5 | 3 | 150 |
| | | pouca efetividade | 10 | 1 | 4 | 40 |
|  | Guias sobrepostas | entupimento | 10 | 2 | 10 | 200 |
| | | corrosão | 3 | 3 | 3 | 27 |
| | | quebra | 10 | 5 | 3 | 150 |
| | | pouca efetividade | 10 | 1 | 4 | 40 |
|  | Roletes | quebra de ostras | 10 | 4 | 2 | 80 |
| | | trancamento | 10 | 4 | 7 | 280 |
| | | desgaste | 2 | 5 | 1 | 10 |
| | | degradação | 3 | 9 | 1 | 27 |
| | | trancamento | 10 | 1 | 1 | 10 |
|  | Escovas em série | perda de cerdas | 5 | 3 | 5 | 75 |
| | | trancamento | 10 | 1 | 2 | 20 |
| | | entupimento | 10 | 2 | 10 | 200 |
|  | Cantoneiras | corrosão | 3 | 3 | 3 | 27 |
| | | quebra | 10 | 5 | 3 | 150 |
| | | pouca efetividade | 10 | 1 | 7 | 70 |
| | | entupimento | 10 | 2 | 10 | 200 |
|  | Tubo ranhurado | corrosão | 3 | 3 | 3 | 27 |
| | | quebra | 10 | 5 | 3 | 150 |
| | | pouca efetividade | 10 | 2 | 8 | 160 |
| | | entupimento | 10 | 2 | 10 | 200 |
|  | Grade regulável | corrosão | 3 | 3 | 3 | 27 |
| | | quebra | 10 | 5 | 3 | 150 |
| | | pouca efetividade | 10 | 1 | 6 | 60 |
| | | entupimento | 10 | 2 | 10 | 200 |
|  | Grade semi circular | corrosão | 3 | 3 | 3 | 27 |
| | | quebra | 10 | 5 | 3 | 150 |
| | | pouca efetividade | 10 | 1 | 8 | 80 |
| | | entupimento | 10 | 2 | 10 | 200 |

Tabela 7.7: FMEA dos princípios de solução para a função crítica de Separar resíduos.

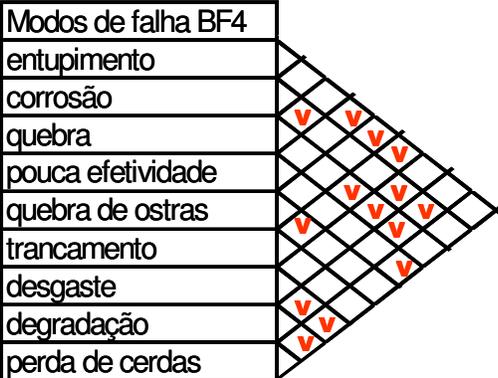
| Função crítica | Princípio de solução | Modos de falha | S | D | O | NPR | |
|------------------|---|-----------------------|-----------------|----|---|-----|-----|
| Separar resíduos |  | rompimento | 8 | 1 | 5 | 40 | |
| | | desfiamento | 5 | 1 | 6 | 30 | |
| | | degradação | 3 | 5 | 4 | 60 | |
| | | transbordamento | 3 | 1 | 8 | 24 | |
| |  | Reservatório + filtro | entupimento | 8 | 5 | 5 | 200 |
| | | | transbordamento | 10 | 1 | 2 | 20 |
| |  | Caixa | transbordamento | 5 | 1 | 5 | 25 |
| | | | rompimento | 10 | 1 | 3 | 30 |
| | | | degradação | 5 | 5 | 2 | 50 |
| |  | Coletor cônico | transbordamento | 5 | 1 | 5 | 25 |
| | | | rompimento | 10 | 1 | 3 | 30 |
| | | | degradação | 5 | 5 | 2 | 50 |
| |  | Coletor cilíndrico | transbordamento | 5 | 1 | 5 | 25 |
| | | | rompimento | 10 | 1 | 3 | 30 |
| | | | degradação | 5 | 5 | 2 | 50 |
| |  | Coletor Trapezoidal | transbordamento | 5 | 1 | 5 | 25 |
| rompimento | | | 10 | 1 | 3 | 30 | |
| degradação | | | 5 | 5 | 2 | 50 | |

A partir da matriz de FMEA dos princípios de solução, fez-se então a análise dos modos de falha vinculados. Estes proporcionam o entendimento do real grau de influência que os mesmos terão sobre o princípio em questão.

A seguir encontram-se as tabelas que apresentam o vínculo entre os modos de falha e, com base nestas matrizes, estabeleceu-se os NPRs totais de cada um dos princípios de solução da matriz morfológica para cada bloco funcional na Tabelas 7.8.

Tabela 7.8: Matriz de vínculo dos modos de falha junto com os NPRs de cada princípio de solução.

| | | Função crítica | Princípio de solução | NPR | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------|----------------|----------------------|------------|-----------------|--------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-----------------|--------------------|---------------|------------------|--------------------|----------------|----------------------|-----|
| <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Modos de falha BF1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>entupimento</td></tr> <tr><td>corrosão</td></tr> <tr><td>transbordamento</td></tr> <tr><td>quebra</td></tr> <tr><td>desgaste</td></tr> <tr><td>quebra das ostras</td></tr> <tr><td>rompimento</td></tr> </tbody> </table> | Modos de falha BF1 | | entupimento | corrosão | transbordamento | quebra | desgaste | quebra das ostras | rompimento | Restringir fluxo | Funil cônico | 127 | | | | | | |
| | Modos de falha BF1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | entupimento | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | corrosão | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | transbordamento | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | quebra | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | desgaste | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | quebra das ostras | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | rompimento | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Grade simples | 227 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Borboleta | 390 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Guias articuladas | 217 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Guias rotativas | 197 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Guias de pinos | 237 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Canecas | 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Roda dentada | 167 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Guias de correias | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Anteparo | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Correia de caixas | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cilindro + funil | 137 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Funil de placas | 137 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Guia curvada | 87 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Calha trapezoidal | 57 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Modos de falha BF2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>rompimento</td></tr> <tr><td>degradação</td></tr> <tr><td>desgaste</td></tr> <tr><td>fadiga</td></tr> <tr><td>entupimento</td></tr> <tr><td>quebra de ostras</td></tr> <tr><td>trancamento</td></tr> <tr><td>pouca efetividade</td></tr> <tr><td>perda de cerdas</td></tr> <tr><td>quebra das hélices</td></tr> <tr><td>quebra de pás</td></tr> <tr><td>falta de pressão</td></tr> </tbody> </table> | Modos de falha BF2 | | rompimento | degradação | desgaste | fadiga | entupimento | quebra de ostras | trancamento | pouca efetividade | perda de cerdas | quebra das hélices | quebra de pás | falta de pressão | Transportar ostras | Função crítica | Princípio de solução | NPR |
| | Modos de falha BF2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | rompimento | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | degradação | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | desgaste | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | fadiga | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | entupimento | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | quebra de ostras | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | trancamento | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | pouca efetividade | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | perda de cerdas | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | quebra das hélices | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | quebra de pás | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | falta de pressão | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Esteira de borracha | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Esteira vazada | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Superfície vibratória | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Calha | 105 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Transportador de Roletes | 113 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sem fim de borracha | 35 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sem fim de escovas | 428 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sem fim interno | 58 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| "Pig tail" | 95 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pás em hélice | 123 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Eixo vertical com pás | 183 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gravidade | 178 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tubo de anéis | 95 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Escovas rotativas | 458 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Jatos em hélice | 150 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | |
|---|--------------------|-----------------------|-----|
| <p>Modos de falha BF3</p> <p>pouca efetividade</p> <p>entupimento</p> <p>falta de pressão</p> <p>desgaste</p> <p>perda de cerdas</p> <p>degradação</p> <p>quebra de ostras</p>  | Função crítica | Princípio de solução | NPR |
| | Limpar ostras | Aspersor simples | 150 |
| | | Ar comprimido | 160 |
| | | Aspersão radial | 160 |
| | | Tubo perfurado | 400 |
| | | Aspersão longitudinal | 180 |
| | | Escovas | 155 |
| | | Tambonamento | 288 |
| | | Aspersão oblíqua | 160 |
| | | Hélice vertical | 160 |
| | | Aspersão múltipla | 150 |
| | | Turbilionamento | 158 |
| Aspersão na caixa | 600 | | |
| <p>Modos de falha BF4</p> <p>entupimento</p> <p>corrosão</p> <p>quebra</p> <p>pouca efetividade</p> <p>quebra de ostras</p> <p>trancamento</p> <p>desgaste</p> <p>degradação</p> <p>perda de cerdas</p>  | Função crítica | Princípio de solução | NPR |
| | Classificar ostras | Tela metálica | 440 |
| | | Grade simples | 440 |
| | | Grades seqüenciais | 410 |
| | | Grades divergentes | 400 |
| | | Grades sobrepostas | 410 |
| | | Grades circulares | 440 |
| | | Tubos divergentes | 380 |
| | | Guias divergentes | 390 |
| | | Guias sobrepostas | 390 |
| | | Roletes | 85 |
| | | Escovas em série | 95 |
| | | Cantoneiras | 420 |
| | | Tubo ranhurado | 510 |
| | | Grade regulável | 410 |
| | | Grade semi circular | 430 |
| <p>Modos de falha BF5</p> <p>rompimento</p> <p>desfiamento</p> <p>degradação</p> <p>transbordamento</p> <p>entupimento</p>  | Função crítica | Princípio de solução | NPR |
| | Separar resíduos | Saco de aniagem | 124 |
| | | Reservatório + filtro | 200 |
| | | Caixa | 105 |
| | | Coletor cônico | 105 |
| | | Coletor cilíndrico | 105 |
| Coletor Trapezoidal | 105 | | |

Conforme apresentado nas tabelas acima pode-se fazer uma análise preliminar de princípios de solução que apresentam menores NPRs. Esta análise pôde ser realizada em módulos, o que permite separar os blocos funcionais para a execução das análises.

Outra análise a ser realizada diz respeito aos princípios de funcionamento envolvidos em cada um dos princípios de solução de modo a avaliar as compatibilidades existentes entre os mesmos. Para o estudo de caso em questão, faremos a análise de princípio de funcionamento das concepções adotadas por Novaes (2005).

Esta análise pode ser realizada avaliando-se os princípios de solução que possuem menores NPRs (Quadro 7.7).

Quadro 7.7: Princípios de solução selecionados com os respectivos princípios de funcionamento.

| Função | Princípios de solução | Valores de análise | Princípios de solução | Valores de análise | Princípios de solução | Valores de análise | Princípios de solução | Valores de análise |
|----------------------------|---|--|--|---|--|--|--|--------------------|
| Armazenar ostras |  Calha trapezoidal | Gravidade |  Calha | Gravidade |  Funil c/ rampa | Gravidade |  Funil trapezoidal | Gravidade |
| Restringir fluxo |  Calha trapezoidal | Gravidade |  Funil de placas | Gravidade | | | | |
| Posicionar ostras |  Funil de placas | Gravidade | | | | | | |
| Transportar ostras |  Esteira de borracha | Rotação transversal Água + dejetos |  Esteira vazada | Rotação transversal Água + dejetos Gravidade |  Superfície vibratória | Vibração + gravidade | | |
| Limpar ostras |  Aspersão radial | Pressão + água |  Tubo perfurado | Pressão + água |  Escovas | Pressão + atrito + rotação transversal | | |
| Separar resíduos |  Grade simples | Gravidade | | | | | | |
| Armazenar resíduos |  Caixa | Gravidade | | | | | | |
| Separar ostras por tamanho |  Grades sobrepostas | Gravidade |  Tubos divergentes | Gravidade |  Guias divergentes | Gravidade |  Cantoneiras | Gravidade |
| Encaminhar ostras à saída |  Calha | Gravidade | | | | | | |
| Prover Fluxo | Energia mecânica | Força, Trabalho | | | | | | |
| Compartilhar energia | Transmissão | | | | | | | |
| Posicionar componente | Elemento de fixação | | | | | | | |
| Transferir resíduos | Correia | | Queda livre | | | | | |
| Transmitir energia | Correia | Mecânica | Engrenagens | Mecânica | | | | |
| Transformar energia | Bomba hidráulica | | | | | | | |

Com base nos valores de NPR e nos efeitos físicos apontados no Quadro 7.7, pode-se fazer uma avaliação preliminar dos princípios de solução a serem utilizados na combinação das concepções.

Deve-se salientar que além das compatibilidades de portadores de efeitos também é necessário que se verifique as compatibilidades de forma existentes. Assim, o princípio “Calha trapezoidal” atende a duas funções diferentes o que significa que dispensa a combinação com outros princípios e assim o número de concepções possíveis cai pela metade.

Esta é uma sugestão de combinação de princípios que pode facilitar o trabalho de análise das concepções uma vez que o número de concepções pode ser excessivamente alto sem uma análise crítica da matriz morfológica. Dessa forma consegue-se visualizar com mais critérios as combinações viáveis e, portanto, estabelecer um menor número de concepções mais detalhadas.

Esta análise de princípios de funcionamento também propicia um entendimento de modos de montagem do conjunto. Princípios de funcionamento que utilizam tipos diferentes de energia requereriam elementos adicionais de transformação da energia. Assim, fica claro que se aumentaria o número de componentes e a complexidade do produto.

Poderia-se empregar a Matriz de Erixon et al (1996) para a avaliação da montabilidade das concepções com os princípios de solução. Esta seria uma forma de verificar também os tipos de montagem possíveis para o equipamento. No entanto, devido ao grande número de princípios de solução que empregam a gravidade como princípio físico empregado pode-se concluir que há uma montagem por empilhamento que fica evidente.

Outro ponto a ser avaliado é a questão da manufaturabilidade dos princípios de solução. Esta manufaturabilidade pode ser medida de forma quantitativa (métodos de DFM) ou mesmo qualitativa, o que requer um conhecimento mais amplo sobre a forma de fabricação dos diferentes princípios de solução. Assim, foi desenvolvida também a análise de DFA e DFM dos princípios de solução. Esta análise foi feita conforme o estudo de caso anterior e seus resultados estão mostrados no Anexo 2.

Algumas considerações devem ser feitas para esta análise. A primeira delas é que por se tratar de um equipamento que entrará em contato com água salgada, deve-se utilizar materiais não suscetíveis à corrosão por este meio. Outro ponto a ser destacado são as diretrizes para a fabricação apontadas na literatura de DFM. Sousa (1998) coloca que segundo Boothroyd et al (1994) deve-se considerar:

- o volume da peça;
- o coeficiente de perdas de material;
- a complexidade da forma geométrica;

- as propriedades do material;
- requisitos de tolerância e de acabamento superficial;
- tratamentos superficiais.

Assim, considerando-se o problema de projeto, pode-se apontar algumas considerações:

- evitar peças de aço, uma vez que as mesmas irão requerer o uso de aço inox ou mesmo de tratamentos superficiais;
- evitar peças que requeiram soldagem, uma vez que o aço inox apresenta maior dificuldade de soldagem que o aço carbono, além da própria soldagem ser um processo que provoca pontos de fragilidade quanto à corrosão;
- evitar elementos que requeiram o uso de lubrificantes (mancais de deslizamento, por exemplo);
- isolar elementos elétricos, de modo a evitar possibilidade de choques.

Estas são algumas considerações e delas surgem a avaliação dos princípios de solução apresentados no Quadro 7.8.

Quadro 7.8: Análise de DFA e DFM dos princípios de solução da função crítica do Bloco Funcional 1.

| Bloco Funcional 1 | | | | |
|-------------------|--------------------------|----|------------------------------------|----|
| Restringir fluxo | Diretrizes de DFA | | Diretrizes de DFM | |
| funil cônico | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 16 |
| grade simples | Geometria | 5 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 2 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 10 |
| borboleta | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 4 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 2 |
| | TOTAL | 17 | TOTAL | 11 |
| guias articuladas | Geometria | 3 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 4 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 14 | TOTAL | 12 |
| guias rotativas | Geometria | 5 | Complexidade | 3 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 3 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 14 | TOTAL | 11 |
| guia de pinos | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |

| | | | | |
|-------------------|--------------------------|----|------------------------------------|----|
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 2 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 15 | TOTAL | 13 |
| canecas | Geometria | 3 | Complexidade | 1 |
| | número de componentes | 1 | número de processos especiais | 2 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 2 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 10 | TOTAL | 8 |
| rodas dentadas | Geometria | 3 | Complexidade | 3 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 2 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 13 | TOTAL | 10 |
| guia de correias | Geometria | 3 | Complexidade | 3 |
| | número de componentes | 2 | número de processos especiais | 2 |
| | Acessibilidade | 3 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 12 | TOTAL | 10 |
| anteparos | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 4 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 17 | TOTAL | 13 |
| correia de caixas | Geometria | 1 | Complexidade | 1 |
| | número de componentes | 1 | número de processos especiais | 2 |
| | Acessibilidade | 3 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 2 | número de componentes padronizados | 2 |
| | TOTAL | 7 | TOTAL | 6 |
| cilindro + funil | Geometria | 4 | Complexidade | 3 |
| | número de componentes | 4 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 3 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 2 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 13 | TOTAL | 11 |
| funil de placas | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 19 | TOTAL | 13 |
| guia curvada | Geometria | 4 | Complexidade | 3 |
| | número de componentes | 4 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 17 | TOTAL | 12 |
| calha trapezoidal | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 15 |

Fazendo-se a análise pode-se constatar que em questão de montabilidade e exequibilidade pode-se obter um número significativamente menor de concepções a serem avaliadas e detalhadas. Para efeitos de comparação será estabelecida uma concepção

considerada como a mais viável e esta será confrontada com os resultados obtidos no trabalho de Novaes (2005).

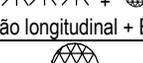
Assim, partiu-se para a próxima atividade que é a combinação e evolução em concepções.

7.9. Atividade 9 – Combinar e evoluir em concepções

Com base nos dados apontados nas fases anteriores e de posse das concepções geradas por Novaes (2005) serão realizadas análises das mesmas, procurando-se comparar os resultados obtidos pelo autor com possíveis diferenças apontadas pelo modelo proposto.

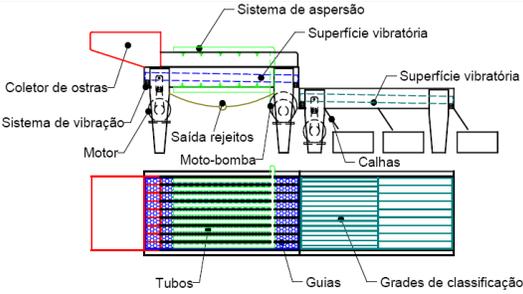
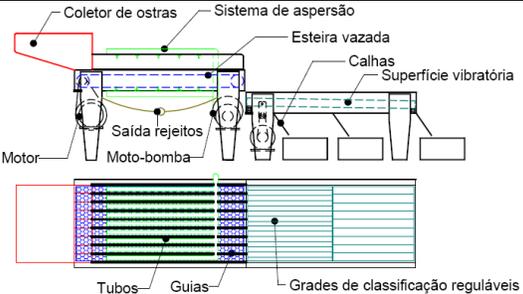
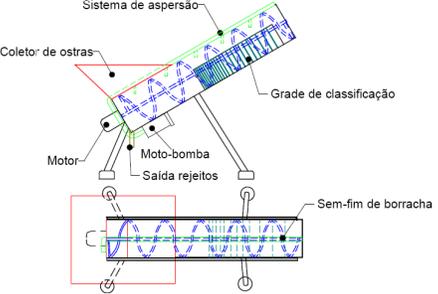
A concepção gerada neste trabalho será composta pelos seguintes princípios de solução (Quadro 7.9).

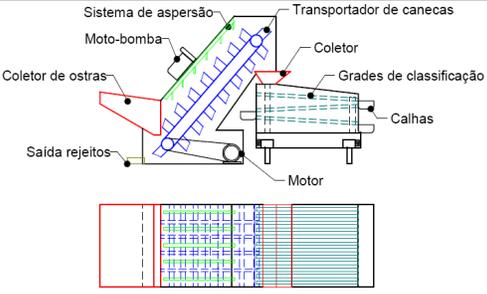
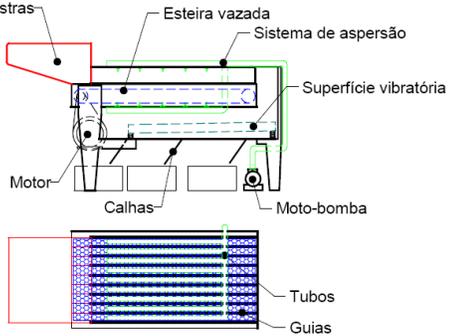
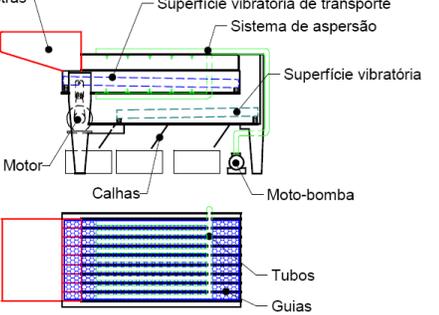
Quadro 7.9: Concepção comparativa proposta neste trabalho.

| Função | Princípios de solução |
|----------------------------|---|
| Armazenar ostras |  Calha trapezoidal |
| Restringir fluxo |  Calha trapezoidal |
| Posicionar ostras |  Funil de placas |
| Transportar ostras |  Esteira vazada |
| Limpar ostras |  Aspersão longitudinal + Escovas |
| Separar resíduos |  Grade simples |
| Armazenar resíduos |  Caixa |
| Separar ostras por tamanho |  Tubos divergentes |
| Encaminhar ostras à saída |  Calha |
| Prover Fluxo | Energia mecânica |
| Compartilhar energia | Transmissão |
| Posicionar componente | Elemento de fixação |
| Transferir resíduos | Queda livre |
| Transmitir energia | Correia |
| Transformar energia | Bomba hidráulica |

As concepções geradas por Novaes (2005) encontram-se descritas no Quadro 7.10.

Quadro 7.10: Concepções apresentadas por Novaes (2005, p. 49 – 57) com valores de NPR e análise de DFA e DFM.

| | | Análise das concepções | | | |
|-----------|---|------------------------|-----|-----|-----|
| Concepção |  | Princípio | DFA | DFM | NPR |
| | | Calha trapezoidal | | | |
| | | Calha trapezoidal | 20 | 15 | 57 |
| | | Guias laterais | | | |
| | | Superfície vibratória | 12 | 8 | 10 |
| | | Aspersão longitudinal | 15 | 14 | 180 |
| Descrição | <p>A concepção A é formada por duas estruturas, cada qual realizando uma função parcial. As ostras são inseridas na primeira parte do sistema através do coletor, o qual restringe o fluxo e alimenta a mesa vibratória vazada e levemente inclinada, que por sua vez transporta as ostras de um extremo ao outro, sob e sobre um jateamento contínuo de água, proporcionado por um conjunto de bicos aspersores. Ao final do processo de limpeza, as ostras passam para a segunda estrutura onde há outra mesa vibratória com grades de classificação longitudinais, com vãos que aumentam seqüencialmente e que servem para classificar as ostras. Para manter as ostras posicionadas sempre longitudinalmente são empregadas guias laterais nas grades. Abaixo das grades de classificação existem calhas que encaminham as ostras para diferentes caixas de acordo com seu tamanho.</p> | Grade simples | | | |
| | | Caixa | 20 | 17 | 105 |
| | | Grades seqüenciais | 20 | 11 | 410 |
| | | Superfície vibratória | | | |
| | | Total | 87 | 65 | 762 |
| Concepção |  | Princípio | DFA | DFM | NPR |
| | | Calha trapezoidal | | | |
| | | Calha trapezoidal | 20 | 15 | 57 |
| | | Guias laterais | | | |
| | | Esteira vazada | 14 | 15 | 20 |
| | | Aspersão longitudinal | 15 | 14 | 180 |
| Descrição | <p>A concepção B é uma variação da concepção A, onde na primeira estrutura foi modificado o sistema de transporte das ostras, substituindo a mesa vibratória vazada por uma esteira vazada.</p> | Grade simples | | | |
| | | Caixa | 20 | 17 | 105 |
| | | Grades seqüenciais | 20 | 11 | 410 |
| | | Total | 89 | 72 | 772 |
| Concepção |  | Princípio | DFA | DFM | NPR |
| | | Funil cônico | | | |
| | | Funil cônico | 20 | 16 | 127 |
| | | Guias paralelas | | | |
| | | Sem fim de borracha | 9 | 8 | 35 |
| | | Aspersão longitudinal | 15 | 14 | 180 |
| Descrição | <p>A concepção C é formada por uma estrutura tubular única, onde na porção superior encontra-se o coletor, que tem por função armazenar e restringir o fluxo de ostras que entram no sistema. O transporte é feito por um eixo com uma hélice de borracha, compondo um 'sem fim'. Durante todo o trajeto da ostra entre as extremidades há aspersão de água na parte superior da estrutura. A classificação está embutida na estrutura através de grades semi-circulares oblíquas espaçadas de forma a aumentar o vão gradualmente, tendo logo abaixo calhas que direcionam as ostras selecionadas para suas respectivas caixas.</p> | Reservatório + filtro | | | |
| | | Reservatório + filtro | 16 | 15 | 200 |
| | | Grades semi-circulares | 19 | 9 | 430 |
| | | Calhas | | | |
| | | Total | 79 | 62 | 972 |

| | | | | | |
|-----------------------|--|------------------------|---|-----------|-----|
| Concepção |  | Princípio | DFA | DFM | NPR |
| | | Calha trapezoidal | | | |
| | | Canecas | 10 | 8 | 150 |
| | | Berço tipo caixa | | | |
| | | Superfície vibratória | 12 | 8 | 10 |
| Descrição | <p>A concepção D apresenta-se em duas estruturas, cada uma comportando uma função parcial. O coletor está localizado na porção inferior da máquina e o transporte das ostras é feito no sentido de sua ascensão através de um transportador 'tipo caneca vazada' que particiona as ostras em pequenos volumes, facilitando o acesso da água dos aspersores, que por sua vez estão localizados na parede lateral superior da estrutura. A seguir, as ostras são despejadas num novo coletor as direciona a para grades vibratórias inclinadas e sobrepostas, onde a grade superior tem o maior vão e a inferior o menor. A classificação é feita pelo método de 'passa ou não passa' e as ostras que são selecionadas descem um nível, enquanto as outras seguem por calhas para as respectivas caixas.</p> | Aspersão oblíqua | 12 | 10 | 160 |
| | | Grade simples | | | |
| | | Caixa | 20 | 17 | 105 |
| | | Grades sobrepostas | 18 | 11 | 390 |
| | | Calhas | | | |
| | | Total | 72 | 54 | 815 |
| Concepção |  | Princípio | DFA | DFM | NPR |
| | | Calha trapezoidal | | | |
| | | Calha trapezoidal | 20 | 15 | 57 |
| | | Guias laterais | | | |
| | | Esteira vazada | 14 | 15 | 20 |
| | | Aspersão longitudinal | 15 | 14 | 180 |
| Descrição | <p>A concepção E é uma variação da concepção B, sendo mais compacta e em apenas uma estrutura. A seqüência de processamento é bastante semelhante à da concepção B, variando apenas o sistema de classificação, que ao invés de ser um conjunto de grades seqüenciais vibratórias, apresenta um conjunto seqüencial de cantoneiras invertidas vibratórias.</p> | Grade simples | | | |
| | | Caixa | 20 | 17 | 105 |
| | | Cantoneiras invertidas | 20 | 16 | 420 |
| | | Superfície vibratória | | | |
| | | Total | 89 | 77 | 782 |
| | | Concepção |  | Princípio | DFA |
| Calha trapezoidal | | | | | |
| Calha trapezoidal | 20 | | | 15 | 57 |
| Guias laterais | | | | | |
| Superfície vibratória | 12 | | | 8 | 10 |
| Aspersão longitudinal | 15 | | | 14 | 180 |
| Descrição | <p>A concepção F é uma variação da concepção A, sendo mais compacta e em apenas uma estrutura. A seqüência de processamento é bastante semelhante à da concepção A, variando apenas o sistema de classificação, que ao invés de ser um conjunto de grades seqüenciais vibratórias, apresenta um conjunto seqüencial de cantoneiras invertidas vibratórias.</p> | Grade simples | | | |
| | | Caixa | 20 | 17 | 105 |
| | | Cantoneiras invertidas | 20 | 16 | 420 |
| | | Superfície vibratória | | | |
| | | Total | 87 | 70 | 772 |

| | | | | | | |
|-----------|---|--|-----|-----|------|-----|
| Concepção | | Princípio | DFA | DFM | NPR | |
| | | Funil cônico | | | | |
| | | Funil cônico | 20 | 16 | 127 | |
| | | Calhas superfície vibratória | + | 12 | 8 | 115 |
| | | Aspersão Radial | 15 | 14 | 160 | |
| | | Total | 85 | 69 | 897 | |
| Descrição | <p>A concepção G é baseada em um equipamento de transporte de peças pequenas, já usado na indústria. Compõe-se de uma estrutura cilíndrica vibratória, uma base, um coletor, calhas de seleção e sistema de aspersão. As ostras são inseridas no coletor, o qual restringe o fluxo e as direciona para as calhas internas. Com o movimento vibratório adequado, as ostras tendem a se deslocar pelas calhas, que por sua vez são vazadas para que haja seleção. O vão das grades aumenta a cada meia volta da calha, havendo uma calha abaixo desta no intuito de recolher as ostras selecionadas e levá-las até as caixas. A aspersão é feita na parte superior da estrutura.</p> | Grade simples | | | | |
| | | Caixa | 20 | 17 | 105 | |
| | | Guias sobrepostas | 19 | 14 | 390 | |
| | | Calhas superfície vibratória | + | | | |
| | | Total | 85 | 69 | 897 | |
| | | | | | | |
| Concepção | | Princípio | DFA | DFM | NPR | |
| | | Funil cônico | | | | |
| | | Guias rotativas | 14 | 11 | 197 | |
| | | Funil cônico | | | | |
| | | Transportador de roletes | 10 | 10 | 113 | |
| | | Escovas rotativas + aspersão longitudinal | 11 | 10 | 335 | |
| Descrição | <p>A concepção H é formada por uma só estrutura, sendo as ostras alimentadas na parte superior da máquina e por gravidade seguem para seu interior. No primeiro nível, as ostras passam por eixos rotativos de escovas estando em contato com a água dos apersores, a seguir, descem de nível e são classificadas por eixos rotativos igualmente espaçados, havendo ainda um terceiro nível para uma segunda classificação desta vez com vãos maiores entre os eixos.</p> | Grade simples | | | | |
| | | Caixa | 20 | 17 | 105 | |
| | | Roletes | 12 | 12 | 317 | |
| | | Transportador de roletes | | | | |
| | | Total | 67 | 60 | 1067 | |
| | | | | | | |
| Concepção | | Princípio | DFA | DFM | NPR | |
| | | Caixa articulada | | | | |
| | | Funil cônico | 20 | 16 | 127 | |
| | | Guias laterais | | | | |
| | | Superfície vibratória | 12 | 8 | 10 | |
| | | Aspersão na caixa | 15 | 14 | 600 | |
| Descrição | <p>A concepção I é composta por uma estrutura fixa, sistema de aspersão, carro alimentador, sistema vibratório de classificação. A caixa de ostras é posicionada sobre o carro, o qual é empurrado sobre os trilhos até o interior do equipamento, onde há aspersão inferior e superior. A seguir o operador levanta o carro através das manoplas e as ostras caem da caixa para um coletor, o qual irá restringir o fluxo, posicionar e alimentar as grades longitudinais vibratórias de classificação. Assim que são selecionadas, as ostras seguem por calhas até as respectivas caixas. Para a separação dos resíduos da água é empregada uma rampa com três obstáculos, construídos com telas plásticas de diferentes malhas, as quais servem para separar os resíduos da água e direcioná-los para a caixa que serve de reservatório.</p> | Anteparo de malhas | | | | |
| | | Caixa | 20 | 17 | 105 | |
| | | Grades longitudinais superfície vibratória | 12 | 8 | 420 | |
| | | Calhas | | | | |
| | | Total | 79 | 63 | 1262 | |
| | | | | | | |

| | | | | | |
|-----------|---|--|-----|-----|------|
| Concepção | | Princípio | DFA | DFM | NPR |
| | | Funil cônico | 20 | 16 | 127 |
| | | Funil cônico | | | |
| | | Jatos em hélice | 10 | 11 | 150 |
| | | Aspersão longitudinal radial + | 15 | 14 | 340 |
| Descrição | <p>A concepção J é constituída de duas estruturas bem simples. Na primeira, há apenas o coletor onde são inseridas as ostras e a seguir um tubo inclinado com um sistema que promove a aspersão helicoidal, no intuito de limpar e transportar as ostras até a segunda estrutura. A seguir, as ostras caem sobre uma superfície vibratória que é composta por grades seqüenciais de classificação. Após isto, as ostras são armazenadas de acordo com seu tamanho em caixas.</p> | Grades simples | | | |
| | | Caixa | 20 | 17 | 105 |
| | | Grades seqüenciais + superfície vibratória | 12 | 8 | 420 |
| | | Gravidade | | | |
| | | Total | 77 | 66 | 1142 |
| Concepção | | Princípio | DFA | DFM | NPR |
| | | Calha trapezoidal | | | |
| | | Calha trapezoidal | 20 | 15 | 57 |
| | | Calha trapezoidal | | | |
| | | Sem fim interno | 9 | 10 | 58 |
| Descrição | <p>A concepção K dispõe de um tubo rotativo, onde internamente há uma rosca para o transporte das ostras logo após serem inseridas no coletor. Enquanto são transportadas, as ostras sofrem a ação de jatos aspersores de água, ocorrendo a limpeza das mesmas. Ao final da passagem pelo tubo, as ostras são despejadas em uma calha divergente e inclinada, que através da ação da gravidade, transporta e classifica as ostras, sendo estas armazenadas a seguir em caixas de acordo com seu tamanho.</p> | Grade simples | | | |
| | | Caixa | 20 | 17 | 105 |
| | | Guias divergentes | 20 | 16 | 390 |
| | | Gravidade | | | |
| | | Total | 84 | 72 | 790 |
| Concepção | | Princípio | DFA | DFM | NPR |
| | | Calha trapezoidal | | | |
| | | Calha trapezoidal | 20 | 15 | 57 |
| | | Calha trapezoidal | | | |
| | | Pig tail | 9 | 5 | 95 |
| Descrição | <p>A concepção L é formada por uma estrutura única, com partes internas móveis. As ostras são alimentadas pelo coletor que a seguir restringe o fluxo e as insere no interior do equipamento. A partir dali, são transportadas por um eixo 'pig tail' (helicóide) sobre ação de aspersores de água para limpeza. Ao final do percurso de limpeza, as ostras descem de nível para serem classificadas por roletes gradualmente espaçados do menor vão para o maior, sendo enfim armazenadas em caixas de acordo com seu tamanho.</p> | Grade simples | | | |
| | | Caixa | 20 | 17 | 105 |
| | | Roletes | 12 | 12 | 317 |
| | | Transportador de roletes | | | |
| | | Total | 76 | 63 | 754 |

| | | | | | |
|-----------|--|---------------------------------|-----|-----|-----|
| Concepção | | Princípio | DFA | DFM | NPR |
| | | Calha | | | |
| | | Calha | 20 | 15 | 57 |
| | | Calha | | | |
| | | Pás em hélice | 9 | 8 | 123 |
| Descrição | <p>A concepção M é formada por uma estrutura de base e um tambor rotativo. As ostras são introduzidas no equipamento através do coletor que é fixo na estrutura de base, sendo levadas para o tambor rotativo, que utiliza pás helicoidais para transporte e um sistema concêntrico de aspersão de água. Na porção final do tambor, existem anéis oblíquos espaçados gradualmente do menor para o maior vão que têm como função classificar as ostras por tamanho. A seguir, as ostras são depositadas em caixas de acordo com seu tamanho.</p> | Grade simples | | | |
| | | Caixa | 20 | 17 | 105 |
| | | Tubo ranhurado | 14 | 10 | 510 |
| | | Tubo de anéis + calha | | | |
| | | Total | 68 | 64 | 975 |
| Concepção | | Princípio | DFA | DFM | NPR |
| | | Calha trapezoidal | | | |
| | | Calha trapezoidal | 20 | 15 | 57 |
| | | Calha trapezoidal | | | |
| | | Pás em hélice | 9 | 8 | 123 |
| Descrição | <p>A concepção N é composta por uma estrutura base que sustenta um tambor fixo e calhas logo abaixo. As ostras entram no sistema através do coletor, sendo transportadas internamente por um eixo com pás dispostas helicoidalmente, sobre ação de jatos aspersores de água. O tambor é inclinado pra facilitar o contato das ostras com as pás, auxiliando seu rolamento e facilitando a limpeza. Após a passagem pelo tambor, as ostras caem sobre calhas em 'V' paralelas e sobrepostas, com vãos do maior para o menor onde são transportadas e classificadas por gravidade. Enfim, as ostras são armazenadas em caixas segundo seu tamanho.</p> | Grade simples | | | |
| | | Caixa | 20 | 17 | 105 |
| | | Guias sobrepostas | 19 | 14 | 390 |
| | | Gravidade | | | |
| | | Total | 83 | 68 | 855 |
| Concepção | | Princípio | DFA | DFM | NPR |
| | | Calha trapezoidal | | | |
| | | Calha trapezoidal | 20 | 15 | 57 |
| | | Calha trapezoidal | | | |
| | | Pás em hélice + sem fim interno | 9 | 8 | 181 |
| Descrição | <p>Na concepção O as ostras são introduzidas no sistema e têm seu fluxo limitado pelo coletor. O coletor através da gravidade encaminha as ostras para o transportador, que é um tubo rotativo com pás montadas em hélice no seu interior. Enquanto são transportadas as ostras sofrem a ação de um conjunto de jatos aspersores que efetuam a sua limpeza. Após a limpeza as ostras caem sobre o classificador, que consiste em dois tubos divergentes inclinados, sobre os quais as ostras escorregam pela ação da gravidade e caem dentro de caixas separadas conforme seu tamanho.</p> | Grade simples | | | |
| | | Caixa | 20 | 17 | 105 |
| | | Tubos divergentes | 20 | 18 | 380 |
| | | Gravidade | | | |
| | | Total | 84 | 72 | 903 |

| | | | | | |
|-----------|--|-----------------------|-----|-----|-----|
| Concepção | | Princípio | DFA | DFM | NPR |
| | | Cilindro | | | |
| | | Funil cônico | 20 | 16 | 127 |
| | | Funil cônico | | | |
| | | Eixo vertical com pás | 11 | 9 | 183 |
| Descrição | <p>A concepção P é composta por um reservatório que armazena as ostras e as encaminha individualmente para uma pista. As ostras são transportadas por rolamento sobre esta pista graças à ação do transportador, que é constituído de braços giratórios dispostos radialmente, dotados de anteparos que servem para empurrar as ostras. Enquanto são transportadas, as ostras são limpas pela ação de aspersores individualizados, montados sobre a pista de transporte. Após estarem limpas as ostras são encaminhadas para o classificador que se encontra em um nível inferior à pista. Este classificador é constituído de dois tubos divergentes formando um semicírculo, e pelo mesmo transportador giratório que as transporta durante a limpeza. De acordo com seu tamanho as ostras caem nos vãos do classificador e são encaminhadas para caixas diferentes.</p> | Aspersão radial | 15 | 14 | 160 |
| | | Grades concêntricas | | | |
| | | Caixa | 20 | 17 | 105 |
| | | Tubos divergentes | 20 | 18 | 380 |
| | | Calha | | | |
| | | Total | 86 | 74 | 955 |

Para a análise das concepções levantadas por Novaes (2005) pode-se citar o que aponta o autor:

A dificuldade da tarefa de avaliar as concepções reside na principal característica da fase de projeto conceitual, que é o reduzido número de informações e o elevado nível de abstração destas informações. Antes de gerar as concepções pairava uma grande dúvida: gerar um número reduzido de concepções com um maior grau de detalhamento, ou gerar diversas concepções com um nível de detalhamento relativamente menor? A limitação de tempo para a elaboração de projeto serviu de incentivo pra que fosse adotada a segunda alternativa e fosse assumido o risco de se julgar as concepções com um nível mais elevado de abstração (p.57).

Assim, levantou-se os princípios de solução adotados pelo autor para cada concepção e estabeleceu-se o NPR de cada concepção. Também foi levantado o NPR da concepção gerada neste trabalho (denominada Concepção T) e chegou-se nos seguintes resultados (Quadro 7.11):

Quadro 7.11: Concepções e seus respectivos NPRs.

| Concepção | NPR da concepção | DFA | DFM |
|-------------|------------------|-----|-----|
| Concepção A | 762 | 87 | 65 |
| Concepção B | 772 | 89 | 72 |
| Concepção C | 972 | 79 | 62 |
| Concepção D | 815 | 72 | 54 |
| Concepção E | 782 | 89 | 77 |
| Concepção F | 772 | 87 | 70 |
| Concepção G | 897 | 85 | 69 |
| Concepção H | 1067 | 67 | 60 |
| Concepção I | 1262 | 79 | 63 |

| | | | |
|-------------|------|----|----|
| Concepção J | 1142 | 77 | 66 |
| Concepção K | 790 | 84 | 72 |
| Concepção L | 754 | 76 | 63 |
| Concepção M | 975 | 68 | 64 |
| Concepção N | 855 | 83 | 68 |
| Concepção O | 903 | 84 | 72 |
| Concepção P | 955 | 86 | 74 |
| Concepção T | 897 | 85 | 75 |

A partir dos valores apontados pode-se traçar um gráfico comparativo para que se possa ter uma visão mais ampla dos resultados obtidos. Este gráfico encontra-se na Figura 7.4.

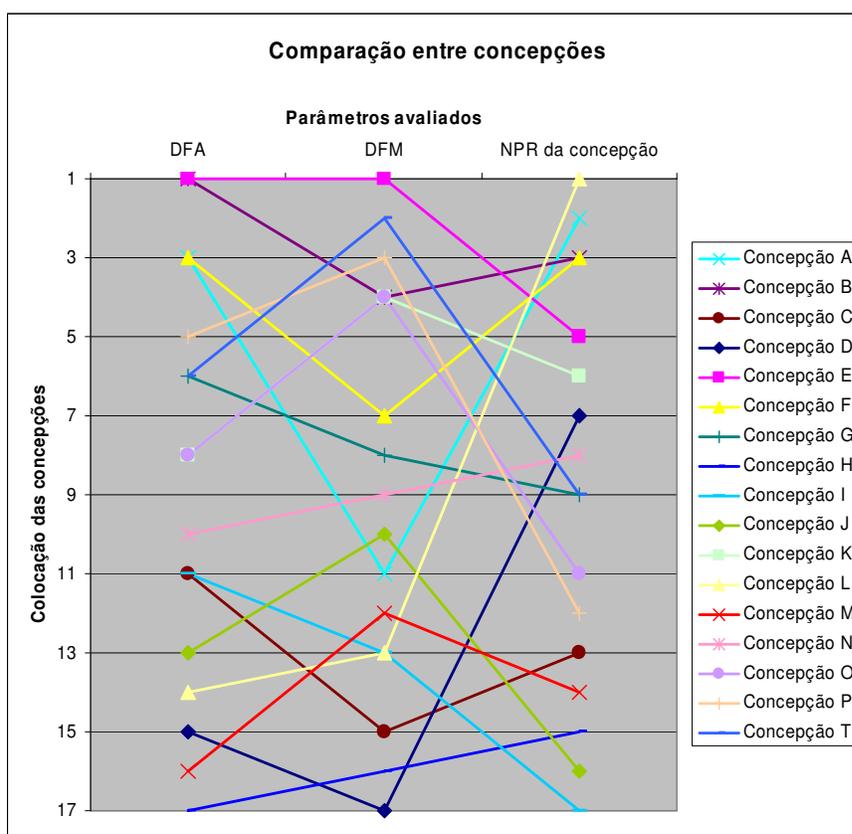


Figura 7.4: Gráfico comparativo das concepções

Com base neste gráfico pode-se perceber que há uma grande disparidade entre os resultados obtidos pelos diferentes critérios de análise. Ainda assim, pode-se constatar que algumas concepções se destacam em relação a outras. As concepções E e B apresentam resultados melhores que as concepções M e H, por exemplo. Outras oscilam entre resultados muito bons em alguns aspectos e ruins em outros. Este é o caso das concepções L e A. Ainda pode-se constatar que a concepção T gerada neste trabalho apresenta-se como mediana em relação àquelas desenvolvidas por Novaes (2005).

Deve-se ressaltar que as avaliações realizadas são relativas a princípios de solução, sendo necessário que se faça a avaliação da concepção como um todo. Esta pode ser realizada

por meio de FMEA, DFA e DFM para a concepção pois as interações entre princípios pode causar novos modos de falha, problemas de compatibilidade e necessidade de processos especiais para a fabricação do conjunto. Também podem surgir, como aponta Pereira (2004), efeitos incidentais, sendo que estes podem tornar uma concepção inviável ou sujeita a alterações.

Também com base nos resultados, pode-se dizer que ainda não fica evidente quais as melhores concepções. O próprio autor faz uma análise da viabilidade técnica de cada uma das concepções geradas e chega ao Quadro 7.12.

Quadro 7.12: Análise de viabilidade das concepções (Novaes, 2005, p. 60).

| Concepções | Viabilidade |
|-------------|---|
| Concepção A | Inviável – Os motivos: o nível elevado de vibrações a que estaria sujeito o sistema como um todo; o elevado atrito entre os componentes do sistema, as ostras e a água salgada sob pressão, o que poderia ocasionar um desgaste excessivo dos mesmos; a falta de acesso dos componentes para a realização da manutenção; e o número elevado de componentes do sistema. |
| Concepção B | Inviável – Os motivos: o elevado atrito entre os componentes do sistema, as ostras e a água salgada sob pressão, o que poderia ocasionar um desgaste excessivo dos mesmos; a falta de acesso dos componentes para a realização da manutenção; o número elevado de componentes do sistema, a vibração utilizada para classificar as ostras; e o custo elevado de fabricação. |
| Concepção C | Condicionalmente viável – Para que esta concepção fosse considerada viável a equipe sugeriu uma alteração no seu sistema de classificação. Inicialmente, a classificação era realizada por grades seqüenciais dotadas de vãos dispostos perpendicularmente ao sentido de deslocamento das ostras. A sugestão da equipe foi posicionar os vãos longitudinalmente ao sentido de deslocamento. |
| Concepção D | Inviável – Os motivos: a falta de acesso da água para atingir a toda a superfície das ostras; o volume excessivo ocupado pelo sistema; o custo de fabricação elevado em razão do número de componentes; a baixa confiabilidade; e o elevado custo de manutenção. |
| Concepção E | Inviável – Os motivos: o nível elevado de vibrações a que estaria submetido o sistema como um todo; o elevado atrito entre os componentes do sistema, as ostras e a água salgada sob pressão, o que poderia ocasionar um desgaste excessivo dos mesmos; a falta de acesso dos componentes para a realização da manutenção; e o número elevado de componentes do sistema |
| Concepção F | Inviável – Idem a concepção D. |
| Concepção G | Inviável – Os motivos: Elevada incerteza acerca do funcionamento do sistema; elevado nível de vibrações; e elevada complexidade geométrica, o que implicaria em altos custos de fabricação. |
| Concepção H | Inviável – Os motivos: Alta complexidade; elevado número de componentes; baixa confiabilidade; baixa durabilidade dos componentes; alto custo de manutenção; elevado custo de fabricação. |
| Concepção I | Inviável – Os motivos: Alta complexidade; volume ocupado bastante grande; elevado número de componentes; elevada vibração na limpeza; baixa confiabilidade; baixa durabilidade dos componentes; alto custo de manutenção; elevado custo de fabricação; necessidade elevada de interferência do operador para a execução das tarefas. |
| Concepção J | Inviável – Os motivos: Falta de controle sobre a limpeza; grande probabilidade de impactos entre as ostras e a estrutura da máquina; baixa confiabilidade; elevada vibração na classificação; elevada probabilidade de falhas. |
| Concepção K | Condicionalmente viável – Para que esta concepção fosse considerada viável a equipe sugeriu uma alteração no seu sistema de classificação. A alteração consiste na adição de jatos de água na parte superior das calhas de classificação para atenuar o atrito entre as ostras e a parede das calhas, favorecendo assim o seu deslocamento e classificação. |
| Concepção L | Inviável – Os motivos: Elevado número de componentes, baixa confiabilidade, alto custo de fabricação; alto custo de manutenção. |
| Concepção M | Inviável – Os motivos: Alta probabilidade de quebra das ostras durante a classificação. |
| Concepção N | Viável |
| Concepção O | Viável |
| Concepção P | Viável |

A análise apontada pelo autor pode ser tomada como um parâmetro para a definição do melhor conceito para o produto. Contudo, algumas concepções as quais o mesmo aponta como inviáveis não podem ser classificadas como tal, uma vez que podem ser estudadas formas de considera-las viáveis.

As concepções D, G, H, I, J, L e M foram consideradas inviáveis também neste trabalho. Contudo, as concepções A, B, E, F que haviam sido consideradas inviáveis pelo autor, neste trabalho podem ser consideradas condicionalmente viáveis. Sendo as concepções B e E as que apresentaram melhores resultados nas avaliações apresentadas.

As concepções consideradas viáveis no trabalho original, por sua vez, apresenta como concepções viáveis as seguintes: N, O, P. Estas obtiveram resultados medianos nas avaliações executadas.

Por fim, as concepções C e K foram consideradas condicionalmente viáveis por Novaes (2005) e obtiveram resultados distintos entre si na avaliação feita. Enquanto que a concepção K obteve bons resultados nos três itens avaliados, a concepção C obteve resultados ruins nos três critérios adotados. Assim, neste trabalho descartou-se a concepção C principalmente por suas incertezas no funcionamento e complexidade de fabricação de alguns sistemas como o sem fim de borracha e o sistema de classificação proposto.

A seguir também pode ser feita a análise de funcionalidade do produto pela Matriz de Avaliação. Esta foi feita com base nas especificações de projeto levantadas por Novaes (2005) e na qual foram acrescentadas as concepções que não haviam sido consideradas no trabalho original. Assim, a Tabela 7.9 apresenta os resultados finais desta avaliação.

Tabela 7.9: Matriz de avaliação das concepções (adaptada de Novaes, 2005, p. 61).

| Requisitos de Projeto | Peso das especificações | Concepções | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------|------------|-------|------|-----|-----|----|-----|------|---|---|----|-----|------|-------|-----|-------|------|-------|
| | | A | | P | | K | | N | | O | | T | | B | | E | | F | |
| | | L | C | L | C | L | C | L | C | L | C | L | C | L | C | L | C | L | C |
| Frequência de ocorrência de falhas | 156 | 1 | -1 | -1 | -1 | 0 | 0 | -1 | -1 | 0 | 0 | -1 | 0 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 |
| Custo de material | 149 | -1 | -1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 1 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| Custo de aquisição | 143 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Custo de manutenção | 136 | 1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 |
| Número de componentes | 136 | 0 | -1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | -1 | 0 | -1 |
| Número de cantos vivos e arestas cortantes expostas | 133 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | -1 | 0 | -1 | 0 |
| número de componentes com geometria simples | 131 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | -1 | 0 | -1 | -1 | -1 |
| Custo de fabricação | 127 | -1 | -1 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 1 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| Frequência de manutenção | 120 | 1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 |
| Número de materiais utilizados na fabricação | 120 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Peso do sistema | 119 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| Potência de acionamento | 113 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| Vida útil | 110 | 1 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 |
| número de componentes móveis expostos | 107 | 0 | 0 | -1 | -1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Número de componentes padronizados | 106 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Segurança | 95 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Número de componentes disponíveis no mercado local | 84 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Exigência de esforços físicos do operador | 81 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Custo de montagem | 80 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| Ostras danificadas no processamento | 79 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Capacidade de carga do alimentador | 78 | 1 | 1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Volume ocupado pelo sistema | 75 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tempo de manutenção | 71 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| Resistência à corrosão | 71 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Capacidade de processamento | 67 | 1 | 1 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Custo de operação | 67 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| Nível de ruído | 62 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | -1 | -1 | -1 |
| Resistência ao desgaste dos componentes | 61 | 0 | 0 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Processos convencionais de fabricação | 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Consumo de energia | 51 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| Número de componentes recicláveis | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Peso dos critérios | | -405 | -1332 | -298 | -31 | 150 | 75 | 120 | -746 | 0 | 0 | 87 | 120 | -117 | -1332 | -42 | -1257 | -330 | -1257 |

Como resultado desta matriz observa-se que a concepção T proposta neste trabalho apresenta-se como uma das melhores no conjunto das concepções avaliadas. Isto porque o critério de manutenção possui um peso fundamental na avaliação das concepções. Assim, torna-se claro que uma criteriosa avaliação dos princípios de solução do ponto-de-vista da manutenção possui sua importância na definição das concepções mais importantes do projeto.

Percebe-se que os valores de montagem não aparecem na avaliação de Novaes (2005), pois não se tem a definição de como a mesma será realizada. Entretanto, pela quantidade de componentes e de sistemas envolvidos pode-se ter uma diretriz ainda que incompleta destas informações. Outra questão é que ao serem definidas algumas das concepções como viáveis poderia-se detalha-las um pouco mais e, assim, definir tais valores.

Apresenta-se, então um gráfico com o ranqueamento de cada uma das concepções avaliadas nesta última etapa em cada quesito (Figura 7.5), permitindo uma visualização mais clara com a inclusão da funcionalidade.

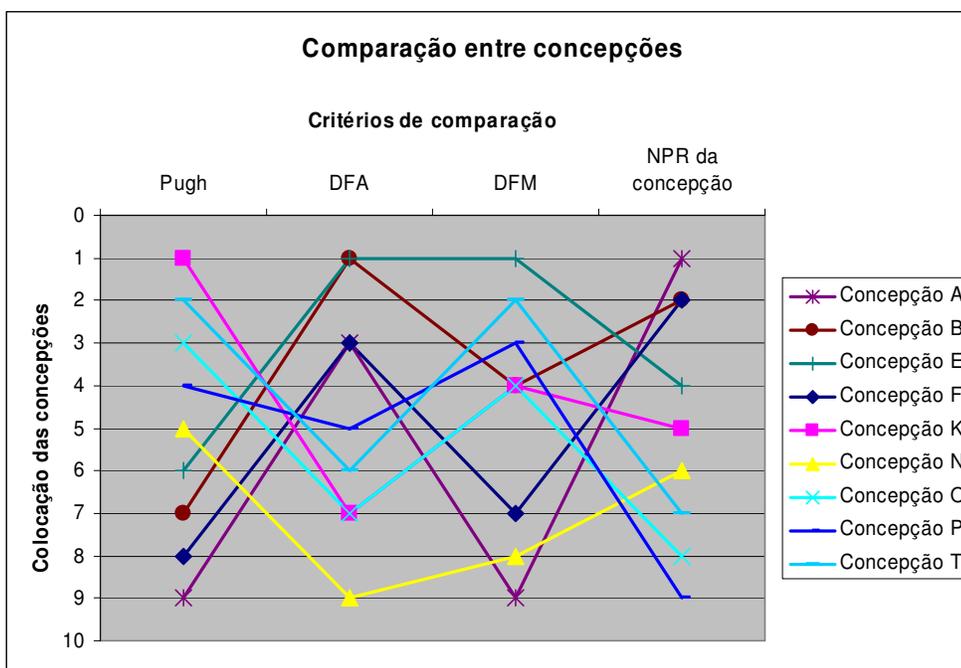


Figura 7.5: Gráfico comparativo das concepções segundo os critérios de comparação levantados

Com base neste gráfico, pode-se verificar que as concepções que possuem os melhores resultados são as concepções B, E, K e T. Entretanto, nenhuma das concepções apresentou-se como ideal em todos os aspectos. Assim, a definição da melhor concepção pode ser feita como aponta Novaes (2005).

O escore total de cada concepção não foi considerado como sendo uma medida absoluta de superioridade ou inferioridade, e sim, um indicativo de quais os pontos positivos e negativos de cada solução. A observação mais apurada de cada concepção e de seus pesos totais levou a equipe a criar uma nova concepção, que combinasse todas as características positivas das concepções sob avaliação. (p.59).

Assim, o autor aponta que a partir das avaliações realizadas pode-se estabelecer novas combinações a partir das melhores características de cada concepção. Este é um fator importante na avaliação das diferentes concepções geradas que pode contribuir para a determinação de um produto final com qualidade e que atenda a todos os critérios estabelecidos como metas do projeto.

Além disso, a definição das interfaces auxilia na definição de como as concepções serão realmente montadas. Estando as mesmas modeladas esquematicamente como no Quadro

7.10, é possível visualizar diversos aspectos das mesmas. Contudo, já é possível modelar as mesmas com um maior grau de detalhamento, de modo a ser possível prever diferentes geometrias e possíveis problemas de manufatura e montagem. Um exemplo desta modelagem é a Figura 7.6 a qual é apresentada por Novaes (2005) para ilustrar a concepção gerada posteriormente à seleção pela Matriz de Avaliação.

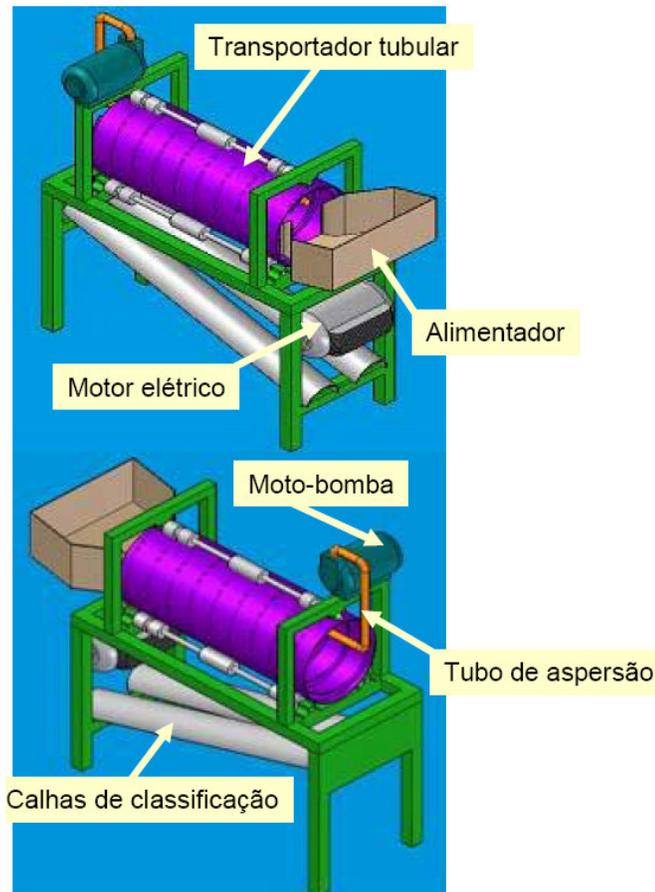


Figura 7.6 – Concepção desenvolvida por Novaes (2005) com base nas concepções avaliadas (p.62).

A questão que se levanta é se as outras concepções tivessem sido modeladas neste mesmo grau de detalhamento não se teria mais certeza na hora de selecioná-las?

Surge então um ponto para reflexão: não é melhor demorar um pouco mais no desenvolvimento das concepções e chegar ao detalhamento do projeto com um grau de incerteza muito menor?

Estas questões podem ser respondidas pela Figura 7.7 na qual Rozenfeld et al (2006) mostram o comprometimento do custo do produto nas fases iniciais do seu desenvolvimento.

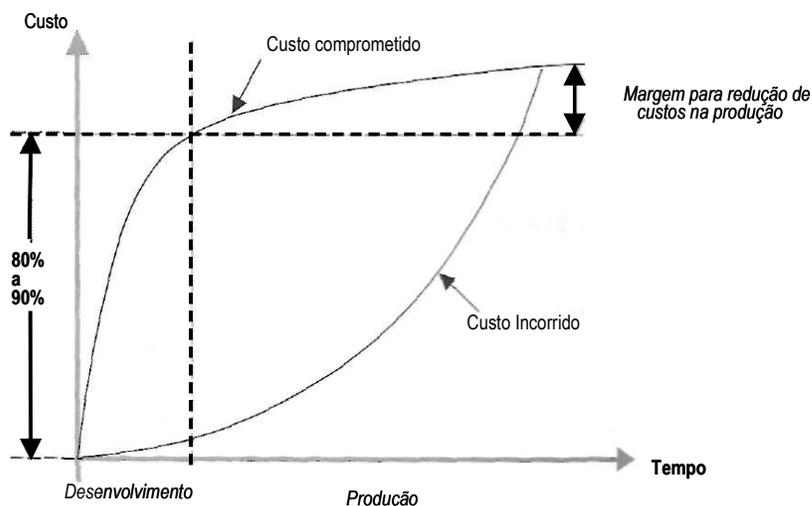


Figura 7.7: Curva de comprometimento do custo do produto (Rozenfeld et al, 2006, p.7).

A partir desta figura percebe-se a importância de se antecipar o desenvolvimento das concepções do produto. Uma vez desenvolvido um bom conceito, com um grau de detalhamento razoável e com informações de manufatura e montagem, pode-se dizer que o seu custo já está determinado. Outra consequência disto é a redução de retrabalhos em fases posteriores devido às etapas de avaliação terem sido cumpridas com um grande volume de informações e, assim, com menos incertezas para a equipe.

7.10. Análise comparativa de modelos - Estudo de Caso 2

Conforme elaborado no estudo de caso anterior, pode-se fazer uma análise comparativa entre o modelo de projeto de produto utilizado por Novaes (2005) e a aplicação do modelo proposto neste trabalho. Esta análise pauta-se nos aspectos de forma do modelo, características do mesmo e os resultados obtidos no trabalho original e no presente estudo de caso. Assim, utilizou-se os mesmos quadros aplicados no estudo de caso 1 (Quadros 6.10 a 6.13) para realizar a análise de forma mais sintética e objetiva. Esta análise encontra-se nos Quadros 7.13 a 7.16.

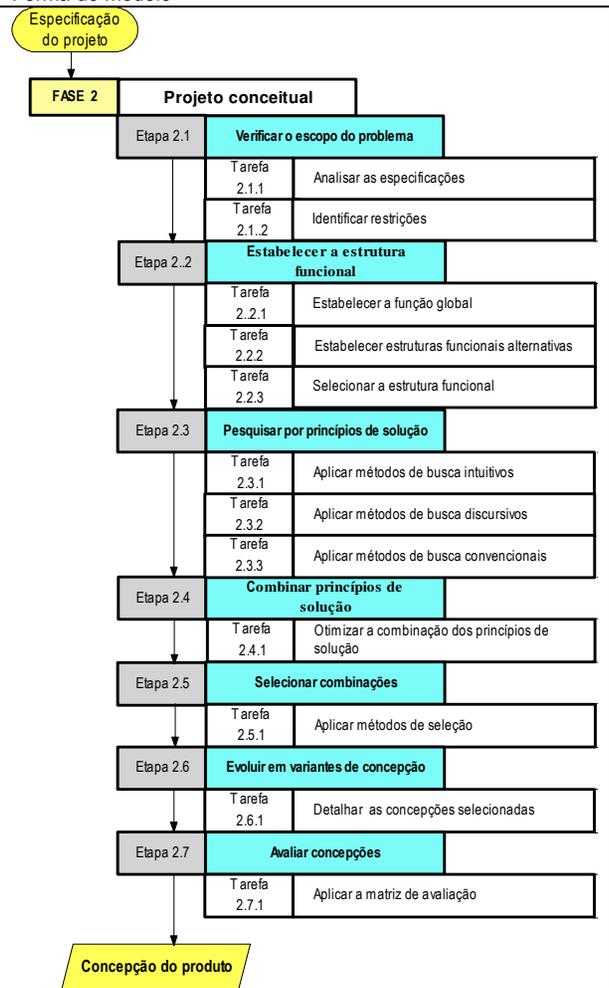
Quadro 7.13: Modelo de projeto informacional utilizado por Novaes (2005).

| Forma do modelo | Características | Resultados |
|--|---|--|
| <pre> graph TD Problema([Problema]) --> Fase1[FASE 1 Projeto Informacional] Fase1 --> Etapa1.1[Etapa 1.1] Etapa1.1 --> Etapa1.2[Etapa 1.2] Etapa1.2 --> Etapa1.3[Etapa 1.3] Etapa1.3 --> Etapa1.4[Etapa 1.4] Etapa1.4 --> Etapa1.5[Etapa 1.5] Etapa1.5 --> Etapa1.6[Etapa 1.6] Etapa1.6 --> Especificacoes[/Especificações do projeto/] </pre> | <p>Modelo consensual (Gomes Ferreira, 1997; Ogliari, 1999) Modelo seqüencial; Não apresenta referências sobre as interfaces do produto; Dividido em fases, etapas e tarefas.</p> | <p>Obtém-se, pela aplicação deste modelo, uma lista de especificações de projeto com seus respectivos valores meta, saídas desejáveis e indesejáveis e quais os sensores a serem utilizados para verificar se os objetivos foram atingidos ou não. No trabalho de Novaes (2005) tais resultados foram satisfatórios.</p> |

Quadro 7.14: Modelo proposto de projeto informacional aplicado no estudo de caso.

| Forma do modelo | Características | Resultados |
|--|---|---|
| <p style="text-align: center;"><i>Atualizar o Plano do Projeto Informacional</i></p> | <p>Prevê atividades em paralelo (ES); Adaptado do modelo de Rozenfeld et al (2006); Estabelece requisitos e especificações de projeto para as interfaces do produto; Estabelece COMO definir as especificações de projeto das interfaces com a inclusão de atividades específicas para isso; É dividido em fases, atividades e tarefas; Estabelece as atividades em destaque para o projeto das interfaces do produto.</p> | <p>Pela aplicação do modelo de projeto de interfaces obteve-se não apenas as informações obtidas por Novaes (2005), mas também informações sobre as interfaces, uma hierarquização dos requisitos para o projeto das interfaces, bem como uma classificação dos critérios para o desenvolvimento das interfaces para o produto.</p> |

Quadro 7.15: Modelo de projeto conceitual utilizado por Novaes (2005).

| Forma do modelo | Características | Resultados |
|---|---|---|
|  <p> Especificação do projeto FASE 2 Projeto conceitual Etapa 2.1 Verificar o escopo do problema Tarefa 2.1.1 Analisar as especificações Tarefa 2.1.2 Identificar restrições Etapa 2.2 Estabelecer a estrutura funcional Tarefa 2.2.1 Estabelecer a função global Tarefa 2.2.2 Estabelecer estruturas funcionais alternativas Tarefa 2.2.3 Selecionar a estrutura funcional Etapa 2.3 Pesquisar por princípios de solução Tarefa 2.3.1 Aplicar métodos de busca intuitivos Tarefa 2.3.2 Aplicar métodos de busca discursivos Tarefa 2.3.3 Aplicar métodos de busca convencionais Etapa 2.4 Combinar princípios de solução Tarefa 2.4.1 Otimizar a combinação dos princípios de solução Etapa 2.5 Selecionar combinações Tarefa 2.5.1 Aplicar métodos de seleção Etapa 2.6 Evoluir em variantes de concepção Tarefa 2.6.1 Detalhar as concepções selecionadas Etapa 2.7 Avaliar concepções Tarefa 2.7.1 Aplicar a matriz de avaliação Concepção do produto </p> | <p>Modelo consensual (Gomes Ferreira, 1997; Ogliari, 1999) Modelo seqüencial; Não apresenta referências sobre as interfaces do produto; Avalia o produto sob as óticas da disponibilidade tecnológica, viabilidade técnica e funcionalidade; As avaliações são subjetivas e qualitativas; Dividido em fases, etapas e tarefas.</p> | <p>Como resultados da aplicação do modelo em Novaes (2005) obteve-se a seleção da alternativa baseada nos critérios de funcionalidade e estimou-se de forma qualitativa aspectos de manufaturabilidade e montabilidade. Esta análise não considera as interfaces entre funções nem mesmo as interfaces entre componentes. Estas são definidas apenas na fase de projeto preliminar. Os modelos em CAD foram feitos para todas as concepções de forma simplificada, a estrutura funcional foi bem elaborada e com um bom grau de detalhamento propiciando uma avaliação mais criteriosa e permitindo uma visualização mais aprofundada do produto. Assim, o nível de incertezas na geração e avaliação das concepções não foi tão elevado como no estudo de caso 1. Entretanto, ainda faltaram informações mais concretas a respeito de algumas alternativas como o autor aponta em sua análise (Quadro 7.12).</p> |

Quadro 7.16: Modelo proposto de projeto conceitual aplicado no estudo de caso.

| Forma do modelo | Características | Resultados |
|--|--|--|
| <pre> graph TD A[Atualizar plano do Projeto Conceitual] --> B[Definir arquitetura] B --> C[Gerar concepções para o produto] D[Definir ergonomia e estética] --> C E[Definir parcerias de co desenvolvimento] --> C C --> F[Avaliar concepções alternativas] G[Definir plano macro de processo] --> F F --> H[Monitorar viabilidade econômica] H --> I[Avaliar fase] I --> J[Aprovar fase] J --> K[Documentar as decisões tomadas e registrar lições aprendidas] </pre> | <p>Prevê atividades em paralelo (ES); Adaptado do modelo de Rozenfeld et al (2006); Estabelece requisitos e especificações de projeto para as interfaces do produto; Estabelece COMO definir a arquitetura do produto, as funções das interfaces e princípios de solução para estas; Estabelece formas de avaliação dos princípios de solução em termos de confiabilidade, montabilidade e manufaturabilidade, individualmente e no contexto das concepções; Analisa as compatibilidades entre funções e princípios de solução; Aponta o desenvolvimento de modelos em CAD ainda em sua fase de geração de princípios de solução; É dividido em fases, etapas atividades e tarefas; Estabelece as atividades em destaque para o projeto das interfaces do produto.</p> | <p>Como resultados da aplicação deste modelo, pode-se destacar as diferentes avaliações possíveis das concepções geradas e o aprofundamento de informações de algumas concepções as quais Novaes (2005) apontou como problemáticas. A análise realizada no Quadro 6.13 já aponta os tipos de informações levantadas pelo modelo. Os modelos em CAD elaborados pelo autor auxiliaram na verificação de aspectos de montabilidade e manufaturabilidade comprovando ser uma ferramenta cada vez mais essencial no desenvolvimento e avaliação de concepções para o produto.</p> |

8. Estudo de caso 3 – Desenvolvimento de um sistema mecânico para deslocamento de estruturas de cultivo de ostras

O terceiro estudo de caso foi a aplicação do modelo no desenvolvimento de um sistema mecânico para deslocamento de estruturas de cultivo de ostras. Por se tratar de um desenvolvimento específico para avaliar os métodos e ferramentas apresentados no modelo, foi utilizado um trabalho pré-desenvolvido por Hamad (2005). Neste trabalho o autor desenvolveu o equipamento citado até a fase de projeto detalhado.

Para o presente trabalho serão aproveitadas as informações advindas da fase de projeto informacional as quais se encontram relatadas em Hamad (2005). A partir destas informações, foram aplicadas as ferramentas propostas pelo modelo de projeto de interfaces.

Algumas informações foram aproveitadas também do projeto conceitual. O autor utiliza o modelo de Rozenfeld et al (2006) de desenvolvimento de produtos. Entretanto, algumas atividades foram re-elaboradas e outras foram adicionadas.

A seguir, serão descritas as atividades propostas no modelo de projeto de interfaces para o projeto do equipamento para deslocamento de estruturas de cultivo de ostras.

8.1. Atividade 1 – Levantamento dos requisitos das interfaces

Como nos Estudos de Caso anteriores, esta atividade baseia-se no Projeto Informacional desenvolvido por Hamad (2005). Assim, a lista de requisitos de interface é apresentada na atividade seguinte.

8.2. Atividade 2 - Definição das especificações de projeto de interfaces

Também como nos outros estudos de caso, as especificações de projeto de interfaces são estabelecidas pela comparação com os Critérios para o projeto das interfaces propostos por Scalice (2003). Esta lista está apresentada na Tabela 8.1.

Tabela 8.1: Definição de Especificações de projeto de interfaces

| Requisitos de Projeto | Peso das especificações | forças, energias e movimentos | segurança e ergonomia | geometria | material | manutenção | montabilidade | desmontabilidade | intercambiabilidade | custo | produção | Estanqueidade | Peso dos requisitos de projeto de interfaces |
|--|-------------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------|----------|------------|---------------|------------------|---------------------|-------|----------|---------------|--|
| quantidade de mecanismos | 370 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | | 3330 |
| adaptabilidade a diferentes embarcações | 440 | 1 | | 1 | | | 1 | 1 | 1 | | | | 2200 |
| Estabilidade | 630 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | 1890 |
| número de pontos de fixação | 330 | | | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | 1650 |
| número de ajustes de fixação | 280 | | | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | 1400 |
| resistência mecânica | 340 | 1 | | | 1 | | | | | 1 | 1 | | 1360 |
| custo de produção baixo | 300 | | | | | | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1200 |
| área de trabalho | 570 | | 1 | 1 | | | | | | | | | 1140 |
| força de acionamento | 410 | 1 | 1 | | | | | | | | | | 820 |
| número de operações de controle | 400 | 1 | 1 | | | | | | | | | | 800 |
| custo operacional baixo | 390 | | | | | 1 | | | | 1 | | | 780 |
| número de pontos de lubrificação | 190 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | 760 |
| potência necessária para realizar o trabalho | 370 | 1 | | | | | | | | 1 | | | 740 |
| resistência do acabamento | 350 | | | | 1 | 1 | | | | | | | 700 |
| capacidade de carga da embarcação | 320 | 1 | 1 | | | | | | | | | | 640 |
| peso limitado | 210 | 1 | 1 | | 1 | | | | | | | | 630 |
| resistência à corrosão | 300 | | | | 1 | 1 | | | | | | | 600 |
| número de amplificadores de força | 380 | 1 | | | | | | | | | | | 380 |
| densidade | 150 | | | 1 | 1 | | | | | | | | 300 |
| volume ocupado pelo equipamento em uso | 140 | | 1 | | | | | | | | | | 280 |
| resistência à radiação UV | 210 | | | | 1 | | | | | | | | 210 |
| número de pontos de acúmulo de água | 150 | | | | | | | | | | | 1 | 150 |
| emissão de poluentes mínima | 140 | | | | | | | | | | | 1 | 140 |
| volume ocupado pelo equipamento inativo | 140 | | | 1 | | | | | | | | | 140 |
| número de materiais diferentes | 120 | | | | 1 | | | | | | | | 120 |
| nível de ruído baixo | 70 | | 1 | | | | | | | | | | 70 |
| número de funções | 370 | | | | | | | | | | | | 0 |
| Peso dos critérios | | 3870 | 3120 | 3050 | 2240 | 2210 | 1910 | 1910 | 1420 | 1400 | 1010 | 290 | |

8.3. Atividade 3 – estabelecimento das estruturas funcionais e dos relacionamentos entre funções

Após a definição das especificações de projeto do produto e das especificações de projeto das interfaces, partiu-se para a definição das estruturas funcionais. Como esta

atividade já fora desenvolvida no trabalho de Hamad (2005) partiu-se da estrutura de funções escolhida pelo autor (Figura 8.1). A partir desta estrutura fez-se um desdobramento das funções elementares apontadas no trabalho em questão e definiu-se os fluxos de material, energia e informação existentes entre as funções. Assim, obteve-se as seguintes estruturas funcionais mostradas nas Figuras 8.2, 8.3, 8.4.

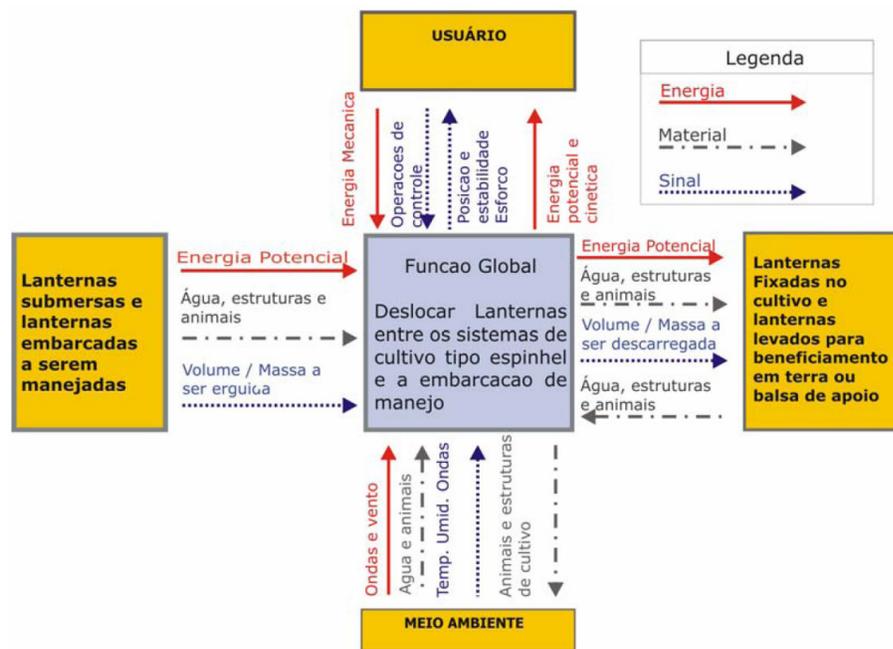


Figura 8.1: Função Global de um equipamento para deslocamento de lanternas para o cultivo de ostras (Hamad, 2005, p. 66).

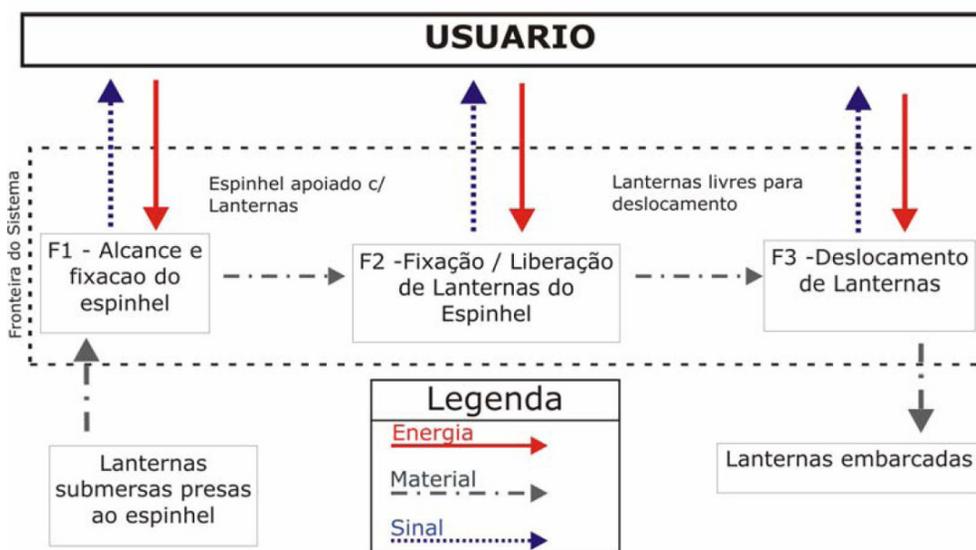


Figura 8.2: Desdobramento da Função Global de um equipamento para deslocamento de lanternas para o cultivo de ostras (Hamad, 2005, p. 67).

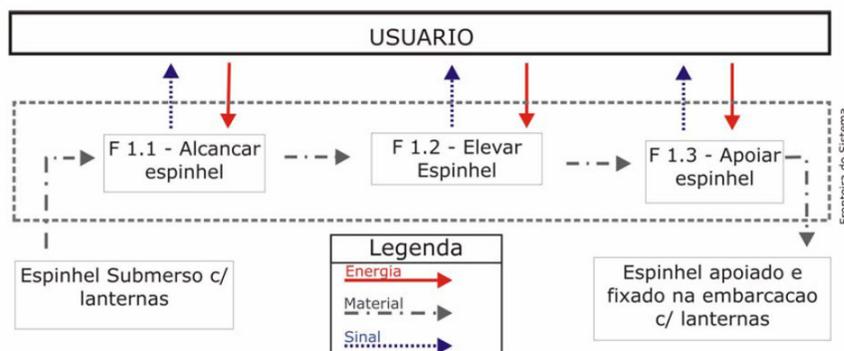


Figura 8.3: Desdobramento da Função Global de um equipamento para deslocamento de lanternas para o cultivo de ostras (Hamad, 2005, p. 69).

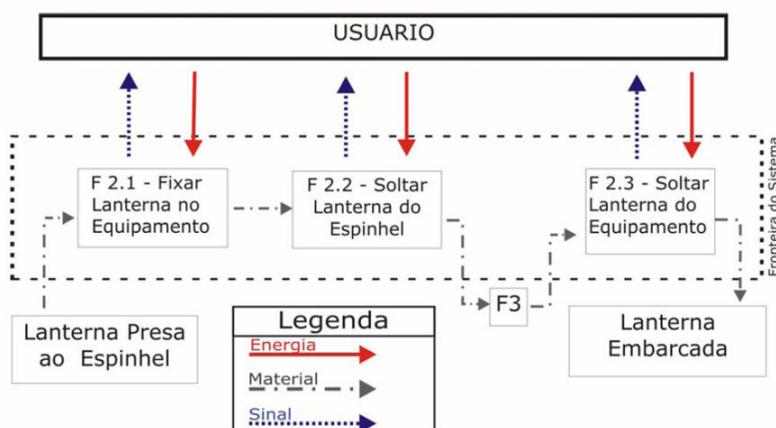


Figura 8.4: Desdobramento da Função Global de um equipamento para deslocamento de lanternas para o cultivo de ostras (Hamad, 2005, p. 70).

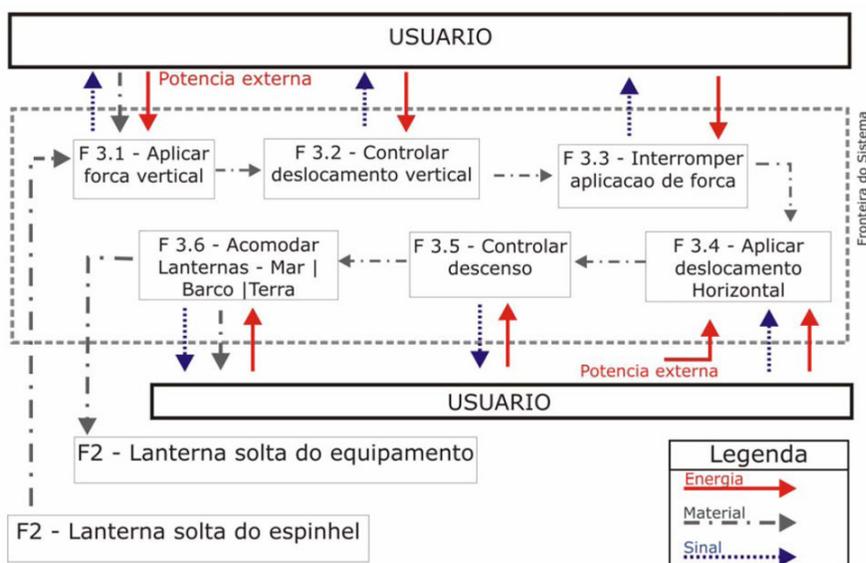


Figura 8.5: Desdobramento da Função Global de um equipamento para deslocamento de lanternas para o cultivo de ostras (Hamad, 2005, p. 70).

A partir da estrutura funcional apresentada pôde-se definir o quadro de interfaces entre funções mostrado no Quadro 8.1.

Quadro 8.1: Entradas e saídas das funções elementares. (Adaptado de Hamad, 2005, p. 69 – 70).

| Entradas | Elemento funcional | Saídas |
|--|--|--|
| E – Força mecânica M – Espinhel solto S – espinhel solto | Alcançar espinhel | E – força mecânica M – Espinhel conectado ao sistema de içamento S – espinhel conectado |
| E – Energia cinética M – Espinhel submerso S – Espinhel submerso | Içar espinhel | E – Energia potencial M – Espinhel S – Altura de manejo do espinhel |
| E – Energia potencial M – Espinhel S – Altura de manejo do espinhel | Fixar espinhel | E – Força mecânica + energia potencial M – Espinhel S – Espinhel fixo e na altura de manejo |
| E – Energia potencial M – Espinhel S – Espinhel fixo | Soltar espinhel | E – Energia cinética M – Espinhel S – espinhel submerso |
| E – Força mecânica M – lanterna no espinhel S – distância da lanterna | Alcançar lanternas | E – Força mecânica M – lanterna no espinhel S – lanterna ao alcance |
| E – Força mecânica M – lanterna S – lanterna no espinhel | Fixar lanternas | E – Força mecânica M – lanterna S – lanterna presa na posição |
| E – Força de trabalho M – operador fora da posição de trabalho S – posição de trabalho | Posicionar operador | E – Força de trabalho M – operador na posição de trabalho S – posição de trabalho |
| E – Força mecânica M – lanterna S – lanterna presa no espinhel | Soltar lanterna do espinhel | E – Força mecânica M – lanterna S – lanterna solta do espinhel |
| E – Força mecânica M – bóia S – bóia presa no espinhel | Soltar bóia do espinhel | E – Força mecânica M – bóia S – bóia solta do espinhel |
| E – Força mecânica M – bóia S – bóia solta do espinhel | Fixar bóia no espinhel | E – Força mecânica M – bóia S – bóia presa no espinhel |
| E – Energia mecânica + elétrica M – sistema de deslocamento vertical S – posição do sistema | Acionar sistema de deslocamento vertical | E – Quantidade de movimento + força mecânica M – sistema de deslocamento vertical S – velocidade de deslocamento |
| E – Quantidade de movimento + força mecânica M – sistema de deslocamento vertical S – posição e velocidade de deslocamento | Efetuar controle do sistema de deslocamento vertical | E – Quantidade de movimento + força mecânica M – sistema de deslocamento vertical S – posição e velocidade de deslocamento controladas |
| E – Energia mecânica + elétrica M – sistema de deslocamento horizontal S – posição do sistema | Acionar sistema de deslocamento horizontal | E – Quantidade de movimento + força mecânica M – sistema de deslocamento horizontal S – velocidade de deslocamento |
| E – Energia potencial M – lanterna no convés S – posição de manejo | Posicionar lanterna | E – Energia cinética M – lanterna no mar S – posição da lanterna |
| E – Energia cinética M – lanterna S – velocidade de deslocamento | Interromper e manter estável a lanterna | E – Energia potencial M – lanterna pendurada S – estabilidade da lanterna |
| E – Força mecânica M – lanterna S – lanterna solta do espinhel | Fixar a lanterna no espinhel | E – Força mecânica M – lanterna S – lanterna presa no espinhel |
| E – Força mecânica M – bóia | Fixar bóia junto à lanterna | E – Força mecânica M – bóia |

| | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| S – bóia solta do espelho | | S – bóia presa junto à lanterna |
| E – Força mecânica | Soltar lanterna do equipamento | E – Força mecânica |
| M – lanterna presa | | M – lanterna presa |
| S – lanterna presa no equipamento | | S – lanterna solta do equipamento |

A partir desta tabela, foi possível a utilização da matriz de interfaces. Esta estabelece quais elementos funcionais possuem inter-relação com outros elementos (Figura 8.6). Cabe ressaltar que a matriz apresenta também as relações do produto com o ambiente e com o usuário.

8.4. Atividade 6 – Definição dos blocos funcionais

Como resultado da matriz de interfaces, pôde-se constatar que algumas interfaces funcionais estabelecem possíveis módulos construtivos. Estes módulos são configurados pela compatibilidade de energia, material e sinal e permitem estabelecer as funções que executam tarefas semelhantes no contexto do produto.

O Quadro 8.2 procura mostrar os blocos funcionais definidos.

Com base nestes módulos construtivos e na matriz de interfaces é possível verificar as interfaces existentes entre os módulos e definir as funções existentes nas interfaces inter-modulares.

Quadro 8.2: Blocos funcionais do equipamento de deslocamento de lanternas de ostras.

| Blocos funcionais | Funcções |
|-------------------|--|
| Bloco Funcional 1 | Alcançar espinhel |
| | Içar espinhel |
| | Fixar espinhel |
| | Soltar espinhel |
| Bloco Funcional 2 | Alcançar lanternas |
| | Fixar lanternas |
| | Soltar lanterna do espinhel |
| | Fixar a lanterna no espinhel |
| | Soltar lanterna do equipamento |
| Bloco Funcional 3 | Posicionar operador |
| | Posicionar lanterna |
| | Interromper e manter estável a lanterna |
| Bloco Funcional 4 | Soltar bóia do espinhel |
| | Fixar bóia no espinhel |
| | Fixar bóia junto à lanterna |
| Bloco Funcional 5 | Acionar sistema de deslocamento vertical |
| | Efetuar controle do sistema de deslocamento vertical |
| | Acionar sistema de deslocamento horizontal |

8.5. Atividade 4 – Definição das funções de interface

A definição das funções de interface foi realizada a exemplo dos estudos de caso 1 e 2, isto é, comparou-se os relacionamentos funcionais estabelecidos pela matriz de interfaces com os tipos de interfaces definidos por Persson (2004) e com os critérios de interface de Scalice (2003). Além disso, a lista de funções de interface de Hillström (1994) também serve de base para o estabelecimento das funções de interface.

Esta lista apresentada no capítulo 3 serve de referência para a determinação das funções que as interfaces exercem no produto. Assim, buscou-se enquadrar as interfaces

determinadas na classificação proposta. A lista das funções de interface encontra-se no Quadro 8.3.

Quadro 8.3: Funções de interface classificadas segundo os critérios de Persson (2004), Hillström (1994) e Scalice (2003).

| Interfaces funcionais | Funções de interface | Classificação segundo Persson (2004) | Classificação segundo Hillström (1994) | Classificação segundo Scalice (2003) |
|---------------------------------------|---|--------------------------------------|--|---|
| Bloco Funcional 1 – Bloco Funcional 2 | Prover força de levantamento | Transferência | Transformar energia | Força, energia e movimento |
| Bloco Funcional 1 – Bloco Funcional 3 | Prover energia de movimentação | Transferência | Transformar energia | Força, energia e movimento |
| Bloco Funcional 1 – Bloco Funcional 4 | Prover força de levantamento | Transferência | Transformar energia | Força, energia e movimento |
| Bloco Funcional 1 – Bloco Funcional 5 | Prover energia de acionamento | Transferência | Transformar energia | Força, energia e movimento |
| Bloco Funcional 1 – usuário | Reduzir força necessária | Usuário | Não há menção de interface com o usuário | Segurança e ergonomia |
| Bloco Funcional 1 – ambiente | Fixar na embarcação Proteger componentes | Usuário, espacial | Não há menção de interface com o usuário | Segurança e ergonomia |
| Bloco Funcional 2 – Bloco Funcional 3 | Prover força de levantamento | Transferência | Transformar energia | Força, energia e movimento |
| Bloco Funcional 2 – Bloco Funcional 4 | Prover força de levantamento | Transferência | Transformar energia | Força, energia e movimento |
| Bloco Funcional 2 – Bloco Funcional 5 | Prover força de levantamento | Transferência | Transformar energia | Força, energia e movimento |
| Bloco Funcional 3 – Bloco Funcional 5 | Controlar posição | Transferência, montagem e espacial | Transformar energia, localizar componentes | Força, energia e movimento, montabilidade |
| Bloco Funcional 4 – Bloco Funcional 5 | Prover força de levantamento | Transferência | Transformar energia | Força, energia e movimento |

Com base nesta tabela pode-se verificar que o sistema possui diversas funções de interfaces, sendo algumas possíveis de aplicar em mais de um bloco funcional. Estas, assim como no estudo de caso 1 podem ser desenvolvidas pelo mesmo princípio físico, integrando alguns blocos funcionais.

Também pode-se constatar que algumas das funções de interface estão inseridas na própria função principal. Um exemplo disso, é a função de prover força de levantamento a qual encontra-se distribuída entre diversos blocos funcionais do sistema. Outras funções que encontram-se inseridas em uma função principal são as funções de prover energia de levantamento, prover energia de movimentação, reduzir força de levantamento e controlar posição. Assim, ficam como funções de interface apenas as de fixar o equipamento na embarcação e proteger componentes.

Assim, levantadas as funções de interface, parte-se para a definição da criticidade das funções.

8.6. Atividade 5 – Levantamento das funções críticas

O levantamento das funções críticas estabelece aquelas funções que possuem um grau de severidade mais alto no caso de deixarem de cumprir suas funções. Assim, é realizado um FMEA funcional de modo a identificá-las e dar prioridade às mesmas.

Como descrito no estudo de caso anterior, o processo de FMEA funcional é realizado apenas com relação ao parâmetro de severidade da falha. Esta severidade é avaliada a partir do cumprimento ou não da função.

Assim, o resultado desta avaliação encontra-se ilustrado na Tabela 8.2.

Tabela 8.2: Levantamento das funções críticas de um equipamento para deslocamento de lanternas de ostras.

| Requisitos de Projeto | Peso das especificações | Funções Críticas | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------|------------------|--|--|--|---------------------|---|---------------------|-----------------|--------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------|-------------------------|
| | | Fixar espínhel | Acionar sistema de deslocamento vertical | Efetuar controle do sistema de deslocamento vertical | Acionar sistema de deslocamento horizontal | Posicionar lanterna | Interromper e manter estável a lanterna | Posicionar operador | Fixar lanternas | Alcançar lanternas | Fixar a lanterna no espínhel | Soltar lanterna do equipamento | Fixar espínhel | Soltar lanterna do espínhel | Fixar bóia junto à lanterna | Fixar bóia no espínhel | Soltar espínhel | Soltar bóia do espínhel |
| quantidade de mecanismos | 370 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | | | | | | | | | | |
| adaptabilidade a diferentes embarcações | 440 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Estabilidade | 630 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| número de pontos de fixação | 330 | | | | | | | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| número de ajustes de fixação | 280 | | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| resistência mecânica | 340 | 1 | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| custo de produção baixo | 300 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| área de trabalho | 570 | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | |
| força de acionamento | 410 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| número de operações de controle | 400 | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| custo operacional baixo | 390 | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | |
| número de pontos de lubrificação | 190 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| potência necessária para realizar o trabalho | 370 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| resistência do acabamento | 350 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| capacidade de carga da embarcação | 320 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| peso limitado | 210 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| resistência à corrosão | 300 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| número de ampliadores de força | 380 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| densidade | 150 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| volume ocupado pelo equipamento em uso | 140 | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| resistência à radiação UV | 210 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| número de pontos de acúmulo de água | 150 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| emissão de poluentes mínima | 140 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| volume ocupado pelo equipamento inativo | 140 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| número de materiais diferentes | 120 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| nível de ruído baixo | 70 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| número de funções | 370 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Peso dos critérios | 3470 | 2620 | 2620 | 2620 | 2320 | 2090 | 2060 | 1420 | 1070 | 610 | 1050 | 700 | 980 | 610 | 330 | 980 | 610 | |
| Severidade | 8 | 6 | 6 | 6 | 6 | 4 | 3 | 4 | 5 | 6 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 1 | 1 | |
| Valor total | 278 | 157 | 157 | 157 | 139 | 83,6 | 61,8 | 56,8 | 53,5 | 36,6 | 31,5 | 21 | 19,6 | 18,3 | 13,2 | 9,8 | 6,1 | |

Com base nesta tabela constata-se que as funções críticas são, na ordem (Quadro 8.4):

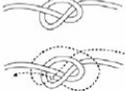
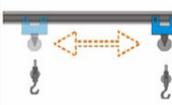
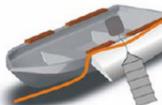
Quadro 8.4: Funções ordenadas em termos da sua criticidade.

| Ordem | Função |
|-------|--|
| 1 | Içar espinhel |
| 2 | Acionar sistema de deslocamento vertical |
| 3 | Efetuar controle do sistema de deslocamento vertical |
| 4 | Acionar sistema de deslocamento horizontal |
| 5 | Posicionar lanterna |
| 6 | Interromper e manter estável a lanterna |
| 7 | Posicionar operador |
| 8 | Fixar lanternas |
| 9 | Alcançar lanternas |
| 10 | Fixar a lanterna no espinhel |
| 11 | Soltar lanterna do equipamento |
| 12 | Fixar espinhel |
| 13 | Soltar lanterna do espinhel |
| 14 | Fixar bóia junto à lanterna |
| 15 | Fixar bóia no espinhel |
| 16 | Soltar espinhel |
| 17 | Soltar bóia do espinhel |

8.7. Atividade 7 – Geração dos princípios de solução

A geração dos princípios de solução utiliza como ferramenta a matriz morfológica. Assim, por se tratar de uma ferramenta difundida na bibliografia será apenas apresentada a matriz resultante do estudo de caso (Quadro 8.5). Esta parte da matriz é apresentada por Hamad (2005), sendo complementada no Quadro 8.6. Por motivo de redução do tempo de validação, não serão gerados novos princípios de solução.

Quadro 8.5: Matriz morfológica do equipamento de deslocamento de lanternas para o cultivo de ostras (Hamad, 2005, p. 75 – 77).

| | | | | |
|--------|---|---|--|---|
| FE 1.1 | Alcançar Espinhel |  |  |  |
| FE 2.1 | Alcançar lanternas | Usar as mãos | Cabo com Gancho | Haste com gancho |
| FE 1.3 | Fixar / trilhar Espinhel na embarcação |  |  |  |
| FE 1.4 | Soltar Espinhel do sistema de fixação / Trilhamento | | | |
| FE 3.9 | Deslocar equipamento para posição da lanterna | Roda estrela | Gancho no bordo | Plano lateral |
| FE 2.2 | Fixar lanternas no equipamento de deslocamento |  |  |  |
| FE 3.8 | Soltar lanterna do equipamento | Usar gancho | Usar nó | Gancho com moitão |
| FE 3.3 | Acionar sistema de deslocamento horizontal |  |  |  |
| | | Rotacionar mastro | Correr trilho | Deslizar plano |
| FE 3.1 | Aplicar força |  |  |  |
| | | Força humana puxando cabo | Usar motor a combustão | Usar Motor hidráulico |
| | |  |  |  |
| | | Força humana cabo com catraca e manivela | Força humana alavanca | Usar motor elétrico |

| | | | | |
|--------|--|---|--|---|
| FE 2.4 | Soltar lanterna do Espinhel | | | |
| FE 2.5 | Soltar bóia do Espinhel |  |  |  |
| FE 2.6 | Fixar bóia no Espinhel / Embarcar junto com lanterna |  | | |
| FE 3.6 | Fixar a lanterna no Espinhel | | | |
| FE 3.7 | Fixar bóia junto à lanterna | Usar nó | Engate rápido lanterna / espinhel | Engate rápido espinhel/lanterna/bóia |
| FE 1.2 | Içar Espinhel |  |  |  |
| FE 3.1 | Deslocamento vertical das lanternas | Mastro c/ lança | Estrutura gaiola | Plano inclinado com guincho |
| FE 3.2 | Efetuar controle do sistema de deslocamento vertical |  |  |  |
| FE 3.5 | Interromper e estabilizar a lanterna | Bandeja basculante | Alavanca | Arco pórtico entre flutuador e embarcação |

Quadro 8.6: Funções de interface do equipamento.

| | | | | | |
|----------------------|--------------------------------|-----------|------------------------|-------------------|----------------|
| Funções de interface | Princípios de solução | | | | |
| Fixar na embarcação | Geometria | Parafusos | Rebites | Mancais com pinos | Trava mecânica |
| Proteger componentes | Material resistente à corrosão | Pintura | Tratamento superficial | | |

8.8. Atividade 8 – Análise dos princípios de solução

No estudo de caso em questão, optou-se por fazer a análise dos princípios de solução por bloco funcional. Isto ocorreu devido ao grande número de funções do sistema como um todo. Também priorizou-se as funções críticas de cada subsistema pois, devido ao grande número de princípios de solução, uma análise completa dos mesmos seria excessivamente longa o que inviabilizaria o projeto do produto.

Assim, foram realizadas avaliações de confiabilidade, montabilidade e exequibilidade dos mesmos. Isto implica dizer que deve-se aplicar a FMEA em cada um dos princípios de

solução de modo a estabelecer o NPR de cada um destes, a verificação de compatibilidades e a análise de fabricação. Esta tarefa é executada para detectar os princípios de solução mais confiáveis do ponto de vista de cumprimento da função.

A seguir encontram-se as matrizes morfológicas com os modos de falha e os NPRs das funções críticas de cada um dos diferentes blocos funcionais (Tabela 8.3).

Tabela 8.3: FMEA dos princípios de solução das funções críticas de cada bloco funcional.

| Função crítica | Princípio de solução | Modos de falha | S | D | O | NPR |
|---|-----------------------------|--------------------------|----|---|---|-----|
| BF 1Içar espínel | Mastro com lança | Quebra | 10 | 1 | 1 | 10 |
| | | Corrosão | 8 | 3 | 3 | 72 |
| | | Deformação plástica | 10 | 5 | 1 | 50 |
| | | Tombamento da embarcação | 10 | 1 | 1 | 10 |
| | | Rompimento do cabo | 10 | 3 | 3 | 90 |
| | Estrutura de gaiola | Quebra | 10 | 1 | 1 | 10 |
| | | Corrosão | 8 | 3 | 3 | 72 |
| | | Deformação plástica | 10 | 5 | 1 | 50 |
| | | Tombamento da embarcação | 10 | 1 | 1 | 10 |
| | | Rompimento do cabo | 10 | 3 | 3 | 90 |
| | Plano inclinado com guincho | Quebra | 10 | 1 | 1 | 10 |
| | | Corrosão | 8 | 3 | 3 | 72 |
| | | Deformação plástica | 10 | 5 | 1 | 50 |
| | | Tombamento da embarcação | 10 | 1 | 1 | 10 |
| | | Rompimento do cabo | 10 | 3 | 3 | 90 |
| BF 5 Acionar sistema de deslocamento vertical | Mastro com lança | Quebra | 10 | 1 | 1 | 10 |
| | | Corrosão | 8 | 3 | 3 | 72 |
| | | Deformação plástica | 10 | 5 | 1 | 50 |
| | | Tombamento da embarcação | 10 | 1 | 1 | 10 |
| | | Rompimento do cabo | 10 | 3 | 3 | 90 |
| | Estrutura de gaiola | Quebra | 10 | 1 | 1 | 10 |
| | | Corrosão | 8 | 3 | 3 | 72 |
| | | Deformação plástica | 10 | 5 | 1 | 50 |
| | | Tombamento da embarcação | 10 | 1 | 1 | 10 |
| | | Rompimento do cabo | 10 | 3 | 3 | 90 |
| | Plano inclinado com guincho | Quebra | 10 | 1 | 1 | 10 |
| | | Corrosão | 8 | 3 | 3 | 72 |
| | | Deformação plástica | 10 | 5 | 1 | 50 |
| | | Tombamento da embarcação | 10 | 1 | 1 | 10 |
| | | Rompimento do cabo | 10 | 3 | 3 | 90 |
| BF 3 Posicionar lanterna | Roda Estrela | Quebra | 8 | 1 | 4 | 32 |
| | | Corrosão | 3 | 3 | 6 | 54 |
| | | Desgaste | 3 | 5 | 4 | 60 |
| | | Rompimento da corrente | 10 | 1 | 4 | 40 |
| | | Desgaste no mancal | 3 | 8 | 2 | 48 |
| | | emperramento | 8 | 3 | 2 | 48 |
| | Gancho no bordo | Quebra | 8 | 1 | 4 | 32 |
| | | Corrosão | 3 | 3 | 6 | 54 |
| | | Desgaste | 3 | 5 | 4 | 60 |
| | | Rompimento da corrente | 10 | 1 | 4 | 40 |
| | | Desgaste no mancal | 3 | 8 | 2 | 48 |
| | | Quebra da embarcação | 8 | 3 | 5 | 120 |
| | Plano lateral | Quebra | 10 | 1 | 1 | 10 |
| | | Corrosão | 8 | 3 | 3 | 72 |
| | | Deformação plástica | 10 | 5 | 1 | 50 |
| | | Tombamento da embarcação | 10 | 1 | 1 | 10 |

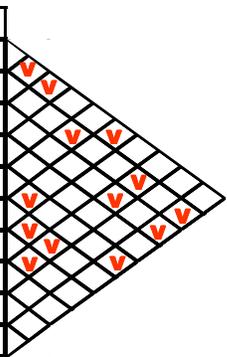
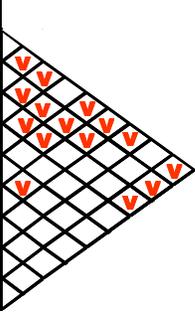
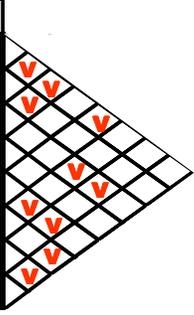
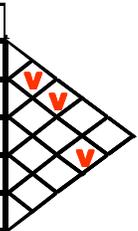
| | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|------------------------|----|---|---|----|
| | | Rompimento do cabo | 10 | 3 | 3 | 90 |
| BF 2 Fixar lanternas | Gancho | Quebra | 10 | 1 | 1 | 10 |
| | | Corrosão | 8 | 3 | 3 | 72 |
| | | Deformação plástica | 10 | 5 | 1 | 50 |
| | | Escape da lanterna | 10 | 1 | 2 | 20 |
| | | Rompimento do cabo | 10 | 3 | 3 | 90 |
| | Nó | Escape da lanterna | 10 | 1 | 2 | 20 |
| | | Desgaste da corda | 4 | 5 | 1 | 20 |
| | | Degradação da corda | 3 | 6 | 1 | 18 |
| | | Dificuldade de desatar | 2 | 1 | 1 | 2 |
| | Gancho com moitão | Quebra | 10 | 1 | 1 | 10 |
| | | Corrosão | 8 | 3 | 3 | 72 |
| | | Deformação plástica | 10 | 5 | 1 | 50 |
| | | Emperramento | 10 | 1 | 4 | 40 |
| | | Rompimento do cabo | 10 | 3 | 3 | 90 |
| BF 4 Fixar bóia junto à lanterna | Nó | Escape da lanterna | 10 | 1 | 2 | 20 |
| | | Desgaste da corda | 4 | 5 | 1 | 20 |
| | | Degradação da corda | 3 | 6 | 1 | 18 |
| | | Dificuldade de desatar | 2 | 1 | 1 | 2 |
| | Engate rápido lanterna espinhel | Quebra | 10 | 1 | 1 | 10 |
| | | Corrosão | 8 | 3 | 3 | 72 |
| | | Deformação plástica | 10 | 5 | 1 | 50 |
| | | Emperramento | 10 | 1 | 4 | 40 |
| | | Rompimento do cabo | 10 | 3 | 3 | 90 |
| | Engate rápido lanterna espinhel bóia | Quebra | 10 | 1 | 1 | 10 |
| | | Corrosão | 8 | 3 | 3 | 72 |
| | | Deformação plástica | 10 | 5 | 1 | 50 |
| | | Emperramento | 10 | 1 | 4 | 40 |

A partir da matriz de FMEA dos princípios de solução, fez-se então a análise dos modos de falha vinculados. Estes proporcionam o entendimento do real grau de influência que os mesmos terão sobre o princípio em questão.

A seguir encontram-se as tabelas que apresentam o vínculo entre os modos de falha e, com base nestas matrizes, estabeleceu-se os NPRs totais de cada um dos princípios de solução da matriz morfológica Tabela 8.4.

Tabela 8.4: Matrizes de vínculos entre modos de falha das funções críticas.

| Modos de falha BF1 | Função crítica | Princípio de solução | NPR |
|--------------------------|----------------|-----------------------------|-----|
| Quebra | Içar espinhel | Mastro com lança | 222 |
| Corrosão | | Estrutura de gaiola | 222 |
| Deformação plástica | | Plano inclinado com guincho | 222 |
| Tombamento da embarcação | | | |
| Rompimento do cabo | | | |

| | | | | |
|--|---|--|--------------------------------------|-----|
| Modos de falha BF2 Quebra Corrosão Deformação plástica Tombamento da embarcação Rompimento do cabo Escape da lanterna Desgaste da corda Degradação da corda Dificuldade de desatar Emperramento |  | Função crítica | Princípio de solução | NPR |
| | | Fixar lanternas | Gancho | 242 |
| | | | Nó | 60 |
| | | | Gancho com moitão | 262 |
| Modos de falha BF3 Quebra Corrosão Desgaste Rompimento da corrente Desgaste no mancal emperramento Quebra da embarcação Tombamento da embarcação Rompimento do cabo |  | Função crítica | Princípio de solução | NPR |
| | | Posicionar lanternas | Roda Estrela | 282 |
| | | | Gancho no bordo | 354 |
| | | | Plano lateral | 232 |
| Modos de falha BF4 Escape da lanterna Desgaste da corda Degradação da corda Dificuldade de desatar Quebra Corrosão Deformação plástica Emperramento |  | Função crítica | Princípio de solução | NPR |
| | | Fixar bóia junto à lanterna | Nó | 60 |
| | | | Engate rápido lanterna espinhel | 172 |
| | | | Engate rápido lanterna espinhel bóia | 172 |
| | | | | |
| Modos de falha BF5 Quebra Corrosão Deformação plástica Tombamento da embarcação Rompimento do cabo |  | Função crítica | Princípio de solução | NPR |
| | | Acionar sistema de deslocamento vertical | Mastro com lança | 222 |
| | | | Estrutura de gaiola | 222 |
| | | | Plano inclinado com guincho | 222 |

Conforme apresentado nas tabelas acima pode-se fazer uma análise preliminar de princípios de solução que apresentam menores NPRs. Esta análise pôde ser realizada em módulos, o que permite separar os blocos funcionais para a execução das análises.

Outra análise a ser realizada diz respeito aos princípios de funcionamento envolvidos em cada um dos princípios de solução de modo a avaliar as compatibilidades existentes entre os mesmos. Para o estudo de caso em questão, faremos a análise de princípio de funcionamento das concepções adotadas por Hamad (2005).

Esta análise pode ser realizada avaliando-se os princípios de solução que possuem menores NPRs (Quadro 8.7).

Quadro 8.7: Princípios de solução com seus respectivos princípios de funcionamento.

| Blocos funcionais | Funções | Princípios de solução | Princípios de funcionamento | Princípios de solução | Princípios de funcionamento | Princípios de solução | Princípios de funcionamento |
|-------------------|--|--|---|---------------------------------|--|---|---|
| Bloco Funcional 1 | Alcançar espinhel | Mãos | Manual | Cabo com gancho | Elemento de conexão | Haste com gancho | Elemento de conexão |
| | Ïçar espinhel | Mastro com lança | Braço articulado | Estrutura em gaiola | Estrutura | Plano inclinado com guincho | Suporte inclinado com elemento de força |
| | Fixar espinhel | Roda estrela | Suporte rotativo | Gancho no bordo | Suporte | Plano lateral | Suporte inclinado |
| | Soltar espinhel | Roda estrela | Suporte rotativo | Gancho no bordo | Suporte | Plano lateral | Suporte inclinado |
| Bloco Funcional 2 | Alcançar lanternas | Mãos | Manual | Cabo com gancho | Elemento de conexão | Haste com gancho | Elemento de conexão |
| | Fixar lanternas | Gancho | Suporte | Nó | Força de aperto | Gancho com moitão | Suporte com redução de força |
| | Soltar lanterna do espinhel | Usar nó | Força de aperto | Engate rápido lanterna/espinhel | Acoplamento | Engate rápido lanterna, espinhel, bóia | Acoplamento |
| | Fixar a lanterna no espinhel | Usar nó | Força de aperto | Engate rápido lanterna/espinhel | Acoplamento | Engate rápido lanterna, espinhel, bóia | Acoplamento |
| | Soltar lanterna do equipamento | Gancho | Suporte | Nó | Força de aperto | Gancho com moitão | Suporte com redução de força |
| Bloco Funcional 3 | Posicionar operador | Força humana puxando cabo | Força humana direta | Motor de combustão | Energia química | Motor hidráulico | Energia hidráulica |
| | | Força humana puxando cabo com catraca e manivela | Força humana com mecanismo de segurança | Força humana com alavanca | Força humana com amplificador de força | Motor elétrico | Energia elétrica |
| | Posicionar lanterna | Roda estrela | Suporte rotativo | Gancho no bordo | Suporte | Plano lateral | Suporte inclinado |
| | Interromper e manter estável a lanterna | Bandeja basculante | Controle rotativo | Alavanca | Amplificador de força | Arco pórtico entre flutuador e embarcação | Apoio extra |
| Bloco Funcional 4 | Soltar bóia do espinhel | Usar nó | Força de aperto | Engate rápido lanterna/espinhel | Acoplamento | Engate rápido | Acoplamento |
| | Fixar bóia no espinhel | Usar nó | Força de aperto | Engate rápido lanterna/espinhel | Acoplamento | Engate rápido | Acoplamento |
| | Fixar bóia à lanterna | Usar nó | Força de aperto | Engate rápido lanterna/espinhel | Acoplamento | Engate rápido | Acoplamento |
| Bloco Funcional 5 | Acionar sistema de deslocamento vertical | Mastro com lança | Braço articulado | Estrutura em gaiola | Estrutura | Plano inclinado com guincho | Suporte inclinado com elemento de força |
| | Efetuar controle do | Bandeja basculante | Controle rotativo | Alavanca | Amplificador de força | Arco pórtico entre | Apoio extra |

| | | | | | | | |
|--|--|-------------------|------------------|---------------|-----------------------|------------------------|-----------|
| | sistema de deslocamento vertical | | | | | flutuador e embarcação | |
| | Acionar sistema de deslocamento horizontal | Rotacionar mastro | Braço articulado | Correr trilho | Limitador de percurso | Deslizar plano | Gravidade |

Com base nos valores de NPR e nos efeitos físicos apontados no Quadro 8.7, pode-se fazer uma avaliação preliminar dos princípios de solução a serem utilizados na combinação das concepções.

Deve-se salientar que além das compatibilidades de portadores de efeitos também é necessário que se verifique as compatibilidades de forma existentes. Assim, vários princípios atendem a duas ou mais funções diferentes o que significa que dispensa a combinação com outros princípios e assim o número de concepções possíveis cai consideravelmente.

Esta é uma sugestão de combinação de princípios que pode facilitar o trabalho de análise das concepções uma vez que o número de concepções pode ser excessivamente alto sem uma análise crítica da matriz morfológica. Dessa forma consegue-se visualizar com mais critérios as combinações viáveis e, portanto, estabelecer um menor número de concepções mais detalhadas.

Esta análise de princípios de funcionamento também propicia um entendimento de modos de montagem do conjunto. Princípios de funcionamento que utilizam tipos diferentes de energia requereriam elementos adicionais de transformação da energia. Assim, fica claro que se aumentaria o número de componentes e a complexidade do produto.

Poderia-se empregar a Matriz de Erixon et al (1996) para a avaliação da montabilidade das concepções com os princípios de solução. Esta seria uma forma de verificar também os tipos de montagem possíveis para o equipamento. Contudo, para a sua aplicação é necessário que se gerem as concepções de modo a ter uma idéia do conjunto como um todo e, assim, poder se estabelecer uma forma de montagem.

Outro ponto a ser avaliado é a questão da manufaturabilidade dos princípios. Esta manufaturabilidade pode ser medida de forma quantitativa (métodos de DFM) ou mesmo qualitativa, o que requer um conhecimento mais amplo sobre a forma de fabricação dos diferentes princípios de solução. Dessa forma, a análise de montabilidade e de manufaturabilidade foi feita conforme os estudos de caso anteriores e seus resultados estão mostrados no Anexo 3.

Algumas considerações devem ser feitas para esta análise. A primeira delas é que por se tratar de um equipamento que entrará em contato com água salgada, deve-se utilizar materiais não suscetíveis à corrosão por este meio. Outro ponto a ser destacado são as

diretrizes para a fabricação apontadas na literatura de DFM. Sousa (1998) coloca que segundo Boothroyd et al (1994) deve-se considerar:

- o volume da peça;
- o coeficiente de perdas de material;
- a complexidade da forma geométrica;
- as propriedades do material;
- requisitos de tolerância e de acabamento superficial;
- tratamentos superficiais.

Assim, considerando-se o problema de projeto, pode-se apontar algumas considerações:

- evitar peças de aço carbono, uma vez que as mesmas irão requerer o uso de aço inox ou mesmo de tratamentos superficiais;
- evitar peças que requeiram soldagem, uma vez que o aço inox apresenta maior dificuldade de soldagem que o aço carbono, além da própria soldagem ser um processo que provoca pontos de fragilidade quanto à corrosão;
- evitar elementos que requeiram o uso de lubrificantes (mancais de deslizamento, por exemplo);
- isolar elementos elétricos, de modo a evitar possibilidade de choques.

Estas são algumas considerações e delas surgem a avaliação dos princípios de solução apresentados no Quadro 8.8.

Quadro 8.8: Princípios Análise de DFA e DFM dos princípios de solução da função crítica do Bloco Funcional 1.

| Bloco Funcional 1 | | | | |
|-----------------------------|--------------------------|----|------------------------------------|----|
| Çar espinhel | Diretrizes de DFA | | Diretrizes de DFM | |
| Mastro com lança | Geometria | 4 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 4 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 17 | TOTAL | 13 |
| Estrutura de gaiola | Geometria | 4 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 16 | TOTAL | 12 |
| Plano inclinado com guincho | Geometria | 4 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 4 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 15 | TOTAL | 12 |

Fazendo-se a análise pode-se constatar que em questão de exequibilidade pode-se obter um número significativamente menor de concepções a serem avaliadas e detalhadas. Para efeitos de comparação será estabelecida uma concepção considerada como a mais viável e esta será confrontada com os resultados obtidos no trabalho de Hamad (2005).

Assim, partiu-se para a próxima atividade que é a combinação e evolução em concepções.

8.9. Atividade 9 – Combinar e evoluir em concepções

Com base nos dados apontados nas fases anteriores e de posse das concepções geradas por Hamad (2005) serão realizadas análises das mesmas, procurando-se comparar os resultados obtidos pelo autor com possíveis diferenças apontadas pelo modelo proposto.

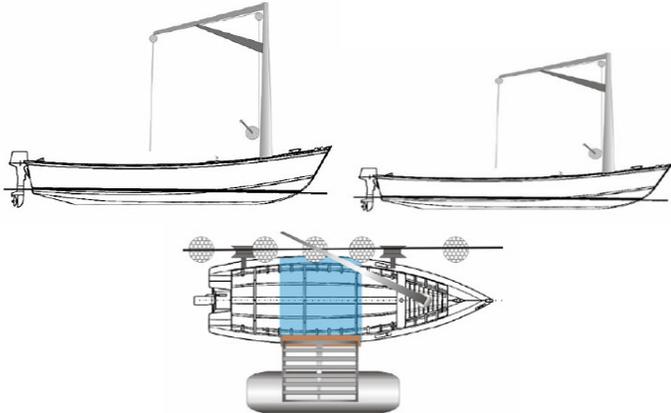
A concepção gerada neste trabalho será composta pelos seguintes princípios de solução (Quadro 8.9).

Quadro 8.9: Proposta de concepção comparativa.

| Blocos funcionais | Funções | |
|-------------------|--|--|
| Bloco Funcional 1 | Alcançar espinhel | Haste com gancho |
| | Içar espinhel | Estrutura em gaiola |
| | Fixar espinhel | Gancho no bordo |
| | Soltar espinhel | Gancho no bordo |
| Bloco Funcional 2 | Alcançar lanternas | Haste com gancho |
| | Fixar lanternas | Gancho com moitão |
| | Soltar lanterna do espinhel | Engate rápido lanterna, espinhel, bóia |
| | Fixar a lanterna no espinhel | Engate rápido lanterna, espinhel, bóia |
| | Soltar lanterna do equipamento | Gancho com moitão |
| Bloco Funcional 3 | Posicionar operador | Força humana puxando cabo com catraca e manivela |
| | Posicionar lanterna | Gancho no bordo |
| | Interromper e manter estável a lanterna | Arco pórtico entre flutuador e embarcação |
| Bloco Funcional 4 | Soltar bóia do espinhel | Engate rápido |
| | Fixar bóia no espinhel | Engate rápido |
| | Fixar bóia junto à lanterna | Engate rápido |
| Bloco Funcional 5 | Acionar sistema de deslocamento vertical | Estrutura em gaiola |
| | Efetuar controle do sistema de deslocamento vertical | Arco pórtico entre flutuador e embarcação |
| | Acionar sistema de deslocamento horizontal | Correr trilho |

As concepções geradas por Hamad (2005) encontram-se descritas nos Quadros 8.10 a 8.16.

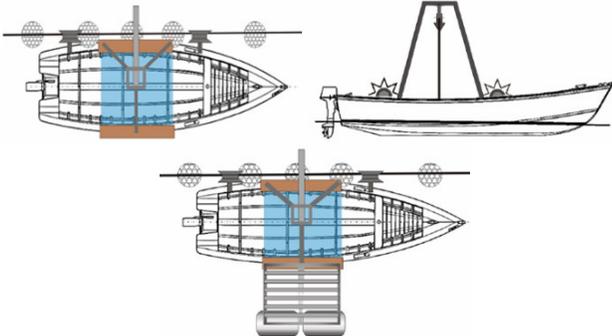
Quadro 8.10: Concepção 1 descrita por Hamad (2005, p. 79).

| Concepção 1 | | | | |
|---|--|-----|-----|-----|
|  | | | | |
| Descrição | | | | |
| <p>O sistema de mastro com lança é tecnicamente viável, entretanto, o seu sistema de ancoragem e fixação no casco exige um reforço estrutural considerável neste ponto já que toda a força de deslocamento seria carregada naquele ponto, aumentando significativamente o peso total da estrutura. Outro ponto importante é a necessidade de regulagem da distância entre mastro e ponto de manejo das lanternas para haver regulagem nesta peça seria necessário um aumento considerável do peso da lança concentrando mais massa em um ponto elevado prejudicando a estabilidade da embarcação.</p> | | | | |
| Funções | PSs | NPR | DFA | DFM |
| Alcançar espinhel | Cabo com gancho | 806 | 85 | 69 |
| Içar espinhel | Mastro com lança | | | |
| Fixar espinhel | Roda estrela | | | |
| Soltar espinhel | Roda estrela | | | |
| Alcançar lanternas | Cabo com gancho | | | |
| Fixar lanternas | Gancho | | | |
| Soltar lanterna do espinhel | Nó | | | |
| Fixar a lanterna no espinhel | Nó | | | |
| Soltar lanterna do equipamento | Gancho | | | |
| Posicionar operador | Força humana puxando cabo com catraca e manivela | | | |
| Posicionar lanterna | Roda estrela | | | |
| Interromper e manter estável a lanterna | Alavanca | | | |
| Soltar bóia do espinhel | Nó | | | |
| Fixar bóia no espinhel | Nó | | | |
| Fixar bóia junto à lanterna | Nó | | | |
| Acionar sistema de deslocamento vertical | Mastro com lança | | | |
| Efetuar controle do sistema de deslocamento vertical | Alavanca | | | |
| Acionar sistema de deslocamento horizontal | Rotacionar mastro | | | |
| Fixar na embarcação | Parafusos | | | |
| Proteger componentes | Material resistente à corrosão | | | |

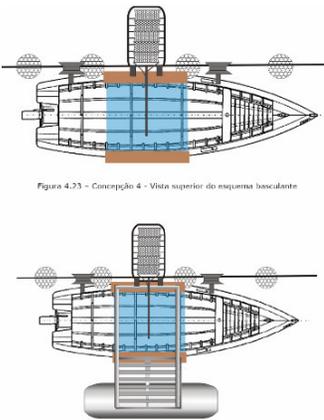
Quadro 8.11: Concepção 2 descrita por Hamad (2005, p. 80).

| Concepção 2 | | | | |
|---|--|-----|-----|-----|
| | | | | |
| Descrição | | | | |
| <p>O sistema de gaiola com quatro pontos de apoio e viga com guincho na ponta da concepção 2 proporciona uma redução do peso da estrutura necessária para o içamento das lanternas além de proporcionar um aumento da área, tanto de manejo, quanto de carga extra considerável. O uso do flutuador duplo proporciona uma maior estabilidade, porém se apresenta como o ponto negativo, pois, além do custo, este flutuador exerce um arrasto muito grande ao deslocamento da embarcação, fazendo com que as dimensões e materiais utilizados elevem os custos de fabricação.</p> | | | | |
| Funções | PSs | NPR | DFA | DFM |
| Alcançar espinhel | Cabo com gancho | 806 | 83 | 67 |
| Içar espinhel | Estrutura em gaiola | | | |
| Fixar espinhel | Roda estrela | | | |
| Soltar espinhel | Roda estrela | | | |
| Alcançar lanternas | Cabo com gancho | | | |
| Fixar lanternas | Gancho | | | |
| Soltar lanterna do espinhel | Nó | | | |
| Fixar a lanterna no espinhel | Nó | | | |
| Soltar lanterna do equipamento | Gancho | | | |
| Posicionar operador | Força humana puxando cabo com catraca e manivela | | | |
| Posicionar lanterna | Roda estrela | | | |
| Interromper e manter estável a lanterna | Arco pórtico entre flutuador e embarcação | | | |
| Soltar bóia do espinhel | Nó | | | |
| Fixar bóia no espinhel | Nó | | | |
| Fixar bóia junto à lanterna | Nó | | | |
| Acionar sistema de deslocamento vertical | Estrutura em gaiola | | | |
| Efetuar controle do sistema de deslocamento vertical | Arco pórtico entre flutuador e embarcação | | | |
| Acionar sistema de deslocamento horizontal | Correr trilho | | | |
| Fixar na embarcação | Parafusos | | | |
| Proteger componentes | Material resistente à corrosão | | | |

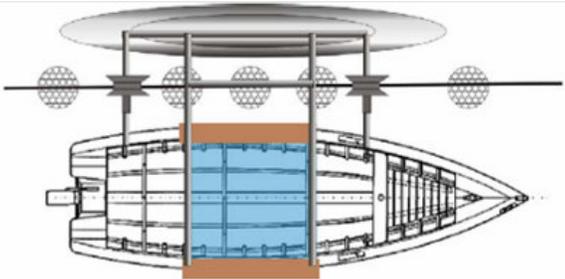
Quadro 8.12: Concepção 3 descrita por Hamad (2005, p. 81).

| Concepção 3 | | | | |
|--|--|-----|-----|-----|
|  | | | | |
| Descrição | | | | |
| Esta configuração aproveitou algumas considerações das concepções anteriores e propôs uma forma diferente de atuar para o sistema de flutuação. Conforme mostrado acima, o ponto de içamento fica no bordo oposto ao flutuador utilizando um sistema de gaiola tubular em treliça o que proporciona uma redução de peso e maximização da resistência da estrutura. O ponto negativo a ser avaliado é a ancoragem e fixação nas bordas das embarcações. | | | | |
| Funções | PSs | NPR | DFA | DFM |
| Alcançar espinhel | Cabo com gancho | 826 | 80 | 67 |
| Içar espinhel | Estrutura em gaiola | | | |
| Fixar espinhel | Roda estrela | | | |
| Soltar espinhel | Roda estrela | | | |
| Alcançar lanternas | Cabo com gancho | | | |
| Fixar lanternas | Gancho com moitão | | | |
| Soltar lanterna do espinhel | Nó | | | |
| Fixar a lanterna no espinhel | Nó | | | |
| Soltar lanterna do equipamento | Gancho com moitão | | | |
| Posicionar operador | Força humana puxando cabo com catraca e manivela | | | |
| Posicionar lanterna | Roda estrela | | | |
| Interromper e manter estável a lanterna | Arco pórtico entre flutuador e embarcação | | | |
| Soltar bóia do espinhel | Nó | | | |
| Fixar bóia no espinhel | Nó | | | |
| Fixar bóia junto à lanterna | Nó | | | |
| Acionar sistema de deslocamento vertical | Estrutura em gaiola | | | |
| Efetuar controle do sistema de deslocamento vertical | Arco pórtico entre flutuador e embarcação | | | |
| Acionar sistema de deslocamento horizontal | Correr trilho | | | |
| Fixar na embarcação | Parafusos | | | |
| Proteger componentes | Material resistente à corrosão | | | |

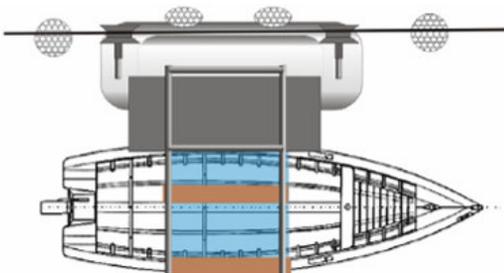
Quadro 8.13: Concepção 4 descrita por Hamad (2005, p. 82).

| Concepção 4 | | | | |
|--|--|-----|-----|-----|
|  <p>Figura 4.23 - Concepção 4 - Vista superior do esquema basculante</p> | | | | |
| Descrição | | | | |
| Apesar de inovadora e simples, esta concepção exige um mecanismo que permita encaixar a bandeja basculante entre a lanterna e a lateral da embarcação. Seu mecanismo de acionamento exige também uma certa complexidade para permitir efetuar a força necessária para elevação, além de manter o equilíbrio da embarcação enquanto o manejo é realizado. | | | | |
| Funções | PSs | NPR | DFA | DFM |
| Alcançar espínhel | Cabo com gancho | 756 | 83 | 72 |
| Içar espínhel | Plano inclinado com guincho | | | |
| Fixar espínhel | Roda estrela | | | |
| Soltar espínhel | Roda estrela | | | |
| Alcançar lanternas | Cabo com gancho | | | |
| Fixar lanternas | Gancho | | | |
| Soltar lanterna do espínhel | Nó | | | |
| Fixar a lanterna no espínhel | Nó | | | |
| Soltar lanterna do equipamento | Gancho | | | |
| Posicionar operador | Força humana puxando cabo com catraca e manivela | | | |
| Posicionar lanterna | Plano lateral | | | |
| Interromper e manter estável a lanterna | Bandeja basculante | | | |
| Soltar bóia do espínhel | Nó | | | |
| Fixar bóia no espínhel | Nó | | | |
| Fixar bóia junto à lanterna | Nó | | | |
| Acionar sistema de deslocamento vertical | Plano inclinado com guincho | | | |
| Efetuar controle do sistema de deslocamento vertical | Bandeja basculante | | | |
| Acionar sistema de deslocamento horizontal | Deslizar plano | | | |
| Fixar na embarcação | Parafusos | | | |
| Proteger componentes | Material resistente à corrosão | | | |

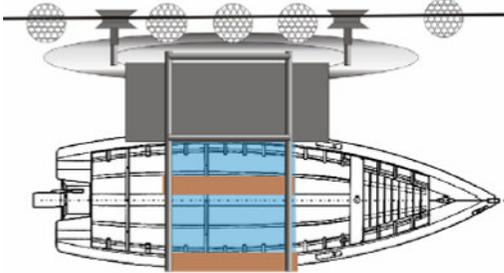
Quadro 8.14: Concepção 5 descrita por Hamad (2005, p. 83).

| Concepção 5 | | | | |
|--|--|-----|-----|-----|
|  | | | | |
| Descrição | | | | |
| <p>Esta configuração é estruturalmente mais eficiente que o tipo gaiola de quatro pontos pois exige menos material e distribui as cargas de içamento entre o casco da embarcação e o flutuador minimizando a necessidade de um flutuador com grande empuxo e possibilitando melhorar seu perfil hidrodinâmico. O grande ponto negativo é a impossibilidade de haver trilhamento e fixação adequada do espelho pois a plataforma de ligação entre o casco principal e o flutuador impede a elevação do mesmo.</p> | | | | |
| Funções | PSs | NPR | DFA | DFM |
| Alcançar espelho | Cabo com gancho | 826 | 80 | 67 |
| Içar espelho | Estrutura em gaiola | | | |
| Fixar espelho | Roda estrela | | | |
| Soltar espelho | Roda estrela | | | |
| Alcançar lanternas | Cabo com gancho | | | |
| Fixar lanternas | Gancho com moitão | | | |
| Soltar lanterna do espelho | Nó | | | |
| Fixar a lanterna no espelho | Nó | | | |
| Soltar lanterna do equipamento | Gancho com moitão | | | |
| Posicionar operador | Força humana puxando cabo com catraca e manivela | | | |
| Posicionar lanterna | Roda estrela | | | |
| Interromper e manter estável a lanterna | Arco pórtico entre flutuador e embarcação | | | |
| Soltar bóia do espelho | Nó | | | |
| Fixar bóia no espelho | Nó | | | |
| Fixar bóia junto à lanterna | Nó | | | |
| Acionar sistema de deslocamento vertical | Estrutura em gaiola | | | |
| Efetuar controle do sistema de deslocamento vertical | Arco pórtico entre flutuador e embarcação | | | |
| Acionar sistema de deslocamento horizontal | Correr trilho | | | |
| Fixar na embarcação | Parafusos | | | |
| Proteger componentes | Material resistente à corrosão | | | |

Quadro 8.15: Concepção 6 descrita por Hamad (2005, p. 83).

| Concepção 6 | | | | |
|---|--|-----|-----|-----|
|  | | | | |
| Descrição | | | | |
| O sistema de gaiola da concepção 6 proporciona uma redução do peso da estrutura necessária para o içamento. O uso do flutuador de configuração largo e de fundo chato maximiza a flutuação no ponto de içamento, porém se apresenta como o ponto negativo pois exige deste flutuador um empuxo equivalente à carga que será içada mais o peso da estrutura de içamento, fazendo com que as dimensões e materiais utilizados elevem o custo de fabricação. | | | | |
| Funções | PSs | NPR | DFA | DFM |
| Alcançar espinhel | Cabo com gancho | 938 | 79 | 62 |
| Içar espinhel | Estrutura em gaiola | | | |
| Fixar espinhel | Roda estrela | | | |
| Soltar espinhel | Roda estrela | | | |
| Alcançar lanternas | Cabo com gancho | | | |
| Fixar lanternas | Gancho com moitão | | | |
| Soltar lanterna do espinhel | Engate rápido | | | |
| Fixar a lanterna no espinhel | Engate rápido | | | |
| Soltar lanterna do equipamento | Gancho com moitão | | | |
| Posicionar operador | Força humana puxando cabo com catraca e manivela | | | |
| Posicionar lanterna | Roda estrela | | | |
| Interromper e manter estável a lanterna | Arco pórtico entre flutuador e embarcação | | | |
| Soltar bóia do espinhel | Engate rápido | | | |
| Fixar bóia no espinhel | Engate rápido | | | |
| Fixar bóia junto à lanterna | Engate rápido | | | |
| Acionar sistema de deslocamento vertical | Estrutura em gaiola | | | |
| Efetuar controle do sistema de deslocamento vertical | Arco pórtico entre flutuador e embarcação | | | |
| Acionar sistema de deslocamento horizontal | Correr trilho | | | |
| Fixar na embarcação | Parafusos | | | |
| Proteger componentes | Material resistente à corrosão | | | |

Quadro 8.16: Concepção 7 descrita por Hamad (2005, p. 83).

| Concepção 7 | | | | |
|---|--|------|-----|-----|
|  | | | | |
| Descrição | | | | |
| O uso do flutuador estreito e hidrodinâmico maximiza o deslocamento e compromete a capacidade de suportar cargas. Sua estrutura tipo gaiola oferece as melhores possibilidades de aumentar a capacidade de carga, além de sua área útil ser maior e mais estável, deslocando o manejo para fora da embarcação. Entretanto, o risco elevado e os custos para desenvolver um flutuador que tenha um empuxo equivalente ao da embarcação inviabilizam a alternativa. | | | | |
| Funções | PSs | NPR | DFA | DFM |
| Alcançar espindel | Cabo com gancho | 1010 | 85 | 65 |
| Içar espindel | Estrutura em gaiola | | | |
| Fixar espindel | Gancho no bordo | | | |
| Soltar espindel | Gancho no bordo | | | |
| Alcançar lanternas | Cabo com gancho | | | |
| Fixar lanternas | Gancho | | | |
| Soltar lanterna do espindel | Engate rápido | | | |
| Fixar a lanterna no espindel | Engate rápido | | | |
| Soltar lanterna do equipamento | Gancho | | | |
| Posicionar operador | Força humana puxando cabo com catraca e manivela | | | |
| Posicionar lanterna | Gancho no bordo | | | |
| Interromper e manter estável a lanterna | Arco pórtico entre flutuador e embarcação | | | |
| Soltar bóia do espindel | Engate rápido | | | |
| Fixar bóia no espindel | Engate rápido | | | |
| Fixar bóia junto à lanterna | Engate rápido | | | |
| Acionar sistema de deslocamento vertical | Estrutura em gaiola | | | |
| Efetuar controle do sistema de deslocamento vertical | Arco pórtico entre flutuador e embarcação | | | |
| Acionar sistema de deslocamento horizontal | Correr trilho | | | |
| Fixar na embarcação | Parafusos | | | |
| Proteger componentes | Material resistente à corrosão | | | |

Como resultados da avaliação por confiabilidade, montabilidade e manufaturabilidade, pode-se destacar que o NPR, o valor do DFA e do DFM das concepções encontram-se mostrados na Tabela 8.5.

Tabela 8.5: Valores de NPR, DFA e DFM das concepções.

| Concepção | NPR | DFA | DFM |
|-------------|------|-----|-----|
| Concepção 1 | 806 | 85 | 69 |
| Concepção 2 | 806 | 83 | 67 |
| Concepção 3 | 826 | 80 | 67 |
| Concepção 4 | 756 | 83 | 72 |
| Concepção 5 | 826 | 80 | 67 |
| Concepção 6 | 938 | 79 | 62 |
| Concepção 7 | 1010 | 85 | 65 |
| Concepção 8 | 1020 | 82 | 65 |

Pela análise dos valores obtidos pode-se traçar o gráfico comparativo apresentado na Figura 8.7.

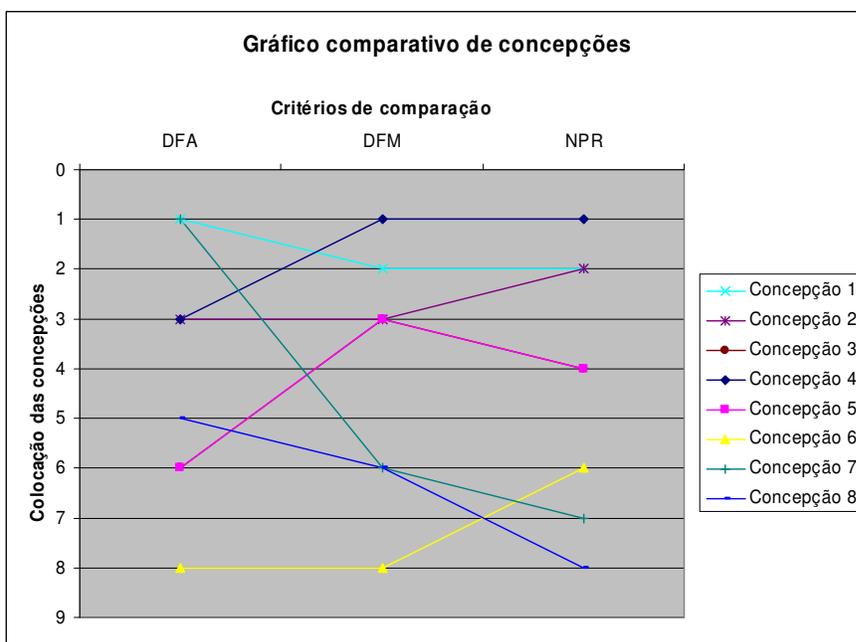


Figura 8.7: Gráfico de comparação entre concepções

Com base na visualização do gráfico da Figura 8.7, pode-se constatar que as melhores concepções são as concepções 1 e 4, sendo que a concepção 2 também apresenta bons resultados. Entretanto, este gráfico não considera os valores de funcionalidade. Estes valores estão estabelecidos na Tabela 8.6.

Tabela 8.6: Matriz de avaliação de um equipamento para o deslocamento de estruturas para o cultivo de ostras

| Requisitos de Projeto | Peso das especificações | Concepções | | | | | | | |
|--|-------------------------|------------|------|------|---|-----|------|------|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| quantidade de mecanismos | 370 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| adaptabilidade a diferentes embarcações | 440 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Estabilidade | 630 | -1 | 1 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | 0 |
| número de pontos de fixação | 330 | 1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| número de ajustes de fixação | 280 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| resistência mecânica | 340 | -1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| custo de produção baixo | 300 | 0 | -1 | 0 | 0 | 1 | -1 | -1 | 0 |
| área de trabalho | 570 | -1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| força de acionamento | 410 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| número de operações de controle | 400 | -1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| custo operacional baixo | 390 | 0 | -1 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | 0 |
| número de pontos de lubrificação | 190 | -1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| potência necessária para realizar o trabalho | 370 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 |
| resistência do acabamento | 350 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| capacidade de carga da embarcação | 320 | -1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 |
| peso limitado | 210 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 |
| resistência à corrosão | 300 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| número de ampliadores de força | 380 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| densidade | 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| volume ocupado pelo equipamento em uso | 140 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| resistência à raios UV | 210 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| número de pontos de acúmulo de água | 150 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| emissão de poluentes mínima | 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| volume ocupado pelo equipamento inativo | 140 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| número de materiais diferentes | 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| nível de ruído baixo | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| número de funções | 370 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 |
| Peso dos critérios | | -2250 | 1560 | 1680 | 0 | 500 | -360 | -310 | 770 |

Assim, se considerarmos este valor o gráfico ficará conforme apresentado na Figura 8.8.

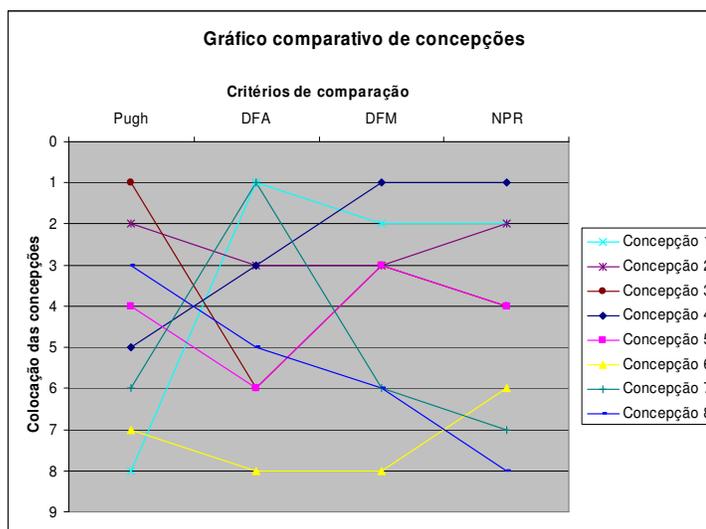


Figura 8.8: Gráfico comparativo de concepções considerando os valores de funcionalidade do produto.

Pelo gráfico mostrado na Figura 8.8, as melhores concepções seriam as de número 1, 2, 3 e 4. Entretanto, pela avaliação do autor segundo julgamento de viabilidade e disponibilidade tecnológica, bem como, pela utilização do exame passa - não passa, concluiu que a melhor concepção é a de número 3, sendo que, nessa última forma de avaliação, apenas a alternativa 3 foi dada como viável.

Outro aspecto importante é que o autor aponta que a partir deste momento pode-se fazer uma análise de DFM. Esta análise, caso os princípios de solução estejam bem definidos e razoavelmente detalhados já fornecem subsídios para a aplicação de um DFM. Também podem ser realizados outros DfX conforme a estratégia definida pela empresa.

Cabe ressaltar que neste estudo de caso como no aplicado anteriormente, a escassez de informações acaba por não fornecer os subsídios necessários para uma avaliação consistente. Assim, o mesmo que foi apontado ao final do capítulo anterior serve para este exemplo.

8.10. Análise comparativa de modelos - Estudo de Caso 3

Conforme elaborado nos estudos de caso anteriores, pode-se fazer uma análise comparativa entre o modelo de projeto de produto utilizado por Hamad (2005) e a aplicação do modelo proposto neste trabalho. Esta análise pauta-se nos aspectos de forma do modelo, características do mesmo e os resultados obtidos no trabalho original e no presente estudo de caso. Assim, utilizou-se os mesmos quadros aplicados nos estudos de caso 1 e 2 (Quadros 6.10 a 6.13 e 7.13 a 7.16) para realizar a análise de forma mais sintética e objetiva. Esta análise encontra-se nos Quadros 8.16 a 8.19.

Quadro 8.17: Modelo de projeto informacional utilizado por Hamad (2005).

| Forma do modelo | Características | Resultados |
|---|---|--|
| <p style="text-align: center;"><i>Atualizar o Plano do Projeto Informacional</i></p> <pre> graph TD A[Idéia do produto] --> B[Projeto Informacional] B --> C[Especificações-Meta • Requisitos com valores-meta • Informações adicionais qualitativas (Especificações para desenvolvimento - modelo textual do produto)] C --> D[Revisar e atualizar o escopo do produto] D --> E[Identificar os requisitos dos clientes do produto] E --> F[Definir requisitos do produto] F --> G[Definir especificações do produto] G --> H[Monitorar viabilidade econômica] H --> I[Avaliar Fase] I --> J[Aprovar Fase] J --> K[Documentar a decisões tomadas e registrar lições aprendidas] D --> L[Detalhar ciclo de vida do produto e definir seus clientes] L --> E </pre> | <p>Modelo de Rozenfeld et al (2006); Modelo que busca o desenvolvimento em paralelo de atividades (ES); Não apresenta referências sobre as interfaces do produto; Dividido em fases, atividades e tarefas.</p> | <p>Hamad (2005) utilizou para o desenvolvimento do projeto do sistema de deslocamento de estruturas para o cultivo de ostras o modelo de Rozenfeld et al (2006). No projeto informacional os resultados obtidos pela aplicação deste modelo em relação ao modelo consensual não apresenta grandes alterações em termos de atividades e ferramentas. Talvez a grande alteração se dê no aspecto gerencial do modelo, uma vez que o modelo de Rozenfeld et al (2006) prevê algumas atividades neste sentido. No mais, Hamad (2005) obteve uma lista de especificações de projeto com seus respectivos valores meta, saídas desejáveis e indesejáveis e quais os sensores a serem utilizados para verificar se os objetivos foram atingidos ou não.</p> |

Quadro 8.18: Modelo proposto de projeto informacional aplicado no estudo de caso.

| Forma do modelo | Características | Resultados |
|---|---|---|
| <p style="text-align: center;"><i>Atualizar o Plano do Projeto Informacional</i></p> <p>Idéia do produto</p> <p>Projeto Informacional</p> <p>Especificacoes-Meta</p> <ul style="list-style-type: none"> • Requisitos com valores-meta • Informações adicionais qualitativas <p>(Especificações para desenvolvimento - modelo textual do produto)</p> <p>Definir especificações das interfaces</p> <p>Definir requisitos do produto</p> <p>Definir especificações do produto</p> <p>Monitorar viabilidade econômica</p> <p>Definir requisitos das interfaces</p> <p>Detalhar ciclo de vida do produto e definir seus clientes</p> <p>Avaliar Fase</p> <p>Aprovar Fase</p> <p>Documentar a decisões tomadas e registrar lições aprendidas</p> | <p>Prevê atividades em paralelo (ES);</p> <p>Adaptado do modelo de Rozenfeld et al (2006);</p> <p>Estabelece requisitos e especificações de projeto para as interfaces do produto;</p> <p>Estabelece COMO definir as especificações de projeto das interfaces com a inclusão de atividades específicas para isso;</p> <p>É dividido em fases, atividades e tarefas;</p> <p>Estabelece as atividades em destaque para o projeto das interfaces do produto.</p> | <p>Pela aplicação do modelo de projeto de interfaces obteve-se não apenas as informações obtidas por Hamad (2005), mas também, informações sobre as interfaces, uma hierarquização dos requisitos para o projeto das interfaces, bem como uma classificação dos critérios para o desenvolvimento das interfaces para o produto.</p> |

Quadro 8.19: Modelo de projeto conceitual utilizado por Hamad (2005).

| Forma do modelo | Características | Resultados |
|---|---|---|
| <pre> graph TD A[Atualizar plano do Projeto Conceitual] --> B[Modelar funcionalmente] B --> C[Desenvolver as alternativas de solução] D[Desenvolver princípios de solução para as funções] --> C C --> E[Definir arquitetura] E --> F[Analisar SSCs] G[Definir ergonomia e estética] --> F H[Definir parcerias de co desenvolvimento] --> F I[Definir plano macro de processo] --> F F --> J[Selecionar concepções alternativas] G --> J J --> K[Monitorar viabilidade econômica] K --> L[Avaliar fase] L --> M[Aprovar fase] L --> N[Documentar as decisões tomadas e registrar lições aprendidas] M --> N </pre> | <p>Modelo de Rozenfeld et al (2006) Modelo que busca o desenvolvimento em paralelo de atividades (ES); Não apresenta referências sobre as interfaces do produto; Avalia o produto sob as óticas da disponibilidade tecnológica, viabilidade técnica e funcionalidade; As avaliações são subjetivas e qualitativas; Dividido em fases, atividades e tarefas; Procura desenvolver aspectos de cadeia de suprimentos, plano de processos, e definição da arquitetura</p> | <p>Hamad (2005) empregou o modelo de Rozenfeld et al (2006) no projeto conceitual. Como resultados obteve um bom desenvolvimento e capacidade de seleção de concepções pelo grau de detalhamento obtido. Contudo, o autor desenvolveu poucos princípios de solução e detalhou pouco a estrutura funcional. Assim, o grau de incertezas dentro do próprio modelo utilizado foi elevado. Além disso, o modelo não prevê o projeto das interfaces do produto o que aumenta o grau de incertezas no desenvolvimento e avaliação das concepções.</p> |

Quadro 8.20: Modelo proposto de projeto conceitual aplicado no estudo de caso.

| Forma do modelo | Características | Resultados |
|--|--|--|
| <pre> graph TD A[Atualizar plano do Projeto Conceitual] --> B[Definir arquitetura] B --> C[Gerar concepções para o produto] D[Definir ergonomia e estética] --> C E[Definir parcerias de eo desenvolvimento] --> C C --> F[Avaliar concepções alternativas] G[Definir plano macro de processo] --> F F --> H[Monitorar viabilidade econômica] H --> I[Avaliar fase] I --> J[Aprovar fase] J --> K[Documentar as decisões tomadas e registrar lições aprendidas] </pre> | <p>Prevê atividades em paralelo (ES); Adaptado do modelo de Rozenfeld et al (2006); Estabelece requisitos e especificações de projeto para as interfaces do produto; Estabelece COMO definir a arquitetura do produto, as funções das interfaces e princípios de solução para estas; Estabelece formas de avaliação dos princípios de solução em termos de confiabilidade, montabilidade e manufaturabilidade, individualmente e no contexto das concepções; Analisa as compatibilidades entre funções e princípios de solução; Aponta o desenvolvimento de modelos em CAD ainda em sua fase de geração de princípios de solução; É dividido em fases, etapas atividades e tarefas; Estabelece as atividades em destaque para o projeto das interfaces do produto.</p> | <p>Como resultados da aplicação deste modelo, pode-se destacar as diferentes avaliações possíveis das concepções geradas. Estas permitem que a equipe de projeto tenha uma visão global do desenvolvimento do produto. Isto se deve à quantidade de informações disponível, uma vez que se tem a disposição dados sobre a compatibilidade de funções, funções de interfaces, funções críticas do produto, possíveis agrupamentos funcionais, princípios de funcionamento dos princípios de solução disponíveis, tipos de energia, material e informação que perpassam as funções e os princípios, entre outros. Os modelos em CAD também possibilitam uma avaliação mais palpável do produto sem a necessidade de se dispender recursos para construir um modelo real. Estes modelos ainda podem ser analisados cinematicamente, estruturalmente e dinamicamente conforme o software utilizado. Assim, os riscos envolvidos na seleção das concepções são minimizados pois as incertezas nesta fase também são. Pode-se ainda iniciar o projeto do processo de produção e o estabelecimento de seqüências de montagem ainda nesta fase do projeto.</p> |

9. Capítulo 9 – Análise de resultados

A partir dos estudos de caso realizados para avaliação do modelo de projeto de interfaces, foi possível fazer uma análise dos resultados obtidos. Esta análise foi feita baseada em aspectos relacionados ao desempenho obtido pelo modelo em relação às diretrizes estabelecidas nos capítulos de revisão bibliográfica e em aspectos observados no decorrer dos trabalhos.

Para tanto, este capítulo fará uma apresentação das avaliações feitas de cada estudo de caso para, em seguida, fazer uma avaliação geral dos resultados da aplicação do modelo.

Assim, a seguir encontram-se descritas as análises particulares de cada estudo de caso e uma análise final de resultados do modelo proposto.

9.1. Análise do estudo de caso 1

Com base na aplicação do modelo para o projeto de um dispositivo para limpeza de vasos sanitários, o primeiro estudo de caso apresentou-se como uma experiência importante do ponto-de-vista de verificação da aplicabilidade das ferramentas propostas assim como de análise da seqüência de etapas, atividades e tarefas propostas.

Neste estudo de caso obteve-se uma série de resultados que apontaram a necessidade de algumas modificações no modelo que já foram implementadas nos estudos de caso subsequentes. Estas modificações foram relativas à atividade de definição dos blocos funcionais, a alteração da forma de aplicação de algumas ferramentas propostas e a verificação da necessidade de criação de novas ferramentas que foram aplicadas durante o processo de avaliação do modelo.

Com relação à atividade de definição de blocos funcionais, a qual foi apontada inicialmente como atividade 6 do modelo, foi verificado que a mesma pode ser aplicada concomitantemente com a atividade 4 que é a definição das funções de interfaces. Isto porque ambas têm como entradas as informações de compatibilidades funcionais de energia, material e sinal que já estão disponíveis nesta fase do processo de projeto, ou seja, podem ser executadas em paralelo.

Já a alteração da forma das ferramentas, dizem respeito principalmente às ferramentas de Matriz Morfológica alterada que inicialmente foi apresentada em uma única matriz com informações da análise de confiabilidade e de funcionalidade (Quadro 6.9). Esta formatação mostrou-se um tanto quanto complexa do ponto-de-vista de apresentação em documentos, exigindo uma formatação específica para a mesma.

Outra ferramenta que sofreu alteração foi a matriz de vínculos de modos de falha que tornou o processo de avaliação um tanto quanto moroso no primeiro estudo de caso pela sua formatação integrada (Quadro 6.8). Dessa forma, optou-se por dividir a Matriz de avaliação de vínculos de modos de falha por blocos funcionais, pois, a princípio a modularização de um equipamento segue a segmentação do produto em módulos independentes entre si o que garantiria a sua funcionalidade em separado. Esta nova forma de apresentação da matriz de avaliação de vínculos de modos de falha encontra-se ilustrada nas Tabelas 7.8 e 8.4 dos segundo e terceiro estudos de caso.

As vantagens apontadas nesta formatação são a sua forma compacta e clara de leitura, bem como a sua leitura isolada para cada bloco funcional. Ela ainda apresenta a vantagem de se verificar a existência de compatibilidades existentes entre diferentes blocos funcionais a partir de seus modos de falha (Tabela 8.4). Assim, pode-se verificar que pode-se integrar mais blocos funcionais do que foram identificados à princípio, caso seja estratégia da empresa.

Quanto a novas ferramentas propostas encontram-se as Matrizes de especificações de interfaces, mostradas nas Tabelas 6.2, 7.1 e 8.1, que busca levantar os requisitos específicos para o desenvolvimento de interfaces para o produto; a Matriz de interfaces mostrada nas Figuras 6.2, 7.3 e 8.6, que mostra os inter-relacionamentos existentes entre as diferentes funções do produto; a matriz de levantamento das funções críticas apresentada nas Tabelas 6.2, 7.2 e 8.2, as quais apontam as funções que possuem um maior grau de severidade; a própria matriz de avaliação de vínculos de modos de falha, que apesar de ter sido apresentada por Andrade, Zardo e Forcellini (2005) sofreu uma releitura como apontado anteriormente (Tabelas 7.8 e 8.4); a matriz morfológica alterada apresentada no Quadro 6.9, a qual possui a limitação de sua formatação; e as tabelas de apresentação de concepções que compreendem as Tabelas 6.4 a 6.11, 7.10 e 8.9 a 8.15, as quais apresentam tanto os desenhos esquemáticos das concepções quanto os princípios de solução e os NPRs relativos as mesmas.

Estas ferramentas propostas apresentaram a vantagem de descrever as atividades de modo sintético e com fácil visualização dos passos desenvolvidos, além de permitirem a sistematização de aplicação do modelo de forma rápida e clara.

Como resultados da aplicação do modelo neste estudo de caso, pode-se listar o aumento da quantidade de informações disponíveis para a avaliação das concepções. Também foram adicionados parâmetros de avaliação que antes não estavam disponíveis nos modelos existentes que são a montagem, manufatura e a confiabilidade. Assim, a concepção a ser selecionada passa a ser avaliada sob diferentes óticas e, conseqüentemente, torna-se menos propícia a retrabalhos.

A partir, também dos resultados obtidos nesse estudo de caso, observa-se na Tabela 6.13 que a concepção 1 – a qual havia sido escolhida pelos autores (SOUZA et al, 2003) -,

possui o maior valor em termos de atendimento de especificações de projeto, enquanto que a Concepção 9 – desenvolvida neste trabalho-, apresentou o melhor valor em termos de confiabilidade. Considerando-se ainda aspectos de manufatura e montagem, pode-se fazer uma avaliação qualitativa de forma a escolher a melhor alternativa.

Entretanto, é necessário colocar que existe ainda uma dificuldade em se avaliar aspectos tão distintos como confiabilidade, manufatura, montagem e desempenho de forma apropriada, principalmente quando os mesmos tornam-se conflitantes e exigem uma solução de compromisso. Por isso, é ainda necessário que se desenvolva uma métrica de avaliação conjunta destes parâmetros que dê um peso adequado aos mesmos sem que haja prejuízos ao produto final.

9.2. Análise do estudo de caso 2

O estudo de caso 2 apresentou resultados importantes. Por ser um trabalho que teve um detalhamento maior, tanto do ponto-de-vista funcional como de elaboração de concepções para o produto, os resultados obtidos por Novaes (2005) foram bastante consistentes e as avaliações realizadas apontaram uma direção convergente com os resultados obtidos nas análises do modelo proposto neste trabalho.

As concepções que apresentaram menores NPRs, por exemplo, foram muito semelhantes àquelas escolhidas como viáveis pelo autor. Assim, nota-se que as informações, quando levantadas apropriadamente, tendem a estabelecer um padrão de seleção de alternativas. Considerando-se que os parâmetros para tal escolha são os mesmos em ambas as aplicações, esta afirmação pode ser tomada como uma confirmação do modelo proposto, uma vez que o mesmo procura exatamente agregar informações ao processo de desenvolvimento e seleção de concepções para o produto.

Além do maior grau de informações disponíveis neste produto, pode-se destacar como resultados deste estudo de caso, que o mesmo aponta para uma direção semelhante ao estudo de caso anterior, a do estabelecimento de uma métrica adequada para avaliação de diferentes parâmetros para a seleção do produto.

Contudo, a limitação do trabalho desenvolvido por Novaes (2005) é a falta de sistematização destas avaliações em virtude da subjetividade envolvida no procedimento.

9.3. Análise do estudo de caso 3

Este estudo de caso apontou como peculiaridade a possibilidade de se integrar diferentes blocos funcionais devido aos seus modos de trabalho muito semelhantes. Assim, fica evidente que a definição dos blocos funcionais não é uma definição final. Os mesmos podem estar sujeitos a mudanças devido às diversas possibilidades existentes na combinação e desenvolvimento de concepções.

Além disso, os resultados obtidos apontaram uma direção semelhante aos estudos de caso desenvolvidos anteriormente, o que vem a confirmar as afirmações feitas até o momento.

9.4. Análise geral do modelo

Como resultados do modelo podem-se apontar, além daqueles descritos na avaliação dos estudos de caso, a importância da definição das interfaces do produto. Desde a definição das interações funcionais até a definição das concepções é necessário que se desenvolva as interfaces de modo apropriado. As mesmas agregam desde informações de funcionamento do produto até informações de montagem do mesmo. Assim, analisando o papel das mesmas no desenvolvimento e análise das concepções pode-se destacar a importância das interfaces para o desenvolvimento do projeto como elemento de aprimoramento das concepções.

Além disso, pode-se fazer uma avaliação comparativa com as diretrizes apresentadas na revisão bibliográfica.

9.4.1. Diminuir incertezas

O modelo, conforme apontado nos Quadros 6.10 a 6.13, 7.13 a 7.16 e 8.16 a 8.19, diminuiu as incertezas no projeto e avaliação das concepções para o produto. Isto se deve ao acréscimo de informações referentes às diferentes dimensões consideradas como critérios de avaliação do produto, tais como: a montagem, a manufatura e a confiabilidade do projeto.

Assim, por ser um modelo mais completo e que considera também as compatibilidades entre os princípios de solução envolvidos, ele propicia uma maior capacidade de avaliar as concepções propostas. Isto fica claro na definição das funções de interface e dos blocos funcionais. Além disso, o modelo apresenta as interações entre as funções do produto em termos de energia, material e sinal e fornece dados para agrupar os blocos funcionais. Esta forma de agrupamento se assemelha ao método das heurísticas de projeto de Stone, Otto e Wood (2001), mas diferencia-se por não estar se agrupando o fluxo em si e sim as funções que apresentam compatibilidades entre si.

Outra característica importante é o fato de que este modelo acrescenta informações de confiabilidade, manufatura e montagem ao produto. Isto, somado as novas formas de representação geométrica (CAD, por exemplo), acaba por fornecer dados para o projeto do processo em si, e, assim permite avaliar o produto também sob a ótica do processo de produção.

Por fim, a redução das incertezas está diretamente associada aos riscos do desenvolvimento do produto, conforme mencionado no item 2.2. Trabalhar com um grau de incertezas elevado implica dizer que se está trabalhando com um grau de risco elevado. Assim, o projeto fica sujeito a retrabalhos, aumento de custos e aumento do tempo de desenvolvimento.

9.4.2. Reduzir tempo de desenvolvimento

A redução do tempo de desenvolvimento, apesar de não ter sido medida pode ser considerada como um objetivo atingido pois, devido a um maior aprofundamento das informações durante a fase de projeto conceitual, reduz-se os riscos de necessidade de retrabalhos ao longo das fases subseqüentes do desenvolvimento do produto, conforme apontado no item anterior. Isto ocorre em função de se realizar as escolhas de concepções baseando-se em parâmetros mais concretos de compatibilidade e de avaliação das mesmas. Este aspecto pode ser verificado nos gráficos dos estudos de caso Figuras 6.3, 7.5 e 8.8 onde algumas concepções apresentam resultados melhores sob uma ótica de avaliação, enquanto que sob outros critérios possuem uma classificação inferior às outras.

Conforme apontado na Figura 7.7 o tempo gasto a mais no projeto conceitual tende a ter um resultado no custo final do produto, tanto do ponto-de-vista financeiro como do projeto do processo do produto. Isto porque, como dito anteriormente, ao se desenvolver mais aprofundadamente as concepções, pode-se evoluir as informações do projeto do processo e reduzir problemas em fases mais adiantadas do produto.

Além do mais, a quantidade de informações para o desenvolvimento do produto passa a ser muito maior e o que antes era estimado e avaliado apenas no projeto detalhado passa a ser considerado nas fases iniciais do projeto de produto.

9.4.3. Ser claro

Considerando-se que o modelo foi elaborado a partir do modelo de Rozenfeld et al (2006), o qual apresenta-se estruturado e bem definido; que buscou adaptar ferramentas

existentes para a geração das interfaces do produto e que procurou-se desenvolver ferramentas e tabelas que explicitassem as informações de forma concisa, pode-se dizer que o modelo modelo é claro e fácil de ser aplicado.

Entretanto, há que se tomar o cuidado de se fazer um estabelecimento das estruturas funcionais com um grau de detalhamento mais apurado. Quanto mais completa a estrutura funcional melhor o desenvolvimento do restante do modelo. Isto fica evidente ao analisar-se o estudo de caso 2 e o estudo de caso 3 onde a definição da estrutura funcional do estudo de caso 2 foi mais detalhada e mais elaborada o que facilitou as análises posteriores das concepções. Mesmo assim, o modelo foi aplicado com propriedade em ambos os estudos de caso.

9.4.4. Ser fácil de desenvolver

O desenvolvimento do modelo em si apresentou-se como de fácil desenvolvimento do ponto-de-vista de parte do ferramental que apenas foi adaptado para a temática em questão. Contudo, alguns aspectos ainda ficaram com uma certa limitação. A questão da avaliação sob diferentes critérios ainda é um problema. Isto porque é difícil estabelecer uma métrica de quanto vale cada um dos critérios no peso final do produto. A definição dos vínculos entre modos de falha também é um ponto crítico do problema pois exige um conhecimento mais aprofundado dos modos de falha dos sistemas projetados.

9.4.5. Fácil manipulação

O modelo permite uma fácil manipulação das informações. Grande parte das ferramentas são conhecidas ou foram adaptadas de outros métodos e ferramentas conhecidos. Assim, torna-se um modelo que apresenta uma manipulação amigável com o usuário.

9.4.6. Fácil visualização

Assim como a fácil manipulação das informações, o modelo também possui uma fácil visualização das mesmas, uma vez que as ferramentas propostas em sua maioria empregam matrizes ou tabelas e quadros. Além disso, ainda os modelos geométricos auxiliam no trabalho de visualização dos conceitos desenvolvidos.

9.4.7. Conter informações de todas as etapas do Ciclo de Vida

O modelo contém informações de todas as etapas do ciclo de vida do produto, pois utiliza informações levantadas no projeto informacional que envolvem todos os clientes do ciclo de vida. Também utiliza informações de confiabilidade, montabilidade e manufaturabilidade que auxiliam na avaliação das concepções do produto.

9.4.8. Ter consistência de informações

A consistência de informações está muito associada à redução de incertezas. Assim, pelo fato do modelo buscar reduzir incertezas na geração e avaliação de princípios de solução e concepções, o mesmo busca sempre a consistência das informações utilizadas. Além do mais, o desenvolvimento das interfaces buscando compatibilizar as funções e os princípios de solução já se apresentam como uma forma de redução de inconsistências no desenvolvimento do produto.

9.4.9. Restringir soluções

A restrição de soluções se dá pela análise de NPRs a qual elimina alguns dos princípios de solução por excessivo NPR. Outros aspectos analisados que são considerados para restringir soluções são os princípios de funcionamento e as compatibilidades entre estes princípios. Assim, a geração de concepções se baseia em critérios objetivos e concretos de relacionamento de princípios de solução.

9.4.10. Possuir gama de possibilidades

Apesar da restrição das soluções possíveis, o modelo não restringe a possibilidade de princípios inovadores, uma vez que avalia todos os princípios de solução. Portanto, a gama de possibilidades existe. Neste caso o único fator limitante é que a equipe de projeto gere poucos princípios para cada função.

9.4.11. Atender diferentes domínios

Apesar de ter sido desenvolvido para aplicação no domínio de conhecimento da mecânica, não há restrições quanto ao domínio de conhecimento de aplicação do modelo, ou

seja, por não possuir ferramentas específicas de determinados domínios de desenvolvimento de produtos, e, considerando que qualquer sistema pode ser decomposto em uma estrutura funcional, infere-se que o modelo em questão pode ser aplicado em diferentes domínios do conhecimento.

9.4.12. Agregar restrições funcionais, geométricas, e físicas

A agregação de restrições funcionais, geométricas e físicas não foi contemplada de maneira direta no modelo. O termo utilizado para a adequação de restrições foi a análise de compatibilidades. Isto porque o que interessa no projeto de um produto é adequá-lo ao desempenho da função e não partir das restrições existentes para adequar o restante do produto a elas. As restrições propriamente ditas surgiram das análises feitas e da verificação das compatibilidades. Além disso, os próprios modelos geométricos podem servir de elemento de análise de restrições. Quanto às restrições físicas, estas foram contempladas na análise de compatibilidades de princípio de funcionamento para a geração de concepções o que garantiu a geração de um menor número de soluções criadas.

9.4.13. Analisar compatibilidade de soluções

Como dito anteriormente a análise de compatibilidade de soluções foi realizada pela avaliação da matriz morfológica com princípios de funcionamento. Neste ponto o modelo, assim como o trabalho de Andrade (2003), busca compatibilizar os princípios de solução de modo a criar apenas soluções compatibilizadas, evitando o trabalho de análise de compatibilidade funcional posterior.

9.4.14. Prover informações de custo

O levantamento e análise de informações de custo é outro ponto que não foi mensurado diretamente no modelo. Isto porque considerou-se mais importante a mensuração dos aspectos de montabilidade, manufaturabilidade e confiabilidade de modo que indiretamente estas informações e definições envolvidas terão influência no custo final do produto. Isto sem falar na possibilidade de que reduzindo os retrabalhos também haverá um ganho de competitividade no custo final do produto.

9.4.15. Ser baseado na Estrutura Funcional

Este ponto foi preponderante na estruturação do modelo. Praticamente todas as decisões envolvidas nas ferramentas do modelo estão baseadas na definição da estrutura funcional do produto. Sendo assim, quanto mais bem estruturada a mesma estiver, melhores os resultados advindos da utilização do modelo.

9.4.16. Considerar diferentes arquiteturas

O modelo busca desenvolver o produto de maneira a não definir explicitamente se o mesmo é modular ou integral. Também procurou-se não fazer uma mensuração de modularidade ou integralidade do mesmo. Para tanto, verificou-se a existência de Blocos Funcionais, os quais muitos autores denominam de módulos, que são conjuntos de funções desempenhadas por um mesmo sistema por compatibilidades de energia, material e / ou sinal. Dessa forma, o produto em si apresenta determinadas características de produtos modulares e outras de produtos integrais. Claro que se a estratégia da empresa for a de definir um produto por sua modularidade ou integralidade, o modelo deverá ser trabalhado de maneira a atender esta estratégia.

9.4.17. Possibilitar a avaliação de concepções com diferentes graus de detalhamento.

A avaliação de concepções com diferentes graus de detalhamento pode ser considerada um aspecto que se extingue à medida que o modelo é aplicado. Isto porque o próprio modelo requer o desenvolvimento das concepções e exige um grau de detalhamento similar entre elas. Assim, esta diretriz torna-se praticamente nula para o modelo proposto. Claro que se formos analisar comparativamente os estudos de caso desenvolvidos podemos constatar que o grau de detalhamento existentes entre as concepções geradas de um modelo para o outro sofre alterações. Talvez neste sentido haja uma relevância em considerar as diferenças entre as concepções.

9.5. Limitações do modelo

Pode-se dizer que o modelo proposto atende com bastante propriedade os objetivos a que foi proposto isto se formos considerar os objetivos do trabalho apresentados no item 1.4.

Contudo, como também pode-se constatar pelas aplicações do modelo ainda existem algumas limitações a serem superadas em trabalhos futuros.

Uma das limitações do modelo é a falta de um parâmetro que permita integrar os resultados das análises de desempenho, confiabilidade, manufaturabilidade e montabilidade de maneira concreta e, se possível, quantitativa. Esta métrica seria a forma final de mensuração de diferentes aspectos sem a necessidade de uma análise subjetiva da concepção do produto.

Outra limitação que pode-se apontar é a falta de um modelo mais prático de mensuração de montabilidade e manufaturabilidade na fase conceitual. Apesar de existirem diretrizes para o desenvolvimento destas técnicas, o fato de não haver um parâmetro de medição de atendimento ou não das diretrizes torna o problema de avaliação técnica ainda um tanto quanto incerto.

Também não houve a preocupação de estabelecer uma métrica para avaliação da modularização do produto. Aqui cabe ressaltar que o modelo aponta possíveis blocos funcionais ou módulos para o produto, sendo esta métrica algo que se considerou dispensável.

Quanto à verificação das interações fundamentais e incidentais é um procedimento que também não foi considerado diretamente no modelo. Esta verificação pode ser feita pela aplicação da Matriz de Efeitos Incidentais de Pereira (2004). Contudo, devido a necessidade de se desenvolver conceitos para esta avaliação seria um item a mais a ser estudado no modelo que pode ser agregado sem que precise ser uma tarefa obrigatória do modelo. Esta ferramenta passa a ser uma opção da equipe de projeto que pode ou não verificar efeitos incidentais no desenvolvimento da concepção do produto.

Por fim, uma última dificuldade que pode-se apontar no modelo proposto é a de estabelecer vínculos entre os modos de falha de um mesmo bloco funcional, ou seja, saber se existe uma relação de dependência entre os modos de falha pode modificar as métricas apontadas nas técnicas de FMEA existentes. Outra questão é como fazer esta medição se não há uma relação consistente entre alguns modos de falha? Estas são algumas questões levantadas que podem ou não evoluir as técnicas empregadas no modelo proposto.

A partir disso, pode-se dizer que o modelo atendeu ao que se propôs e as análises conseguiram apontar seus aspectos positivos e negativos, abrindo caminho para novas pesquisas no campo das metodologias de projeto de produtos.

10. Capítulo 10 – Conclusões

O trabalho desenvolvido partiu do levantamento de um problema de pesquisa que foi descrito no capítulo 1 como uma pergunta de pesquisa. Esta pergunta está apresentada abaixo:

“O desenvolvimento das interfaces do produto na fase de projeto conceitual reduz as incertezas no processo de projeto e torna mais completo o processo de seleção de concepções?”

A partir desta pergunta de pesquisa estabeleceu-se algumas formas de respondê-la por meio da explicitação dos objetivos da pesquisa. Estes foram determinados como sendo o objetivo geral da pesquisa:

“Desenvolver uma sistemática para o projeto de interfaces entre componentes na fase de Projeto Conceitual de modo a reduzir o número de iterações do projeto de produto reduzindo a subjetividade no processo de criação e seleção do mesmo. Para tanto será desenvolvido um modelo prescritivo dividido em etapas, atividades e tarefas visando facilitar o seu entendimento e aplicação”.

E os objetivos específicos:

- Verificar os métodos existentes para o projeto de interfaces propostos pelas diversas abordagens do PDP.
- Gerar dados mais concretos para aplicação nos processos de seleção de concepções no Projeto Conceitual.
- Disponibilizar um método para auxiliar no desenvolvimento e seleção da melhor concepção para o produto.
- Antecipar o desenvolvimento das interfaces para a fase de projeto conceitual de modo a desenvolver o conceito do produto de forma mais integrada.
- Agregar informações de confiabilidade, manufatura e montagem na definição da arquitetura do produto.
- Reduzir a quantidade de retrabalhos nas fases posteriores do PDP.

Neste capítulo serão feitas análises a respeito dos objetivos apontados e dos resultados obtidos pelo modelo proposto. Também serão feitas algumas considerações finais e recomendações para trabalhos futuros.

10.1. Análise de objetivos e resultados

A partir do modelo proposto, da realização dos estudos de caso e da análise dos resultados destes estudos de caso, pode-se dizer que o objetivo proposto para o trabalho foi alcançado. Mesmo diante da necessidade de avaliar mais e melhor o desempenho do modelo,

pode-se dizer que a metodologia de projeto de interfaces para a fase de Projeto Conceitual gerada apresentou-se suficiente para a redução das incertezas no desenvolvimento e avaliação de concepções para o desenvolvimento de produtos no Projeto Conceitual.

Os objetivos específicos também foram alcançados uma vez que os mesmos serviram de caminho para atingir o objetivo geral da pesquisa. Foram verificados os métodos existentes para o projeto de interfaces propostos pelas diversas abordagens do PDP por meio de uma revisão bibliográfica sobre o tema. Esta revisão descrita nos capítulos 2, 3 e 4 gerou uma série de diretrizes para a elaboração do modelo de projeto de interfaces no projeto conceitual.

Além disso, a mesma revisão permitiu que fossem agregadas informações de manufatura, montagem e confiabilidade na definição da arquitetura do produto, ponto crucial na definição das interfaces do mesmo. Com esses dados obteve-se dados mais concretos para aplicação nos processos de seleção de concepções no Projeto Conceitual e, conseqüentemente, tem-se pela aplicação do modelo parâmetros mais significativos de análise das concepções para o produto.

Também por meio da aplicação do modelo tem-se uma forma de desenvolvimento de produto mais integrada que busca efetivar o desenvolvimento integrado de produtos e, com base neste, reduzir a quantidade de retrabalhos nas fases posteriores do PDP.

Assim, pode-se dizer que o trabalho atingiu com nível esperado os objetivos propostos.

Entretanto, conforme apontado no capítulo anterior, ainda existem algumas limitações que devem ser desenvolvidas. Entre as limitações está a dificuldade em se estabelecer uma métrica para avaliação da montabilidade e manufaturabilidade no projeto conceitual.

Também pode-se apontar a vinculação de modos de falha como uma limitação na avaliação de FMEA, uma vez que, por tratar de previsões de modos de falha nem sempre as inter-relações entre os mesmos tornam-se claras para a equipe de projeto.

Pode-se destacar ainda que durante o desenvolvimento do modelo uma dificuldade encontrada foi a falta de referências a respeito do desenvolvimento de interfaces entre componentes do produto. Esta ausência de informações mostra o quanto este assunto é pouco explorado na literatura e permite ainda um amplo campo de possibilidades de estudo.

10.2. Recomendações para trabalhos futuros

Como recomendações para trabalhos futuros, podem-se destacar a necessidade de se estabelecer métricas palpáveis de mensuração de montabilidade e manufaturabilidade no projeto conceitual.

Outra questão a ser desenvolvida é um modelo de integração de parâmetros de medição para a avaliação das concepções de um ponto-de-vista genérico.

O tema de projeto de interfaces, como dito anteriormente, é um tema pouco explorado, sendo possível o desenvolvimento de novas perspectivas de desenvolvimento de trabalhos sobre o assunto.

Há ainda outros aspectos que podem ser mais explorados no campo das metodologias de projeto de produtos. As técnicas de inteligência artificial podem auxiliar estudos na área, principalmente em tomadas de decisão.

Existem ainda as potencialidades do desenvolvimento da FMEA na fase conceitual que, apesar de ter sido proposta no trabalho, ainda necessita de aprimoramentos.

Outros aspectos a serem explorados são o desenvolvimento de bibliotecas de princípios de solução, por exemplo, e a definição do projeto do processo a partir do modelo apresentado neste trabalho.

Estas são apenas algumas possibilidades de exploração da temática deste trabalho. Espera-se que possam ser desenvolvidas em trabalhos futuros.

10.3. Encerramento do trabalho

Como encerramento da pesquisa pôde-se concluir que o campo de metodologias de projeto ainda pode ser amplamente explorado em suas diferentes óticas. Diversos autores apontam novas perspectivas no desenvolvimento de produtos e o próprio mercado cria novas necessidades para as empresas. Assim, como tendências observadas neste trabalho destacam-se a migração cada vez mais difundida de ferramentas antes empregadas nas fases finais do desenvolvimento do produto para as fases iniciais do processo e o aprofundamento cada vez maior de estudos no desenvolvimento de cadeias de suprimentos no processo de projeto de produtos.

Estas tendências mostram o quanto o projeto simultâneo torna-se uma realidade no mercado competitivo. Isto só vem exacerbar a necessidade de técnicas gerenciais cada vez mais aprimoradas e robustas, com menos incertezas e riscos envolvidos. Assim, mostra-se o quanto este trabalho, na busca pela redução de incertezas procurou atender estas necessidades. Com isso, conclui-se que o mesmo auxiliou de forma construtiva com o desenvolvimento das técnicas de projeto de produto.

Referências bibliográficas

ANDERSON, D. M.. **Design for Manufacturability & Concurrent Engineering: How to Design for low cost, Design in high quality, Design for lean manufacture, and Design quickly for fast production.** Cambria, California, EUA: CIM Press, 2004. 414 p. ISBN: 1-878072-23-4.

ANDRADE, L. F. S. DE . **Desenvolvimento de um sistema especialista para seleção de concepções no projeto conceitual de produtos.** Florianópolis, 2003. Trabalho não publicado.

ANDRADE, L. F. S. DE ; FORCELLINI, F. A. . Interface Design of a Product as a Potential Agent for a Concurrent Engineering Environment. In: LOUREIRO, G.; CURRAN, R .. (Org.). **Complex Systems Concurrent Engineering - Collaboration, Technology Innovation and Sustainability.** 1 ed. London: Springer-Verlag, 2007, v., p. 503-510.

_____. Proposal of a methodology of interface design in the conceptual design . In:**19º COBEM Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica**, 2007. Brasília/DF, Brasil. CD-ROM. ISBN 978-85-85769-34-5

_____. **The use of fmea as a parameter for selection of conception in the conceptual design.** 2007b. 8p. Trabalho não publicado.

_____. Estudo da viabilidade de utilização do DFA, DFM e FMEA como ferramentas de auxílio para o projeto de interfaces na fase de projeto conceitual. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 3º, 2004. **Anais do 3º CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA.** Belém, PA: .

ANDRADE, L. F. S. DE ; ZARDO, C. R. ; FORCELLINI, F. A. . O uso do FMEA como uma métrica para a confiabilidade no Projeto Conceitual. In: **5o. CBGDP - Congresso Brasileiro De Gestão De Desenvolvimento De Produtos**, 2005, Curitiba - PR. Anais do 5o. CBGDP, 2005. v. 1.

ANTONSSON, E. K.; OTTO, K. N.. Imprecision in Engineering Design, **Journal of Mechanical Design** (Special 50th Anniversary Design Issue), v.. 117, pp. 25-32. 1995.

ARAUJO, J.E., **Entendendo a Logica Fuzzy aplicada a Sistemas de Controle e Sistemas de Decisão.** Apostila (Curso ministrado no IV Congresso Internacional de Automação, Sistemas e Instrumentação, Sao Paulo: ISA - The Instrumentation, Systems, and Automation Society), 90 p., 2005.

ARCIDIACONO, G.et al. Systematic approach to product design using axiomatic design: Application to a diesel locomotive. In: International Conference on Engineering Design – ICED 03, 14th - 2003, Estocolmo - SUE. **ICED 03 - Proceedings.** Estocolmo, Sweden: Design Society, August 2003. CD-ROM.

BACK, N. **Metodologia de Projeto de Produtos Industriais.** Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 1983. 389 p. ISBN 8570300131

BACK, N.; FORCELLINI, F. A. **Projeto de produto.** Apostila (Disciplina de Projeto Conceitual e notas de aula - EMC6605 do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

_____. **Projeto Conceitual**. Apostila (Disciplina de Projeto Conceitual e notas de aula - EMC6605 do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.

BALDWIN, C.Y.; CLARK, K.B.. Managing in an Age of Modularity, in: **Harvard Business Review**, Setembro-Outubro, 1997, pp. 84-93.

BARRAZA, L.C. **Análise do Valor, Análise funcional e Concepção para um custo objetivo**. 2003. Disponível em: http://www.cev.pt/noticias/projectos/Cedintec/html/tecnologias_analise.html . Acesso em setembro de 2006.

BAXTER, M.. **Projeto de produto: Guia prático para o design de novos produtos**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2000. 261 p.

BEN DAYA, M.; RAOUF, A. A Revised Failure Mode and Effects Analysis Model, **International Journal of Quality and Reliability Management**, v.13 n.1, pp.43-47. 1996.

BITTENCOURT, G.. **Inteligência artificial: ferramentas e teorias**. 3. ed. rev. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2006. 371p. ISBN 8532801382

BLACKENFELT, M., **Managing Complexity by Product Modularization**, Ph.D. Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2001.

BLACKENFELT, M.; SELLGREN, U.. Design of Robust Interfaces in Modular Products. In: ASME International Design Engineering Technical Conferences - Design Automation Conference, 2000, Baltimore, MD. **Proceedings of ASME Design Engineering Technical Conference**, DETC00/DAC-14486. Baltimore, MD, EUA: ASME, 10 – 13 de Setembro de 2000. 12p.

BLANDING, D. L.. **Exact Constraint: Machine Design Using Kinematic Principles**, ASME Press, New York. 1999. 170 p. ISBN: 0791800857.

BOOTHROYD, G. DEWHURST, P.; KNIGHT, W., **Product Design for Manufacture and Assembly**. New York: Marcel Dekker Inc, 1994. 720 p. ISBN 0-8247-0584-X.

BOOTHROYD, G.,; ALTING, L.. Design for Assembly and Disassembly. Keynote Paper, **Annals of the CIRP**, n. 41 v.2, 1992, pp. 625- 636.

BOTOMÉ, S. P. . Processos comportamentais básicos em metodologia de pesquisa: da delimitação do problema à coleta de dados. **Chronos**, Caxias do Sul, v. 30, n. 1, p. 43-69, 1997.

BRUNETTI, G.; GOLOB, B.. A feature-based approach towards an integrated product model including conceptual design information. **Computer-Aided Design**, Elsevier, v. 32, n. 14, pp.877-887, dez. 2000. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science> . Acesso em: 18 abr. 2005.

CAMUFFO, A.. **Rolling out a “World Car”**: globalization, outsourcing and modularity in the auto industry, Working Paper, International Motor Vehicle Program, Massachusetts Institute of Technology, 2001.

CHEN, K.H. et al. An Integrated Graphical User Interface (GUI) for Concurrent Engineering Design of Mechanical Parts. **Computer Integrated Manufacturing Systems**. v.11 n.1-2, pp.

91-112. Fev – Mai. 1998. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science> . Acesso em: 18 abr. 2005.

CHEN, K.M.; LIU, R.J. Interface strategies in modular product innovation. **Technovation**, v. 25 n.7, pp.771-782. Jul. 2005. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/> . Acesso em: 08 de agosto de 2006.

CROW, K., **Design for Manufacturing**. DRM Associates, 2001. Disponível em <http://www.npd-solutions.com/dfe.html> . Acesso em: 08 de agosto de 2006.

CSILLAG, J.M.. **Análise do valor: metodologia do valor**. 4. ed São Paulo: Atlas, 1995. 370p ISBN 82-224-1272-3

DAHMUS, J.B.; OTTO, K.N.. Incorporating lifecycle costs into product architecture decisions.. In: ASME 2001 Design Engineering Technical Conference, 2001, Pittsburgh, PA. **Proceedings of ASME 2001 Design Engineering Technical Conferences**. Pittsburgh, PA: ASME, 2001. 12 p. .

DEWHURST, P.; BOOTHROYD, P.. Early Cost Estimating in Product Design. **Journal of Manufacturing System**. Vol. 7, No. 3, 1989, pp. 183-191.

DIXON, J. R.; POLI, C.. **Engineering design and design for manufacturing: a structured approach**. Conway, MA: Field Stone Publishers, 1995. 600 p. ISBN 0964527200.

EDWARDS, K.L.. Towards more Strategic Product Design for Manufacture and Assembly: Priorities for Concurrent Engineering. **Materials and Design**, v. 23 n. 7, pp.651-656. Out. 2002. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science> . Acesso em: 18 abr. 2005.

ERICSSON, A.; ERIXON, G.**Controlling design variants: modular product platforms**. New York: ASME press, 1999. 145 p. ISBN 0872635147.

ERIXON, G., **Modular Function Deployment- A Method for Product Modularisation**, Ph.D. Thesis, The Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1998.

ERIXON, G.; YXKULL, A. VON; ARNSTRÖM. Modularity – the Basis for Product and Factory Reengineering. (**Annals of the CIRP**), v. 45/1/1996, January 9, p.1-6, 1996.

FENG, S.; SONG, E.. Information modeling on conceptual process planning integrated with conceptual design. In: ASME International Design Engineering Technical Conferences - Design Automation Conference, 2000, Baltimore, MD. **Proceedings of ASME Design Engineering Technical Conference**, DETC00/DFM-14009. Baltimore, MD, EUA: ASME, 10 – 13 de Setembro de 2000. 12p.

FENG S., ZHANG Y.. Conceptual process planning – A definition and functional decomposition. Manufacturing Science and Engineering: Vol. 10. **Proceedings of the International Mechanical Engineering Congress and Exposition: 1999**, pp. 97–106.

FERNANDES, L.A.; GOMES, J.M.M.. Relatórios de pesquisa nas ciências sociais: características e modalidades de investigação. **ConTexto Revista do Núcleo de Estudos e Pesquisas em Contabilidade**, Porto Alegre, v. 1, n. 4, pp.71-92, jan. 2003. Disponível em: www.ufrgs.br/necon/contexto.htm . Acesso em: 20 out. 2005.

FERRARI, F. M., MARTINS, R. A.; TOLEDO, J. C. Ferramentas do processo de desenvolvimento do produto como mecanismos potencializadores da gestão do conhecimento. In: 3º Congresso Brasileiro De Gestão De Desenvolvimento De Produto, 2001, Florianópolis -

SC.. **Anais do 3º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto.**

Florianópolis, SC: UFSC, 2001. v. 1, p. 1 - 10. CD-ROM.

FERREIRA, A.B.H.. Interface. In: FERREIRA, A.B.H.. **Novo Aurélio Século XXI**. Rio De Janeiro: Nova Fronteira, 2003. p. 01. Disponível em:

<http://www2.uol.com.br/aurelio/index.html> . Acesso em: 13 out. 2003.

FINE, C.H. **Mercados em evolução continua:** conquistando, vantagem competitiva num mundo em constante mutação. Rio de Janeiro: Campus, 1999. 262p ISBN 8535204679 (broch.)

FIXSON, S. K..Product Architecture Assessment: A Tool to link Product, Process, and Supply Chain Design Decisions, **Journal of Operations Management**, v.23 n.3/4, pp.345-369. Abr. 2005. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science> . Acesso em: 20 de maio de 2006.

FONSECA, A.J.H. **Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional.** 2000. 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) CTC/EMC. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

FRENCH, M. J. **Conceptual design for engineers.** 2. ed. London : Design Council, 1985. 226p. ISBN 1852330279.

GERSHENSON, J. K., PRASAD, G.; ALLAMNENI, S.. Modular product design: a life-cycle View, **Journal of Integrated Design and Process Science**, v.3 n.4, 1999.

GOMES FERREIRA, M.G.. **Utilização de modelos para a representação de produtos no projeto conceitual.** 1997. 1 v. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC, Florianópolis, 1997.

GONSALVES, E. P.,. **Iniciação à pesquisa científica.** 3. ed Campinas: Alínea, 2003. 79p ISBN 8575160028

GREER, J.L.; JENSEN, D.D.; WOOD, K.L.. Effort flow analysis: a methodology for directed product evolution. **Design Studies**, Elsevier, v. 25, n. 2, p.193-214, mar. 2004. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science> . Acesso em: 15 out. 2004.

GUI, J.K.; MÄNTYLÄ, M.. Functional understanding of assembly modelling. **Computer-Aided Design**, Elsevier, v. 24, n. 6, p.435-451, jun. 1994. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science> . Acesso em: 18 abr. 2005.

HAMAD, A. F.. **Desenvolvimento de um sistema mecânico para deslocamento de estruturas de cultivo de ostras.** Florianópolis, 2005. 1 v. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

HARI, A.; WEISS, M.P.. Failure Mode Analysis in the Concept stage Eliminates Failures Before they Reach the Customers. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN – ICED99, 1999, Munique. **ICED 99 Proceedings**. Munique, GER: 1999. p. 1 - 10. CD-ROM.

HASHEMIAN, M., **Design for adaptability.** Ph. D. thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Saskatchewan, 2005. 258 p.

HATA, T. et al. Representation of Functional Relations among Parts and its Application to Product Failure Reasoning, In: **CIRP Design Seminar. 2000. Proc.** p. 393-398. Haifa.

HAUSER, J.R.; CLAUSING, D. The House of Quality. **The Harvard Business Review**, v. 66, n.3, pp.63 – 73. Maio/Junho 1988.

HAWKINS P.G., WOOLLONS D.J. Failure modes and effects analysis of complex engineering systems using functional models. **Artificial Intelligence in Engineering**, v.12 n.4, pp. 375-397. Out. 1998. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science> . Acesso em: 20 de maio de 2006.

HERRMANN, J.W. et al. New Directions in Design for Manufacturing. In: ASME International Design Engineering Technical Conferences - Design Automation Conference, 2004, Salt Lake City, UT. **Proceedings of ASME 2004 Design Engineering Technical Conference and Computers and Information In Engineering Conference**. DETC2004-57770. Salt Lake City, UT: ASME, 28 de Setembro a 2 de Outubro de 2004, 12 p.

HERSHCOWITZ J. et al. Application of ICDM for the Conceptual Design of a New Product. **Proceedings of the Design 2002 Conference**. Dubrovnik, Croatia: Maio de 2002.

HILLSTRÖM, F. Applying Axiomatic Design to Interface Analysis in Modular Product Development. **Advances in Design Automation – ASME**, DE – v.69 n.2, pp.363-371. 1994.

HÖLTTÄ, K.; SALONEN, M.. Comparing three modularity methods. In: ASME Design Engineering Technical Conferences. Chicago, IL. **Proceedings of ASME 2003 Design Engineering Technical Conference**. DETC2004-57770. Chicago, IL: ASME, 2 - 6 de Setembro de 2003, 9 p.

HÖLTTÄ, K.M.M.; OTTO, K.N.. Incorporating design effort complexity measures in product architectural design and assessment. **Design studies**, Elsevier, v. 26, n. 5, p.463-485, set. 2005. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science> . Acesso em: 20 jun. 2005.

HUBKA, V., EDER, W. E.. **Theory of technical systems** : a total concept theory for engineering design. London : Springer-Verlag, 1988. 275 p. ISBN 0387174516.

ISHII, K.. Modularity: A Key Concept in Product Lifecycle Engineering, **Handbook of Life-cycle Engineering**, 1998.

JIAO, J., GERSHENSON, J.K.; MICHALEK, J.J.. Special Issue on Managing Modularity and Commonality in Product and Process Development, **Concurrent Engineering: Research and Application**, 2006.

JIAO, R., ZHANG, L.; POKHAREL, S.. Process Platform and Production Configuration for Product Families. In: SIMPSON, T.W.; SIDDIQUE, Z.; JIAO, J.. **Product Platform and Product Family Design: Methods and Applications**, Springer, New York, 2005 pp. 377-402.

JO, H. H., PARSAEI, H. R.; WONG, J. P.. Concurrent Engineering: The Manufacturing Philosophy for the 90's. **Computers & Industrial Engineering**. v. 21 n.1-4, pp. 35-39. 1991.

KERZNER, H. **Project management**: a systems approach to planning, scheduling and controlling. 6th ed. John Wiley & Sons, Inc. 1998. 891 p. ISBN 0471225770.

KMENTA, S. et al. Advanced failure modes and effects analysis of complex. In: ASME DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCES, DETC99/DFM8939., 1999, Las

Vegas, Nevada. **Proceedings of the Design Engineering Technical Conferences**. Las Vegas, Nevada, USA: ASME, 1999. p. 1 - 9.

KÖCHE, J.C.. **Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e prática da pesquisa**. 22. ed. Petrópolis: Vozes, 2004. 182p. ISBN 8532618049

KUSIAK A; HUANG C., Development of modular products, **IEEE Transactions on components, packaging, and manufacturing technology**, Part A, v. 19 n. 4, pp. 523-538. 1996.

LINHARES, J. C.. **Modelamento de dados para o desenvolvimento e representação de peças** estudo de casos /. Florianópolis, 2000. 183 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.

_____. **Modelamento de dados para o desenvolvimento e representação de peças – estudos de caso**. Florianópolis, 2000. 183 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.

MENEGATTI, F. A.. **Desenvolvimento de um Dosador de Fertilizantes Sólidos Modular para Agricultura de Precisão**. 2004. 1 v. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MIKKOLA, J.H.. Modularity, component outsourcing, and inter-firm learning. **R&D Management**, v. 33 n. 4, pp. 439-454. 2003.

MILLER, T.D, ELGARD, P.: Defining Modules, Modularity and Modularization. In: **Proceedings of the 13th IPS Research Seminar**, Fuglsoe, 1998.

MOLLOY, E.; BROWNE, J. A knowledge-based to design for manufacture using features. In: PARSAEI, H.R.; SULLIVAN, W. G. **Concurrent engineering: contemporary issues and modern design tools**. London: Chapman & Hall, 1993, p. 386- 401.

NEWCOMB, P. J., BRAS, B. and ROSEN, D. W.. Implications of Modularity on Product Design for the Life Cycle, **Journal of Mechanical Design**, v.120 n. 3, pp.483-491, 1998.

NOBLE, J.S. Economic design in concurrent engineering. In: PARSAEI, H.R.; SULLIVAN, W. G. **Concurrent engineering: contemporary issues and modern design tools**. London: Chapman & Hall, 1993, p. 352- 371.

NOVAES, A.L.T. **Desenvolvimento de um sistema mecânico para limpeza e classificação de ostras**. Florianópolis, 2005. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

O'GRADY, P.; OH, J. S.. A review of approaches to design for assembly, **Concurrent Engineering**, v. 1 n.3, pp. 5-11. 1991.

OGLIARI, A.. **Sistematização da concepção de produtos auxiliada por computador com aplicações no domínio de componentes de plástico injetados..** 1999. 349 f. Tese (Doutorado) - Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC, Florianópolis, 1999.

OTTO, K. N.; WOOD, K. L.. **Product Design: Techniques in Reverse Engineering and New Product Development**. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 2001. 1065 p. ISBN 0-13-021271-7.

PAHL, G.; BEITZ, W.. **Engineering Design: A Systematic Approach**. 2. ed. Londres, GBR: Springer-Verlag, 1996. 544 p. ISBN 3-540-19917-9.

PAHL, G.. **Projeto na Engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2005. 412p. ISBN 8521203632

PEREIRA, M.. **Metodologia de projeto para sistemas mecânicos de precisão reconfiguráveis**. Florianópolis, 2004. 156 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

PEREIRA, M. ; WEINGAERTNER, W. L. ; FORCELLINI, F. A. . Design methodology for reconfigurable precision systems applied to a sclerometer development. In: **38th CIRP - International Seminar on Manufacturing Systems**, 2005, Florianópolis. 38th CIRP - International Seminar on Manufacturing Systems, 2005.

PEREIRA, M. W.; MANKE, A. L. MDPA – Uma metodologia de desenvolvimento de produtos aplicado à engenharia simultânea. In: 3º Congresso Brasileiro De Gestão De Desenvolvimento De Produto, 2001, Florianópolis - SC.. **Anais do 3º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto**. Florianópolis, SC: UFSC, 2001. v. 1, p. 1 – 10. CD-ROM.

PERSSON, M.. **Managing the Modularization of Complex Products**, Doctoral Thesis, Göteborg: Chalmers University of Technology, 2004. ISBN 91-7291-3959

PILLAY, A. and WANG, J. Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning, **Reliability Engineering and System Safety**, v.79 n.1, pp. 69–85. 2003.

PIMMLER, T. U.; EPPINGER, S.D.. Integration Analysis of Product Decompositions. In: ASME Conference on Design Theory and Methodology, Minneapolis, MN. **Proceedings of ASME 1994 Design Engineering Technical Conference**. Minneapolis, MN: ASME, 1994, pp 343-351. Disponível em: <http://web.mit.edu/eppinger/www/publications.html> . Acesso em: março de 2006.

POLI, C.; GRAVES, R.; GROPPETTI, R.. Rating products for ease of assembly. **Machine Design**, v.21, pp. 79-84. Ago. 1986.

PUGH, S.. **Total design: Integrated methods for successful product engineering**. Boston, MA: Addison-Wesley Publishing Company, 1991. 296 p. ISBN 0201416395.

RAUSAND, M. & ØIEN, K. The basic concepts of failure analysis. **Reliability Engineering and System Safety**, v.53 n.1, pp. 73–83.1996.

REHMAN, F.; YAN, X.T.. Product design elements as means to realise functions in mechanical conceptual design. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN - ICED03, 2003, Estocolmo. **ICED 03 Proceedings**. Estocolmo, SUE: Royal Institute Of Technology, 2003. p. 1 - 10. CD-ROM.

REIS, A.V.. **Desenvolvimento de concepções para a dosagem e deposição de precisão para sementes miúdas**. Florianópolis, 2003. 156 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

RITCHEY, T.. **Morphological Analysis - A general method for non-quantified modeling**. Adapted from a paper presented at the 16th Euro Conference on Operational Analysis. 1998.

[Online]. Disponível em: <http://www.swemorph.com/pdf/gma.pdf> . Acesso em Agosto de 2006.

ROMANO, L.N.. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas**. 2003. 265 f. Tese (Doutorado) - Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC, Florianópolis, 2003. Disponível em: <http://150.162.90.250/teses/PEMC0724.pdf> . Acesso em: 22 julho de 2005.

ROOZENBURG, N. F. M.; EEKELS, J. **Product design: fundamentals and methods**. Chichester: John Wiley & Sons, 1995. 422 p. ISBN 0471954659.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo, SP: Saraiva, 2006. 542 p. ISBN 8502054465.

ROZENFELD, H. et al. Integrando os conhecimentos em um PDP de três grupos de pesquisa: proposta de um modelo de referência e suas aplicações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 4., 2003, Gramado, RS. **Anais do 4º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto**. Porto Alegre, RS: UFRGS – Fundação Empresa Escola De Engenharia, 2003. v. 1, p. 1 - 10. CD-ROM.

SAKURADA, E. Y.. **As técnicas de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Árvore de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos**. Florianópolis, 2001. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.

SALOMON, D. V.. **Como fazer uma monografia**. 11. ed. Sao Paulo: Martins Fontes, 2004. 425 p ISBN 8533614365

SANCHEZ, R. Strategic product creation: managing new interactions of technology, markets, and organizations. **European Management Journal**, v.14 n.2, pp.121–138. 1996.

_____. Modular architecture in the marketing process. **Journal of Marketing**, v.63, pp. 92–111, 1999.

SCALICE, R. K. ; FORCELLINI, F.A.; BACK, N.. Novas Contribuições ao Projeto de Produtos Modulares : Proposta de uma Nova Abordagem Metodológica. In: **XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica COBEM 2001**, 2001, Uberlândia. Uberlândia : Universidade Federal de Uberlândia, 2001.

SCALICE, R. K.. **Desenvolvimento de uma família de produtos modulares para o cultivo e beneficiamento de mexilhões**. 2003. 252 f. Tese (Doutorado) - Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC, Florianópolis, 2003. Disponível em: <http://150.162.90.250/teses/PEMC0742.pdf> . Acesso em: 15 ago. 2005.

SELLGREN, U.; ANDERSSON, S - Functional Views of Product Models, In: **Proc.of Produktmodeller 1995**, April, 1996, Linköping.

SHAH, J.J.; MÄNTYLÄ, M. **Parametric and feature-based CAD/CAM**. New York: Wiley; 1995. 619 p. ISBN 0471002143.

SIQUEIRA, O. C.. **Sistemática para seleção de princípios de uniões de componentes de plástico injetado**. Florianópolis, 2001. 175 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

SIQUEIRA, O. C.; FORCELLINI, F. A. Sistemática para seleção do tipo de união de

componentes de plástico injetados. In: 3º Congresso Brasileiro De Gestão De Desenvolvimento De Produto, 2001, Florianópolis - SC.. **Anais do 3º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto**. Florianópolis, SC: UFSC, 2001. v. 1, p. 1 - 10. CD-ROM.

SMITH, J. S. et al. An experience of modularity through design. In: International Conference on Engineering Design – ICED 01, 13th - 2001, Glasgow - ESC. **ICED 01 - Proceedings**. Glasgow, Escócia: Design Society, August 2001.

SOUSA, A. G.. **Estudo e Análise dos Métodos de Avaliação da Montabilidade de Produtos Industriais no Processo de Projeto**. 1998. 1 v. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC, Florianópolis, 1998.

SOUZA, A. D. et al. **Relatório Projeto Conceitual - Desenvolvimento De Um Equipamento Para Limpeza De Vasos Sanitários**. Florianópolis, 2003. Trabalho não publicado.

SOZO, V.. **Utilização da abordagem axiomática no processo de tomada de decisões pertinentes ao projeto conceitual de produtos**. 2002. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC, Florianópolis, 2002. Disponível em: <http://150.162.90.250/teses/PEMC0774.pdf> . Acesso em: 10 fev. 2005.

STAKE, R.B.; BLACKENFELT, M. **Modularity in use e experiences from five companies**. 4th WDK Workshop on Product Structuring. Delft, The Netherlands: 1998.

STARK, J.. **A few words about DFA and DFM**. John Stark Associates, 1998. Disponível em: <http://www.johnstark.com/fwdfx.html> . Acesso em: 03 de fevereiro de 2006.

STOCK, M. E. **Linking component function to component failure for use in conceptual design failure analysis**. Presented to the Faculty of the Graduate School of the University Of Missouri-Rolla. In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree master of science in mechanical engineering, 2003.

STONE, R.B.; McADAMS, D.A.; KAYYALETHEKKEL, V.J.. A product architecture-based conceptual DFA technique. **Design Studies**, Elsevier, v. 25, n. 3, p.301-325, maio 2004. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science> . Acesso em: 15 out. 2004.

STONE, R.B.; OTTO, K.N.; WOOD, K.L.. Product architecture. In: **Product Design: Techniques in Reverse Engineering and New Product Development**. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 2001. p. 357-410.

SUH, N.P. **The principles of design**. New York: Oxford University, 1990. 401p. (Oxford series on advanced manufacturing

TAVARES JUNIOR, J.M. **Uma aplicação da metodologia de análise do valor na verificação dos valores ambientais do processo produtivo numa empresa do setor cerâmico catarinense**. 1997. 107f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.

TUMER, I. Y., STONE, R. B., BELL, D. G.. Requirements for a Failure Mode taxonomy for use in Conceptual Design. In: International Conference on Engineering Design – ICED 03, 14th - 2003, Estocolmo - SUE. **ICED 03 - Proceedings**. Estocolmo, Sweden: Design Society, August 2003. CD-ROM.

ULLMAN, D.G.. **The Mechanical Design Process**. Highstown, NJ, EUA: McGraw-Hill, 1992. 336 p. ISBN 0070657394.

_____. **The Mechanical Design Process**. 3. ed. New York, EUA: McGraw-Hill, 2003. 415 p. ISBN 0072373385.

ULRICH, K.. The role of product architecture in the manufacturing firm. **Research policy**, Elsevier, v. 24, n. 3, p.419-440, maio 1995. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science> . Acesso em: 18 out. 2004.

ULRICH, K.; TUNG, K. Fundamentals of Product Modularity (Issues in Design Manufacture/Integration). **ASME**, DE-vol.39, pp. 73-79, 1991.

ULRICH, K.T.; EPPINGER, S. D.. **Product Design and Development**. 3. ed. New York, EUA: McGraw-Hill/Irwin, 2004. 366 p. ISBN 0072471468.

VALERI, S. G. e TRABASSO, L. G. Desenvolvimento integrado do produto: uma análise dos mecanismos de integração das ferramentas DFX In: 4º Congresso Brasileiro De Gestão De Desenvolvimento De Produto, 2001, Gramado - RS. **Anais do 4º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto**. Porto Alegre, RS: UFRGS – Fundação Empresa Escola De Engenharia, 2003. v. 1, p. 1 - 10. CD-ROM.

VAN WIE, M. et al. Representing Product Architecture. In: ASME International Design Engineering Technical Conferences, Chicago, IL, DETC2003/DTM-48668. In: **Proceedings of ASME 2003 Design Engineering Technical Conference**, 2003, Chicago, IL: ASME, 2 a 6 de Setembro de 2003, 14 p.

NEDERBRAGT, W. et al. The NIST Design/Process Planning Integration Project. In: **Proceedings of AI and Manufacturing Research Planning Workshop**. Albuquerque, NM: Agosto de 1998, pp. 135-139.

WEISS, M.P.; HARI, A.. CFMA – An Effective FMEA Tool for Analysis and selection of the Concept for a New Product. In: ASME DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCES, 99., 1999, Las Vegas, Nevada, Eua. 1999 **Proceedings of the Design Engineering Technical Conferences and Computers in Engrg Conference**. Las Vegas, Nevada, USA: ASME, 1999. v. 1, p. 1 - 14.

WHITNEY D. E.. **Why mechanical design cannot be like VLSI design**. Working paper series. MIT, 2000. Disponível em: <http://web.mit.edu/ctpid/www/Whitney/papers.html> . Acesso em: 04 de abril de 2005.

_____. **Mechanical Assemblies: Their Design, Manufacture, and Role in Product Development**, Oxford University Press, 2004. 544 p. ISBN 0195157826.

_____. **Connectivity Limits of Mechanical Assemblies Modeled as Networks**, ESD Working Paper Series, 2005.

_____. Manufacturing design. **Harvard Business Review** 66, pp 83–91, 1988.

WILHELMS, S.. A conceptual design support system using principle solution elements. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN - ICED03, 2003, Estocolmo. **ICED 03 Proceedings**. Estocolmo, SUE: Royal Institute Of Technology, 2003. p. 1 - 10. CD-ROM.

WINNER, R. et al. **The role of concurrent engineering in weapons system acquisition.** IDA Report R-338, Institute for Defense Analyses, Alexandria, 1988.

YANG, T.; ISHII, K.. Modularity: International Industry Benchmarking and Research Roadmap. . In: ASME International Design Engineering Technical Conferences, Chicago, IL, DETC2003/DFM-48132. In: **Proceedings of ASME 2003 Design Engineering Technical Conference**, 2003, Chicago, IL: ASME, 2 a 6 de Setembro de 2003, 11 p.

YUYIN, S. et al. A Knowledge-based Design For Manufacture System. In: 1996 IEEE International Conference On Systems, Man And Cybernetics. Pequim, CHN. **Proceedings of 1996 IEEE International Conference On Systems, Man And Cybernetics.** Pequim, CHN: IEEE, 14 a 17 de outubro de 1996, vol. 2 pp 1220 – 1224.

ZENG, Y. Environment-based formulation of design problem, **Transactions of the SDPS: Journal of Integrated Design and Process Science**, Vol. 8, No. 4, pp. 45-63. 2004.

Anexos

**Anexo 1 - Análise de DFA e DFM dos princípios de solução de um
dispositivo para limpeza de vasos sanitários**

| | Diretrizes de DFA | | Diretrizes de DFM | |
|-----------------------------------|--------------------------|----|------------------------------------|----|
| funil em "V" | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 16 |
| recipiente calibrado | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 15 |
| manual | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 5 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 20 |
| Regulador de vazão + tubo venturi | Geometria | 3 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 14 | TOTAL | 12 |
| Recipiente | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 16 |
| saco plástico | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 2 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 17 | TOTAL | 14 |
| mangueira | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 18 | TOTAL | 16 |
| seringa | Geometria | 4 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 14 | TOTAL | 13 |
| pano | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 1 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 11 |
| tubo | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 18 | TOTAL | 15 |
| esponja | Geometria | 3 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 1 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |

| | | | | |
|-----------------------------|--------------------------|----|------------------------------------|----|
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 14 | TOTAL | 10 |
| Spray | Geometria | 4 | Complexidade | 3 |
| | número de componentes | 2 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 3 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 12 | TOTAL | 12 |
| chuveiro | Geometria | 2 | Complexidade | 3 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 17 | TOTAL | 10 |
| conexão | Geometria | 5 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 4 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 18 | TOTAL | 15 |
| Sistema acoplado à descarga | Geometria | 3 | Complexidade | 3 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 2 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 2 | número de componentes padronizados | 2 |
| | TOTAL | 10 | TOTAL | 9 |
| haste | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 2 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 17 |
| palha de aço | Geometria | 2 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 2 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 3 |
| | Simplicidade de montagem | 1 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 13 | TOTAL | 15 |
| jato de água | Geometria | 4 | Complexidade | 2 |
| | número de componentes | 4 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 3 |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 16 | TOTAL | 12 |
| jato de vapor | Geometria | 4 | Complexidade | 3 |
| | número de componentes | 1 | número de processos especiais | 1 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 1 |
| | TOTAL | 13 | TOTAL | 6 |
| escova | Geometria | 5 | Complexidade | 3 |
| | número de componentes | 1 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 2 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 13 | TOTAL | 12 |
| espátula | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 2 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 17 | TOTAL | 16 |
| escova rotatória | Geometria | 3 | Complexidade | 1 |
| | número de componentes | 1 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 2 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 1 | número de componentes padronizados | 3 |

| | | | | |
|----------------------------|--------------------------|----|------------------------------------|----|
| | TOTAL | 7 | TOTAL | 9 |
| pedra abrasiva | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 1 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 12 |
| lixa | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 18 | TOTAL | 16 |
| vácuo | Geometria | 2 | Complexidade | 1 |
| | número de componentes | 1 | número de processos especiais | 1 |
| | Acessibilidade | 1 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 1 | número de componentes padronizados | 1 |
| | TOTAL | 5 | TOTAL | 4 |
| acessório combinado | Geometria | 3 | Complexidade | 3 |
| | número de componentes | 1 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 3 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 2 |
| | TOTAL | 10 | TOTAL | 10 |
| escova e rodo acoplados | Geometria | 4 | Complexidade | 3 |
| | número de componentes | 4 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 17 | TOTAL | 13 |
| pano e escova | Geometria | 5 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 2 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 1 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 12 | TOTAL | 12 |
| acessórios intercambiáveis | Geometria | 4 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 1 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 15 | TOTAL | 14 |
| engate rápido | Geometria | 3 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 3 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 16 | TOTAL | 11 |
| papel | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 16 |
| descarga | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 5 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 20 |
| | Diretrizes de DFA | | Diretrizes de DFM | |
| balde | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes | 5 |

| | | | | |
|--------------------|--------------------------|----|------------------------------------|----|
| | | | padronizados | |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 16 |
| jato de ar | Geometria | 4 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 4 |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 15 | TOTAL | 16 |
| ar quente | Geometria | 2 | Complexidade | 1 |
| | número de componentes | 1 | número de processos especiais | 1 |
| | Acessibilidade | 1 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 1 | número de componentes padronizados | 1 |
| | TOTAL | 5 | TOTAL | 4 |
| catalisador | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 1 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 1 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 8 |
| naturalmente | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 5 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 20 |
| rodo | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 16 |
| cabo longo e curvo | Geometria | 4 | Complexidade | 3 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 4 |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 1 |
| | TOTAL | 18 | TOTAL | 12 |
| capa para vaso | Geometria | 2 | Complexidade | 1 |
| | número de componentes | 2 | número de processos especiais | 2 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 2 | número de componentes padronizados | 1 |
| | TOTAL | 11 | TOTAL | 5 |
| caixa para vaso | Geometria | 2 | Complexidade | 1 |
| | número de componentes | 2 | número de processos especiais | 2 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 2 | número de componentes padronizados | 1 |
| | TOTAL | 11 | TOTAL | 5 |
| luva | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 16 |
| material flexível | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 2 |

| | | | | |
|----------------|--------------------------|----|------------------------------------|----|
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 2 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 10 |
| jato de fluido | Geometria | 4 | Complexidade | 2 |
| | número de componentes | 4 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 3 |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 16 | TOTAL | 12 |

Anexo 2 – Análise de DFA e DFM dos princípios de solução de um sistema de lavação e classificação de ostras

Bloco Funcional 1
Restringir fluxo

| | Diretrizes de DFA | | Diretrizes de DFM | |
|-------------------|--------------------------|----|------------------------------------|----|
| | | | | |
| funil cônico | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 16 |
| grade simples | Geometria | 5 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 2 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 10 |
| borboleta | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 4 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 2 |
| | TOTAL | 17 | TOTAL | 11 |
| guias articuladas | Geometria | 3 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 4 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 14 | TOTAL | 12 |
| guias rotativas | Geometria | 5 | Complexidade | 3 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 3 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 14 | TOTAL | 11 |
| guia de pinos | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 2 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 15 | TOTAL | 13 |
| canecas | Geometria | 3 | Complexidade | 1 |
| | número de componentes | 1 | número de processos especiais | 2 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 2 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 10 | TOTAL | 8 |
| rodas dentadas | Geometria | 3 | Complexidade | 3 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 2 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 13 | TOTAL | 10 |
| guia de correias | Geometria | 3 | Complexidade | 3 |
| | número de componentes | 2 | número de processos especiais | 2 |
| | Acessibilidade | 3 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 12 | TOTAL | 10 |
| anteparos | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 4 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 17 | TOTAL | 13 |
| correia de caixas | Geometria | 1 | Complexidade | 1 |
| | número de componentes | 1 | número de processos especiais | 2 |
| | Acessibilidade | 3 | materiais especiais | 1 |

| | | | | |
|-------------------|--------------------------|----|------------------------------------|----|
| | Simplicidade de montagem | 2 | número de componentes padronizados | 2 |
| | TOTAL | 7 | TOTAL | 6 |
| cilindro + funil | Geometria | 4 | Complexidade | 3 |
| | número de componentes | 4 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 3 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 2 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 13 | TOTAL | 11 |
| funil de placas | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 19 | TOTAL | 13 |
| guia curvada | Geometria | 4 | Complexidade | 3 |
| | número de componentes | 4 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 17 | TOTAL | 12 |
| calha trapezoidal | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 15 |

Bloco Funcional 2

Transportar ostras

| | Diretrizes de DFA | | Diretrizes de DFM | |
|--------------------------|--------------------------|----|------------------------------------|----|
| esteira de borracha | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 2 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 15 | TOTAL | 16 |
| esteira vazada | Geometria | 4 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 2 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 14 | TOTAL | 15 |
| superfície vibratória | Geometria | 5 | Complexidade | 3 |
| | número de componentes | 2 | número de processos especiais | 2 |
| | Acessibilidade | 2 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 2 |
| | TOTAL | 12 | TOTAL | 8 |
| calha | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 16 |
| transportador de roletes | Geometria | 5 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 1 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 2 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 2 | número de componentes padronizados | 2 |
| | TOTAL | 10 | TOTAL | 10 |
| sem fim de borracha | Geometria | 2 | Complexidade | 2 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 2 |
| | Acessibilidade | 2 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 2 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 9 | TOTAL | 8 |
| sem fim de escovas | Geometria | 2 | Complexidade | 2 |
| | número de componentes | 2 | número de processos especiais | 2 |

| | | | | |
|-----------------------|--------------------------|----|------------------------------------|----|
| | Acessibilidade | 2 | materiais especiais | 2 |
| | Simplicidade de montagem | 2 | número de componentes padronizados | 2 |
| | TOTAL | 8 | TOTAL | 8 |
| sem fim interno | Geometria | 3 | Complexidade | 2 |
| | número de componentes | 1 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 2 | materiais especiais | 2 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 9 | TOTAL | 10 |
| pig tail | Geometria | 1 | Complexidade | 1 |
| | número de componentes | 2 | número de processos especiais | 1 |
| | Acessibilidade | 3 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 2 |
| | TOTAL | 9 | TOTAL | 5 |
| pás em hélice | Geometria | 3 | Complexidade | 2 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 1 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 2 | número de componentes padronizados | 2 |
| | TOTAL | 9 | TOTAL | 8 |
| eixo vertical com pás | Geometria | 3 | Complexidade | 3 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 2 |
| | Acessibilidade | 2 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 11 | TOTAL | 9 |
| gravidade | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 5 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 20 |
| tubo de anéis | Geometria | 1 | Complexidade | 1 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 1 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 2 | número de componentes padronizados | 2 |
| | TOTAL | 10 | TOTAL | 5 |
| escovas rotativas | Geometria | 4 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 2 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 2 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 11 | TOTAL | 11 |
| jatos em hélice | Geometria | 3 | Complexidade | 3 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 2 | materiais especiais | 2 |
| | Simplicidade de montagem | 2 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 10 | TOTAL | 11 |

Bloco Funcional 3

Limpar ostras

| | Diretrizes de DFA | | Diretrizes de DFM | |
|------------------|--------------------------|----|------------------------------------|----|
| aspersor simples | Geometria | 3 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 4 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 2 |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 15 | TOTAL | 14 |
| ar comprimido | Geometria | 4 | Complexidade | 3 |
| | número de componentes | 2 | número de processos especiais | 2 |
| | Acessibilidade | 2 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 2 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 10 | TOTAL | 10 |
| aspersão radial | Geometria | 4 | Complexidade | 4 |

| | | | | |
|-----------------------|--------------------------|----|------------------------------------|----|
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 2 |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 15 | TOTAL | 14 |
| tubo perfurado | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 3 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 18 |
| aspersão longitudinal | Geometria | 4 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 2 |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 15 | TOTAL | 14 |
| escovas | Geometria | 4 | Complexidade | 3 |
| | número de componentes | 2 | número de processos especiais | 2 |
| | Acessibilidade | 3 | materiais especiais | 2 |
| | Simplicidade de montagem | 2 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 11 | TOTAL | 10 |
| tambonamento | Geometria | 4 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 17 | TOTAL | 12 |
| aspersão oblíqua | Geometria | 3 | Complexidade | 2 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 3 | materiais especiais | 2 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 12 | TOTAL | 10 |
| hélice vertical | Geometria | 4 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 4 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 3 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 14 | TOTAL | 11 |
| aspersão múltipla | Geometria | 3 | Complexidade | 2 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 3 | materiais especiais | 2 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 12 | TOTAL | 10 |
| Turbilionamento | Geometria | 4 | Complexidade | 3 |
| | número de componentes | 2 | número de processos especiais | 1 |
| | Acessibilidade | 2 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 11 | TOTAL | 8 |
| aspersão na caixa | Geometria | 4 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 2 |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 15 | TOTAL | 14 |

Bloco Funcional 4

Classificar ostras

| | Diretrizes de DFA | | Diretrizes de DFM | |
|---------------|--------------------------|----|------------------------------------|----|
| tela metálica | Geometria | 5 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 11 |

| | | | | |
|--------------------|--------------------------|----|------------------------------------|----|
| grade simples | Geometria | 5 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 11 |
| grades seqüenciais | Geometria | 5 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 11 |
| grades divergentes | Geometria | 4 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 19 | TOTAL | 11 |
| grades sobrepostas | Geometria | 5 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 18 | TOTAL | 11 |
| grades circulares | Geometria | 5 | Complexidade | 3 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 2 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 9 |
| tubos divergentes | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 3 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 18 |
| guias divergentes | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 16 |
| guias sobrepostas | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 4 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 19 | TOTAL | 14 |
| roletes | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 2 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 2 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 12 | TOTAL | 12 |
| escovas em série | Geometria | 5 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 2 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 2 | materiais especiais | 2 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 12 | TOTAL | 12 |
| cantoneiras | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 16 |
| tubo ranhurado | Geometria | 1 | Complexidade | 4 |

| | | | | |
|---------------------|--------------------------|----|------------------------------------|----|
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 2 |
| | TOTAL | 14 | TOTAL | 10 |
| grade regulável | Geometria | 3 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 2 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 14 | TOTAL | 10 |
| grade semi-circular | Geometria | 4 | Complexidade | 3 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 2 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 19 | TOTAL | 9 |

Bloco Funcional 5

Descartar resíduos

| | Diretrizes de DFA | | Diretrizes de DFM | |
|-----------------------|--------------------------|----|------------------------------------|----|
| saco de aniagem | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 16 |
| reservatório + filtro | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 3 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 16 | TOTAL | 15 |
| caixa | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 2 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 17 |
| coletor cônico | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 15 |
| coletor cilíndrico | Geometria | 5 | Complexidade | 5 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 2 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 20 | TOTAL | 16 |
| coletor trapezoidal | Geometria | 4 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 5 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 19 | TOTAL | 13 |

Anexo 3 – Análise de DFA e DFM dos princípios de solução de um sistema mecânico para o deslocamento de estruturas de cultivo de ostras

Bloco Funcional 1

| Lçar espinhel | | Diretrizes de DFA | | Diretrizes de DFM | |
|-----------------------------|--------------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------|--|
| Mastro com lança | Geometria | 4 | Complexidade | 4 | |
| | número de componentes | 4 | número de processos especiais | 5 | |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 | |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 3 | |
| TOTAL | | 17 | TOTAL | 13 | |
| Estrutura de gaiola | Geometria | 4 | Complexidade | 4 | |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 4 | |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 | |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 3 | |
| TOTAL | | 16 | TOTAL | 12 | |
| Plano inclinado com guincho | Geometria | 4 | Complexidade | 4 | |
| | número de componentes | 4 | número de processos especiais | 3 | |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 1 | |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 4 | |
| TOTAL | | 15 | TOTAL | 12 | |

Bloco Funcional 2

| Fixar lanternas | | Diretrizes de DFA | | Diretrizes de DFM | |
|-------------------|--------------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------|--|
| Gancho | Geometria | 5 | Complexidade | 4 | |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 | |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 | |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 5 | |
| TOTAL | | 19 | TOTAL | 15 | |
| Nó | Geometria | 4 | Complexidade | 5 | |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 | |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 3 | |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 5 | |
| TOTAL | | 18 | TOTAL | 18 | |
| Gancho com moitão | Geometria | 4 | Complexidade | 4 | |
| | número de componentes | 4 | número de processos especiais | 5 | |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 1 | |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 5 | |
| TOTAL | | 16 | TOTAL | 15 | |

Bloco Funcional 3

| Posicionar lanternas | | Diretrizes de DFA | | Diretrizes de DFM | |
|----------------------|--------------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------|--|
| Roda Estrela | Geometria | 3 | Complexidade | 3 | |
| | número de componentes | 4 | número de processos especiais | 3 | |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 1 | |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 3 | |
| TOTAL | | 14 | TOTAL | 10 | |
| Gancho no bordo | Geometria | 5 | Complexidade | 4 | |
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 4 | |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 1 | |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 4 | |
| TOTAL | | 17 | TOTAL | 13 | |
| Plano lateral | Geometria | 4 | Complexidade | 5 | |
| | número de componentes | 4 | número de processos especiais | 4 | |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 2 | |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 4 | |
| TOTAL | | 16 | TOTAL | 15 | |

Bloco Funcional 4

| Fixar bóia junto à lanterna | | Diretrizes de DFA | | Diretrizes de DFM | |
|-----------------------------|-----------|-------------------|--------------|-------------------|--|
| Nó | Geometria | 4 | Complexidade | 5 | |

| | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------|----|------------------------------------|----|
| | número de componentes | 5 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 3 |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 5 |
| | TOTAL | 18 | TOTAL | 18 |
| Engate rápido lanterna espinhel | Geometria | 4 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 4 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 17 | TOTAL | 13 |
| Engate rápido lanterna espinhel bóia | Geometria | 4 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 4 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 17 | TOTAL | 13 |

Bloco Funcional 5

Accionar sistema de deslocamento vertical

| | Diretrizes de DFA | | Diretrizes de DFM | |
|-----------------------------|--------------------------|----|------------------------------------|----|
| Mastro com lança | Geometria | 4 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 4 | número de processos especiais | 5 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 17 | TOTAL | 13 |
| Estrutura de gaiola | Geometria | 4 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 3 | número de processos especiais | 4 |
| | Acessibilidade | 5 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 4 | número de componentes padronizados | 3 |
| | TOTAL | 16 | TOTAL | 12 |
| Plano inclinado com guincho | Geometria | 4 | Complexidade | 4 |
| | número de componentes | 4 | número de processos especiais | 3 |
| | Acessibilidade | 4 | materiais especiais | 1 |
| | Simplicidade de montagem | 3 | número de componentes padronizados | 4 |
| | TOTAL | 15 | TOTAL | 12 |