

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

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FAMÍLIA DE PRODUTOS
MODULARES PARA O CULTIVO E BENEFICIAMENTO DE
MEXILHÕES**

Régis Kovacs Scalice

Florianópolis, Santa Catarina

Março de 2003

DESENVOLVIMENTO DE UMA FAMÍLIA DE PRODUTOS MODULARES PARA O CULTIVO E BENEFICIAMENTO DE MEXILHÕES

Por

Régis Kovacs Scalice

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina em cumprimento às exigências para a obtenção do grau de doutor em engenharia mecânica.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Projeto de sistemas mecânicos

ORIENTADOR: Professor Fernando Antônio Forcellini – Dr. Eng.

CO-ORIENTADOR: Professor Nelson Back – Ph.D.

FLORIANÓPOLIS, SANTA CATARINA

MARÇO DE 2003

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FAMÍLIA DE PRODUTOS MODULARES PARA O
CULTIVO E BENEFICIAMENTO DE MEXILHÕES**

Régis Kovacs Scalice

ESTA TESE FOI JULGADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

DOUTOR EM ENGENHARIA

ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA E APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Fernando Antônio Forcellini, Dr. Eng
ORIENTADOR

Nelson Back, Ph.D.
CO-ORIENTADOR

Prof. Dr.
COORDENADOR DO PROGRAMA

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Franco Giuseppe Dedini

Prof. Dr. Daniel Capaldo de Amaral

Prof. Dr. André Ogliari

Prof. Dr. Jaime Fernando Ferreira

Prof. Dr. Fernando Antonio Forcellini

*Dedico este trabalho aos meus pais,
Odete Kovacs Scalice e Ronaldo
Scalice, à minha companheira
Daniela Becker e ao meu irmão
Henrique. Sem eles eu não teria
porque ir adiante.*

*“Forçosamente vence sempre o entusiasta ao apático.
Não é a força braçal, nem a virtude das armas, e sim a
força da alma que alcança a vitória”.*

(J. G. Fichte)

Agradecimentos

À Deus por me iluminar nos momentos de dúvidas e pela força nos momentos em que a fraqueza se anunciava.

Ao Professor Fernando Antônio Forcellini, pela orientação dada, pela experiência compartilhada e pela inquestionável contribuição à minha formação.

Ao Professor Nelson Back, pelos conselhos, sugestões e, principalmente, pelo exemplo ético e vitorioso de conduta profissional.

Ao Professor Jaime Fernando Ferreira por todo o conhecimento de maricultura passado e pelo apoio dado ao projeto. Ao Professor Acires Dias pela aula de FMEA e pelas sugestões dadas em oportunidades anteriores. Ao Professor André Ogliari, também pelo apoio dado em diversas ocasiões.

Aos bolsistas André Luis, Humberto, Eduardo e Marcos, pelo suor depositado neste trabalho, o qual não seria o mesmo sem sua colaboração. Ao técnico Roberto, pela ajuda indispensável com o protótipo.

Aos demais amigos do NeDIP (Giovano, Juscelino, Franco, Lucas, Roberto, Cristiano, Feca, Wilbert, Romano, Alonço, Ângelo e tantos outros) que tornaram mais divertidos os dias no NeDIP.

Ao SENAI/SC, por acreditar no projeto e financiar a construção dos protótipos. Aos colegas do SENAI/São José, Laércio e Ronaldo, que se empenharam para tirar do papel o projeto.

Ao CNPq pelo apoio financeiro, sem o qual este trabalho não poderia ser realizado.

Aos meus amigos do *Fim do Mundo* (Luciano, Fábio, Victor, Kaju, Okuma, etc.) pelos poucos, mas bons momentos juntos.

Aos meus pais, Odete e Ronaldo, por sempre estar ao meu lado (mesmo tão longe). A meu irmão Henrique, pelas longas conversas ao telefone e por compartilhar um pouco de sua alegria.

À minha namorada Daniela, por me agüentar durante todos estes anos e pelas consultorias prestadas.

A todos que, de uma forma ou de outra, contribuíram para este trabalho, meu muito obrigado.

Régis Kovacs Scalice

Índice

| | |
|---|--------------------------------------|
| Lista de Figuras | x |
| Lista de Tabelas | xv |
| Lista de Quadros | xvii |
| Lista de Siglas | xix |
| Sumário | xxi |
| Abstract | xxii |
| | |
| Capítulo 1 - Introdução | 1 |
| 1.1 Apresentação do Problema..... | 2 |
| 1.2 Relevância e Contribuições do Trabalho..... | 2 |
| 1.3 Objetivos..... | 3 |
| 1.4 Estrutura do Trabalho | 4 |
| | |
| Capítulo 2 - Estudo do Cultivo e Beneficiamento de Mexilhões | 5 |
| 2.1 O Mexilhão | Erro! Indicador não definido. |
| 2.2 O Processo de Cultivo de Mexilhões | 8 |
| 2.2.1 A Obtenção de Sementes..... | 8 |
| 2.2.2 Encordoamento | 9 |
| 2.2.3 O Crescimento e Engorda | 11 |
| 2.2.4 Desdobre..... | 14 |
| 2.2.5 O Beneficiamento dos Mexilhões..... | 14 |
| 2.3 O Panorama Mundial do Cultivo de Mexilhões..... | 15 |
| 2.4 O Cultivo de Mexilhões na Espanha | 16 |
| 2.5 O Cultivo de Mexilhões no Estado de Santa Catarina..... | 21 |
| 2.6 Apreciação da Situação do Mercado | 30 |
| 2.6.1 Análise da Conjuntura Atual do Mercado..... | 30 |
| 2.6.2 Um Possível Cenário para o Futuro..... | 36 |
| 2.7 Considerações Finais | 39 |
| | |
| Capítulo 3 - Metodologia de Projeto de Produtos Modulares – Estado da Arte e Proposição..... | 43 |
| 3.1 A Evolução do Projeto de Produtos Modulares..... | 43 |
| 3.1.1 O Estado-da-Arte das Metodologias de Projeto de Produtos Modulares..... | 45 |
| 3.1.2 Aspectos Gerais do Projeto de Produtos Modulares..... | 58 |

| | | |
|---|--|-----|
| 3.2 | Proposta de uma Abordagem Metodológica para o Projeto de Produtos Modulares... | 62 |
| 3.2.1 | Projeto Informacional do Sistema Modular..... | 64 |
| 3.2.2 | Projeto Conceitual do Sistema Modular..... | 65 |
| 3.2.3 | Projeto Preliminar do Sistema Modular..... | 69 |
| 3.2.4 | Projeto Detalhado do Sistema Modular..... | 72 |
| 3.3 | Comentários Finais..... | 73 |
| | | |
| Capítulo 4 - Projeto Informacional do Sistema Modular para a Mecanização do Cultivo de Mexilhões..... | | |
| 4.1 | ETAPA 1.1 – Identificação dos Produtos a serem Desenvolvidos..... | 75 |
| 4.1.1 | Levantamento dos recursos e processos empregados no cultivo de mexilhões | 76 |
| 4.1.2 | Análise da Viabilidade de Mecanização dos Processos..... | 92 |
| 4.2 | ETAPA 1.2 - Levantamento das Necessidades..... | 96 |
| 4.2.1 | Pesquisa de Marketing | 97 |
| 4.2.2 | Abstração das Necessidades | 102 |
| 4.3 | ETAPA 1.2 - Clarificação das Necessidades | 103 |
| 4.4 | Comentários Finais..... | 109 |
| | | |
| Capítulo 5 - Projeto Conceitual do Sistema Modular para a Mecanização do Cultivo de Mexilhões..... | | |
| 5.1 | ETAPA 2.1 – Estabelecimento das Estruturas Funcionais Modulares dos Produtos. | 111 |
| 5.2 | ETAPA 2.2 – Pesquisa por Princípios de Solução | 120 |
| 5.3 | ETAPA 2.3 – Geração e Seleção de Alternativas de Projeto | 124 |
| 5.4 | ETAPA 2.4 – Geração dos Módulos | 134 |
| 5.5 | Leiautes Preliminares dos Produtos..... | 146 |
| 5.6 | Comentários Finais..... | 149 |
| | | |
| Capítulo 6 - Projeto Preliminar e Detalhado do Sistema Modular para a Mecanização do Cultivo de Mexilhões | | |
| 6.1 | Projeto Preliminar do Sistema Modular..... | 151 |
| 6.1.1 | ETAPA 3.1 – Projeto das Interfaces..... | 152 |
| 6.1.2 | ETAPA 3.2 – Dimensionamento dos Módulos | 163 |
| 6.1.3 | Configurações de produtos..... | 186 |
| 6.2 | Projeto Detalhado do Sistema Modular..... | 195 |
| 6.3 | Comentários Finais..... | 197 |
| | | |
| Capítulo 7 - Teste dos Protótipos..... | | |
| 7.1 | Planejamento dos Testes dos Protótipos..... | 199 |

| | | |
|--|--|-----|
| 7.2 | Protótipos desenvolvidos | 207 |
| 7.3 | Realização do primeiro conjunto de testes dos equipamentos desenvolvidos e análise preliminar dos resultados | 209 |
| 7.4 | Realização do segundo conjunto de testes dos equipamentos desenvolvidos e análise preliminar dos resultados | 217 |
| 7.5 | Avaliação do Produto..... | 222 |
| 7.6 | Comentários Finais..... | 230 |
| Capítulo 8 - Conclusão | | 231 |
| 8.1 | Objetivo Principal do Trabalho: o Desenvolvimento de Máquinas para a Mecanização dos Processos do Cultivo e do Beneficiamento de Mexilhões | 231 |
| 8.2 | Meta: Desenvolver Produtos Adequados às necessidades de Pequenos e Médios Produtores..... | 233 |
| 8.3 | Meta: Contribuições ao Processo Metodológico de Projeto de Produtos Modulares. | 234 |
| 8.4 | Encerramento do Trabalho | 235 |
| 8.5 | Sugestões para trabalhos futuros | 235 |
| Bibliografia..... | | 237 |
| Apêndice A - Matrizes de Pugh para a Seleção de Alternativas de Projeto..... | | 243 |
| Apêndice B - Custos de Fabricação dos Protótipos | | 251 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 2.1 – Aspecto da anatomia interna do mexilhão..... | 6 |
| Figura 2.2 – O cultivo de mexilhões. | 8 |
| Figura 2.3 – Bandagem de algodão utilizada no método espanhol..... | 10 |
| Figura 2.4 – Encordoamento mecanizado utilizando rede tubular de algodão..... | 10 |
| Figura 2.5 – Cultivo de fundo | 12 |
| Figura 2.6 – Cultivo por estacas ou bouchots | 12 |
| Figura 2.7 – Espinheis ou Longlines..... | 13 |
| Figura 2.8 – Cultivo por Balsas..... | 14 |
| Figura 2.9 – Encordoamento mecanizado – desdobradora | 17 |
| Figura 2.10 – Processo de coleta de cordas de mexilhões na Espanha..... | 18 |
| Figura 2.11 – Mesa de classificação espanhola | 19 |
| Figura 2.12 – Empalitada espanhola | 19 |
| Figura 2.13 – Depuração de mexilhões na Espanha | 20 |
| Figura 2.14 – Beneficiamento de mexilhões para congelamento na Espanha..... | 21 |
| Figura 2.15 – Processo de enlatamento de mexilhões na Espanha..... | 21 |
| Figura 2.16 – Evolução do cultivo de mexilhões <i>Perna perna</i> no Estado de Santa Catarina | 22 |
| Figura 2.17 – Mapa da zona costeira de Santa Catarina..... | 23 |
| Figura 2.18 – Processo de preenchimento de cordas de mexilhões adotado em Santa Catarina .. | 25 |
| Figura 2.19 – O preenchimento de cordas de mexilhões em Santa Catarina | 26 |
| Figura 2.20 – Sistema suspenso fixo de cultivo tipo “Mesa” | 26 |
| Figura 2.21 – Sistema suspenso fixo de cultivo tipo “Varal” | 27 |
| Figura 2.22 – Sistema suspenso flutuante de cultivo tipo “Longline” | 27 |
| Figura 2.23 – Processo realizado em Santa Catarina para liberação dos mexilhões das cordas... | 28 |
| Figura 2.24 – Processo de cozimento a gás utilizado pela COOPERMAC. | 29 |
| Figura 2.25 – Esteira utilizada pela COOPERMAC para auxiliar na retirada das conchas dos mexilhões. | 29 |
| Figura 2.26 – Comparação entre o crescimento da produção e do número de produtores em Santa Catarina, segundo valores da Tabela 2.5. | 32 |
| Figura 2.27 – Processo contínuo de encordoamento praticado na Nova Zelândia..... | 37 |
| Figura 2.28 – Perspectivas para a evolução do cultivo de mexilhões em Santa Catarina. | 39 |
| Figura 3.1 – Escala de modularidade | 44 |
| Figura 3.2 – Combinações de mesas através de um número limitado de componentes padronizados. Projeto de Friso Kramer, Amsterdã, Holanda, 1958 | 45 |
| Figura 3.3 – Passos da metodologia MFD | 46 |
| Figura 3.4 – Aplicação da MIM ao projeto de móveis modulares..... | 46 |
| Figura 3.5 – Aplicação de <i>clumping</i> a um produto hipotético | 47 |
| Figura 3.6 – Representação do processo de projeto para o desenvolvimento de sistemas modulares apresentado por GU & SOSALE..... | 48 |
| Figura 3.7 – Questionário para a determinação do nível de modularidade desejado | 49 |
| Figura 3.8 – Modelo de projeto adotado por STONE ET AL. | 50 |
| Figura 3.9 – Exemplos da aplicação das heurísticas para identificação de módulos a um diagrama de fluxo funcional. | 50 |

| | |
|--|-----|
| Figura 3.10 – Visão geral do processo de arquitetura do portfólio de produtos. | 51 |
| Figura 3.11 – Exemplo de uma estrutura funcional da família para toda a linha de produtos VersaPak® | 52 |
| Figura 3.12 – Matriz Modularidade mostrando os possíveis módulos para a linha de produtos da VersaPak® | 53 |
| Figura 3.13 – Roteiro 1 – Projeto conceitual de um sistema modular..... | 54 |
| Figura 3.14 – Roteiro 2 – Projeto conceitual de grupo de sistemas | 55 |
| Figura 3.15 – Principais diferenças entre os Roteiros 1 e 2 para o projeto conceitual de produtos modulares | 57 |
| Figura 3.16 – Exemplos dos tipos de arquiteturas modulares descritos por ULRICH..... | 59 |
| Figura 3.17 – Proposta de abordagem metodológica para o projeto de produtos modulares | 63 |
| Figura 3.18 – Desdobramento em tarefas da etapa de estabelecimento das estruturas funcionais modulares. | 66 |
| Figura 3.19 – Processo de localização de funções comuns | 67 |
| Figura 3.20 – Matriz para determinação de núcleos funcionais. | 68 |
| Figura 3.21 – Desdobramento em tarefas da etapa de projeto das interfaces – Processo de seleção de interfaces. | 70 |
| Figura 3.22 – Matriz para a determinação das necessidades de interfaces. | 71 |
| Figura 4.1 – Fluxograma genérico dos processos do cultivo e beneficiamento de mexilhões. | 76 |
| Figura 4.2 – Casa da Qualidade – cultivo de mexilhões (parte 1). | 105 |
| Figura 4.3 – Casa da Qualidade – cultivo de mexilhões (parte 2). | 106 |
| Figura 4.4 – Telhado da Casa da Qualidade para o projeto de produtos para o cultivo de mexilhões. | 107 |
| Figura 5.1 – Aplicação da matriz para determinação de núcleos funcionais ao contexto do cultivo de mexilhões. | 120 |
| Figura 5.2 – Matriz de Pugh para o processo de encordoamento das sementes. | 131 |
| Figura 5.3 – Segunda Matriz de Pugh para o processo de encordoamento das sementes. | 132 |
| Figura 5.4 – Alternativas de projeto para as fontes de potência. | 133 |
| Figura 5.5 – MIM para o núcleo funcional 1. | 135 |
| Figura 5.6 – MIM para o núcleo funcional 2. | 137 |
| Figura 5.7 – MIM para o processo de seleção de mexilhões (FG-6). | 140 |
| Figura 5.8 – MIM para o processo de retirada das conchas dos mexilhões (FG-8). | 140 |
| Figura 5.9 – MIM para o processo de encordoamento das sementes (FG-1). | 142 |
| Figura 5.10 – MIM para o processo de retirada das cordas do cultivo (FG-2). | 143 |
| Figura 5.11 – MIM para o processo de retirada dos mexilhões das cordas (FG-3). | 144 |
| Figura 5.12 – Leiaute preliminar para o processo de desgranação dos mexilhões (FG-4). | 146 |
| Figura 5.13 – Leiaute preliminar para o processo de limpeza dos mexilhões (FG-5). | 146 |
| Figura 5.14 – Leiaute preliminar para o processo de seleção dos mexilhões (FG-6). | 147 |
| Figura 5.15 – Leiaute preliminar para o processo de limpeza refinada dos mexilhões (FG-7). | 147 |
| Figura 5.16 – Leiaute preliminar para o processo de retirada das conchas dos mexilhões (FG-8). | 147 |
| Figura 5.17 – Leiaute preliminar para o processo de encordoar mexilhões (FG-1). | 148 |
| Figura 5.18 – Leiaute preliminar para o processo de retirada das cordas do cultivo (FG-2). | 148 |
| Figura 5.19 – Leiaute preliminar para o processo de remoção dos mexilhões das cordas (FG-3). | 149 |
| Figura 6.1 – Matriz para determinação das necessidades das interfaces. | 153 |

| | |
|--|-----|
| Figura 6.2 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre o módulo 01 e os módulos 02 e 12. | 155 |
| Figura 6.3 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre o módulo 01 e os módulos 06, 07 e 08. | 156 |
| Figura 6.4 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre o módulo 01 e o módulo de Fonte de Potência do sistema. | 156 |
| Figura 6.5 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre o módulo 02 e os módulos 04, 09 e 11. | 156 |
| Figura 6.6 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre os módulos 02, 04 e os módulos 06, 07 e 08 e entre os módulos 09 e 11 e o módulo 06. | 157 |
| Figura 6.7 – Alternativas de interface para a função identificada no módulo 03 (devido ao uso de bandejas removíveis). | 157 |
| Figura 6.8 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre o módulo 03 e os módulos 04, 09 e 11. | 157 |
| Figura 6.9 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre o módulo 03 e o módulo 05. | 157 |
| Figura 6.10 – Alternativas de interface para a função identificada entre o módulo 03 e o módulo 10. | 158 |
| Figura 6.11 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre o módulo 03 e o módulo 16. | 158 |
| Figura 6.12 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre o módulo 04 e o módulo 05. | 158 |
| Figura 6.13 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre o módulo 05 e o módulo 11. | 158 |
| Figura 6.14 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre os módulos 06, 07 e 08. | 159 |
| Figura 6.15 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre o módulo 06 e o módulo 10. | 159 |
| Figura 6.16 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre o módulo 10 e o módulo 11. | 159 |
| Figura 6.17 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre o módulo 12 e o módulo 13. | 159 |
| Figura 6.18 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre os módulos 14 e 16 e a Fonte de Potência (FP) do sistema. | 160 |
| Figura 6.19 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre o módulo 15 e o módulo 16. | 160 |
| Figura 6.20 – Matriz de PUGH aplicada à seleção de alternativas de interface. | 161 |
| Figura 6.21 – Matriz de PUGH aplicada à seleção de alternativas de interface. | 161 |
| Figura 6.22 – Matriz de PUGH aplicada à seleção de alternativas de interface. | 162 |
| Figura 6.23 – Matriz de PUGH aplicada à seleção de alternativas de interface. | 162 |
| Figura 6.24 – Aspectos ergonômicos presentes em uma das possíveis configurações de produto. | 165 |
| Figura 6.25 – Diferentes estágios do projeto preliminar do módulo M7: (1) leiaute preliminar; (2) versão para avaliação; (3) leiaute otimizado (DFMA); (4) leiaute definitivo. | 167 |
| Figura 6.26 – Versões inicial (1) e final (2) da geometria de um componente do módulo M6. | 168 |
| Figura 6.27 – Leiaute definitivo do módulo M1. | 169 |
| Figura 6.28 – Leiaute definitivo do módulo M2. | 171 |
| Figura 6.29 – Leiaute definitivo do módulo M3. | 172 |
| Figura 6.30 – Leiaute definitivo do módulo M4. | 174 |
| Figura 6.31 – Leiaute definitivo do módulo M5. | 175 |

| | |
|---|-----|
| Figura 6.32 – Leiaute definitivo do módulo M6. | 176 |
| Figura 6.33 – Leiaute definitivo do módulo M7. | 178 |
| Figura 6.34 – Leiaute definitivo do sistema tracionador do M7. | 179 |
| Figura 6.35 – Leiaute definitivo do módulo M8. | 180 |
| Figura 6.36 – Leiaute definitivo do módulo M9. | 181 |
| Figura 6.37 – Leiaute definitivo do módulo I1. | 183 |
| Figura 6.38 – Leiaute definitivo do módulo I2. | 184 |
| Figura 6.39 – Leiaute definitivo do módulo I3. | 184 |
| Figura 6.40 – Módulos auxiliares propostos | 185 |
| Figura 6.41 – Mapeamento das configurações simples de módulos. | 186 |
| Figura 6.42 – Configuração de produto para a realização do processo de desgranação de mexilhões (CF-1). | 188 |
| Figura 6.43 – Configuração de produto para a realização do processo de limpeza de mexilhões (CF-2). | 189 |
| Figura 6.44 – Configuração de produto para a realização do processo de limpeza refinada de mexilhões (CF-3). | 190 |
| Figura 6.45 – Configuração de produto para a realização do processo de retirada da carne dos mexilhões (CF-4). | 191 |
| Figura 6.46 – Configuração de produto para a realização do processo de encordoamento de mexilhões (CF-5). | 192 |
| Figura 6.47 – Configuração de produto para a realização do processo de remoção dos mexilhões das cordas (CF-6). | 194 |
| Figura 6.48 – Mapeamento das configurações mistas de módulos. | 195 |
| Figura 6.49 – Sistema de codificação dos desenhos. | 195 |
| Figura 7.1 – Esquematização do processo adotado para o planejamento dos testes. | 200 |
| Figura 7.2 – Configuração final do protótipo e alguns de seus componentes. | 208 |
| Figura 7.3 – Módulo extrator de mexilhões (M8) fixo ao suporte de madeira. | 209 |
| Figura 7.5 – Mexilhões em “pencas” utilizados nos testes de desgranação de mexilhões. | 210 |
| Figura 7.6 – Comparação entre cordas antes e depois da retirada de mexilhões. | 211 |
| Figura 7.7 – Furação realizada nas pás – problemas na fabricação. | 212 |
| Figura 7.8 – Deformação das pás próximas à saída no módulo receptor (M1) durante a limpeza dos mexilhões. | 214 |
| Figura 7.9 – Comparação entre mexilhões sujos e limpos pelo equipamento. | 216 |
| Figura 7.10 – Nova base para o módulo separador de mexilhões – bojo tela moeda. | 216 |
| Figura 7.11 – Nova base para o módulo separador de mexilhões – bojo liso. | 217 |
| Figura 7.12 – Novo sistema de fixação dos bojos do extensor separador (M2). | 218 |
| Figura 7.13 – Correções na furação para fixação das pás. | 218 |
| Figura 7.14 – Modelo de escova adotado no processo de limpeza de mexilhões. | 219 |
| Figura 7.15 – Nova geometria para os mancais e tampas dos módulos. | 22 |
| Figura 7.16 – Nova geometria para o mancal intermediário do módulo M3. | 22 |
| Figura 7.17 – Pino posicionador. | 227 |
| Figura 7.18 – Bojos liso, tela moeda e com vão de 16mm. | 227 |
| Figura 7.19 – Novo eixo agitador (M40). | 228 |
| Figura 7.20 – Configuração demonstrando as novas posições das pernas. | 229 |
| Figura A.1 – Matriz de Pugh para o processo de encordoamento das sementes. | 244 |
| Figura A.2 – Matriz de Pugh para o processo de retirada das cordas do cultivo. | 245 |

| | |
|--|-----|
| Figura A.3 – Matriz de Pugh para o processo de remoção dos mexilhões das cordas. | 245 |
| Figura A.4 – Matriz de Pugh para o processo de desgranação dos mexilhões. | 246 |
| Figura A.5 – Matriz de Pugh para o processo de limpeza dos mexilhões. | 246 |
| Figura A.6 – Matriz de Pugh para o processo de seleção dos mexilhões. | 247 |
| Figura A.7 – Matriz de Pugh para o processo de limpeza refinada dos mexilhões. | 247 |
| Figura A.8 – Matriz de Pugh para o processo de retirada das conchas dos mexilhões. | 248 |
| Figura A.9 – Segunda Matriz de Pugh para o processo de encordoamento das sementes. | 249 |
| Figura B.1 – Proporção de gastos nos protótipos por categoria. | 251 |

Lista de Tabelas

| | |
|---|-----|
| Tabela 2.1 – Crescimento de espécies de mexilhões em diferentes locais de cultivo. | 7 |
| Tabela 2.2 – Panorama mundial da evolução da produção de mexilhões entre os anos de 1998 e 2000. | 15 |
| Tabela 2.3 – Informações sobre o perfil do produtor de mexilhões catarinense. | 24 |
| Tabela 2.4 – Condições a serem avaliadas para o estabelecimento de um cultivo de mexilhões .. | 25 |
| Tabela 2.5 – Evolução da produção de moluscos marinhos cultivados no Estado de Santa Catarina. | 31 |
| Tabela 2.6 – Valores apresentados para o cultivo em Santa Catarina e Espanha. | 34 |
| Tabela 2.7 – Principais mercados compradores citados pelos produtores | 35 |
| Tabela 3.1 – Diretrizes de modularização segundo ERIXON ET AL. | 47 |
| Tabela 3.2 – Documentos e ferramentas de apoio citados na proposta de | 56 |
| Tabela 3.3 – O gerenciamento de cinco áreas que envolvem o produto e os efeitos em sua arquitetura. | 60 |
| Tabela 3.4 – Exemplos de vantagens e desvantagens decorrentes de um projeto modular. | 61 |
| Tabela 3.5 – Etapas do Projeto informacional do Sistema Modular. | 64 |
| Tabela 3.6 – Etapas do Projeto Conceitual do Sistema Modular. | 65 |
| Tabela 3.7 – Principais fontes para busca e geração de princípios de solução | 66 |
| Tabela 3.8 – Etapas do Projeto Preliminar do Sistema Modular. | 69 |
| Tabela 3.9 – Critérios propostos para comparação entre interfaces. | 72 |
| Tabela 3.10 – Etapas do Projeto Detalhado do Sistema Modular. | 73 |
| Tabela 4.1 – Processo de pesquisa de marketing | 98 |
| Tabela 4.2 – Estrutura adotada no questionário para o levantamento das necessidades dos produtores. | 99 |
| Tabela 4.3 – Necessidades colhidas durante a realização da pesquisa de marketing. | 101 |
| Tabela 4.4 – Necessidades abstraídas para o contexto do cultivo de mexilhões. | 102 |
| Tabela 4.5 – Requisitos de projeto para o desenvolvimento de produtos para o cultivo de mexilhões. | 103 |
| Tabela 4.6 – Especificações de projeto para o desenvolvimento de produtos para o cultivo de mexilhões, ordenadas segundo a classificação obtida pelo QFD. | 108 |
| Tabela 5.1 – Funções comuns determinadas para o projeto de produtos para o cultivo de mexilhões. | 118 |
| Tabela 5.2 – Princípios de solução levantados para o projeto de produtos para o cultivo de mexilhões – Matriz Morfológica. | 120 |
| Tabela 5.3 – Alternativas de projeto para o processo de encordoamento de sementes. | 125 |
| Tabela 5.4 – Alternativas de projeto para o processo de retirada das cordas de mexilhões do cultivo. | 126 |
| Tabela 5.5 – Alternativas de projeto para o processo de remoção dos mexilhões das cordas. | 126 |
| Tabela 5.6 – Alternativas de projeto para o processo de desgranação dos mexilhões. | 127 |
| Tabela 5.7 – Alternativas de projeto para o processo de limpeza dos mexilhões. | 127 |
| Tabela 5.8 – Alternativas de projeto para o processo de seleção de mexilhões. | 128 |
| Tabela 5.9 – Alternativas de projeto para o processo de limpeza refinada dos mexilhões. | 129 |
| Tabela 5.10 – Alternativas de projeto para o processo de retirada da concha dos mexilhões. | 129 |
| Tabela 5.11 – Resultado da seleção das alternativas de projeto através de Matrizes de Pugh. | 131 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 6.1 – Princípios de solução levantados para as interfaces entre os módulos para os produtos para o cultivo de mexilhões – Matriz Morfológica. | 155 |
| Tabela 6.2 – Propostas de requisitos técnicos a serem contemplados pelas interfaces. | 160 |
| Tabela 6.3 – Classificação dos módulos durante o projeto preliminar. | 167 |
| Tabela 6.4 – Especificações técnicas do módulo receptor de mexilhões (M1). | 170 |
| Tabela 6.5 – Especificações técnicas do módulo extensor separador (M2). | 171 |
| Tabela 6.6 – Especificações técnicas do módulo extensor hermético (M3). | 173 |
| Tabela 6.7 – Especificações técnicas do módulo eixo agitador (M4). | 174 |
| Tabela 6.8 – Especificações técnicas do módulo eixo de escovas (M5). | 175 |
| Tabela 6.9 – Especificações técnicas do módulo extensor para encordoamento (M6). | 176 |
| Tabela 6.10 – Especificações técnicas do módulo tracionador de cordas (M7). | 178 |
| Tabela 6.11 – Especificações técnicas do módulo extrator de mexilhões (M8). | 180 |
| Tabela 6.12 – Especificações técnicas do módulo fonte de potência (M9). | 181 |
| Tabela 6.13 – Especificações das configurações de produtos desenvolvidas. | 193 |
| Tabela 6.14 – Exemplos do emprego da codificação proposta neste projeto. | 196 |
| Tabela 7.1 – Parâmetros de análise submetidos a métodos comparativos de avaliação. | 201 |
| Tabela 7.2 – Parâmetros de análise submetidos a métodos qualitativos de avaliação. | 201 |
| Tabela 7.3 – Critérios adotados nas análises qualitativas. | 201 |
| Tabela 7.4 – Especificações de projeto não selecionadas como parâmetros de análise. | 201 |
| Tabela 7.5 – Velocidades de rotação empregadas no ensaio dinâmico da configuração de produto para a desgranação e seleção de mexilhões. | 203 |
| Tabela 7.6 – Aplicação do FMEA à configuração de produto para desgranação: modos de falha, causas e efeitos. | 204 |
| Tabela 7.7 – Aplicação do FMEA à configuração de produto para desgranação: criticalidade dos modos de falha. | 206 |
| Tabela 7.8 – Fatores de criticalidade propostos por AKAO. | 206 |
| Tabela 7.9 – Resultados obtidos dos testes da configuração de máquinas para o processo de desgranação dos mexilhões. | 213 |
| Tabela 7.10 – Resultados obtidos dos testes da configuração de produto para o processo de desgranação dos mexilhões. | 219 |
| Tabela 7.11 – Resultados obtidos dos testes da configuração de máquinas para o processo de desgranação dos mexilhões – reprocessamento de mexilhões não processados totalmente. | 220 |
| Tabela 7.12 – Avaliação dos parâmetros de análise submetidos a métodos comparativos. | 223 |
| Tabela 7.13 – Avaliação dos parâmetros de análise submetidos a métodos qualitativos de avaliação. | 224 |
| Tabela 7.14 – Avaliação dos componentes apontados como críticos pelo FMEA para a configuração de produto para desgranação dos mexilhões. | 225 |
| Tabela B.1 – Levantamento de gastos nos protótipos. | 252 |

Lista de Quadros

| | |
|--|-----|
| Quadro 2.1 – Exemplos de diferentes configurações permitidas em uma desgranadora de mexilhões espanhola | 38 |
| Quadro 4.1 – Ficha técnica para o processo de liberação de sementes do coletor. | 76 |
| Quadro 4.2 – Ficha técnica para o processo de seleção de sementes. | 77 |
| Quadro 4.3 – Ficha técnica para o processo de confecção de cordas. | 78 |
| Quadro 4.4 – Ficha técnica para o processo de encordoamento. | 79 |
| Quadro 4.5 – Ficha técnica para o processo de retirada de cordas do cultivo. | 80 |
| Quadro 4.6 – Ficha técnica para o processo de remoção dos mexilhões das cordas. | 81 |
| Quadro 4.7 – Ficha técnica para o processo de desgranação dos mexilhões. | 82 |
| Quadro 4.8 – Ficha técnica para o processo de seleção de mexilhões. | 84 |
| Quadro 4.9 – Ficha técnica para o processo de limpeza dos mexilhões. | 86 |
| Quadro 4.10 – Ficha técnica para o processo de classificação fina. | 87 |
| Quadro 4.11 – Ficha técnica para o processo de limpeza refinada. | 88 |
| Quadro 4.12 – Ficha técnica para o processo de retirada das conchas. | 88 |
| Quadro 4.13 – Ficha técnica para o processo de retirada de ½ concha. | 89 |
| Quadro 4.14 – Ficha técnica para o processo de retirada de ½ concha. | 90 |
| Quadro 5.1 – Síntese funcional para o processo de encordoamento. | 112 |
| Quadro 5.2 – Síntese funcional para o processo de retirada das cordas do cultivo. | 113 |
| Quadro 5.3 – Síntese funcional para o processo remoção dos mexilhões das cordas. | 113 |
| Quadro 5.4 – Síntese funcional para o processo de desgranação dos mexilhões. | 114 |
| Quadro 5.5 – Síntese funcional para o processo de limpeza dos mexilhões. | 115 |
| Quadro 5.6 – Síntese funcional para o processo de seleção de mexilhões. | 116 |
| Quadro 5.7 – Síntese funcional para o processo de limpeza refinada de mexilhões. | 117 |
| Quadro 5.8 – Síntese funcional para o processo de retirada das conchas dos mexilhões. | 117 |
| Quadro 5.9 – Síntese funcional para a fonte de potência. | 118 |
| Quadro 5.10 – Conceitos padrões de produtos usados na proposição das alternativas de projeto..... | 124 |
| Quadro 5.11 – Apresentação do módulo 01. | 135 |
| Quadro 5.12 – Apresentação do módulo 02. | 136 |
| Quadro 5.13 – Apresentação do módulo 03. | 136 |
| Quadro 5.14 – Apresentação do módulo 04. | 137 |
| Quadro 5.15 – Apresentação do módulo 05. | 138 |
| Quadro 5.16 – Apresentação do módulo 06. | 138 |
| Quadro 5.17 – Apresentação do módulo 07. | 138 |
| Quadro 5.18 – Apresentação do módulo 08. | 139 |
| Quadro 5.19 – Apresentação do módulo 09. | 139 |
| Quadro 5.20 – Apresentação do módulo 10. | 141 |
| Quadro 5.21 – Apresentação do módulo 11. | 141 |
| Quadro 5.22 – Apresentação do módulo 12. | 142 |
| Quadro 5.23 – Apresentação do módulo 13. | 143 |
| Quadro 5.24 – Apresentação do módulo 14. | 144 |

| | |
|--|-----|
| Quadro 5.25 – Apresentação do módulo 15. | 145 |
| Quadro 5.26 – Apresentação do módulo 16. | 145 |
| Quadro 6.1 – Dimensionamento do volume da carcaça para os módulos M1 e M2. | 164 |
| Quadro 6.2 – Padrão de interface adotado em mancais e tampas do sistema modular. | 183 |
| Quadro 7.1 – Planejamento da coleta de dados para as variáveis dinâmicas do processo de desgranação dos mexilhões. | 202 |
| Quadro 7.2 – Principais alterações efetuadas pelo SENAI para adaptação do projeto às características locais de manufatura. | 207 |

Siglas

Instituições

| | |
|-----------|---|
| ACARPESC | Associação Catarinense de Crédito e Assistência Pesqueira de Santa Catarina |
| CNPq | Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico |
| COOPERMAC | Cooperativa de Maricultores (Canto Grande – Bombinhas – SC) |
| EPAGRI | Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão rural de Santa Catarina |
| FAO | Food and Agriculture Organization (United Nations) |
| IBAMA | Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais |
| LAMEX | Laboratório de Mexilhões |
| LCMM | Laboratório de Cultivo de Moluscos Marinhos |
| NeDIP | Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos |
| OMS | Organização Mundial de Saúde |
| SENAI | Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial |
| SIF | Serviço de Inspeção Federal |
| UFSC | Universidade Federal de Santa Catarina |

Métodos e Ferramentas de Projeto

| | |
|------|-------------------------------------|
| CAD | Computer Aided Design |
| DFMA | Design for Manufacture and Assembly |
| DFV | Design for Variety |
| FMEA | Failure Modes and Effects Analysis |
| GVI | Índice de Geração de Variedade |
| HPD | Holonic Product Design |
| MFD | Modular Function Deployment |
| MIM | Module Indication Matrix |
| PSI | Processo de Seleção de Interfaces |
| QFD | Quality Function Deployment |

Terminologia do Projeto

| | |
|----|-------------------------|
| A | Módulo Auxiliar |
| CF | Configuração de Produto |
| FC | Função Comum |
| FE | Função Elementar |
| FG | Função Global |
| FP | Função Parcial |
| FP | Fonte de Potência |
| I | Módulo Construtivo |
| M | Módulo Principal |

Parâmetros de Cálculo

| | |
|----|--------------------------------------|
| A | Fator assimetria |
| C | Comprimento agregado de dois módulos |
| CA | Coefficiente assimetria |

| | |
|------------|--|
| CD | Coeficiente deslocamento |
| CF | Coeficiente freqüência |
| CH | Coeficiente horizontal |
| CM | Coeficiente manuseio |
| C_m | Carga máxima |
| C_P | Capacidade de processamento |
| CV | Coeficiente vertical |
| D | Deslocamento vertical da carga |
| d | Diâmetro do cilindro do corpo da máquina |
| d_m | Diâmetro das “cordas de mexilhões” em Santa Catarina |
| E_P | Eficiência de processamento |
| F | Freqüência |
| F | Número de porções de mexilhões colocado por minuto |
| H | Distância horizontal |
| M_A | Total de mexilhões a serem processados |
| M_B | Massa de mexilhões adultos processados corretamente |
| M_C | Massa de mexilhões que não foram totalmente desgranados |
| M_D | Massa de mexilhões quebrados saídos junto aos processados corretamente |
| M_E | Massa de mexilhões pequenos (sementes) processados corretamente |
| M_F | Massa de mexilhões quebrados saídos junto às sementes |
| n_f | Número de porções de mexilhões presentes no interior do equipamento |
| P_Q | Percentual de quebras |
| R | Rotação da máquina |
| r_m | Produtividade das “cordas de mexilhões” em Santa Catarina |
| V | Distância vertical |
| V_c | Volume da corda de mexilhões |
| V_{cil} | Volume total do corpo da máquina |
| V_{mex} | Volume ocupado pelos mexilhões |
| V_{pmex} | Volume de mexilhões por porção colocada na máquina |

Sumário

Nesta tese são descritos os resultados obtidos no projeto modular de produtos para a mecanização de um grupo de processos durante o cultivo e o beneficiamento de mexilhões. O processo metodológico de projeto utilizado foi baseado no estado-da-arte dos processos de desenvolvimento de produtos modulares, combinando ferramentas de projeto tradicionais e inovadoras de forma a conceber uma metodologia dedicada a encontrar o mais alto grau de modularidade possível entre os processos em estudo. O foco central da metodologia proposta é a síntese e a análise das estruturas funcionais de cada processo, procurando similaridades explícitas e condicionais existentes entre suas funções elementares. Como consequência, grupos de funções comuns podem ser definidos, permitindo a implementação de um único princípio de solução para eles. A metodologia proposta também conta com recursos para a definição de módulos entre as funções elementares pertencentes a uma determinada tarefa e à definição das interfaces entre os módulos.

A metodologia proposta foi implementada no contexto do cultivo de mexilhões brasileiro, na qual Santa Catarina, localizada na região sul do Brasil, apresenta-se como o maior produtor, com cerca de 12.000 toneladas de mexilhões (*Perna perna*) por ano. Desde a introdução das técnicas de cultivo, ao final da década de 80, processos como a individualização dos mexilhões presos entre si por filamentos de bisso, a classificação por tamanho, limpeza, entre outras, são realizados manualmente, acarretando ferimentos e fadiga ao produtor e uma baixa produtividade ao processo. Neste sentido, desenvolveu-se um sistema modular composto por doze módulos básicos, cuja combinação permite a realização de oito tarefas distintas. Tal arquitetura permitirá aos produtores de mexilhões adquirirem somente os módulos que venham de encontro às suas necessidades individuais imediatas, bem como facilitará a atualização das configurações de módulos para a realização de outras tarefas conforme o crescimento de sua produtividade. Outra vantagem está na otimização de seus processos com a utilização de módulos auxiliares, com a possibilidade de realização simultânea de processos distintos em determinadas configurações de módulos. Protótipos para os módulos considerados como críticos foram desenvolvidos e testados, sendo sua performance considerada satisfatória, porém sendo propostas diversas melhorias no sentido de aperfeiçoar a eficiência, garantir a satisfação do produtor e, conseqüentemente, as vendas do produto.

Abstract

This thesis describes the results achieved from the modular system design of the mechanization of a group of processes performed during the mussels' farming and processing. The methodological design process employed was proposed based on the state-of-art of modular product development processes. This proposal uses traditional and innovative design tools combined into a design methodology dedicated to find the highest modularity level possible among the studied processes. The core of the proposed methodology is the synthesis and analysis of the functional structure of each process, looking for explicit and conditional similarities among their elementary functions. As a consequence, groups of common functions could be defined, allowing the implementation of a unique solution principle for them. The proposed methodology also has tools for finding modules among the elementary functions of each process and for optimization of modules interfaces.

The proposed methodology was implemented into the context of the Brazilian mussel culture, in which the main producer region is the State of Santa Catarina, located at the south of Brazil. Santa Catarina produces about 12,000 tm of mussels (*Perna perna*) per year, being responsible for almost total of Brazilian's production. Since the introduction of the mussel's culture techniques by the end of the 80's, processes like individualization of the mussels fixed by byssus filaments, classification by size, cleaning and all other tasks are carried out by human hands, resulting in injuries and fatigue to the producer and a low productivity of the process. Therefore, through the proposed methodology was developed a modular system composed by twelve basic modules whose combination can execute eight different tasks. This architecture will allow the producers purchase only the modules that fits to their immediate individual needs, easily upgrading it with few modules for performing new tasks. Another advantage achieved is the possibility to operate different tasks simultaneously and the optimization of the process performed by the employment of auxiliary modules. Modules' prototypes for the critical tasks studied were tested with one of most severe situations found in practice. The results were considered satisfactory, but some improvements were proposed to improve the efficiency and marketability of the product.



Introdução

“Uma nova tecnologia promete tornar-se significativa em um futuro próximo, em vista do crescente interesse pela oceanografia, das sempre maiores necessidades humanas e da exaustão dos recursos terrestres. A chamada aquíicultura aplica-se ao aproveitamento dos recursos do oceano na produção de alimentos, água, minerais e outros, para o uso do homem. A engenharia será solicitada a criar dispositivos, estruturas e processos para aproveitar aqueles recursos, que são praticamente inesgotáveis. O oceano já está proporcionando grandes quantidades de petróleo e de enxofre, graças a enormes estruturas construídas mar adentro para a sua extração. Para atividades de mineração, como também para a pesca comercial, aparecerão outras criações da engenharia destinadas à localização e a extrair recursos marinhos. No futuro, haverá uma expansão das indústrias dedicadas ao cultivo e à exploração desses recursos, as quais dependerão das contribuições de muitos engenheiros.” (KRICK, 1970).

Esse texto, originalmente publicado em 1965 nos Estados Unidos da América, foi uma previsão do autor sobre o futuro da aquíicultura, a qual tem-se mostrado cada vez mais acertada. Atualmente já estão se tornando comuns os cultivos comerciais de camarões, ostras, mexilhões e, dentre todos o mais conhecido, o de peixes. Um dos cultivos de mexilhões mais antigos está localizado na Espanha, possuindo em torno de 50 anos de prática comercial (NEIRA ET AL., 1990; FERREIRA & MAGALHÃES, 1997). No Brasil, os primeiros estudos sobre o cultivo de mexilhões foram iniciados na década de 70, por pesquisadores da Universidade de São Paulo, juntamente com o Instituto de Pesca de São Paulo e o Instituto de Pesquisas da Marinha (INSTITUTO NACIONAL PARA ESTUDOS DO MAR, 1985). Porém, os primeiros cultivos comerciais brasileiros só foram surgir em 1989/90, em Santa Catarina, graças a incentivos do LAMEX (Laboratório de Mexilhões do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Santa Catarina), Secretaria de Agricultura do Estado de Santa Catarina (através da ACARPESC e depois EPAGRI) e de comunidades de pescadores artesanais (FERREIRA & MAGALHÃES, 1997).

Segundo o CNPq (1998), a aqüicultura é um dos setores que tem apresentado maior crescimento no Brasil, tendo totalizado 52.195,6 toneladas de produtos no ano de 1997. Neste mesmo ano, conforme dados da EPAGRI (2000), Santa Catarina contribuiu com mais de 6.300 toneladas de mexilhões, valor este que corresponde a 12,3% de toda a produção de aqüicultura nacional. Apesar da grande participação do cultivo de mexilhões no âmbito da aqüicultura brasileira, a produção comercial de mexilhões no Brasil ainda não conseguiu atingir resultados semelhantes aos de países de maior tradição comercial.

1.1 Apresentação do Problema

Com base em um levantamento do estado da arte dos processos, operações e equipamentos utilizados no cultivo e industrialização de mexilhões em Santa Catarina e em outros locais de cultivo – dos quais destaca-se a Espanha, um dos maiores produtores mundiais de mexilhões – verificou-se que os processos utilizados em Santa Catarina são, em sua quase totalidade, dependentes do trabalho manual dos produtores, contando apenas com recursos artesanais e realizado de forma individual e em pequena escala. Também se observou que, em Santa Catarina, muitos dos processos realizados já se apresentavam como gargalos, limitando o potencial de crescimento de muitos produtores.

Neste sentido, para existir um crescimento efetivo do volume de mexilhões produzidos no estado, é necessário o aperfeiçoamento técnico do cultivo e não apenas o aumento do número de produtores, sendo a mecanização do cultivo apontada como uma solução pelos próprios produtores. No entanto, a importação e introdução direta de máquinas não é interessante tanto do ponto de vista técnico, dada a existência de diferenças entre as espécies cultivadas, quanto do econômico, devido aos altos custos ligados à sua importação, sendo necessário o desenvolvimento de equipamentos adequados à realidade do cultivo e da espécie catarinense.

1.2 Relevância e Contribuições do Trabalho

Desde a implantação das técnicas de cultivo em Santa Catarina em 1989, mais de 10 anos se passaram, em muitos dos quais sendo observadas elevadas taxas de crescimento da produção de mexilhões. No entanto, tal crescimento está mais relacionado ao aumento do número de produtores e da área cultivada do que de com ganhos de produtividade provenientes de melhorias no processo de cultivo e beneficiamento. Neste sentido, torna-se imprescindível o desenvolvimento da mecanização dos processos do cultivo e do beneficiamento de mexilhões para a consolidação desta atividade como indústria.

O desenvolvimento do cultivo de mexilhões em Santa Catarina, além de ser estratégico para a consolidação do Estado como maior produtor nacional, também possui

um interessante aspecto social a ser considerado. Conforme levantado em ROSA (1997), o perfil do produtor de mexilhões pode ser caracterizado como um profissional de baixa escolaridade, nível social e recursos, sendo o cultivo de mexilhões ou pesca artesanal suas principais fontes de renda. A introdução de novas tecnologias e o conseqüente aumento de produtividade levará à criação de novos postos de trabalho, tanto no cultivo quanto no beneficiamento de mexilhões e, num futuro próximo, também numa indústria para o fornecimento de insumos e serviços para o cultivo de mexilhões.

As contribuições deste trabalho, entretanto, não ficam restritas somente a aspectos ligados ao cultivo de mexilhões. Todo o projeto de produtos para a mecanização das operações realizadas no cultivo de mexilhões se deu com base em um processo metodológico de projeto de produtos modulares. A opção por se modularizar os equipamentos se deve, primeiramente, ao grande número de operações que poderiam possuir interesse imediato na mecanização (13 ao início do projeto), bem como pela necessidade e o interesse em se desenvolver simultaneamente tais processos. Neste sentido, pôde colaborar através da elaboração de uma proposta de metodologia que permite uma melhor organização das ferramentas e técnicas de projeto existentes de forma a se obter uma maior modularização entre diferentes processos.

Ressalta-se também a importância da cooperação, resultante desta pesquisa, entre as áreas de aqüicultura, biologia e engenharia, evidenciada pela parceria firmada entre o NeDIP (Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC) e o LCMM (Laboratório de Cultivo de Moluscos Marinhos do Departamento de Aqüicultura da UFSC). Outra parceria de grande importância também foi firmada entre o NeDIP e o SENAI/SC (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial), combinando duas entidades reconhecidas por sua forte atuação em duas áreas afins: o projeto e a manufatura de produtos. Estas parcerias poderão ser o ponto de partida para novos trabalhos na área de aqüicultura, já que existem outros processos passíveis de mecanização e outras formas de cultivos de produtos aquáticos ainda carentes de mecanização.

1.3 Objetivos

O objetivo principal desta pesquisa foi o desenvolvimento de equipamentos para a mecanização de processos realizados durante cultivo e o beneficiamento de mexilhões. No entanto, de forma a focar os esforços de projeto a serem realizados, também se estipulou algumas metas secundárias a serem atendidas:

1. Procurar desenvolver os produtos segundo as necessidades dos produtores, enfocando principalmente os produtores de pequeno e médio porte. Desta forma, pretende-se

garantir uma transição mais igualitária dos métodos artesanais para a mecanização do cultivo de mexilhões.

2. Colaborar com o desenvolvimento do processo metodológico e das técnicas de projeto de produtos modulares.

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho contém, além deste, outros sete capítulos. No Capítulo 2 é apresentado o levantamento bibliográfico sobre as técnicas de cultivo de mexilhões empregadas mundialmente, sendo analisados o desempenho da produção catarinense neste contexto e as características técnicas empregadas localmente.

Dando continuidade ao trabalho, será apresentado no Capítulo 3 o levantamento do estado da arte das metodologias de projeto de produtos modulares e a metodologia a ser adotada no projeto de produtos para o cultivo de mexilhões. A aplicação desta metodologia e seus resultados são divididos pelos três capítulos seguintes, os quais abordam o Projeto Informacional (Capítulo 4), o Projeto Conceitual (Capítulo 5) e o Projeto Preliminar e Detalhado (Capítulo 6) de produtos para o cultivo de mexilhões.

Finalizando o trabalho, no Capítulo 7 deste documento será apresentada a validação do projeto através de testes dos produtos desenvolvidos em condições críticas de uso. Numa análise final do trabalho, será realizada no Capítulo 8 uma avaliação dos resultados obtidos em relação aos objetivos iniciais do projeto. Este documento também conta com três anexos, dois em texto, para a apresentação das matrizes de Pugh confeccionadas durante o Projeto Conceitual dos equipamentos e da planilha de levantamento de custos para a confecção dos protótipos, e outro, em CD, contendo os desenhos usados para a confecção do protótipo e das modificações propostas após os testes dos equipamentos.

2

Estudo do Cultivo e Beneficiamento de Mexilhões

Conforme descrito em CAMACHO & CASASBELLAS (1991) e em NEIRA ET AL. (1990), a origem do cultivo de mexilhões é atribuída a Patrick Walton, único sobrevivente do naufrágio de um navio irlandês nas costas francesas em 1235. Com a intenção de capturar aves marinhas que lhe serviriam de alimento, o marinheiro fincou na praia alguns pedaços de madeira, estendendo uma rede por sobre elas e, em pouco tempo, observou que pequenos mexilhões acabavam por cobrir as estacas. Desde então, os cultivos deste molusco sobre estacas se espalharam por toda a costa francesa. Porém, somente em meados do século XIX os cultivos de mexilhões passaram a adquirir importância significativa, tanto na França, quanto em países europeus como a Holanda e Itália.

Ao contrário de países europeus, tais como Espanha, França e Holanda, o cultivo de mexilhões é uma atividade recente no Brasil, cujos primeiros estudos datam da década de 1960, representando uma transição do extrativismo de subsistência para o extrativismo comercial (LCMM, 2000-a). Porém, as idéias iniciais sobre o cultivo de mexilhões se deram na década de 70, por pesquisadores da Universidade de São Paulo, Instituto de Pesca de São Paulo e Instituto de Pesquisas da Marinha (RJ), cujos esforços foram focados no desenvolvimento e adaptação de tecnologias (FERREIRA & MAGALHÃES, 1997). O cultivo de mexilhões como atividade comercial iniciou-se em Santa Catarina ao final da década de 80, através de uma parceria formada entre a Universidade Federal de Santa Catarina e órgãos estaduais (EPAGRI e ACARPESC), os quais desenvolveram e levaram a tecnologia de cultivo às comunidades pesqueiras do Estado (LCMM, 2000-a).

Neste capítulo, serão descritos aspectos relacionados à biologia, cultivo e potencialidades de mercado para o cultivo e beneficiamento dos mexilhões.

2.1 O Mexilhão

Conforme descrito por FERREIRA & MAGALHÃES (1997), mexilhão é o termo utilizado para denominar as diversas espécies de moluscos bivalves da família Mytilidae,

sendo os gêneros mais comuns o *Mytilus*, *Perna* e *Mytella*. Esses animais são muito abundantes no litoral brasileiro, vivendo principalmente fixos aos costões rochosos, na região de variação de marés e início do infralitoral, formando densas populações. As espécies brasileiras mais comuns são:

| | |
|-----------------------------|---|
| mexilhão, marisco | <i>Perna perna</i> |
| sururu | <i>Mytella falcata</i> (= <i>charruana</i>) |
| bacucu | <i>Mytella guyanensis</i> |
| mexilhão da Patagônia | <i>Mytilus edulis platensis</i> |
| mexilhão dos tolos | <i>Brachidontes solisianus</i> |
| mexilhão dos tolos | <i>Brachidontes darwinianus</i> (= <i>exustus</i>) |

Conforme citado por MAGALHÃES (1998), o *Perna perna* – espécie cultivada em Santa Catarina – ocorre da Venezuela até o Uruguai, porém, sua população é muito mais abundante no trecho entre o Espírito Santo até Santa Catarina. O *Perna perna*, segundo dados disponibilizados pelo LCMM (2000-a), também é encontrado do Mar Vermelho até a África do Sul (costa Índica) e da África do Sul à Tunísia, no mediterrâneo (costa Atlântica).

Muitos moluscos, principalmente os bivalves, se alimentam por filtração da água, graças ao movimento ciliar de células das brânquias, sendo o fitoplâncton o principal componente de sua dieta. Após a fase larval planctônica, os animais se fixam aos substratos – naturais ou não – através de filamentos denominados bisso, uma substância protéica secretada por um conjunto de glândulas no interior do pé do animal (Figura 2.1), que se polimeriza em contato com um produto de glândulas de fenol e a própria água do mar, ocorrendo inicialmente em estruturas filamentosas como algas, passando depois a uma fixação secundária a um substrato rígido (FERREIRA & MAGALHÃES, 1997).

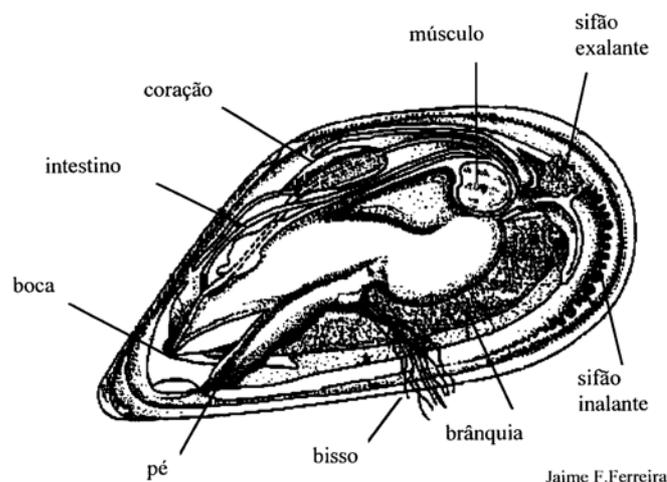


Figura 2.1 – Aspecto da anatomia interna do mexilhão (FERREIRA & MAGALHÃES, 1997).

Cada uma das espécies de mexilhões produz um bisso com características físicas próprias, existindo alguns relativamente frágeis e outros notadamente mais resistentes. Na Espanha, a espécie cultivada produz um bisso de baixa resistência, caracterizada pela facilidade de se liberar os mexilhões das cordas de cultivo apenas ondulando-se sucessivamente as cordas até a total liberação dos mexilhões (NEIRA ET AL., 1990). Já em Santa Catarina, a espécie cultivada (*Perna perna*) possui uma maior resistência do bisso (a soltura dos mexilhões é usualmente praticada manualmente), sendo este um fator que vem dificultar a introdução direta de muitas das máquinas utilizadas no cultivo espanhol.

O crescimento dos mexilhões depende de diversos fatores, tais como, o ambiente de cultivo, a temperatura, a circulação de água e a densidade de indivíduos em uma determinada área, todos eles afetando, fundamentalmente, a quantidade e a qualidade do alimento disponível e da eficiência de ingestão e digestão. Valores de salinidade entre 0,34‰ e 0,36‰ e temperaturas entre 21°C e 28°C são considerados valores ótimos e o cultivo em locais abrigados, longe de fortes correntes, ondas e vento, considerados aconselháveis, apesar dos mexilhões serem notavelmente resistentes ao batimento das ondas em ambiente natural (LCMM, 2000-a).

Os mexilhões de cultivo apresentam uma taxa de crescimento mais elevada do que os de estoques naturais, devido ao fato de permanecerem constantemente submersos, filtrando a água do mar e, portanto, respirando e se alimentando, enquanto os de costões estão submetidos às variações de maré (FERREIRA & MAGALHÃES, 1997). Os padrões de crescimento de diversas espécies de mexilhões de cultivo são apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Crescimento de espécies de mexilhões em diferentes locais de cultivo.

| Espécie | Local | Crescimento (cm) | Tempo (meses) |
|----------------------------|--------------------------|------------------|---------------|
| <i>Mytilus edulis</i> | Espanha | ~0 – 5.0 | 07 |
| <i>Mytilus edulis</i> | Holanda | ~0 – 6.3 | 36 |
| <i>Mytilus edulis</i> | França | ~0 – 4.5 | 24 |
| <i>Aulacomya ater</i> | Chile | 3.5 – 15 | 17 |
| <i>Choromytilus chorus</i> | Chile | 2.0 – 7.0 | 06 |
| <i>Mytilus chilensis</i> | Chile | 2.7 – 5.0 | 10 |
| <i>Mitilus platensis</i> | Argentina | ~0 – 4.8 | 24 |
| <i>Perna Perna</i> | Venezuela | 0.5 – 7.4 | 07 |
| <i>Perna Perna</i> | África do Sul | ~0 – 7.5 | 12 |
| <i>Perna Perna</i> | Congo | ~0 – 4.0 | 02 |
| <i>Perna Perna</i> | Brasil – RJ ¹ | 3.3 – 6.9 | 09 |
| <i>Perna Perna</i> | Brasil – RJ ¹ | 3.3 – 9.2 | 12 |
| <i>Perna Perna</i> | Brasil – RJ ¹ | 3.7 – 7.9 | 07 |
| <i>Perna Perna</i> | Brasil – SC | 3.1 – 7.5 | 06 – 09 |

FONTE: FERREIRA & MAGALHÃES (1997).

¹ Corresponde a diferentes localidades do litoral do estado.

2.2 O Processo de Cultivo de Mexilhões

O cultivo de mexilhões pode ser designado de diversas formas: (1) Mitilicultura é o termo usado para descrever o cultivo de moluscos marinhos da família dos mitilídeos, dentre os quais incluem-se os mexilhões; (2) Maricultura, no entanto, refere-se especificamente ao cultivo de mariscos, nome popular dado aos mexilhões em Santa Catarina (EPAGRI, 2000). Por consequência, os termos miticultor e maricultor são usados para designar, respectivamente, aqueles que praticam a mitilicultura e a maricultura. Neste trabalho, no entanto, serão usados os termos “cultivo de mexilhões” e “produtor” para designar, respectivamente, a atividade de criação do *Perna perna* e aqueles que a realizam.

O processo de cultivo de mexilhões pode ser dividido em quatro fases distintas: a obtenção de sementes, o encordoamento ou ensacamento, o crescimento e engorda e o desdobre. A estas fases, também se pode incluir o beneficiamento, realizado após o desdobre, conforme ilustra o fluxograma da Figura 2.2. Estas fases serão descritas nos tópicos a seguir.

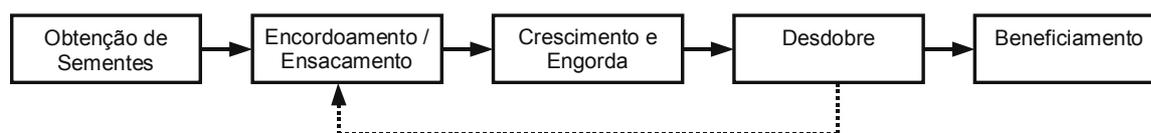


Figura 2.2 – O cultivo de mexilhões.

2.2.1 A Obtenção de Sementes

Segundo definido por FERNANDES (1985), no cultivo de mexilhões semente é o jovem mexilhão utilizado para crescimento ou engorda. Seu tamanho varia dependendo do local e método de obtenção, porém, podendo-se considerar animais entre 2 e 3 cm de comprimento. Existem três formas básicas de obtenção de sementes de mexilhões. São elas:

1. **Produção em laboratório, após fecundação induzida e criação das larvas até a fixação.** É o método mais indicado em termos de eficiência, garantia de produção e menor impacto sobre as populações naturais, porém é o que apresenta maior custo e necessita de uma tecnologia mais elaborada.
2. **Extração monitorada a partir de estoques naturais.** Este procedimento necessita o conhecimento amplo e preciso dos estoques naturais da espécie na região de cultivo, da reprodução destes animais e da recuperação dos estoques após a exploração, bem como da capacidade de suporte que estes estoques apresentam.
3. **Utilizando-se coletores de sementes, pela captura direta de larvas no plâncton.** Este sistema é largamente empregado em diversos países, sendo a forma mais correta e

econômica de solucionar a questão de obtenção de sementes de mexilhões. Para a confecção destes coletores, pode-se utilizar uma série de materiais e formas, sendo os comumente empregados listados a seguir (ARAÚJO, 1994):

- **Redes de pesca:** coletores normalmente confeccionados com um pano de rede de 20 a 30 cm de largura, enrolado formando uma corda. Pode ser colocado horizontalmente ou verticalmente em relação à superfície da água, sendo observadas profundidades de captação até dois metros no litoral de Santa Catarina, porém obtendo-se melhores resultados em até 50 centímetros. Esse sistema apresenta baixo custo, pois permite o reaproveitamento de redes de pesca já em desuso e sua utilização para crescimento e engorda, devido à baixa captação de outros organismos.
- **Bambu:** pode ser utilizado na forma de estacas enterradas no fundo formando um tipo de parede de bambu (Tailândia). Apesar de seu baixo custo, o bambu tem como desvantagens sua curta duração na água, a necessidade de se cortar o bambu das matas, encharcamento após um certo tempo no mar e a captação de uma grande quantidade de outros organismos.
- **Plástico:** esse tipo de material tem apresentado excelentes resultados, podendo ser utilizados chapas, bombonas e tubos de PVC. As grandes vantagens em sua utilização são a possibilidade de reaproveitamento e sua durabilidade. Outras vantagens apresentadas são o baixo peso e a possibilidade de fazer parte do próprio sistema de cultivo, reduzindo o espaço para sua instalação e manejo.

2.2.2 Encordoamento

Uma vez de posse das sementes, dependendo do método de cultivo adotado, faz-se necessário colocá-las em *cordas de mexilhões* para crescimento e engorda. Existem diferentes maneiras e materiais que podem ser utilizados para a confecção destas cordas, dependendo do país, da espécie cultivada, da disponibilidade de materiais e do investimento que se pretende fazer. Os principais sistemas de encordoamento, ou ensacamento, são classificados como sistema francês e sistema espanhol, cada qual com suas variações.

Segundo FERREIRA & MAGALHÃES (1997), no **sistema espanhol** enrolam-se as sementes ao redor de um cabo central com o auxílio de uma bandagem de algodão ou rayon (sintética) bem fina e pouco resistente (Figura 2.3). Essa malha é passada duas a três vezes em cada corda, prendendo os mexilhões firmemente ao cabo central e evitando o escorregamento durante os primeiros dias no sistema de cultivo. Uma vez na água, a malha de algodão se dissolve em cerca de uma semana, momento em que os mexilhões já se encontram fixos ao cabo central e uns aos outros pelos filamentos de bisso.

Esse sistema praticamente só é empregado na Espanha, para sementes novas, pequenas e provenientes de estoques naturais, existindo profissionais especialmente treinados nessa etapa do processo. Segundo LCMM (2000-a), na Espanha as cordas

confeccionadas por este processo possuem comprimento padrão de doze metros e possuem, a cada cinqüenta centímetros de corda, um palito de madeira ou de plástico (30x5cm) entremeando transversalmente a corda, evitando seu rompimento quando os animais já estiverem grandes. Alternativamente a este processo, tem-se o uso de uma rede tubular de algodão, ao invés da tradicional bandagem, tornando o processo mais adequado à sua mecanização, conforme ilustrado na Figura 2.4, sendo esta alternativa somente empregada para sementes de desdobre.



Figura 2.3 – Bandagem de algodão utilizada no método espanhol (NEIRA ET AL., 1990).



Figura 2.4 – Encordoamento mecanizado utilizando rede tubular de algodão (CAMACHO & CASABELLAS, 1991).

Em outro método de encordoamento citado por FERREIRA & MAGALHÃES (1997), o **sistema francês**, os mexilhões são ensacados em redes, sendo utilizado no Brasil um conjunto de duas redes tubulares, formando dois sacos de rede, um dentro do outro. A primeira rede é de algodão que apodrece em aproximadamente uma semana, permitindo a passagem dos animais para a rede externa confeccionada em náilon, a qual servirá de substrato para a fixação dos mexilhões. Como saco externo pode-se utilizar redes de fios monofilamento, sendo os mais adequados os de 3 a 4mm e de malhas de 4 a 7cm, podendo também utilizar redes de pesca descartadas. As cordas, neste sistema, podem atingir

diversos tamanhos, dependendo da espécie cultivada e do local do cultivo (França – 4 a 6 metros; Chile – 8 metros; Nova Zelândia e Estados Unidos – 4 a 6 metros; Brasil – 1 a 3 metros).

É importante destacar que, dependendo da região de cultivo e da origem da semente a ser encordoada, os processos de encordoamento podem sofrer variações, não somente em relação ao comprimento e diâmetro das cordas confeccionadas, mas também quanto ao uso, ou não, da rede tubular de algodão. Por exemplo, no caso do produtor de mexilhões optar pelo encordoamento de sementes em “pencas” (mexilhões fixos uns aos outros, tal qual os obtidos em costões), pode-se eliminar o uso da rede de algodão, uma vez que a rede de náilon possui orifícios de tamanho inferior ao da penca. Conforme levantado junto aos produtores, a prática de encordoamento em pencas é freqüente em Santa Catarina, sendo também praticada na Espanha (CASAS & CASABELLAS, 1991).

2.2.3 O Crescimento e Engorda

Segundo FERREIRA & MAGALHÃES (1997), nos últimos séculos, o cultivo de mexilhões desenvolveu-se de diferentes maneiras, adequando-se às espécies, à geografia e à cultura dos produtores das diferentes regiões de cultivo. Neste contexto, cada região acabou por possuir um sistema com características próprias para o crescimento e engorda dos mexilhões. Porém, as variações existentes podem ser classificadas conforme quatro sistemas distintos: (1) cultivo de fundo, (2) estacas, (3) cultivo suspenso fixo e (4) cultivo suspenso flutuante, o qual pode ser dividido em balsas e espinheis. Cada um destes sistemas será descrito sucintamente a seguir.

O **cultivo de fundo** consiste em um sistema de engorda utilizado na Holanda, Alemanha e Dinamarca, sendo realizado em local de fundo rochoso em canais de grande circulação. Neste processo depositam-se as sementes no fundo e, após concluído seu desenvolvimento, os mexilhões são retirados com o auxílio de barcos especialmente construídos, onde um equipamento semelhante a uma draga raspa o fundo e deposita os mexilhões em tanques com água do mar localizados nos próprios barcos (Figura 2.5).

O sistema de engorda em **estacas (ou “bouchots”)** é praticado quase que exclusivamente na França, em locais de fundo lodoso, mar calmo e grande variação de maré (até 11m), o que inviabiliza a utilização de outros métodos e expõem os mexilhões ao ar por grandes períodos de tempo. Neste processo utilizam-se estacas de madeira de 20cm de diâmetro e de 3 a 4m de comprimento, as quais são enterradas em cerca de 1m no fundo (Figura 2.6).

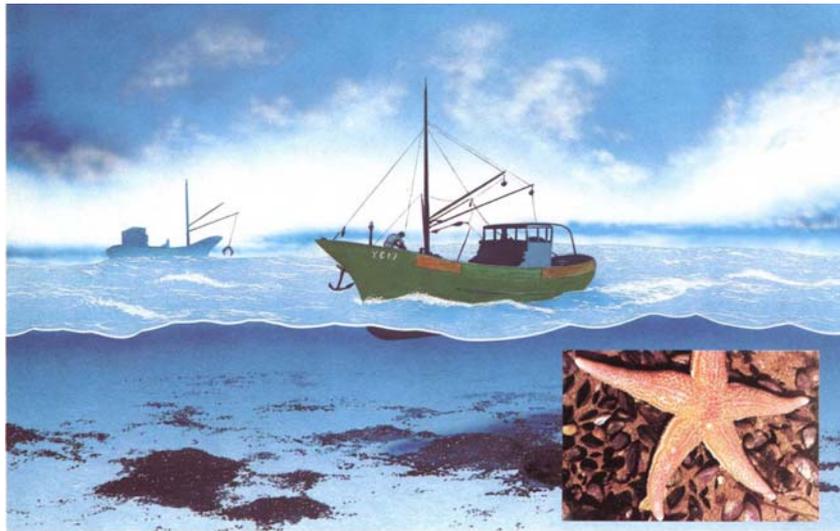


Figura 2.5 – Cultivo de fundo (NEIRA ET AL., 1990).



Figura 2.6 – Cultivo por estacas ou bouchots (NEIRA ET AL., 1990).

O **sistema suspenso fixo** de engorda é geralmente praticado em locais rasos (até 4m de profundidade), com mar calmo e próximo à costa ou praias de fundo inconsolidado, areno-lodoso. Neste método utilizam-se estruturas de bambu (Brasil, Tailândia e Congo), canos de metal galvanizado (Congo), tubos de PVC preenchidos com concreto (Brasil) e até trilhos de trem (Itália). São construídos dois tipos básicos de estruturas:

- **Barreiras:** utilizadas na Tailândia, constituem-se de estruturas de bambu enterradas no fundo, lado a lado, formando uma “paliçada”, na qual são capturadas larvas que aí crescem e engordam.
- **Varais:** são construídos com estacas enterradas no fundo e outras, na parte superior, colocadas em paralelo à superfície da água, onde são amarradas cordas de cultivo.

Os **espinheis** e as **balsas**, sistemas de cultivo flutuantes, são os meios mais empregados em cultivos comerciais no mundo, sendo largamente difundidos desde a Ásia (China e Malásia), Europa (principalmente Espanha e França), até as Américas (Canadá, Estados Unidos, Chile, Venezuela e Brasil). São praticados em profundidades de 4 a 40m, normalmente em locais abrigados (baías ou enseadas). Os sistemas são presos ao fundo por poitas ou âncoras. Em ambos os casos, são presas à estrutura cordas de cultivo de 1 a 12m de comprimento, dependendo da profundidade e espécie trabalhada.

Os **espinheis (ou longlines)** são confeccionados, basicamente, com flutuadores (de plástico, fibra ou poliuretano) de volume entre 20 e 200 litros, mantidos na superfície do mar e amarrados em linha por um cabo mestre no qual são penduradas as cordas de cultivo (Figura 2.7). Dependendo da região de cultivo o tamanho dos espinheis pode variar, mas, geralmente, não ultrapassam 100m, sendo que os cabos mestres podem ser simples ou duplos (amarrados em paralelo nas extremidades dos flutuadores).



Figura 2.7 – Espinheis ou Longlines (NEIRA ET AL., 1990).

As **balsas** variam muito de tamanho, podendo ir de 30-50 m² (Brasil), 60-90m² (Chile, Canadá, Estados Unidos, China) até 500 m² (Espanha). Geralmente são construídas em madeira (Figura 2.8), porém o método de construção varia muito, até mesmo em um único local de cultivo. Os sistemas de flutuação empregados também variam: bombonas plásticas (200 litros – Brasil); placas de poliuretano rígido (Canadá, Chile); flutuadores de madeira de compensado naval, cobertos com resina e preenchidos por poliuretano expandido (Brasil); tambores metálicos comuns; tambores metálicos revestidos de resina (Espanha); outros.

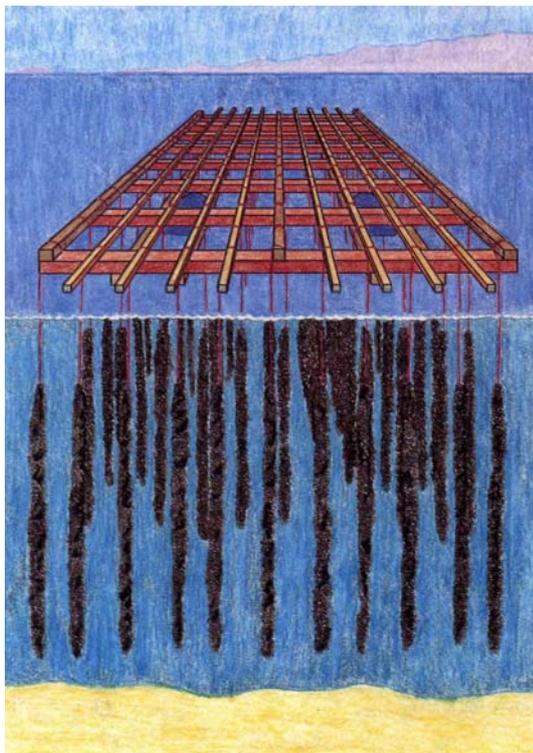


Figura 2.8 – Cultivo por Balsas (CASAS & CASABELLAS, 1991).

2.2.4 Desdobre

Nesta fase são refeitas as cordas de mexilhões, quando estas apresentarem uma densidade muito elevada devido às condições de ensacamento e/ou fixação extra de sementes. Normalmente executado após quatro a seis meses, ou após os mexilhões atingirem um comprimento em torno de cinco centímetros, este procedimento permite uma maior homogeneidade, já que os mexilhões são selecionados e encordoados novamente, segundo classes de tamanho, além de permitir a limpeza dos cultivos pela remoção de incrustações e organismos associados (FERREIRA & MAGALHÃES, 1997). A Espanha encontra-se entre os países que comumente realizam o processo de desdobre durante processo de engorda. Em países onde o tamanho de comercialização é pequeno, não é comum realizar o desdobre.

2.2.5 O Beneficiamento dos Mexilhões

O beneficiamento dos mexilhões corresponde às atividades realizadas em unidades de beneficiamento visando a comercialização do produto em larga escala. Depois de processados os mexilhões em seus locais de cultivo, estes são encaminhados a estas unidades onde são limpos, cozidos, desconchados, embalados para venda e congelados. O processo de beneficiamento realizado em Santa Catarina será descrito mais detalhadamente no tópico 2.5 deste trabalho.

2.3 O Panorama Mundial do Cultivo de Mexilhões

Segundo FERREIRA & MAGALHÃES (1997), a atividade de cultivo comercial de mexilhões foi estabelecida na Espanha, no início da década de 1940. Desde então, a Espanha tem sido considerada o maior produtor mundial, superada somente ao final da década de 1980, quando se passou a conhecer mais detalhadamente a produção chinesa. Durante este período, o cultivo comercial se espalhou pela Europa (França, Holanda, Itália), seguindo para Ásia (Tailândia, China), Nova Zelândia e América do Sul (Venezuela, Chile, Brasil). Os números apresentados pelos 22 maiores produtores mundiais de mexilhões são apresentados na Tabela 2.2, segundo dados da *Food and Agriculture Organization* (FAO, 2002), um órgão das Nações Unidas.

Tabela 2.2 – Panorama mundial da evolução da produção de mexilhões entre os anos de 1998 e 2000.

| País | Espécies | Sistema de cultivo ^b | Produção Total (t) ^{a,c} | | |
|-------------------------------|---|---------------------------------|-----------------------------------|---------------|--------------------------|
| | | | 1998 | 1999 | 2000 |
| 1. China | <i>Mytilidae</i> | Longline, balsa | 540.901 | 608.115 | 534.503 |
| 2. Espanha | <i>Mytilus edulis</i> | Balsa | 261.146 | 261.996 | 247.730 |
| 3. Itália | <i>Mytilus galloprovincialis</i> | Longline, fixo | 128.963 | 129.876 | 136.000 |
| 4. Dinamarca | <i>Mytilus edulis</i> | Fundo | 108.329 | 96.215 | 110.618 |
| 5. Nova Zelândia | <i>Perna canaliculus</i> <i>Mytilidae</i> | Longline | 75.664 | 73.977 | 80.467 |
| 6. França | <i>Mytilus edulis</i> <i>Mytilus galloprovincialis</i> | Estacas, longline | 63.933 | 72.087 | 76.676 |
| 7. Holanda | <i>Mytilus edulis</i> | Fundo | 113.185 | 100.800 | 66.800 |
| 8. Tailândia | <i>Perna viridis</i> | Estacas | 56.942 | 80.300 | 61.200 |
| 9. Canadá | <i>Mytilus edulis</i> | Longline | 25.291 | 28.962 | 35.716 |
| 10. Chile | <i>Aulacomya ater</i> <i>Choromytilus chorus</i> <i>Mytilus chilensis</i> | Balsa, longline | 25.335 | 26.870 | 35.012 |
| 11. Irlanda | <i>Mytilus edulis</i> | Fundo, longline, balsa | 20.051 | 16.614 | 26.713 |
| 12. Alemanha | <i>Mytilus edulis</i> | Fundo | 31.213 | 37.912 | 24.122 |
| 13. Republica da Coréia | <i>Mytilus coruscus</i> <i>Mytilidae</i> | Longline | 25.710 | 23.227 | 18.641 |
| 14. Reino Unido | <i>Mytilus edulis</i> | Fundo, balsa | 20.390 | 17.507 | 18.575 |
| 15. Filipinas | <i>Perna viridis</i> | Estacas | 15.555 | 15.498 | 16.974 |
| 16. Peru | <i>Aulacomya ater</i> | Sem informação | 15.106 | 14.612 | 13.370 |
| 17. Malásia | <i>Perna viridis</i> | | 986 | 9.764 | 11.069 |
| 18. Grécia | <i>Mytilus galloprovincialis</i> | Balsa, longline | 20.924 | 32.772 | 10.241 |
| 19. Estados Unidos da América | <i>Mytilidae</i> <i>Mytilus edulis</i> | Fundo, longline, balsa | 6.144 | 5.426 | 9.028 |
| 20. Brasil | <i>Mytilidae Perna perna</i> | Fixo, longline | 8.979 | 10.416 | 7.620^d |
| 21. Singapura | <i>Perna viridis</i> | | 2.640 | 2.358 | 2.898 |
| 22. Austrália | <i>Mytilus planulatus</i> | | 1483 | 1693 | 1.771 |

FONTES: ^a FAO (2002); ^b FERREIRA & MAGALHÃES (1997); ^c Inclui cultivos de água doce, salobra, marinha e coleta; ^d Existe uma grande diferença entre os valores oficiais do Brasil e os presentes na base da FAO, no entanto tal organização é a melhor referência encontrada para se observar o panorama mundial.

Como se pode constatar, a China, o maior produtor mundial, apresenta praticamente o dobro da produção do segundo colocado, a Espanha. No entanto, a produção espanhola é caracterizada por uma vocação exportadora, comprovada comparando-se o volume de mexilhões exportados por estes dois países em 2000, quando a Espanha foi responsável pela comercialização de 25.961 t de mexilhões e a China de apenas 14.714 t (FAO, 2002). A situação brasileira no contexto mundial é bem mais modesta. Atualmente o país apresenta-se como vigésimo produtor mundial, atrás de países como os Estados Unidos da América e Malásia. No entanto, considerando-se os dados disponibilizados pela EPAGRI (2002), com uma produção aproximando-se de 12.000 t, o Brasil poderia ser posicionado como 17º produtor mundial de mexilhões.

Dada sua posição no panorama mundial de mexilhões e por se tratar de uma importante referência histórica e comercial do cultivo de mexilhões, serão tratados, no tópico a seguir, alguns dos principais aspectos do cultivo de mexilhões na Espanha, os quais serão utilizados como elementos de comparação dos procedimentos adotados em Santa Catarina para o cultivo de mexilhões, a serem apresentados na seqüência.

2.4 O Cultivo de Mexilhões na Espanha

A Galícia é a principal região produtora da Espanha, sendo responsável por 97,55% da produção espanhola e pelo equivalente a 45% de toda a produção da União Européia (VARONA, 2000-a). Segundo NEIRA ET AL. (1990), grande parte do sucesso do cultivo de mexilhões na Galícia se deve aos esforços de Alfonso Ozores Saavedra. Foi ele, em 1945, o responsável por introduzir na região um primeiro artefato flutuante composto de um único flutuador. Já em 1946 foram instaladas as 10 primeiras balsas, cuja área era de 125m² e chegava a suportar 400 cordas. Atualmente, as balsas são padronizadas em 500m² e chegam a ter 500 cordas, limitadas a 12 m de comprimento.

A estrutura da produção de mexilhões na Galícia está baseada em minifúndios familiares, que contam com uma média de uma a três balsas sob seu controle. Esta situação confere um caráter social ao cultivo, porém leva a um problema de rentabilidade e gera dificuldades para a modernização. Visando contornar estes problemas e reduzir os elevados custos de manutenção dos barcos e maquinários, os produtores espanhóis acabaram por optar pelo associativismo, sendo os primeiros esforços neste sentido, realizados ainda na década de setenta (NEIRA ET AL., 1990).

O cultivo de mexilhões na Espanha é abastecido, predominantemente, por sementes provenientes de rochas e de cordas coletoras presas às balsas para engorda, as quais não são maiores do que 8 m e possuem um peso em sua extremidade. Segundo CAMACHO & CASASBELLAS (1991), a maior parte das balsas se utilizam exclusivamente de sementes provenientes das rochas, sendo que apenas uma pequena parte (aproximadamente 10%)

emprega sementes exclusivamente de coletores. NEIRA ET AL. (1990) afirmam que grande parte do sucesso do cultivo de mexilhões na Galícia se deve a abundância de sementes.

As sementes são encordoadas pelo método espanhol sobre os próprios sistemas de cultivo (balsas), tal qual ilustrado na Figura 2.9, onde se observa a realização mecanizada do processo. No entanto, conforme descrito por CASAS & CASASBELLAS (1991), este trabalho era realizado manualmente, com o auxílio de um equipamento denominado “carro”, o qual era constituído por uma caixa, colocada à altura do tronco do operador, contendo um cilindro em sua extremidade no qual era enrolada a corda durante o encordoamento.



Figura 2.9 – Encordoamento mecanizado – desdobradora (NEIRA ET AL., 1990).

O processo de içado das cordas do cultivo é feito por barcos especiais, providos de cestos manobrados por guindastes hidráulicos, os quais impedem a perda de mexilhões durante a retirada da corda das balsas, tal qual no processo ilustrado na Figura 2.10. Uma vez dentro dos barcos, os mexilhões são soltos de suas cordas através de movimentos bruscos, resultando na liberação total dos mexilhões devido à baixa resistência do bisso produzido pela espécie espanhola. Segundo CASAS & CASASBELLAS (1991), a primeira vez em que se sobe a corda recebe a denominação de *dobre* ou *primeira volta da cria*. Neste processo, mais que classificar os moluscos, procura-se limpar as cordas e os mexilhões, ainda jovens, principalmente nos casos de sementes obtidas de rochas, devido à possibilidade mais acentuada de existência de parasitas e predadores. Não é freqüente passar as sementes obtidas nesta fase pelas mesas classificadoras.

A segunda vez em que os mexilhões são retirados da corda recebe o nome de *desdobre*. Neste caso, faz-se necessário uma classificação eficaz do mexilhão, sendo as medidas normais de desdobre atingidas quando o mexilhão alcança entre 2 e 4 centímetros.

Para colaborar com a seleção dos mexilhões, os espanhóis têm disponíveis *mesas classificadoras* (Figura 2.11), compostas de grades que permitem apenas a passagem de mexilhões abaixo do tamanho comercial, os quais são encordoados novamente e devolvidos para os sistemas de engorda.

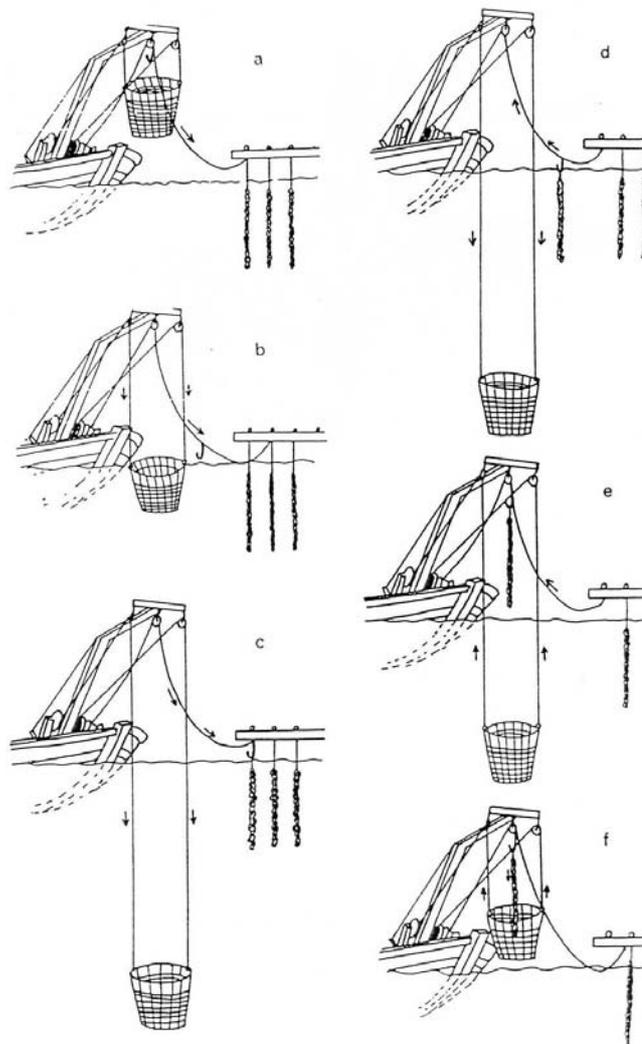


Figura 2.10 – Processo de coleta de cordas de mexilhões na Espanha (WILSON & FLEMING, 1989).

Além dos equipamentos já citados, NEIRA ET AL. (1990) também descrevem outros de grande importância para o cultivo de mexilhões espanhol. A *desgranadora* tem por missão a separação dos mexilhões de suas penclas, ao mesmo tempo em que os limpa da flora e fauna associada e executa uma classificação por tamanho. A *empalitada* (Figura 2.12) é utilizada na colocação de hastes entre os vãos nas cordas de mexilhões, confeccionadas por três cabos de redes enrolados e entrelaçados, garantindo uma melhor sustentação para os mexilhões, além de ampliar a área de fixação.

Nos princípios do cultivo de mexilhões, durante as décadas de 50 e 60, a produção era planejada para venda *in natura*, que era a alternativa mais rentável (CASAS & CASASBELLAS, 1991). Atualmente, na Galícia, das 292.479 toneladas produzidas em 1999, 224.984 foram comercializadas, em uma proporção de 55% para venda *in natura* e 45% para transformação, gerando uma renda bruta de 18.527 milhões de pesetas (VARONA, 2000-b).



Figura 2.11 – Mesa de classificação espanhola (TALHERES AGUIN, 1999).



Figura 2.12 – Empalitada espanhola (NEIRA ET AL., 1990).

No caso dos mexilhões destinados a consumo *in natura*, estes são limpos, classificados e embalados em sacos de 35 kg na própria balsa, antes de serem levados às depuradoras (NEIRA ET AL., 1990). A necessidade de depuração de moluscos surgiu como conseqüência da contaminação das águas destinadas ao cultivo de mexilhões, o que poderia levar os animais a portarem organismos nocivos ao homem. O processo de depuração é ilustrado na Figura 2.13, onde: (1) retirada de água diretamente do mar; (2)

estação de bombeamento; (3) unidade de esterilização da água; (4) processo de sedimentação; (5) cloração; (6) sistema de condução em cascata (oxigenação e remoção do cloro); (7) piscinas de depuração (48h de permanência); (8) classificador; (9) embalagem; (10) transporte.

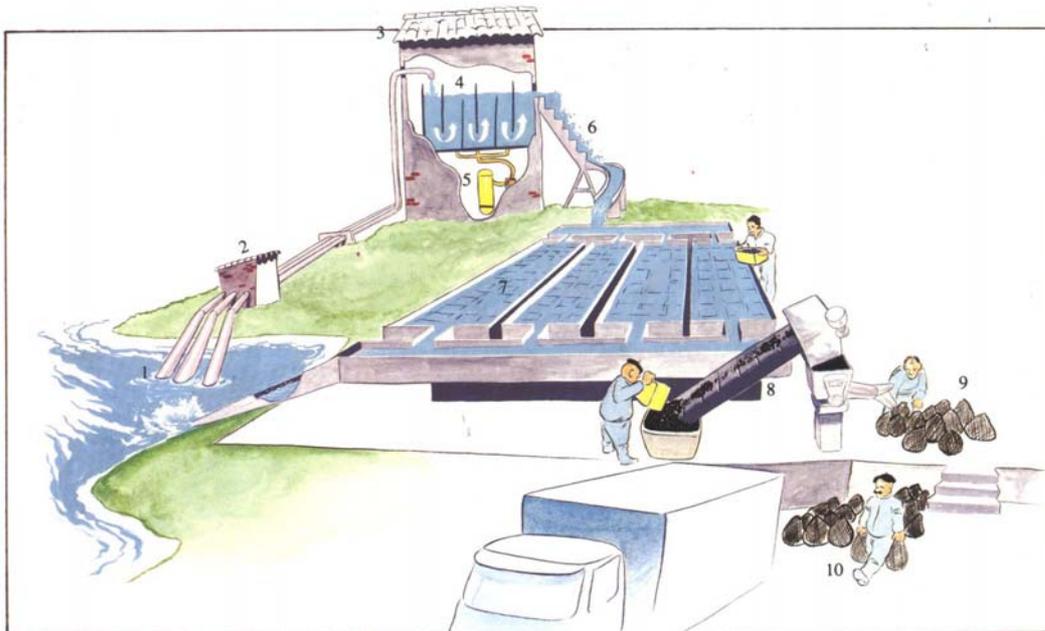


Figura 2.13 – Depuração de mexilhões na Espanha (NEIRA ET AL., 1990).

No caso de mexilhões beneficiados, NEIRA ET AL. (1990) cita dois possíveis destinos: o congelamento ou a conserva. O congelamento é uma modalidade de beneficiamento mais recente, cuja importância comercial teve início em 1985 e disponibiliza mexilhões na forma de carne congelada e na forma de mexilhões em meia concha. Na Figura 2.14 é apresentado o interior de uma indústria voltada ao beneficiamento de mexilhões para congelamento.

O setor de conservas de mexilhões da Espanha foi, segundo NEIRA ET AL. (1990), desde o começo, o grande portal da comercialização de mexilhões. Os mexilhões utilizados pelo setor tendem a ser adquiridos em bruto, sem limpeza prévia nem classificação, sendo os preços fixados de acordo com a qualidade da carne e a porcentagem de detritos que acompanham o produto. O processo adotado pela indústria de conservas para o beneficiamento dos mexilhões compreende as seguintes etapas (NEIRA ET AL., 1990):

1. Desgranação (individualização) e limpeza dos mexilhões.
2. Desbarbação (retirada do bisso) e seleção pelo tamanho da concha.
3. Cozimento dos mexilhões no vapor (120°C, durante 2 minutos), permitindo a abertura das conchas.
4. Separação entre carne e concha, com o auxílio de uma máquina vibratória e de um banho de salmoura (20% de NaCl).

5. Classificação das carnes por tamanho (grande, média ou pequena), e envio destas às fábricas de enlatados. A Figura 2.15 ilustra o processo de enlatamento.



Figura 2.14 – Beneficiamento de mexilhões para congelamento na Espanha (NEIRA ET AL., 1990).



Figura 2.15 – Processo de enlatamento de mexilhões na Espanha (NEIRA ET AL., 1990).

2.5 O Cultivo de Mexilhões no Estado de Santa Catarina

Os esforços iniciais para o desenvolvimento do cultivo de mexilhões em Santa Catarina, segundo LCMM (2000-a), se deram ao final da década de 80, graças a uma parceria formada entre a Universidade Federal de Santa Catarina e órgãos estaduais (EPAGRI e ACARPESC). No início, o cultivo de mexilhões visava os pescadores artesanais

que estavam insatisfeitos com a pesca extrativa, não queriam se desligar da atividade e desejavam diversificar a sua produção. Desde então, nota-se a crescente adesão de novos produtores, bem como o avanço na produção de mexilhões, colocando o Estado na posição de principal produtor do país. O crescimento do número de produtores em Santa Catarina é tido como uma das principais razões para o aumento da produção observado na última década, ilustrado na Figura 2.16.

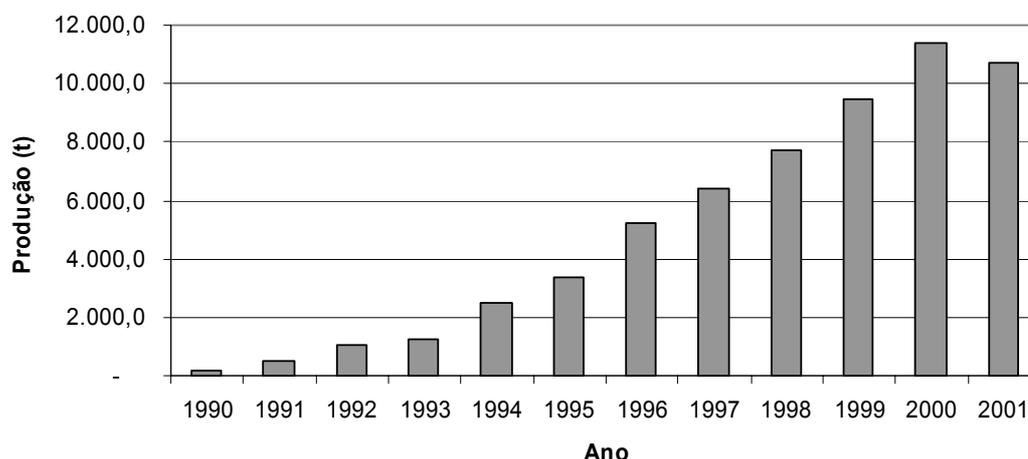


Figura 2.16 – Evolução do cultivo de mexilhões *Perna perna* no Estado de Santa Catarina (FONTE: dados obtidos junto a EPAGRI).

Neste mesmo gráfico pode-se constatar que o valor de produção observado para o ano 2000, somente no Estado de Santa Catarina, foi acima de dez mil toneladas (11.365 toneladas segundo a EPAGRI). Tal valor supera em muito o registrado na FAO para todo o Brasil no mesmo ano e seria o suficiente para colocar o país como, ao menos, 17º produtor mundial. Por suposição, as razões para tal diferença poderiam recair em erro, desatualização ou atrasos no envio dos dados. Ainda em relação à produção de mexilhões, conforme levantado junto aos pesquisadores da EPAGRI, a produção esperada para 2002 deverá ser inferior à do ano anterior, devido à liberação mais tardia da retirada de sementes dos costões. Tal fato permite ressaltar a importância de se expandir o uso de coletores, permitindo um melhor planejamento do cultivo e preservando os estoques naturais.

O chamado “Pólo de Maricultura”, segundo a EPAGRI (2000), compreende toda a linha da costa catarinense, que mede 561,4 km de extensão, iniciando-se ao Norte em 25° 58’ 36” de latitude e 48° 35’ 36” de longitude, terminando ao Sul em 29° 19’ 30” de latitude e 49° 42’ 57” de longitude, englobando um total de 28 municípios. Tendo-se em conta as peculiaridades e potencialidades da área para o desenvolvimento do cultivo de mexilhões, a zona costeira pode ser dividida em duas grandes regiões, conforme ilustrado na Figura 2.17.

- A região Centro-Norte é limitada pelos municípios de Itapoá e Garopaba e apresenta-se com um grande número de reentrâncias, formando baías e enseadas que abrigam

planícies arenosas (praias) guarnecidas por promontórios rochosos (costões) e formações estuarianas. Essas características, associadas à qualidade e produtividade da água do mar, conferem à região excelentes condições para o cultivo de diferentes espécies marinhas, principalmente moluscos.

- O litoral Sul localiza-se entre os municípios de Garopaba e Passo de Torres, apresentando-se como uma linha retilínea, formada por extensas praias e grandes campos de dunas, além da presença de formações lagunares. As potencialidades aquícolas da região estão associadas às lagoas e áreas adjacentes, excluindo-se os mangues, indicadas para repovoamento, cultivo de camarões e peixes marinhos.



Figura 2.17 – Mapa da zona costeira de Santa Catarina (EPAGRI, 2000).

Dos estudos realizados por ROSA (1997), em algumas das principais regiões de cultivo de Santa Catarina, pôde-se definir o perfil dos produtores catarinenses como sendo, predominantemente, homens, acima de 20 anos, com baixa escolaridade, os quais têm o cultivo de mexilhões como atividade de grande importância na renda da família. A grande maioria possui embarcações para colaborar na realização de suas atividades, porém não possuindo automóvel. A grande parte dos maricultores possui casa própria, em sua maioria, servidas pelo sistema de abastecimento de água da rede municipal, porém não servidas pelo sistema de esgoto. A Tabela 2.3 apresenta a distribuição de alguns dos valores que caracterizam o perfil dos maricultores catarinenses.

Conforme descrito em FERREIRA & MAGALHÃES (1997), para o estabelecimento de um cultivo de mexilhões devem ser considerados uma série de fatores, os quais são relacionados na Tabela 2.4. Além destes aspectos, segundo o LCMM (2000-a), conforme

determinação do Grupo Permanente de Mexilhões em Santa Catarina (designado pelo IBAMA), nenhum projeto de cultivo de mexilhões pode basear-se exclusivamente na extração de sementes dos bancos naturais. Esta medida visa conter a exploração predatória das reservas naturais do Estado, a qual pode ser facilmente caracterizada pelo trabalho de ROSA (1997), onde foi registrado que aproximadamente 60% dos produtores utilizavam somente sementes obtidas de estoques naturais e apenas 3% utilizam somente sementes de coletores, sendo o percentual restante distribuído em diferentes proporções de sementes coletadas e de costões, não sendo constatado o uso de sementes provenientes de laboratórios. Conforme já citado anteriormente, o elevado uso de sementes provenientes de costões está diretamente relacionado à redução esperada na produção para 2002, gerada por um atraso na liberação da coleta nestes locais.

Tabela 2.3 – Informações sobre o perfil do produtor de mexilhões catarinense.

| | |
|----------------------------------|----------------------------|
| Idade | de 20 a 34 anos (35%) |
| | de 35 a 49 anos (37%) |
| | de 50 a 65 anos (22%) |
| Nível de escolaridade | analfabeto (6%) |
| | 1º grau incompleto (75%) |
| | 1º grau completo (8%) |
| Atividade principal do produtor | Cultivo de mexilhões (47%) |
| | Pesca (23%) |
| Atividade secundária do produtor | Cultivo de mexilhões (53%) |
| | Pesca (9%) |
| Casa própria | Sim (95%) |
| Destino do esgoto | Fossa (99%) |
| Automóvel | Não (71%) |
| Embarcação | Sim (71%) |

FONTE: ROSA (1997).

Em Santa Catarina disseminou-se uma variação do método de encordoamento francês no qual, além das redes tubulares de algodão e de náilon, é também utilizada uma corda interna de náilon, de forma semelhante ao método espanhol. Os produtores catarinenses, para colaborar com a realização do processo de encordoar as sementes, freqüentemente empregam um funil, de diâmetro variando entre 50 a 150mm, e confeccionado de forma artesanal, tal qual ilustrado nas Figuras 2.18 e 2.19. Como se pode notar, existe uma grande dependência do trabalho manual na realização desta operação, além de condições precárias no local de sua realização (ranchos).

Em relação ao processo de engorda dos mexilhões, ROSA (1997) constatou que 50,1% dos produtores utilizavam-se de sistemas suspensos fixos, enquanto que os restantes dispunham de espinheis (*longlines*), não sendo registrada a ocorrência do uso de balsas e de outros sistemas. As Figuras 2.20 a 2.22 apresentam fotos dos sistemas de cultivos empregados em Santa Catarina.

Tabela 2.4 – Condições a serem avaliadas para o estabelecimento de um cultivo de mexilhões.

| | | |
|--|--|---|
| ▪ Conhecimento das espécies potenciais; | | |
| ▪ Interesse e viabilidade local; | | |
| ▪ Conhecimento das condições: | | |
| a) Físico Químicas | b) Sanidade | c) Econômicas |
| <ul style="list-style-type: none"> ▫ Temperatura ▫ Salinidade ▫ Marés ▫ Profundidade ▫ Tipo de fundo ▫ Dinâmica da água | <ul style="list-style-type: none"> ▫ Áreas adjacentes ▫ Existência de indústrias ▫ Existência de lavouras ▫ Áreas urbanas ▫ Bactérias | <ul style="list-style-type: none"> ▫ Capacidade Produtiva ▫ Mão-de-obra ▫ Aquisição de Materiais ▫ Escoamento da Produção ▫ Aceitação do Produto (Marketing) |
| d) Legais | e) Sociais | f) Experimentais |
| <ul style="list-style-type: none"> ▫ Órgão ambiental estadual ▫ Plano diretor do município ▫ Associação de pescadores ▫ Capitania dos portos | <ul style="list-style-type: none"> ▫ Existência de comunidades locais interessadas ▫ Áreas urbanas ▫ Áreas turísticas | <ul style="list-style-type: none"> ▫ Biologia das Espécies ▫ Crescimento ▫ Sobrevivência ▫ Obtenção de sementes |

FONTE: FERREIRA & MAGALHÃES (1997).

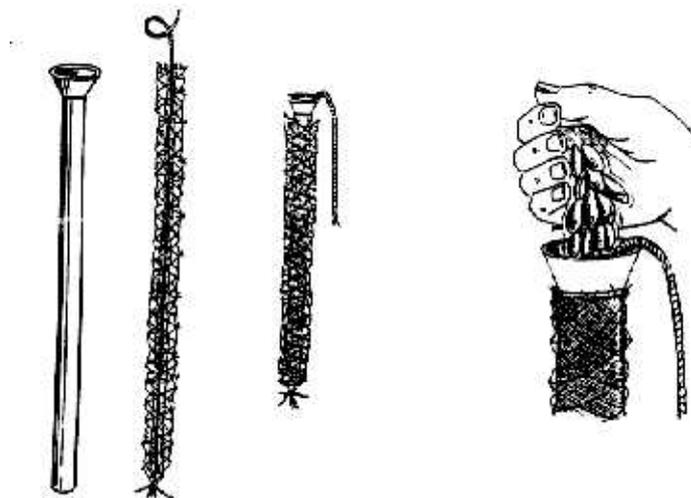


Figura 2.18 – Processo de preenchimento de cordas de mexilhões adotado em Santa Catarina (LCMM, 2000-b).

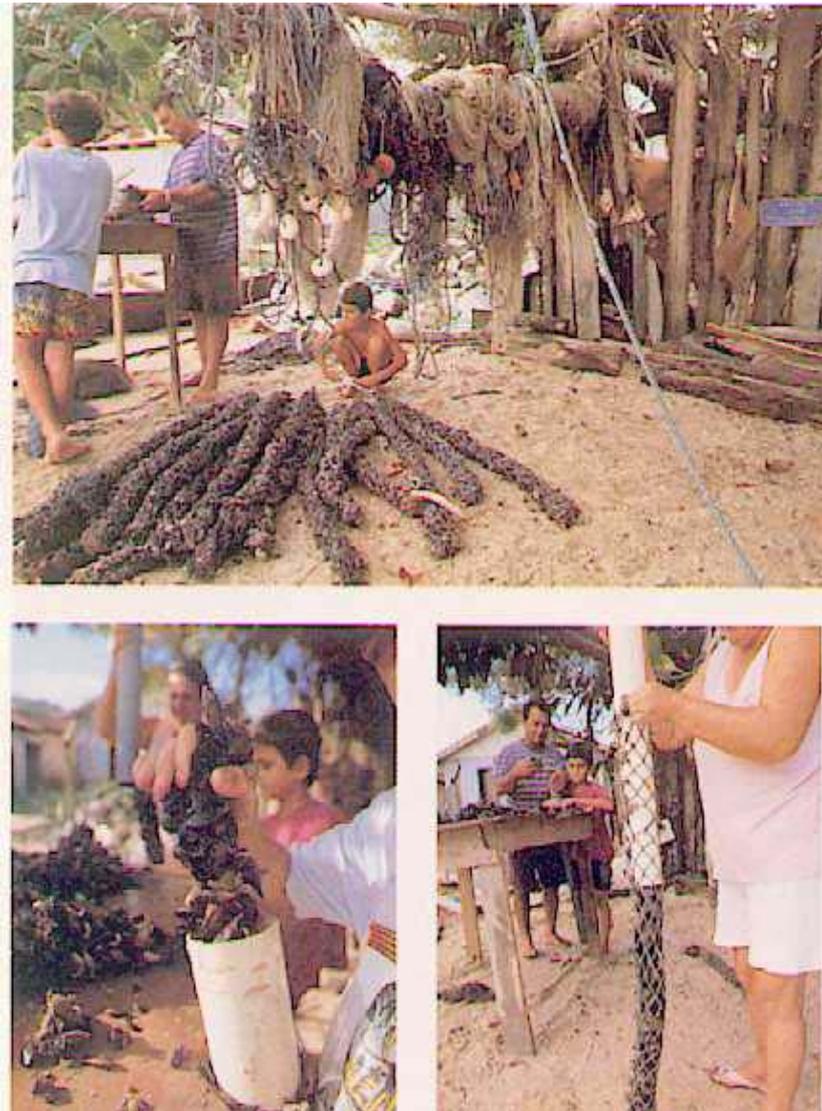


Figura 2.19 – O preenchimento de cordas de mexilhões em Santa Catarina (LCMM, 2000-b).



Figura 2.20 – Sistema suspenso fixo de cultivo tipo “Mesa” (LCMM, 2000-b).



Figura 2.21 – Sistema suspenso fixo de cultivo tipo “Varal” (LCMM, 2000-b).



Figura 2.22 – Sistema suspenso flutuante de cultivo tipo “Longline” (LCMM, 2000-b).

Depois de concluído o período de engorda (6 a 9 meses), as cordas são retiradas manualmente dos sistemas de cultivo e levadas aos ranchos para serem processadas. Segundo FERNANDES (1985), existem duas maneiras de se remover os mexilhões das cordas ao se utilizar o método francês:

- Movimentos bruscos, que provocarão desprendimento dos animais da rede, permitindo sua posterior reutilização;
- Corte das malhas da rede, uma vez que não se tenha usado uma semente de tamanho ideal, o que ocasiona a retenção maior de mexilhões no interior da rede.

Porém, na prática, constatou-se que o método utilizado em Santa Catarina consiste na remoção manual dos mexilhões das cordas, com o auxílio de luvas para evitar cortes nas mãos, puxando ou torcendo-se o bisso do mexilhão ou, em certos casos, segurando-se a corda e empurrando os mexilhões com as botas até que se desprendam um do outro e da

corda de cultivo. A Figura 2.23 ilustra o processo de remoção de mexilhões das cordas, normalmente praticado sobre uma mesa de classificação, a qual facilitará a posterior seleção dos mexilhões.



Figura 2.23 – Processo realizado em Santa Catarina para liberação dos mexilhões das cordas (LCMM 2000-b).

A produção de mexilhões em Santa Catarina ocorre durante o ano todo, podendo ser colhido e comercializado em qualquer época. Os produtores, no entanto, concentram as colheitas no período de verão, devido às facilidades de comercialização proporcionadas pelo afluxo de turistas para o litoral. São comercializados principalmente para intermediários, tanto em conchas ou desconchados, cuja produtividade chega a atingir um quilo de carne para cada três a quatro quilos de animais em concha (EPAGRI, 2000).

No caso de mexilhões frescos, o produto é comercializado tal qual obtido do processo de engorda e crescimento e, freqüentemente, oferecido ao consumidor a granel. Os mexilhões desmariscados (sem conchas) são, em sua totalidade, provenientes de um processo prévio de cozimento, necessário para a abertura das conchas, facilitando a posterior remoção dos animais. Uma vez retirados de suas conchas, os mexilhões são embalados em pacotes de 1kg e congelados em câmaras frigoríficas. Uma variação deste procedimento, empregada em menor escala, é a remoção de apenas uma das conchas do animal.

O processamento dos mexilhões é realizado de forma artesanal, normalmente em ranchos, com estruturas improvisadas, via de regra, sem as condições ideais de higiene que permitam assegurar qualidade ao produto (EPAGRI, 2000). Os produtores também podem optar pelos serviços de unidades de beneficiamento de moluscos, responsáveis pelo

processo de cozimento, remoção das conchas, embalagem e congelamento do mexilhão. Em 1999, o Estado de Santa Catarina já contava com seis destas unidades (EPAGRI, 1999b), porém apenas parte delas encontrava-se em funcionamento. Dentre tais unidades, pode-se citar a COOPERMAC (Cooperativa de Maricultores), localizada em Canto Grande, Bombinhas–SC, a qual chegava a processar, naquele ano, até 800 kg de mexilhões desmariscados por dia, podendo ser ainda maior caso a unidade contasse com equipamentos mais adequados. Nas Figuras 2.24 e 2.25 são apresentadas fotos dos equipamentos disponíveis na COOPERMAC em 1999.



Figura 2.24 – Processo de cozimento a gás utilizado pela COOPERMAC.

A atividade de cultivo de mexilhões, segundo LCMM (2000-a), além de contribuir como fonte de proteína animal, acaba por gerar aproximadamente 2.000 empregos diretos e 5.000 indiretos, em áreas relacionadas à produção, insumos e comercialização, beneficiando centenas de famílias.



Figura 2.25 – Esteira utilizada pela COOPERMAC para auxiliar na retirada das conchas dos mexilhões.

2.6 Apreciação da Situação do Mercado

A mecanização dos processos do cultivo de mexilhões, como já ocorrido em outras atividades, deverá proporcionar ganhos de produtividade e, por conseqüência, elevará o volume de mexilhões produzidos no Estado. Neste tópico serão estudados a situação atual e futura do mercado em relação à aspectos ligados à viabilidade da introdução de máquinas para auxiliar o cultivo de mexilhões. Estes estudos são apresentados a seguir.

2.6.1 Análise da Conjuntura Atual do Mercado

Segundo dados da FAO (2002), o cultivo de moluscos foi responsável por 17% de toda produção aquícola mundial em 2000, sendo o cultivo de mexilhões responsável por 6% desta produção. O modelo empregado mundialmente para a produção de mexilhões se concentra em pequenos produtores, muitas vezes organizados em cooperativas ou associações de produção e comercialização, bem como formando pequenas empresas familiares.

No Brasil, conforme dados do CNPq (1998), toda a produção de aquíicultura, abrangendo a piscicultura, cultivo de mexilhões, camarões e outros cultivos, foi estimada em 52.195,6 t, sendo somente a região sul responsável 46% deste volume. Considerando que, em 1997, a produção de mexilhões em Santa Catarina foi de 6.397,2 t (EPAGRI), isto significa que o Estado contribuiu, somente com o cultivo de mexilhões, com o equivalente a 27% da produção de aquíicultura da região sul e 12% da produção de aquíicultura nacional. Tal desempenho pode ainda vir a melhorar, principalmente considerando-se que a quase totalidade das operações são realizadas de forma manual ou através de recursos inadequados. Porém, apesar das dificuldades técnicas encontradas, diversas vantagens vêm justificar a crescente adesão de novos produtores (FERREIRA & MAGALHÃES, 1997):

- Utilização de água do mar para a obtenção de alimento, não tendo que adquirir grandes extensões de terra para o cultivo;
- Ausência da necessidade de fornecer alimento, que é encontrado no próprio mar;
- Redução da possibilidade de aparecimento e disseminação de doenças, por se tratar de um cultivo em local aberto;
- Não obrigatoriedade de produção de sementes, podendo obtê-las diretamente no mar;
- Uso de insumos de menor custo em se comparando com outros tipos de cultivo;
- Grande área ainda disponível para a ampliação do cultivo, sendo esta muito superior a área litorânea dos principais países produtores.
- Rápido retorno de capital, devido ao baixo investimento e a alta produtividade do cultivo;

De tais vantagens, nota-se que o aspecto econômico foi, certamente, o que mais contribuiu para o sucesso do Estado de Santa Catarina na disseminação do cultivo de

mexilhões. Segundo a ACAQ (2003), o investimento inicial necessário para a instalação e manutenção por um ano de um *longline* para a produção de 200 cordas de mexilhões seria de aproximadamente R\$ 1.700,00 em 2001. O resultado da combinação de baixos custos de investimento e rápido retorno financeiro pode ser percebido no levantamento feito por ROSA (1997) nas principais regiões de cultivo do Estado de Santa Catarina, onde foi observado que a quase totalidade dos produtores catarinenses deu início a seus cultivos através de recursos próprios. Além disso, neste mesmo estudo observou-se um índice de satisfação de 74% entre os produtores, além da existência de 60% de produtores com intenções explícitas de aumentar suas área de cultivo. Porém, apesar da grande satisfação, 76% dos produtores citaram a ausência de mecanização como um dos principais problemas do cultivo de mexilhões, 48% citaram os materiais utilizados e 81,8% o mercado.

A grande satisfação do produtor certamente vem contribuindo para o crescente aumento do número de produtores observado no Estado (Tabela 2.5). Comparando-se a evolução da produção e do número de produtores (Figura 2.26), pode-se constatar que o crescimento de ambos os valores tem acompanhado uma mesma tendência. Isto permite caracterizar que o aumento da produção não é resultado de um aumento de produtividade, estando diretamente ligado ao aumento do número de produtores. Ainda em relação a este gráfico, também se pode observar uma redução tanto na taxa de crescimento da produção quanto na taxa do número de produtores, o que indica a possibilidade de estar se aproximando da maturidade do ciclo de introdução do cultivo no Estado. Para a retomada do crescimento faz-se necessário introduzir um novo ciclo, o qual pode ser propiciado pela mecanização do cultivo, desenvolvimento da indústria de conservas, avanço do cultivo para águas mais profundas, ou outras iniciativas.

Tabela 2.5 – Evolução da produção de moluscos marinhos cultivados no Estado de Santa Catarina.

| Ano | Produção (t) | Nº de produtores ^{c, d} |
|------|---------------------|----------------------------------|
| 1990 | 190 ^a | – |
| 1991 | 500 ^a | – |
| 1992 | 1.084 ^a | – |
| 1993 | 1.224 ^a | – |
| 1994 | 2.479 ^a | 110 |
| 1995 | 3.345 ^a | 400 |
| 1996 | 5.202 ^a | 600 |
| 1997 | 6.397 ^b | 750 |
| 1998 | 7.720 ^b | – |
| 1999 | 6.460 ^b | – |
| 2000 | 11.365 ^b | – |
| 2001 | 10.667 ^b | 1006 ^b |

FONTES: ^a EPAGRI (2000), ^b dados obtidos junto a EPAGRI, ^c ARANA (1999).
^d inclui também produtores de ostras (aproximadamente 10% do valor).

Vários fatores vêm demonstrar a existência de um potencial de crescimento ainda latente na região litorânea de Santa Catarina. Na zona costeira do Estado, localizam-se 150 comunidades pesqueiras, que abrigam 28 mil pescadores artesanais e envolvem, direta ou indiretamente, cerca de 150 mil pessoas (EPAGRI, 2000), os quais podem ser considerados como produtores potenciais. O potencial de crescimento não é restrito apenas à disponibilidade de recursos humanos, mas também à existência de áreas ainda não exploradas para o cultivo de mexilhões, principalmente naquelas mais afastadas da costa. Tal potencialidade pode ser caracterizada pelo extensivo uso de estruturas de engorda como mesas e varais (usadas por 52% dos produtores, segundo ROSA, 1997), as quais são estabelecidas somente em regiões costeiras.

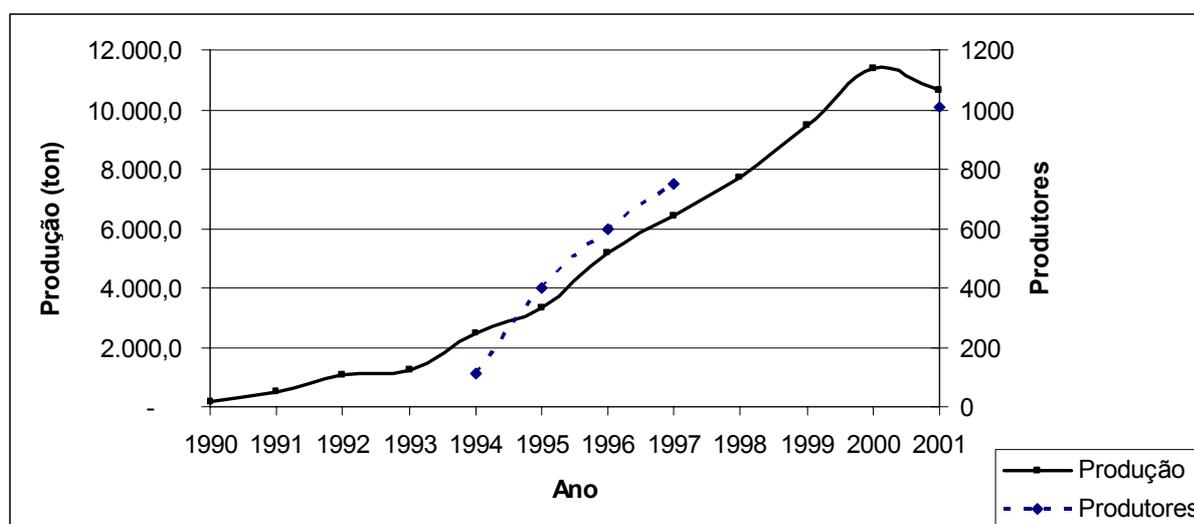


Figura 2.26 – Comparação entre o crescimento da produção e do número de produtores em Santa Catarina, segundo valores da Tabela 2.5.

Para a EPAGRI (2000), analisando-se as condições em que se estabeleceu o cultivo catarinense, pode-se observar que a combinação de uma configuração favorável da costa litorânea com a qualidade e produtividade da água do mar vem permitindo a obtenção de resultados proporcionalmente equivalentes à de países de maior tradição. No entanto, mesmo sendo empregadas tecnologias de cultivo semelhantes às utilizadas nestes países, justifica-se as desvantagens comparativas encontradas pela ausência de mecanização dos cultivos e pelas tecnologias pós-colheita utilizadas, principalmente no que se refere à predominância do caráter artesanal do trabalho em Santa Catarina.

Comparando-se os cultivos de Santa Catarina e Galícia, principal região produtora da Espanha, pode-se chegar a algumas conclusões: tal qual descrito anteriormente no tópico 2.4 deste trabalho, os produtores espanhóis, de forma semelhante aos catarinenses, estão estruturados em pequenas unidades familiares e organizados em associações de forma a garantir seus direitos, reduzir custos e controlar o preço de venda do produto. Porém,

apesar da semelhança entre as estruturas sociais de ambas regiões, diversas diferenças significativas podem ser apontadas, tal qual pode-se constatar pelos valores apresentados na Tabela 2.6.

Tomando-se o fato de que, segundo NEIRA ET AL. (1990), cada produtor da Galícia possui de uma a três balsas (equivalente a 500 a 1500 m² de cultivo e a 500 a 1500 cordas), a área cultivada e o número de cordas pertencentes a cada produtor catarinense não estaria demasiadamente discrepante dos valores espanhóis. Tal semelhança também é observada ao serem analisadas a quantidade de sementes utilizadas por metro de corda e a produtividade do cultivo. Portanto, as razões para a superioridade do cultivo espanhol estariam no tamanho de corda e na área total de cultivo, o que caracteriza a importância de se deslocar os cultivos catarinenses para águas mais profundas. Além disso, outros fatores vêm dar apoio à manutenção dos altos níveis de produção na Espanha, tais como a mecanização dos processos, a existência de indústrias para o beneficiamento dos mexilhões e, evidentemente, a tradição de mais de cinco décadas de cultivo.

Na Espanha, a indústria de transformação é responsável pela aquisição de quase 50% da produção de mexilhões, sendo a linha de enlatados seu principal destino. A indústria espanhola também faz o beneficiamento de mexilhões através de congelamento, dividindo a comercialização de mexilhões na proporção de 51% para venda *in natura*, 41% para mexilhões enlatados e 8% para mexilhões congelados (CAMACHO & CASASBELLAS, 1991). Em Santa Catarina, no entanto, a comercialização é centrada na venda sem concha, representando 71,4% do mercado, sendo os 28,6% restantes ligados à venda *in natura* (ROSA, 1997), ainda não existindo uma indústria voltada à fabricação de conservas de mexilhões. A comercialização do produto, mesmo congelado, é feita em prazos mais curtos de validade, o que vem dificultar sua comercialização em mercados mais distantes. Os principais mercados consumidores de mexilhões catarinenses são apresentados no Tabela 2.7.

Como se pode observar, grande parte dos produtores têm a cidade de Florianópolis como principal destinação de seus produtos, graças, principalmente, ao grande fluxo de turistas a cada verão. Já o pequeno número de produtores negociando com outros estados tem como causas a necessidade de transporte refrigerado do produto, o curto prazo de validade do mesmo e o pequeno número de produtores catarinenses registrados no SIF (Serviço de Inspeção Federal, um órgão do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). Estes problemas somente vêm ressaltar a importância de se instalarem indústrias destinadas à elaboração de conservas de mexilhões. Segundo a EPAGRI (2000), a assimilação da importância das etapas relacionadas ao beneficiamento de mexilhões pelas comunidades, juntamente com o aumento da produção e a estabilização das ofertas, permitirá ações que visem à industrialização dos produtos num futuro próximo.

Tabela 2.6 – Valores apresentados para o cultivo em Santa Catarina e Espanha.

| | Praticado em Santa Catarina | Praticado na Galícia |
|--|--|---|
| Produção (t) | 10.667 ^g | 292.479 ^e |
| Número de produtores | 1006 ^g | 2.458 ^e (em 1999) |
| Área total cultivada | 891,9 hectares (8,912 km ²) ^g | 3.337 balsas ^e (1.668.500 km ²) |
| Área do cultivo por produtor (m ²) | Varia de 38 a 12.000 63 % até 1000 17% entre 1001 e 2000 ^b | Limitado a 500 m ² por balsa (1 a 3 balsas por produtor) ^a |
| Quantidade de cordas por produtor | ≤ 500.....42,2% 500 – 1000.....31,4% 1000 – 1500.....8,3% > 1500.....18,1% ^b | 500 por balsa (limite padronizado) ^a |
| Profundidade nos locais do cultivo por região | Norte da Ilha: 88% entre 2 e 3 m Sul da Ilha: 96% entre 2 e 3 m Ens. do Brito: 42% entre 2 e 3 m Canto Grande: 100% acima de 4 m ^b | Nd |
| Comprimento de corda adotado (m) | ≤1.....46,3% 1,0 – 1,5.....50,4% 1,5 – 2,0.....3,3% ^b | 12 ^a |
| Limpeza das sementes antes do encordoamento | SIM.....80% NÃO.....20% ^b | Nd |
| Quantidade de sementes por metro de corda (kg/m) | ≤1.....18,2% 1,0 – 1,5.....48,8% 1,5 – 2,0.....23,9% > 2,0.....9,1% ^b | 1,5 a 2 ^h |
| Produção média por corda (kg/m) | ≤12.....33% 12 – 15.....44% 15 – 20.....17% ^b | 15 (coleta feita quando se atinge este valor) ^a |
| Relação peso desconchado / peso vivo aceitáveis | 1:5 ^c (20%) | 15 a 25% ^a |
| Preço recebido (mexilhão <i>in natura</i>) | 0,50 – 1,00 R\$/kg ^c (US\$ 0,27 – 0,54) ⁱ | 61,3 – 114,1 Ptas/kg ^e (US\$ 0,38 – 0,71) ⁱ |
| Preço recebido (desconchado) | 3,2 – 4,00 R\$/kg ^c | Nd |
| Empregos fixos | 2.000 ^d | 8.500 ^e |
| Empregos temporários | Nd | 3.000 ^e |
| Empregos indiretos | 5.000 ^d | 7.000 ^e |

FONTES: ^a NEIRA ET AL. (1990); ^b ROSA (1997); ^c EPAGRI (2000); ^d LCMM (2000-a); ^e VARONA (2000-b); ^f FERREIRA & MAGALHÃES (1997); ^g dados obtidos junto a EPAGRI (2001); ^h CAMACHO & CASASBELLAS (1991). ⁱ 1 US\$ ~ 160 pesetas ~ R\$ (1,84). Nd Dados não disponíveis

Tabela 2.7 – Principais mercados compradores citados pelos produtores (ROSA, 1997).

| | |
|-------------------------|------------------------------|
| Estabelecimentos | Particulares – 49,6% |
| | Peixarias – 36,4% |
| | Intermediários – 33,1% |
| | Bares e restaurantes – 32,2% |
| | Supermercados – 0,8% |
| | Consumo próprio – 0,8% |
| Locais | Florianópolis – 64,5% |
| | Mercado local – 38,0% |
| | Litoral – 31,4% |
| | SP – 27,3% |
| | PR – 22,3% |
| | RS – 11,6% |
| | Balneário Camburiú – 18,2% |
| | Interior de SC – 12,4% |

Com base em tudo o que já foi exposto até o momento, pode-se afirmar que o mercado de mexilhões no Brasil suportaria, com certa facilidade, a ampliação da produção de mexilhões, principalmente em se considerando que: (1) durante o ano 2000 foram importadas 14 toneladas do produto congelado (FAO, 2002), (2) a maior parte dos produtores está voltada ao mercado local, o que resulta em um atendimento precário das demandas em grades mercados consumidores tradicionais como Curitiba, São Paulo e Rio de Janeiro e (3) que ainda não foi feita uma divulgação adequada do produto, resultando em uma considerável demanda ainda adormecida. O fato de se adotar um modelo familiar na atividade de cultivo de mexilhões em Santa Catarina não é um empecilho ao seu crescimento, já que tal estrutura vem sendo adotada em outros países, muitos dos quais com volumes significativos de produção.

No entanto, para que seja viabilizado o crescimento da maricultura, se faz necessária uma indústria capaz e a adoção de processos mais produtivos durante o cultivo. No primeiro caso, além das próprias cooperativas, o Estado já conta com empresas particulares, as quais já estão focando seus esforços na comercialização do produto em outras regiões. Já o aumento da produtividade no cultivo depende basicamente de dois fatores: (1) a existência de máquinas adequadas à realidade catarinense e (2) a existência de recursos para sua aquisição. Tal equação possui tanto soluções políticas quanto tecnológicas, sendo a primeira caracterizada pela abertura de linhas de crédito ao produtor e, a segunda, pelo desenvolvimento de equipamentos de custos mais acessíveis. FERREIRA (1998) cita a importância de se incentivar a importação de equipamentos ligados à atividade de cultivo de mexilhões e a parceria entre empresas, universidades e a comunidade, de forma a desenvolver e produzir tecnologias e produtos adaptados à realidade brasileira.

No futuro, com a maior profissionalização do cultivo, outros fatores também acabarão tendo uma maior influência no mercado, tal como a necessidade de se depurar o produto

para a venda *in natura* e a possibilidade de se desenvolverem novos produtos alimentícios com mexilhões. Um estudo empírico das perspectivas futuras para o mercado de mexilhões será apresentado no tópico a seguir.

2.6.2 Um Possível Cenário para o Futuro

Baseando-se nas informações da conjuntura atual do mercado para máquinas para o cultivo de mexilhões, descritos no tópico anterior, pode-se criar um possível cenário para o futuro do cultivo de mexilhões. Mesmo levando-se em conta que o modelo de organização familiar do cultivo de mexilhões não possa ser considerado como um obstáculo ao desenvolvimento desta prática no país, o fato de serem largamente empregados trabalhos manuais na realização dos processos do cultivo dificilmente permitirá alcançar produtividades semelhantes às obtidas em outros países, tais como a Holanda, Itália e Espanha. Desta forma, a mecanização dos processos do cultivo surge como o primeiro passo a ser dado para iniciar um novo ciclo de crescimento de produtividade ao cultivo catarinense de mexilhões.

Alguns esforços neste sentido foram dirigidos à importação e introdução de máquinas utilizadas no cultivo espanhol e francês, através de parcerias entre empresas, cooperativas e prefeituras. Estas máquinas, em princípio, apresentam custos proibitivos de importação, estando sob cuidado de cooperativas de produtores e sendo seu uso coletivizado. Com o passar do tempo, algumas destas associações poderão vir a adquirir mais destas máquinas, bem como produtores com disponibilidade de maiores recursos. Pode-se citar, como exemplo dos altos custos relacionados à aquisição de tais equipamentos, uma desgranadora espanhola, a qual custava, em sua configuração mais simples, 1.924 Euros em 1999 e uma desdobradora 2.795 Euros. Tais custos se elevam ainda mais se forem consideradas as taxas de importação e o custo de aquisição da fonte de potência, composta de um motor a diesel e uma bomba, necessários para movimentar os motores hidráulicos dos equipamentos. No caso de desdobradoras, também haveria custos de aquisição de equipamentos de suporte, tais como máquinas para o entrelaçamento e para a colocação de hastes nas cordas de mexilhões.

Outra questão estaria ligada à viabilidade da implantação de tais equipamentos. No caso da desdobradora, dada à pequena profundidade apresentada nos locais de engorda atualmente adotados em Santa Catarina, o uso da desdobradora espanhola nesta região, somente acabaria sendo viável através do encordoamento contínuo dos mexilhões, um processo atualmente praticado na Nova Zelândia, tal qual ilustrado na Figura 2.27. Porém, tal processo de encordoamento acabaria exigindo mão-de-obra especializada e embarcações apropriadas para o trabalho no mar, gerando custos relativamente elevados ao pequeno e médio produtor. Tais restrições acabariam por aumentar as diferenças entre os grandes e pequenos produtores.

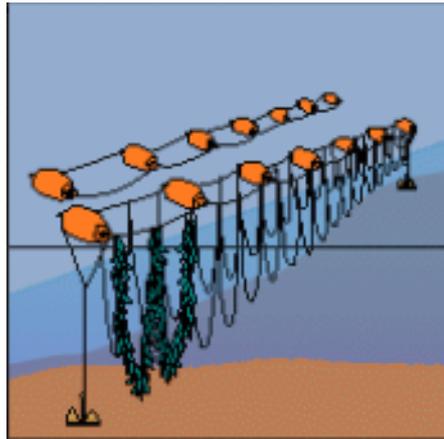


Figura 2.27 – Processo contínuo de encordoamento praticado na Nova Zelândia (NEW ZEALAND SEAFOOD INDUSTRY CONCIL, 2000).

Uma alternativa, visando um crescimento mais igualitário da produtividade, está no desenvolvimento de novos produtos voltados aos interesses, capacidade financeira e aos hábitos atuais da atividade de cultivo de mexilhões, beneficiando um número muito maior de produtores. Um exemplo da influência de tal iniciativa pode ser manutenção, dentre outros aspectos, do método de encordoamento atualmente praticado em Santa Catarina, evitando um aumento indesejado dos custos de treinamento em um novo método de encordoamento. Uma alternativa para tanto, está no projeto de produtos de forma modular que, através de uma interface adequada, permitirá alterações nas funções desempenhadas pelo produto, o aumento da capacidade de processamento e a permutação da fonte de potência adotada, viabilizando tanto o trabalho em terra quanto o embarcado.

A necessidade de viabilizar o trabalho embarcado vem de encontro a uma tendência de se realizarem os trabalhos nos próprios locais de cultivo, exigindo a adoção de um sistema flutuante (uma balsa, por exemplo), necessitando de condições operacionais distintas daquelas encontradas nos “ranchos” (termo usado para designar os locais utilizados pelos produtores para o trabalho em terra). A adoção, em equipamentos voltados ao cultivo de mexilhões, de uma estrutura capaz de adaptar-se a diferentes condições de operação já se mostrou viável e vem sendo praticada na Espanha, inclusive com equipamentos que permitem a realização de até duas funções distintas, tal qual o apresentado no Quadro 2.1.

Com a flexibilidade permitida pela adoção de um projeto modular, pressupõe-se que será criado um mercado de transição, ou seja, um período no qual haverá a migração gradual do trabalho em ranchos para o trabalho em balsas. Durante este período, poderão ser encontrados produtores que ainda permaneçam nas condições atuais de trabalho, até alguns que atingiram um grau total de mecanização do cultivo e já estejam adaptando-se ao trabalho embarcado. Deste último grupo, alguns poderão optar por não migrar para

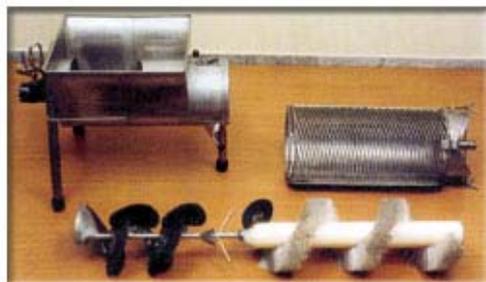
equipamentos importados, preferindo ampliar o número de equipamentos modulares de sua empresa. Tal possibilidade também poderá atrair o produtor de grande porte e as associações de produtores.

Quadro 2.1 – Exemplos de diferentes configurações permitidas em uma desgranadora de mexilhões espanhola (TALLERES AGUIN, S.L., 1999).



Desgranadora B1 normal:

- Corpo
- Eixo curto
- Grade final
- Eixo Prolongador



Variante da desgranadora B1:

- Corpo
- Eixo curto
- Grade final
- Escova



Variante da desgranadora B1:

- Corpo
- Eixo curto
- Grade intermediária
- Grade final
- 2 eixos prolongadores



Variante da desgranadora B1:

- Corpo
- Eixo curto
- Grade intermediária
- Eixos prolongador
- Grade final
- Escova

No decorrer do período de transição, uma divulgação nacional do produto será de suma importância para viabilizar seu escoamento do produto. Com uma exposição maior do produto não tardará o aparecimento de indústrias de alimentos, tanto em conserva e quanto de pratos congelados, interessadas na industrialização do produto, diversificando o mercado e atingindo novos nichos. Com a presença da indústria de conserva, será viabilizada a exportação de mexilhões, o que permitirá a abertura de novos mercados e elevará a demanda a novos patamares.

Caso tais previsões se concretizem, em longo prazo, será necessário um novo estudo dedicado ao projeto de novos equipamentos para o processamento de mexilhões, porém de forma mais automatizada, reduzindo-se o contato manual e tornando mais rápido o trabalho no cultivo de mexilhões. Outra necessidade, que surgirá com o crescimento da

demanda, será a depuração do mexilhão, a qual passará a existir por uma exigência dos órgãos de fiscalização sanitária, principalmente após a mecanização do cultivo.

As informações descritas acima sobre o desenvolvimento desta atividade podem ser esquematizadas conforme ilustrado na Figura 2.28. Nela observa-se que o processo de transição do trabalho em ranchos para balsas acompanhará o crescimento da produção que, por sua vez, dependerá do crescimento da demanda do produto. Além disso, a figura também ilustra que tais processos devem galgar uma série de etapas relacionadas à evolução tecnológica do cultivo e do beneficiamento de mexilhões, chegando até a níveis de automação do cultivo, estabelecimento de indústrias de conservas e a implantação de técnicas de depuração para a garantia de qualidade do produto. Obviamente, com os conhecimentos tecnológicos já existentes e a inesgotável criatividade do ser humano, permitirá o estabelecimento de novas etapas evolutivas, no entanto as metas estabelecidas já se mostram como um desafio interessante a médio e longo prazo.

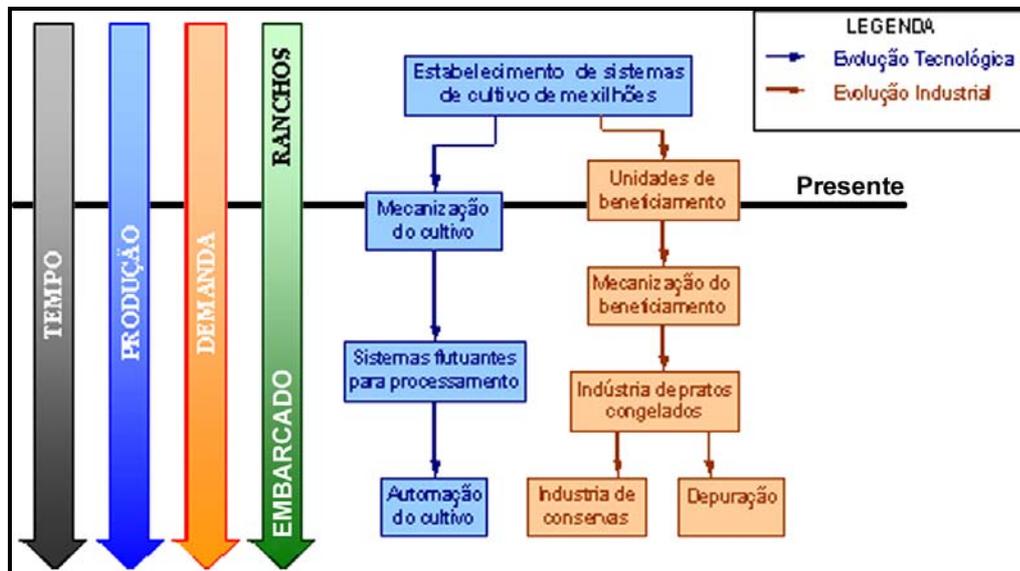


Figura 2.28 – Perspectivas para a evolução do cultivo de mexilhões em Santa Catarina.

2.7 Considerações Finais

Neste capítulo foram apresentados os aspectos pertinentes ao cultivo e ao beneficiamento de mexilhões, bem como seus aspectos biológicos, dos quais deve-se enfatizar a característica do bisso do mexilhão cultivado em Santa Catarina (*Perna perna*) o qual, devido a sua maior resistência se comparado com outras espécies, vem dificultar a introdução de algumas tecnologias utilizadas em outros países. Apesar de possuírem características semelhantes (produtores familiares organizados em associações, uso de sistemas flutuantes de cultivo, entre outros), o processo mecanizado de cultivo adotado na Espanha acaba por apresentar uma produção muito superior à catarinense. O fato de haver

um número maior de famílias produtoras na Espanha (aproximadamente 2.500 famílias segundo o VARONA, 2000-b) não justifica tal diferença de produção, uma vez que a produtividade média por família espanhola fica em torno 80 t/ano, contra uma produtividade aproximada de 12 t/ano por família de produtores catarinenses (calculado por valores obtidos em através da EPAGRI), sendo tal diferença mais bem caracterizadas por dois outros aspectos: a mecanização e a demanda.

O mexilhão cultivado em Santa Catarina, desde a implantação das técnicas de cultivo ao final da década de 80, tem sido de grande importância social, podendo ser considerado como uma das principais fontes de sustento dos pescadores artesanais das regiões que aderiram ao cultivo. Porém, a presença da realização manual das operações no cultivo de mexilhões, associado à estagnação do crescimento da atividade na região e o controle mais rígido da coleta de mexilhões de costão acabaram por levar a uma estabilização dos valores de produtividade obtidos em torno de 10.000 t. Neste contexto, a mecanização do cultivo de mexilhões aparece não somente como uma oportunidade de negócios, mas como uma necessidade para retomada do crescimento desta atividade. O fato de serem adotados, em Santa Catarina, sistemas de cultivo similares aos de muitos outros países produtores, cuja produção supera de forma considerável a catarinense, somente vem reforçar a necessidade de serem mecanizados os processos realizados pelo cultivo de mexilhões, principalmente àqueles considerados mais agressivos à fisiologia do produtor.

Considerando-se o âmbito mundial, o Brasil, apesar de sua imensa área litorânea, aparece com uma produção muito inferior a de países como Itália, Holanda e Alemanha. Em uma posição extremamente privilegiada encontra-se a China, cuja produção supera as 500 mil toneladas, o que corresponde a mais que o dobro da produção da Espanha, segunda colocada, com um volume em torno de 250 mil toneladas. Porém, sob uma perspectiva histórica, o cultivo espanhol de mexilhões apresenta-se muito mais interessante, podendo ser considerado como o primeiro cultivo comercial e, principalmente, pioneiro na implantação de muitos dos conceitos de mecanização utilizados mundialmente.

Assim, pode-se concluir que a mecanização dos processos realizados no cultivo e no beneficiamento de mexilhões são, indiscutivelmente, de grande importância para o crescimento nacional do cultivo de mexilhões. Porém, apenas mecanizar não será suficiente. Também serão necessários esforços para ampliar as áreas de cultivo, deslocá-las para águas mais profundas, divulgar e introduzir o produto em novos mercados, planejar a logística de distribuição do produto, desenvolver novas alternativas de beneficiamento de mexilhões e analisar a possibilidade de serem realizados processos de depuração do produto. Desta forma, o futuro do cultivo de mexilhões no Brasil acaba por ser também uma questão de *marketing*.

Considerando-se os quatro pês do *marketing* propostos por KOTTLER (1998), o preço do produto (*price*) é o que se encontra mais bem colocado, uma vez que o quilo de mariscos desconchados é encontrado por valores inferiores ao de outros produtos marinhos como ostras, lulas, camarões e, até mesmo, algumas espécies de peixes. Em relação à distribuição do produto (*placement*), faz-se necessária a ampliação da área de distribuição dos mexilhões, uma vez que a penetração do produto encontra-se muito restrita à região litorânea de Santa Catarina e aos períodos de veraneio, quando o fluxo de turistas para o Estado permite uma maior venda dos produtos. Neste sentido, torna-se essencial divulgar o produto (*promotion*), de forma a incentivar o consumo, podendo ser ressaltada a forma de preparação e, ao mesmo tempo, desvinculado da imagem de “produto praiano”. Sobre o produto (*product*), dentre as características dos mexilhões catarinenses, que vêm a colaborar com o seu *marketing*, inclui-se o fato de ser um produto cultivado (permite melhores planejamentos) e de ser uma fonte alternativa de proteína de origem aquática, cujo consumo no Brasil, segundo dados da OMS (Organização Mundial da Saúde, citado por EPAGRI, 2000), ainda encontra-se muito distante do considerado ideal.

Uma vez atendidos todos os fatores competitivos citados neste capítulo (mecanização, industrialização e marketing, além de expansões das áreas de cultivo), o cultivo de mexilhões em Santa Catarina acabará por atingir um potencial de crescimento capaz de se igualar a muitos dos maiores produtores mundiais, permitindo a comercialização do produto em escala global, além de abrir mercados para outros produtos da aqüicultura.

Metodologia de Projeto de Produtos Modulares – Estado da Arte e Proposição

Através do levantamento sobre o desenvolvimento e as práticas do cultivo de mexilhões, apresentado no segundo capítulo deste trabalho, verificou-se que o cultivo de mexilhões exige do produtor a realização de uma série de processos, tais como a preparação de cordas, a retirada das cordas do cultivo, a limpeza de mexilhões, entre outros. Apesar da existência de uma maior urgência em mecanizar algumas destas operações, a mecanização de apenas partes do processo acabaria por acarretar o aparecimento de novos gargalos. Em contrapartida, o projeto de um único equipamento para a mecanização simultânea de grande parte das operações do cultivo de mexilhões, levaria a um custo final do produto incompatível com a situação financeira atual do produtor.

De forma a contornar este problema, optou-se pelo uso de uma metodologia de projeto de produtos modulares que levasse a obtenção de uma família de produtos para a realização dos processos do cultivo de mexilhões, selecionados segundo seu interesse imediato para mecanização, e que permitisse ao produtor a opção de adquiri-los de forma gradual, segundo suas necessidades produtivas e suas limitações econômicas.

Neste capítulo, são inicialmente estudados os princípios e as técnicas do projeto modular, levando-se em conta suas contribuições, seus efeitos e outros aspectos de sua aplicação. Na seqüência, é apresentada a proposta de metodologia empregada neste trabalho, a qual concatena os conhecimentos advindos do estado-da-arte dos processos de desenvolvimento de produtos modulares, cuja contribuição a este trabalho é avaliada ao final do capítulo.

3.1 A Evolução do Projeto de Produtos Modulares

Ao se contextualizar o projeto de produtos modulares, é relevante a apresentação de três definições: o que é um módulo, o que são os produtos modulares e o que é a modularidade. Um módulo, segundo HILLSTRÖN (1994), é um ou mais componentes ou

sub-montagens que reúnem uma série de requisitos: habilidade para suportar testes funcionais, adaptabilidade (em relação à função), interface padronizada e máxima permutabilidade. Produtos modulares são, conforme PAHL & BEITZ (1996), máquinas, montagens e componentes que realizam várias funções globais através da combinação de blocos construtivos distintos ou módulos. Já o termo modularidade, conforme salientado por ULRICH & TUNG (1991), é referente a um conceito relativo, ou seja, um produto não poderia ser classificado como modular, mas como contendo maior ou menor modularidade. Este conceito de modularidade pode ser mais bem entendido de forma gráfica, tal qual ilustrado na Figura 3.1, a qual apresenta a relação existente entre modularidade, performance e flexibilidade do produto.

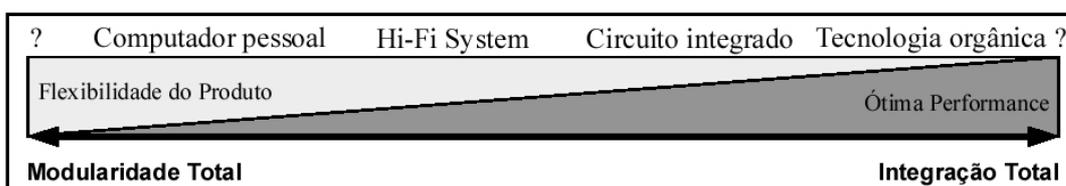


Figura 3.1 – Escala de modularidade (MARSHALL, 1997).

A origem do projeto de produtos modulares remonta, segundo STARR (1965), ao início do século XX, quando estudantes de gerenciamento da produção estudaram um sistema de transformação que permitiria obter, a partir de elementos diferentes, unidades suficientemente similares para serem intercambiáveis, dando origem ao que viria a se chamar produção em massa. Tais esforços foram sucedidos de outros como os de Frederick W. Taylor, Henry L. Grantt, Frank Gilberth e Henry Ford.

ROMANOS (1989), ao comentar STARR (1965), afirma que os conceitos modulares surgiram para satisfazer a duas razões básicas: razões funcionais (rápidas mudanças na configuração do produto e melhorias de desempenho e capacidade) e razões de comercialização (personalização dos produtos aos interesses dos consumidores). Para o autor, a origem dos sistemas modulares se daria somente nas décadas de 50 e 60, nos Estados Unidos da América, graças às indústrias moveleiras e automobilísticas que, para se adequarem aos diferentes desejos do consumidor, desenvolveram produtos baseados na modularização. Campanhas publicitárias no estilo “faça você mesmo” e “tenha seu próprio estilo” serviram de incentivo à venda de automóveis naquele país. A Figura 3.2 ilustra a versatilidade obtida através do projeto de uma mesa de forma modular.

No início da década de 90, ULRICH & TUNG (1991) chamavam a atenção para o fato de que, apesar de considerada como o fator de sucesso em vários produtos, ainda não se tinha estudado a modularidade tão profundamente quanto outras práticas de projeto. Porém, tal situação mudou radicalmente na última década, tanto no ambiente acadêmico quanto no industrial (FIXSON, 2001). O desenvolvimento resultante destes esforços será

discutido a seguir, sendo inicialmente abordadas as metodologias de projeto de produtos modulares e, na seqüência, os demais aspectos que cercam esta modalidade de projeto.

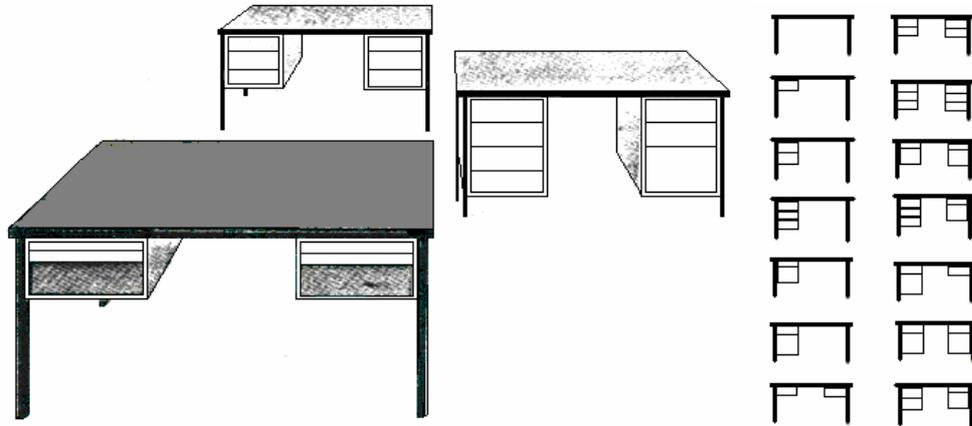


Figura 3.2 – Combinações de mesas através de um número limitado de componentes padronizados. Projeto de Friso Kramer, Amsterdã, Holanda, 1958 (ROMANOS, 1989).

3.1.1 O Estado-da-Arte das Metodologias de Projeto de Produtos Modulares

Devido à grande contribuição dada por PAHL & BEITZ (1996) ao processo metodológico de projeto de produtos, bem como ao amplo reconhecimento de seus esforços, optou-se por iniciar a apresentação do estado-da-arte do projeto de produtos modulares pelo trabalho destes autores. Nele, o projeto de produtos é dividido em quatro fases distintas: (1) planejamento e clarificação da tarefa, com a análise do problema de projeto, (2) projeto conceitual, com a proposição, desenvolvimento e seleção de alternativas de projeto, (3) projeto preliminar, onde as formas e os materiais do produto são definidos e otimizados e (4) projeto detalhado, quando a documentação para a produção é preparada. Mesmo não sendo o enfoque principal do trabalho, os autores também abordaram o desenvolvimento de produtos modulares, propondo diversas recomendações para a adequação do processo metodológico por eles proposto a esta linha de projeto.

Em se tratando de metodologias dedicadas ao projeto de produtos modulares, destaca-se a MFD (*Modular Function Deployment*) de ERIXON ET AL. (1996), dividida em cinco passos (Figura 3.3), cada qual com sugestões de ferramentas de projeto a serem utilizadas. Grande parte da contribuição de ERIXON ET AL. (1996) ao projeto de produtos modulares está neste mapeamento das ferramentas e na adequação de seu uso no projeto de produtos modulares.

Dentre as ferramentas listadas uma, proposta pelos próprios autores, merece uma atenção especial: a *Module Indication Matrix* (ou MIM), a qual emprega 12 diretrizes relacionadas a razões pelas quais um produto deveria ser modularizado (Tabela 3.1). Em um procedimento semelhante ao empregado no QFD (*Quality Function Deployment*), estas diretrizes são confrontadas com as funções desempenhadas pelo produto, atribuindo-se

valores a cada relacionamento, tal qual ilustrado na Figura 3.4. As funções que apresentarem os melhores resultados no somatório de pontos poderão ser modularizadas, bem como os grupos de funções que apresentaram um forte relacionamento com alguma diretriz (Figura 3.4).

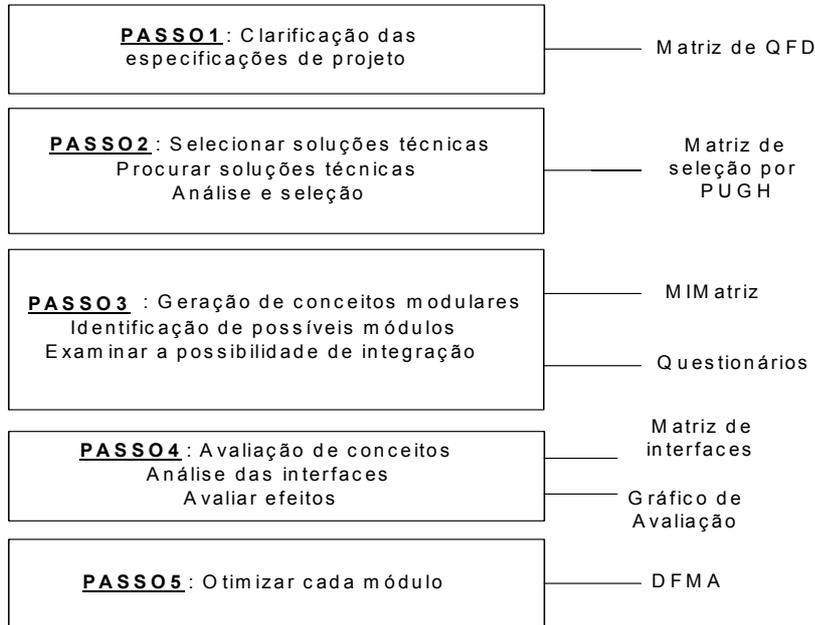


Figura 3.3 – Passos da metodologia MFD (ERIXON ET AL., 1996).

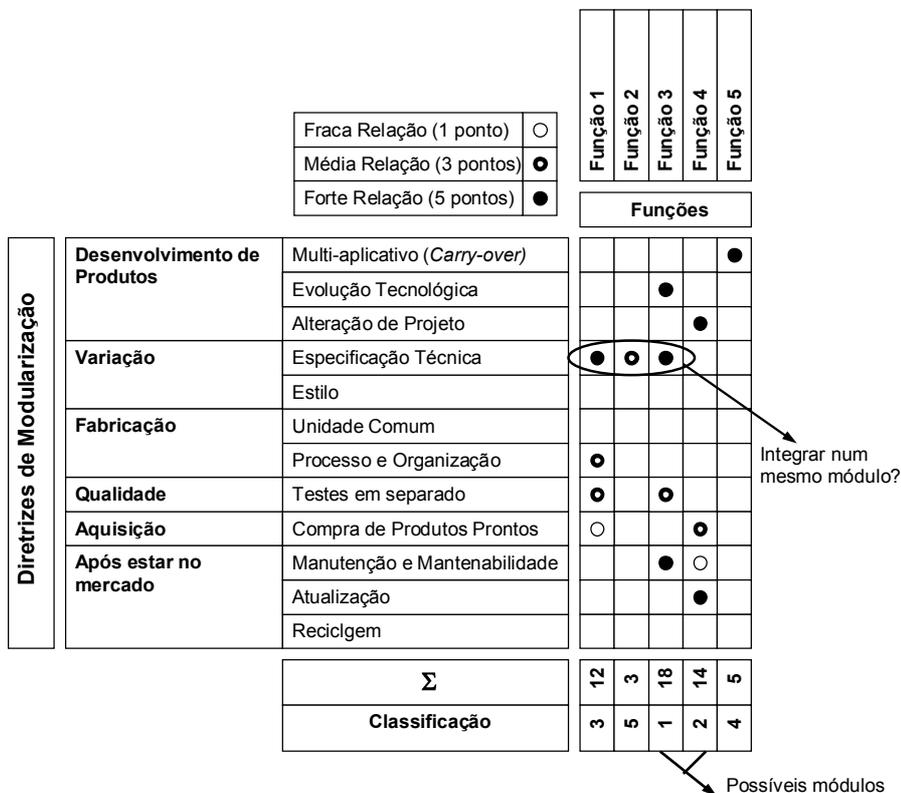
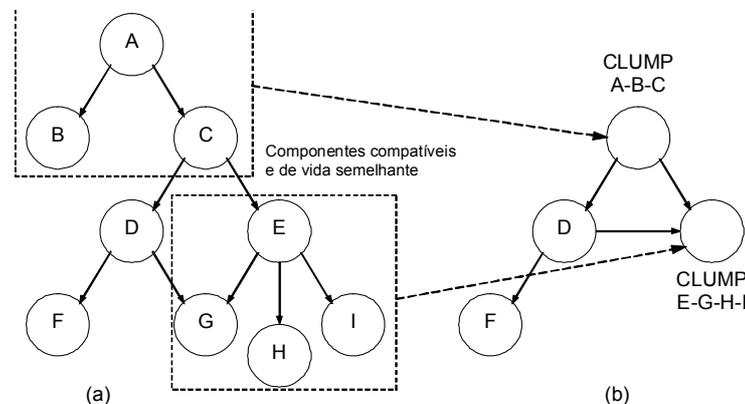


Figura 3.4 – Aplicação da MIM ao projeto de móveis modulares (adaptado de PIZZATTO, 1998).

Tabela 3.1 – Diretrizes de modularização segundo ERIXON ET AL. (1996).

| | | |
|------------------------------------|---|--|
| Desenvolvimento de produtos | <i>Multi-aplicativo (“Carry-Over”)</i> | Uma função pode ser um módulo separado onde a solução tecnológica atual poderá ser levada para uma nova geração ou família de máquinas. |
| | <i>Evolução tecnológica</i> | Uma função pode ser um módulo único se o mesmo possui uma tecnologia que irá ser superada no seu ciclo de vida. |
| | <i>Planejamento de alteração de projeto</i> | Uma função pode ser um módulo separado se esta possui características que serão alteradas segundo um plano. |
| Variação | <i>Especificação técnica</i> | Poderão ser concentradas alterações para se conseguir variantes em um módulo. |
| | <i>Estilo</i> | Função pode ser um módulo separado se esta é influenciada por tendências e modas de tal maneira que as formas e/ou as cores tenham de ser alteradas. |
| Fabricação | <i>Unidade comum</i> | Uma função poderá ser separada em um módulo se a mesma possuir a mesma solução física em todos os produtos variantes. |
| | <i>Processo e organização</i> | Razões para separar uma função num módulo: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ter uma tarefa específica num grupo; ▪ Encaixar-se no conhecimento tecnológico da empresa; ▪ Possuir uma montagem pedagógica; ▪ Ter um tempo de montagem que difere extremamente dos outros módulos. |
| Qualidade | <i>Testes em separado</i> | Uma função poderá ser separada em um módulo quando esta função puder ser testada separadamente. |
| Aquisição | <i>Compra de produtos prontos</i> | Uma função que pode ser tratada como uma caixa preta por causa de redução dos custos logísticos. |
| Após estar no Mercado | <i>Manutenção e manutenibilidade</i> | Manutenções e reparos podem ser facilitados se uma função fica bem em um módulo separado. |
| | <i>Atualização</i> | Se for necessária pode ser facilitada se a função a ser atualizada for um módulo. |
| | <i>Reciclagem</i> | Isto pode ser uma vantagem para concentrar materiais poluentes ou recicláveis em um mesmo módulo ou em módulos separados, conforme o caso. |

Em outra linha de pesquisa, encontram-se várias propostas de metodologia de projeto que se baseiam no ciclo de vida para a determinação da modularização de produtos. Dentre estes trabalhos encontra-se ISHII & EUBANKS (1995), que sugeriram a integração de componentes compatíveis e de vida semelhante em um único módulo, denominado pelos autores de *clump* (agrupamento), visando facilitar seu descarte, reciclagem ou reutilização (Figura 3.5).

**Figura 3.5 – Aplicação de *clumping* a um produto hipotético (ISHII & EUBANKS, 1995).**

(a) Componentes sem a aplicação de *clumping*; (b) Presença de dois *cumpligs* de componentes.

De forma mais ampla, GU & SOSALE (1997) apresentaram um processo metodológico de projeto que, além do reuso, disposição final e reciclagem, abrange também as outras fases do ciclo de vida do produto: fabricação, montagem, teste, transporte, distribuição, uso e serviços. Esta proposta é dividida em três fases, cada qual contendo três passos, tal qual ilustrado na Figura 3.6.

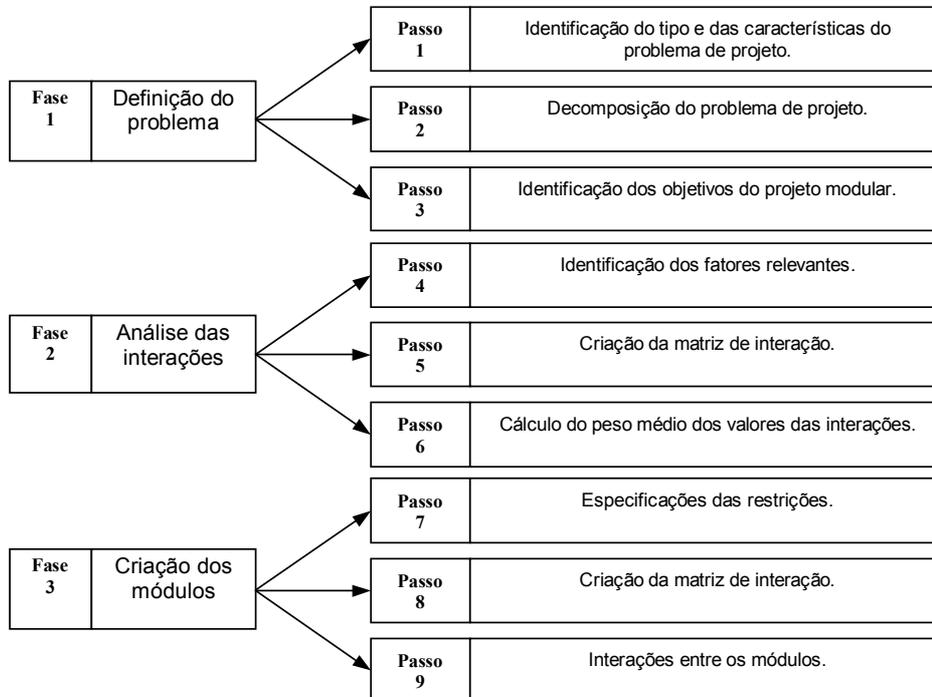


Figura 3.6 – Representação do processo de projeto para o desenvolvimento de sistemas modulares apresentado por GU & SOSALE (1997).

Retomando a descrição de metodologias voltadas ao projeto de produtos modulares sob a perspectiva de sistemas, é interessante citar a obra de MARSHALL (1997). O autor apresenta uma metodologia por ele denominada *Holonic Product Design* (HPD), descrita pelo autor como um método empregado para fazer uso de conceitos de sistemas e do projeto modular. Sua proposta divide-se em três fases, sendo as duas primeiras a fase de concepção, ligada a aspectos estratégicos da empresa e suas aspirações em relação ao projeto modular, e a fase de viabilização, relacionada à análise da adequação do produto à arquitetura modular. O desenvolvimento técnico do produto só tem início na terceira fase, através de um procedimento dividido em onze passos:

1. Estabelecer a equipe de projeto;
2. Definir o nível de modularidade;
3. Documentar os elementos chave;
4. Estabelecer os critérios de modularização;
5. Criar desenhos esquemáticos do produto;
6. Determinar a natureza e o tipo das interações entre os elementos;

7. Agrupar os elementos do desenho esquemático;
8. Determinar a natureza e o tipo das interações entre os módulos;
9. Criar um leiaute geométrico esquemático dos módulos;
10. Testar os módulos em relação aos critérios (usados anteriormente);
11. Especificar módulos e interfaces.

Nesta proposta é importante ressaltar, no segundo passo, a possibilidade de se definir um nível desejado para a modularidade do produto. Para colaborar com esta tarefa, o autor apresenta um questionário, ilustrado na Figura 3.7, onde pontuações entre 17 e 21 correspondem a um nível muito alto de modularidade, 11 a 16 um nível alto, 5 a 10 um nível médio e 0 a 4 um nível baixo. O uso desta ferramenta, no entanto, fica restrito apenas a uma referência para as tomadas de decisões realizadas nos passos 4 e 5 do processo apresentado.

| | a correlação é? | | |
|---|-----------------|----------|--------|
| | Forte | Moderada | Neutra |
| 1. Em qual extensão o usuário deseja/requer que o produto seja reconfigurável? | 3 | 1 | 0 |
| 2. Qual é o grau da possível semelhança entre o produto e outro? | 3 | 1 | 0 |
| 3. Em qual extensão o produto será provavelmente modificado/atualizado no futuro? | 3 | 1 | 0 |
| 4. Quão complexo é o empreendimento do projeto e produto? | 3 | 1 | 0 |
| 5. Em qual extensão o produto é restrito pelos processos e estratégia de manufatura? | 3 | 1 | 0 |
| 6. Em qual extensão o produto incluirá elementos que requerem manutenção ou substituição? | 3 | 1 | 0 |
| 7. Qual o grau possível de elementos recicláveis/reutilizáveis no produto? | 3 | 1 | 0 |

Figura 3.7 – Questionário para a determinação do nível de modularidade desejado
MARSHALL (1997).

Em trabalhos recentes, STONE ET AL. (2000; 1998) foi proposto um modelo de projeto (Figura 3.8) que se utiliza de três heurísticas para o desenvolvimento da arquitetura de produtos modulares. No segundo passo desta metodologia é realizada a *decomposição funcional* do produto (desdobramento da função global em suas funções elementares), a qual serve de base à aplicação das *heurísticas dos módulos* no passo seguinte. Estas heurísticas, exemplificadas na Figura 3.9, foram obtidas através da observação do comportamento dos fluxos de grandezas entre as funções que compõem o produto, existindo três opções:

- **Heurística 01: Fluxo dominante** – O conjunto de funções em que o fluxo passa, desde sua introdução no sistema, até sua saída ou conversão, define um módulo.
- **Heurística 02: Fluxo ramificado** – cada ramo paralelo de uma cadeia de funções constitui um módulo. Cada módulo possui interface com os demais no ponto de ramificação do fluxo.

- **Heurística 03: Módulos de conversão/transmissão** – Uma função de conversão, um par conversão/transmissão ou uma cadeia destes elementos forma um módulo.

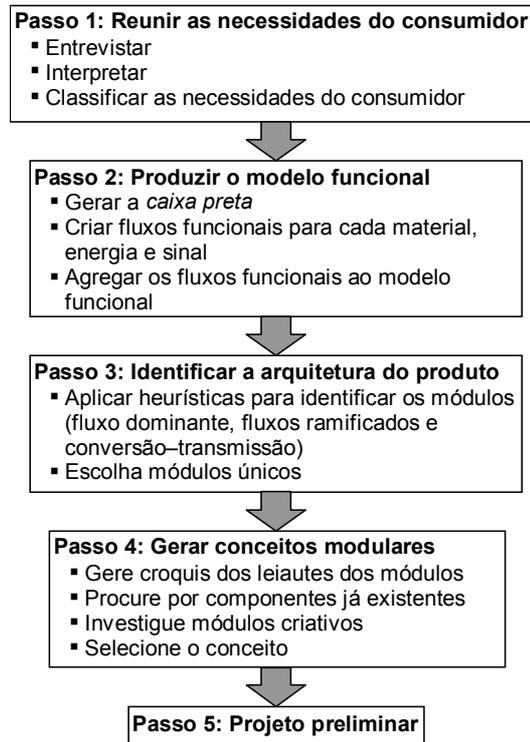


Figura 3.8 – Modelo de projeto adotado por STONE ET AL. (2000).

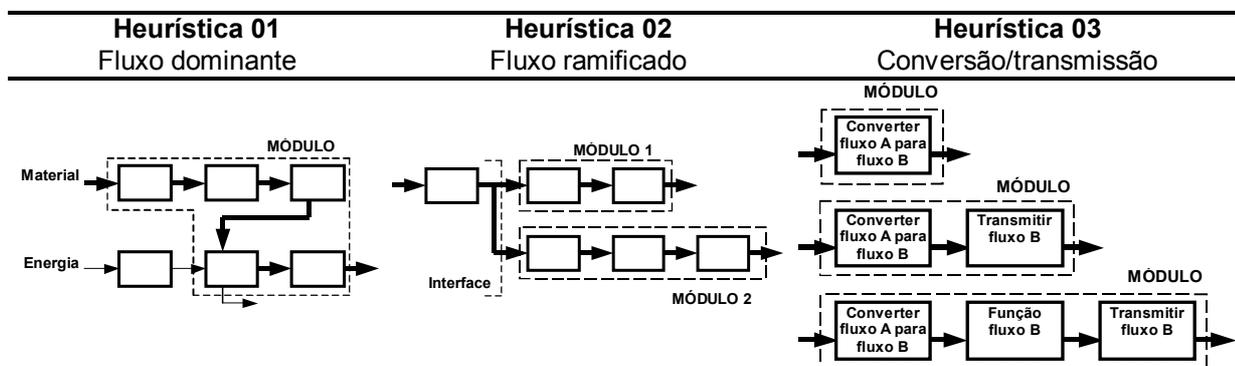


Figura 3.9 – Exemplos da aplicação das heurísticas para identificação de módulos a um diagrama de fluxo funcional. Adaptado de STONE ET AL. (2000).

Porém, para ZAMIROWSKY & OTTO (1999), a abordagem proposta STONE ET AL. (2000; 1998) considerou apenas o processo de modularização de um único produto e, no caso do projeto de uma família de produtos que deverá compartilhar componentes, heurísticas adicionais devem ser implementadas. Neste sentido, os autores apresentaram as seguintes heurísticas:

- **Similaridade/ repetição** – grupos de funções que compartilham tipos similares de entradas e saídas, bem como funções que aparecem diversas vezes na mesma estrutura

funcional, podem ser consolidadas em um módulo, que será repetitivamente utilizado no produto.

- **Comum** – grupos de funções que são utilizadas em todos os produtos do portfólio podem ser consolidadas como módulos e usados repetitivamente em toda a família.
- **Única** – grupos de funções que aparecem somente uma única vez podem ser consolidados em um módulo, sendo utilizados em um único produto.

Estas heurísticas, denominadas pelos autores de *heurísticas da variedade*, são empregadas em um processo de seis etapas para o projeto da arquitetura do produto composto: (1) analisar as necessidades do consumidor, (2) agregar os usos do produto em uma única estrutura funcional para a família de produtos, (3) agrupar funções de acordo com as heurísticas de funções, (4) agrupar funções de acordo com as heurísticas da variedade, (5) selecionar módulos físicos, onde os módulos selecionados são avaliados segundo sua viabilidade, e (6) comparar e selecionar as arquiteturas propostas. De forma a colaborar com a aplicação desta metodologia, em DAHMUS ET AL. (2000; 2001), é apresentada uma nova proposta para este processo, ilustrada na Figura 3.10, a qual baseia-se em uma ferramenta de projeto denominada Matriz Modularidade para a aplicação das regras de modularidade (as heurísticas de função e de variedade).

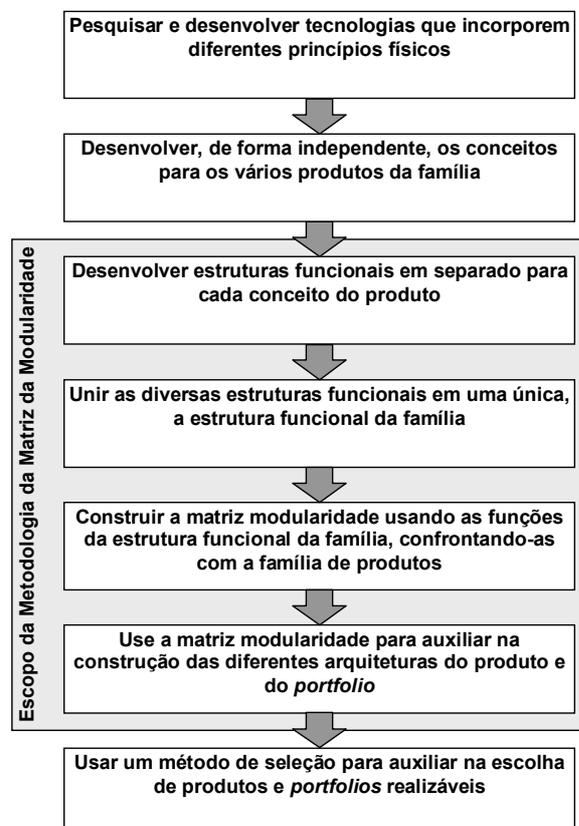


Figura 3.10 – Visão geral do processo de arquitetura do portfólio de produtos.

Traduzido de DAHMUS ET AL. (2001).

O processo de montagem da matriz modularidade inicia-se com a construção da estrutura funcional da família, a qual agrega todas as funções elementares realizadas pelos produtos em projeto, tal qual o exemplo apresentado na Figura 3.11. Na seqüência, com base na estrutura funcional da família, constrói-se a matriz modularidade, confrontando-se funções e produtos conforme o ilustrado na Figura 3.12. Nas interseções entre linhas e colunas são anotadas as especificações esperados para cada função. O processo de análise da matriz inicia-se com o mapeamento dos possíveis módulos em cada produto. A seguir, linha por linha, são mapeadas as funções que são compartilhadas pela linha de produtos. Se os produtos compartilham o mesmo valor para o volume de especificações, o compartilhamento do módulo se torna viável, caso contrário, existirão dependências em relação à possibilidade de sua combinação. Uma possível configuração de módulos é ilustrada na Figura 3.12.

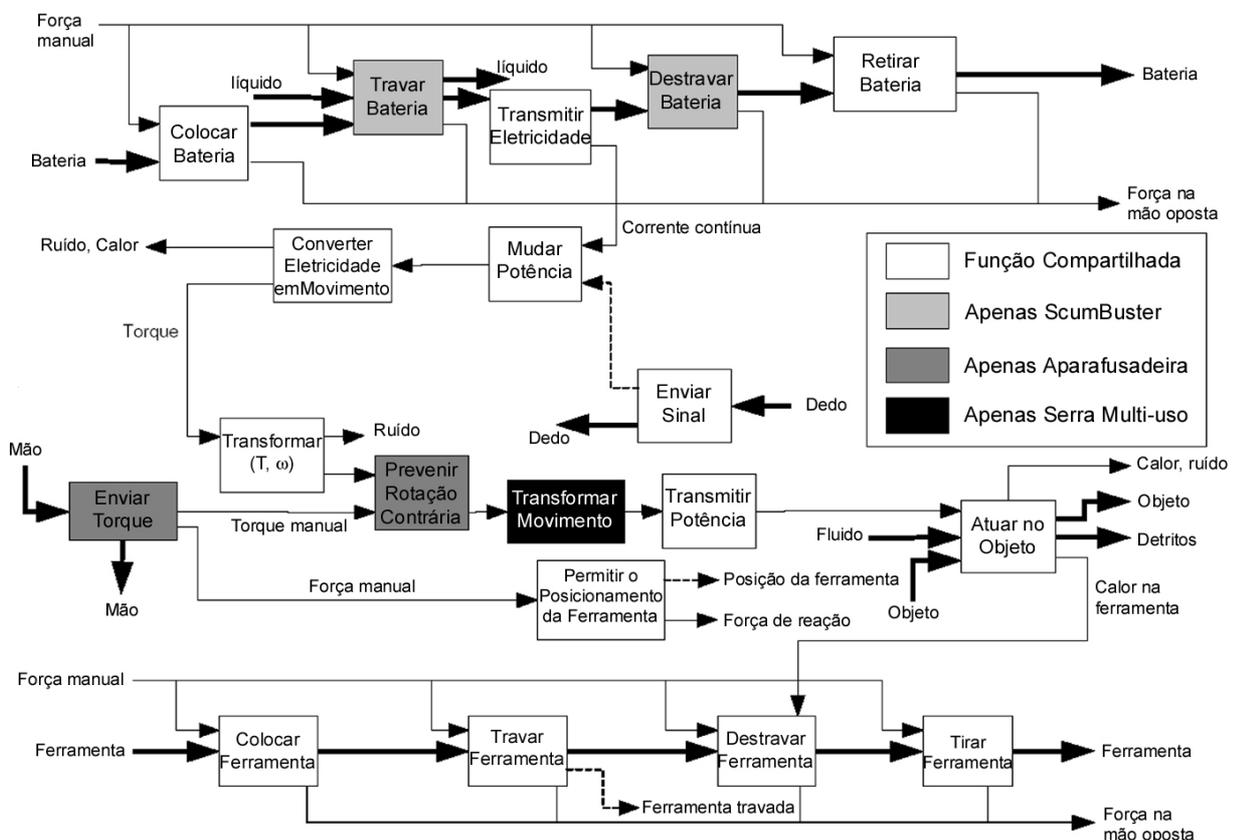


Figura 3.11 – Exemplo de uma estrutura funcional da família para toda a linha de produtos VersaPak®. DAHMUS ET AL. (2000).

Em MARIBONDO (2001) é apresentada, de forma bastante detalhada, uma metodologia dedicada ao projeto de produtos modulares. Um dos pontos mais interessantes deste trabalho está no tratamento distinto do projeto conceitual de um único sistema modular e de um grupo de sistemas, tal qual ilustrado nos fluxogramas apresentados nas

Figuras 3.13 e 3.14, respectivamente denominados pelo autor como *Roteiro 1* e *Roteiro 2*. As ferramentas de apoio e os documentos citados nestas figuras são listados na Tabela 3.2.

| | Aparafusadeira sem fio | Serra multiuso | Poltriz ScumBuster tm | Furadeira 2 velocidades | Wizard tm Ferramenta rotativa |
|---------------------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------------|---|--|
| Função | | | | | |
| Colocar bateria | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| Retirar bateria | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| Transmitir eletricidade | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| Travar bateria | - | - | sim | - | - |
| Destruar bateria | - | - | sim | - | - |
| Enviar sinal | | dedo | dedo | dedo | polegar |
| Mudar potência | polegar | ligado/ desligado/ travado | ligado/ dsligado | em frente/ reverso/ desligado / travado | baixa velocidade / alta velocidade / desligado |
| Converter eletricidade em movimento | motor A | motor B | motor A | motor B | motor A |
| Transformar (T, ω) | transmissão A | transmissão B | transmissão A | transmissão D | - |
| Transmitir potência | eixo rotativo | lâmina transacional | eixo rotativo | eixo rotativo | eixo rotativo |
| Enviar torque manual | sim | - | - | - | - |
| Prevenir rotação contrária | sim | - | - | - | - |
| Transformar movimento | - | sim | - | - | - |
| Colocar ferramenta | orifício hexagonal | suporte para lâmina | mandril três pontas | mandril três pontas | mandril três pontas |
| Travar ferramenta | clip de retenção | fixar parafuso | alojar no mandril | alojar no mandril | alojar no mandril |
| Permitir posicionamento da ferramenta | formato do produto | manípulo | manípulo | manípulo com gatilho | manípulo com gatilho |
| Atuar no objeto | rotação | corte | polir | furar/ rotação | abrasão |

Possíveis módulos Elementos compartilhados

Figura 3.12 – Matriz Modularidade mostrando os possíveis módulos para a linha de produtos da VersaPak[®]. DAHMUS ET AL. (2000).

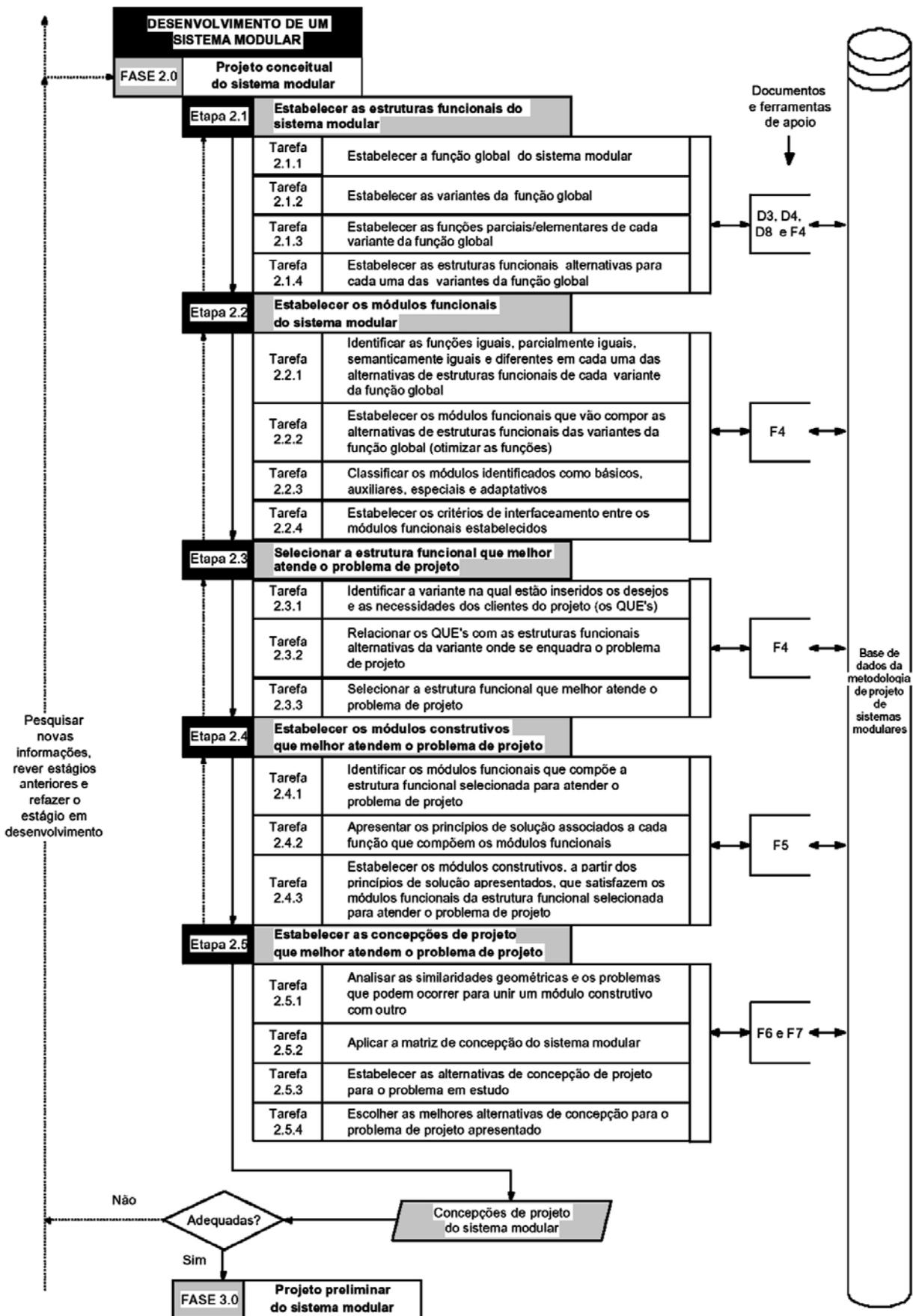


Figura 3.13 – Roteiro 1 – Projeto conceitual de um sistema modular (MARIBONDO, 2001).

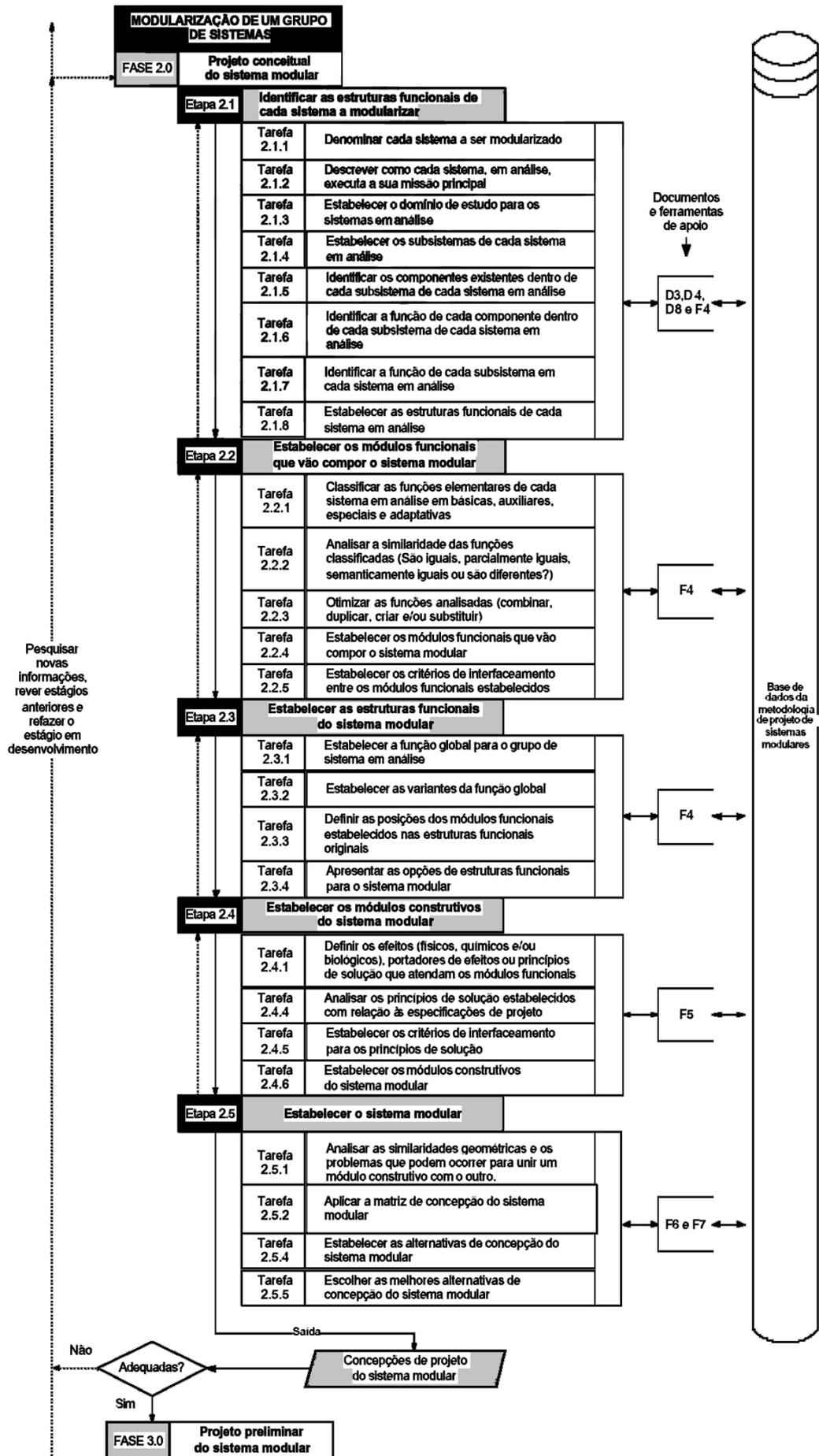


Figura 3.14 – Roteiro 2 – Projeto conceitual de grupo de sistemas (MARIBONDO, 2001).

Tabela 3.2 – Documentos e ferramentas de apoio citados na proposta de MARIBONDO (2001)

| Ferramentas/ Documentos | Descrição |
|--|--|
| D3 Catálogo de informações técnicas | É um documento destinado a registrar e organizar as informações técnicas sobre o projeto em estudo, visando facilitar a busca e o uso de informações úteis para o desenvolvimento do novo produto. |
| D4 Formulário de identificação de oportunidades | É um documento no qual a equipe de projeto registra, de maneira sucinta, o objetivo e as metas a serem atingidas com o desenvolvimento do projeto. |
| D8 Quadro de especificações de projeto do sistema modular | É um documento destinado a registrar de modo explícito como cada requisito de projeto deve ser atendido para que os mesmos auxiliem no desenvolvimento do problema de projeto. |
| F4 Síntese funcional do sistema modular | Esta ferramenta procura adaptar os conceitos da síntese funcional ao projeto de produtos modulares. Seus procedimentos confundem-se com as etapas 2.1 a 2.3 de ambos os roteiros (Figura 3.15), gerando procedimentos distintos para os diferentes casos estudados pelo autor. |
| F5 Gerador de módulos construtivos ¹ | Esta ferramenta utiliza-se dos princípios da matriz morfológica para a determinação de soluções para problemas construtivos. Constitui-se, basicamente, de uma tabela na qual são listadas as funções provenientes da síntese funcional e seus respectivos princípios de solução, os quais, quando selecionados, permitem identificar os locais aonde deverão ser implementadas adaptações estruturais entre os princípios de solução. |
| F6 Matriz de concepção do sistema modular | É uma ferramenta que tem por objetivo auxiliar a equipe de projeto a estabelecer, a partir dos módulos funcionais ² , as concepções construtivas para a solução dos problemas de projeto. |
| F7 Avaliador das concepções construtivas do sistema modular | É uma ferramenta de decisão para determinação de qual alternativa de projeto, dentre as que permaneceram até este instante, melhor atende a determinados requisitos de custo. O procedimento adotado pelo autor deriva do trabalho apresentado por FERREIRA (1997). |

Conforme o próprio autor ressalta, as diferenças entre os dois roteiros encontra-se nos procedimentos adotados em cada caso. No Roteiro 1, para desenvolvimento de um único sistema modular, o processo parte diretamente do “campo das idéias”, enquanto que no Roteiro 2, para a modularização de um grupo de sistemas, o processo tem início com a definição de um grupo de sistemas já existentes cuja a modularização é desejada. Estas diferenças são ilustradas na Figura 3.15.

Além dos trabalhos apresentados neste capítulo, outros também compõem o estado-da-arte das metodologias de projeto de produtos modulares. Tais metodologias são listadas a seguir, juntamente a uma breve descrição de seu conteúdo:

¹ Módulos construtivos são módulos independentes das suas funções, sendo baseados apenas nos problemas de construção (Pahl & Beitz, 1996).

² Módulos funcionais são módulos que ajudam a implementar as funções técnicas de forma independente ou em combinação com outras (Pahl & Beitz, 1996).

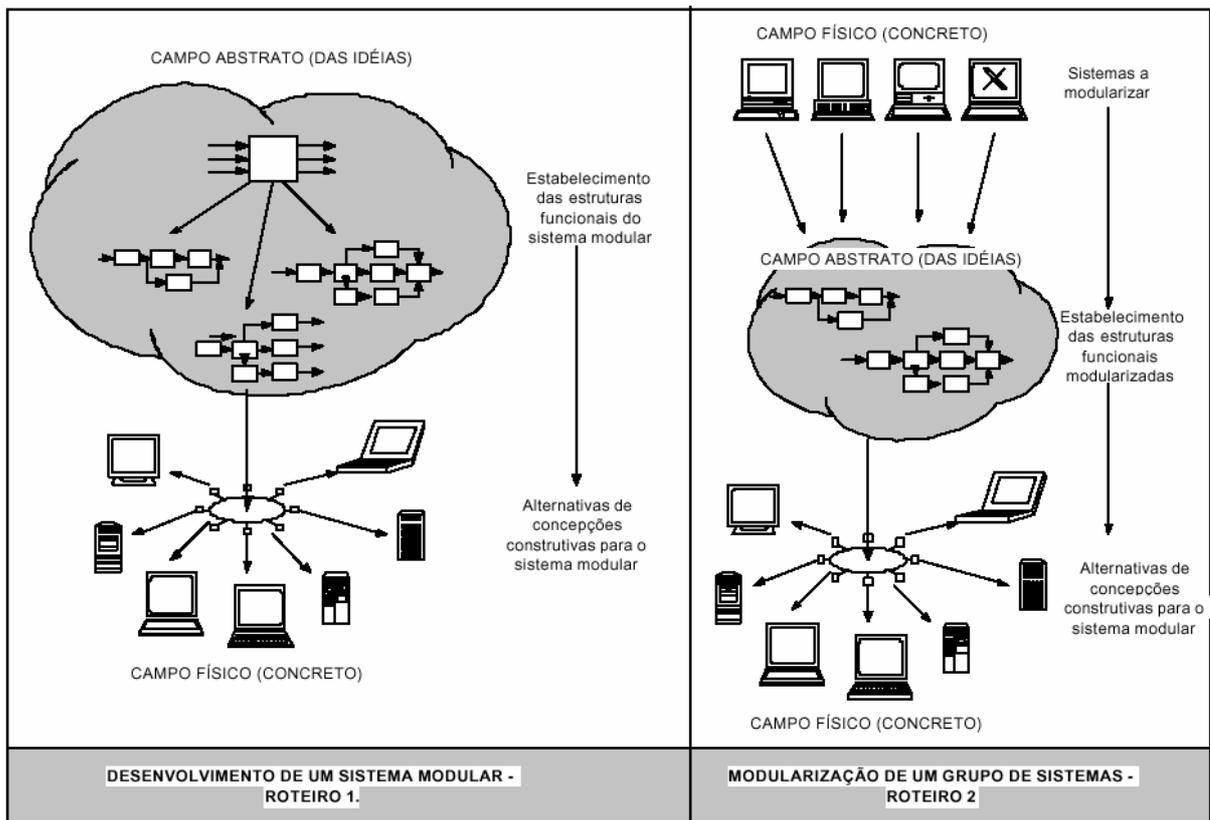


Figura 3.15 – Principais diferenças entre os Roteiros 1 e 2 para o projeto conceitual de produtos modulares (MARIBONDO, 2001).

- HILLSTRÖN (1994) – utiliza a teoria de projeto axiomático de SUH (1990) combinado às ferramentas de DFMA (*Design for Manufacture and Assembly*) convencionais, criando um método para esclarecer como as interfaces entre módulos interagem e selecionar as melhores posições dessas interfaces.
- HUANG & KUSIAK (1998) – apresentam uma proposta de metodologia, a qual foi denominada abordagem de decomposição. Dividida em sete passos, esta proposta utiliza-se de duas matrizes, chamadas interação e viabilidade, as quais permitem organizar os componentes do produto de forma a mapear os módulos.
- PIZZATTO (1998) – propôs uma combinação dos trabalhos de ERIXON (1996) e PALH & BEITZ (1996), estruturando a aplicação de ferramentas de modularização no processo de projeto.
- GERSHENSON ET AL. (1999) – apresentam uma metodologia que, além de se basear na forma/função de um produto, também incorpora aspectos de seu ciclo de vida. O processo proposto confronta os componentes do produto entre si em uma matriz, utilizando-se da similaridade e dependência existente entre eles para determinar a modularidade do produto.
- MARTIN & ISHII (2000; 1996) – propõem um método para auxiliar o desenvolvimento de plataformas robustas de produtos, denominado projeto para variedade (DFV), o qual utiliza-

se de dois índices para avaliar a arquitetura: o índice de geração de variedade (GVI), uma medida do esforço de projeto necessário em futuros projetos do produto, e o índice de acoplamento, uma medida do montante de uniões entre componentes.

3.1.2 Aspectos Gerais do Projeto de Produtos Modulares

Além da apresentação de metodologias e de ferramentas focadas no projeto de produtos modulares, o universo de trabalhos sobre o tema modularização de produtos envolve outras abordagens, tais como a proposição de sistemas de classificação para as metodologias ou para os produtos modulares desenvolvidos, sistematizações de nomenclatura, análises sobre a influência desta linha de projeto no sistema produtivo das empresas e vantagens e desvantagens de sua adoção para os diferentes clientes do produto. Neste tópico serão apresentados, de forma sucinta, alguns destes trabalhos.

Em uma publicação recente, FIXSON (2001) identificou a possibilidade de se classificar os trabalhos sobre metodologias de projeto de produtos modulares em três grupos distintos. A fronteira destas diferentes vertentes, segundo o próprio autor, não é rígida, uma vez que os trabalhos enquadrados em uma dada perspectiva poderiam agregar aspectos das demais. São elas:

- **Perspectivas de sistemas** – o produto pode ser descrito via seus elementos e pela forma como se relacionam entre si. Nesta linha, os conceitos de interface, similaridade e variedade acabam por receber uma atenção especial por parte dos autores. Exemplos desta preocupação podem ser vistos em trabalhos como o de HILLSTRÖN (1994), dedicado ao estudo de interfaces.
- **Perspectivas do ciclo de vida** – neste caso, a modularização de um produto se daria com base na prioridade dada em certas fases de seu ciclo de vida, influenciando no desempenho das demais. Exemplos desta perspectiva são o trabalho de GU & SOSALE (1997) e de ISHII & EUBANKS (1995).
- **Perspectivas hierárquicas** – a modularidade é vista através de pontos extremos do processo de desenvolvimento do produto: a *botton-up* e a *top-down*. Como exemplo da primeira abordagem, tem-se o trabalho de PAHL & BEITZ (1996), onde o problema (o produto) é dividido em partes menores para a obtenção de um melhor entendimento. No segundo caso, o processo iniciaria com um entendimento da existência da necessidade de uma variedade de produtos e sugeriria métodos para identificar o que há de comum nos vários elementos da família de produtos.

Em ULRICH & TUNG (1991) é descrita a existência de cinco tipos distintos de modularidade que produtos industriais poderiam assumir, denominadas: permutar componentes, compartilhar componentes, adaptar para a variação, barramento e seccional. Em ULRICH (1995), no entanto, é apresentada uma nova proposta, a qual reduz as cinco

categorias a apenas três, as quais são ilustradas na Figura 3.16, sendo comparadas à uma arquitetura integral, e descritas a seguir:

- **Encaixe (slot)** – as interfaces de cada componente são de tipos diferentes, permitindo que somente alguns deles sejam intercambiados (ex: rádios automotivos).
- **Barramento (bus)** – neste caso existe um barramento comum onde diferentes componentes, de interfaces iguais, podem ser acoplados (ex: placas-mãe de computadores).
- **Seccional** – todas as interfaces são do mesmo tipo, não existindo um único componente base para os outros encaixarem (ex: alguns tipos de tubulações).

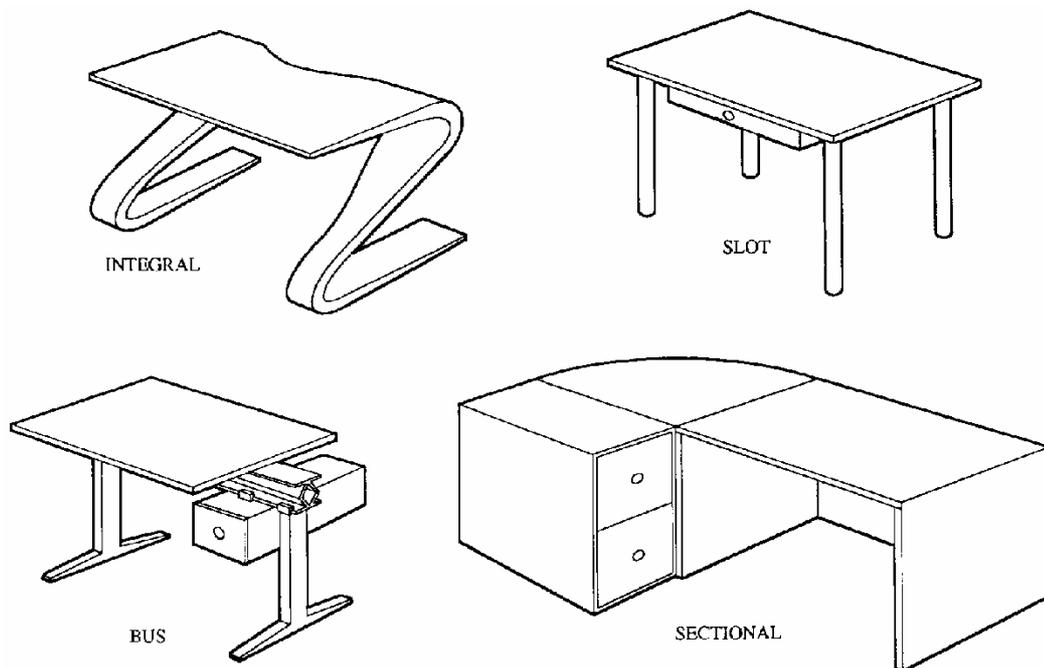


Figura 3.16 – Exemplos dos tipos de arquiteturas modulares descritos por ULRICH (1995).

Para ULRICH (1995), a decisão da arquitetura do produto envolveria o gerenciamento de cinco importantes áreas: (1) mudanças no produto, (2) variedade de produtos, (3) padronização de componentes, (4) performance do produto e (5) gerenciamento do desenvolvimento do produto. Uma descrição de cada uma destas áreas é apresentada na Tabela 3.3. O autor também se refere à existência de um forte inter-relacionamento entre as áreas de mudanças no produto, variedade de produtos e padronização de componentes. Esta correlação tem sido, com frequência, o foco do trabalho de diversos autores, tais como:

- KIM & CHHAJED (1999) – ressaltam que a proliferação de produtos resulta na deterioração da performance da manufatura e logística da empresa, sendo o uso da modularidade durante o projeto de uma família de produtos uma forma de atender às diferentes necessidades dos consumidores com os benefícios da economia de escala.

Tabela 3.3 – O gerenciamento de cinco áreas que envolvem o produto e os efeitos em sua arquitetura. Adaptado de ULRICH (1995).

| Área | Efeito | |
|--|---|---|
| Mudanças no produto | <i>Mudanças durante o ciclo de vida do produto</i> | A arquitetura modular torna possível modificações nas funções do produto de forma independente, permitindo atualizações tecnológicas, adição de novos componentes, adaptação a condições específicas de uso, melhor planejamento do desgaste, simplificação da reposição de consumíveis ou a realização de mudanças de configuração do produto. |
| | <i>Mudanças através das gerações do produto</i> | Neste caso, as alterações incluem, quase sempre, mudanças funcionais no produto. Neste caso, a estrutura modular permitiria o reuso de componentes, reduzindo o tempo para a apresentação de novos produtos ao mercado. |
| Variedade de produtos | A variedade de produtos somente tem significado para o consumidor se ocorre, de alguma forma, na função do produto. Neste sentido, produtos de arquitetura modular poderiam proporcionar uma maior variedade, independente da flexibilidade do processo de produção do equipamento (excetuando-se casos de alta automação do processo de montagem em altos volumes de produto). | |
| Padronização de componentes | A padronização só ocorre se forem atendidas duas premissas: (a) que o componente realize funções freqüentemente úteis e (b) que possua uma interface idêntica em mais de um produto. A padronização de componentes, tanto interna quanto externa à empresa, de forma geral resulta em reduções de custo pela economia de escala. Entretanto, também pode induzir ao uso de componentes com excesso de capacidade. | |
| Performance do produto | <i>Características de performance locais</i> | Arquiteturas modulares permitem a otimização da performance local do produto através do uso de componentes padronizados (proporcionado pela evolução dos mesmos) ou, no caso do desenvolvimento de um único componente, pela possibilidade de projetá-lo, testá-lo e refiná-lo de forma focada. |
| | <i>Características de performance globais</i> | Para a maioria dos produtos, muitas das principais características de performance estão ligadas ao tamanho e forma do produto ou à sua massa. Frequentemente as estratégias empregadas para minimizar estes fatores acabam por sacrificar a modularidade do produto, principalmente em produtos de maior tamanho. |
| Gerenciamento do desenvolvimento do produto | <i>Fase de projeto do sistema</i> | Uma arquitetura modular exige uma atenção muito maior durante esta fase do projeto. Interfaces deverão ser cuidadosamente definidas, metas de performance e critérios de aceitação deverão ser determinados para cada sistema funcional em particular. |
| | <i>Fase de projeto detalhado</i> | Para a arquitetura modular, esta fase de projeto pode transcorrer de forma paralela, quase independente. |
| | <i>Teste e refinamento do produto</i> | Na arquitetura modular, o teste do produto é uma atividade de checagem, visando encontrar interações não esperadas entre os componentes. |
| | <i>Implicações organizacionais</i> | O trabalho com estruturas altamente modularizadas permite a empresa formar grupos com enfoques mais fechados, porém correndo o risco de barrar eventuais inovações. |

- NAGARUR & AZEEM (1999) – descrevem a padronização de componentes como uma opção viável para a melhora da performance da manufatura de produtos e da redução de sua complexidade.

- PERERA ET AL. (1999) – afirmam que a padronização de produtos acaba por reduzir os custos em todo o ciclo de vida do produto, trazendo benefícios não somente para a empresa, mas também para a sociedade e o usuário.

No entanto, os efeitos de um projeto modular não ficam restritos apenas à sua arquitetura existindo uma série de outras vantagens aportadas por outros autores, tal qual exemplificado na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Exemplos de vantagens e desvantagens decorrentes de um projeto modular.

ULRICH & TUNG (1991):

Benefícios:

- **Economia de escala de componentes** – a modularidade permite que alguns componentes sejam usados em diferentes produtos.
- **Mudança de produtos** – o emprego de modularidade nos produtos permite mudanças ao longo do seu ciclo de vida.
- **Variedade de produtos** – o uso de modularidade proporciona a criação de uma variedade de produtos a partir da combinação de um pequeno grupo de diferentes componentes.
- **Verificação e teste dos componentes** – a modularidade facilita a verificação e os testes dos componentes dos produtos.

Custos:

- **Arquitetura estática do produto** – a arquitetura modular acaba por se mostrar como um obstáculo à implementação de inovações no produto.
 - **Otimização da performance** – um projeto modular pode vir a ser um obstáculo a reduções de massa e tamanho.
 - **Facilidade de engenharia reversa** – um produto modular possui uma estrutura semelhante a um diagrama esquemático, tornando mais óbvia a função de cada componente.
 - **Maiores custos individuais** – apesar da economia de escala, os componentes apresentam excessos de capacidade em algumas de suas aplicações, aumentando seu custo individual.
 - **Semelhança excessiva dos produtos** – a grande similaridade dos componentes pode resultar em uma grande semelhança na estética do produto.
-

PAHL & BEITZ (1996):

Vantagens para o Fabricante:

- As tarefas de fabricar, montar e testar são facilitadas, pois se trabalha com componentes e interfaces padronizados.
- Os tempos de preparação de máquina são menores em função dessa padronização.

Vantagens para o consumidor:

- As mudanças de função global (novos produtos) e ampliação das capacidades de produção desses produtos são mais fáceis de obter, em função de serem produtos montados a partir de módulos.
- Possuem, em geral, custos de aquisição menor quando comparados com projetos de arquitetura integral.

Limitações para o Fabricante:

- Os custos envolvidos na elaboração e na fabricação das interfaces dos módulos podem ser elevados, devido as possibilidades de combinações exigidas com esse tipo de projeto.
- Alta similaridade de produtos, devido a padronização de seus componentes.

Limitações para o consumidor:

- Os pedidos especiais podem não ser atendidos, devido aos custos de desenvolvimento de um novo projeto de sistema modular.
 - Certas características de qualidade tais como mínimo peso e produtos mais compactos, podem não ser contempladas com esse tipo de projeto, devido às redundâncias existentes.
-

Tabela 3.4 (continuação) – Exemplos de vantagens e desvantagens decorrentes de um projeto modular.

ISHII, JUENGER & EUBANKS (1995):

Vantagens:

- Flexibilidade para atender rapidamente as exigências do mercado;
 - Grande possibilidade de adaptação dos produtos, facilitando o atendimento dos desejos e necessidades dos clientes;
 - Estratégia tecnológica voltada para mudar e permutar componentes;
 - Promove a padronização de componentes (possibilidade de redução de custos).
-

3.2 Proposta de uma Abordagem Metodológica para o Projeto de Produtos Modulares

Através de um levantamento do estado-da-arte das metodologias de projeto de produtos modulares existentes (SCALICE, 1999), cujo conteúdo foi, em grande parte, apresentado nos tópicos anteriores deste capítulo, constatou-se a existência de uma ampla gama de métodos e ferramentas que poderiam ser utilizados no projeto de produtos modulares para o cultivo de mexilhões. No entanto, uma análise de tal levantamento revelou a oportunidade de se combinarem os recursos disponíveis, de forma a compor um processo de projeto com as seguintes características:

1. Esteja de acordo com os procedimentos do estado-da-arte das metodologias de projeto de produtos modulares;
2. Abranja a maior número de aspectos desta modalidade de desenvolvimento de produtos (projeto de interfaces, modularização pelo ciclo de vida, modularização via estrutura funcional, etc.);
3. Seja adequada ao projeto simultâneo de diferentes produtos (um sistema com várias funções globais);
4. Seja voltada à obtenção dos benefícios do projeto modular, principalmente os relacionados à economia de escala;
5. Esteja em concordância com fundamentais do projeto metodológico de produtos.

A estrutura de fases, etapas e principais saídas desta metodologia são ilustradas na Figura 3.17 e detalhadas nos tópicos a seguir. Seu conteúdo, além de ser uma proposta de organização dos conhecimentos já existentes sobre o desenvolvimento de produtos modulares, também contribui ao apresentar duas novas ferramentas: a Matriz para Determinação dos Núcleos Funcionais e o Processo de Seleção de Interfaces. Esta metodologia, em relação às contribuições esperadas nesta pesquisa, atendeu ao objetivo de

entregar um processo desenvolvimento mais direto e melhor estruturado para a obtenção da maior modularização possível entre as operações da maricultura selecionadas para projeto.

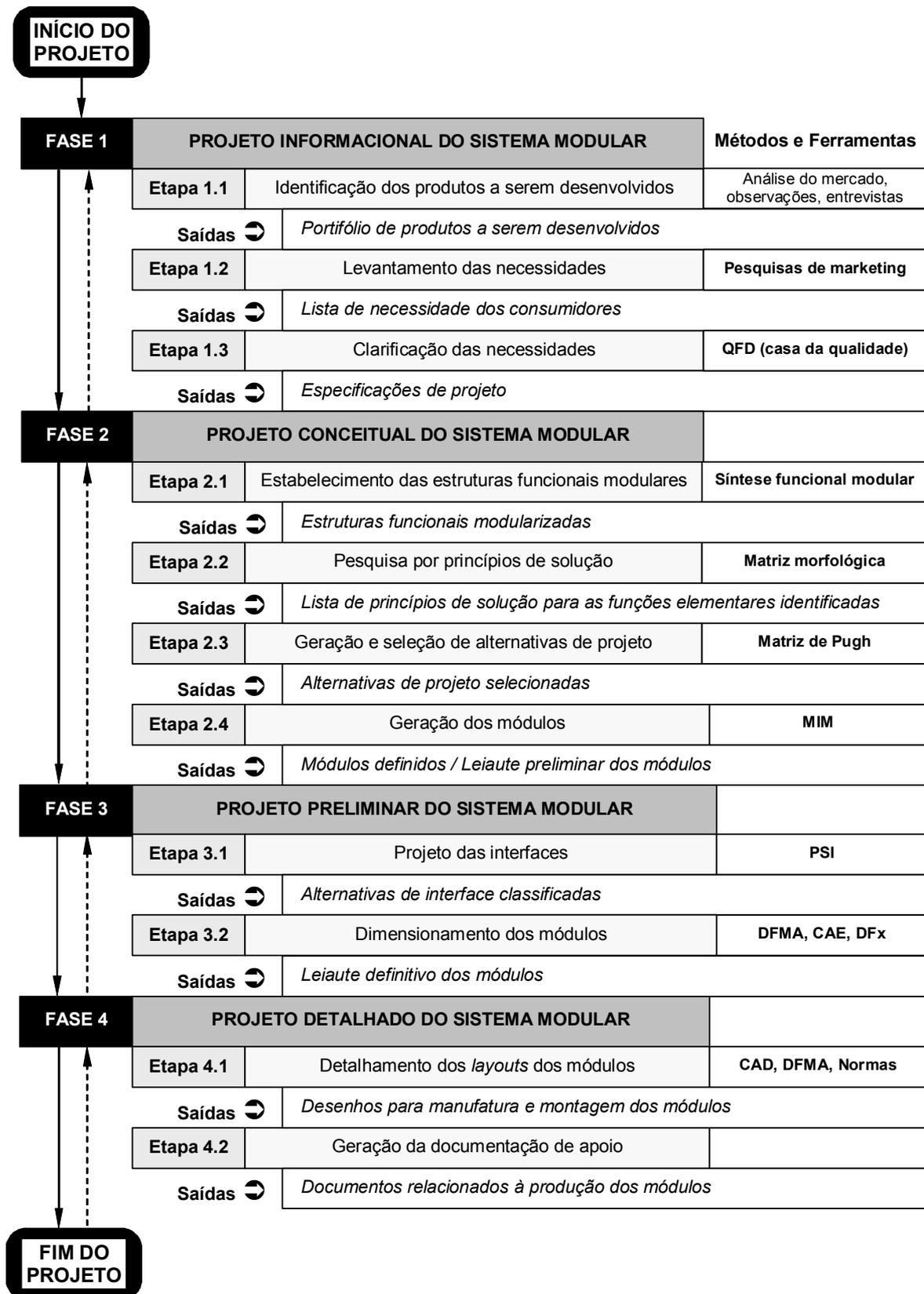


Figura 3.17 – Proposta de abordagem metodológica para o projeto de produtos modulares.

3.2.1 Projeto Informacional do Sistema Modular

Esta proposta de metodologia tem início com a constatação da possibilidade de se introduzir uma nova família de produtos no mercado. Segundo FIOD NETO (1993), várias são as fontes que podem levar a identificação de tal oportunidade: contato intensivo e constante entre o setor que propôs a tarefa e o setor de desenvolvimento e projeto, lista de condições previamente estabelecidas, coleta e análise de dados sobre tendências de consumo, potencial de mercado e desejos e expectativas dos clientes, imperfeições em produtos já existentes e informações sobre a atual situação técnica, tendências de desenvolvimentos futuros e normas e recomendações nacionais e internacionais.

O processo proposto para o projeto informacional da família de produtos é dividido em três etapas, as quais objetivam prover um maior conhecimento do problema de projeto. Uma descrição das metas, entradas, saídas e ferramentas para cada uma destas etapas são apresentadas na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Etapas do Projeto informacional do Sistema Modular.

| ETAPA 1.1 – Identificação dos produtos a serem desenvolvidos | | |
|--|--|---|
| Objetivos: analisar todas as operações candidatas à mecanização segundo critérios técnicos, econômicos e mercadológicos, de forma a estabelecer o portfólio de produtos a ser desenvolvido. Como meta secundária, deve-se avaliar a possibilidade de se acrescentar outros produtos não considerados inicialmente na proposta do projeto. | | |
| » Entradas » | ✂ Ferramentas ✂ | » Saídas » |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Operações que deram origem ao projeto. ▪ Operações que processem os mesmos materiais, ou materiais semelhantes, das que deram origem ao projeto. ▪ Impressões/ dados do mercado. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Análise do potencial mercado consumidor do produto. ▪ Comparação e seleção das operações com melhores perspectivas de mercado. ▪ Entrevistas informais ▪ Observação das atividade do cultivo de mexilhões | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Portifólio de produtos a serem desenvolvidos. |
| ETAPA 1.2 – Levantamento das necessidades | | |
| Objetivos: buscar, junto aos consumidores do produto e aos seus demais clientes, as necessidades (desejos ou aspirações) que deverão ser atendidos pelo projeto. | | |
| » Entradas » | ✂ Ferramentas ✂ | » Saídas » |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Portifólio de produtos. ▪ Impressões/dados iniciais sobre o mercado. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Pesquisas exploratórias (as quais visam prover ao pesquisador um maior conhecimento sobre o tema em pesquisa – MATTAR, 1999). ▪ Abstração das necessidades. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Lista de necessidades dos consumidores. |
| ETAPA 1.3 – Clarificação das necessidades | | |
| Objetivos: traduzir, em linguagem técnica de engenharia, as necessidades levantadas na etapa anterior (através do uso da Casa da Qualidade do QFD) e as quantificar. | | |
| » Entradas » | ✂ Ferramentas ✂ | » Saídas » |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Lista das necessidades dos consumidores. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Casa da Qualidade do QFD (<i>Quality Function Deployment</i>). | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Especificações de projeto. |

3.2.2 Projeto Conceitual do Sistema Modular

Na fase de projeto conceitual as atenções do projeto voltam-se para o desenvolvimento, proposição e avaliação de alternativas de projeto modular para o portfólio de produtos. Para tanto, adotou-se uma abordagem na qual cada função global desempenhada é desdobrada em suas funções elementares, as quais servirão de base para as demais decisões tomadas nesta fase do projeto. O processo adotado para o projeto conceitual do produto é descrito na Tabela 3.6, sendo detalhado alguns de seus aspectos mais importantes a seguir.

Tabela 3.6 – Etapas do Projeto Conceitual do Sistema Modular.

ETAPA 2.1 – Estabelecimento das estruturas funcionais modulares

Objetivos: sintetizar estruturas funcionais para cada uma das operações pertencentes ao portfólio de produtos a serem desenvolvidos e procurar funções elementares em comum de forma a serem estabelecidos agrupamentos de funções a serem compartilhados entre os produtos.

| » Entradas » | ✂ Ferramentas ✂ | » Saídas » |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Portfólio de produtos a serem desenvolvidos. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Síntese funcional modular: <ul style="list-style-type: none"> ○ Síntese funcional individual ○ Procura por funções comuns ○ Matriz para determinação dos núcleos funcionais | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Estruturas funcionais modularizadas, incluindo: <ul style="list-style-type: none"> ○ Estruturas funcionais. ○ Lista de funções comuns. ○ Matriz de núcleos funcionais. |

ETAPA 2.2 – Pesquisa por princípios de solução

Objetivos: localizar (e, se possível, gerar) princípios de solução que atendam a cada uma das funções elementares definidas na etapa anterior.

| » Entradas » | ✂ Ferramentas ✂ | » Saídas » |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Estruturas funcionais modularizadas. ▪ Lista de funções comuns. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Consultas às principais fontes de obtenção de princípios de solução (Tabela 3.7). ▪ Matriz morfológica. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Lista de princípios de solução para as funções elementares identificadas. |

ETAPA 2.3 – Geração e seleção de alternativas de projeto

Objetivos: propor, através da seleção e combinação dos princípios de solução levantados na fase anterior, alternativas de projeto para os produtos em desenvolvimento. Na seqüência, selecionar dentre as alternativas propostas aquelas que melhor atendam aos objetivos do projeto modular.

| » Entradas » | ✂ Ferramentas ✂ | » Saídas » |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Estruturas funcionais modularizadas. ▪ Lista de princípios de solução. ▪ Lista das necessidades dos consumidores. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Matriz de PUGH (1991). ▪ Julgamento da viabilidade, disponibilidade imediata de tecnologia, exame passa/não passa (ULLMAN, 1992). | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Alternativas de projeto selecionadas. |

ETAPA 2.4 – Geração dos módulos

Objetivos: determinar a modularidade existente entre as funções elementares que compõem os núcleos funcionais (determinados na Etapa 2.1) e entre as demais funções elementares de cada estrutura funcional (também definidas na Etapa 2.1).

| » Entradas » | ✂ Ferramentas ✂ | » Saídas » |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Alternativas de projeto selecionadas. ▪ Estruturas funcionais modularizadas. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ MIM (ERIXON ET AL., 1996). | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Módulos definidos. ▪ Leiaute preliminar dos módulos e produtos. |

Tabela 3.7 – Principais fontes para busca e geração de princípios de solução (MARIBONDO, 1997).

| | |
|--|--|
| <p>Fontes internas</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Engenheiros, projetistas e desenhistas da própria empresa; ▪ Pessoal de laboratórios; ▪ Pessoal de vendas. <p>Métodos intuitivos</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Brainstorming; ▪ Método 6.3.5; ▪ Método DELPHI; ▪ Método da sinergia; ▪ Método INNOTECH; ▪ Método da criatividade induzida. | <p>Fontes externas</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Consumidores dos Produtos; ▪ Produtos da concorrência; ▪ Registro de Patentes ▪ Firmas de consultoria e agências de Propaganda; ▪ Universidades e institutos de pesquisa; <p>Métodos discursivos</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Método morfológico; ▪ Utilização de catálogos construtivos; ▪ Analogia; ▪ Método da inversão. |
|--|--|

Muitas das etapas e ferramentas listadas já são de conhecimento geral, tais como a Matriz de PUGH (1991), a Matriz Morfológica e a MIM de ERIXON ET AL. (1996). No entanto, outras foram incorporadas, sendo a principal a Matriz para Determinação dos Núcleos Funcionais. Trata-se de uma ferramenta nova, proposta para facilitar a identificação de quais funções comuns, pertencentes às diferentes estruturas funcionais, podem ser combinadas em um único módulo. Uma descrição sucinta do processo de aplicação desta ferramenta é feita a seguir e ilustrada na Figura 3.18:

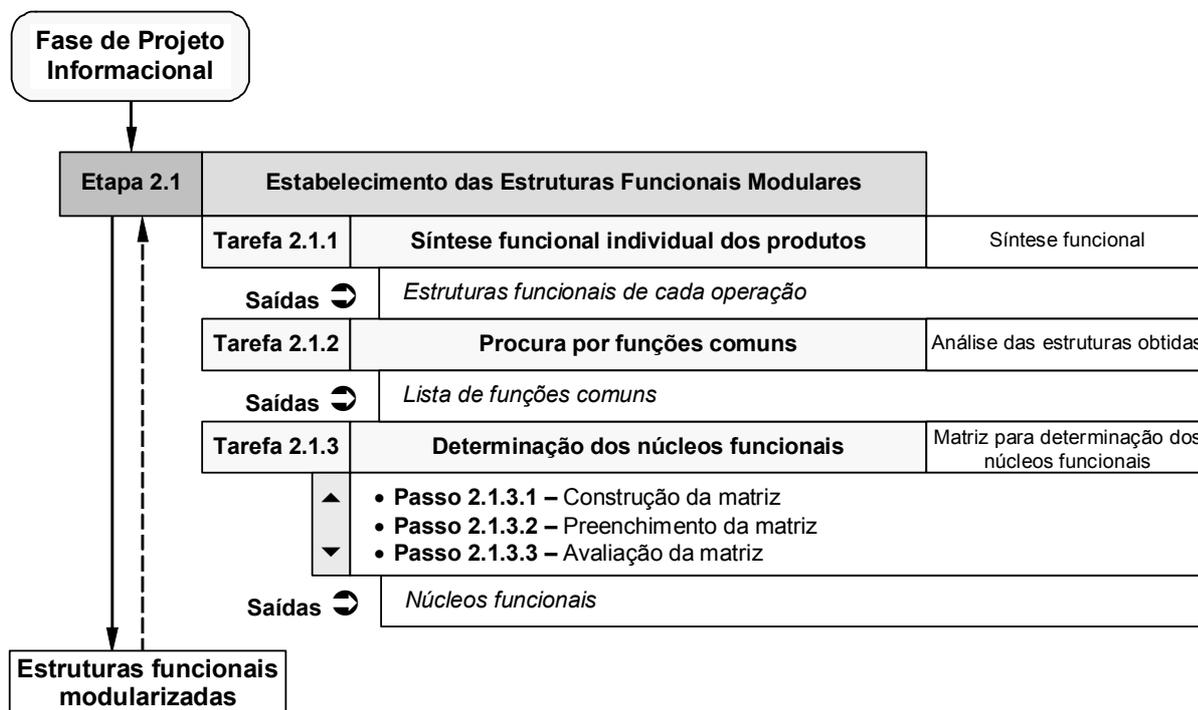


Figura 3.18 – Desdobramento em tarefas da etapa de estabelecimento das estruturas funcionais modulares.

- **Tarefa 2.1.1 – Síntese funcional individual dos produtos:** nesta tarefa deve-se realizar a síntese funcional para cada uma das funções globais desempenhadas, as quais são

decompostas (funções parciais) até serem obtidas suas funções elementares. Este processo já é bastante conhecido, podendo ser encontrado em várias obras, tais como PAHL & BEITZ (1996), ULRICH & EPPINGER (1995) e ROOZEMBURG & EEKELS (1996).

- **Tarefa 2.1.2 – Procura por funções comuns:** esse processo é subdividido em dois passos. Primeiramente tem-se uma procura por funções iguais ou semelhantes entre as estruturas funcionais obtidas na tarefa anterior. Neste mapeamento, deve-se dar uma especial atenção aos fluxos de material, energia e sinal, os quais devem ser compatíveis em todas as funções elementares selecionadas, tal qual esquematizado na Figura 3.19. Estas funções passam a ser denominadas *funções comuns*. Num segundo passo é feita uma análise da viabilidade de serem adotadas essas funções comuns, procurando-se identificar as eventuais dependências existentes. Tal processo também não é desconhecido, existindo casos de aplicações semelhantes em PAHL & BEITZ (1996) e em DAHMUS ET AL. (2000; 2001).

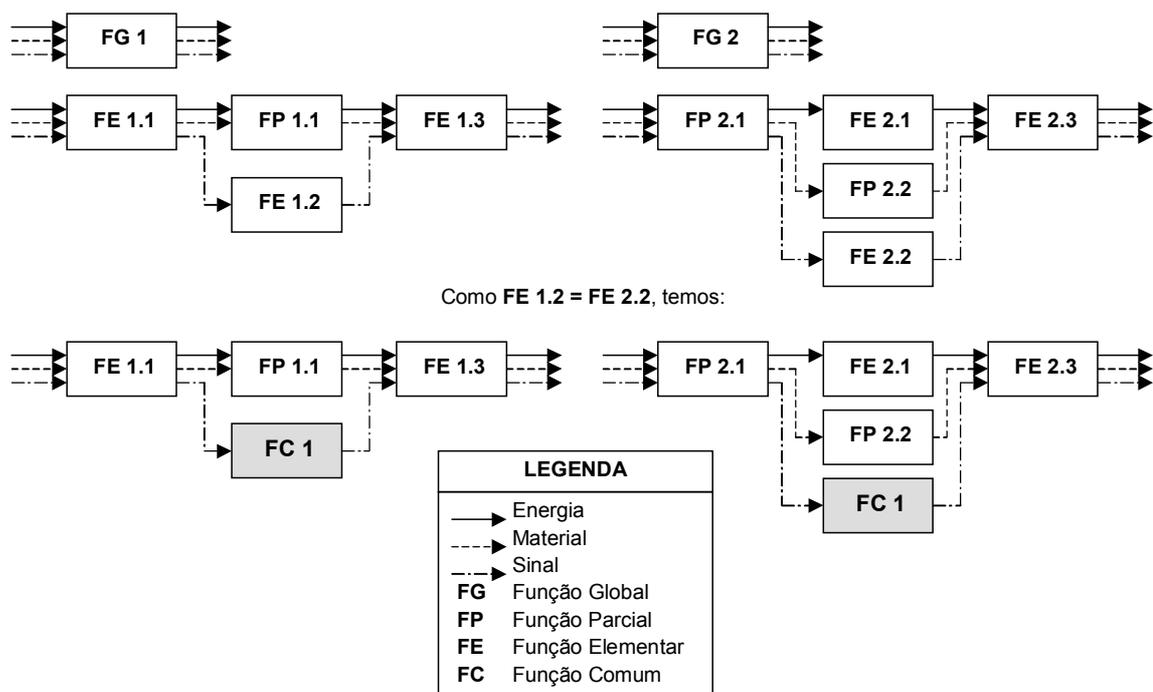


Figura 3.19 – Processo de localização de funções comuns (SCALICE ET AL., 2000).

- **Tarefa 2.1.3 – Determinação dos núcleos funcionais:** Consiste em analisar as funções comuns definidas na tarefa anterior de forma a agrupá-las. Para tanto, é proposta neste trabalho uma matriz, batizada de Matriz para a Determinação dos Núcleos Funcionais, a qual é construída seguindo-se os seguintes passos:
 - **Passo 2.1.3.1 – Construção da matriz:** uma matriz com M linhas e N colunas deverá ser desenhada, sendo M o número de funções globais em projeto e N o número de funções comuns identificadas. Sobre cada coluna deverão ser listadas as funções

comuns e, ao lado esquerdo de cada linha, as funções globais. No exemplo apresentado na Figura 3.20, construiu-se uma matriz de 4 produtos x 13 funções comuns.

| | | FUNÇÕES COMUNS | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|------|----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| FUNÇÕES GLOBAIS | FG-1 | | X | X | | X | X | X | X | | | | | |
| | FG-2 | X | X | X | X | X | | X | X | X | | X | X | X |
| | FG-3 | X | X | X | X | X | | X | | X | X | X | X | X |
| | FG-4 | | X | X | | X | X | X | | | X | | | |

LEGENDA

Núcleo 01

Núcleo 02

X Funções comuns possíveis

O Funções comuns com restrições

Figura 3.20 – Matriz para determinação de núcleos funcionais.

▫ **Passo 2.1.3.2 – Preenchimento da matriz:** o procedimento para o preenchimento da matriz é bem simples: seguindo-se linha por linha, marca-se um **X** nas intersecções em que haja uma função comum presente na função global em estudo, tal qual exemplificado na Figura 3.20. Poderão existir casos em que ocorra a presença de mais de uma mesma função comum em um produto (relacionamentos FG-2 x FC-3; FG-4 x FC-5 e FG-3 x FC-12 da Figura 3.20), marcados com **X** em número igual à sua quantidade. No caso de existirem funções comuns relacionadas a restrições, recomenda-se substituir as marcas **X** por símbolos **O**, de forma a ressaltar tais dependências (por exemplo, o relacionamento FG-4 x FC-5 da Figura 3.20).

▫ **Passo 2.1.3.2 – Avaliação da matriz:** a matriz de determinação de núcleos funcionais permite analisar as possíveis combinações de funções comuns, de forma a que estas possam vir a ser agrupadas em um único módulo. Estes agrupamentos são denominados núcleos funcionais, uma vez que neste instante do projeto ainda não se têm informações suficientes para defini-los como módulos. O processo de mapeamento é feito procurando-se unir funções comuns que estejam presentes no maior número possível de funções globais, ou seja, rastreando-se a matriz por colunas. O processo fica mais fácil de compreender analisando-se o exemplo dado na Figura 3.20. Nele pode-se constatar que o núcleo funcional 01, formado pelas funções comuns 02, 03, 05 e 07, consegue abranger todas as funções globais em desenvolvimento.

A análise através da Matriz para Determinação dos Núcleos Funcionais tem grande influência na estrutura modular do sistema, uma vez que esta é responsável pelo mapeamento das funções comuns que irão compor os futuros módulos. Neste ponto é importante ressaltar as razões de serem empregado o termo *Núcleos Funcionais* ao invés de defini-los imediatamente como módulos. Tal decisão se deve ao fato de que,

aproveitando-se a definição das alternativas de projeto a serem implementadas no sistema, serão utilizadas, na etapa de Geração dos Módulos (Etapa 2.4), Matrizes Indicadoras de Módulos (ERIXON, 1996) para a verificação da possibilidade de serem modularizadas, com base em informações de ciclo-de-vida de produtos, as funções comuns ou elementares dos núcleos funcionais e das demais funções pertencentes às estruturas funcionais individuais dos produtos. Somente após esta análise podem-se confirmar os núcleos funcionais, ou partes deles, como módulos.

Ao final desta fase de projeto, recomenda-se a elaboração de leiautes preliminares dos produtos, com base nas informações já disponíveis, de forma a se obter uma referência gráfica, ainda que rudimentar, da estrutura física do projeto.

3.2.3 Projeto Preliminar do Sistema Modular

Nesta fase do projeto, antes de se dar início ao dimensionamento dos produtos (definição de formas e materiais), é proposto que se dê uma atenção especial às interfaces entre os módulos. Desta forma, o processo de projeto preliminar adotado neste trabalho pode ser descrito segundo as etapas apresentadas na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 – Etapas do Projeto Preliminar do Sistema Modular.

ETAPA 3.1 – Projeto das interfaces

Objetivos: definir alternativas de projeto que melhor se adaptem às interfaces dos módulos definidos na fase anterior do projeto.

| » Entradas » | ✘ Ferramentas ✘ | » Saídas » |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Lista de módulos ▪ Leiaute preliminar dos módulos e produtos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ PSI (Processo de seleção de interfaces) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Alternativas de interfaces classificadas. |

ETAPA 3.2 – Dimensionamento dos módulos

▪ **Objetivos:** proceder à otimização das formas e materiais a serem empregados nas configurações finais dos produtos, levando-se em conta processos de fabricação e montagem, aspectos estéticos e ergonômicos dos produtos, entre outros.

| » Entradas » | ✘ Ferramentas ✘ | » Saídas » |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Especificações de projeto. ▪ Leiaute preliminar dos módulos. ▪ Estrutura funcional modular dos produtos. ▪ Alternativas de projeto de interfaces. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ DFMA (<i>Design for Manufacturing and Assembly</i>). ▪ CAE (<i>Computer Aided Engineering</i>)/ FEA (<i>Finite Elements Analysis</i>). ▪ Demais técnicas de dimensionamento e projeto. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Leiaute definitivo dos módulos e produtos. ▪ Atribuições de materiais e processos de fabricação e montagem dos componentes dos módulos. |

A importância das interfaces para o projeto modular tem sido evidenciada por vários autores. Por exemplo, ERIXON ET AL. (1996) afirmam que as interfaces apresentam uma influência vital no produto final e na flexibilização da variedade. No entanto, o processo de definição das interfaces ainda não foi devidamente estudado, carecendo de procedimentos adequados à sua concepção e desenvolvimento. Neste sentido, uma nova ferramenta foi

proposta neste trabalho, sendo batizada de Processo de Seleção de Interfaces (PSI). O PSI utiliza-se dos procedimentos usualmente aplicados ao projeto conceitual de produtos e de conhecimentos provenientes de trabalhos relacionados a interfaces de produtos, aplicando-os ao contexto do desenvolvimento de interfaces. O resultado é ilustrado na Figura 3.21 e detalhado a seguir:

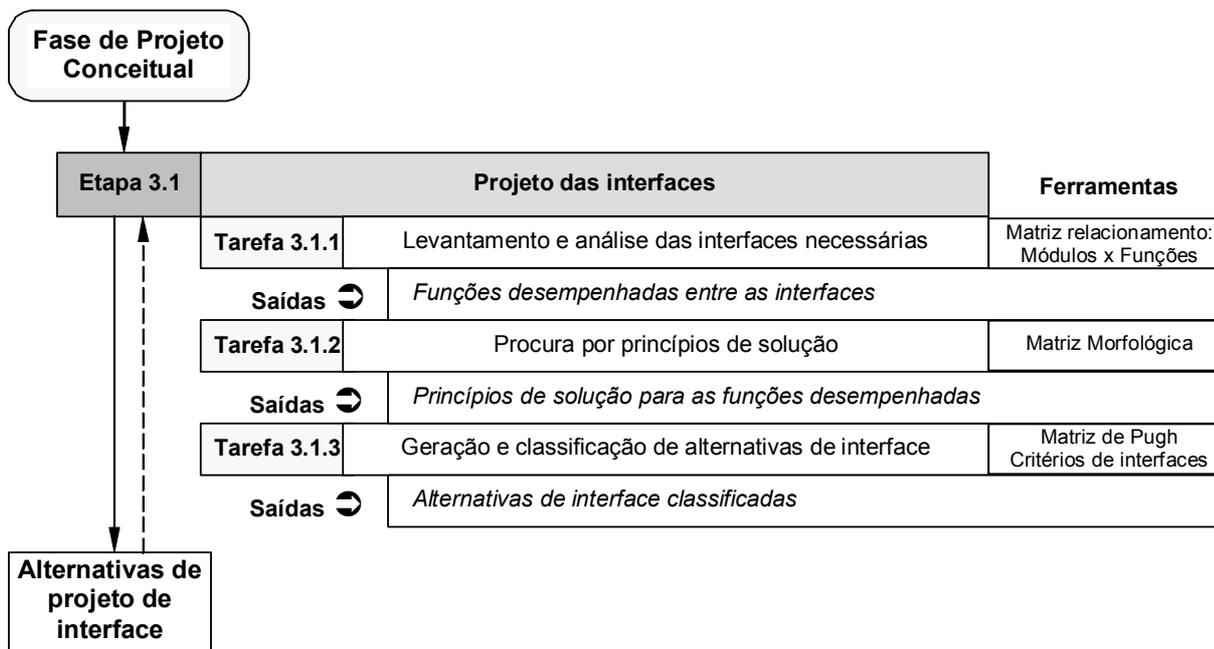


Figura 3.21 – Desdobramento em tarefas da etapa de projeto das interfaces – Processo de seleção de interfaces.

- **Tarefa 3.1.1 – Levantamento e análise das interfaces necessárias:** para facilitar a realização desta tarefa, recomenda-se o uso de uma matriz relacionando (1) os módulos determinados na fase de projeto conceitual e (2) as funções para as interfaces, apresentadas por HILSTRÖN (1994): providenciar suporte, transmitir força, localizar o componente na montagem, providenciar a localização para outros componentes na montagem e transmitir movimento. Como se pode observar no exemplo ilustrado na Figura 3.21, esta matriz de relacionamento de módulos dispõe de uma dupla listagem de módulos, uma sobre as colunas e outra ao lado das linhas da matriz, juntamente com as cinco funções descritas por HILSTRÖN (1994). O preenchimento da matriz é feito atribuindo-se pesos às funções a serem desempenhadas entre cada intersecção de módulos na matriz (as quais correspondem às interfaces dos módulos). Esta avaliação pode ser feita de duas formas:
 - Usando-se somente as intersecções acima da diagonal principal da matriz – fornecendo apenas as informações referentes à intensidade da necessidade de realização das funções pelas interfaces (exemplo apresentado na Figura 3.22).

▫ Através do emprego de toda a matriz – o que permite obter, além das informações anteriores, dados sobre quais módulos deverão desempenhar as funções analisadas. Tal mapeamento de funções, apesar de fornecer dados mais detalhados, exige um maior conhecimento da estrutura física do produto, sendo mais adequada ao reprojeto de um grupo de sistemas do que ao desenvolvimento de um totalmente novo.

| Módulos | Funções | Módulos | | | |
|---------|--|---------|----|----|----|
| | | 01 | 02 | 03 | 04 |
| 01 | Providenciar suporte | - | | | ○ |
| | Transmitir força | - | ⊙ | | ● |
| | Localizar o componente na montagem | - | | | |
| | Providenciar localização para outros componentes na montagem | - | | ○ | |
| | Transmitir movimento | - | ● | | |
| 02 | Providenciar suporte | - | - | | |
| | Transmitir força | - | - | | |
| | Localizar o componente na montagem | - | - | ● | ⊙ |
| | Providenciar localização para outros componentes na montagem | - | - | | ○ |
| | Transmitir movimento | - | - | | |
| 03 | Providenciar suporte | - | - | - | |
| | Transmitir força | - | - | - | |
| | Localizar o componente na montagem | - | - | - | |
| | Providenciar localização para outros componentes na montagem | - | - | - | |
| | Transmitir movimento | - | - | - | ⊙ |

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

Figura 3.22 – Matriz para a determinação das necessidades de interfaces.

- **Tarefa 3.1.2 – Procura por princípios de solução:** 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.
- **Tarefa 3.1.3 – Geração e classificação de alternativas de interface:** para a geração das alternativas de interface, basta serem escolhidos os princípios de solução que mais se ajustam a cada uma das necessidades observadas na Tarefa 3.1.1. Para a classificação das alternativas de interface, pode-se optar por uma análise técnica das mesmas ou, de uma forma menos empírica, através da comparação das mesmas em uma matriz de PUGH (1991). 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. Uma sugestão para estes critérios é apresentada na Tabela 3.9, todos ligados a aspectos do projeto de interfaces.

Em relação à segunda etapa do projeto preliminar do produto, é importante ressaltar uma observação. Conforme comentado por PAHL & BEITZ (1996), a realização das atividades durante o dimensionamento do produto envolve um grande número de passos

interativos, nos quais a análise e a síntese constantemente se alternam e se complementam. As razões para tal complexidade recaem:

- Da necessidade eventual de serem repetidos os passos do projeto até a obtenção do nível de detalhamento desejado;
- Na repercussão, em todo o projeto, das alterações e complementações realizadas em um determinado componente, subsistema ou sistema.
- Na grande quantidade de ações a serem realizadas simultaneamente;

Tabela 3.9 – Critérios propostos para comparação entre interfaces.

| Critérios | Descrição |
|--------------------------------------|---|
| Estanqueidade | Não permitir vazamentos |
| Intercambiabilidade | Facilidade em se substituir módulos em uma mesma interface |
| Montabilidade | Facilidade em proceder a montagem do módulo (manuseio, localização, etc.) |
| Desmontabilidade | Facilidade em proceder a desmontagem do módulo (liberação e manuseio) |
| Geometria | Importância em não serem efetuadas adaptações geométricas nos módulos para a implementação da interface (custos, facilidade de fabricação, etc.) |
| Material | Adequação do material a ser empregado na interface ao produto |
| Forças, energias e movimentos | Eficiência na passagem destas variáveis pela interface (perdas) |
| Produção | Aspectos fabris (fabricação, montagem, transporte, etc.) |
| Segurança e ergonomia | Importância em se preocupar com a saúde do operador do equipamento |
| Custo | Necessidade em se minimizar o custo |
| Manutenção | Importância em se reduzir sua periodicidade e necessidade |

Ao final desta fase, prevê-se a elaboração de leiautes contendo a geometria definitiva do produto, os quais servirão de base para a geração da documentação na próxima fase do projeto.

3.2.4 Projeto Detalhado do Sistema Modular

Esta fase, dividida em duas etapas (Tabela 3.10), é dedicada ao detalhamento das estruturas físicas definidas na fase anterior do projeto, analisando-se tolerâncias e acabamentos, definindo a simbologia necessária à confecção de desenhos, entre outros elementos necessários à documentação do projeto.

Tabela 3.10 – Etapas do Projeto Detalhado do Sistema Modular.**ETAPA 4.1 – Detalhamento dos leiautes dos módulos**

Objetivos: confecção de desenhos técnicos dos componentes e montagens, classificando-os segundo codificação apropriada. Durante este processo deverão ser levantadas pendências relativas às tolerâncias, especificações de componentes padronizados e de quaisquer outros elementos julgados como de menor importância durante o projeto preliminar.

| ▶ Entradas ▶ | ✂ Ferramentas ✂ | ▶ Saídas ▶ |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Leiaute definitivo dos módulos e produtos. ▪ Atribuições de materiais e processos de fabricação e montagem dos componentes dos módulos. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ CAD (Computer Aided Design) ▪ DFMA ▪ Normas de desenho técnico | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Desenhos para manufatura dos módulos ▪ Desenhos de montagem dos módulos ▪ Codificação dos desenhos |

ETAPA 1.2 – Geração da documentação de apoio

Objetivos: gerar documentação de apoio, ou seja, outros documentos considerados necessários à produção dos módulos.

| ▶ Entradas ▶ | ✂ Ferramentas ✂ | ▶ Saídas ▶ |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Leiaute definitivo dos módulos e produtos ▪ Atribuições de materiais e processos de fabricação e montagem dos componentes dos módulos | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Catálogos, listagens e outros recursos provenientes de fornecedores. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Documentos relacionados à aquisição de materiais. ▪ Outros documentos relacionados à produção dos módulos. |

3.3 Comentários Finais

A origem da abordagem metodológica de projeto de produtos modulares apresentada neste capítulo data de 1999, quando do desenvolvimento, apresentação e defesa de uma monografia sobre o estado-da-arte do cultivo de mexilhões e do projeto de produtos modulares (SCALICE, 1999). Na configuração atual, apresentada neste capítulo, o processo de projeto proposto conta com uma estrutura mais elaborada e melhor encadeada, uma vez que os problemas e conflitos existentes em relação à versão inicial foram resolvidos através da aplicação prática desta metodologia, durante os anos de 1999 a 2001, e as soluções encontradas registradas em seu conteúdo.

Com a proposição desta metodologia, procurou-se organizar os conhecimentos existentes na forma de um processo mais bem estruturado e que englobasse as diferentes perspectivas adotadas em trabalhos na área (modularização pelo ciclo-de-vida do produto, modularização através do estudo da estrutura funcional do sistema, métodos de seleção de alternativas de projeto, etc.). No entanto, a metodologia proposta não pode ser considerada uma mera combinação destes conhecimentos, tendo sido necessário, além dos esforços para interpretação das contribuições de cada trabalho e a avaliação das possíveis colaborações destes ao processo de projeto de produtos modulares, também foi necessário elaborar novas ferramentas (Matriz para determinação dos núcleos funcionais e o Processo de seleção de interfaces), de forma a concatenar tais conhecimentos.

Todos estes esforços para a elaboração desta proposta de metodologia foram feitos no sentido de propiciar ao projeto de máquinas para o cultivo e beneficiamento de mexilhões um processo de projeto que, além de corresponder aos procedimentos empregados pelo estado-da-arte do processo de projeto de produtos modulares e estivesse de acordo com os preceitos fundamentais do desenvolvimento de novos produtos, também fosse abrangente o suficiente para incorporar os aspectos principais do desenvolvimento de produtos modulares (como definir os módulos e como desenvolver as interfaces) e permitisse o desenvolvimento prático e simultâneo de uma família de produtos. Neste sentido, justifica-se a necessidade da proposição de tal metodologia, uma vez que, individualmente, nenhum dos trabalhos levantados até a apresentação inicial desta proposta atendia totalmente a tais necessidades.

Em trabalhos mais recentes, como os de ZAMIROWSKI & OTTO (1999) e DAHMUS ET AL. (2000; 2001) ou o de MARIBONDO (2001), são apresentadas soluções mais completas para o desenvolvimento de sistemas de produtos modulares, podendo atender a grande parte dos objetivos descritos anteriormente. No entanto, optou-se pela continuidade da adoção da metodologia proposta por este trabalho, primeiramente, por esta atender a todas as necessidades do projeto de produtos para o cultivo de mexilhões, uma vez que foi desenvolvida enfocando-se este objetivo, bem como pelo fato de incorporar recursos não disponíveis nos outros trabalhos, como a Matriz Indicadora de Módulos (ERIXON ET AL., 1996), o Processo de Seleção de Interfaces e a Matriz para Definição dos Núcleos Funcionais.

4

Projeto Informacional do Sistema Modular para a Mecanização do Cultivo de Mexilhões

Neste capítulo é apresentado o desenvolvimento do Projeto Informacional do Sistema Modular de equipamentos para a mecanização das atividades do cultivo de mexilhões, incluindo as etapas de Identificação dos Produtos a Serem Desenvolvidos, Levantamento das Necessidades e Clarificação das Necessidades. Na primeira etapa, os processos adotados atualmente em Santa Catarina são estudados objetivando a determinação daqueles que são de interesse imediato à mecanização. Na segunda etapa, tem-se a descrição dos procedimentos adotados durante o levantamento das necessidades dos consumidores (incluindo seus desejos e expectativas). Finalizando, na terceira etapa as necessidades obtidas são convertidas em linguagem técnica, de forma a serem estabelecidos requisitos e especificações de projeto.

4.1 ETAPA 1.1 – Identificação dos Produtos a serem Desenvolvidos

Nesta etapa do projeto objetivou-se a determinação do portfólio de produtos que serão desenvolvidos visando mecanizar os processos realizados no cultivo de mexilhões. Para tanto, dividiram-se as atividades a serem realizadas em duas tarefas distintas: a realização de um levantamento de quais são os procedimentos realizados no cultivo, tanto em Santa Catarina quanto na Espanha (considerada como referência), que poderiam ser candidatos à mecanização e, na seqüência, sua avaliação técnica e mercadológica. Para a realização deste levantamento, as principais fontes de informações foram a observação do trabalho realizado pelos próprios produtores, principalmente pelos de pequeno e médio porte, entrevistas informais com os mesmos e também pesquisas em bibliografia especializada.

Nos dois tópicos a seguir estão sintetizadas as informações obtidas nesta etapa do projeto, divididas em: (1) apresentação dos procedimentos e equipamentos, nacionais ou estrangeiros, adotados na realização de cada um dos processos do cultivo mapeadas e (2)

seleção dos processos a serem mecanizados através da avaliação de viabilidade técnica e de mercado.

4.1.1 Levantamento dos recursos e processos empregados no cultivo de mexilhões

Baseando-se em estudos realizados em bibliografia especializada e em dados obtidos junto aos produtores, puderam-se levantar os processos mais rotineiros do cultivo e beneficiamento de mexilhões, os quais foram distribuídos em três fases distintas, conforme ilustra a Figura 4.1. Cada um destes processos foi analisado de forma a registrar os recursos disponíveis à sua realização e detalhados a forma de sua execução. Os resultados obtidos desta análise são apresentados a seguir, nos Quadros 4.1 a 4.13, na forma de fichas técnicas, as quais serviram de base às tomadas de decisão apresentadas no tópico 4.1.2.

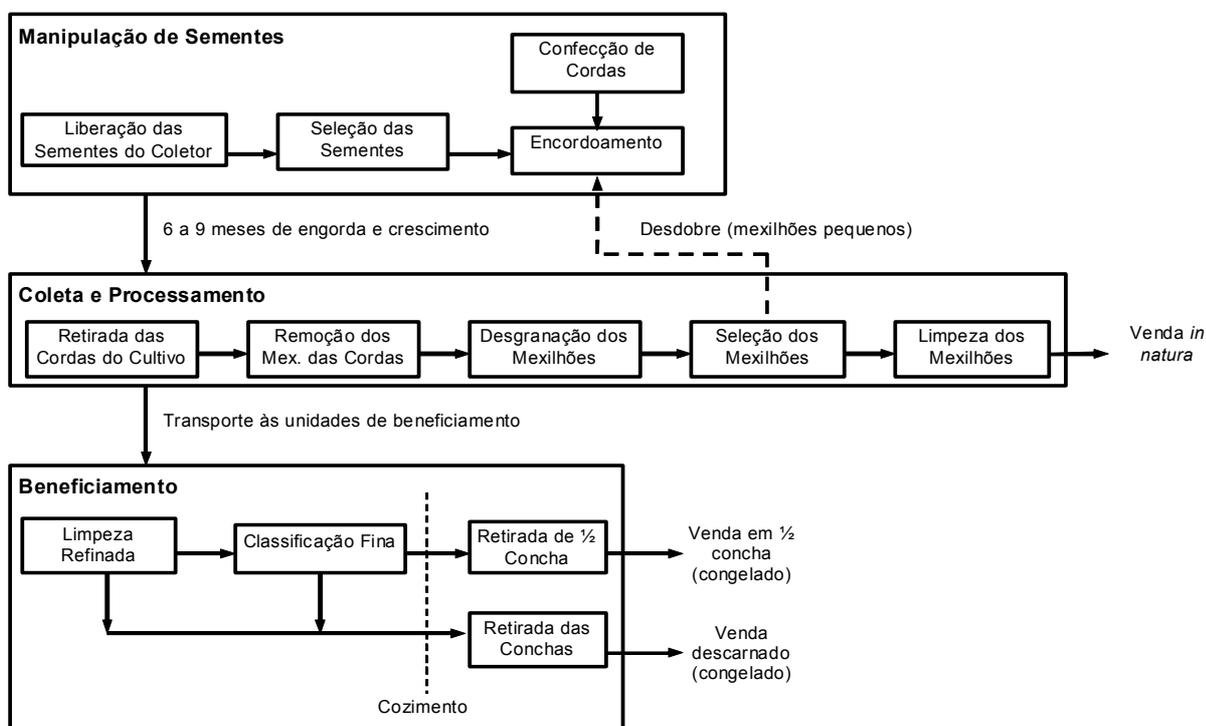
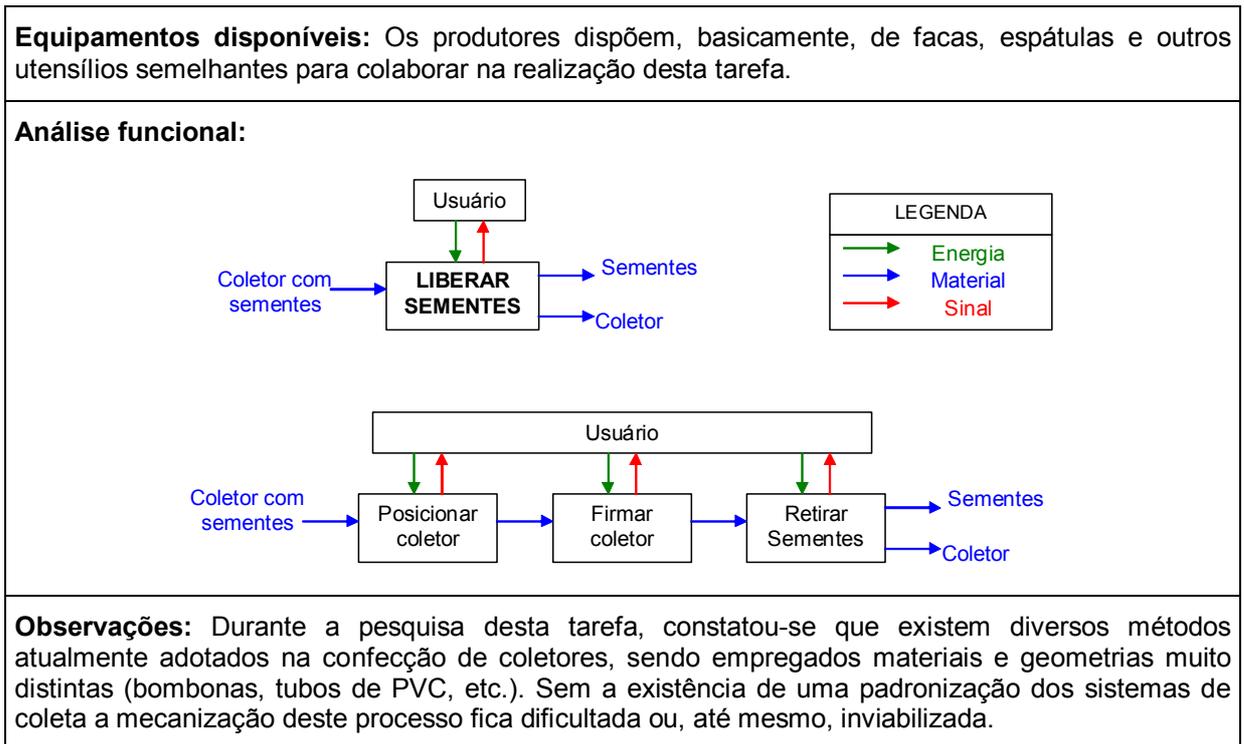


Figura 4.1 – Fluxograma genérico dos processos do cultivo e beneficiamento de mexilhões.

Quadro 4.1 – Ficha técnica para o processo de liberação de sementes do coletor.

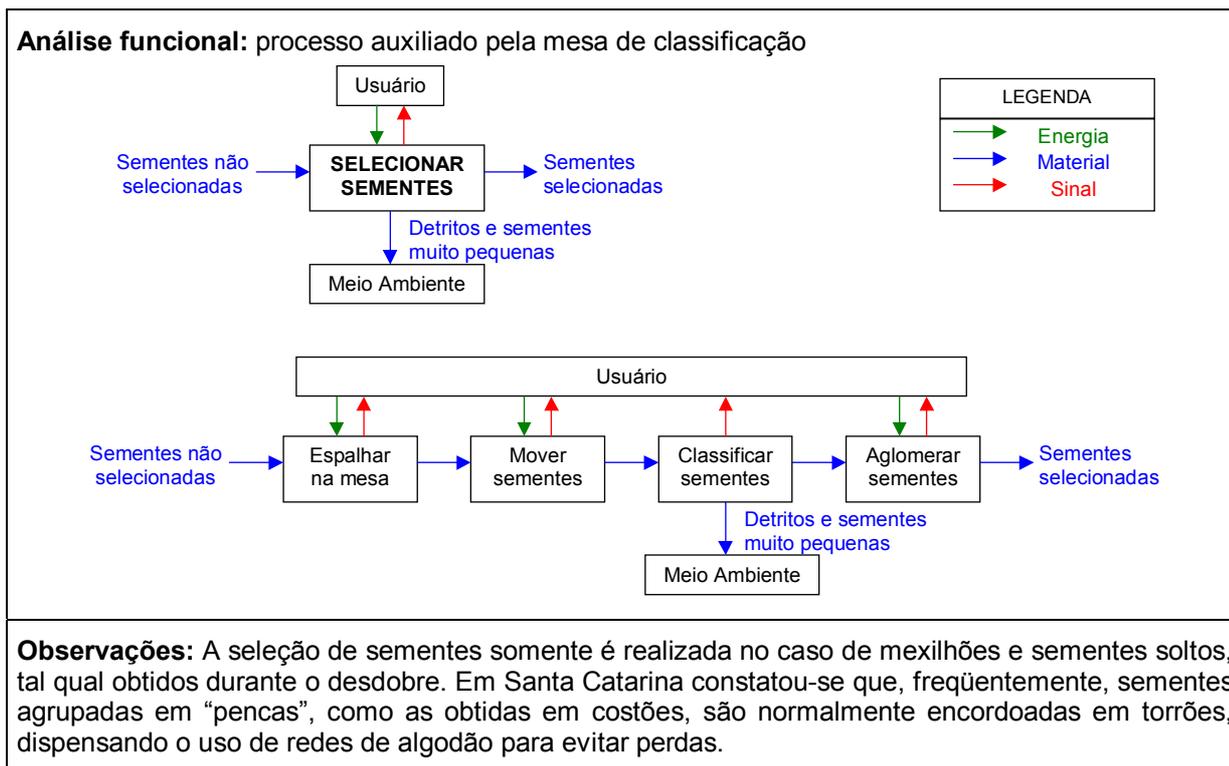
| | | |
|---|--|--------------------------------------|
| Processo N°: 01 | Liberação das Sementes do Coletor | Fase: manipulação de sementes |
| Descrição: Retirada manual dos mexilhões que se fixaram sobre a superfície do sistema de coleta de sementes. | | |

Quadro 4.1 (continuação) – Ficha técnica para o processo de liberação de sementes do coletor.

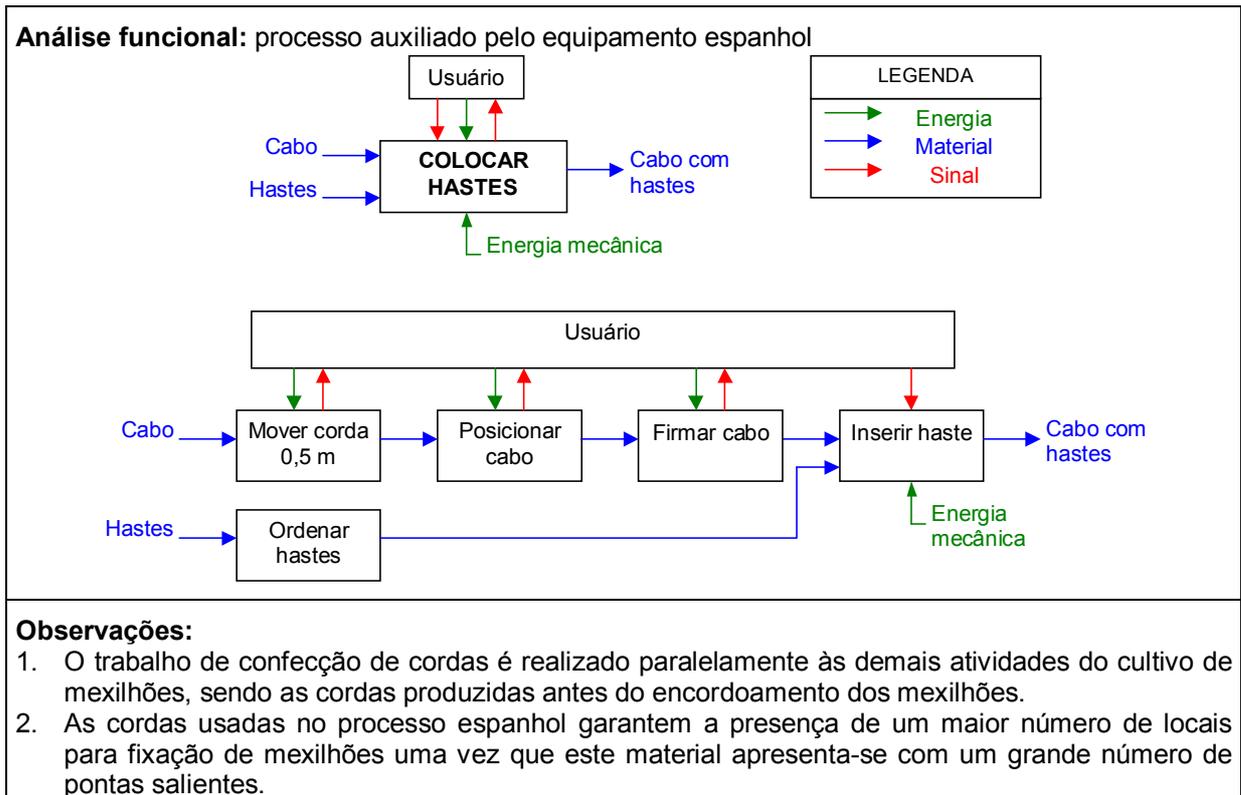


Quadro 4.2 – Ficha técnica para o processo de seleção de sementes.

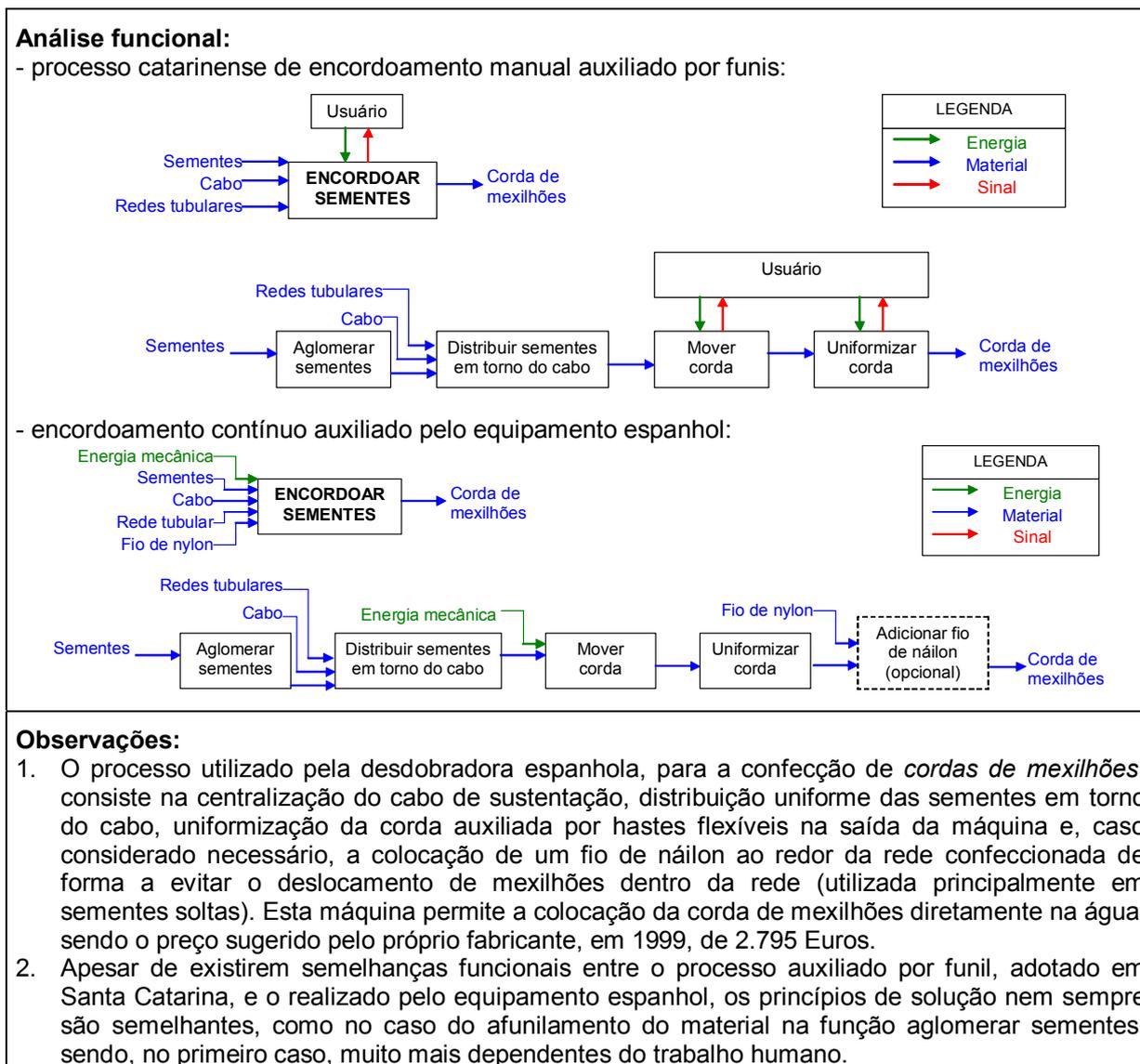
| Processo N°: 02 | Seleção das Sementes | Fase: manipulação de sementes |
|---|----------------------|---|
| <p>Descrição: Classificação das sementes obtidas segundo critérios de tamanho da concha, objetivando a homogeneização do conteúdo das cordas durante o encordoamento. Atualmente este processo somente é realizado nos casos de sementes de desdobre ou obtidas de costões, quando estas se apresentam em tamanhos não uniformes.</p> | | |
| <p>Equipamentos disponíveis:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Para auxiliar no processo de seleção de sementes, alguns produtores catarinenses dispõem de <i>mesas de classificação</i>, normalmente confeccionadas artesanalmente, utilizando-se uma estrutura de madeira, sobre a qual é colocada uma grade com orifícios, de forma a permitir apenas a passagem de mexilhões de tamanho inferior às dimensões de suas aberturas. 2. Em visitas a produtores de Santa Catarina, verificou-se o uso de peneiras em substituição ao uso de mesas de classificação. 3. Na Espanha, os produtores de mexilhões dispõem de mesas de classificação totalmente confeccionada em aço inoxidável, tal qual ilustrado na figura ao lado. | | <p>FONTE: CASAS & CASASBELLAS (1991).</p> |

Quadro 4.2 (continuação) – Ficha técnica para o processo de seleção e sementes.**Quadro 4.3** – Ficha técnica para o processo de confecção de cordas.

| Processo N°: 03 | Confecção de Cordas | Fase: manipulação de sementes |
|--|---------------------|-------------------------------|
| <p>Descrição: Existem diferentes maneiras de se encordoarem os mexilhões. Em Santa Catarina, utiliza-se um conjunto formado por um cabo central e um saco confeccionado de rede de pesca usada, no qual são inseridas as sementes para a engorda. No caso de sementes soltas, também é utilizado um saco de rede adicional de algodão, o qual evita a ocorrência de perdas e deteriora-se em, aproximadamente, uma semana, permitindo a fixação das sementes na parte externa da rede de pesca. Na Espanha optou-se pelo uso de redes de pesca entrelaçadas, formando uma corda na qual são inseridas hastes para auxiliar na sustentação dos mexilhões. Neste caso, os mexilhões são distribuídos em torno deste cabo de rede e presos com o auxílio de uma rede de algodão.</p> | | |
| <p>Equipamentos disponíveis: O produtor catarinense não dispõe de quaisquer recursos para auxiliar na preparação das cordas para o encordoamento. Os produtores espanhóis, no entanto, dispõem de mecanismos para a realização do entrelaçamento de cordas e colocação de hastes, tal qual ilustrado na figura ao lado.</p> | | |
| <p>FONTE: NEIRA ET AL. (1990).</p> | | |

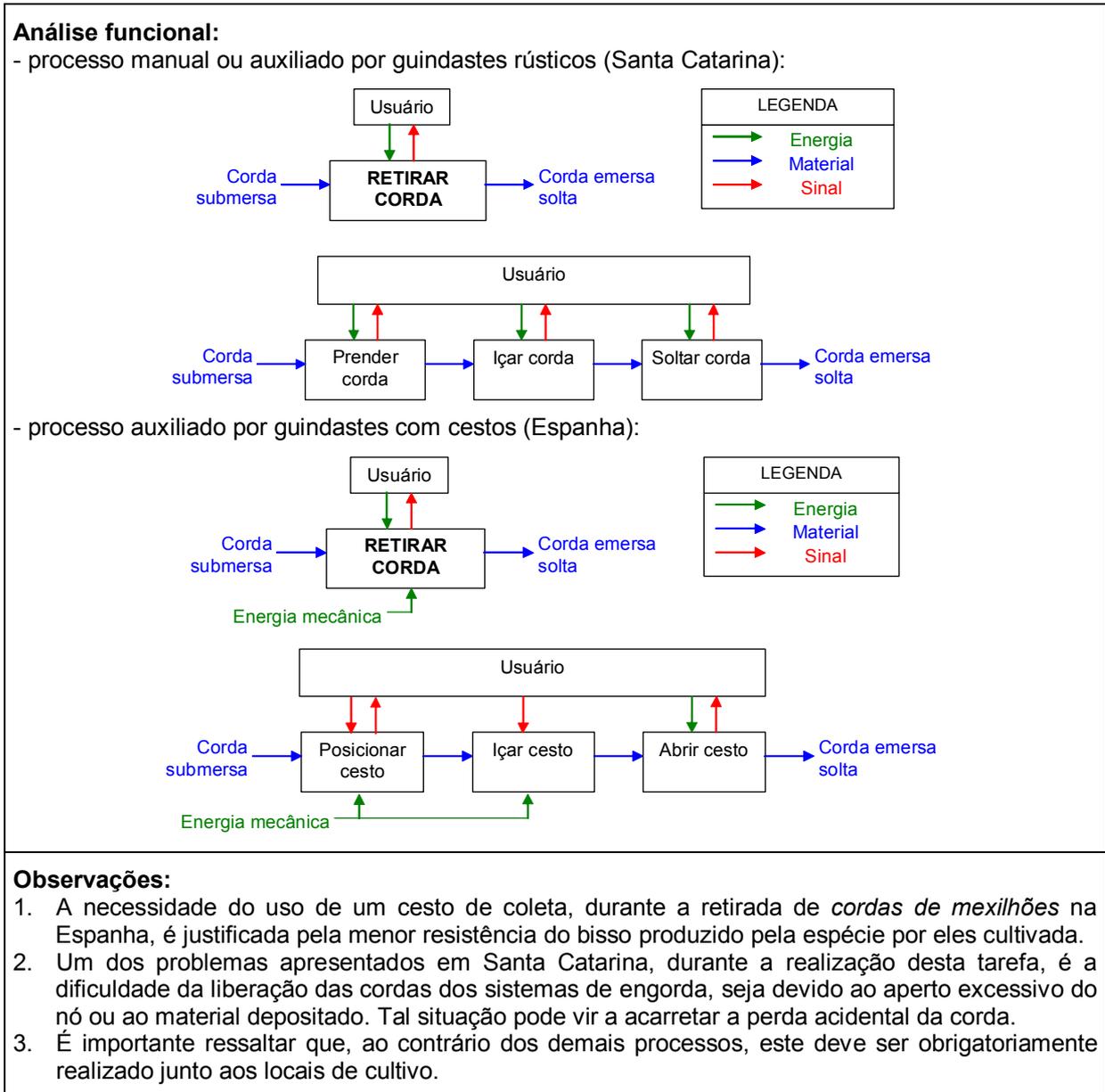
Quadro 4.3 (continuação) – Levantamento técnico do processo de confecção de cordas.**Quadro 4.4 – Ficha técnica para o processo de encordoamento.**

| | | |
|---|---------------------------------------|--|
| Processo N°: 04 | Encordoamento (ou Ensacamento) | Fase: manipulação de sementes |
| <p>Descrição: Consiste em preencher as cordas confeccionadas com sementes de mexilhões, segundo o método de encordoamento adotado. Ao passarem por este processo, os mexilhões estão prontos para serem levados ao sistema de engorda.</p> | | |
| <p>Equipamentos disponíveis: Em Santa Catarina, para auxiliar na tarefa de encordoamento, são utilizados funis, freqüentemente confeccionados com tubos de PVC, com diâmetro variando entre 50 e 100mm, em configurações semelhantes às ilustradas na figura abaixo.</p> | | <p>Já os produtores espanhóis têm à disposição uma máquina denominada desdobradora que, de forma mecanizada, realiza facilmente o encordoamento de mexilhões pelo processo espanhol. Este equipamento é ilustrado na figura abaixo.</p> <p>FONTE: TALLERES AGUIN, S.L. (1999).</p> |

Quadro 4.4 (continuação) – Ficha técnica para o processo de encordoamento.**Quadro 4.5 – Ficha técnica para o processo de retirada de cordas do cultivo.**

| Processo N°: 05 | Retirada das Cordas do Cultivo | Fase: coleta e processamento |
|--|--------------------------------|--|
| <p>Descrição: A remoção das cordas dos cultivos pode ser realizada manualmente ou auxiliada por guindastes.</p> | |  |
| <p>Equipamentos disponíveis: na Espanha, os guindastes utilizados dispõem de um cesto em sua extremidade, como o ilustrado na figura ao lado, essencial para evitar a perda de mexilhões durante a coleta. De forma similar ao que se pratica na Espanha, muitos produtores catarinenses vêm iniciando o uso de guindastes para auxiliar na realização desta tarefa. Porém, estes equipamentos são frequentemente confeccionados de forma artesanal, sendo adotadas estruturas em madeira com polias e ganchos, sendo seu funcionamento sempre dependente do trabalho manual.</p> | | |

FONTE: NEIRA ET AL. (1990).

Quadro 4.5 (continuação) – Ficha técnica para o processo de retirada de cordas do cultivo.**Quadro 4.6** – Ficha técnica para o processo de remoção dos mexilhões das cordas.

| Processo N°: 06 | Remoção dos Mexilhões das Cordas | Fase: coleta e processamento |
|--|----------------------------------|------------------------------|
| <p>Descrição: Em Santa Catarina, a retirada dos mexilhões fixos às <i>cordas de mexilhões</i> tem sido feita puxando-se o cabo central ao mesmo tempo em que se firma a corda de mexilhões com o pé, seguida pela remoção manual dos mexilhões restantes, ou então, pela remoção manual sobre bancadas ou nas próprias mesas de classificação. Na Espanha utiliza-se um processo bem mais simples, bastando apenas sucessivos trancos nas cordas para haver a total liberação dos mexilhões.</p> | | |
| <p>Equipamentos disponíveis: Até o momento, a maioria dos produtores catarinenses tem se utilizado de luvas e de algumas ferramentas, como facas e espátulas, para auxiliar nesta tarefa. Propostas de equipamentos para realização desta tarefa têm sido apresentadas recentemente, como a exemplificada nas figuras abaixo (desenvolvida pela BRUSINOX), a qual realiza o processo com o auxílio de um conjunto de dois pares de cilindros, um com pás de borracha e outro de escovas, que permitem a remoção em cordas de maiores comprimentos. Tais equipamentos são soluções recentes e ainda não difundidas entre os produtores</p> | | |

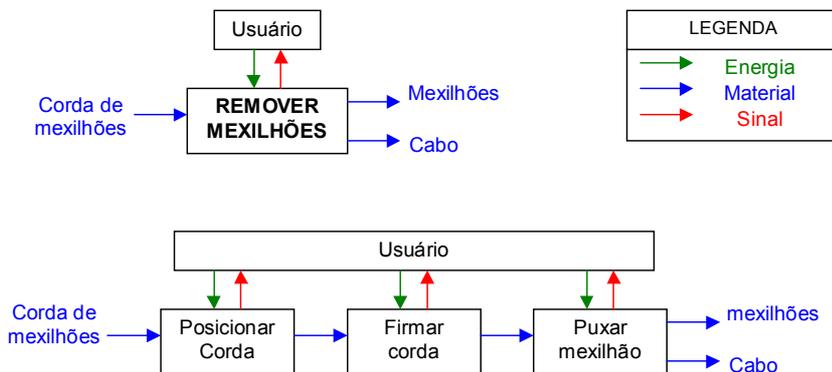
Quadro 4.6 (continuação) – Ficha técnica para o processo de remoção dos mexilhões das cordas.

Equipamentos disponíveis (continuação):



Análise funcional:

- processo manual:



Observações: A adoção de trancos sucessivos para a liberação dos mexilhões das cordas na Espanha é facilitada pela menor resistência do bisso produzido pela espécie espanhola e pela não existência da rede externa.

Quadro 4.7 – Ficha técnica para o processo de desgranação dos mexilhões.

| | | |
|--|----------------------------------|-------------------------------------|
| Processo N°: 07 | Desgranação dos Mexilhões | Fase: coleta e processamento |
| <p>Descrição: Além de se prender nas cordas, os mexilhões também se fixam um ao outro, tornando o processo de separação dos animais essencial para sua comercialização. A separação dos mexilhões em Santa Catarina é feita manualmente, sobre bancadas ou em mesas de classificação, também tendo sido constatada sua realização com os pés, no qual o produtor pisa sucessivamente os torrões contra o solo. Na Espanha, o processo de desgranação já se encontra mecanizado.</p> | | |

Quadro 4.7 (continuação) – Ficha técnica para o processo de desgranação dos mexilhões.

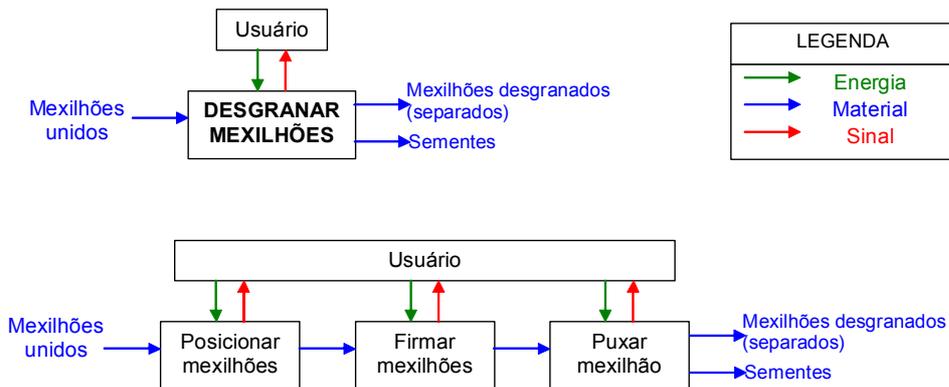
Equipamentos disponíveis: em Santa Catarina, além de facas espátulas e outros recursos semelhantes, o produtor de mexilhões também pode dispor de mesas de classificação como base para a separação manual, servindo inclusive, como aparato para a raspagem do mexilhão. Na Espanha, utilizam-se equipamentos chamados desgranadoras (vide figuras abaixo), que através da agitação dos animais, propicia sua liberação.



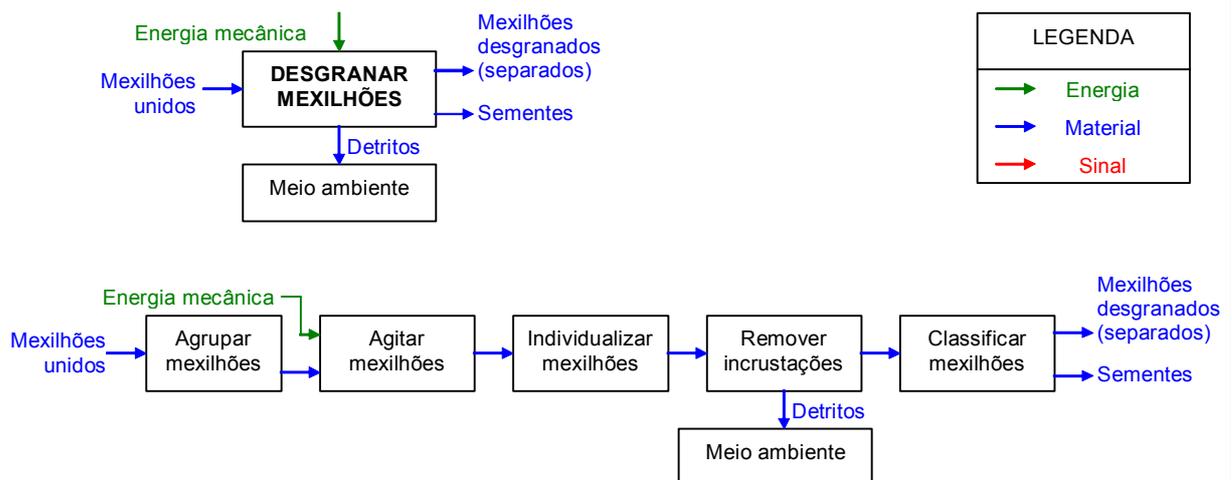
FONTE: NEIRA ET AL. (1990).

Análise funcional:

- processo de desgranação manual (Santa Catarina):

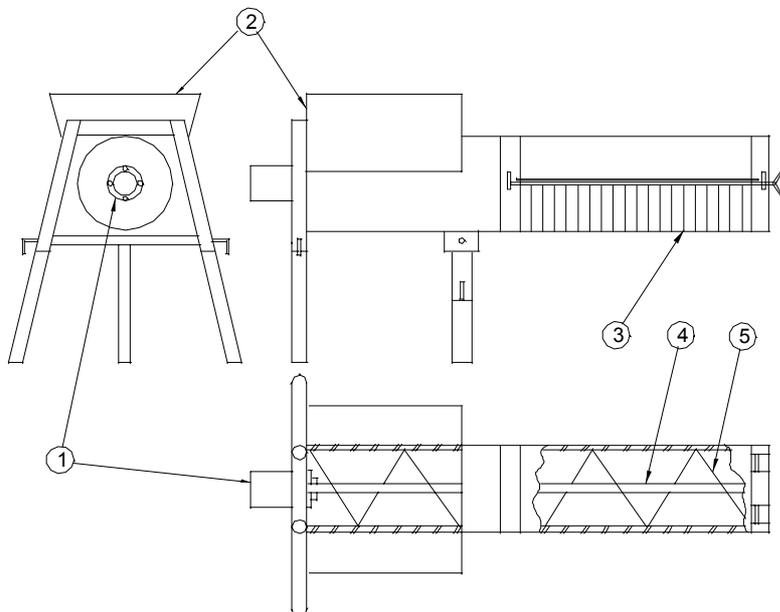


- processo de desgranação auxiliado pelo equipamento espanhol (desgranadoras):



Quadro 4.7 (continuação) – Ficha técnica para o processo de desgranação dos mexilhões.**Observações:**

1. A figura abaixo esquematiza o modelo horizontal de desgranadora utilizada na Espanha. Tal equipamento, além das funções destinadas à desgranação de mexilhões, também agrega a função de seleção de mexilhões, realizada através das grades (3), de abertura regulável, sob o bojo da máquina. O atrito dos mexilhões com esta grade, bem como a própria agitação propiciada pela máquina, também acaba por facilitar a remoção de algumas eventuais incrustações.



| LEGENDA | |
|---------|-------------------|
| 1 | Motor hidráulico |
| 2 | Funil de entrada |
| 3 | Grade |
| 4 | Eixo |
| 5 | Pás emborrachadas |

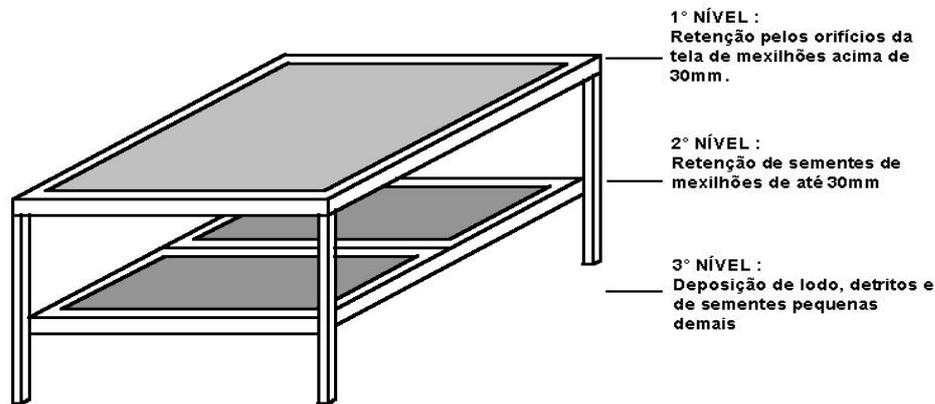
2. Algumas especificações técnicas foram levantadas juntamente ao fabricante das desgranadoras na Espanha (Talleres Aguin, S.L., 1999):
- Capacidade de processamento: 4000 kg/h;
 - Fonte de potência utilizada: motor hidráulico;
 - Peso: 50 kg;
 - Preço: varia 1.924 até 3.005 Euros, dependendo da configuração (valores para o mercado europeu, não incluindo motor hidráulico);
 - Uso de pás emborrachadas para redução do número de quebras no processamento dos mexilhões.
3. Segundo informações obtidas no Laboratório de Cultivo de Moluscos Marinhos (LCMM) da Universidade Federal de Santa Catarina, os mexilhões coletados na Espanha vêm praticamente livres de incrustações, devido à presença de uma fauna mais pobre se comparada com a existente no Litoral Catarinense. Esta diferença pode resultar na inviabilidade da realização de um processo efetivo de remoção de incrustações, no caso da adoção deste equipamento em Santa Catarina.
4. Em uma das visitas realizadas aos produtores catarinenses, verificou-se o uso de uma betoneira para auxiliar na desgranação dos mexilhões, bem como em sua limpeza. Apesar do próprio produtor citar que o equipamento não atendia totalmente suas necessidades, o equipamento já permitia uma redução considerável do trabalho, uma vez que já processava cerca de 30 kg de mexilhões em bateladas de 2 a 5 minutos.

Quadro 4.8 – Ficha técnica para o processo de seleção de mexilhões.

| | | |
|---|-----------------------------|-------------------------------------|
| Processo N°: 08 | Seleção de Mexilhões | Fase: coleta e processamento |
| <p>Descrição: Consiste na separação das sementes que se fixaram nas <i>cordas de mexilhões</i> durante o período de engorda, objetivando uma homogeneização do tamanho dos mexilhões a serem comercializados. As sementes extraídas são utilizadas na confecção de novas cordas.</p> | | |

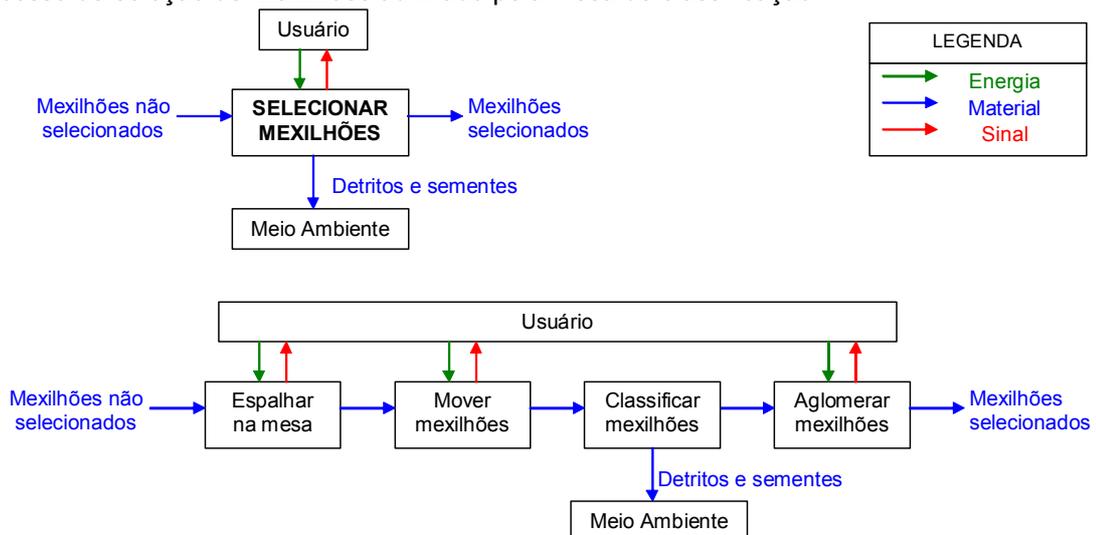
Quadro 4.8 (continuação) – Ficha técnica para o processo de seleção de mexilhões.

Equipamentos disponíveis: A seleção dos mexilhões, tanto em Santa Catarina quanto na Espanha, é feita com o auxílio de mesas de classificação (já citadas anteriormente no item seleção de sementes). Tanto a mesa de classificação espanhola, confeccionada em metal, quanto a catarinense, cuja estrutura é normalmente confeccionada em madeira, tendo uma tela metálica com orifícios para realizar a separação, possuem a mesma função: selecionar os mexilhões ao reter aqueles acima de um determinado tamanho. Na figura abaixo, encontra-se esquematizada uma das versões de mesas de classificação encontradas em Santa Catarina.



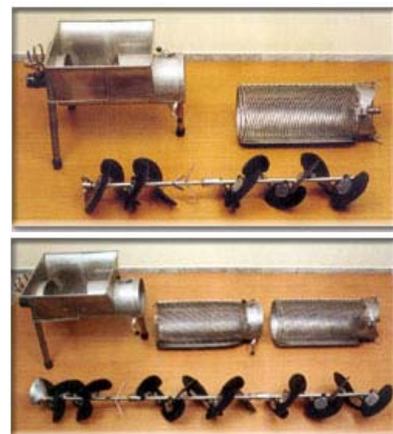
Análise funcional:

- processo de seleção de mexilhões auxiliado pela mesa de classificação:



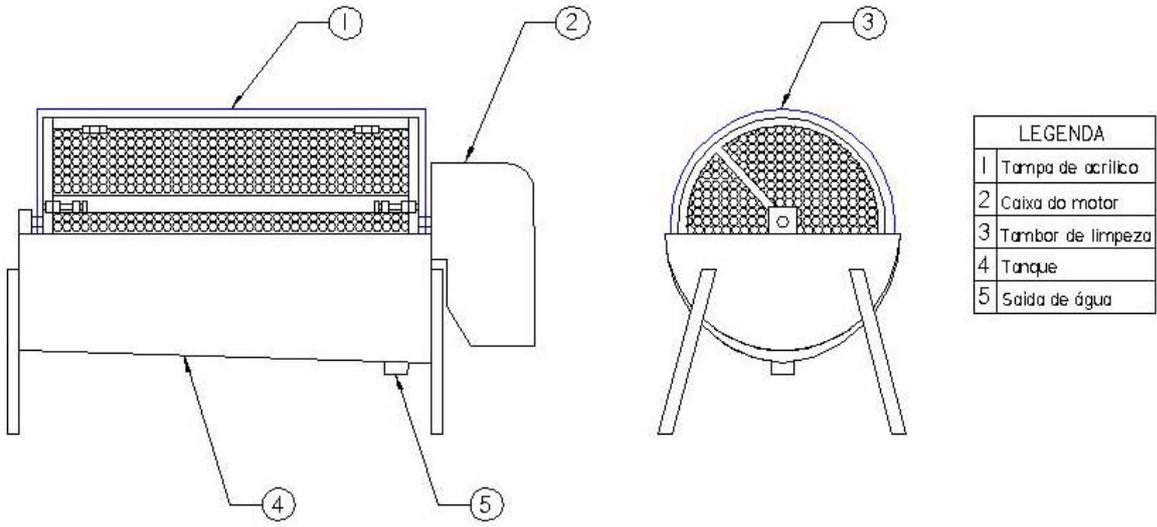
Observações:

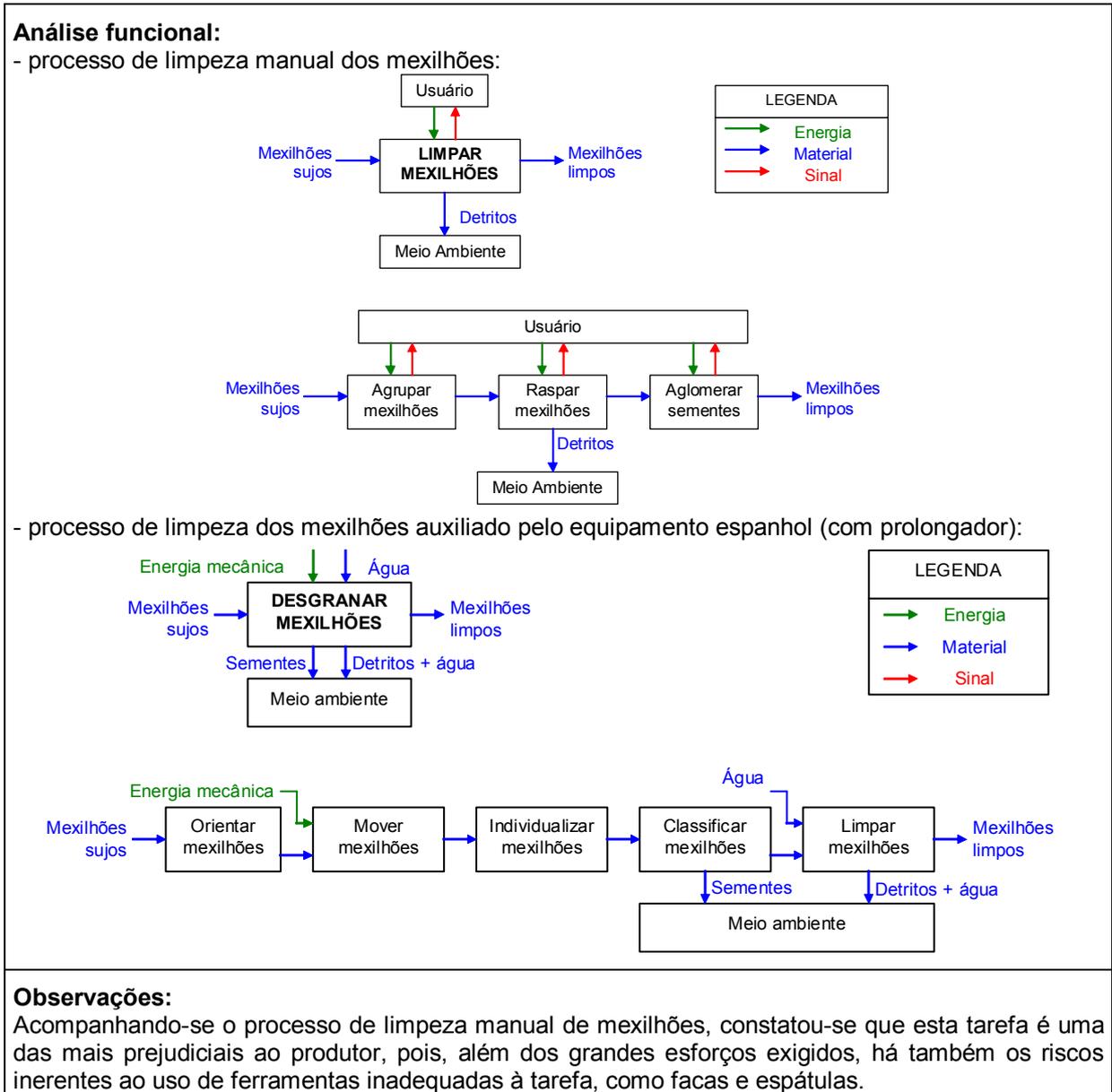
1. Conforme levantado junto a Talleres Aguin, S.L., um dos fabricantes da mesa de classificação espanhola, o preço de uma mesa de classificação é de 1.142 Euros (valores para o mercado europeu).
2. Como mencionado anteriormente, um dos modelos de desdobradora utilizado na Espanha permite a realização de uma seleção prévia de mexilhões por ela processados. A esta mesma máquina pode-se incluir um prolongador, dotado de um eixo com pás e uma nova grade de abertura regulável, resultando numa melhor desgranação e classificação dos mexilhões. Tais possibilidades de configuração são ilustradas na figura ao lado.



FONTE: TALLERES AGUIN, S.L. (1999).

Quadro 4.9 – Ficha técnica para o processo de limpeza dos mexilhões.

| Processo N°: 09 | Limpeza dos Mexilhões | Fase: coleta e processamento | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------|------------------------------|---------|--|---|-------------------|---|----------------|---|-------------------|---|--------|---|---------------|
| <p>Descrição: a limpeza dos mexilhões, em Santa Catarina, é feita basicamente em duas etapas. Primeiramente, ainda na <i>mesa de classificação</i>, removem-se todos os organismos incrustados no mexilhão, seja manualmente, seja raspando os mexilhões na tela da mesa de classificação, ou ainda, utilizando ferramentas adaptadas de outras funções, como espátulas, facas, ou qualquer outro utensílio disponível. Na seqüência, procede-se a uma lavagem dos mexilhões, banhando-os no mar, ou ainda, jateando-os com água doce.</p> | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Equipamentos disponíveis: além do uso de ferramentas adaptadas de outras atividades, os produtores catarinenses vêm procurando contornar a ausência de mecanização no cultivo através da improvisação de diversos recursos mecânicos. Exemplos destes esforços foram constatados em visitas a produtores catarinenses, onde se observou o uso de betoneiras e de dispositivos por eles confeccionados. Muitos dos equipamentos desenvolvidos pelos próprios produtores assemelham-se ao projeto desenvolvido pelo SENAI/SC em 2000, totalmente confeccionado em aço inoxidável, cuja estrutura é esquematizada na figura a seguir. A capacidade de trabalho deste equipamento é de 30kg a cada batelada de 5 minutos, sendo os mexilhões alimentados e retirados manualmente.</p> | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Equipamentos disponíveis (continuação):</p>  <table border="1" data-bbox="1157 940 1337 1142"> <thead> <tr> <th colspan="2">LEGENDA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Tampa de acrílico</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Caixa do motor</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Tambor de limpeza</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Tanque</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Saída de água</td> </tr> </tbody> </table> | | | LEGENDA | | 1 | Tampa de acrílico | 2 | Caixa do motor | 3 | Tambor de limpeza | 4 | Tanque | 5 | Saída de água |
| LEGENDA | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Tampa de acrílico | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Caixa do motor | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Tambor de limpeza | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Tanque | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Saída de água | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Na Espanha, devido à presença de uma fauna mais pobre se comparada à catarinense, o processo de limpeza torna-se mais facilitado. Em relação à realização mecanizada desta tarefa, contatou-se a existência de escovas que, quando adaptados às desgranadoras, permitem a realização simultânea da limpeza dos mexilhões com processos de desgranagem e seleção. As figuras abaixo ilustram esta possibilidade.</p> | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>FONTE: TALLERES AGUIN, S.L. (1999).</p> | | | | | | | | | | | | | | |

Quadro 4.9 (continuação) – Ficha técnica para o processo de limpeza dos mexilhões.**Quadro 4.10** – Ficha técnica para o processo de classificação fina.

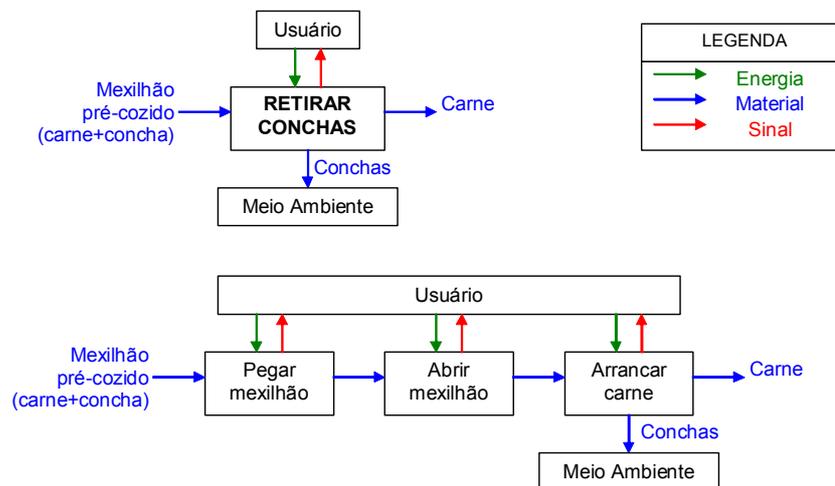
| Processo Nº: 10 | Classificação Fina | Fase: beneficiamento |
|---|--------------------|----------------------|
| Descrição: em Santa Catarina, este processo é atualmente realizado somente para o processamento de mexilhões para venda em ½ concha, devido à necessidade de serem selecionados, para a venda, animais sem deformidades na concha. O processo adotado é essencialmente manual, e normalmente executado pelos próprios funcionários das unidades de beneficiamento. | | |
| Equipamentos disponíveis: não foram encontrados quaisquer equipamentos utilizados no auxílio a esta tarefa. | | |
| Observações: | | |
| 1. A existência de deformidades nas conchas é resultado da presença de um número excessivo de mexilhões nas cordas, resultando em competição por espaço e, conseqüentemente, no crescimento anômalo da concha de alguns mexilhões. | | |
| 2. A realização de um processo de limpeza refinada também é desejável no caso de venda de mexilhões <i>in natura</i> , objetivando atingir novos nichos de mercado, tais como: consumidores mais exigentes, bares e restaurantes. | | |

Quadro 4.11 – Ficha técnica para o processo de limpeza refinada.

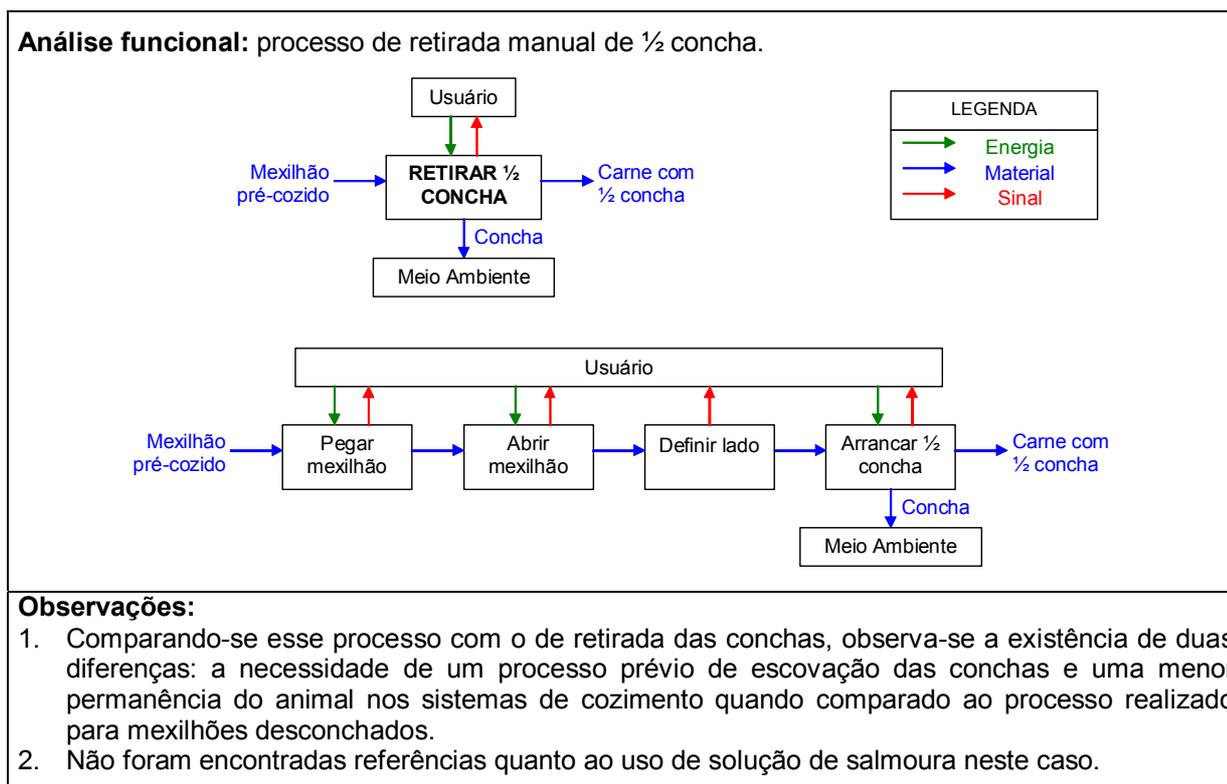
| Processo N°: 11 | Limpeza Refinada | Fase: beneficiamento |
|---|------------------|----------------------|
| <p>Descrição: novamente trata-se de um processo atualmente realizado somente no caso da preparação de mexilhões para a venda em ½ concha, objetivando um melhor aspecto do produto.</p> | | |
| <p>Equipamentos disponíveis: em visita a COOPERMAC (Cooperativa de Produtores de Canto Grande, Bombinhas, SC), constatou-se somente o uso de escovas para auxiliar na realização deste processo. Na Espanha, uma máquina denominada <i>desbarbadora</i> permite a realização da retirada dos filamentos de bisso que estejam presentes na concha do animal (NEIRA ET AL., 1990).</p> | | |
| <p>Análise funcional:</p> | | |
| <p>Observações:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tal qual observado no processo anterior, deve-se ressaltar o interesse da realização de uma limpeza refinada para o atendimento de novos nichos de mercado. 2. Não foram encontrados registros da forma de realização deste processo na Espanha. | | |

Quadro 4.12 – Ficha técnica para o processo de retirada das conchas.

| Processo N°: 12 | Retirada das Conchas | Fase: beneficiamento |
|--|----------------------|----------------------|
| <p>Descrição: após serem cozidos os mexilhões, sua carne deverá ser removida do interior da concha. O processo em escala industrial, em Santa Catarina, é apenas encontrado nas unidades de beneficiamento de mexilhões, porém ainda sendo dependente do trabalho manual. Na Espanha esta tarefa já se encontra mecanizada, sendo utilizados equipamentos que realizam a separação da carne da concha agitando-se os mexilhões cozidos em uma solução de salmoura que garanta uma densidade que permita que somente a carne permaneça na superfície do líquido.</p> | | |
| <p>Equipamentos disponíveis: atualmente, em Santa Catarina, as unidades de beneficiamento dispõem de esteiras para facilitar o transporte de mexilhões cozidos e desconchados. Porém, não são encontrados indícios da existência de máquinas específicas para auxiliar na realização desta tarefa. A figura abaixo mostra a esteira utilizada pela COOPERMAC (Cooperativa de Produtores de Canto Grande, Bombinhas/ SC).</p> | | |

Quadro 4.12 (continuação) – Ficha técnica para o processo de retirada das conchas.**Equipamentos disponíveis (continuação):****Análise funcional:** processo de retirada manual das conchas.**Quadro 4.13** – Ficha técnica para o processo de retirada de ½ concha.

| | | |
|--|-----------------------------|-----------------------------|
| Processo N°: 13 | Retirada de ½ Concha | Fase: beneficiamento |
| <p>Descrição: como alternativa à produção e venda de mexilhões desconchados, tem-se a possibilidade de serem processados mexilhões em ½ concha. Esta tarefa é realizada da mesma forma que a anterior, porém, tomando-se o devido cuidado de selecionar, para serem embalados, apenas a parte da concha que permaneceu com a carne.</p> | | |
| <p>Equipamentos disponíveis: novamente, têm-se disponíveis apenas esteiras para colaborar com a realização desta tarefa.</p> | | |

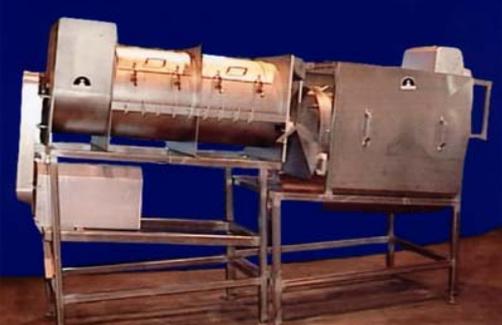
Quadro 4.13 (continuação) – Ficha técnica para o processo de retirada de ½ concha.

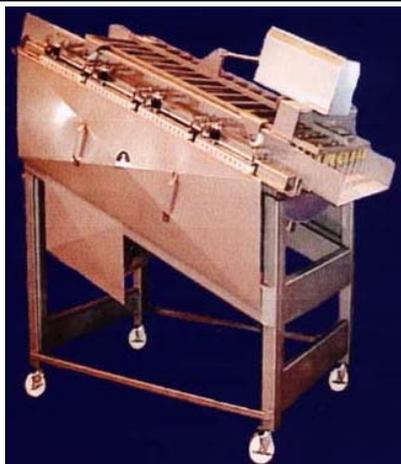
Estes quadros foram utilizados para a avaliação técnica da viabilidade de mecanização ao início do projeto informacional do sistema modular, na etapa de Identificação dos produtos a serem desenvolvidos. No entanto, quando o projeto já se encontrava em fases mais avançadas de desenvolvimento, diversos registros de mecanização de algumas destas tarefas foram encontrados, sendo os exemplos mais relevantes sumarizados no Quadro 4.14 a seguir.

Quadro 4.14 – Ficha técnica para o processo de retirada de ½ concha.

| Equipamento | Descrição |
|---|---|
|  | <p>Máquina separadora/escovadora: Este equipamento, desenvolvido pela S.A.Christian MULOT (http://www.mulot.fr), uma empresa francesa dedicada à fabricação de equipamentos para trabalho náutico, realiza as tarefas de separação e de limpeza dos mexilhões. Suas características técnicas são:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 3 modelos: capacidade variando de 500 a 2.000 kg/h ▪ Construída em aço inox ▪ Opera com 15, 18 ou 24 escovas ▪ Intensidade da escovação ajustável |

Quadro 4.14 (continuação) – Ficha técnica para o processo de retirada de ½ concha.

| Equipamento | Descrição |
|---|--|
|  | <p>Máquina separadora, lavadora e peneiradora para mexilhões: este equipamento, também desenvolvido pela MULOT, realiza em um único equipamento as três funções citadas, deixando o produto pronto para embalagem. Suas principais características técnicas são:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Dois modelos: de 500 a 2.000 Kg/h ▪ Construída em aço inox ▪ Motor elétrico trifásico 380v - 5.5Kw |
|  | <p>Removedora de bisso: equipamento da MULOT utilizado para remover os filamentos de bisso do mexilhão a ser comercializado. Suas características técnicas são:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Vários modelos, variando de 300 a 2.000 kg/h ▪ Fabricado em aço inox e plástico ▪ O produto é depositado em uma esteira de inspeção |
|  | <p>Desgranador de mexilhões / selecionador: equipamento canadense utilizado para a desgranação e seleção de mexilhões. O princípio de solução utilizado para a desgranação é o de pás rotativas e, para a separação, o de grades. Vendido pela FUKUI NORTH AMERICA (http://www.fukuina.com/shellfish/mussels.htm). Suas características técnicas são:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Opções de sistema motor elétrico, hidráulico ou a gás ▪ Fabricada em aço inox |
|  | <p>Desgranador de mexilhões e sementes / selecionador: outro equipamento vendido pela FUKUI NORTH AMERICA, capaz de realizar as tarefas de desgranação e seleção, além também de possuir recursos para, simultaneamente, processar sementes de mexilhões. Suas características técnicas são:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Capacidade de processamento: 3-4 t./h ▪ Confeccionada em aço inox e alumínio ▪ Menos de 1% de quebras de mariscos |

Quadro 4.14 (continuação) – Ficha técnica para o processo de retirada de ½ concha.

Removedora de bisso: equipamento canadense, também vendido pela FUKUI NORTH AMERICA, utilizado para a remoção do bisso. Suas características técnicas são:

- Vendida em diferentes modelos (100/200/300) com diferentes capacidades: 454/680/1360 kg/h
- Fabricada em aço inox
- Possui alimentador (opcional)

A mecanização na Nova Zelândia caracteriza-se pelo foco na produção de grande porte. Um exemplo disto são os equipamentos desenvolvidos pela MARINE AND GENERAL ENGINEERING LIMITED (<http://www.marineandgeneral.co.nz>), ilustrados nas figuras abaixo. Estes equipamentos chegam a possuir capacidades de processamento superiores a 40 t/h.



Separador



Remoção dos mexilhões das cordas



Remoção dos mexilhões das cordas (escovas)



Encordadora



Desgranadora



Desgranadora

4.1.2 Análise da Viabilidade de Mecanização dos Processos

Pretende-se, com a adoção de uma estrutura modular, propiciar uma base sólida para a melhoria gradual das condições de trabalho dos produtores, garantindo as condições técnicas necessárias para a transição do trabalho em pequena escala, realizado nos ranchos, para o processamento no próprio mar. Tal restrição acaba por influir, tanto técnica quanto mercadologicamente, na viabilidade imediata de mecanização dos processos em estudo. Através de uma avaliação do perfil técnico de cada processo do cultivo de

mexilhões, bem como das informações sobre a demanda de sua mecanização, obtidas através de entrevistas informais com os produtores, puderam-se selecionar quais processos são de interesse imediato à mecanização, quais não são interessantes e quais possuem restrições ao seu desenvolvimento. Cada um destes processos é avaliado individualmente a seguir:

□ **Liberação das sementes dos coletores**

Devido aos diferentes sistemas disponíveis para a coleta de mexilhões (bombonas, redes de pesca, bambu, tubos de PVC, etc.), torna-se praticamente inviável o desenvolvimento de um equipamento dedicado à realização de uma tarefa de remoção das sementes dos coletores. Associado à falta de padronização, outro fator vem dificultar a viabilidade da mecanização desta tarefa: o reduzido número de produtores que utilizam coletores. Tal fato também foi constatado por ROSA (1997), que levantou um percentual de 60% de produtores obtendo sementes somente em costões, contra 3% que eram totalmente dependentes do uso de coletores. Os demais produtores, segundo este mesmo estudo, utilizavam-se de diferentes proporções entre sementes de costão e coletadas, não sendo registrado o uso de sementes provenientes de laboratórios.

Desta forma, a viabilidade de se mecanizar este processo se torna dependente de uma pesquisa para avaliação do sistema de coleta de sementes mais adequado e de seu conseqüente dimensionamento e padronização. Outro fator importante é a divulgação, entre os produtores, das vantagens da adoção de sistemas de coleta de mexilhões, tais como: a não influência das marés durante a coleta, a não preocupação com os períodos de defeso, uma maior uniformidade no tamanho das sementes obtidas e a não competição pelos estoques naturais.

Assim sendo, optou-se por não dar prosseguimento ao projeto de um equipamento para o processo de liberação de sementes dos coletores, objetivando a manutenção do foco desta pesquisa em processos de interesse mais imediato e prioritário para os produtores.

□ **Seleção das sementes**

Dentre os hábitos dos produtores, constatou-se a existência de um empecilho ao desenvolvimento de um equipamento dedicado à realização desta tarefa. Devido ao fato das sementes provenientes de costões e de coletores serem, freqüentemente, encordoadas agrupadas em pencas (ou torrões), diversos produtores acabam por não realizar a seleção prévia das sementes. Exceções são encontradas nos casos de sementes obtidas com grandes diferenças de tamanho ou de sementes provenientes de desdobre. Desta forma, optou-se por tentar agregar a possibilidade da seleção de sementes a outros equipamentos a serem projetados, em especial, no processo de *Seleção de Sementes de Mexilhões*.

Encordoamento

Durante as visitas aos produtores observou-se um grande interesse pela mecanização desta tarefa, principalmente, devido ao tempo gasto em sua realização. Porém, para mecanizar esta tarefa mantendo-se o foco do projeto nos pequenos e médios produtores, considerou-se necessário o desenvolvimento de equipamentos baseados no encordoamento pelo método atualmente praticado em Santa Catarina: através do uso de sacos de rede de pesca e de algodão. Tal decisão é justificada pelos altos custos vinculados à realização do encordoamento pelo método espanhol, onde são exigidas embarcações adequadas à realização deste processo no mar e pessoal especializado.

Confecção de cordas

Uma vez definido como padrão, neste projeto, o sistema de encordoamento atualmente praticado em Santa Catarina, não se faz necessário o projeto de um equipamento para a realização de um processo de confecção de cordas segundo os moldes da Espanha. Além disso, devido ao longo tempo de vida dos materiais utilizados na confecção dos sacos de rede (4 a 5 anos, segundo os próprios produtores catarinenses), a aquisição individualizada de um equipamento dedicado à confecção destes sacos não apresenta interesse comercial imediato. Este fato, agregado à possibilidade de, no futuro, serem adotados em definitivo os sistemas de encordoamento contínuos, tornam desinteressante o estudo da mecanização desta tarefa neste trabalho.

Retirada das cordas do cultivo

Ao contrário dos demais processos, a retirada das cordas de seus sistemas de cultivo deve, obrigatoriamente, ser realizada embarcada, exigindo a confecção de equipamentos apropriados a este uso. Duas alternativas são consideradas viáveis economicamente:

1. Uso de equipamentos mais simples e de tamanho reduzido, capazes de utilizar força humana e adequados à grande parte das embarcações atualmente utilizadas pelos produtores.
2. Máquinas de estruturas mais complexas, capazes de utilizar fontes de potência mecânicas ou hidráulicas, tais como motores e bombas, porém exigindo embarcações de maior porte, além da alocação de maiores recursos financeiros.

Sendo o enfoque desta pesquisa o desenvolvimento do pequeno e médio produtor, fica clara a primeira alternativa como a mais adequada. Porém, parte do objetivo proposto é facilitar a transferência do trabalho em terra para o mar. Tal paradoxo pode ser solucionado procurando-se obter uma estrutura adaptável a ambas formas de trabalho.

É importante ressaltar que, neste processo, será considerada apenas a remoção de cordas fixas em sistemas *longline* de engorda, uma vez que este sistema, se comparado às mesas e varais, se apresenta mais adequado à ampliação da produtividade no cultivo de mexilhões, possuindo mais flexibilidade em relação ao comprimento de corda empregado. Tal decisão vai de encontro à necessidade de se alavancar a produtividade do cultivo de mexilhões, discutida no segundo capítulo deste trabalho.

Remoção dos mexilhões das cordas

Mesmo com a adoção do sistema de encordoamento atualmente praticado em Santa Catarina como padrão para esta pesquisa, pressupõe-se que possa ser obtida uma alternativa de projeto capaz de adequar-se tanto aos sacos de rede de pesca, quanto às cordas espanholas. Tal possibilidade viria de encontro ao interesse de serem desenvolvidos equipamentos capazes de trabalhar durante a transição do trabalho em terra para o mar e, possivelmente, do encordoamento curto para o contínuo.

Classificação fina

A grande dificuldade para a mecanização deste processo está na geometria da superfície da concha do mexilhão, mais especificamente na identificação da existência de anormalidades no formato da concha do animal que, devido às inúmeras formas possíveis, acabaria por exigir uma análise individual da superfície de cada um dos mexilhões. Desta forma, optou-se pelo descarte desta tarefa, deixando a possibilidade de sua mecanização para quando forem atingidos novos patamares de produtividade no cultivo de mexilhões.

Retirada da concha

Neste processo pretende-se, da mesma forma que na Espanha, utilizar-se da diferença existente entre as densidades da concha e da carne para efetuar a separação entre os mesmos. Tal processo não apresenta nenhum empecilho, uma vez que na composição da carne do mexilhão encontra-se 80% de água (FERREIRA & MAGALHÃES, 1997), enquanto que a concha é composta praticamente de material calcário, cuja densidade é muito superior à da água.

Retirada de ½ concha

Para a realização desta tarefa, pretende-se utilizar o mesmo equipamento a ser desenvolvido para o processo de *Retirada da Concha*. Porém, tal decisão apresenta a necessidade de serem estabelecidos parâmetros adequados de funcionamento do equipamento, de forma que não haja um número excessivo de mexilhões ainda fixos às conchas, nem uma elevada quantidade de mexilhões totalmente desconchados. Um esforço também deve ser feito no sentido de definir um valor ótimo para a densidade da solução

salina, de forma que a concha com carne permaneça na superfície, enquanto que a sem carne permaneça no fundo.

No entanto, é importante ressaltar que, conforme verificado durante o estudo de mercado, a mecanização deste processo não é considerada de interesse imediato. Desta forma, caso seja constatada a inviabilidade de se realizar o processo de Retirada de ½ concha pela máquina desenvolvida para a tarefa de Retirada das conchas, sugere-se que sua mecanização seja adiada.

Outros processos selecionados

Além dos processos discutidos anteriormente, outros foram selecionados para o seu desenvolvimento, independentemente de quaisquer observações. Tais processos, grande parte relacionados à colheita do mexilhão, foram apontados como gargalos, sendo considerados como prioritários no desenvolvimento dos produtos. A importância dada a estes processos é justificada pelo fato de que, com sua mecanização, a produtividade no cultivo poderia atingir facilmente novos patamares, através de um escoamento em maior volume e mais rápido de mexilhões para o mercado. São eles:

- Desgranação dos mexilhões
- Seleção dos mexilhões
- Limpeza dos mexilhões
- Limpeza refinada

É interessante ressaltar que as decisões tomadas durante esta etapa do projeto não teriam sido alteradas caso se, neste instante, já se tivesse conhecimento dos casos de mecanização apresentados no Quadro 4.14. Ao contrário, tais exemplos apenas ressaltam a importância de se mecanizar os casos escolhidos e demonstraram a viabilidade de tal mecanização.

4.2 ETAPA 1.2 - Levantamento das Necessidades

Neste tópico são descritos os resultados obtidos na etapa de projeto denominada Levantamento das Necessidades. Para a realização desta etapa, foi considerada essencial a obtenção de dados confiáveis, uma vez que deles dependerá grande parte das decisões a serem tomadas durante o projeto. Conforme apontado por AKAO (1996), o meio mais conveniente de se fazer a coleta de tais necessidades é através do diálogo direto com o cliente, cujas conversas deverão objetivar a extração das exigências latentes em relação ao uso do produto, bem como a comparação com os produtos concorrentes.

Neste sentido, optou-se pelo emprego das técnicas de pesquisa de marketing descritas por MATTAR (1999) no levantamento das necessidades dos clientes. Também

foram empregadas técnicas para a abstração de outras necessidades, de forma a complementar as informações obtidas com dados relativos à manufatura, descarte, além de outros aspectos pertinentes ao projeto. Os resultados obtidos são apresentados nos tópicos a seguir:

4.2.1 Pesquisa de Marketing

Tomando-se como base conceitos propostos para a pesquisa de marketing, procurou-se levantar, de forma mais ampla possível, as necessidades relacionadas à mecanização dos processos do cultivo de mexilhões. A relevância de tal pesquisa é evidenciada por MOUTINHO (1977), que a descreve como sendo uma ferramenta através da qual se pode, baseando-se em um método científico, descobrir o comportamento e as preferências dos consumidores e, de posse dessas informações, obter os meios necessários para solucionar os problemas empresariais.

Para tanto, empregou-se o modelo apresentado por MATTAR (1999), o qual divide a pesquisa de marketing em quatro fases distintas, tal qual descrito na Tabela 4.1. O planejamento realizado bem como os resultados obtidos através desta metodologia são apresentados a seguir:

Fase 2 – Planejamento da Pesquisa

- Definição dos objetivos (pesquisa de marketing): reunir informações que possibilitem a tradução das necessidades, manifestas ou não, em requisitos de projetos a serem atendidos pelas máquinas a serem desenvolvidas para o cultivo e beneficiamento de mexilhões.
- Estabelecimento das questões de pesquisa: para o autor, nesta etapa do planejamento da pesquisa de marketing procuram-se questões mais amplas, que possam vir a gerar questões mais específicas para o questionário. Para o problema abordado neste trabalho, são propostas as seguintes questões:
 - *Quais são as características dos processos produtivos, realizados tanto pelos produtores quanto pela indústria responsável pela fabricação das máquinas a serem projetadas, que deverão ser levadas em conta com a mecanização dos processos do cultivo de mexilhões?* – Deverão ser realizadas questões relacionadas aos processos atualmente realizados manualmente no cultivo de mexilhões, de forma a permitir uma avaliação de quais hábitos produtivos deverão ser mantidos para a continuidade, ou melhoria, dos padrões de qualidade do produto.
 - *O que os produtores estão esperando da mecanização dos processos?* – Deverão ser incluídas questões de forma a permitir sugestões e impressões dos entrevistados.

Tabela 4.1 – Processo de pesquisa de marketing (MATTAR, 1999).

| Fases | Etapas | Passos |
|--|---|---|
| 1. Reconhecimento e formulação do problema de pesquisa | Formulação, determinação ou constatação de um problema de pesquisa | |
| | Exploração inicial do tema | |
| 2. Planejamento da pesquisa | Definição dos objetivos | |
| | Estabelecimento das questões de pesquisa e/ou formulação de hipóteses | |
| | Estabelecimento das necessidades de dados e definição das variáveis e de seus indicadores | |
| | Determinação das fontes de dados | |
| | Determinação da metodologia | <ul style="list-style-type: none"> • Determinação do tipo de pesquisa • Determinação dos métodos e técnicas de coleta de dados • Determinação da população da amostra e do processo de amostragem • Planejamento da coleta dos dados • Previsão do processamento e análise dos dados |
| | Planejamento da organização, cronograma e orçamento | |
| 3. Execução da pesquisa | Redação do projeto de pesquisa e/ou proposta de pesquisa | |
| | Preparação de campo | <ul style="list-style-type: none"> • Construção, pré-teste, e reformulação dos instrumentos de pesquisa • Impressão dos instrumentos (questionários e material de apoio) • Formação da equipe de campo • Distribuição do trabalho no campo |
| | Campo | <ul style="list-style-type: none"> • Coleta de dados • Conferência, verificação e correção dos dados |
| | Processamento e análise | <ul style="list-style-type: none"> • Digitação • Processamento • Análise e interpretação • Conclusões e recomendações |
| 4. Comunicação dos resultados | Elaboração e entrega dos relatórios de pesquisa | |
| | Preparação e apresentação oral dos resultados | |

De forma a responder tais questões, foi formulado um questionário, destinado apenas aos produtores, cujo conteúdo pode ser visto na Tabela 4.2. Neste ponto é importante ressaltar que as questões 21 e 22 foram introduzidas, no formulário, junto às perguntas 10 a 20, de forma que o produtor fosse induzido a fazer análise do processo atual de cultivo e, só então, iniciaria o questionamento de como o entrevistado espera que seja a mecanização desta tarefa. É importante destacar que todas as perguntas foram usadas somente como referência, tendo o entrevistador total liberdade para modificar sua ordem e forma de questionamento, adequando-se à personalidade do entrevistado e ao andamento da entrevista. Outra observação importante refere-se à aplicabilidade do questionário somente aos produtores, totalizando nove questionários, sendo as demais entrevistas (com especialistas na área, por exemplo) realizadas informalmente e dando mais abertura a debates.

Tabela 4.2 – Estrutura adotada no questionário para o levantamento das necessidades dos produtores.

| Cabeçalho | | |
|---|--|--------|
| Entrevistador: | Data: | Local: |
| Informações Pessoais | | |
| 1. | Nome/telefone para contato (opcionais): | |
| 2. | Número de componentes na família: | |
| 3. | Número de familiares que trabalham no cultivo: | |
| 4. | Renda familiar mensal aproximada: | |
| Caracterização do Produtor | | |
| 5. | Área de Cultivo (em m ²): | |
| 6. | Número de cordas no cultivo: | |
| 7. | Comprimento de corda utilizado (m): | |
| 8. | Pretende aumentar a produção? <input type="checkbox"/> Sim (por que?) <input type="checkbox"/> Não (por que?) | |
| 9. | Exerce outra atividade além do cultivo de mexilhões? <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim. Qual? | |
| Levantamento de Dados / Perguntas abertas | | |
| 10. | Quais os problemas que você apontaria no cultivo: | |
| 11. | Como são obtidas as suas sementes? <input type="checkbox"/> em coletores de sementes <input type="checkbox"/> retiradas dos costões <input type="checkbox"/> desdobre <input type="checkbox"/> outros: | |
| 12. | Como é feita a liberação das sementes dos coletores? (somente se aplicável). | |
| 13. | Como é feita a seleção das sementes que irão para as cordas? | |
| 14. | Quais são os materiais usados na confecção das cordas? | |
| 15. | Como é feito o encordoamento? | |
| 16. | Como é feita a retirada das cordas do cultivo? (barco, baleeira, guindastes, manual, etc.) | |
| 17. | Como são retirados (desprendidos) os mexilhões das cordas? | |
| 18. | Como são soltos os mexilhões uns dos outros (desgranados)? | |
| 19. | Como são selecionados os mexilhões para a venda? Aproveitam-se os restantes? | |
| 20. | Como é feita a limpeza dos mexilhões que serão vendidos? | |
| Levantamento de Dados / Levantamento de estimativas (incluídas em 10 a 20) | | |
| 21. | Sugestões (quanto à mecanização destes processos)? | |
| 22. | Quanto você acha que deveria custar uma máquina para realizar esta tarefa? | |
| Levantamento de Dados / Opinião final do produtor sobre a mecanização | | |
| 23. | O que você espera da mecanização dos procesos? Alguma outra sugestão? | |

- Estabelecimento das necessidades de dados e definição das variáveis e de seus indicadores: nesta pesquisa não se objetivou a distribuição estatística das necessidades, mas somente seu levantamento.
- Determinação das fontes de dados:
 - *Fontes de dados primários:* produtores, institutos de pesquisa (EPAGRI e UFSC) e, em menor número, restaurantes, bares e mercados que adquiram mexilhões.
 - *Fontes de dados secundários:* publicações, nacionais e internacionais, sobre o cultivo de mexilhões, principalmente àquelas relacionadas a aspectos da mecanização.
- Determinação da metodologia:
 - *Determinação do tipo de pesquisa:* optou-se pela realização de uma pesquisa exploratória, usando-se como métodos os *levantamentos de experiência*,

caracterizados por entrevistas com especialistas (neste projeto são professores e técnicos que trabalham diretamente na área) ou conhecedores do assunto (os produtores e outros integrantes da cadeia produtiva), e de *observações informais*, caracterizadas pelo exame dos objetos em estudo.

- *Determinação dos métodos e técnicas de coletas de dados:* selecionou-se as seguintes técnicas de coletas de dados:
 - Entrevistas com especialistas;
 - Observações;
- *Determinação da população da amostra e do processo de amostragem:* optou-se pelo uso de amostras não probabilísticas, restringindo-se a pesquisadores na área e profissionais de reconhecida competência e iniciativa na área (indicados pelos pesquisadores entrevistados e pelas cooperativas das regiões visitadas). As justificativas para tanto são:
 - A obtenção de uma amostra de dados que reflita com precisão o comportamento de um determinado segmento do mercado não é o objetivo principal da pesquisa;
 - Os recursos, principalmente de pessoal e tempo, eram insuficientes para a realização de uma entrevista com amostragem probabilística;
- *Planejamento da coleta dos dados:*
 - Tempo disponível: conforme foi determinado pelo *Planejamento da Pesquisa* em SCALICE (2000), o período dedicado à realização da pesquisa de mercado é de, no mínimo, um mês, estendendo-se há no máximo dois meses.
 - Entrevistadores participantes: o pesquisador e um auxiliar.
- *Previsão do processamento e análise dos dados:* planeja-se realizar o processamento dos dados obtidos paralelamente à realização das entrevistas, em reuniões semanais.
- Planejamento da organização: Para a realização do trabalho de campo, é proposta a divisão dos territórios a serem estudados em dois grupos:
 - Entrevistador 1: sul da Ilha de Santa Catarina e Canto Grande, Bombinhas;
 - Entrevistador 2: norte da Ilha de Santa Catarina e Palhoça.
- Redação do projeto de pesquisa e/ou proposta de pesquisa: Quando a pesquisa for muito grande ou metodologicamente muito complexa, o autor recomenda a elaboração de um documento escrito, denominado projeto ou plano de pesquisa, contendo todo o resultado do processo de planejamento. O conteúdo apresentado nos itens anteriores atenderia aos objetivos pretendidos neste trabalho, não tendo sido necessárias informações adicionais.

O processo de entrevistas decorreu conforme o planejado, dentro do período determinado para sua realização (2 meses) e com abrangência considerada, pelos entrevistadores, como suficiente para o atendimento dos objetivos determinados para esta

pesquisa de marketing. No total, foram entrevistadas quinze pessoas, entre produtores, professores, profissionais da EPAGRI e vendedores de mexilhões (em peixarias), sendo de quarenta minutos a duração média das entrevistas, porém chegando a ter até duas horas. Uma única ressalva deve ser feita à aplicação do questionário: ao contrário do que foi inicialmente imaginado, nem sempre o produtor dispunha de idéias e sugestões específicas para cada tarefa, freqüentemente recaindo em valores e soluções mais genéricas para os problemas abordados.

Através das entrevistas, pôde-se observar a grande importância dada pelos produtores à mecanização dos processos realizados no cultivo de mexilhões, principalmente aqueles relacionados aos processos monótonos ou exaustivos. Porém, apesar desta opinião aparentemente unânime, também observada por ROSA (1997), que levantou um percentual de 74% de produtores que tinham a mecanização como um dos problemas a serem enfrentados no cultivo de mexilhões, foram poucas as necessidades reais apresentadas pelos entrevistados, obrigando a realização de um processo de interpretação das necessidades manifestas e dos demais comentários, principalmente daqueles relacionados às atuais práticas do cultivo de mexilhões, dos problemas encontrados pelos produtores em seu dia-a-dia e das impressões colhidas sobre os equipamentos atualmente disponíveis. O resultado obtido é apresentado na Tabela 4.3, juntamente às designações utilizadas como entradas para os “o quês” do QFD. O uso de uma designação diferenciada está ligado a uma limitação do espaço destinado ao texto das necessidades e requisitos no programa utilizado para a confecção da matriz da Casa da Qualidade.

Tabela 4.3 – Necessidades colhidas durante a realização da pesquisa de marketing.

| NECESSIDADE EXPRESSA | DESIGNAÇÃO PARA O QFD |
|--|-------------------------------------|
| Necessidades sobre o como realizar o processo mecanizado | |
| Que o tempo necessário para a realização da tarefa seja pequeno. | Pouco tempo de processamento |
| Que o equipamento demande poucas pessoas. | Utilize pouca mão de obra |
| Que o equipamento não permita que o usuário seja ferido pelo contato com o produto | Sem contato operador / mexilhão |
| Que a máquina não permita a ocorrência de quebras da concha do animal | Poucas quebras de mexilhões |
| Que os mexilhões não sejam contaminados e o sabor do mexilhão não seja prejudicado | Processo higiênico |
| Que a máquina faça “tudo” | Realize processos simultâneos |
| Que o produto não precise se colocado e tirado muitas vezes da máquina | Realize processos de forma contínua |
| Que a mecanização não exija muito fisicamente do produtor | Exija poucos esforços do usuário |
| Que a mecanização não cause ferimentos ao produtor | Não lesione usuário |
| Que a máquina seja facilmente transportável por pessoas | Transporte manual facilitado |
| Que o equipamento esteja preparado para, no futuro, trabalhar no mar | Permitir trabalho embarcado |
| Que o comprimento de ENCORDAMENTO seja adequado a cada local | Cordas de diferentes comprimentos |
| Necessidades colhidas da avaliação de equipamentos e recursos existentes | |
| Que a máquina não emperre durante o seu funcionamento | Sem paradas inesperadas |
| Que o equipamento não ocupe muito espaço | Tamanho compacto |
| Que o equipamento suporte longos períodos sem reparos | Não exija muita manutenção |
| Que, quando quebre, o equipamento seja fácil de consertar | Fácil Manutenção |
| Que o equipamento seja mais barato que os importados | Preço acessível |

4.2.2 Abstração das Necessidades

De forma a complementar as necessidades levantadas pela pesquisa de campo, realizou-se uma abstração de quais necessidades, não apontadas pelos entrevistados, também poderiam ser de interesse para o desenvolvimento da mecanização do cultivo de mexilhões. Tal extrapolação foi feita obedecendo a cinco categorias, baseadas no ciclo de vida de produtos descrito por GU & SOSALE (1997), em aspectos específicos do projeto dos produtos e na própria atividade de cultivo de mexilhões. São elas: (1) Produto, englobando as características genéricas a serem atendidas pelo projeto; (2) Manufatura; (3) Uso, envolvendo todo o aspecto da interação homem e máquina; (4) Pós-uso; e (5) Específicas, referindo-se às necessidades individuais de cada um dos processos estudados.

O processo adotado consiste na análise, segundo o ponto de vista da engenharia, das necessidades que envolvem cada uma das cinco categorias, sendo avaliados e idealizados os procedimentos realizados na atividade manual e mecanizada, na fabricação dos equipamentos e nas condições futuras do cultivo de mexilhões. Para tanto, utilizou-se como base o levantamento do estado-da-arte do cultivo de mexilhões, os dados de campo levantados sobre os produtores, o conhecimento técnico e científico da engenharia e as expectativas do mercado, de forma a criar uma imagem, ainda que fictícia, da forma de trabalho com a mecanização dos processos do cultivo de mexilhões. Tal técnica permitiu a obtenção de informações em um universo não contextualizado pelas entrevistas, possibilitando a antecipação das necessidades e problemas que poderiam vir a surgir com a introdução das máquinas no cultivo de mexilhões. O resultado obtido é listado a seguir, na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Necessidades abstraídas para o contexto do cultivo de mexilhões.

| Grupo | Categoria | Necessidades |
|--------------|------------------|--|
| Produto | Aparência | Agradável |
| | Materiais | Durável |
| | | Adaptado ao trabalho com água do mar |
| Manufatura | Fabricação | Baixo custo |
| | | Adequada ao volume de produção esperado |
| | | Fácil montagem |
| | Logística | Ocupe pouco espaço |
| | | Transportável por veículos leves |
| Uso | Operação | Interface simples |
| | Manutenção | Fácil de limpar |
| Pós-uso | Descarte | Descarte planejado |
| Específicas | Encordoamento | Sem mexilhões presos (internamente à rede) |

4.3 ETAPA 1.2 - Clarificação das Necessidades

Na etapa de Clarificação das Necessidades, utilizou-se a Casa da Qualidade do QFD para a transformação das necessidades dos clientes em requisitos de projetos, classificados segundo a importância para o atendimento das necessidades dos clientes dos produtos a serem desenvolvidos. A construção da Casa da Qualidade, feita pela própria equipe de projeto, teve início com o preenchimento das necessidades dos clientes, com seus respectivos pesos, e sua subsequente interpretação na forma de requisitos de projeto. Os requisitos de projeto propostos são apresentados na Tabela 4.5, juntamente à sua descrição.

Tabela 4.5 – Requisitos de projeto para o desenvolvimento de produtos para o cultivo de mexilhões.

| Requisito de projeto | Descrição |
|---------------------------------|--|
| Adequar manufatura a escala | Atualmente o número de produtores encontra-se em torno de 1000, podendo todos ser considerados consumidores em potencial. Tal volume, no entanto, inviabiliza a adoção de processos de fabricação em larga escala, como no caso de injeção de peças plásticas, obrigando selecionar os processos mais adequados. |
| Capacidade de produção | É o quanto cada equipamento deverá produzir (kg/h). |
| Comprimento de corda | O comprimento de corda é uma variável essencial para o processo de encordoamento, ainda mais considerando que em Santa Catarina, dependendo do local de cultivo, são empregadas cordas variando entre 1 e 5m. O estabelecimento desta variável influenciará na região em que poderá ser utilizado o equipamento. |
| Custo de fabricação | Engloba, além do custo dos materiais, todos os outros custos da empresa fabricante empregados na manufatura do produto, sendo o melhor parâmetro para caracterizar o impacto do preço ao consumidor. |
| Custo dos materiais | Trata-se somente da contribuição do custo da aquisição de materiais no preço total do produto. É uma medida do impacto do preço dos materiais selecionados no preço do produto. |
| Densidade de encordoamento | Trata-se de outra variável importante para o processo de encordoamento. O valor deste requisito não poderá ser alto a ponto de permitir a presença de mexilhões no interior da rede de polietileno durante a engorda, nem pequeno a ponto de não se aproveitar todo o espaço disponível. |
| Dimensões do conjunto | Trata-se da caracterização do volume limite ocupado por cada configuração de módulos. |
| Dimensões dos módulos | Trata-se da caracterização do volume limite ocupado por cada módulos individualmente. |
| Interface simples com o usuário | Consiste na determinação do limite necessário à complexidade da interação homem-máquina. Valores pequenos, em certos casos, poderão caracterizar uma maior automação da tarefa. |
| Minimizar operações de montagem | Trata-se de uma diretriz no sentido de redução dos custos de produção dos módulos. |
| Operável por uma pessoa | Diretriz no sentido de permitir que se trabalhe individualmente com o equipamento. |
| Peso do conjunto | O peso do conjunto possui influência direta na capacidade de transporte do equipamento, no trabalho embarcado, entre outras necessidades. |
| Peso do módulo | O peso do módulo influi diretamente nos esforços do produtor durante a mudança de configurações no equipamento e no transporte dos módulos. |
| Produto seguro para o usuário | Além de aspectos da integridade física do trabalhador, este requisito também leva em conta aspectos ergonômicos e de saúde do usuário. |
| Projeto robusto | Um produto robusto é mais confiável e, portanto, terá menores exigências de manutenção. |
| Quebras de conchas | Uma elevada quebra de conchas prejudicará a imagem do produto junto ao produtor, além de reduzir a produtividade do processo. |

Tabela 4.5 (continuação)– Requisitos de projeto para o desenvolvimento de produtos para o cultivo de mexilhões, ordenadas alfabeticamente.

| Requisito de projeto | Descrição |
|--------------------------------------|--|
| Realizar processos de forma contínua | Diretriz enfatizando a importância de se priorizar configurações de produtos em que ocorra o processamento contínuo dos mexilhões. |
| Realizar processos simultâneos | Diretriz no sentido de procurar viabilizar a realização simultânea do maior número de processos possível. |
| Usar aço inox | O uso de aço inox está intimamente ligado à manipulação de alimentos, a qual exige materiais que não prejudiquem o sabor do produto, e à necessidade de se trabalhar em contato com água marinha. |
| Usar diferentes fontes de potência | Com a transição do trabalho em terra para o mar, será necessário alterar as formas de energia empregadas nos equipamentos. Esta diretriz reflete diretamente tal adaptabilidade. |
| Usar materiais plásticos | O uso de materiais plásticos pode ser uma alternativa viável à substituição do inox no produto, porém exigindo uma correta seleção de forma à não afetar as características do mexilhão e não perder suas características em contato com a água do mar. |
| Usar materiais recicláveis | O uso de materiais plásticos foi selecionado como alternativa de projeto mais viável à disposição final do produto, uma vez que o reuso poderia vir a acarretar a necessidade de se alterar os procedimentos da indústria que irá manufaturar os produtos. |
| Usar pegas para transporte | O uso de pegas ou alças, além de facilitar o transporte, também evita que o usuário venha a entrar em contato com áreas mais perigosas do equipamento. |

Para a determinação dos pesos dados às necessidades dos clientes, adotou-se a escala de pontos descrita a seguir:

- **5 Pontos:** dado apenas à necessidade de “preço acessível”, cuja importância e relevância ao projeto foi quase que unanimemente ressaltada.
- **4 Pontos:** para as demais necessidades levantadas que demandaram uma maior importância.
- **3 Pontos:** dado apenas à necessidade abstraída “baixo custo de fabricação”, intimamente relacionada à necessidade de “preço acessível” citada anteriormente.
- **2 Pontos:** destinado às necessidades levantadas de menor importância e às necessidades abstraídas que exigem uma maior atenção no projeto.
- **1 Ponto:** para as necessidades abstraídas de menor importância e às necessidades específicas.

Também foram preenchidos o telhado da casa da qualidade e os relacionamentos entre os requisitos de projeto e as necessidades dos clientes, resultando na matriz apresentada nas Figuras 4.2, 4.3 e 4.4. Como se pode notar, optou-se pela adoção de uma única matriz para todo o sistema modular, sendo a razão principal para tanto, o fato de terem sido obtidas, predominantemente, necessidades dos clientes que refletiam impressões mais genéricas dos produtos. Tal ocorrência deveu-se à ausência de parâmetros de comparação, por parte dos entrevistados, que permitissem caracterizar necessidades específicas para cada processo do cultivo de mexilhões. No entanto, a adoção de requisitos de projeto comuns não caracteriza um problema para o projeto, uma vez que se pretende utilizá-los para a concepção do sistema como um todo.

Tabela 4.6 – Especificações de projeto para o desenvolvimento de produtos para o cultivo de mexilhões, ordenadas segundo a classificação obtida pelo QFD.

| | Requisito | Objetivo | Meta | Saídas indesejáveis |
|----|--------------------------------------|---|--|--|
| 1 | Usar aço inox | Minimizar seu uso, porém empregando-o em locais onde seja valorizada sua aparência. | | Exceder custo-meta |
| 2 | Dimensões do conjunto | Minimizar as dimensões totais do equipamento | ≤ 2 m (comprimento) | Não atendimento da capacidade desejada de produção |
| 3 | Usar materiais plásticos | Maximizar o uso de materiais plásticos em casos onde haja sua aplicabilidade, seja uma alternativa técnica viável, permita uma redução no custo do produto. | | Fragilizar componentes |
| 4 | Peso do conjunto | Minimizar o peso do conjunto de módulos | ≤ 100 kg | |
| | Interface simples com o usuário | Simplificar a interação homem-máquina | - utilizar apenas um acionamento - utilizar componentes cuja função seja facilmente identificável - reduzir as operações realizadas pelo usuário | Aumento no custo do equipamento devido à necessidade de se automatizar tarefas |
| 6 | Custo de fabricação | Minimizar o custo de fabricação do equipamento | ≤ R\$ 4.000,00 (baseado em sugestões dos produtores e no preço de equipamentos espanhóis) | |
| 7 | Projeto robusto | Maximizar a confiabilidade do equipamento. | | Aumento de custos e uso de materiais com características mecânicas acima das necessárias |
| 8 | Produto seguro para o usuário | Maximizar a proteção da saúde e segurança do trabalhador | - usar princípios e técnicas de ergonomia - isolar componentes móveis ou cortantes | Aumento no custo do equipamento |
| 9 | Realizar processos simultâneos | Viabilizar a realização do maior número de processos possíveis em uma única configuração do produto | | |
| 10 | Quebras de conchas | Minimizar a ocorrência de quebras das conchas durante o processamento | ≤ 5% do volume processado | |
| 11 | Dimensões dos módulos | Minimizar o volume ocupado por módulo | ≤ 0,4 m (comprimento) ⁽¹⁾ ≤ 0,5 m (largura) ⁽¹⁾ ≤ 0,3 m (altura) ⁽¹⁾ | |
| 12 | Realizar processos de forma contínua | Reduzir a necessidade de se realizar os processos em bateladas | | |
| 13 | Capacidade de produção | Maximizar o volume de mexilhões capaz de ser processado pelo equipamento | ≥ 500 Kg/h | Alto custo do equipamento |
| | Custo dos materiais | Minimizar o custo de materiais | ≤ 50% do custo do equipamento | Redução no tempo de vida de alguns componentes |
| | Minimizar operações de montagem | Tornar o processo de montagem o mais simples possível, evitando manipulações desnecessárias do produto | Empregar técnicas de DFMA | |
| 16 | Peso do módulo | Minimizar o peso unitário de cada módulo | ≤ 23 kg ⁽¹⁾ | |
| | Operável por uma pessoa | Permitir que o processo realizado pelo equipamento seja dependente de um único operador | | |
| 18 | Usar diferentes fontes de potência | Viabilizar o uso de fontes alternativas de potência (elétrica, hidráulica, humana, etc.) | | |

¹ Valores obtidos com base em DUL & WEERDMEESTER (1995).

Tabela 4.6 (continuação)– Especificações de projeto para o desenvolvimento de produtos para o cultivo de mexilhões, ordenadas segundo a classificação obtida pelo QFD.

| | Requisito | Objetivo | Meta | Saídas indesejáveis |
|----|-----------------------------|---|---|---------------------------------|
| 19 | Usar pegas para transporte | Viabilizar o transporte do equipamento usando o menor número de pegas possível | 2-4 (transportável por 2 ou 4 pessoas) | |
| 20 | Adequar manufatura a escala | Selecionar somente processos de manufatura adequados ao volume de produção (± 500 unidades inicialmente) | | |
| 21 | Comprimento de corda | Maximizar o comprimento de corda confeccionado | Viabilizar comprimentos ≥ 5 m, incluindo também os menores | Aumento no custo do equipamento |
| 22 | Usar materiais recicláveis | Maximizar a reciclagem de materiais | = 0% de materiais não recicláveis | |
| | Densidade de encordoamento | Maximizar a densidade de encordoamento sem que haja mexilhões presos no interior da rede | $\cong 75$ mm de diâmetro de corda | |

4.4 Comentários Finais

Durante esta fase de projeto estudou-se a possibilidade de mecanização de treze processos realizados pelo cultivo de mexilhões, dos quais quatro mostraram-se de interesse ao projeto, sete tiveram seu interesse ligado a algumas restrições e outros dois foram descartados. Uma constatação importante sobre três dos processos selecionados sem restrições – a desgranação, a seleção e a limpeza de mexilhões – está no fato de que sua viabilidade de modularização já foi testada em um equipamento espanhol que, através da agregação do que seu fabricante denominou de prolongadores, permitia a realização simultânea de tais processos. No entanto, o que se objetiva neste trabalho é a viabilização de pequeno grupo de equipamentos capaz de realizar um número ainda maior de processos do cultivo de mexilhões.

No entanto, o conhecimento da proposta de portfólio de produtos acabou não se mostrando decisiva na obtenção das necessidades a serem atendidas, as quais se apresentaram como aspectos mais globais do projeto. A impressão obtida durante a realização das entrevistas era de que os entrevistados tinham parâmetros insuficientes para a avaliação de como poderiam vir a ser realizados os processos mecanizados (apenas equipamentos como pressurizadores de água, betoneiras e outros também utilizados em atividades distintas ao cultivo de mexilhões), o que acabava induzindo o entrevistador a manter o questionamento mais restrito ao processo atual. Porém, avaliando-se as necessidades obtidas sobre o enfoque da qualidade dos requisitos de projeto delas traduzidos, pode-se afirmar que o resultado foi satisfatório.

Com o estabelecimento de metas para os requisitos de projeto e, conseqüentemente, com a elaboração das especificações de projeto, está definida a base na qual serão desenvolvidos os produtos. Contudo, outras informações serão de suma importância na

solução dos eventuais conflitos que poderão surgir durante o projeto: os relacionamentos do telhado da Casa da Qualidade, que, juntamente à classificação obtida pelo QFD, auxiliarão na decisão de quais requisitos deverão ser priorizados, de forma a garantir que o projeto venha a atender, da melhor forma possível, às necessidades e expectativas dos consumidores.

5

Projeto Conceitual do Sistema Modular para a Mecanização do Cultivo de Mexilhões

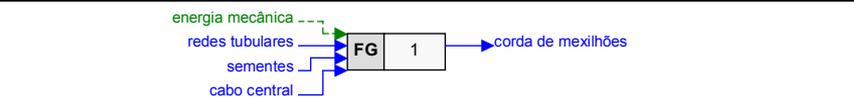
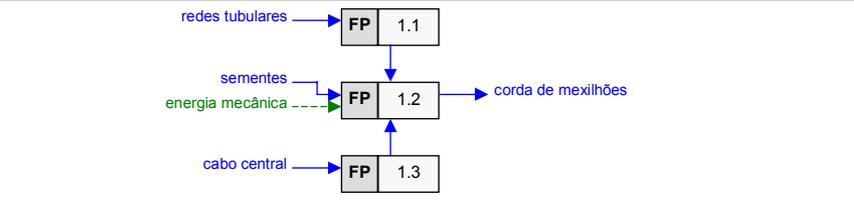
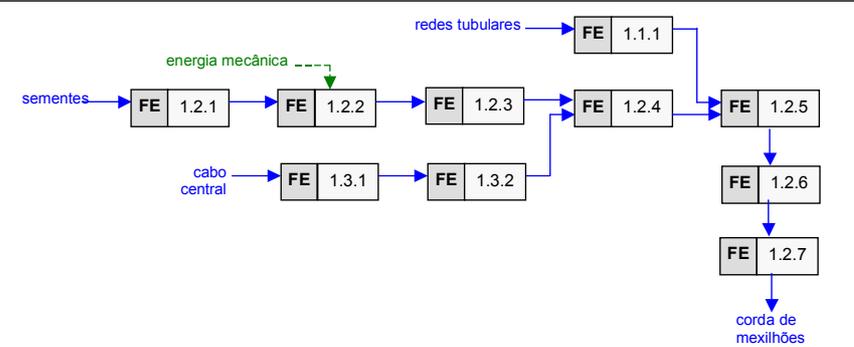
Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos durante o projeto conceitual do sistema modular para a mecanização dos processos do cultivo de mexilhões. Durante esta fase do projeto, objetivou-se a determinação dos conceitos de produtos que melhor pudessem atender às necessidades do cultivo de mexilhões. O processo de desenvolvimento adotado teve início com a determinação das estruturas funcionais dos futuros equipamentos, seguindo-se a busca de princípios de solução para as funções elementares determinadas, geração e seleção de alternativas de projeto e geração final dos módulos. Como resultado final, foram produzidos leiautes preliminares dos módulos, os quais serviram de base para a fase de projeto preliminar dos produtos. Cada etapa do projeto será detalhada nos tópicos a seguir.

5.1 ETAPA 2.1 – Estabelecimento das Estruturas Funcionais Modulares dos Produtos

O estabelecimento das estruturas funcionais foi feito através do processo de síntese funcional modular, apresentado no Capítulo 3 deste trabalho, o qual divide-se em três tarefas distintas. Na primeira destas tarefas é realizada a síntese funcional individual para a mecanização de cada processo do cultivo de mexilhões. Optou-se, neste instante, pela confecção de uma única estrutura funcional para cada processo, a qual englobasse inclusive funções elementares consideradas acessórias na realização do processo. No total foram confeccionadas oito estruturas funcionais, apresentadas nos Quadros 5.1 a 5.8.

Convém ressaltar que a adoção de estruturas funcionais mais completas e, ocasionalmente, mais complexas, permite contornar a necessidade da elaboração de estruturas funcionais variantes para um mesmo processo. No entanto, tal decisão tem implicações diretas na elaboração das alternativas de projeto, devendo-se avaliar a eventual não realização destas funções consideradas acessórias.

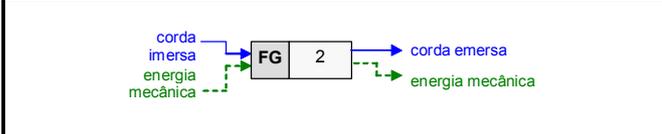
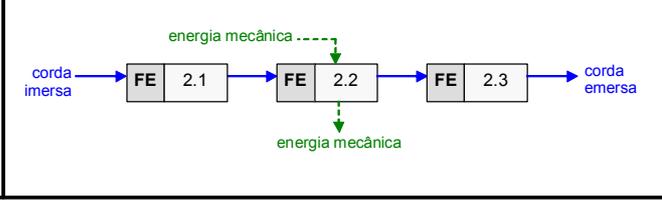
Quadro 5.1 – Síntese funcional para o processo de encordoamento.

| Processo No. 1 | | Encordoamento | | |
|---|--|--|--|---|
| Característica dos materiais na entrada | | | | |
| Rede tubular de algodão, rede tubular de náilon e, eventualmente, cabo central, todos previamente preparados, ou seja, amarrados na extremidade formando um conjunto concêntrico; e sementes, provenientes de costões, de desdobre, de cultivo ou de coletores, previamente desgranadas. | | | | |
| Características dos materiais desejadas na saída | | | | |
| Cordas de mexilhões de tamanho determinado pelo produtor. | | | | |
| Síntese funcional | | | | |
| Função global |  | | LEGENDA ---> Energia ---> Material ---> Sinal FG Função Global FP Função Parcial FE Função Elementar | |
| | Nível 1 de desdobramento |  | | |
| | | Nível 2 de desdobramento | |  |
| LISTA DE FUNÇÕES | | | | |
| 1 Encordoar sementes 1.1 Processar redes tubulares 1.2 Processar sementes 1.3 Processar cabo central 1.1.1 Esticar redes 1.2.1 Agrupar sementes 1.2.2 Agitar sementes 1.2.3 Orientar sementes 1.2.4 Distribuir sementes em torno do cabo 1.2.5 Distribuir rede em torno das sementes 1.2.6 Guiar corda de mexilhões 1.2.7 Coletar corda de mexilhões 1.3.1 Acumular/ desacumular cabo 1.3.2 Centralizar cabo | | | | |
| Observações | | | | |
| Por razões já discutidas em etapas anteriores, adotou-se processo de encordoamento já praticado em Santa Catarina. Além disso, procurou-se viabilizar o encordoamento com ou sem cabo central, possibilitando diferentes filosofias de trabalho. | | | | |

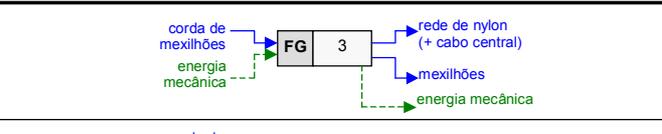
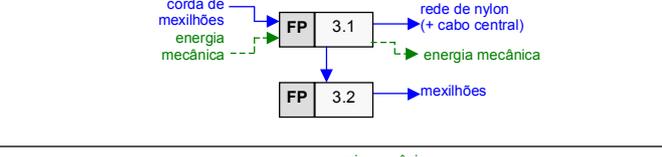
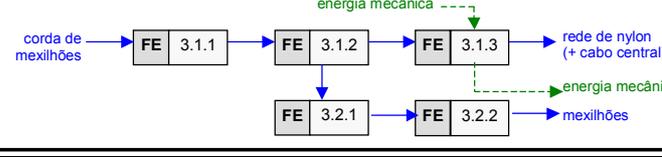
Durante a elaboração das estruturas funcionais individuais, procurou-se torná-las independentes dos princípios de solução a serem empregados nas fontes de potência utilizadas (elétrica, mecânica ou humana), considerando-as como pertencentes um sistema em separado, que precede a realização de cada processo e cuja interface sempre fornecerá energia mecânica ao sistema. Neste sentido, uma estrutura funcional que se adequasse a diferentes tipos de energia foi confeccionada, sendo apresentada no Quadro 5.9.

No caso da estrutura funcional para o processo de seleção de mexilhões, procurou-se elaborá-la de forma a permitir que o processo também pudesse ser utilizado para a seleção de sementes, sendo esta decisão tomada com base nas informações coletadas durante a etapa de determinação dos produtos a serem desenvolvidos. Outro fato a ser relatado é a presença de saídas de energia mecânica em grande parte das estruturas funcionais elaboradas, resultado direto do interesse em se realizar os processos de forma contínua e simultaneamente (especificações de projeto).

Quadro 5.2 – Síntese funcional para o processo de retirada das cordas do cultivo.

| Processo No. 2 | | Retirada das Cordas do Cultivo | |
|---|--|--------------------------------|---|
| Característica dos materiais na entrada | | | |
| Cordas de mexilhões imersas e atadas a sistemas de <i>longline</i> de cultivo. | | | |
| Características dos materiais desejadas na saída | | | |
| Cordas de mexilhões emersas e, preferencialmente, prontas para o processo de remoção dos mexilhões das cordas. | | | |
| Estrutura funcional | | | |
| Função global |  | | LEGENDA ---> Energia ---> Material ---> Sinal FG Função Global FP Função Parcial FE Função Elementar |
| Nível 1 de desdobramento |  | | LISTA DE FUNÇÕES 2 Retirar cordas do cultivo 2.1 Prender corda de mexilhões 2.2 Lçar corda de mexilhões 2.3 Liberar corda de mexilhões |
| Observações | | | |
| Seguindo diretrizes estabelecidas ao final da fase de Projeto Informacional, adaptou-se este processo apenas ao trabalho com <i>longlines</i> . | | | |

Quadro 5.3 – Síntese funcional para o processo remoção dos mexilhões das cordas.

| Processo No. 3 | | Remoção dos Mexilhões das Cordas | |
|---|--|----------------------------------|---|
| Característica dos materiais na entrada | | | |
| Cordas de mexilhões contendo adultos e sementes, elementos da fauna e flora associados (ou fouling) e detritos. | | | |
| Características dos materiais desejadas na saída | | | |
| Rede de náilon e cabo em boas condições e todas as sementes e mexilhões intactos e livres de seu substrato. | | | |
| Estrutura funcional | | | |
| Função global |  | | LEGENDA ---> Energia ---> Material ---> Sinal FG Função Global FP Função Parcial FE Função Elementar |
| Nível 1 de desdobramento |  | | LISTA DE FUNÇÕES 3 Remover mexilhões 3.1 Processar rede 3.2 Processar mexilhões 3.1.1 Guiar corda de mexilhões 3.1.2 Extrair mexilhões da rede 3.1.3 Coletar rede de nylon 3.2.1 Transportar mexilhões 3.2.2 Coletar mexilhões |
| Nível 2 de desdobramento |  | | |
| Observações | | | |
| No caso de cordas confeccionadas com um volume excessivo de sementes, poderá ser observada a presença de mexilhões no interior da rede de nylon. Neste caso, a retirada destes mexilhões ficaria a cargo do próprio produtor. | | | |

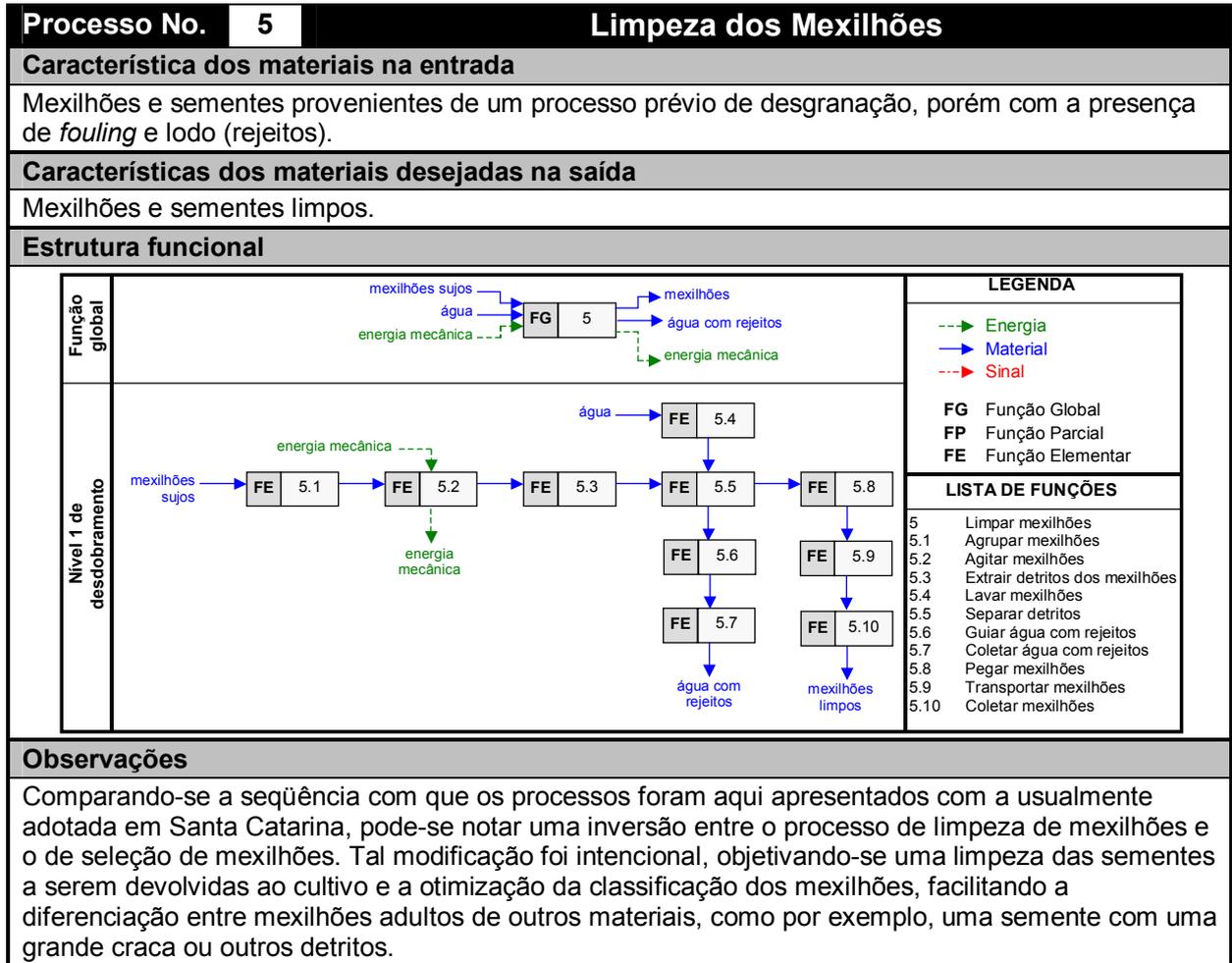
Quadro 5.4 – Síntese funcional para o processo de desgranação dos mexilhões.

| Processo No. 4 | | Desgranação de Mexilhões | |
|---|--------------------------|---------------------------------|---|
| Característica dos materiais na entrada | | | |
| Mexilhões, de vários tamanhos, ainda fixos entre si por filamentos de bisso, bem como a presença de fouling e lodo. | | | |
| Características dos materiais desejadas na saída | | | |
| Mexilhões e sementes soltas, porém ainda com a presença de alguns detritos. | | | |
| Estrutura funcional | | | |
| Função global | | | LEGENDA ---> Energia ---> Material ---> Sinal FG Função Global FP Função Parcial FE Função Elementar |
| | Nível 1 de desdobramento | | |
| LISTA DE FUNÇÕES | | | |
| 4 Desgranar mexilhões 4.1 Agrupar mexilhões 4.2 Agitar mexilhões 4.3 Individualizar mexilhões 4.4 Lavar mexilhões 4.5 Separar detritos 4.6 Guiar água com detritos 4.7 Coletar água com detritos 4.8 Pegar mexilhões 4.9 Transportar mexilhões 4.10 Coletar mexilhões | | | |
| Observações | | | |
| Esta mesma estrutura funcional pode ser facilmente adaptada ao processamento de sementes de mexilhões. Tal possibilidade vem de encontro com o discutido na etapa de Levantamento dos Produtos a Serem Desenvolvidos. | | | |

Durante a realização da segunda tarefa da síntese funcional modular, a busca por funções comuns, constatou-se que a adoção de estruturas funcionais mais completas teve um efeito benéfico no sistema. Isto decorre do fato de que algumas das funções consideradas acessórias (ou não essenciais) em um processo não eram, necessariamente, acessórias em outras, porém graças à presença em maior número destas funções pôde-se encontrar um grande número de funções comuns no sistema. Um exemplo claro de tal benefício são as funções ligadas à lavagem dos mexilhões, consideradas essenciais à limpeza dos mexilhões, porém presentes em diversos outras estruturas funcionais. Na Tabela 5.1 são listadas as funções comuns localizadas para os processos do cultivo de mexilhões, bem como as eventuais restrições encontradas em relação a esses compartilhamentos.

Comparando-se o número total de funções elementares obtidas através das sínteses funcionais individuais com o número destas que podem formar funções comuns, pode-se ter a noção de um índice da modularidade possível no sistema. No caso do projeto de produtos para o cultivo de mexilhões, esta proporção seria de 53 funções elementares candidatas a funções comuns num total de 73, o que corresponderia a um índice de 72,6% para a modularidade máxima do sistema. No entanto, este cálculo é apenas ilustrativo, não tendo uso prático neste projeto.

Quadro 5.5 – Síntese funcional para o processo de limpeza dos mexilhões.



Finalizando o processo de síntese funcional modular tem-se a tarefa de determinação dos núcleos funcionais, a qual baseia-se no uso da Matriz para Determinação dos Núcleos Funcionais. A matriz, ilustrada na Figura 5.1, foi construída listando-se as oito funções globais em estudo (apresentadas nos Quadros 5.1 a 5.8) ao lado esquerdo de uma matriz 8x10, enquanto que as 10 funções comuns localizadas (apresentadas na Tabela 5.1) foram listadas sobre as colunas da matriz, conforme o procedimento descrito no (tópico 3.2.2 deste trabalho). O preenchimento foi feito mancando-se **X** nas intersecções entre linha e colunas, em número igual ao das funções comuns presentes em cada função global. Também foram utilizadas marcas **O** para caracterizar a presença de funções comuns cujo compartilhamento está limitado a alguma restrição.

Do mapeamento de funções comuns através das funções globais, pôde-se determinar dois núcleos funcionais (agrupamentos de funções comuns abrangendo o maior número de funções globais possíveis). No primeiro, o núcleo funcional 01, foram incluídas funções elementares ligadas à captação, processamento e saída de mexilhões, enquanto que no segundo, o núcleo funcional 02, englobou-se funções ligadas à remoção dos rejeitos do processo (*fouling* e lodo) e ao reaproveitamento de água utilizada.

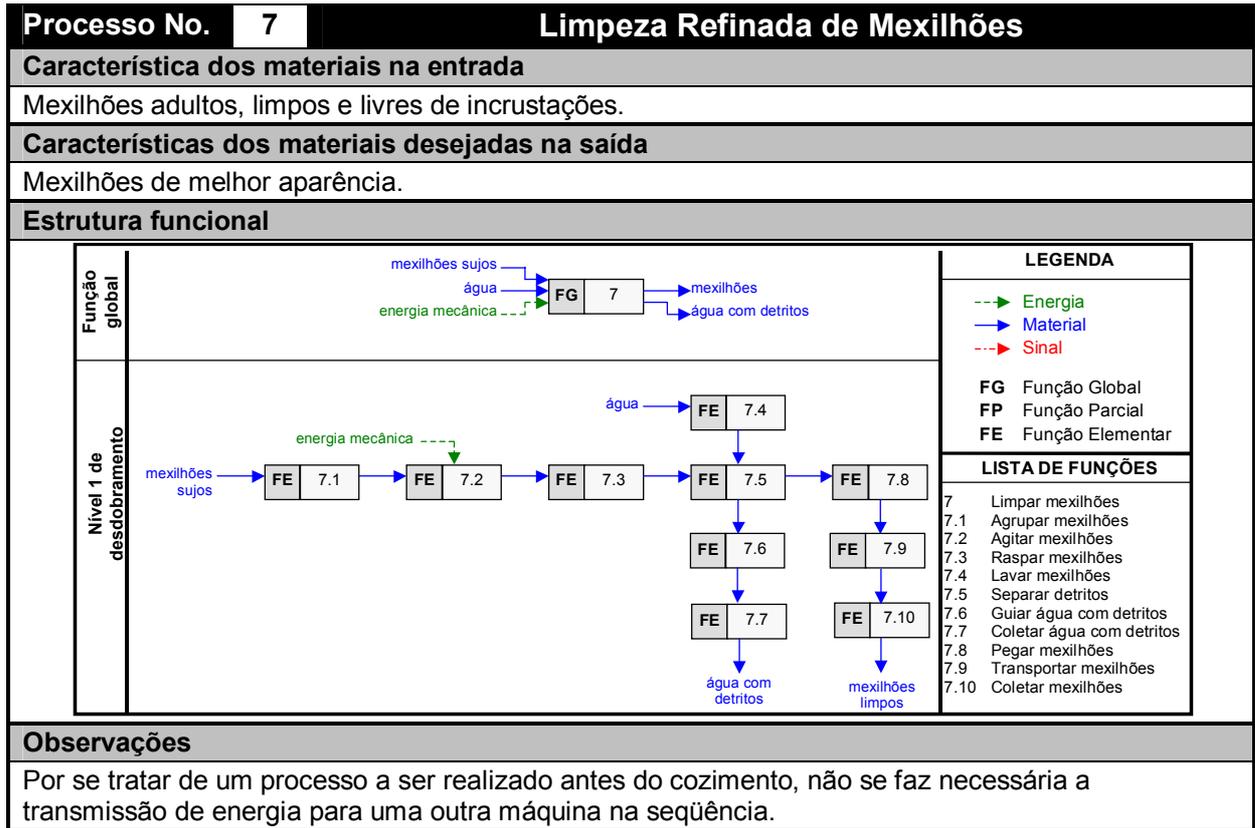
Quadro 5.6 – Síntese funcional para o processo de seleção de mexilhões.

| Processo No. | 6 | Seleção de Mexilhões |
|---|---|---|
| Característica dos materiais na entrada | | |
| Preferencialmente mexilhões e sementes limpos e livres de incrustações. No caso da não realização de um processo de limpeza prévia, poderá ocorrer uma redução na eficiência do processo de seleção. | | |
| Características dos materiais desejadas na saída | | |
| Mexilhões separados em dois grupos de tamanhos: adultos (de tamanho comercial) e sementes (mexilhões de desdobre). | | |
| Estrutura funcional | | |
| Função global | | LEGENDA ---> Energia --> Material ---> Sinal FG Função Global FP Função Parcial FE Função Elementar LISTA DE FUNÇÕES 6 Selecionar mexilhões 6.1 Processar mexilhões 6.2 Processar sementes 6.1.1 Agrupar mexilhões 6.1.2 Agitar mexilhões 6.1.3 Separar sementes 6.1.4 Pegar mexilhões 6.1.5 Transportar mexilhões 6.1.6 Coletar mexilhões 6.2.1 Pegar sementes 6.2.2 Transportar sementes 6.2.3 Coletar sementes |
| Nível 1 de desdobramento | | |
| Nível 2 de desdobramento | | |
| Observações | | |
| Por ser proposta a realização de uma limpeza prévia dos mexilhões, não se faz necessário separar sementes de outros materiais de menor tamanho. Além disso, por se tratar da último processo a ser realizada pelo produtor antes do envio para o beneficiamento, não se faz necessária a transmissão da energia para o processo seguinte. | | |

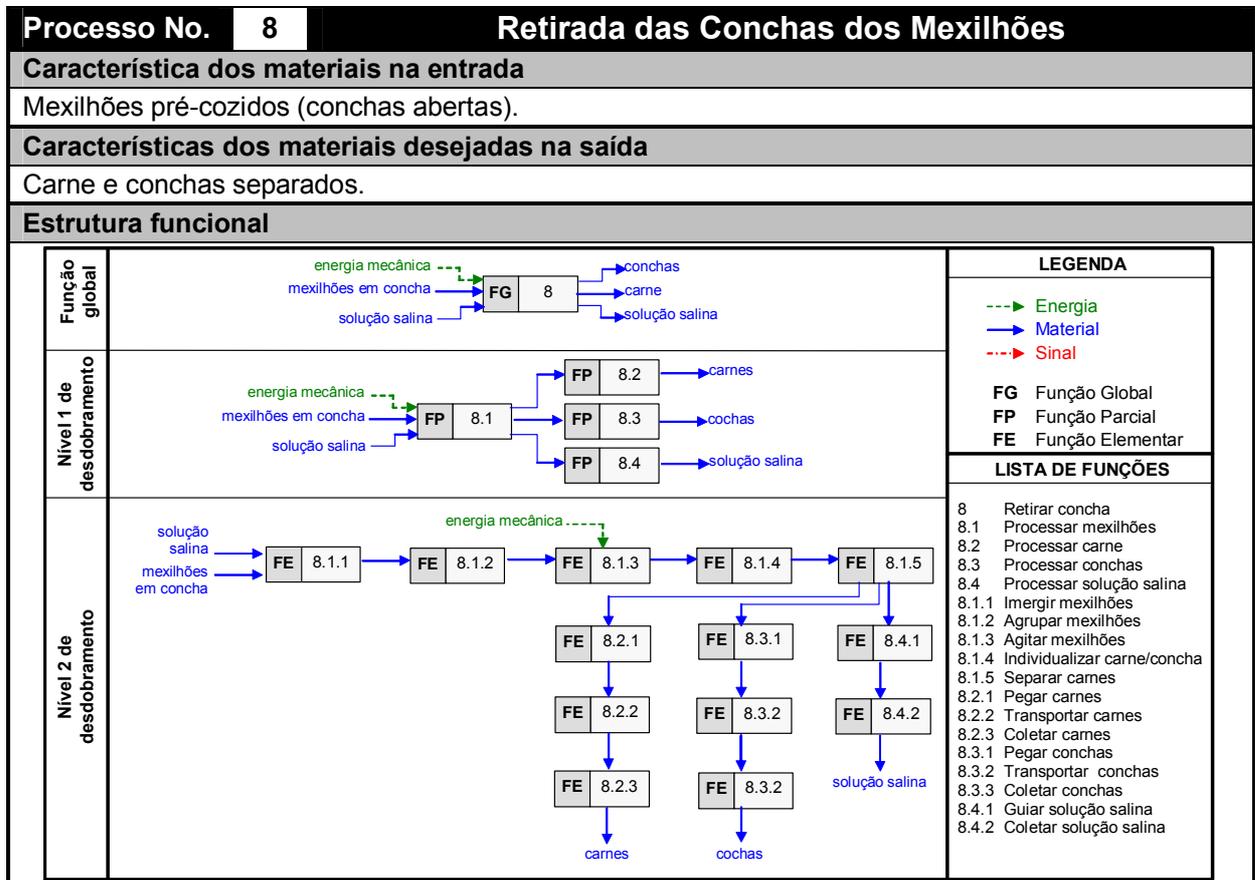
Na prática, os núcleos funcionais permitem delimitar uma fronteira entre as funções comuns das diferentes funções globais do sistema, organizando-as de forma a se obter um grupo de funções com a maior abrangência possível. Tomando-se como exemplo os núcleos funcionais obtidos, nota-se que o núcleo funcional 01 é um agrupamento de funções comuns que se estende por cinco funções do sistema, enquanto que o núcleo funcional dois abrange apenas três funções.

Uma vez concluído o processo de síntese funcional modular, encerra-se também a etapa de Estabelecimento das Estruturas Funcionais Modulares. Na seqüência terá início a etapa de Procura de Princípios de Soluções para cada uma das funções comuns e elementares definidas no transcórre desta etapa.

Quadro 5.7 – Síntese funcional para o processo de limpeza refinada de mexilhões.



Quadro 5.8 – Síntese funcional para o processo de retirada das conchas dos mexilhões.



Quadro 5.8 (continuação) – Síntese funcional para o processo de retirada das conchas dos mexilhões.

| | | |
|---|----------|---|
| Processo No. | 8 | Retirada das Conchas dos Mexilhões |
| Observações | | |
| Conforme determinado na etapa de Levantamento dos Produtos a Serem Desenvolvidos, procurar-se-á agregar a este equipamento a possibilidade de realização do processo de Retirada de ½ concha de mexilhões. É importante lembrar que durante o uso deste produto, os mexilhões serão colocados em uma solução salina, responsável pela separação física entre a carne e a concha através da diferença de densidades. | | |

Quadro 5.9 – Síntese funcional para a fonte de potência.

| | | |
|--|----------|---|
| Processo No. | 0 | Fonte de Potência |
| Característica dos materiais na entrada | | |
| Energia elétrica, mecânica ou humana, conforme o modelo de potência empregado. | | |
| Características dos materiais desejadas na saída | | |
| Energia mecânica, na forma rotativa ou linear, conforme a necessidades dos equipamentos a serem desenvolvidos. | | |
| Síntese funcional | | |
| Função global | | LEGENDA ---> Energia ---> Material ---> Sinal FG Função Global FP Função Parcial FE Função Elementar |
| Nível 1 de desdobramento | | LISTA DE FUNÇÕES 0 Fornecer potência 0.1 Acionar / Interromper 0.2 Controlar 0.3 Transformar |
| Observações | | |
| Conforme definido ao final da fase anterior, os produtos projetados deverão ser adaptáveis a diferentes fontes de potência, incluindo sistemas hidráulicos, pneumáticos, manivelas, pedais e, até mesmo, os motores diesel do barco, além da rede elétrica, no caso de trabalho em ranchos. Porém, convém lembrar que cada uma destas alternativas propiciará uma maior ou menor flexibilidade na organização do ambiente de trabalho. | | |

Tabela 5.1 – Funções comuns determinadas para o projeto de produtos para o cultivo de mexilhões.

| Funções Comuns | Funções Elementares passíveis de inclusão | Dependências assinaladas |
|-----------------------|--|---|
| <u>FC-1</u> | <ul style="list-style-type: none"> ▪ FE-4.1 – Agrupar mexilhões ▪ FE-5.1 – Agrupar mexilhões ▪ FE-6.1.1 – Agrupar mexilhões ▪ FE-7.1 – Agrupar mexilhões ▪ FE-8.1.2 – Agrupar mexilhões ▪ FE-1.2.1 – Agrupar sementes ⁽¹⁾ | ⁽¹⁾ Depende da viabilidade do uso da mesma função também para sementes |
| <u>FC-2</u> | <ul style="list-style-type: none"> ▪ FE-4.2 – Agitar mexilhões ▪ FE-5.2 – Agitar mexilhões ▪ FE-6.1.2 – Agitar mexilhões ▪ FE-7.2 – Agitar mexilhões ▪ FE-8.1.2 – Agitar mexilhões ▪ FE-1.2.2 – Agitar sementes ⁽²⁾ | ⁽²⁾ Depende da viabilidade do uso da mesma função também para sementes |

Tabela 5.1 (continuação) – Funções comuns determinadas para o projeto de produtos para o cultivo de mexilhões.

| Funções Comuns | Funções Elementares passíveis de inclusão | Dependências assinaladas |
|-----------------------|--|---|
| <u>FC-3</u> | <ul style="list-style-type: none"> ▪ FE-4.8 – Pegar mexilhões ▪ FE-5.8 – Pegar mexilhões ▪ FE-6.1.4 – Pegar mexilhões ⁽¹⁾ ▪ FE-6.2.1 – Pegar sementes ⁽¹⁾ ▪ FE-7.8 – Pegar mexilhões ▪ FE-8.2.1 – Pegar carnes ⁽²⁾ ▪ FE-8.3.1 – Pegar conchas ⁽²⁾ | <p>⁽¹⁾ Somente uma destas funções poderá ser associada à Função Comum, sendo a escolha dependente do princípio de solução a ser adotado.</p> <p>⁽²⁾ idem anterior.</p> |
| <u>FC-4</u> | <ul style="list-style-type: none"> ▪ FE-4.9 – Transportar mexilhões ▪ FE-5.9 – Transportar mexilhões ▪ FE-6.1.5 – Transportar mexilhões ⁽³⁾ ▪ FE-6.2.2 – Transportar sementes ▪ FE-7.9 – Transportar mexilhões ⁽³⁾ ▪ FE-1.2.6 – Transportar corda de mexilhões ⁽²⁾ ▪ FE-3.2.1 – Transportar mexilhões ⁽⁴⁾ ▪ FE-8.3.2 – Transportar conchas ⁽⁴⁾ ▪ FE-8.2.2 – Transportar carne ⁽⁵⁾ | <p>⁽³⁾ Somente uma destas funções poderá ser associada à Função Comum, sendo a escolha dependente do princípio de solução a ser adotado para as demais funções.</p> <p>⁽⁴⁾ Depende do princípio de solução adotado para as demais funções.</p> <p>⁽⁵⁾ Dependente de critérios de higiene e do princípio de solução adotado para as demais funções.</p> |
| <u>FC-5</u> | <ul style="list-style-type: none"> ▪ FE-3.2.2 – Coletar mexilhões ▪ FE-4.10 – Coletar mexilhões ▪ FE-5.10 – Coletar mexilhões ▪ FE-6.1.6 – Coletar mexilhões ▪ FE-6.2.3 – Coletar sementes ▪ FE-7.10 – Coletar mexilhões ▪ FE-8.3.3 – Coletar conchas ▪ FE-1.2.7 – Coletar corda de mexilhões ⁽⁶⁾ ▪ FE-8.2.3 – Coletar carne ⁽⁷⁾ | <p>⁽⁶⁾ Dependente das dimensões do sistema adotado</p> <p>⁽⁷⁾ Mesmo sendo preferível adotar um princípio de solução que facilite a embalagem dos produtos, existe a possibilidade da adoção de um princípio de solução em comum.</p> |
| <u>FC-6</u> | <ul style="list-style-type: none"> ▪ FE-4.4 – Lavar mexilhões ▪ FE-5.4 – Lavar mexilhões ▪ FE-7.4 – Lavar mexilhões | |
| <u>FC-7</u> | <ul style="list-style-type: none"> ▪ FE-4.5 – Separar detritos ▪ FE-5.5 – Separar detritos ▪ FE-7.5 – Separar detritos | |
| <u>FC-8</u> | <ul style="list-style-type: none"> ▪ FE-4.6 – Guiar água com detritos ▪ FE-5.6 – Guiar água com detritos ▪ FE-7.6 – Guiar água com detritos ▪ FE-8.4.1 – Guiar solução salina | |
| <u>FC-9</u> | <ul style="list-style-type: none"> ▪ FE-4.7 – Coletar água com detritos ▪ FE-5.7 – Coletar água com detritos ▪ FE-7.7 – Coletar água com detritos ▪ FE-8.4.2 – Guiar solução salina | |
| <u>FC-10</u> | <ul style="list-style-type: none"> ▪ FE-4.3 – Individualizar mexilhões ▪ FE-8.1.4 – Individualizar carne/ cocha ⁽⁸⁾ | <p>⁽⁸⁾ Depende, fortemente, da viabilidade de se adotar o mesmo princípio de solução da anterior</p> |

| | | FUNÇÕES COMUNS | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | | FC-1 | FC-2 | FC-3 | FC-4 | FC-5 | FC-6 | FC-7 | FC-8 | FC-9 | FC-10 |
| FUNÇÕES GLOBAIS (Processos) | FG-1 | O | O | | O | O | | | | | |
| | FG-2 | | | | | | | | | | |
| | FG-3 | | | | O | X | | | | | |
| | FG-4 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| | FG-5 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | |
| | FG-6 | X | X | XO | XO | XO | | | | | |
| | FG-7 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | |
| | FG-8 | X | X | XO | OO | XO | | | O | O | X |

LEGENDA
 Núcleo funcional 01
 Núcleo funcional 02
X Funções comuns possíveis
O Funções comuns com restrições

Figura 5.1 – Aplicação da matriz para determinação de núcleos funcionais ao contexto do cultivo de mexilhões.

5.2 ETAPA 2.2 – Pesquisa por Princípios de Solução

Nesta etapa foi efetuado o levantamento e a geração de princípios de solução que poderiam vir a atender a cada uma das funções elementares e comuns determinadas na etapa anterior. Para tanto, utilizou-se uma Matriz Morfológica, cuja configuração final é apresentada a seguir, na Tabela 5.2. O processo de preenchimento da matriz morfológica é bem simples e, além de ter propiciado uma boa oportunidade para a atualização de conhecimentos, viabilizada através do estudo de catálogos e de outros materiais técnicos, esta ferramenta também mostrou-se bastante interessante à liberação da criatividade.

Tabela 5.2 – Princípios de solução levantados para o projeto de produtos para o cultivo de mexilhões – Matriz Morfológica.

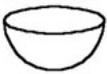
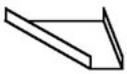
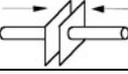
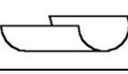
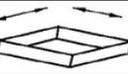
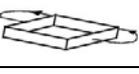
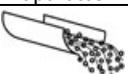
| Função | Descrição | Princípios de Solução | | | | | |
|--------|--|---|---|---|--|---|---|
| FC-1 | Agrupar mexilhões/ sementes |  |  |  |  |  |  |
| | | Funil | Tambor horizontal | Tambor vertical | Casca esférica | Placa afunilada | Redução aberta |
| | |  |  |  |  | | |
| | | Cone | Empurrando | Canaleta | Copo | | |
| FC-2 | Agitar sementes/ mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | | Pás rotativas | Caixa vibratória | Tambor rotativo | Agitador | Planetária-1 | Planetária-2 |
| | |  |  | | | | |
| | | Oscilação | Eixo com aparatos | | | | |
| FC-3 | Pegar sementes/ mexilhões/ carnes/ conchas |  |  |  |  | | |
| | | Abrindo dispositivo | Manter fluxo | Com ferramenta | Manualmente | | |

Tabela 5.2 (continuação) – Princípios de solução levantados para o projeto de produtos para o cultivo de mexilhões – Matriz Morfológica.

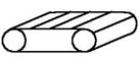
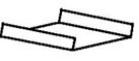
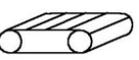
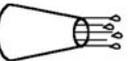
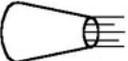
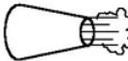
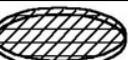
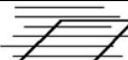
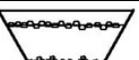
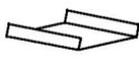
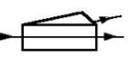
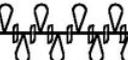
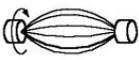
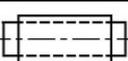
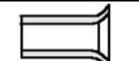
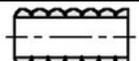
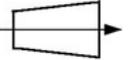
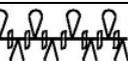
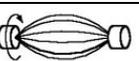
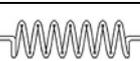
| Função | Descrição | Princípios de Solução | | | | | |
|----------|--|---|---|---|--|---|---|
| FC-4 | <u>Transportar</u> sementes/ mexilhões/ carnes/ conchas |  |  |  |  |  |  |
| | | Esteira | Gravidade | Canaleta | Placa plana | Tubo flexível | Manualmente |
| | |  |  |  |  |  |  |
| | | Empurrando | Tubulação | Fluxo d'água | Fluxo de ar | Conduzindo | Puxando |
| FC-5 | <u>Coletar</u> cordas de mexilhões/ sementes/ mexilhões/ conchas |  |  |  |  |  | |
| | | Placa vibratória | Espiral de Arquimedes | Bombear | Entornando | Fluxo de material | |
| | |  |  |  |  |  |  |
| FC-6 | <u>Lavar</u> sementes/ mexilhões | Caixa | Saco | Empilhar | Esteira | Cesto | Carrinho |
| | |  | | | | | |
| | | Copo | | | | | |
| FC-7 | <u>Separar</u> detritos |  |  |  |  |  |  |
| | | Jato d'água | Jato de ar | Jato de vapor | Banho d'água | Banho químico | Eixo com orifícios |
| | |  |  |  | | | |
| FC-8 | <u>Guiar</u> água com detritos | Fluxo d'água | Tubo com jatos | Ducha d'água | | | |
| | |  |  |  |  |  |  |
| FC-9 | <u>Coletar</u> água com detritos | Peneira | Grade | Deslocamento de ar | Densidade | Placa com orifícios | Jato d'água |
| | |  |  |  |  |  |  |
| FC-10 | <u>Individualizar</u> mexilhões / carne/ concha | Tanque | Recircular | Sistema de esgoto | | | |
| | |  |  |  |  |  |  |
| | | Cisalamento | Eixo com pás | Tambor rotativo | Grade | Eixo com placas | Cabo rotativo |
| FE-1.1.1 | <u>Esticar</u> redes |  |  |  |  | | |
| | | Barra rotativa | Agitador | Espiral de Arquimedes | Obstáculos | | |
| FE-1.2.3 | <u>Orientar</u> sementes |  |  |  |  |  |  |
| | | Palhetas | Cilindros concêntricos | Cilindro com orelha | Tubo com orelha | Cone e tubo | Tubo corrugado |
| FE-1.2.3 | <u>Orientar</u> sementes |  | | | | | |
| | | Cone invertido | | | | | |
| FE-1.2.3 | <u>Orientar</u> sementes |  |  |  |  |  | |
| | | Eixo com pás | Espiral de Arquimedes | Barra rotativa | Cabo rotativo | Eixo helicoidal | |

Tabela 5.2 (continuação) – Princípios de solução levantados para o projeto de produtos para o cultivo de mexilhões – Matriz Morfológica.

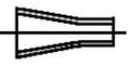
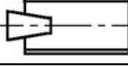
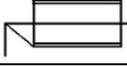
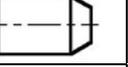
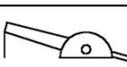
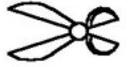
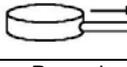
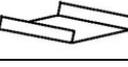
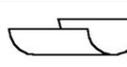
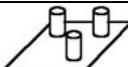
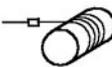
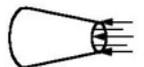
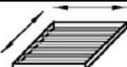
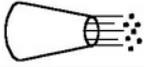
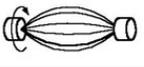
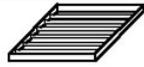
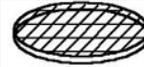
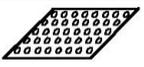
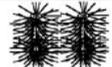
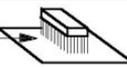
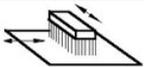
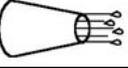
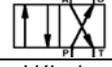
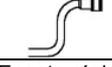
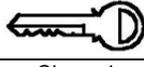
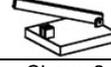
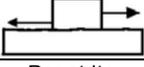
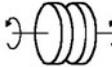
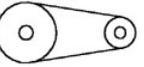
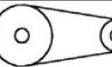
| Função | Descrição | Princípios de Solução | | | | | |
|----------|---------------------------------------|---|---|---|--|---|---|
| FE-1.2.4 | Distribuir sementes em torno do cabo |  |  |  |  |  |  |
| | | Fluxo axial | Fluxo perpendicular | Funil com orifícios | Alimentação distribuída | Funil e tubo concêntricos | Peneira |
| | |  |  |  | | | |
| FE-1.2.5 | Distribuir rede em torno das sementes |  |  |  |  | | |
| | | Cone | Tubo | Preso pela ext. | Compactado | | |
| FE-1.2.7 | Coletar corda de mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | | Caixa | Saco | Empilhar | Copo | Cesto | Carrinho |
| | |  |  | | | | |
| FE-1.3.1 | Acumular/Desacumular cabo |  |  |  |  |  |  |
| | | Carretel | Empilhado | Cesto | Livre | Tambores paralelos | Cesto com cone |
| FE-1.3.2 | Centralizar cabo |  |  |  |  |  |  |
| | | Tubos concêntricos | Funil interno | Cabo tensionado | Funil externo | Tubo perfilado | Funil na saída |
| FE-2.1 | Prender cordas de mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | | Gancho | Garra | Cesto | Concha | Laço corrediço | Nó |
| | |  |  |  |  |  | |
| FE-2.2 | Içar corda de mexilhões |  |  |  | | | |
| | | Guindaste | Puxando | Alavanca | | | |
| FE-2.3 | Liberar corda de mexilhões |  |  |  |  |  | |
| | | Cortar | Manualmente | Abrir | Entornar | Chacoalhar | |
| FE-3.1.1 | Guiar corda de mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | | Obstáculos | Tubo flexível | Puxando (preso) | Rampa | Puxar com cabo | Funil |
| | |  |  |  | | | |
| FE-3.1.2 | Extrair mexilhões da rede |  |  |  |  |  |  |
| | | Placa com perfil | Conjunto de lâminas | Tambores rotativos | Pás rotativas | Sistema de molas | Sistema de garras |
| | |  |  | | | | |
| | Escovas | Obstáculos | | | | | |

Tabela 5.2 (continuação) – Princípios de solução levantados para o projeto de produtos para o cultivo de mexilhões – Matriz Morfológica.

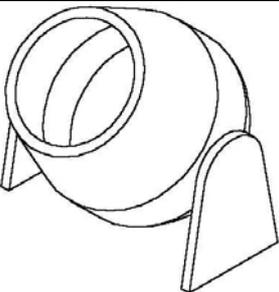
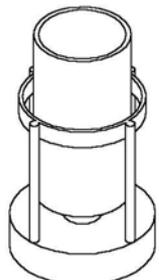
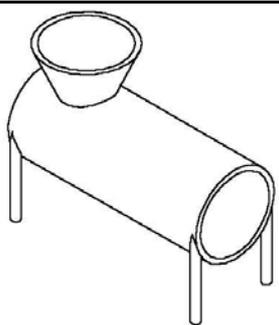
| Função | Descrição | Princípios de Solução | | | | | |
|----------|--------------------------------|---|---|---|--|---|---|
| FE-3.1.3 | Coletar rede de nylon |  |  |  |  |  |  |
| | | Tambores paralelos | Tambor simples | Peso/ polia | Tambor + cabo | Peso + cabo | Aspirando |
| | |  | | | | | |
| | | Gravidade | | | | | |
| FE-5.3 | Extrair detritos dos mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | | Placa rotativa | Escova | Tambor rotativo | Tambor com grades | Grade vibratória | Eixo com placas |
| | |  |  |  |  |  |  |
| | | Jato de areia | Eixo com placas com orifícios | Placa com orifícios | Eixo com pás | Barra rotativa | Cabo rotativo |
| FE-6.1.3 | Separar sementes |  |  |  | | | |
| | | Grade | Peneira | Placa de orifícios | | | |
| FE-7.3 | Raspar mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | | Escova | Escova plana | Par de escovas 1 | Par de escovas 2 | Escova fixas | Escova vibratória |
| | |  |  |  |  | | |
| | | Agitador | Tambor com escovas | Tambor rotativo | Tambor com grades | | |
| FE-8.1.1 | Imergir mexilhões |  |  |  |  | | |
| | | Banho d'água | Banho químico | Fluxo d'água | Jato d'água | | |
| FE-0.1 | Acionar/interromper |  |  |  |  |  |  |
| | | Válvula | Engate rápido | Botão | Chave 1 | Chave 2 | Por atrito |
| | |  |  |  |  |  | |
| | | Engrenar | Embreagem | Pedal | Manivela | Alavanca | |
| FE-0.2 | Controlar |  |  |  |  |  |  |
| | | Engrenagem | Polia | Alavanca | Controle de pressão | Controle de vazão | Potenciômetro |
| | |  |  |  | | | |
| | | Botão | Próprio usuário | Catraca | | | |
| FE-0.3 | Transformar |  |  |  |  |  |  |
| | | Sem fim | Engrenagem cônica | Eixo flexível | Polia | Motor Hidráulico/ Pneumático | Motor elétrico |
| | |  | | | | | |
| | | Engrenagem | | | | | |

5.3 ETAPA 2.3 – Geração e Seleção de Alternativas de Projeto

Durante esta etapa, procurou-se determinar alternativas de projeto que melhor atendessem às necessidades dos clientes, identificadas durante etapa de *Levantamento das Necessidades*, sendo os esforços divididos em duas tarefas distintas: (1) a geração de alternativas de projeto para os processos do cultivo de mexilhões e (2) a seleção, dentre estas alternativas, da mais adequada às necessidades dos consumidores.

Procurando garantir que as funções elementares que serão compartilhadas no sistema – as funções comuns – também possuíssem princípios de solução comuns, as alternativas de projeto foram concebidas com base em cinco conceitos padrões, apresentados no Quadro 5.10. Estes conceitos padrões possuíam apenas caráter orientativo, servindo como um ponto de convergência na proposição das alternativas de projeto apresentadas nas Tabelas 5.3 a 5.10, as quais relacionam os princípios de solução adotados em cada alternativa de projeto a cada função comum ou elementar desempenhadas em cada função global.

Quadro 5.10 – Conceitos padrões de produtos usados na proposição das alternativas de projeto.

| | |
|---|---|
|  | <p>CONCEITO – “Misturador”</p> <p>Inspirado nos misturadores empregados na construção civil, também chamados betoneiras, neste conceito seria empregado um corpo rotativo no qual seriam depositados mexilhões, sendo a desgranação, limpeza e demais processos do cultivo de mexilhões realizados por eixos fixos em seu interior. Ao final do processo o corpo poderia ser inclinado para a retirada dos animais processados.</p> <p>Empregado nas alternativas 4-1, 5-1, 6-1, 7-1 e 8-1</p> |
| <p>CONCEITO – “Tambor vertical”</p> <p>Este conceito foi desenvolvido imaginando-se um corpo imóvel, provavelmente cilíndrico, posicionado na vertical. Mexilhões seriam colocados em seu interior e, através do uso de eixos rotativos, processados. A retirada dos mexilhões também poderia ser feita, da mesma forma que o conceito anterior, entornando-se o corpo de forma a permitir o escorregamento dos mexilhões.</p> <p>Empregado nas alternativas 4-2, 5-2, 6-2, 7-2 e 8-2</p> |  |
|  | <p>CONCEITO – “Contínuo 1”</p> <p>Este conceito foi desenvolvido tomando-se por base um dos modelos de equipamento espanhol. Constitui-se, basicamente, de um corpo tubular (de seção ainda não definida) que possuiria um funil em uma de suas extremidades e seria aberto na outra. Os mexilhões, alimentados pelo funil, seriam processados através de eixos rotativos. Ao contrário dos modelos conceituais anteriores, este teria como vantagem a realização do processo de forma contínua.</p> <p>Empregado nas alternativas 4-3, 5-3, 6-3, 7-3 e 8-3</p> |

Quadro 5.10 (continuação) – Conceitos básicos de produtos para a proposição das alternativas de projeto.

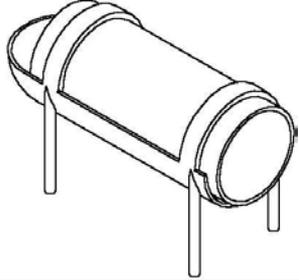
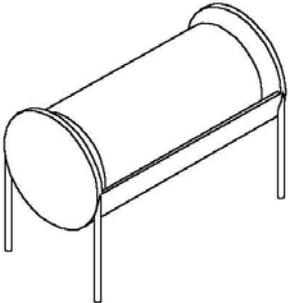
| | | |
|--|---|---|
| CONCEITO – “Contínuo 2” | |  |
| Tal qual ao conceito anterior, este padrão também realizaria os processos de forma contínua porém, ao invés da agitação dos mexilhões ser realizada por eixos rotativos, o próprio corpo propiciaria esta movimentação. Os mexilhões seriam alimentados por uma abertura em uma de suas extremidades e processados por eixos fixos ao interior do corpo ou por componentes posicionados em sua superfície. | | |
| Empregado nas alternativas 4-4, 5-4, 6-4, 7-4 e 8-4 | | |
|  | CONCEITO – “Tambor 1” | |
| | Este conceito foi elaborado tomando-se como base equipamentos já desenvolvidos no Brasil. Consistem de tambores rotativos onde os mexilhões são depositados para serem processados. Usualmente foram empregados apenas para a limpeza dos mexilhões, no entanto espera-se que, com a adição de eixos com geometrias especiais em seu interior, também possam realizar outras operações. | |
| | Empregado nas alternativas 4-5, 4-6, 5-5, 6-5, 7-5 e 8-5 | |
| | CONCEITO – “Tambor 2” | |
| | Neste caso seria empregado o mesmo conceito que o modelo anterior mas, ao invés do tambor ser girado, o eixo em seu interior proveria a agitação no sistema. | |
| | Empregado nas alternativas 4-7, 5-6, 6-6, 7-6, 8-6 | |

Tabela 5.3 – Alternativas de projeto para o processo de encordoamento de sementes.

| FUNÇÕES ELEMENTARES | ALTERNATIVAS DE PROJETO | | | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|--|---|---|---|
| | 1-1 | 1-2 | 1-3 | 1-4 | 1-5 | 1-6 | 1-7 | 1-8 | 1-9 |
| 1.1.1 Esticar redes |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | Tubo com orelha | Tubo com orelha | Tubo com orelha | Palhetas | Cilindro com orelha | Tubo com orelha | Tubo com orelha | Tubo com orelha | Tubo com orelha |
| 1.2.1 (FC-1) Agrupar sementes |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | Funil | Redução Aberta | Funil | Funil | Redução Aberta | Funil | Funil | Funil | Funil |
| 1.2.2 (FC-2) Agitar sementes |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | Eixo com aparatos | Tambor rotativo | Eixo com aparatos | Eixo com aparatos | Eixo com aparatos | Eixo com aparatos | Vibração | Vibração | Eixo com aparatos |
| 1.2.3 Orientar sementes |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | Pás ordenadas | Fluxo do material | Eixo helicoidal | Espiral de Arquimed. | Espiral de Arquimed. | Eixo helicoidal | Gravidade | Gravidade | Espiral de Arquimed. |
| 1.2.4 Distribuir sementes em torno do cabo |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | Fluxo perpendic. | Fluxo axial | Fluxo perpendic. | Afunilam. | Afunilam. | Fluxo Perpend. | Funil e tubo concêntric. | Funil e tubo concêntric. | Fluxo perpendic. |
| 1.2.5 Distribuir rede em torno das sementes |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | Tubo | Tubo | Tubo | Tubo | Tubo | Tubo | Tubo | Compact. | Tubo |

Tabela 5.3 (continuação) – Alternativas de projeto para o processo de encordoamento de sementes.

| FUNÇÕES ELEMENTARES | ALTERNATIVAS DE PROJETO | | | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|--|---|---|---|
| | 1-1 | 1-2 | 1-3 | 1-4 | 1-5 | 1-6 | 1-7 | 1-8 | 1-9 |
| 1.2.6 (FC-4) Transportar corda de mexilhões |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | Canaleta | Canaleta | Gravidade | Canaleta | Canaleta | Canaleta | Gravidade | Gravidade | Gravidade |
| 1.2.7 Coletar corda de mexilhões |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | Cesto | Cesto | Empilhar | Cesto | Cesto | Cesto | Empilhar | Empilhar | Carrinho |
| 1.3.1 Acumular/ desacumular cabo |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | Livre | Livre | Livre | Livre | Livre | Cesto c/ cone | Livre | Livre | Cesto c/ cone |
| 1.3.2 Centralizar cabo |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| | Tubo concêntric. | Tubo concêntric. | Tubo perfilado | Funil externo | Funil externo | Tubo concêntric. | Funil externo | Funil externo | Tubo perfilado |

Tabela 5.4 – Alternativas de projeto para o processo de retirada das cordas de mexilhões do cultivo.

| FUNÇÕES ELEMENTARES | ALTERNATIVAS DE PROJETO | | | | |
|--------------------------------------|---|---|---|---|---|
| | 2-1 | 2-2 | 2-3 | 2-4 | 2-5 |
| 2.1 Prender corda de mexilhões |  |  |  |  |  |
| | Gancho | Cesto | Gancho | Gancho | Garra |
| 2.2 Içar corda de mexilhões |  |  |  |  |  |
| | Guindaste | Guindaste | Puxando | Alavanca | Puxando |
| 2.3 Liberar corda de mexilhões |  |  |  |  |  |
| | Manualmente | Entornar | Manualmente | Chacoalhar | Abrir |

Tabela 5.5 – Alternativas de projeto para o processo de remoção dos mexilhões das cordas.

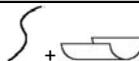
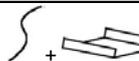
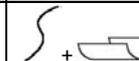
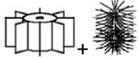
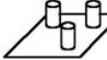
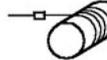
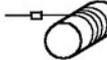
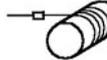
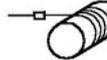
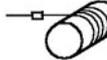
| FUNÇÕES ELEMENTARES | ALTERNATIVAS DE PROJETO | | | | |
|--|---|---|---|--|---|
| | 3-1 | 3-2 | 3-3 | 3-4 | 3-5 |
| 3.1.1 Guiar corda de mexilhões |  |  |  |  |  |
| | Puxar c/ cabo + Canaleta | Puxar c/ cabo + rampa | Puxar c/ cabo + rampa | Puxar c/ cabo + rampa | Puxar c/ cabo + canaleta |
| 3.1.2 Extrair mexilhões da rede |  |  |  |  |  |
| | Sist. de molas | Pás rotativas + Escovas | Pás rotativas | T. rotativos | Obstáculos |
| 3.1.3 Coletar rede de nylon |  |  |  |  |  |
| | Tambor + cabo | Tambor + cabo | Tambor + cabo | Tambor + cabo | Tambor + cabo |
| 3.2.1 Transportar mexilhões |  |  |  |  |  |
| | Gravidade | Placa plana | Placa plana | Placa plana | Gravidade |
| 3.2.2 Coletar mexilhões |  |  |  |  |  |
| | Cesto | Cesto | Cesto | Cesto | Cesto |

Tabela 5.6 – Alternativas de projeto para o processo de desgranação dos mexilhões.

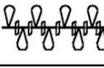
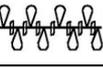
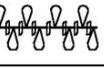
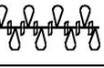
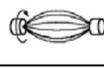
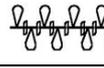
| FUNÇÕES ELEMENTARES | ALTERNATIVAS DE PROJETO | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 4-1 | 4-1 | 4-3 | 4-4 | 4-5 | 4-6 | 4-7 |
| 4.1 (FC-1) Agrupar mexilhões |  |  |  |  |  |  |  |
| | Casca esférica | Tambor vertical | Funil | Redução aberta | Tambor horizontal | Tambor horizontal | Tambor horizontal |
| 4.2 (FC-2) Agitar mexilhões |  |  |  |  |  |  |  |
| | Tambor rotativo | Eixo com aparatos | Eixo com aparatos | Tambor rotativo | Eixo com aparatos | Eixo com aparatos | Tambor rotativo |
| 4.3 (FC-10) Individualizar mexilhões |  |  |  |  |  |  |  |
| | Agitador | Eixo com pás | Eixo com pás | Eixo com pás | Eixo com pás | Cabo rotativo | Eixo com pás |
| 4.4 (FC-6) Lavar mexilhões |  |  |  |  |  |  |  |
| | Banho d'água | Banho d'água | Ducha d'água | Ducha d'água | Banho d'água | Banho d'água | Banho d'água |
| 4.5 (FC-7) Separar detritos |  |  |  |  |  |  |  |
| | Grade | Grade | Grade | Grade | Grade | Grade | Grade |
| 4.6 (FC-8) Guiar água com detritos |  |  |  |  |  |  |  |
| | Canaleta | Canaleta | Mangueira | Mangueira | Tubulação | Tubulação | Tubulação |
| 4.7 (FC-9) Coletar água com detritos |  |  |  |  |  |  |  |
| | Tanque | Tanque | Recircular | Recircular | Sistema de esgoto | Sistema de esgoto | Sistema de esgoto |
| 4.8 (FC3) Pegar mexilhões |  |  |  |  |  |  |  |
| | Abrindo dispositivo | Abrindo dispositivo | Manter fluxo | Manter fluxo | Com ferramenta | Com ferramenta | Com ferramenta |
| 4.9 (FC4) Transportar mexilhões |  |  |  |  |  |  |  |
| | Entornando | Entornando | Fluxo de material | Fluxo de material | Manualmente | Manualmente | Manualmente |
| 4.10 (FC-5) Coletar mexilhões |  |  |  |  |  |  |  |
| | Cesto | Cesto | Cesto | Cesto | Cesto | Cesto | Cesto |

Tabela 5.7 – Alternativas de projeto para o processo de limpeza dos mexilhões.

| FUNÇÕES ELMENTARES | ALTERNATIVAS DE PROJETO | | | | | |
|---------------------------------------|---|---|---|--|---|---|
| | 5-1 | 5-2 | 5-3 | 5-4 | 5-5 | 5-6 |
| 5.1 (FC-1) Agrupar mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | Casca esférica | Tambor vertical | Funil | Redução aberta | Tambor horizontal | Tambor horizontal |
| 5.2 (FC-2) Agitar mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | Tambor rotativo | Eixo com aparatos | Eixo com aparatos | Tambor rotativo | Eixo com aparatos | Tambor rotativo |
| 5.3 Extrair detritos dos mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | Escova | Escova | Escova | Tambor com grades | Escova | Tambor com grades |
| 5.4 (FC-6) Lavar mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | Banho d'água | Banho d'água | Ducha d'água | Ducha d'água | Banho d'água | Banho d'água |

Tabela 5.7 (continuação) – Alternativas de projeto para o processo de limpeza dos mexilhões.

| FUNÇÕES ELMENTARES | ALTERNATIVAS DE PROJETO | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5-1 | 5-2 | 5-3 | 5-4 | 5-5 | 5-6 |
| 5.5 (FC-7) Separar detritos |  |  |  |  |  |  |
| | Grade | Grade | Grade | Grade | Grade | Grade |
| 5.6 (FC-8) Guiar água com detritos |  |  |  |  |  |  |
| | Canaleta | Canaleta | Mangueira | Mangueira | Tubulação | Tubulação |
| 5.7 (FC-9) Coletar água com detritos |  |  |  |  |  |  |
| | Tanque | Tanque | Recircular | Recircular | Sistema de esgoto | Sistema de esgoto |
| 5.8 (FC-3) Pegar mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | Abrindo dispositivo | Abrindo dispositivo | Manter fluxo | Manter fluxo | Com ferramenta | Com ferramenta |
| 5.9 (FC-4) Transportar mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | Entornando | Entornando | Fluxo de material | Fluxo de material | Manualmente | Manualmente |
| 5.10 (FC-5) Coletar mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | Cesto | Cesto | Cesto | Cesto | Cesto | Cesto |

Tabela 5.8 – Alternativas de projeto para o processo de seleção de mexilhões.

| FUNÇÕES ELEMENTARES | ALTERNATIVAS DE PROJETO | | | | | |
|---------------------------------------|---|---|---|--|---|---|
| | 6-1 | 6-2 | 6-3 | 6-4 | 6-5 | 6-6 |
| 6.1.1 (FC-1) Agrupar mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | Casca esférica | Tambor vertical | Funil | Redução aberta | Tambor horizontal | Tambor horizontal |
| 6.1.2 (FC-2) Agitar mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | T. rotativo | Eixo com aparatos | Eixo com aparatos | Tambor rotativo | Eixo com aparatos | Tambor rotativo |
| 6.1.3 Separar mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | Grade | Grade | Grade | Grade | Grade | Grade |
| 6.1.4 (FC-3) Pegar mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | Abrindo dispositivo | Abrindo dispositivo | Manter fluxo | Manter fluxo | Com ferram. | Com ferram. |
| 6.1.5 (FC-4) Transportar mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | Entornando | Entornando | Canaleta | Canaleta | Manualmente | Manualmente |
| 6.1.6 (FC-5) Coletar mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | Cesto | Cesto | Cesto | Cesto | Cesto | Cesto |
| 6.2.1 (FC-3) Pegar sementes |  |  |  |  |  |  |
| | Manter fluxo | Manter fluxo | Manter fluxo | Manter fluxo | Com ferramenta | Com ferramenta |
| 6.2.2 (FC-4) Transportar sementes |  |  |  |  |  |  |
| | Entornando | Entornando | Fluxo de material | Fluxo de material | Manualmente | Manualmente |
| 6.2.3 (FC-5) Coletar sementes |  |  |  |  |  |  |
| | Cesto | Cesto | Cesto | Cesto | Cesto | Cesto |

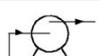
Tabela 5.9 – Alternativas de projeto para o processo de limpeza refinada dos mexilhões.

| FUNÇÕES ELEMENTARES | ALTERNATIVAS DE PROJETO | | | | | |
|---|---|---|---|--|---|---|
| | 7-1 | 7-2 | 7-3 | 7-4 | 7-5 | 7-6 |
| 7.1 (FC-1) Agrupar mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | Casca esférica | Tambor vertical | Funil | Redução aberta | Tambor horizontal | Tambor horizontal |
| 7.2 (FC-2) Agitar mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | T. rotativo | Eixo com aparatos | Eixo com aparatos | T. rotativo | Eixo com aparatos | T. rotativo |
| 7.3 Raspar mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | Escova | Escova | Escova | T. com grades | Escova | T. com grades |
| 7.4 (FC-6) Lavar mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | Banho d'água | Banho d'água | Ducha d'água | Ducha d'água | Banho d'água | Banho d'água |
| 7.5 (FC-7) Separar detritos |  |  |  |  |  |  |
| | Grade | Grade | Grade | Grade | Grade | Grade |
| 7.6 (FC-8) Guiar água com detritos |  |  |  |  |  |  |
| | Canaleta | Canaleta | Mangueira | Mangueira | Tubulação | Tubulação |
| 7.7 (FC-9) Coletar água com detritos |  |  |  |  |  |  |
| | Tanque | Tanque | Recircular | Recircular | Sistema de esgoto | Sistema de esgoto |
| 7.8 (FC-3) Pegar mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | Abrindo dispositivo | Abrindo dispositivo | Manter fluxo | Manter fluxo | Com ferramenta | Com ferramenta |
| 7.9 (FC-4) Transportar mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | Entornando | Entornando | Fluxo de material | Fluxo de material | Manualmente | Manualmente |
| 7.10 (FC-5) Coletar mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | Cesto | Cesto | Cesto | Cesto | Cesto | Cesto |

Tabela 5.10 – Alternativas de projeto para o processo de retirada da concha dos mexilhões.

| FUNÇÕES ELEMENTARES | ALTERNATIVAS DE PROJETO | | | | | |
|---|---|---|---|--|---|---|
| | 8-1 | 8-2 | 8-3 | 8-4 | 8-5 | 8-6 |
| 8.1.1 Imergir mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | Solução salina | Solução salina | Solução salina | Solução salina | Solução salina | Solução salina |
| 8.1.2 (FC-1) Agrupar mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | Casca esférica | Tambor vertical | Funil | Redução aberta | Tambor horizontal | Tambor horizontal |
| 8.1.3 (FC-2) Agitar mexilhões |  |  |  |  |  |  |
| | Tambor rotativo | Eixo com aparatos | Eixo com aparatos | Tambor rotativo | Eixo com aparatos | Tambor rotativo |
| 8.1.4 (FC-10) Individ. carne e conchas |  |  |  |  |  |  |
| | Agitador | Eixo com pás | Eixo com pás | Eixo com pás | Eixo com pás | Eixo com pás |
| 8.1.5 Separar carne |  |  |  |  |  |  |
| | Densidade | Densidade | Grade | Grade | Densidade | Densidade |

Tabela 5.10 (continuação) – Alternativas de projeto para o processo de retirada da concha dos mexilhões.

| FUNÇÕES ELEMENTARES | ALTERNATIVAS DE PROJETO | | | | | |
|-------------------------------------|---|---|---|---|---|---|
| | 8-1 | 8-2 | 8-3 | 8-4 | 8-5 | 8-6 |
| 8.2.1 (FC-3) Pegar carne |  |  |  |  |  |  |
| | Manter fluxo | Manter fluxo | Manter fluxo | Manter fluxo | Com ferramenta | Com ferramenta |
| 8.2.2 (FC-4) Transp. carne |  |  |  |  |  |  |
| | Entornando | Entornando | Fluxo d'água | Fluxo d'água | Manual | Manual |
| 8.2.3 (FC-5) Coletar carne |  |  |  |  |  |  |
| | Cesto | Cesto | Cesto | Cesto | Cesto | Cesto |
| 8.3.1 (FC-3) Pegar conchas |  |  |  |  |  |  |
| | Manter fluxo | Manter fluxo | Manter fluxo | Manter fluxo | Com ferramenta | Com ferramenta |
| 8.3.2 (FC-4) Transportar conchas |  |  |  |  |  |  |
| | Entornando | Entornando | Bombear | Bombear | Manual | Manual |
| 8.3.3 (FC-5) Coletar conchas |  |  |  |  |  |  |
| | Cesto | Cesto | Cesto | Cesto | Cesto | Cesto |
| 8.4.1 (FC-8) Guiar líquido |  |  |  |  |  |  |
| | Canaleta | Canaleta | Bombear | Bombear | Tubulação | Tubulação |
| 8.4.2 (FC-9) Coletar líquido |  |  |  |  |  |  |
| | Tanque | Tanque | Recircular | Recircular | Sistema de esgoto | Sistema de esgoto |

É importante destacar que na proposição das alternativas de projeto para os processos de encordoamento de sementes (FG-1), retirada das cordas do cultivo (FG-2) e encordoamento de sementes (FG-3), não foram seguidos os conceitos padrões propostos para os produtos. Tal fato se deve à pequena presença de funções comuns nestes processos, caracterizada pela não participação destas funções globais nos núcleos funcionais encontrados.

Já no caso dos processos de desgranação (FG-4), limpeza (FG-5), seleção (FG-6), limpeza refinada (FG-7) e retirada das conchas dos mexilhões (FG-8), que seguiram os conceitos padrões propostos, conseguiu-se obter um elevado grau de similaridade, proporcionada pelo grande número de funções elementares destes processos pertencentes aos núcleos funcionais. Certas ocorrências destas similaridades de princípios chegam ao extremo de haver apenas uma função elementar que diferenciavam os processos, tal qual observado entre as alternativas das funções FG-4, FG-5 e FG-7. Esta alta semelhança é de grande valor para o projeto, uma vez que vem facilitar a modularização sistema.

Tendo-se definido as alternativas de projeto, passou-se à seleção daquelas que melhor se adequavam às necessidades dos consumidores. Para tato optou-se pelo uso de Matrizes de PUGH (1991), uma para cada conjunto de alternativas, sendo estas

apresentadas no Apêndice A deste trabalho. As Figuras 5.2 e 5.3 ilustram as Matrizes de Pugh elaboradas para o processo de encordoamento das sementes. Os resultados obtidos definiram a classificação apresentada na Tabela 5.11.

| Necessidades | | | Peso | Alternativas | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|---|
| | | | | 1-1 | 1-2 | 1-3 | 1-4 | 1-5 | 1-6 | 1-7 | 1-8 | | |
| Produto | Processo | Pouco tempo de processamento | 4 | | + | + | + | + | + | + | - | - | |
| | | Higiénico | 2 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Poucas quebras de mexilhões | 2 | | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| | | Realize processos simultâneos | 4 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Realize processos contínuos | 4 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - |
| | Preço | Acessível | 5 | | 0 | + | 0 | 0 | 0 | 0 | + | + | |
| | Aparência | Tamanho compacto | 2 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Agradável | 1 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Materiais | Durável | 2 | | 0 | + | + | + | + | + | - | - | - |
| | | Adaptado ao trabalho no mar | 2 | R | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Manufatura | Fabricação | Baixo custo | 3 | E | + | + | - | 0 | 0 | + | + | + | |
| | | Adequado ao volume de produção | 1 | F | 0 | + | 0 | 0 | 0 | + | + | + | |
| | | Fácil montagem | 1 | E | 0 | + | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | Transporte | Ocupe pouco espaço | 1 | R | 0 | + | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | | Transportável por veículos leves | 2 | Ê | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Uso | Deslocamento | Transporte manual facilitado | 2 | N | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | Operação | Permitir trabalho embarcado | 2 | C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Utilize pouca mão-de-obra | 4 | I | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Exija poucos esforços do produtor | 1 | A | 0 | - | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - |
| | | Sem paradas inesperadas | 2 | | 0 | - | + | + | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Interface simples com o usuário | 1 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Segurança | Sem contato do operador/ mexilhão | 2 | | 0 | - | 0 | 0 | 0 | - | - | - |
| | | Não lesione o usuário | 2 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | Manutenção | Fácil manutenção | 2 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Não exija muita manutenção | 4 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - |
| | | Fácil de limpar | 2 | | 0 | + | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Pós-uso | Reuso | Descarte planejado | 1 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Específicas | Encordoamento | Cordas em diferentes comprimentos | 1 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | - |
| | | | Sem mexilhões presos | 1 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Total + | | | 0 | 3 | 9 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | |
| Total - | | | 0 | 0 | -3 | -1 | 0 | 0 | -7 | -7 | -7 | | |
| Total global | | | 0 | 4 | 6 | 3 | 4 | 3 | -3 | -3 | -3 | | |
| TOTAL (com pesos) | | | 0 | 9 | 16 | 7 | 10 | 8 | -7 | -7 | -7 | | |

Figura 5.2 – Matriz de Pugh para o processo de encordoamento das sementes.

Tabela 5.11 – Resultado da seleção das alternativas de projeto através de Matrizes de Pugh.

| Processos | Classificação das alternativas | | | |
|---|--------------------------------|-----------|-------------|-------------|
| | 1º Colocada | | 2º Colocada | |
| (FG-1) encordoamento | 1-3 | 16 pontos | 1-5 | 10 pontos |
| (FG-2) retirada das cordas do cultivo | 2-3 | 5 pontos | 2-5 | 0 pontos |
| (FG-3) remoção dos mexilhões das cordas | 3-5 | 1 ponto | 3-1 | 0 pontos |
| (FG-4) desgranação dos mexilhões | 4-3 | 0 pontos | 4-4 | -7 pontos |
| (FG-5) limpeza dos mexilhões | 5-3 | 0 pontos | 5-4 | -5 pontos |
| (FG-6) seleção dos mexilhões | 6-3 | 0 pontos | 6-4 | -7 pontos |
| (FG-7) limpeza refinada dos mexilhões | 7-3 | 0 pontos | 7-4 | -5 pontos |
| (FG-8) retirada das conchas dos mexilhões | 8-3 | 0 pontos | 8-2 | -2 pontos |
| | | | 8-6 | (empatadas) |
| (FG-1) encordoamento (2ª matriz de Pugh) | 1-9 | 0 pontos | 1-5 | -5 pontos |

| Necessidades | | | | Alternativas | | |
|----------------------------------|---------------|-----------------------------------|---|--------------|-----------|----------|
| | | | | Peso | 1-3 | 1-5 |
| Produto | Processo | Pouco tempo de processamento | 4 | - | 0 | |
| | | Higiênico | 2 | 0 | 0 | |
| | | Poucas quebras de mexilhões | 2 | 0 | 0 | |
| | | Realize processos simultâneos | 4 | 0 | 0 | |
| | | Realize processos contínuos | 4 | 0 | 0 | |
| | Preço | Acessível | 5 | 0 | - | |
| | Aparência | Tamanho compacto | 2 | 0 | 0 | |
| | | Agradável | 1 | 0 | 0 | |
| | Materiais | Durável | 2 | 0 | 0 | |
| | | Adaptado ao trabalho no mar | 2 | 0 | 0 | R |
| Manufatura | Fabricação | Baixo custo | 3 | 0 | - | E |
| | | Adequado ao volume de produção | 1 | 0 | - | F |
| | | Fácil montagem | 1 | 0 | 0 | E |
| | Transporte | Ocupe pouco espaço | 1 | 0 | - | R |
| Transportável por veículos leves | | 2 | 0 | 0 | E | |
| Uso | Deslocamento | Transporte manual facilitado | 2 | 0 | 0 | N |
| | Operação | Permitir trabalho embarcado | 2 | 0 | 0 | C |
| | | Utilize pouca mão-de-obra | 4 | 0 | 0 | I |
| | | Exija poucos esforços do produtor | 1 | - | + | A |
| | | Sem paradas inesperadas | 2 | - | 0 | |
| | | Interface simples com o usuário | 1 | 0 | 0 | |
| | Segurança | Sem contato do operador/ mexilhão | 2 | - | + | |
| | | Não lesione o usuário | 2 | - | + | |
| | Manutenção | Fácil manutenção | 2 | 0 | 0 | |
| | | Não exija muita manutenção | 4 | 0 | 0 | |
| Fácil de limpar | | 2 | 0 | 0 | | |
| Pós-uso | Reuso | Descarte planejado | 1 | 0 | 0 | |
| Específicas | Encordoamento | Cordas de tamanho variado | 1 | 0 | 0 | |
| | | Cordas em diferentes diâmetros | 1 | 0 | 0 | |
| Total + | | | | 0 | 3 | 0 |
| Total - | | | | -5 | -4 | 0 |
| Total global | | | | -5 | -1 | 0 |
| TOTAL (com pesos) | | | | -11 | -5 | 0 |

Figura 5.3 – Segunda Matriz de Pugh para o processo de encordoamento das sementes.

Em processos em que há a presença dos núcleos funcionais (FG-4 a FG-8), selecionou-se as alternativas de projeto 4-3, 5-3, 6-3, 7-3 e 8-3 para seus respectivos processos. Estas alternativas tem em comum o meta-conceito “contínuo 1”, usado como referência nas matrizes de Pugh confeccionadas. Estes resultados acabam por corroborar a adequação dos conceitos adotados em equipamentos espanhóis ao cultivo de mexilhões, decorrência de anos de aprimoramento técnico destes recursos.

No caso dos processos FG-2 e FG-3, os resultados apontaram para a seleção das alternativas 2-3, para a retirada das cordas do cultivo, e 3-5, para o processo da remoção dos mexilhões das cordas. No entanto, especificamente no caso específica do processo de remoção dos mexilhões das cordas, optou-se pela adoção da alternativa de projeto 3-1, sendo esta escolha embasada na pequena diferença entre suas pontuações, serem tecnicamente semelhantes e pelo fato da alternativa selecionada possuir um princípio soluções tecnicamente mais interessante: o sistema de molas.

Para o processo de encordoamento (FG-1), dado ao elevado número de pontos negativos da primeira colocada em comparação com a segunda, optou-se por propor uma nova alternativa de projeto, denominada 1-9, desenvolvida com base nos pontos fortes das alternativas melhores colocadas pela Matriz de Pugh. Os princípios de solução desta nova

alternativa já foram apresentados na Tabela 5.3 juntamente às demais propostas, tendo sido avaliada na matriz de Pugh apresentada na Figura 5.3, mostrando-se superior às suas predecessoras.

Paralelamente à definição das alternativas de projeto para os processos do cultivo de mexilhões, também se desenvolveram propostas de alternativas de fontes de potência para o equipamento, baseando-se em quatro formas distintas de energia: mecânica, humana, elétrica e hidráulica ou pneumática. No entanto, estas alternativas, apresentadas na Figura 5.4, não foram submetidas a critérios de seleção, uma vez que são caracterizadas por condições distintas de uso, conforme detalhado a seguir:

- **Humana 1 e 2** – consistem em propostas para a utilização da força motora humana (braços e pernas, respectivamente) para dar movimento do sistema modular em questão. Idealizada como uma alternativa de baixo custo, sua aplicação ficaria restrita apenas à produtores de menor renda, sem recursos para aquisição dos demais sistemas.
- **Mecânica** – neste caso a proposta seria aproveitar o próprio sistema motor de embarcações para prover movimento ao sistema modular. Neste caso seriam exigidas condições adequadas ao trabalho embarcado, o que poderia levar a concepção de embarcações dedicadas ao serviço.
- **Hidráulica/pneumática** – neste caso o objetivo também seria o trabalho embarcado, porém, graças à flexibilidade propiciada pelo sistema hidráulico/pneumático, poderiam ser aproveitadas as embarcações já existentes, adaptando-se uma bomba ou compressor ao motor e levando o fluido sob pressão a uma balsa.
- **Elétrica** – esta proposta foi pensada considerando-se as condições de trabalho atuais do produtor, caracterizada pela realização em terra dos processos do cultivos de mexilhões e pela não disponibilidade imediata de sistemas hidráulicos, pneumáticos e mecânicos em suas unidades de trabalho (ranchos).

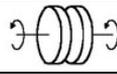
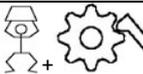
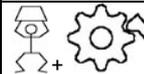
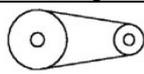
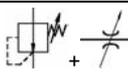
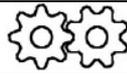
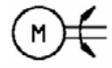
| FUNÇÕES ELEMENTARES | ALTERNATIVAS | | | | |
|--------------------------------|---|--|---|---|---|
| | Humana-1 | Humana-2 | Mecânica | Elétrica | Hid.r/ Pneum. |
| 0.1 Acionar/ Interromper |  Manivela |  Pedais |  Embreagem |  Botão |  V. de controle |
| 0.2 Controlar |  Próprio humano +catraca |  Próprio humano+catraca |  Polia |  Potenciômetro |  V. limitad. de press/ vazão |
| 0.3 Transformar |  Engrenagem |  Engrenagem |  Não transformar |  Motor elétrico |  Motor hidrául./ pneumático |

Figura 5.4 – Alternativas de projeto para as fontes de potência.

Tendo-se selecionado as alternativas de projeto para os processos do cultivo de mexilhões, praticamente finaliza-se o processo de definição do conceito do produto. No entanto, para finalizar a definição dos módulos, resta ainda a avaliação da possibilidade de existirem subsistemas, entre as funções elementares do produto e dos núcleos funcionais determinados, que possam ser definidos como módulos em separado. O processo proposto para tanto se baseia nas Matrizes Indicadoras de Módulos, sendo o conhecimento prévio dos princípios de solução a serem adotados nos equipamentos essencial à avaliação do relacionamento entre as funções elementares e as diretrizes de modularização de ERIXON ET AL. (1996).

5.4 ETAPA 2.4 – Geração dos Módulos

Na etapa de geração dos módulos objetiva-se a definição final da distribuição de módulos pelo sistema. Para tanto foram construídas sete Matrizes Indicadoras de Módulos (MIM), das quais duas foram aplicadas aos núcleos funcionais e as restantes a processos em que houvesse mais de uma única função não pertencente aos núcleos funcionais. Por este motivo não foram elaboradas MIMs para os processos de desgranação, limpeza e limpeza refinada dos mexilhões.

Para o preenchimento das MIMs utilizou-se a seguinte pontuação para a avaliação do relacionamento entre as funções comuns, ou elementares, e as diretrizes de modularização de Erixon (já apresentadas no tópico 3.1.1 deste trabalho): 5 pontos para os relacionamentos fortes, 3 pontos para os médios e 1 ponto para os fracos. Para definir de uma função comum ou elementar como um módulo, determinou-se que esta deveria ter um somatório de pontos acima de 15, valor este que corresponde a um quarto da nota máxima obtível pelo uso da Matriz Indicadora de Módulos.

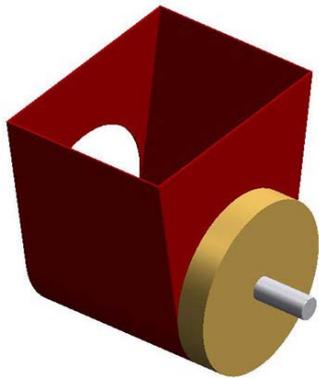
Da primeira matriz indicadora de módulos construída, ilustrada na Figura 5.5, definiu-se, através do somatório das avaliações, a função “coletar mexilhões” (FC-5) como um módulo separado. Além disso, comparando-se as estruturas funcionais e princípios de solução empregados nos processos de encordoamento (FG-1) e aos presentes no núcleo funcional 01, constatou-se que duas de suas funções eram idênticas: “agrupar mexilhões/sementes” (FC-1 e FE-1.2.1) e “agitar mexilhões/sementes” (FC-2 e FE-1.2.2). Não havendo grandes impedimentos técnicos, optou-se por considerar ambas as funções como um módulo em separado. Tal semelhança já tinha sido observada anteriormente e registrada na matriz para a determinação dos núcleos funcionais (Figura 5.1). Desta forma, três módulos foram determinados, os quais são apresentados nos Quadros 5.11 a 5.13.

| | |
|--------------------------|----------------------------------|
| Fraca Relação (1 ponto) | <input type="radio"/> |
| Média Relação (3 pontos) | <input checked="" type="radio"/> |
| Forte Relação (5 pontos) | <input checked="" type="radio"/> |

| | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|--|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Diretrizes de Modularização | Desenvolvimento de Produtos | Multi-aplicativo (<i>Carry-over</i>) | <input checked="" type="radio"/> |
| | | Evolução Tecnológica | | | | | |
| | | Alteração de Projeto | | | | | |
| | Variação | Especificação Técnica | | | | | |
| | | Estilo | | | | | <input type="radio"/> |
| | Fabricação | Unidade Comum | <input checked="" type="radio"/> |
| | | Processo e Organização | | | | | <input checked="" type="radio"/> |
| | Qualidade | Testes em separado | | | | | <input type="radio"/> |
| | Aquisição | Compra de Produtos Prontos | | <input type="radio"/> | | | <input checked="" type="radio"/> |
| | Após estar no mercado | Manutenção e Manutenibilidade | | | | | <input type="radio"/> |
| Atualização | | | | | | | |
| Reciclagem | | | | | | <input checked="" type="radio"/> | |
| Σ | | | 10 | 11 | 10 | 10 | 32 |
| Classificação | | | 3 | 2 | 3 | 3 | 1 |

Figura 5.5– MIM para o núcleo funcional 1.

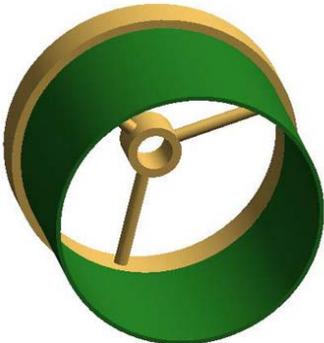
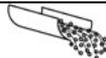
Quadro 5.11 – Apresentação do módulo 01.

| | | | |
|--|---|-------------------------|---|
| LEIAUTE PRELIMINAR |  | FUNÇÕES INCLUSAS | FC-1 Agrupar sementes |
| | | |  |
| | | | Funil |
| | | | FC-2 Agitar sementes |
| |  | | |
| | Eixo com aparatos | | |
| <p>O módulo 01 será responsável pela recepção dos mexilhões a serem introduzidos no sistema, agrupando-os em torno do sistema de agitação.</p> | | | |

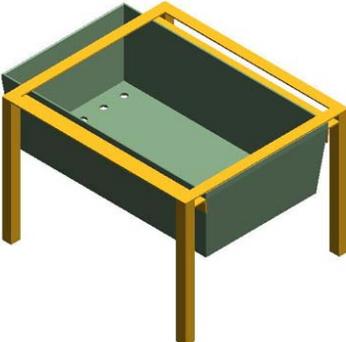
Para o núcleo funcional 02, a MIM (Figura 5.6) acabou por definir dois módulos: o primeiro, apresentado no Quadro 5.14, englobando os processos relacionados à lavagem dos mexilhões e outro, descrito no Quadro 5.15, complementando estas operações com a coletar a água utilizada. Este resultado é interessante sob o aspecto comercial do produto, permitindo uma caracterização do módulo de coleta como uma alternativa para otimização

dos recursos empregados no cultivo de mexilhões, já que o princípio de solução por ele adotado prevê a recirculação da água coletada.

Quadro 5.12 – Apresentação do módulo 02.

| | | | |
|--|---|-------------------------|---|
| LEIAUTE PRELIMINAR |  | FUNÇÕES INCLUSAS | FC3 Pegar mexilhões |
| | | |  |
| | | | Manter fluxo |
| | | | FC4 Transportar mexilhões |
| | | |  |
| | | | Manter fluxo |
| <p>Pelas funções a ele atribuídas, o módulo 02 servirá apenas como uma prolongação do módulo 01 e de suporte para eixos, sendo empregado nos processos de desgranação, limpeza, limpeza refinada e retirada das conchas dos mexilhões.</p> | | | |

Quadro 5.13 – Apresentação do módulo 03.

| | | | |
|---|--|-------------------------|---|
| LEIAUTE PRELIMINAR |  | FUNÇÕES INCLUSAS | FC-5 Coletar mexilhões |
| | | |  |
| | | | Cesto |
| <p>O módulo 03 tem a função de receber os mexilhões após estes terem sido processados. Na elaboração de seu leiaute preliminar, considerou-se a possibilidade de serem adotadas caixas de pescado apoiadas em um suporte, sendo estes insumos familiares ao produtor.</p> | | | |

Do processo de desgranação de mexilhões (FG-4), apenas uma função não estava presente em um núcleo funcional: a “individualizar mexilhões” (FC-10), a qual também está presente no processo de retirada das conchas dos mexilhões, porém denominada como “individualizar carne/concha”. Esta função comum, por si só, resultou na definição de um módulo, apresentado no Quadro 5.16. Outros dois módulos também foram determinados da mesma maneira, um para o processo de limpeza de mexilhões (Quadro 5.17) e outro para o de limpeza refinada dos mexilhões (Quadro 5.18), respectivamente designados para as funções elementares “extrair detritos dos mexilhões” (FE-5.3) e “raspar detritos dos mexilhões” (FE-7.3).

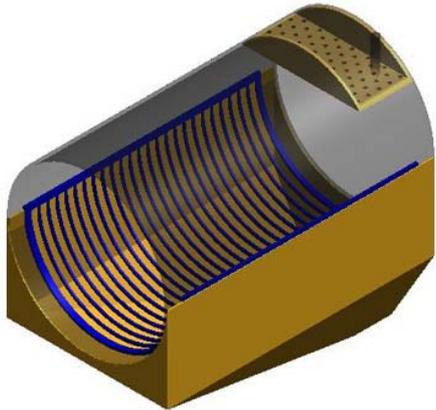
| | | |
|--------------------------|--|---|
| Fraca Relação (1 ponto) | | ○ |
| Média Relação (3 pontos) | | ● |
| Forte Relação (5 pontos) | | ● |

| | | | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|--|----|----|----|----|
| Diretrizes de Modularização | Desenvolvimento de Produtos | Multi-aplicativo (<i>Carry-over</i>) | ● | ● | ● | ● |
| | | Evolução Tecnológica | | | | |
| | | Alteração de Projeto | | | | |
| | Variação | Especificação Técnica | | | ○ | ○ |
| | | Estilo | | | | |
| | Fabricação | Unidade Comum | ○ | ○ | ● | ● |
| | | Processo e Organização | | ● | | |
| | Qualidade | Testes em separado | | | | ● |
| | Aquisição | Compra de Produtos Prontos | ○ | | | ● |
| | Após estar no mercado | Manutenção e Manutenibilidade | | | | ○ |
| Atualização | | | | | | |
| Reciclagem | | | | | | |
| Σ | | | 11 | 13 | 13 | 26 |
| Classificação | | | 4 | 2 | 2 | 1 |

| |
|----------------------------------|
| FC 6 – Lavar mexilhões |
| FC 7 – Separar detritos |
| FC 8 – Guiar água com detritos |
| FC 9 – Coletar água com detritos |

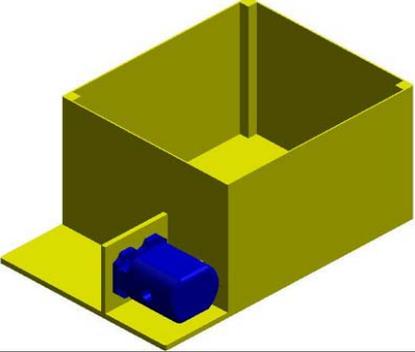
Figura 5.6 – MIM para o núcleo funcional 2.

Quadro 5.14 – Apresentação do módulo 04.

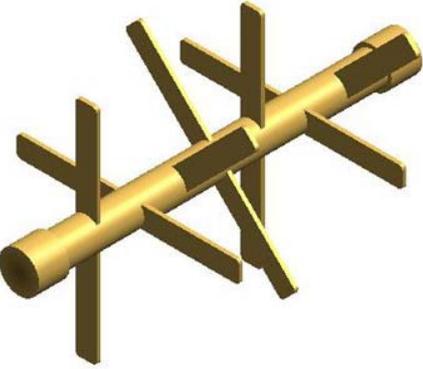
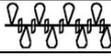
| | | | |
|---------------------------|---|-------------------------|---|
| LEIAUTE PRELIMINAR |  | FUNÇÕES INCLUSAS | FC-6 Lavar mexilhões |
| | | |  |
| | | | Ducha d'água |
| | | | FC-7 Separar detritos |
| | | |  |
| | Grade | | FC-8 Guiar água com detritos |
| | | |  |
| | | | Mangueira |

O quarto módulo desempenha as funções relacionadas à separação de detritos. Para tanto, em seu leiaute preliminar, incorporou-se um sistema de grades no bojo de um corpo (não necessariamente cilíndrico) que, com o auxílio de um fluxo d'água, separaria os detritos presentes entre os mexilhões, conduzindo-os a um bocal com mangueira.

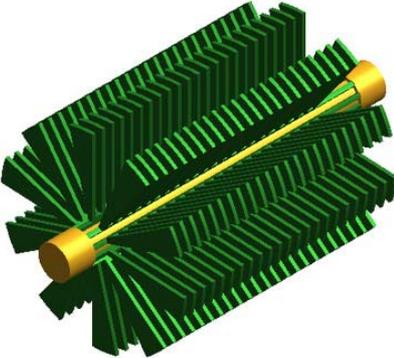
Quadro 5.15 – Apresentação do módulo 05.

| | | | |
|--|---|-------------------------|---|
| LEIAUTE PRELIMINAR |  | FUNÇÕES INCLUSAS | FC-9 Coletar água com detritos |
| | | |  Recircular |
| <p>O funcionamento deste módulo está intimamente ligado ao do módulo 04. Sua função, neste conjunto, seria de criar um ciclo, no qual a água eliminada pelo módulo 04 retornaria a ele. Desta forma, concebeu-se este módulo como um tanque, onde uma bomba proveria a recirculação desejada para a água do sistema.</p> | | | |

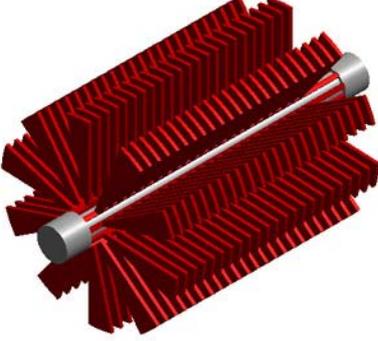
Quadro 5.16 – Apresentação do módulo 06.

| | | | |
|--|--|-------------------------|--|
| LEIAUTE PRELIMINAR |  | FUNÇÕES INCLUSAS | FC-10 Individualizar mexilhões |
| | | |  Eixo com pás |
| <p>O módulo 06 é o elemento responsável pela individualização dos mexilhões durante o processo de desgranação. Além disso, pelos princípios de solução agregados ao módulo 01, também irá prover a agitação necessária ao sistema.</p> | | | |

Quadro 5.17 – Apresentação do módulo 07.

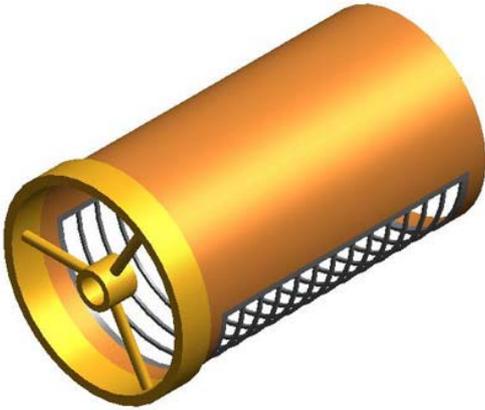
| | | | |
|---|---|-------------------------|---|
| LEIAUTE PRELIMINAR |  | FUNÇÕES INCLUSAS | FE-5.3 Extrair detritos dos mexilhões |
| | | |  Escova |
| <p>No módulo 07 está embutido o princípio de solução essencial à realização do processo de limpeza dos mexilhões e, assim como o módulo anterior, também participa ativamente da função de agitação do sistema.</p> | | | |

Quadro 5.18 – Apresentação do módulo 08.

| | | | |
|--|---|-------------------------|---|
| LEIAUTE PRELIMINAR |  | FUNÇÕES INCLUSAS | FE-7.3 Raspar mexilhões |
| | | |  Escova |
| <p>O módulo 08, dedicado ao processo de limpeza refinada dos mexilhões, poderia ser descrito da mesma forma que seu similar para o processo de limpeza dos mexilhões, também colaborando na agitação do sistema. Os únicos fatores que os diferenciaria, entretanto, seriam as características físicas de suas cerdas, tornado-as mais adequadas ao processo desempenhado.</p> | | | |

Para os demais processos presentes aos núcleos funcionais – a seleção de mexilhões (FG-6) e retirada das conchas dos mexilhões (FG-8) – duas matrizes indicadoras de módulos foram elaboradas (Figuras 5.7 e 5.8) que, através da avaliação dos somatórios obtidos, pôde-se definir outros três módulos, cujas características são apresentadas nos Quadros 5.19 a 5.21. No caso das funções “coletar sementes” (FE-6.2.3) e “coletar conchas” (FE-8.3.3), definidas como módulos em separado pelas respectivas MIMs de seus processos, optou-se pela adoção do módulo 3, responsável pela função “coletar mexilhões” (FC-5), para a sua realização.

Quadro 5.19 – Apresentação do módulo 09.

| | | | |
|--|---|-------------------------|--|
| LEIAUTE PRELIMINAR |  | FUNÇÕES INCLUSAS | FE-6.1.3 Separar mexilhões |
| | | |  Grade |
| | | | FE-6.2.1 Pegar sementes |
| | | |  Manter fluxo |
| | | | FE-6.2.2 Transportar sementes |
| | | |  Fluxo de material |
| <p>O módulo 09 contribui ao sistema modular com o processo de seleção de mexilhões. Seu funcionamento é bem simples: mantendo-se o fluxo de mexilhões proveniente do módulo 01, uma grade irá separar os mexilhões adultos retirando as sementes que passarem por seus vãos.</p> | | | |

| | | |
|--------------------------|--|----------------------------------|
| Fraca Relação (1 ponto) | | <input type="radio"/> |
| Média Relação (3 pontos) | | <input checked="" type="radio"/> |
| Forte Relação (5 pontos) | | <input checked="" type="radio"/> |

| | | | | | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|----|
| Diretrizes de Modularização | Desenvolvimento de Produtos | Multi-aplicativo (<i>Carry-over</i>) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | |
| | | Evolução Tecnológica | | | | | |
| | | Alteração de Projeto | | | | | |
| | Variação | Especificação Técnica | | | | | |
| | | Estilo | | | | <input type="radio"/> | |
| | Fabricação | Unidade Comum | | | | | |
| | | Processo e Organização | | | | <input checked="" type="radio"/> | |
| | Qualidade | Testes em separado | | | | <input type="radio"/> | |
| | Aquisição | Compra de Produtos Prontos | | | | <input checked="" type="radio"/> | |
| | Após estar no mercado | Manutenção e Manutenibilidade | | | | <input type="radio"/> | |
| | | Atualização | | | | | |
| | | Reciclagem | | | | | |
| | Σ | | | 1 | 1 | 1 | 18 |
| | Classificação | | | 2 | 2 | 2 | 1 |

| | | | | |
|---------------------------|------------------------|------------------------------|--------------------------|--|
| Funções | | | | |
| 6.1.3 – Separar mexilhões | 6.2.1 – Pegar sementes | 6.2.2 – Transportar sementes | 6.2.3 – Coletar sementes | |

Figura 5.7 – MIM para o processo de seleção de mexilhões (FG-6).

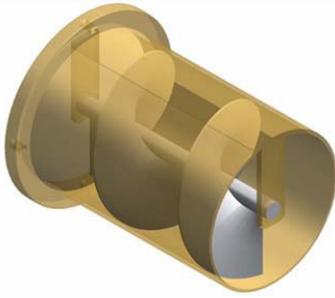
| | | |
|--------------------------|--|----------------------------------|
| Fraca Relação (1 ponto) | | <input type="radio"/> |
| Média Relação (3 pontos) | | <input checked="" type="radio"/> |
| Forte Relação (5 pontos) | | <input checked="" type="radio"/> |

| | | | | | | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|--|--|---|----------------------------------|----------------------------------|----|----|
| Diretrizes de Modularização | Desenvolvimento de Produtos | Multi-aplicativo (<i>Carry-over</i>) | | | | | | |
| | | Evolução Tecnológica | | | | | | |
| | | Alteração de Projeto | | | | | | |
| | Variação | Especificação Técnica | | | | | | |
| | | Estilo | | | | <input type="radio"/> | | |
| | Fabricação | Unidade Comum | | | | | | |
| | | Processo e Organização | | | <input checked="" type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | | |
| | Qualidade | Testes em separado | | | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> | | |
| | Aquisição | Compra de Produtos Prontos | | | <input checked="" type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | | |
| | Após estar no mercado | Manutenção e Manutenibilidade | | | <input type="radio"/> | | | |
| | | Atualização | | | | <input type="radio"/> | | |
| | | Reciclagem | | | | | | |
| | Σ | | | 0 | 0 | 0 | 23 | 24 |
| | Classificação | | | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 |

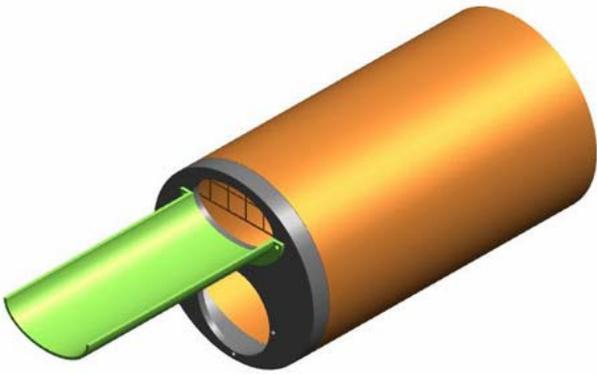
| | | | | |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Funções | | | | |
| 8.1.1 – Imergir mexilhões | 8.1.5 – Separar carne | 8.3.1 – Pegar conchas | 8.3.2 – Transportar conchas | 8.3.3 – Coletar conchas |

Figura 5.8 – MIM para o processo de retirada das conchas dos mexilhões (FG-8).

Quadro 5.20 – Apresentação do módulo 10.

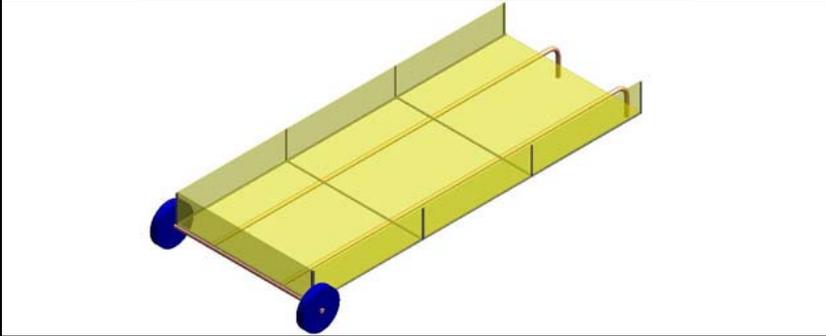
| | | | |
|--|---|-------------------------|--|
| LEIAUTE PRELIMINAR |  | FUNÇÕES INCLUSAS | FE-8.3.2 Transportar conchas |
| | | |  Bombear |
| <p>Definido como um módulo separado do módulo 11, o módulo 10 desempenhará o processo de retirar as conchas, já sem carne, do sistema, “bombeando-as” para a saída. Seu leiaute preliminar foi concebido a como uma bomba de parafuso, no entanto, poderão ser definidas outras formas de realização desta função mais adequados ao conjunto do sistema.</p> | | | |

Quadro 5.21 – Apresentação do módulo 11.

| | | | |
|--|---|-------------------------|---|
| LEIAUTE PRELIMINAR |  | FUNÇÕES INCLUSAS | FE-8.1.1 Imergir mexilhões |
| | | |  Solução Salina |
| | | | FE-8.1.5 Separar carnes |
| | | |  Grade |
| | | | FE-8.3.1 Pegar carnes |
| | | |  Manter fluxo |
| <p>Através do uso de uma solução salina, que permitirá emergir a carne do mexilhão através da diferença de densidades, este módulo separará a carne dos mexilhões apenas mantendo-se um fluxo contínuo de alimentação de líquido. As conchas deverão ser forçadas para fora do sistema através do sistema de bombeamento, já apresentado no Quadro 5.20.</p> | | | |

Finalizando o processo de geração dos módulos, também foram confeccionadas Matrizes Indicadoras de Módulos para as Funções Globais não pertencentes a núcleos funcionais. Para o processo de encordoamento de mexilhões (FG-1), cuja matriz é apresentada na Figura 5.9, já haviam sido definidas as funções elementares “agrupar sementes” (FE-1.2.1) e “agitar sementes” (FE-1.2.2) como um módulo em separado, sendo atendidas através do módulo 02. Da análise da MIM para este processo, apenas uma função elementar foi separada das demais: “coletar cordas de mexilhões” (FE-1.2.7). Desta forma, dois novos módulos foram definidos, apresentados nos Quadros 5.22 e 5.23.

Quadro 5.23 – Apresentação do módulo 13.

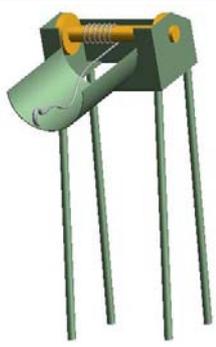
| | | | |
|--|--|-------------------------|---|
| LEIAUTE PRELIMINAR |  | FUNÇÕES INCLUSAS | FE-1.2.7 Coletar corda de mexilhões |
| | | |  Carrinho |
| O módulo 13 será um carrinho cujas dimensões deverão ser adequadas ao transporte das cordas confeccionadas com o auxílio do módulo 12. | | | |

O processo de retirada das cordas do cultivo (FG-2), ilustrada na Figura 5.10, cuja avaliação através da MIM não resultou em um módulo em separado, definiu apenas um módulo (Quadro 5.24) englobando todas as suas funções. Finalizando esta etapa do projeto, da análise da MIM (Figura 5.11) para o processo de retirada dos mexilhões das cordas (FG-3), puderam-se definir os dois últimos módulos a serem desenvolvidos (Quadros 5.25 e 5.26), além de outra função elementar, a “coletar mexilhões” (FE-3.2.2), em que também se optou por sua realização através do módulo 03.

| | | | | | |
|---|------------------------------------|---|----------------------------------|-----------------------|---|
| Fraca Relação (1 ponto) <input type="radio"/> Média Relação (3 pontos) <input checked="" type="radio"/> Forte Relação (5 pontos) <input checked="" type="radio"/> | | 2.1 – Prender corda de mexilhões 2.2 – Lçar corda de mexilhões 2.3 – Liberar corda de mexilhões | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Diretrizes de Modularização | Desenvolvimento de Produtos | Multi-aplicativo (<i>Carry-over</i>) | | | |
| | | Evolução Tecnológica | | | |
| | | Alteração de Projeto | <input type="radio"/> | | |
| | Variação | Especificação Técnica | | | |
| | | Estilo | | | |
| | Fabricação | Unidade Comum | <input type="radio"/> | | |
| | | Processo e Organização | <input type="radio"/> | | |
| | Qualidade | Testes em separado | | | |
| | Aquisição | Compra de Produtos Prontos | <input checked="" type="radio"/> | | |
| | Após estar no mercado | Manutenção e Manutenibilidade | | <input type="radio"/> | |
| Atualização | | <input type="radio"/> | | | |
| Reciclagem | | | | | |
| Σ | | | 11 | 3 | 0 |
| Classificação | | | 1 | 2 | 3 |

Figura 5.10 – MIM para o processo de retirada das cordas do cultivo (FG-2).

Quadro 5.24 – Apresentação do módulo 14.

| | | | | |
|---------------------------|---|-------------------------|---|---|
| LEIAUTE PRELIMINAR |  | FUNÇÕES INCLUSAS | FE-2.1 Prender corda de mexilhões | FE-2.3 Liberar corda de mexilhões |
| | | |  |  |
| | | | Gancho | Manualmente |
| | | | FE-2.2 Içar corda de mexilhões | |
| | | |  | |
| | | | Puxando | |

Trata-se de equipamento para puxar as cordas de mexilhões, retirando-as dos sistemas de engorda. Seu funcionamento dependerá do usuário na medida que, para a realização deste processo, o produtor deverá soltar o nó que prende as cordas de mexilhões aos espinhéis.

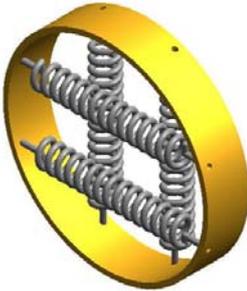
| | | |
|--|--------------------------|----------------------------------|
| | Fraca Relação (1 ponto) | <input type="radio"/> |
| | Média Relação (3 pontos) | <input checked="" type="radio"/> |
| | Forte Relação (5 pontos) | <input checked="" type="radio"/> |

| | | | | | | |
|--|-----------------------------------|--|--|--|--|--|
| | 3.1.1 – Guiar corda de mexilhões | | | | | |
| | 3.1.2 – Extrair mexilhões da rede | | | | | |
| | 3.1.3 – Coletar rede de nylon | | | | | |
| | 3.2.1 – Transportar mexilhões | | | | | |
| | 3.2.2 – Coletar mexilhões | | | | | |

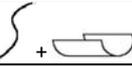
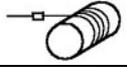
| | | | | | | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|--|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|
| | | Funções | | | | | | |
| Diretrizes de Modularização | Desenvolvimento de Produtos | Multi-aplicativo (<i>Carry-over</i>) | | | | | | <input checked="" type="radio"/> |
| | | Evolução Tecnológica | | | | | | |
| | | Alteração de Projeto | | <input type="radio"/> | | | | |
| | Varição | Especificação Técnica | | | | | | |
| | | Estilo | | | | | | <input type="radio"/> |
| | Fabricação | Unidade Comum | | | | | | <input checked="" type="radio"/> |
| | | Processo e Organização | | | | | | <input checked="" type="radio"/> |
| | Qualidade | Testes em separado | | <input type="radio"/> | | | | <input type="radio"/> |
| | Aquisição | Compra de Produtos Prontos | | <input type="radio"/> | | | | <input checked="" type="radio"/> |
| | Após estar no mercado | Manutenção e Manutenibilidade | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> | | | |
| Atualização | | | | | | | | |
| Reciclagem | | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | | | <input checked="" type="radio"/> | |
| Σ | | | 6 | 17 | 6 | 0 | 31 | |
| Classificação | | | 3 | 2 | 3 | 5 | 1 | |

Figura 5.11 – MIM para o processo de retirada dos mexilhões das cordas (FG-3).

Quadro 5.25 – Apresentação do módulo 15.

| | | | |
|---|---|-------------------------|---|
| LEIAUTE PRELIMINAR |  | FUNÇÕES INCLUSAS | FE-3.1.2 Extrair mexilhões da rede |
| | | |  |
| | | | Sistema de molas |
| | | | |
| Este módulo, acoplável ao módulo 16, irá desempenhar a principal função elementar do processo de retirada dos mexilhões das cordas: a extração dos mexilhões. | | | |

Quadro 5.26 – Apresentação do módulo 16.

| | | | | |
|---|--|-------------------------|---|---|
| LEIAUTE PRELIMINAR |  | FUNÇÕES INCLUSAS | FE-3.1.1 Guiar corda de mexilhões | FE-3.2.1 Transportar mexilhões |
| | | |  |  |
| | | | Puxar co cabo + Canaleta | Gravidade |
| | | | FE-3.1.3 Coletar rede de nylon | |
| | | |  | |
| | | | Tambor + cabo | |
| O módulo 16 será responsável pela recepção dos mexilhões a serem introduzidos no sistema, agrupando-os em torno do sistema de agitação. | | | | |

Convém salientar que os desenhos elaborados para a ilustrar os módulos definidos durante esta etapa, apesar de terem sido feitos em ferramentas CAD, não definem a geometria do produto, tendo sido confeccionados sem preocupação com cotas, apenas combinando-se os princípios de solução incorporados a eles. No entanto, graças à confecção destes desenhos, pôde-se constatar a possibilidade de se agregar os módulos 14 e 16 em uma única estrutura, sendo sua viabilidade de combinação estudada durante o projeto preliminar do sistema modular para a mecanização do cultivo de mexilhões. Estes mesmos desenhos também foram utilizados na confecção de leiautes preliminares dos produtos, apresentados no tópico seguinte deste capítulo, concluindo-se as metas estabelecidas para o projeto conceitual do sistema modular.

5.5 Leiautes Preliminares dos Produtos

Do projeto conceitual do sistema modular para a mecanização do cultivo de mexilhões, dois grupos distintos de processos puderam ser determinados. No primeiro deles encontram-se os processos de desgranação, limpeza, seleção, limpeza refinada e retirada das conchas dos mexilhões, caracterizados pela elevada participação de suas funções elementares nos núcleos funcionais. Tal característica resultou em um grande compartilhamento de módulos entre os processos pertencentes a este grupo, facilmente perceptível nos leiautes preliminares ilustrados nas Figuras 5.12 a 5.16.

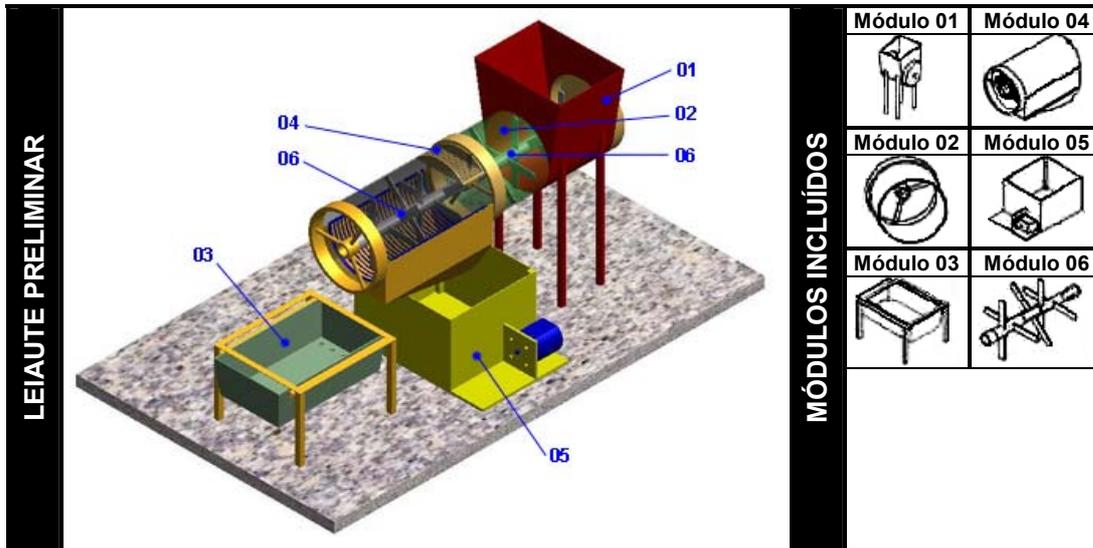


Figura 5.12 – Leiaute preliminar para o processo de desgranação dos mexilhões (FG-4).

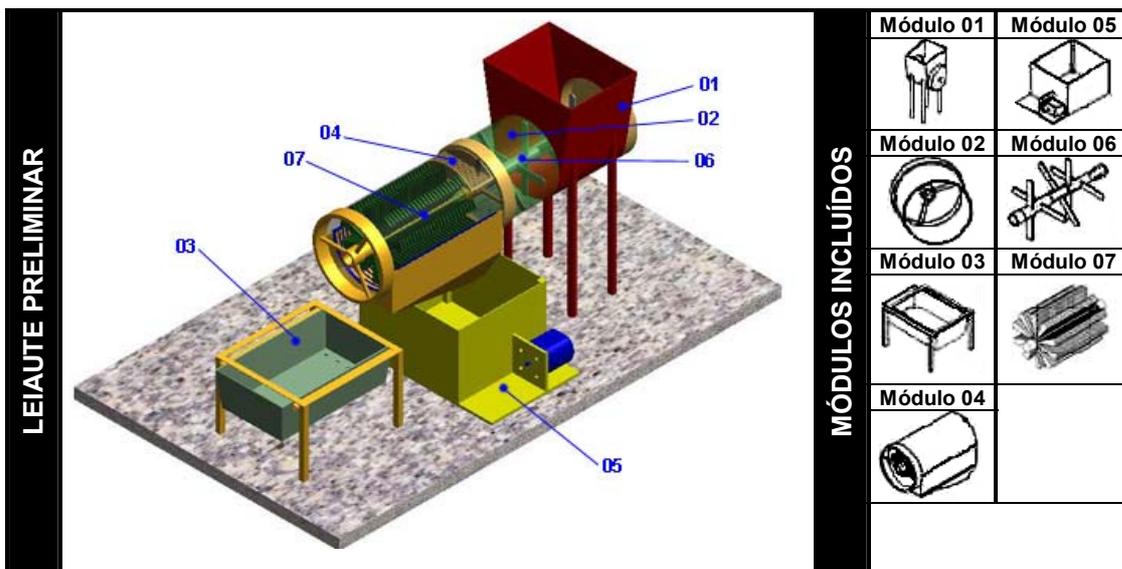


Figura 5.13 – Leiaute preliminar para o processo de limpeza dos mexilhões (FG-5).

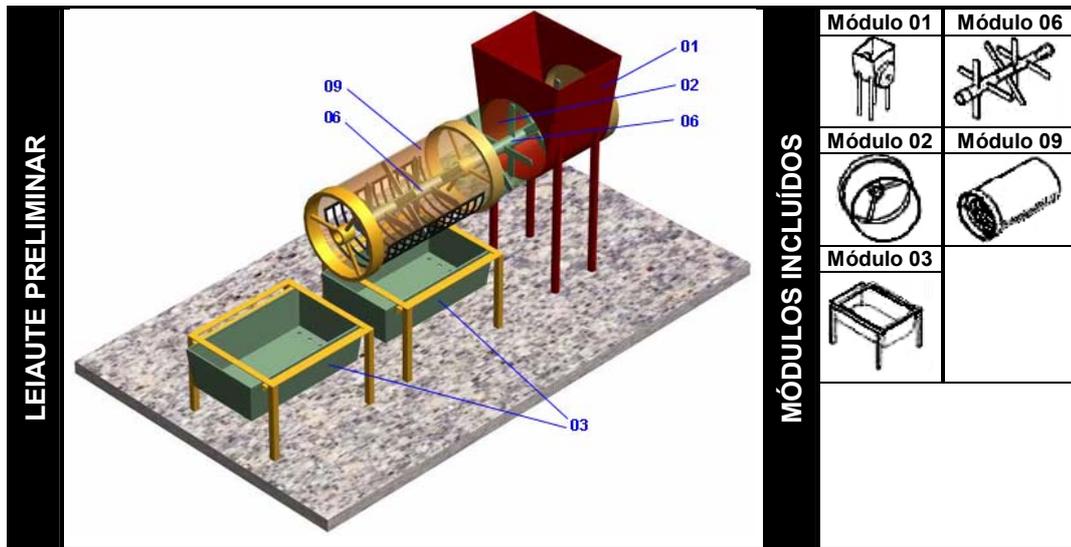


Figura 5.14 – Leiaute preliminar para o processo de seleção dos mexilhões (FG-6).

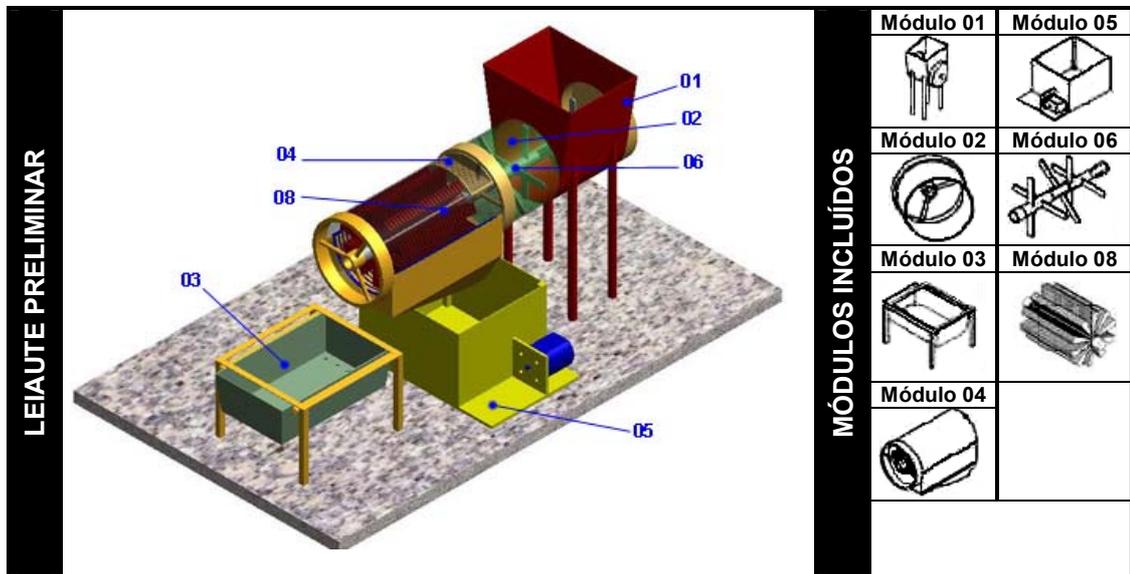


Figura 5.15– Leiaute preliminar para o processo de limpeza refinada dos mexilhões (FG-7).

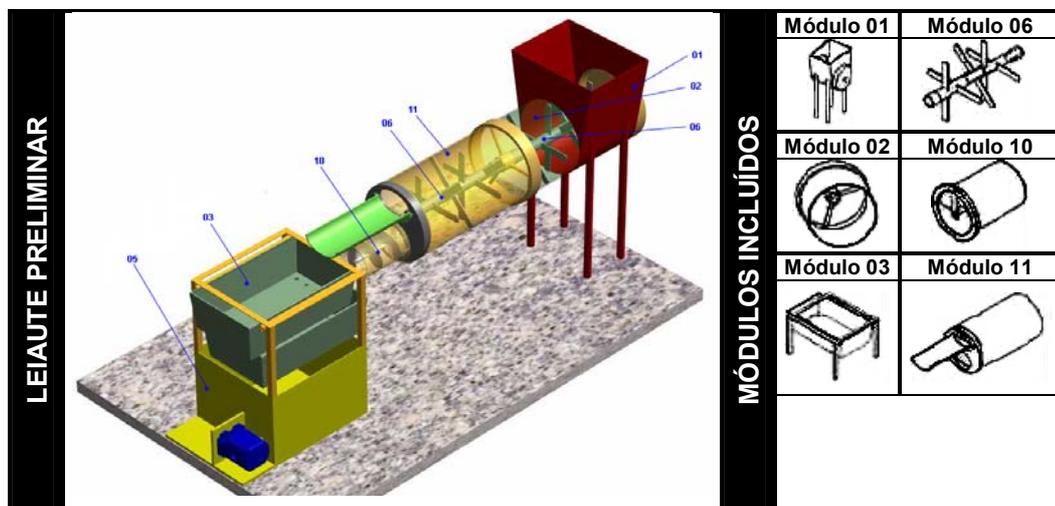


Figura 5.16 – Leiaute preliminar para o processo de retirada das conchas dos mexilhões (FG-8).

No segundo grupo estão inclusos os processos que não possuem funções compartilhadas nos núcleos funcionais: o encordoamento (FG-1), a retirada das cordas do cultivo (FG-2) e a remoção dos mexilhões das cordas, cujos leiautes preliminares são ilustrados nas Figuras 5.17 a 5.19. No entanto, conforme se observa no caso do processo de degradação, procurar-se-á viabilizar o uso do módulo 01 na montagem do conjunto para este processo. Já entre os processos de retirada das cordas do cultivo e remoção dos mexilhões nas cordas, o objetivo será a viabilização do uso de uma única estrutura entre estes processos, vislumbrada com a confecção dos leiautes aqui apresentados.

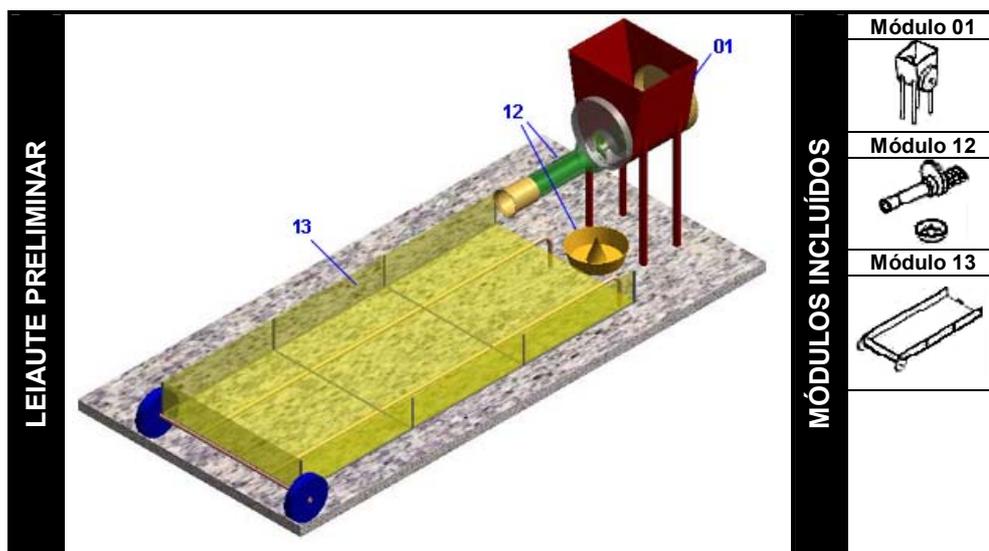


Figura 5.17 – Leiaute preliminar para o processo de encordoar mexilhões (FG-1).

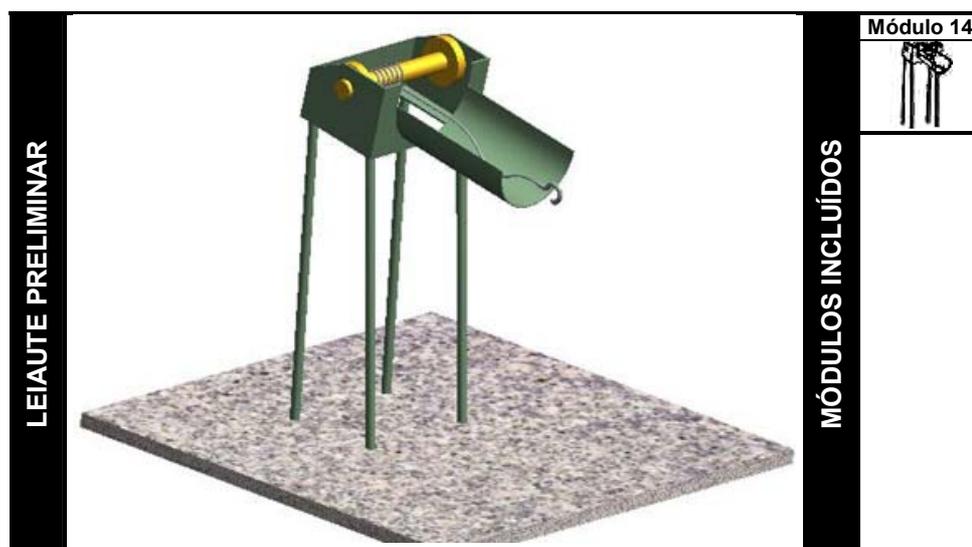


Figura 5.18 – Leiaute preliminar para o processo de retirada das cordas do cultivo (FG-2).

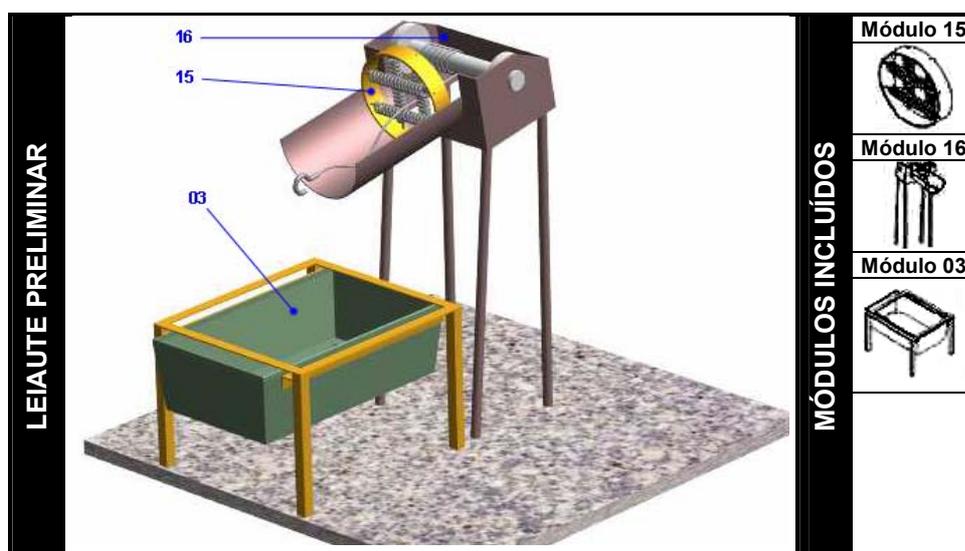


Figura 5.19 – Leiaute preliminar para o processo de remoção dos mexilhões das cordas (FG-3).

Dentre as configurações de produtos apresentadas, existem módulos que desempenham funções periféricas ou auxiliares, dos quais incluem-se o módulo 03, utilizado na coleta de mexilhões processados, o módulo 13, para a coleta de cordas de mexilhões, e o módulo 05, para armazenamento da água do sistema.

Com a definição dos leiautes preliminares, conclui-se o projeto conceitual do sistema modular para o cultivo de mexilhões.

5.6 Comentários Finais

Ao se concluir o projeto conceitual do sistema modular, tem-se definida a configuração dos módulos do sistema. A definição de módulos foi, em grande parte, proporcionada pelo processo de síntese funcional adotado, o qual, com base nas similaridades funcionais existentes entre os processos do cultivo de mexilhões estudados, veio facilitar a obtenção do melhor arranjo de funções a serem compartilhadas entre os módulos. Uma parte dos módulos também pôde ser definida através da Matriz Indicadora de Módulos de ERIXON ET AL. (1996), no entanto, sua aplicação poderia ter resultados distintos caso se tratasse de um reprojeto de produto, onde haveria informações mais precisas sobre o ciclo-de-vida do produto.

Para a confecção dos leiautes preliminares dos produtos fez-se necessário definir as funções desempenhadas pelo sistema, os princípios de soluções a serem adotados por estas funções e a distribuição destas funções em módulos, sendo este terceiro fator o principal elemento que diferencia o projeto modular de um projeto integral de um produto. No entanto, convém ressaltar que, apesar dos leiautes preliminares dos produtos já possuírem um esboço de sua forma, esta não é definitiva, e servirá apenas como base para

o projeto das interfaces de seus módulos e para a otimização de sua geometria. Os leiautes preliminares apresentados neste capítulo, juntamente às necessidades e especificações de projeto descritas no capítulo 04 e as estruturas funcionais modulares obtidas e alternativas de projeto selecionadas durante o projeto conceitual do sistema modular, formam a base para o desenvolvimento do projeto preliminar de produtos para a mecanização da cultura de mexilhões.



Projeto Preliminar e Detalhado do Sistema Modular para a Mecanização do Cultivo de Mexilhões

Neste capítulo tem-se a apresentação dos resultados obtidos do Projeto Preliminar, cujo objetivo é a obtenção de formas e materiais mais adequados ao leiaute preliminar do projeto, e de Projeto Detalhado, no qual são confeccionados os desenhos e a documentação técnica dos produtos. A decisão por unir este conteúdo em um único capítulo deve-se ao caráter altamente interativo evidenciado por estas duas fases, intensificado pelo uso de ferramentas CAD (*Computer Aided Design*), facilitando a execução simultânea de suas respectivas atividades.

O conteúdo deste capítulo foi dividido em três tópicos. No primeiro são abordados os resultados da fase de projeto preliminar, incluindo o projeto das interfaces e o dimensionamento dos módulos, com a definição de materiais, capacidades e aspectos ergonômicos. No segundo tópico é descrito o processo de projeto detalhado, no qual é confeccionada a documentação do projeto, dando-se uma especial atenção ao processo de codificação dos desenhos. Encerrando o processo de projeto dos produtos, são analisados os resultados destas fases, sendo avaliadas as principais características dos produtos desenvolvidos.

6.1 Projeto Preliminar do Sistema Modular

No projeto preliminar do sistema modular objetiva-se a determinação das formas e materiais a serem adotados pelos módulos que irão compor o sistema, o que implica na adoção de procedimentos para a seleção e otimização das propriedades mecânicas dos materiais, no dimensionamento das capacidades dos produtos, na observação de seus aspectos ergonômicos, na definição dos processos de manufatura a serem empregados e de vários outros aspectos técnicos. Entretanto, na metodologia adotada neste trabalho, é proposto que se dê início ao projeto preliminar do produto através de um estudo mais aprofundado das interfaces dos módulos, elemento considerado como crítico e fundamental

ao bom desempenho de um projeto modular, cuja importância já foi ressaltada por autores como HILLSTRÖN (1994) e ERIXON ET AL. (1996). Nos dois tópicos a seguir será apresentado, respectivamente, o estudo das interfaces entre os módulos, com a proposição de alternativas para sua implementação, e o dimensionamento do produto.

6.1.1 ETAPA 3.1 – Projeto das Interfaces

Os esforços de projeto, nesta etapa, se deram na determinação dos requisitos funcionais e de forma mais adequados às interfaces dos módulos definidos ao final da fase de Projeto Conceitual. Para tanto, fez-se uso de uma ferramenta denominada “Processo de Seleção de Interfaces” (ou PSI), proposta no Capítulo 3 deste trabalho, a qual divide-se em três tarefas distintas: o Levantamento e Análise das Interfaces Necessárias, a Procura por Princípios de Solução e a Geração e Classificação de Alternativas de Interface.

Da primeira tarefa do PSI obteve-se a matriz apresentada na Figura 6.1, a qual mapeia todas as funções desempenhadas entre as interfaces dos módulos do equipamento, incluindo os relacionamentos com a fonte de potência. Neste projeto, durante o levantamento e análise das interfaces necessárias, optou-se por utilizar apenas a informação proveniente das intersecções acima da diagonal principal da matriz. Tal qual já analisado no Capítulo 3, no tópico 3.2.3, tal alternativa fornece apenas informações relativas ao tipo de funções a serem desempenhadas pelas interfaces entre os módulos, excluindo-se informações sobre qual módulo as desempenhará, sendo as justificativas de tal decisão apresentadas a seguir:

- Por se tratar de uma arquitetura inovadora, não existiam produtos semelhantes que servissem como base para comparação, tornando impossível a determinação, em uma grande parte dos casos, dos módulos como portadores ou receptores das funções de interface a serem analisadas.
- A inexistência de um conhecimento mais profundo, no estágio atual do projeto, da geometria dos módulos, uma vez que somente existe um conceito.
- Considerou-se que o tempo demandado para procura de alternativas para suprir tais lacunas de informações seria demasiadamente longo.
- Avaliando-se o número de módulos obtidos na fase anterior, considerou-se viável o gerenciamento das informações sobre a portabilidade das funções de interface durante o transcorrer da etapa de dimensionamento dos módulos.

Algumas observações deve ser feitas quanto à matriz obtida:

1. Foram suprimidas as linhas referentes aos módulos 09, 11 e 13, por estas não apresentarem interações mapeadas.
2. Na intersecção entre as linhas referentes ao módulo 03 com sua respectiva coluna, são descritas necessidades de interface, sendo estas o resultado do interesse em se adotar

de sistemas de coleta separados de seus suportes, tal qual foi ilustrado no Capítulo 5 (Quadro 5.13), otimizando o processo de coleta de mexilhões. Uma opção, neste sentido, é o uso de caixas de pescado, já tidas como *commodities* pela comunidade pesqueira.

| Módulo | Funções | Módulos | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-------------------------------|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | FP |
| 01 | providenciar suporte | | ● | - | - | - | ● | ● | ● | - | - | - | ● | - | - | - | - | - | ● |
| | transmitir força | | - | - | - | - | ○ | - | - | - | - | ⊙ | - | - | - | - | - | - | ○ |
| | localizar o comp. na montagem | | ⊙ | - | - | - | ● | ● | ● | - | - | - | ● | - | - | - | - | - | ● |
| | loc. outros comp. na montagem | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | transmitir movimento | | - | - | - | - | ● | ● | ● | - | - | - | ● | - | - | - | - | - | ● |
| 02 | providenciar suporte | | | - | ● | - | ● | ● | ● | ● | - | ● | - | - | - | - | - | - | - |
| | transmitir força | | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | localizar o comp. na montagem | | | - | ● | - | ● | ● | ● | ● | - | ● | - | - | - | - | - | - | - |
| | loc. outros comp. na montagem | | | - | ● | - | ● | ● | ● | ● | - | ● | - | - | - | - | - | - | - |
| | transmitir movimento | | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 03 | providenciar suporte | | | ● | ⊙ | ⊙ | - | - | - | ⊙ | - | ⊙ | - | - | - | - | - | ⊙ | - |
| | transmitir força | | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | localizar o comp. na montagem | | | - | ● | ⊙ | - | - | - | - | - | ⊙ | - | - | - | - | - | ⊙ | - |
| | loc. outros comp. na montagem | | | - | - | - | - | - | - | ⊙ | ⊙ | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | transmitir movimento | | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 04 | providenciar suporte | | | | | ⊙ | ● | ● | ● | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | transmitir força | | | | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | localizar o comp. na montagem | | | | | ● | ● | ● | ● | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | loc. outros comp. na montagem | | | | | ⊙ | ● | ● | ● | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | transmitir movimento | | | | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 05 | providenciar suporte | | | | | | | | | | | ○ | - | - | - | - | - | - | ● |
| | transmitir força | | | | | | | | | | | - | - | - | - | - | - | - | ○ |
| | localizar o comp. na montagem | | | | | | | | | | | ⊙ | - | - | - | - | - | - | ● |
| | loc. outros comp. na montagem | | | | | | | | | | | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | transmitir movimento | | | | | | | | | | | - | - | - | - | - | - | - | ● |
| 06 | providenciar suporte | | | | | | | | | | | ● | ● | - | - | - | - | - | - |
| | transmitir força | | | | | | | | | | ○ | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | localizar o comp. na montagem | | | | | | | | | | | ● | ● | ● | - | - | - | - | - |
| | loc. outros comp. na montagem | | | | | | | | | | | ● | ● | ● | - | - | - | - | - |
| | transmitir movimento | | | | | | | | | | | ● | ● | ● | ⊙ | - | - | - | - |
| 07 | providenciar suporte | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | transmitir força | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | localizar o comp. na montagem | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | loc. outros comp. na montagem | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | transmitir movimento | | | | | | | | | | | ● | ● | - | - | - | - | - | - |
| 08 | providenciar suporte | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | transmitir força | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | localizar o comp. na montagem | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | loc. outros comp. na montagem | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | transmitir movimento | | | | | | | | | | | | ● | - | - | - | - | - | - |
| 10 | providenciar suporte | | | | | | | | | | | | ● | - | - | - | - | - | - |
| | transmitir força | | | | | | | | | | | | - | - | - | - | - | - | - |
| | localizar o comp. na montagem | | | | | | | | | | | | ● | - | - | - | - | - | - |
| | loc. outros comp. na montagem | | | | | | | | | | | | ● | - | - | - | - | - | - |
| | transmitir movimento | | | | | | | | | | | | - | - | - | - | - | - | - |
| 12 | providenciar suporte | | | | | | | | | | | | | ○ | - | - | - | - | - |
| | transmitir força | | | | | | | | | | | | | - | - | - | - | - | - |
| | localizar o comp. na montagem | | | | | | | | | | | | | ● | - | - | - | - | - |
| | loc. outros comp. na montagem | | | | | | | | | | | | | - | - | - | - | - | - |
| | transmitir movimento | | | | | | | | | | | | | - | - | - | - | - | - |

Legenda: relacionamentos ● – forte; ⊙ – médio; ○ – fraco; FP – fonte de potência.

Figura 6.1 – Matriz para determinação das necessidades das interfaces.

| Módulo | Funções | Módulos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-------------------------------|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|
| | | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | FP | | | |
| 14 | providenciar suporte | | | | | | | | | | | | | | | | - | - | - | ● | | |
| | transmitir força | | | | | | | | | | | | | | | | - | - | - | ● | | |
| | localizar o comp. na montagem | | | | | | | | | | | | | | | | - | - | - | ● | | |
| | loc. outros comp. na montagem | | | | | | | | | | | | | | | | - | - | - | - | | |
| | transmitir movimento | | | | | | | | | | | | | | | | - | - | - | ● | | |
| 15 | providenciar suporte | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | - | - |
| | transmitir força | | | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - | - |
| | localizar o comp. na montagem | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | - | - |
| | loc. outros comp. na montagem | | | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - | - |
| | transmitir movimento | | | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - | - |
| 16 | providenciar suporte | | | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - | ● |
| | transmitir força | | | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - | ● |
| | localizar o comp. na montagem | | | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - | ● |
| | loc. outros comp. na montagem | | | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - | - |
| | transmitir movimento | | | | | | | | | | | | | | | | | | | - | - | ● |

Legenda: relacionamentos ● – forte; ◎ – médio; ○ – fraco; FP – fonte de potência.

Figura 6.1 (continuação) – Matriz para determinação das necessidades das interfaces.

- Nos módulos 06, 07 e 08 também são descritas necessidades de interface entre os próprios módulos. Neste caso, as razões para tanto recaem na existência repetições destes módulos para a obtenção de certas configurações de produtos (por exemplo, no processo de desgranação de mexilhões ou na retirada das conchas dos mexilhões).
- Do mapeamento das interfaces nota-se uma característica interessante: módulos semelhantes como o 04, o 09 e o 11, todos com interface com o módulo 02, apresentaram idênticas funções a serem desempenhadas. Tal similaridade geométrica e funcional, também presente entre diversos outros módulos, permitiu uma proposição conjunta das alternativas de interface, fato este que influi positivamente na simplificação do projeto, uma vez que permite, em uma única análise, a seleção de interfaces padronizadas para módulos distintos.

Para cada umas das funções desempenhadas pelas interfaces, levantaram-se princípios de solução que pudessem vir a atender às necessidades de projeto, sendo estes listados na Tabela 6.1. Agregando-se as informações obtidas para as necessidades de interfaces com os princípios de solução propostos, diversas alternativas de projeto puderam ser propostas, as quais são apresentadas nas Figuras 6.2 a 6.19. As alternativas mostradas neste trabalho correspondem somente àquelas cuja possibilidade de implementação foi considerada tecnicamente viável. Tal fato acaba por restringir, em certos casos, o princípio de solução a ser empregado, como se pode observar nas Figuras 6.4 ou 6.18.

Tabela 6.1 – Princípios de solução levantados para as interfaces entre os módulos para os produtos para o cultivo de mexilhões – Matriz Morfológica.

| Função | Princípios de Solução | | | | | |
|---|-----------------------|--------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------|
| Providenciar suporte | | | | | | |
| | Pés | Presilha | Pino-rasgo | Pino-furo | Braçadeira | Flanges |
| | | | | | | |
| | Tampa c/ mancal | Parafuso/borboleta | Conexão trava excêntrica | Fixação com parafuso/porca | Suporte incorporado | Rosca |
| | | | | | | |
| | Interferência | "Leito" | Mancal | Mancal fixo | Tirantes | Suporte guia |
| | | | | | | |
| Suporte | Barramento | Encaixe rápido | | | | |
| Transmitir força / Transmitir movimento | | | | | | |
| | Flanges | Chaveta | Engrenagens | Acoplamento | Eixo com estrias | Embreagem |
| | | | | | | |
| | Interferência | Polias | Atrito | Rosca | Engate rápido | |
| Localizar o componente na montagem / Providenciar localização para outros componentes na montagem | | | | | | |
| | Mancal fixo | Mancal | Tampa c/ mancal | Geometria diferenciada | Encaixe por interferência | Limitadores |
| | | | | | | |
| | Suporte-guia | Sinalização | Conicidade | Guias | Pino-furo | Furação |
| | | | | | | |
| Suporte | Rosca | | | | | |

| Módulo | Funções | Módulo | | Alternativas | | | | | |
|--------|---|--------|-------|--------------|----|----|----|----|----|
| | | 02 | 12 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 |
| 01 | Providenciar suporte | ● | ● | | | | | | |
| | Transmitir força (Transmitir movimento) | - | ⊙ (●) | | | | | | |
| | Localizar compon. na montagem | ⊙ | ● | | | | | | |

Figura 6.2 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre o módulo 01 e os módulos 02 e 12.

| Módulos | Funções | Módulos | | | Alternativas | | | | |
|---------|---|---------|----|----|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | 06 | 07 | 08 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 |
| 01 | Providenciar suporte | ● | ● | ● | | | | | |
| | | | | | Tampa c/ mancal | Tampa c/ mancal | Tampa c/ mancal | Tampa c/ mancal | Tampa c/ mancal |
| | Localizar compon. na montagem | ● | ● | ● | | | | | |
| | | | | | Tampa c/ mancal | Tampa c/ mancal | Tampa c/ mancal | Tampa c/ mancal | Tampa c/ mancal |
| | Transmitir movimento (Transmitir força) | ● (○) | ● | ● | | | | | |
| | | | | | Chaveta | Eixo com estrias | Rosca | Flanges | Engate rápido |

Figura 6.3 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre o módulo 01 e os módulos 06, 07 e 08.

| Módulo | Funções | FP | Módulo | | | | | | | | |
|----------|---|-------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-----------|---------------|------------------|-----------|---------------|
| | | | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 |
| 01 05 | Providenciar suporte | ● | | | | | | | | | |
| | | | Suporte incorpor. | Suporte incorpor. | Suporte incorpor. | Flanges | Flanges | Flanges | Pino-furo | Pino-furo | Pino-furo |
| | Transmitir força (Transmitir movimento) | ○ (●) | | | | | | | | | |
| | | | Eixo com estrias | Rosca | Luva-acoplam. | Eixo com estrias | Rosca | Luva-acoplam. | Eixo com estrias | Rosca | Luva-acoplam. |
| | Localizar compon. na montagem | ● | | | | | | | | | |
| | | | Pino-furo | Pino-furo | Pino-furo | Pino-furo | Pino-furo | Pino-furo | Pino-furo | Pino-furo | Pino-furo |

Figura 6.4 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre o módulo 01 e o módulo de Fonte de Potência do sistema.

| Módulo | Funções | Módulo | | | Alternativas | | | | | | |
|--------|-----------------------------------|--------|----|----|--------------|----------------|-----------|--------|--------------------|---------------------------|---------|
| | | 04 | 09 | 11 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 |
| 02 | Providenciar suporte | ● | ● | ● | | | | | | | |
| | | | | | Presilha | Encaixe rápido | Pino-furo | Mancal | Parafuso/borboleta | Braçadeira | Flanges |
| | Localizar compon. na montagem | ● | ● | ● | | | | | | | |
| | | | | | Presilha | Encaixe rápido | Pino-furo | Mancal | Parafuso/borboleta | Encaixe por interferência | Flanges |
| | Local. outros compon. na montagem | ● | ● | ● | | | | | | | |
| | | | | | Mancal | Mancal | Mancal | Mancal | Mancal | Mancal | Mancal |

Figura 6.5 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre o módulo 02 e os módulos 04, 09 e 11.

| Módulos | Funções | Módulos | | | Alternativas | |
|----------------------|-----------------------------------|---------|----|----|--|---|
| | | 06 | 07 | 08 | 01 | 02 |
| 02 04 09 11 | Providenciar suporte | ● | ● | ● |  |  |
| | | | | | Mancal fixo | Mancal |
| | Localizar compon. na montagem | ● | ● | ● |  |  |
| | | | | | Mancal fixo | Mancal |
| | Local. outros compon. na montagem | ● | ● | ● |  |  |
| | | | | | Mancal fixo | Mancal |

Figura 6.6 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre os módulos 02, 04 e os módulos 06, 07 e 08 e entre os módulos 09 e 11 e o módulo 06.

| Módulo | Funções | Módulo | Alternativas | | |
|--------|----------------------|--------|---|---|---|
| | | 03 | 01 | 02 | 03 |
| 03 | Providenciar suporte | ● |  |  |  |
| | | | Pés | Suporte | Suporte guia |

Figura 6.7 – Alternativas de interface para a função identificada no módulo 03 (devido ao uso de bandejas removíveis).

| Módulo | Funções | Módulos | | | Alternativas | |
|--------|-----------------------------------|---------|----|----|---|---|
| | | 04 | 09 | 11 | 01 | 02 |
| 03 | Providenciar suporte | ⊙ | ⊙ | ⊙ |  |  |
| | | | | | Suporte guia | Pés |
| | Localizar compon. na montagem | ● | ● | ⊙ |  |  |
| | | | | | Suporte guia | Limitadores |
| | Local. outros compon. na montagem | ● | ⊙ | |  |  |
| | | | | | Suporte guia | Limitadores |

Figura 6.8 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre o módulo 03 e os módulos 04, 09 e 11.

| Módulos | Funções | Módulos | Alternativas | | | |
|---------|-------------------------------|---------|---|---|---|---|
| | | 05 | 01 | 02 | 03 | 04 |
| 03 | Providenciar suporte | ⊙ |  |  |  |  |
| | | | Pino-furo | Suporte | Encaixe rápido | Suporte |
| | Localizar compon. na montagem | ⊙ |  |  |  |  |
| | | | Pino-furo | Pino-furo | Geometria diferenciada | Limitadores |

Figura 6.9 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre o módulo 03 e o módulo 05.

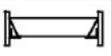
| Módulos | Funções | Módulo | Alternativas | |
|---------|-----------------------------------|--------|---|--|
| | | 10 | 01 | 03 |
| 03 | Local. outros compon. na montagem | ☉ |  |  |
| | | | Limitadores | Suporte guia |

Figura 6.10 – Alternativas de interface para a função identificada entre o módulo 03 e o módulo 10.

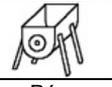
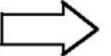
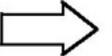
| Módulos | Funções | Módulo | Alternativas | | | |
|---------|-------------------------------|--------------|---|---|--|---|
| | | 16 | 01 | 02 | 03 | 04 |
| 03 | Providenciar suporte | ☉ |  |  |  |  |
| | Suporte guia | Suporte guia | Suporte | Pés | | |
| 03 | Localizar compon. na montagem | ☉ |  |  |  |  |
| | Limitadores | Suporte guia | Sinalização | Sinalização | | |

Figura 6.11 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre o módulo 03 e o módulo 16.

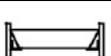
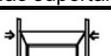
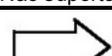
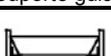
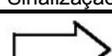
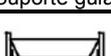
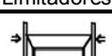
| Módulos | Funções | Módulo | Alternativas | | | |
|---------|-----------------------------------|--------------|---|---|--|---|
| | | 05 | 01 | 02 | 03 | 04 |
| 04 | Providenciar suporte | ☉ |  |  |  |  |
| | Não suportar | Não suportar | Suporte guia | Pés | | |
| 04 | Localizar compon. na montagem | ● |  |  |  |  |
| | Limitadores | Sinalização | Suporte guia | Limitadores | | |
| 04 | Local. outros compon. na montagem | ☉ |  |  |  |  |
| | Não localizar | Sinalização | Suporte guia | Limitadores | | |

Figura 6.12 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre o módulo 04 e o módulo 05.

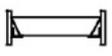
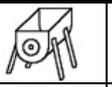
| Módulos | Funções | Módulo | Alternativas | | |
|---------|-------------------------------|-------------|---|---|---|
| | | 11 | 01 | 02 | 03 |
| 05 | Providenciar suporte | ○ |  |  |  |
| | Suporte guia | Pés | Não suportar | | |
| 05 | Localizar compon. na montagem | ☉ |  |  |  |
| | Suporte guia | Limitadores | Limitadores | | |

Figura 6.13 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre o módulo 05 e o módulo 11.

| Módulos | Funções | Módulos | | | Alternativas | | | | | |
|----------------|---|---------|----|----|------------------|---------|---------|---------------|-------------|-------|
| | | 06 | 07 | 08 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 |
| 06 07 08 | Transmitir movimento (Transmitir força) | ● | ● | ● | | | | | | |
| | | (○) | ● | ● | Eixo com estrias | Flanges | Chaveta | Interferência | Acoplamento | Rosca |

Figura 6.14 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre os módulos 06, 07 e 08.

| Módulos | Funções | Módulo | Alternativas | | |
|---------|---|----------|-----------------|-----------------|---------|
| | | 10 | 01 | 02 | 03 |
| 06 | Transmitir força (Transmitir movimento) | ⊙ (⊙) | | | |
| | Localizar compon. na montagem | ● | | | |
| | | | Tampa c/ mancal | Tampa c/ mancal | Furação |

Figura 6.15 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre o módulo 06 e o módulo 10.

| Módulos | Funções | Módulo | Alternativas | | | | | |
|---------|-----------------------------------|--------|--------------|----------------------------|----------------------------|-------------|--------------|--------------|
| | | 11 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 |
| 10 | Providenciar suporte | ● | | | | | | |
| | Localizar compon. na montagem | ● | | | | | | |
| | Local. outros compon. na montagem | ● | | | | | | |
| | | | Rosca | Fixação com parafuso/porca | Fixação com parafuso/porca | Pino rasgo | Rosca | Flanges |
| | | | Rosca | Pino-furo | Furação | Pino rasgo | Rosca | Flanges |
| | | | Limitadores | Limitadores | Limitadores | Limitadores | Suporte guia | Suporte guia |

Figura 6.16 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre o módulo 10 e o módulo 11.

| Módulos | Funções | Módulo | Alternativas | | |
|---------|-------------------------------|--------|--------------|--------------|-------------|
| | | 13 | 01 | 02 | 03 |
| 12 | Providenciar suporte | ○ | | | |
| | Localizar compon. na montagem | ● | | | |
| | | | Não suportar | Não suportar | Suporte |
| | | | Limitadores | Sinalização | Limitadores |

Figura 6.17 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre o módulo 12 e o módulo 13.

| Módulos | Funções | Módulo | Alternativas | | | | | | |
|----------|---|----------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | FP | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 |
| 14 16 | Providenciar suporte | ● | | | | | | | |
| | | | Suporte incorp. | Suporte incorp. | Suporte incorp. | Suporte incorp. | Suporte incorp. | Suporte incorp. | Suporte incorp. |
| | Transmitir força (Transmitir movimento) | ● (●) | | | | | | | |
| | | | Eixo com estrias | Flanges | Chaveta | Engrenag. | Interferência | Flanges | Acoplamento |
| | Localizar compon. na montagem | ● | | | | | | | |
| | | | Furação | Furação | Furação | Furação | Furação | Furação | Furação |

Figura 6.18 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre os módulos 14 e 16 e a Fonte de Potência (FP) do sistema.

| Módulos | Funções | Módulo | Alternativas | | | | |
|---------|-------------------------------|--------|--------------|---------|----------------|------------|-----------|
| | | 16 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 |
| 15 | Providenciar suporte | ● | | | | | |
| | | | Presilha | "Leito" | Encaixe rápido | Braçadeira | Pino furo |
| | Localizar compon. na montagem | ● | | | | | |
| | | | Presilha | "Leito" | Encaixe rápido | Braçadeira | Pino furo |

Figura 6.19 – Alternativas de interface para as funções identificadas entre o módulo 15 e o módulo 16.

Finalizando o Processo de Seleção de Interfaces, procedeu-se à classificação das alternativas de interfaces propostas através de Matrizes de PUGH (1991). Como elemento de comparação, utilizou-se uma série de requisitos técnicos necessários às interfaces, listados na Tabela 6.2, sendo atribuído a cada um valor de importância, estimado com base nas informações do projeto. Os resultados são ilustrados nas Figuras 6.20 a 6.23, sendo realçadas em cinza as alternativas de interface melhores classificadas.

Tabela 6.2 – Propostas de requisitos técnicos a serem contemplados pelas interfaces.

| Requisitos | Descrição |
|--------------------------------------|---|
| Estanqueidade | Não permitir vazamentos |
| Intercambialidade | Facilidade em substituir módulos em uma mesma interface |
| Montabilidade | Facilidade de montagem do módulo (manuseio, localização, etc.) |
| Desmontabilidade | Facilidade de desmontagem do módulo (liberação e manuseio) |
| Geometria | Importância em não serem efetuadas adaptações geométricas nos módulos para a implementação da interface (custos, facilidade de fabricação, etc.) |
| Material | Adequação do material a ser empregado na interface ao produto |
| Forças, energias e movimentos | Eficiência na passagem destas variáveis pela interface (perdas) |
| Produção | Aspectos fabris (fabricação, montagem, transporte, etc.) |
| Segurança e ergonomia | Preservação da saúde do operador do equipamento |
| Custo | Necessidade em se minimizar o custo |
| Manutenção | Importância em se reduzir sua periodicidade e necessidade |

| | | Avaliação das Interfaces entre os módulos: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------|--|----|----|----|----|----|-------------------------------|----|----|-----|----|-------------------------------|----|----|----|----|----|---|----|----|
| | | 01 / 02-12 (Figura 6.2) | | | | | | 01 / 06-07-08 (Figura 6.3) | | | | | 02 / 04-09-11 (Figura 6.5) | | | | | | 02-04-09-11 / 06-07-08 (Figura 6.6) | | |
| | | Alternativas | | | | | | Alternativas | | | | | Alternativas | | | | | | Alternativas | | |
| Requisitos | Pesos | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 01 | 02 |
| Estanqueidade | 4 | 0 | 1 | R | 0 | 0 | 2 | 0 | R | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | 0 | R | -1 | 1 | 0 | R | 0 |
| Intercambiabilidade | 4 | 0 | 0 | E | 0 | 0 | 0 | 1 | E | 2 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | E | 1 | 1 | -1 | E | 0 |
| Montabilidade | 4 | 2 | -1 | F | 1 | 1 | 1 | -1 | F | 1 | -1 | 2 | 2 | 2 | 1 | F | 1 | 0 | 0 | F | -1 |
| Desmontabilidade | 4 | 2 | 0 | E | 1 | 1 | 1 | 0 | E | 0 | -1 | 1 | 2 | 1 | 0 | E | 1 | 0 | 0 | E | 1 |
| Geometria | 5 | 1 | -1 | R | 1 | 1 | -2 | 0 | R | 0 | -1 | 0 | -1 | -1 | -1 | R | -1 | 0 | -2 | R | 1 |
| Material | 4 | 0 | 0 | Ê | 0 | 0 | 0 | 0 | Ê | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Ê | 0 | 0 | 0 | Ê | 0 |
| Forças, energias e movimentos | 2 | 0 | 0 | N | 0 | 0 | 0 | 0 | N | 0 | 0 | -2 | 0 | 0 | 0 | N | 0 | 0 | 0 | N | 0 |
| Produção | 4 | 0 | 0 | C | 0 | 0 | -1 | 1 | C | 2 | -1 | -2 | 1 | 1 | -1 | C | 1 | -1 | -2 | C | -1 |
| Segurança e ergonomia | 4 | -1 | 1 | I | -1 | -1 | 1 | 0 | I | 0 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | I | -1 | 0 | 1 | I | -1 |
| Custo | 5 | 0 | -1 | A | 0 | 0 | -1 | 2 | A | 1 | 0 | -1 | 1 | 1 | 2 | A | 1 | 1 | 0 | A | -1 |
| Manutenção | 3 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | | 0 |
| $\Sigma (+)$ | | 5 | 2 | 0 | 3 | 3 | 5 | 4 | 0 | 6 | 1 | 6 | 7 | 5 | 4 | 0 | 5 | 3 | 1 | 0 | 2 |
| $\Sigma (-)$ | | -1 | -3 | 0 | -1 | -1 | -4 | -1 | 0 | 0 | -5 | -5 | -3 | -3 | -2 | 0 | -3 | -1 | -5 | 0 | -4 |
| Σ | | 4 | -1 | 0 | 2 | 2 | 1 | 3 | 0 | 6 | -4 | 1 | 4 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | -4 | 0 | -2 |
| Σ com pesos | | 17 | -6 | 0 | 9 | 9 | 1 | 14 | 0 | 25 | -17 | 7 | 16 | 8 | 9 | 0 | 8 | 9 | -18 | 0 | -8 |

Figura 6.20 – Matriz de PUGH (1991) aplicada à seleção de alternativas de interface.

| | | Avaliação das Interfaces entre os módulos: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------|--|----|----|-------------------------------|----|----|-------------------------|-----|----|----|--------------------------|----|--------------------------|----|----|----|--------------------------|----|----|--|
| | | 03 / 03 (Figura 6.7) | | | 03 / 04-09-11 (Figura 6.8) | | | 03 / 05 (Figura 6.9) | | | | 03 / 10 (Figura 6.10) | | 03 / 16 (Figura 6.11) | | | | 04 / 05 (Figura 6.12) | | | |
| | | Alternativas | | | Alternativas | | | Alternativas | | | | Alternativas | | Alternativas | | | | Alternativas | | | |
| Requisitos | Pesos | 01 | 02 | 03 | 01 | 02 | 01 | 02 | 03 | 04 | 01 | 02 | 01 | 02 | 03 | 04 | 01 | 02 | 03 | 04 | |
| Estanqueidade | 4 | 0 | R | 0 | R | 0 | 0 | R | 0 | 0 | 0 | R | 0 | R | 0 | 0 | 0 | 0 | R | 0 | |
| Intercambiabilidade | 4 | 0 | E | 1 | E | 0 | 0 | E | 0 | 0 | 0 | E | 0 | E | 0 | 0 | 0 | 0 | E | 0 | |
| Montabilidade | 4 | 0 | F | 1 | F | -1 | 1 | F | 1 | 0 | 0 | F | 0 | F | 1 | 2 | 2 | 1 | F | 1 | |
| Desmontabilidade | 4 | 0 | E | 1 | E | -1 | 0 | E | -1 | 0 | 0 | E | 0 | E | 1 | 2 | 1 | 2 | E | 1 | |
| Geometria | 5 | -1 | R | -1 | R | 1 | 0 | R | -1 | 0 | 1 | R | 0 | R | 1 | 0 | 2 | 2 | R | 1 | |
| Material | 4 | 0 | Ê | 0 | Ê | 0 | 0 | Ê | 0 | 0 | 0 | Ê | 0 | Ê | 0 | 0 | 0 | 0 | Ê | 0 | |
| Forças, energias e movimentos | 2 | 0 | N | 0 | N | 0 | 0 | N | 0 | 0 | 0 | N | 0 | N | 0 | 0 | 0 | 0 | N | 0 | |
| Produção | 4 | 0 | C | 0 | C | 1 | 0 | C | -1 | 0 | 1 | C | 0 | C | 1 | -1 | 2 | 2 | C | 1 | |
| Segurança e ergonomia | 4 | 0 | I | 1 | I | 0 | 0 | I | 1 | 0 | 0 | I | 0 | I | 0 | 0 | 1 | -1 | I | 1 | |
| Custo | 5 | 0 | A | 0 | A | 1 | 1 | A | -1 | 0 | 1 | A | 0 | A | 1 | 0 | 1 | 2 | A | 1 | |
| Manutenção | 3 | 0 | | 0 | | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | |
| $\Sigma (+)$ | | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 5 | 4 | 9 | 9 | 0 | 6 | |
| $\Sigma (-)$ | | 0 | 0 | 0 | 0 | -2 | 0 | 0 | -4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | -1 | 0 | 0 | |
| Σ | | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | -2 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 5 | 3 | 9 | 8 | 0 | 6 | |
| Σ com pesos | | -5 | 0 | 11 | 0 | 6 | 9 | 0 | -10 | 0 | 14 | 0 | 0 | 0 | 22 | 12 | 39 | 36 | 0 | 26 | |

Figura 6.21 – Matriz de PUGH (1991) aplicada à seleção de alternativas de interface.

| Avaliação das Interfaces entre os módulos: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|--------------------------|----|----|--------------------------------------|-----|----|-----|-----|----|--------------------------|----|----|--------------------------|----|----|----|----|-----|--------------------------|----|-----|
| | | 05 / 11 (Figura 6.13) | | | 06-07-08 / 06-07-08 (Figura 6.14) | | | | | | 06 / 10 (Figura 6.15) | | | 10 / 11 (Figura 6.16) | | | | | | 12 / 13 (Figura 6.17) | | |
| | | Alternativas | | | Alternativas | | | | | | Alternativas | | | Alternativas | | | | | | Alternativas | | |
| Requisitos | Pesos | 01 | 02 | 03 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 01 | 02 | 03 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 01 | 02 | 03 |
| Estanqueidade | 4 | R | 0 | 0 | R | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | R | 0 | 0 | 0 | R | -1 | 0 | 0 | R | 0 | 0 |
| Intercambiabilidade | 4 | E | 0 | 0 | E | -1 | -1 | -2 | 1 | 1 | 1 | E | 0 | 0 | 0 | E | 0 | 0 | 0 | E | 0 | 0 |
| Montabilidade | 4 | F | 1 | 1 | F | -1 | -1 | -2 | 1 | 1 | -1 | F | -1 | 1 | -1 | F | 1 | 1 | 0 | F | -1 | -2 |
| Desmontabilidade | 4 | E | 1 | 1 | E | -2 | -1 | -1 | 0 | 0 | -1 | E | -1 | 1 | -1 | E | 1 | 1 | 0 | E | 0 | 0 |
| Geometria | 5 | R | 1 | 1 | R | -1 | 0 | 0 | -1 | 1 | 0 | R | 0 | 0 | 0 | R | -1 | 0 | -2 | R | 1 | -1 |
| Material | 4 | E | 0 | 0 | E | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | E | 0 | 0 | 0 | E | 0 | 0 | 0 | E | 0 | 0 |
| Forças, energias e movimentos | 2 | N | 0 | 0 | N | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | -1 | N | 0 | 0 | 0 | N | 0 | 0 | 0 | N | 0 | 0 |
| Produção | 4 | C | 1 | 2 | C | 0 | 1 | 1 | -2 | 2 | 1 | C | 0 | 2 | 0 | C | -1 | 1 | -1 | C | 1 | -1 |
| Segurança e ergonomia | 4 | I | 1 | 1 | I | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | I | 0 | 0 | 0 | I | -1 | 0 | 0 | I | -1 | 1 |
| Custo | 5 | A | 1 | 2 | A | 0 | 0 | 1 | -1 | 2 | 1 | A | 0 | 0 | 0 | A | 0 | 0 | -1 | A | 1 | -1 |
| Manutenção | 3 | | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| $\Sigma (+)$ | | 0 | 6 | 8 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 7 | 3 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 2 | 3 | 0 | 0 | 3 | 1 |
| $\Sigma (-)$ | | 0 | 0 | 0 | 0 | -5 | -3 | -5 | -5 | 0 | -4 | 0 | -2 | 0 | -2 | 0 | -4 | 0 | -4 | 0 | -2 | -5 |
| Σ | | 0 | 6 | 8 | 0 | -5 | -2 | -3 | -3 | 7 | -1 | 0 | -2 | 4 | -2 | 0 | -2 | 3 | -4 | 0 | 1 | -4 |
| Σ com pesos | | 0 | 26 | 35 | 0 | -21 | -8 | -11 | -12 | 31 | -1 | 0 | -8 | 16 | -8 | 0 | -9 | 12 | -19 | 0 | 6 | -18 |

Figura 6.22 – Matriz de PUGH (1991) aplicada à seleção de alternativas de interface.

| Avaliação das Interfaces entre os módulos: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|--------------------------|----|----|----|----|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|-----------------------------|----|-----|----|-----|----|----|-----|
| | | 15 / 16 (Figura 6.19) | | | | | 01-05 / FP (Figura 6.4) | | | | | | | | 14-16 / FP (Figura 6.18) | | | | | | | |
| | | Alternativas | | | | | Alternativas | | | | | | | | Alternativas | | | | | | | |
| Requisitos | Pesos | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 |
| Estanqueidade | 4 | 0 | R | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | R | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | 0 | 0 | R | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Intercambiabilidade | 4 | 0 | E | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | E | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | E | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Montabilidade | 4 | -1 | F | 0 | -1 | 0 | 1 | 1 | 2 | F | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | F | 0 | 0 | 1 | 2 |
| Desmontabilidade | 4 | -1 | E | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 1 | E | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | E | 0 | -1 | 1 | 2 |
| Geometria | 5 | 0 | R | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | R | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | R | -2 | 0 | 1 | -2 | |
| Material | 4 | 0 | E | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | E | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | E | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Forças, energias e movimentos | 2 | 0 | N | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | N | 0 | -1 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | N | 0 | 0 | 0 | -1 |
| Produção | 4 | 1 | C | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | C | 1 | 0 | 1 | 2 | 1 | -1 | -1 | C | -2 | 1 | 2 | -2 |
| Segurança e ergonomia | 4 | 1 | I | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | I | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | I | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Custo | 5 | 0 | A | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | A | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | -1 | -1 | A | -2 | 1 | 1 | -2 |
| Manutenção | 3 | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $\Sigma (+)$ | | 2 | 0 | 2 | 4 | 1 | 2 | 4 | 5 | 0 | 2 | 3 | 1 | 3 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 6 | 4 |
| $\Sigma (-)$ | | -2 | 0 | -1 | -2 | -1 | -1 | -1 | -2 | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | -2 | -3 | -3 | 0 | -6 | -1 | 0 | -7 |
| Σ | | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 1 | 3 | 3 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | -1 | -3 | 0 | -6 | 1 | 6 | -3 |
| Σ com pesos | | 0 | 0 | 4 | 9 | -1 | 3 | 12 | 13 | 0 | 9 | 10 | 0 | 9 | 10 | -6 | -14 | 0 | -28 | 5 | 26 | -14 |

Figura 6.23 – Matriz de PUGH (1991) aplicada à seleção de alternativas de interface.

A consistência dos resultados obtidos da aplicação do PSI pôde ser constatada durante a etapa de dimensionamento dos módulos, onde se observou que as alternativas de interface propostas foram, em sua totalidade, empregadas no projeto dos módulos. Um exemplo dos benefícios advindos da aplicação desta ferramenta pode ser visto na Figura 6.20, onde os resultados da Matriz de Pugh para as alternativas de interfaces entre os módulos 01/02-12 e 02/04-09-11, cuja geometria apresenta semelhanças, apontaram em

ambos os casos o uso de “presilhas” como princípio de solução para providenciar suporte. Tal fato somente reforça a coerência dos resultados apresentados, demonstrando o potencial do PSI como ferramenta de tomada de decisão em projeto de produtos modulares.

6.1.2 ETAPA 3.2 – Dimensionamento dos Módulos

Durante o dimensionamento dos módulos procurou-se adequar os conceitos dos produtos, desenvolvidos na fase anterior do projeto, com as especificações de projeto, determinadas ao final do projeto informacional do sistema modular. Este não é um processo linear, sendo necessário avaliar diferentes configurações do produto, verificar a adequação dos materiais que se pretende empregar, ajustar a geometria do produto ao volume de produção esperado para o equipamento, tornar o produto ergonômico e fácil de usar e, até mesmo, planejar o processo de fabricação do produto.

Diversos exemplos destes procedimentos podem ser dados neste trabalho. No caso dos materiais selecionados para a manufatura dos módulos, a escolha foi diretamente influenciada pelas especificações de projeto. Primeiramente, será usado aço inoxidável ANSI 316-L, cuja composição o torna mais adequado para o contato com água do mar, bem como à manipulação de alimentos. Além do inox, também será empregado náilon 66 hidratado (a hidratação se faz necessária para evitar a absorção de água e, conseqüentemente, alterações dimensionais nos componentes), o qual também possibilita o trabalho com água marinha e não terá influencia nas características dos mexilhões. Ambos são materiais usináveis e, no caso do inox, também se pode empregar processos de conformação, ambos adequados ao volume esperado de produção.

Em relação à adequação do produto ao volume desejado de produção, foram realizados cálculos baseados tanto na geometria do produto quanto na capacidade física de um único produtor em trabalhar com cada equipamento, além de dados específicos sobre o material processado. Um exemplo do caso mais crítico deste procedimento é ilustrado no Quadro 6.1, onde é apresentado o dimensionamento do volume necessário ao equipamento para a realização do processo de desgranação de mexilhões.

Além dos aspectos produtivos do equipamento, também é importante ressaltar que todas as Configurações de produtos incorporam princípios de ergonomia e segurança. Neste sentido, dedicou-se grande parte do projeto à adequação do equipamento às características antropométricas do ser humano, além de medidas de segurança para evitar danos físicos ao produtor. A Figura 6.24 ilustra diversos dos elementos ergonômicos e de segurança presentes nos produtos desenvolvidos, incluindo o ajuste de altura do equipamento, e o sistema de fixação por grampos, o qual foi projetado de forma a não permitir que o equipamento entre em uso sem que todos os elementos estejam presentes, incluindo a tampa de proteção para as correntes, impedindo que o usuário se exponha a riscos desnecessários.

Quadro 6.1 – Dimensionamento do volume da carcaça para os módulos M1 e M2.

| | |
|---|--|
| 1) Levantamento de dados | |
| De FERREIRA & MAGALHÃES (1997) sabe-se: Produtividade das “cordas de mexilhões” em Santa Catarina $r_m \cong 15$ kg/m de corda Diâmetro das “cordas de mexilhões” em Santa Catarina $d_m \cong 0,20$ m | |
| 2) Aspectos ergonômicos do trabalho | |
| Conforme ilustrado na figura ao lado e com base nas especificações de projeto, tem-se: Distância horizontal..... $H = 0,5$ m Distância vertical..... $V = 0,750$ m Freqüência..... $F = 15$ levantamentos/min Deslocamento vertical da carga..... $D = V = 0,750$ m Fator de assimetria..... $A = 45^\circ$ Fator de manuseio..... Regular Com base nestes dados e nos gráficos de NIOSH (DUL & WEERDMEESTER, 1995, pág.41, Fig.2.19), obtém-se: Coeficiente vertical..... $CV = 0,9$ Coeficiente horizontal..... $CH = 0,5$ Coeficiente de freqüência..... $CF = 0,3$ Coeficiente de assimetria..... $CA = 0,85$ Coeficiente de deslocamento..... $CD = 0,95$ Coeficiente de manuseio..... $CM = 1$ Através da equação de NIOSH (DUL & WEERDMEESTER, 1995, pág.41, Fig. 2.19): $C_m =$ Carga máxima = $23\text{kg} \cdot CV \cdot CH \cdot CF \cdot CA \cdot CD \cdot CM$ Chega-se a: $C_m = 2,51$ kg | |
| 3) Restrições impostas ao projeto | |
| a) que o volume ocupado pelos mexilhões (V_{mex}) não exceda à 5/9 do volume total do corpo da máquina (V_{cil}): $V_{mex} = \frac{5}{9} V_{cil} \quad [1]$ | |
| b) que o número de porções de mexilhões presentes no interior do equipamento (n_F) corresponda à metade do número de porções colocado por minuto (F): $n_F = 0,5 F = 7,5$ porções | |
| 4) Cálculo do volume por porção ($V_{p_{mex}}$) | |
| Considerando uma “corda de mexilhões” como, aproximadamente, um cilindro, tem-se: $V_c = \pi \cdot (d_c)^2 / 4 = 3,14 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{m}$ de corda ; onde V_c é o volume da corda de mexilhões O volume de mexilhões por porção colocada na máquina ($V_{p_{mex}}$) pode ser obtido através da seguinte proporção: $\frac{V_{p_{mex}}}{C_m} = \frac{V_c}{r_m} \Rightarrow V_{p_{mex}} = \frac{V_c \cdot C_m}{r_m} = \frac{3,14 \cdot 10^{-2} \cdot 2,51}{15} \Rightarrow V_{p_{mex}} = 5,26 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ | |
| 5) Determinação das dimensões | |
| Como o volume total de mexilhões (V_{mex}) corresponde à soma de todas as porções individuais, tem-se: $V_{mex} = n_F \cdot V_{p_{mex}} \quad [2]$ Substituindo-se a equação [1] e o valor de n_F na equação [2], tem-se: $V_{cil} = \frac{9}{5} \cdot V_{mex} \Rightarrow \frac{\pi \cdot C \cdot d^2}{4} = \frac{9}{5} \cdot n_F \cdot v_{mex} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{9,04 \cdot 10^{-2}}{C}}$ onde: C é comprimento agregado de dois módulos (M1 + M2) d é diâmetro do cilindro do corpo da máquina Com base na equação obtida: Para $C = 0,6\text{m} \rightarrow d = 388$ mm Para $C = 0,8\text{m} \rightarrow d = 336$ mm Para $C = 1,0\text{m} \rightarrow d = 300$ mm Para $C = 1,2\text{m} \rightarrow d = 274$ mm | |
| 6) Seleção das dimensões | |
| Selecionou-se $C = 1,0$ m o que leva a <u>módulos de diâmetro 300mm e de comprimento 0,5m (=C/2).</u> | |

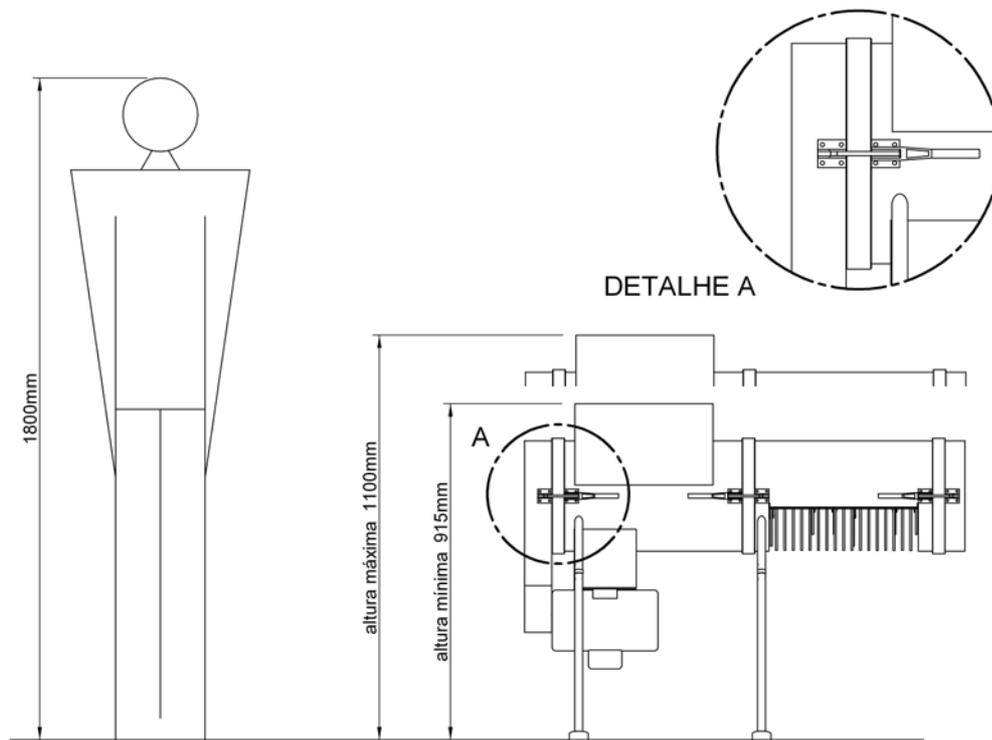


Figura 6.24 – Aspectos ergonômicos presentes em uma das possíveis configurações de produto.

Os aspectos ergonômicos, no entanto, não ficam restritos à proteção da integridade física do usuário e à adequação antropométrica dos equipamentos, também incluindo elementos menos visíveis como, por exemplo, o uso de aspectos ergonômicos do trabalho no dimensionamento da capacidade de produção do equipamento (tal qual visto no Quadro 6.1), ou o dimensionamento das pás do módulo *Eixo agitador* (M4), as quais foram projetadas para que rompam antes de um eventual travamento venha a danificar o equipamento, acarretando, inclusive, lesões ao usuário.

Outro elemento do dimensionamento dos módulos a ser ressaltado é o resultado do emprego das técnicas de DFMA, aplicadas segundo as diretrizes apresentadas em BRALLA (1986), PAHL & BEITZ (1996) e BACK & FORCELLINI (1998). Os principais benefícios obtidos do emprego desta ferramenta ao projeto de produtos para o cultivo de mexilhões são comentados a seguir, seguindo-se a nomenclatura empregada pelos autores citados:

- **Simplicidade** – da forma como foi arquitetado o produto, não são exigidos componentes de difícil fabricação. Além disso, procurou-se reduzir bitolas de materiais brutos e o número de processos necessários à sua transformação em produtos acabados. Em relação à montagem, procurou-se, sempre que possível, aproximá-la de um processo de empilhamento, ou do uso de um componente base (estratégias sugeridas por ERIXON ET AL, 1996), de forma a reduzir manipulações de materiais.
- **Componentes e materiais normalizados** – grande parte dos componentes utilizados no equipamento fazem parte de linhas de produtos já existentes. Além disso, definiram-se

elementos de conexão de forma a compor uma lista fechada de componentes (por exemplo, procurou-se adotar apenas porcas e parafusos com M6 ou M8), resultando em volumes maiores para sua aquisição. Em relação aos materiais empregados, conseguiu-se restringir o projeto ao uso predominantemente de aço inox AISI 316-L e de Nylon 66, novamente garantindo uma maior escala para a aquisição destes produtos.

- **Padronização do projeto** – sempre que possível, procurou-se repetir o uso de componentes desenvolvidos para um determinado subsistema em outras partes do sistema. Um exemplo do resultado desta diretriz fica bem evidente quando comparados as tampas e mancais interfaciais (Quadro 6.2), onde observa-se uma elevada repetição dos elementos utilizados, incluindo eixos, rolamentos, protetores e anéis elásticos.
- **Projeto de acordo com o volume esperado de produção** – selecionou-se os processos de manufatura de acordo com o mercado esperado para os equipamentos (estimado em torno de 500 unidades para os próximos cinco anos), o que levou a adoção de processos de manufatura comumente encontrados em prestadoras de serviços de manufatura, como torneamento, fresamento, soldagem e dobramento de chapas.

Além destes pontos, outras técnicas de DFMA também foram levadas em conta, incluindo a liberação das tolerâncias e a redução de operações secundárias (pinturas, usinagens desnecessárias, tratamentos térmicos, entre outros). No entanto, a aplicação de algumas das técnicas de DFMA foi prejudicada por algumas das restrições de projeto, sendo este o caso da diretriz para utilização de materiais de melhor processamento, comprometida pelo trabalho com água do mar e com o processamento de alimentos, o que acabou por reduzir a gama de materiais que poderiam ser empregados em sua manufatura. Em outro exemplo, a diretriz de colaboração com profissionais de manufatura não pode ser aplicada devido à não definição, durante todo o transcorrer das fases de projeto preliminar e, detalhado, de um parceiro para a manufatura dos módulos.

Novamente, convém ressaltar que o processo de dimensionamento dos módulos não é linear, sendo necessárias várias versões e revisões da configuração de cada produto. Um exemplo claro deste processo iterativo pode ser visto na Figura 6.25, a qual apresenta estágios distintos do módulo tracionador de cordas: (1) o leiaute preliminar, obtido ao final do projeto conceitual do produto, (2) uma de suas primeiras versões para o projeto preliminar, (3) uma versão mais próxima à definitiva e (4) seu leiaute definitivo.

Os módulos definidos durante o projeto preliminar foram agrupados em três categorias, segundo sua função e importância: módulos principais, módulos construtivos e módulos auxiliares. Além da adoção deste padrão de organização, também foi adotada uma nova nomenclatura, de forma a que fossem mais bem compreendidos as funções de cada módulo e que refletissem as alterações realizadas durante o projeto preliminar do sistema. A Tabela 6.3 ilustra o resultado obtido.

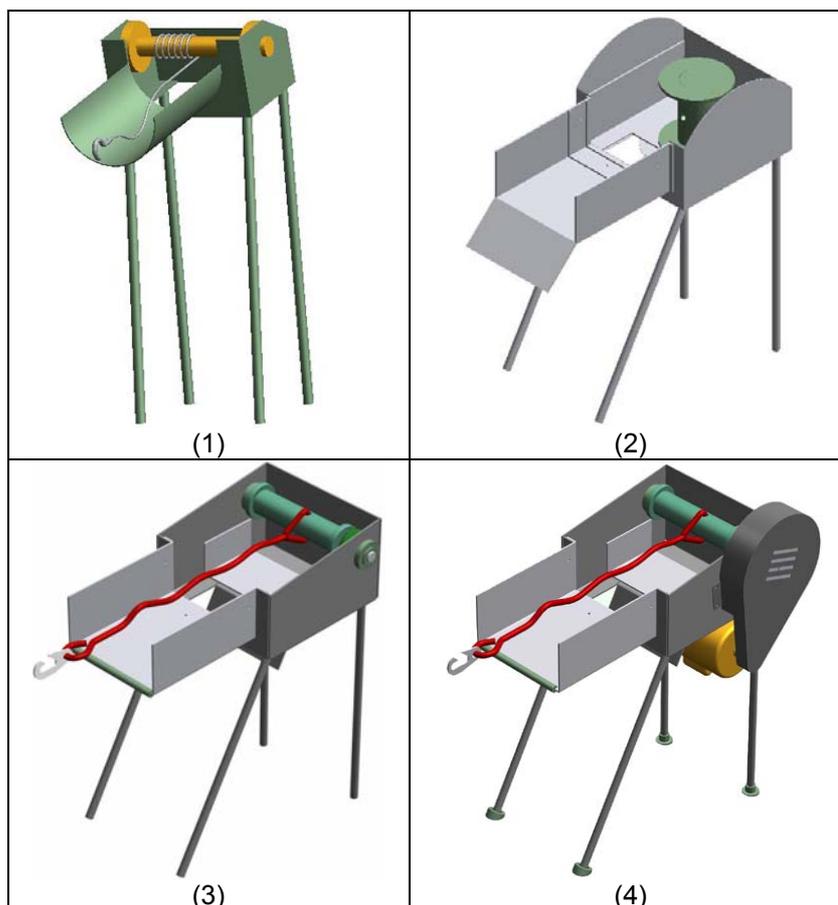


Figura 6.25 – Diferentes estágios do projeto preliminar do módulo M7: (1) leiaute preliminar; (2) versão para avaliação; (3) leiaute otimizado (DFMA); (4) leiaute definitivo.

Tabela 6.3 – Classificação dos módulos durante o projeto preliminar.

| Grupo | Designação (Projeto Preliminar) | Código | Descrição | Referência no Projeto Conceitual |
|-----------------------------|------------------------------------|--------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Módulos Principais | Módulo Principal 01 | M1 | Módulo receptor de mexilhões | Módulos 01 e 02 |
| | Módulo Principal 02 | M2 | Extensor separador | Módulos 04 e 09 |
| | Módulo Principal 03 | M3 | Extensor hermético | Módulos 10 e 11 |
| | Módulo Principal 04 | M4 | Eixo agitador | Módulo 06 |
| | Módulo Principal 05 | M5 | Eixo de escovas | Módulo 07 e 08 |
| | Módulo Principal 06 | M6 | Extensor para encordoamento | Módulo 12 |
| | Módulo Principal 07 | M7 | Tracionador de cordas | Módulos 14 e 16 |
| | Módulo Principal 08 | M8 | Extrator de mexilhões | Módulo 15 |
| | Módulo Principal 09 | M9 | Fonte de Potência | N/D |
| Módulos Construtivos | Módulo Construtivo 01 | I1 | Mancal intermediário de M1, M2 e M3 | N/D |
| | Módulo Construtivo 02 | I2 | Módulo fixador | N/D |
| | Módulo Construtivo 03 | I3 | Pernas de M1, M2 e M3 | N/D |
| Módulos Auxiliares | Módulo Auxiliar 01 | A1 | Suporte para bandejas de pescado | Módulo 3 |
| | Módulo Auxiliar 02 | A2 | Funil coletor d'água | Parte do Módulo 04 |
| | Módulo Auxiliar 03 | A3 | Tanque de recirculação d'água | Módulo 05 |
| | Módulo Auxiliar 04 | A4 | Carrinho para cordas de mexilhões | Módulo 13 |
| | Módulo Auxiliar 05 | A5 | Porta Cordas | Parte do Módulo 12 |

Todo o dimensionamento dos módulos se deu com base em modelos geométricos computacionais de CAD, permitindo que cada componente fosse avaliado e modificado sob condições virtuais de montagem. Como resultado, obteve-se um processo de projeto mais interativo, onde pequenas modificações geométricas em uma peça encadeavam alterações em todos os elementos circunvizinhos, aumentando a confiança na manufacturabilidade do produto. Na Figura 6.26 tem-se um exemplo da evolução que ocorreu, devido ao processo de dimensionamento dos módulos, entre o primeiro modelo geométrico do eixo da tampa do extensor de encordoamento (M6), peça responsável pela recepção e transmissão do movimento proveniente do motor para um sem-fim que imprime movimento aos mexilhões, e o modelo geométrico final, já com os elementos de fixação e a geometria otimizada.

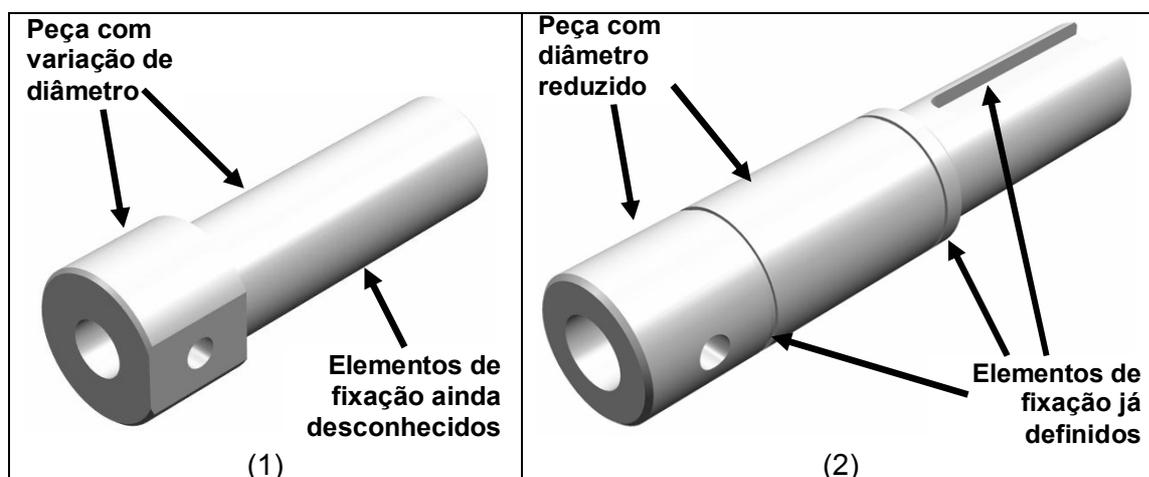


Figura 6.26 – Versões inicial (1) e final (2) da geometria de um componente do módulo M6.

Grande parte dos componentes, como o exemplificado na figura anterior, foi desenvolvida seguindo-se uma hierarquia. Primeiramente se dimensionava cada processo, seguindo para seus subsistemas e, finalmente, para seus componentes. No entanto, componentes de maior importância, como aqueles pertencentes a às interfaces dos módulos, freqüentemente não obedeciam a esta hierarquia. Nos tópicos a seguir serão descritos, para cada módulo desenvolvido, suas características e os principais fatos que permearam seu dimensionamento.

□ **Módulo M1 – Módulo receptor de mexilhões**

O módulo receptor de mexilhões (M1) é, juntamente com o módulo de fonte de potência (M9), o mais utilizado dentre os módulos desenvolvidos, participando das operações de Encordoamento de sementes, Desgranação dos mexilhões, Limpeza dos mexilhões, Seleção dos mexilhões, Limpeza refinada dos mexilhões e Descarnação dos mexilhões. Este módulo desempenha as funções de agrupar sementes, agitar sementes,

“pegar” sementes e transportar mexilhões, desempenhadas originalmente pelos módulos 01 e 02 do projeto conceitual. A união destes dois módulos foi possível pela relativa simplicidade assumida por suas geometrias, pelas semelhanças observadas em seus processos de manufatura, nos materiais a serem empregados e, principalmente, pelo comprimento necessário à capacidade do equipamento que, dividido em um número maior que dois módulos, resultaria em um funil de abertura muito pequena, prejudicando a recepção dos mexilhões.

A estrutura do módulo M1, ilustrada na Figura 6.27, compreende um funil (3), pelo qual serão alimentados os mexilhões no equipamento, soldado ao corpo do módulo (5), ambos confeccionados em chapas de aço inoxidável ANSI 316L de 2mm de espessura, sendo o uso deste material relacionado à presença de água marinha no processo, o que poderia facilitar o surgimento de pontos de corrosão em outros materiais. Sua estrutura também inclui um suporte (6) para a fixação do motor elétrico da fonte de potência (M9), confeccionado em chapa de aço inoxidável ANSI 316L com espessura 5mm, uma entrada de água (7), encaixes para as pernas do equipamento (8) e uma tampa (2), confeccionada em náilon 66, a qual inclui em seu centro um eixo (1) utilizado na captação e transmissão do movimento proveniente do motor para o módulo a ele acoplado (M4 ou M5). A fixação entre módulos ocorre através do uso de grampos (4), elementos comprados prontos que permitem uma montagem e desmontagem mais rápida e facilitada dos equipamentos. As principais especificações técnicas deste módulo são listadas na Tabela 6.4.

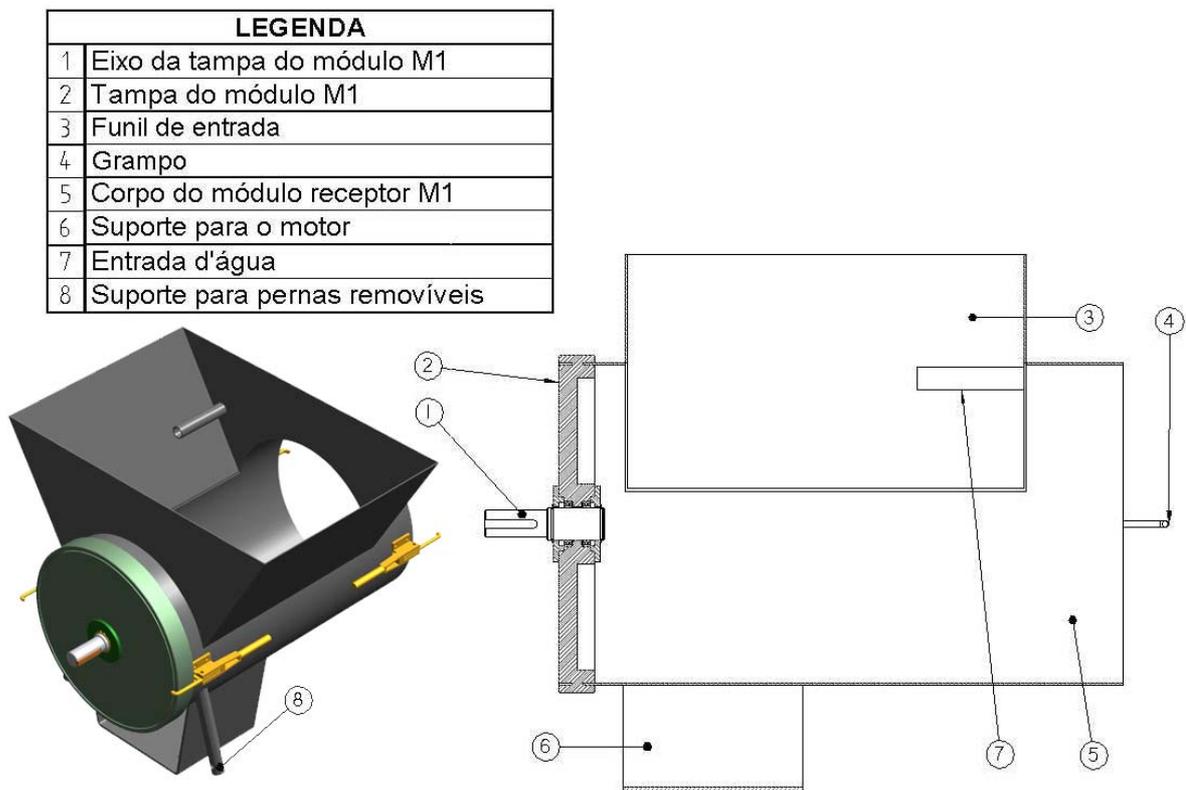


Figura 6.27 – Leiaute definitivo do módulo M1.

Tabela 6.4 – Especificações técnicas do módulo receptor de mexilhões (M1).

| Especificação | Valor | Unidade | Observações |
|----------------------|-------------------------------------|----------------|---|
| Peso | 17,1 | kg | |
| Dimensões da carcaça | Ø 300 x 500 | mm | |
| Dimensões do funil | 550 x 370 x 220 | mm | |
| Volume do funil | 34,6 | L | Corresponde à capacidade máxima de recepção de mexilhões. |
| Materiais empregados | Aço inox 316L e náilon 66 hidratado | - | Adequados ao trabalho com água do mar e pela manipulação de alimentos |

□ **Módulo M2 – Extensor separador**

Projetado para separar mexilhões de sementes e de detritos, o extensor separador (Módulo M2) participa das operações de desgranação, limpeza, seleção e limpeza refinada de mexilhões. Sua estrutura, ilustrada na Figura 6.28, é constituída de uma carcaça tubular (1) em cujo bojo são soldadas pequenas hastes metálicas (4) cujo espaçamento permite apenas a passagem de mexilhões de dimensões inferiores ao tamanho comercial de mexilhões, tendo sido selecionado, em ambos os casos, aço inoxidável 316L para sua manufatura. Por sobre estas hastes pode ser adaptado outro conjunto de hastes (3), também em inox 316L, reduzindo-se o espaçamento dos vãos e, conseqüentemente, permitindo a separação de detritos enquanto mantém mexilhões adultos e sementes em seu interior. Este módulo, da mesma forma que o anterior, também possui encaixes para as pernas (5), grampos (2) para a fixação dos módulos e um suporte (6) para colocação do funil coletor d'água (módulo auxiliar A2).

O extensor separador originou-se da combinação dos módulos 04 e 09 do projeto conceitual, responsáveis pela separação de detritos e mexilhões, respectivamente, sendo esta adaptação possibilitada pela adoção da sobre grade, permitindo os dois tipos distintos de classificação desejados em um único equipamento, e pela adoção de algumas funções como módulos separados – é o caso do funil coletor d'água (módulo A2) – ou como parte de outros módulos – é o caso da entrada d'água no módulo M1. As características técnicas deste módulo são apresentadas na Tabela 6.5.

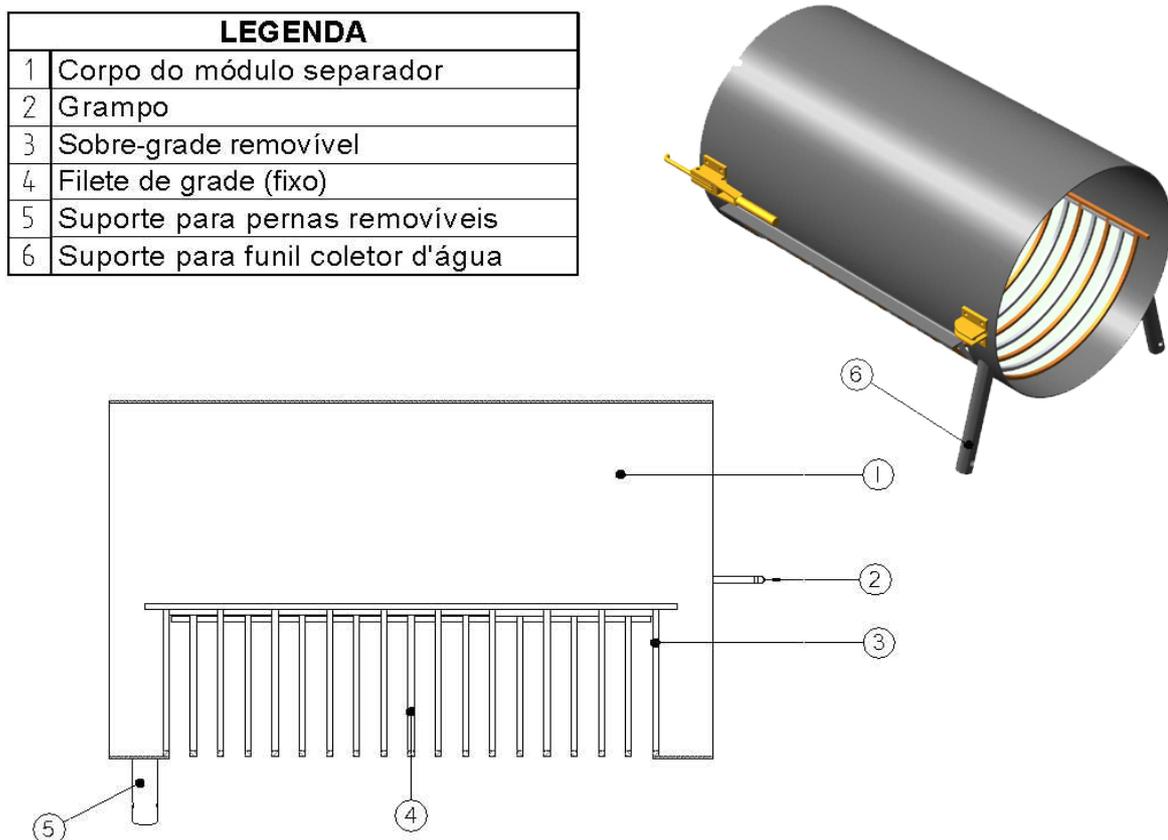


Figura 6.28 – Leiaute definitivo do módulo M2.

Tabela 6.5 – Especificações técnicas do módulo extensor separador (M2).

| Especificação | Valor | Unidade | Observações |
|---|----------------------|---------|---|
| Peso | 7,8 | kg | |
| Dimensões da carcaça | Ø 300 x 500 | mm | |
| Dimensões da área de seleção | R 150 x 400 x 120 | mm | |
| Abertura dos vãos de seleção (sem a sobre-grade) | 35 | mm | |
| Abertura dos vãos de seleção (com a sobre-grade) | 15 | mm | |
| Materiais empregados | Aço inox 316L | - | Adequados ao trabalho com água do mar e pela manipulação de alimentos |

□ Módulo M3 – Extensor hermético

Este módulo foi desenvolvido especificamente para a realização do processo de retirada das conchas dos mexilhões que, diferentemente das demais operações, é realizado nas unidades de beneficiamento e não junto ao produtor. De forma similar aos módulos apresentados anteriormente, a estrutura deste módulo (Figura 6.29) também é constituída por carcaças tubulares confeccionadas em aço inoxidável, porém, neste caso, dividida em duas partes: o corpo intermediário (1), onde ocorre a separação anatômica entre carne e concha, e o corpo final (4), responsável por retirar as conchas já sem carne do sistema.

Estas duas câmaras são separadas por um mancal (3), confeccionado em náilon 66, o qual permite apenas a passagem de materiais próximos ao bojo do equipamento. O equipamento funciona utilizando-se uma solução de água e salmoura a qual, pela diferença de densidade, proporciona a suspensão das carnes, mantendo as conchas no fundo do equipamento. As carnes são eliminadas pela saída (8) do corpo intermediário do equipamento, enquanto que as conchas seguem para o corpo final do módulo, através da passagem do mancal intermediário, onde são conduzidas à saída (9) por um eixo com pás (5). Além dos elementos descritos, o módulo extensor hermético também conta com uma tampa final (6), grampos (2) para a conexão entre módulos e encaixes para as pernas (7). Da forma como foi projetado, este módulo exigirá uma alimentação contínua da solução de salmoura, de forma a repor o fluido perdido junto à carne, sendo recomendado, para tanto, o uso do tanque de recirculação d'água (módulo A3) para a otimização deste processo.

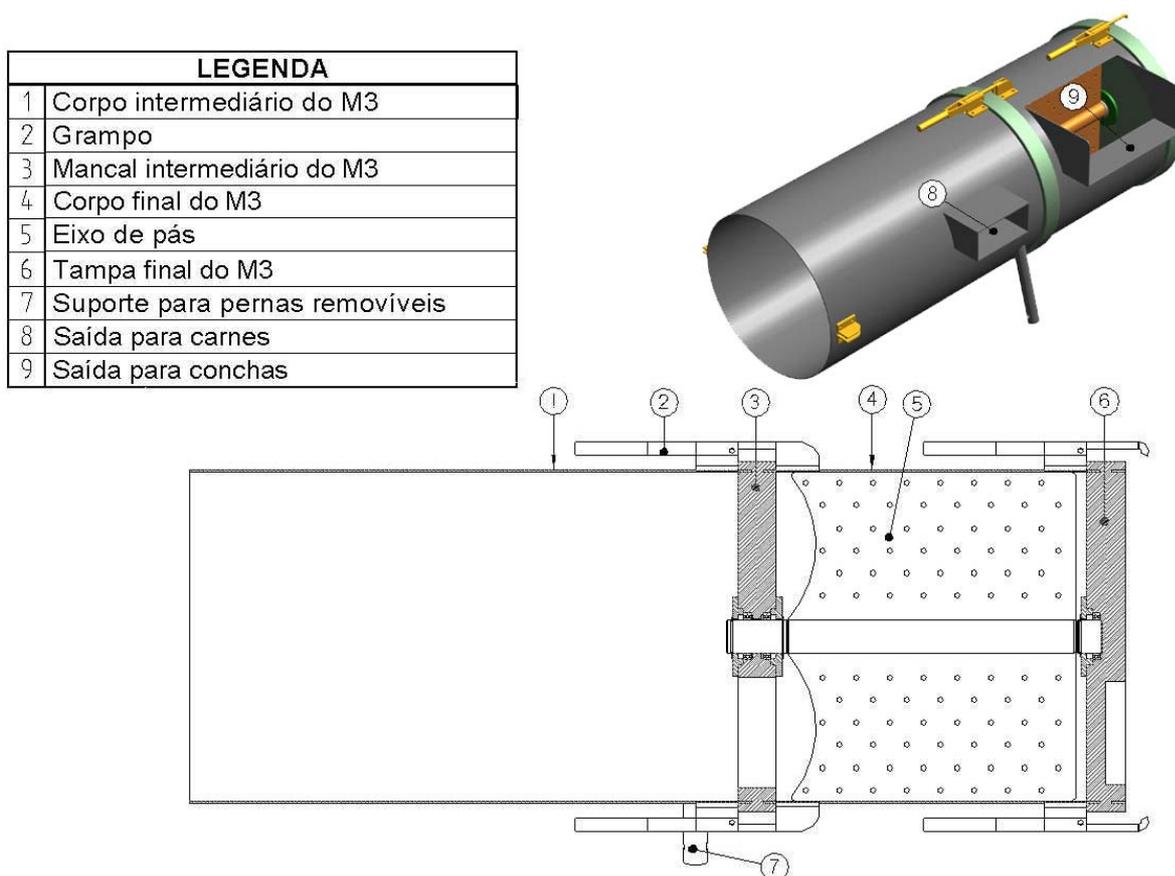


Figura 6.29 – Leiaute definitivo do módulo M3.

A comparação entre o projeto final deste módulo com o leiaute preliminar proveniente do projeto conceitual permite afirmar que, dentre todos os módulos desenvolvidos, este foi o que sofreu alterações de forma mais radicais sem que, no entanto, fossem alteradas as funções desempenhadas pelo equipamento. As alterações de geometria foram, em grande parte, resultantes da combinação dos módulos 10 e 11 do projeto conceitual em um único

módulo, e da modificação da forma de transportar as conchas para fora do equipamento, inicialmente pensada como um sistema de rosca sem-fim, solução que mostrou-se inviável primeiramente pelo custo de implementação da idéia e, segundo, por critérios de segurança, relacionados com o alto risco de travamento do sistema. A alternativa implementada foi o uso de pás, apresentada pelo número (5) na Figura 6.29, para arrastar as conchas dos mexilhões à saída do equipamento, as quais possuem uma curvatura próxima à passagem do mancal intermediário para evitar que as conchas travem o percurso das pás. As principais características técnicas do equipamento são apresentadas na Tabela 6.6.

Tabela 6.6 – Especificações técnicas do módulo extensor hermético (M3).

| Especificação | Valor | Unidade | Observações |
|----------------------------------|-------------------------------------|----------------|---|
| Peso | 20,1 | kg | |
| Dimensões do corpo intermediário | Ø 300 x 500 | mm | |
| Dimensões do corpo final | Ø 300 x 300 | mm | |
| Dimensão total do módulo | Ø 300 x 835 | mm | |
| Dimensões da saída de carne | 116 x 58 x 55 | mm | |
| Dimensões da saída de conchas | 200 x 90 x 60 | mm | |
| Materiais empregados | Aço inox 316L e náilon 66 hidratado | - | Adequados ao trabalho com água do mar e pela manipulação de alimentos |

□ **Módulo M4 – Eixo agitador**

Apesar de sua aparente simplicidade, o módulo eixo agitador (M4) é um dos que apresenta maior versatilidade, participando dos processos de desgranação, limpeza e retirada das conchas dos mexilhões, desempenhando as funções de individualizar mexilhões e sementes (FC-2) e individualizar mexilhões, carne e conchas (FC-10). Sua estrutura, apresentada na Figura 6.30, é composta de um eixo (4), confeccionado em aço inoxidável, e quatorze pás (3) de náilon presas a suportes individuais (2), também confeccionados em inox, que se fixam ao eixo através de rosca, permitindo sua substituição de forma rápida e imediata no caso de quebras das pás. A distribuição das pás segue uma espiral, no qual um conjunto de quatro pás, organizadas em dois pares diametralmente opostos, perpendiculares e defasados em 50mm, são repetidos diversas vezes girando-os em 45°. A conexão dos módulos é feita através de quatro pinos (5) presos em suas extremidades, os quais se encaixam a dois orifícios presentes nas tampas ou mancais dos módulos receptores. As especificações técnicas do módulo M4 são apresentadas na Tabela 6.7.

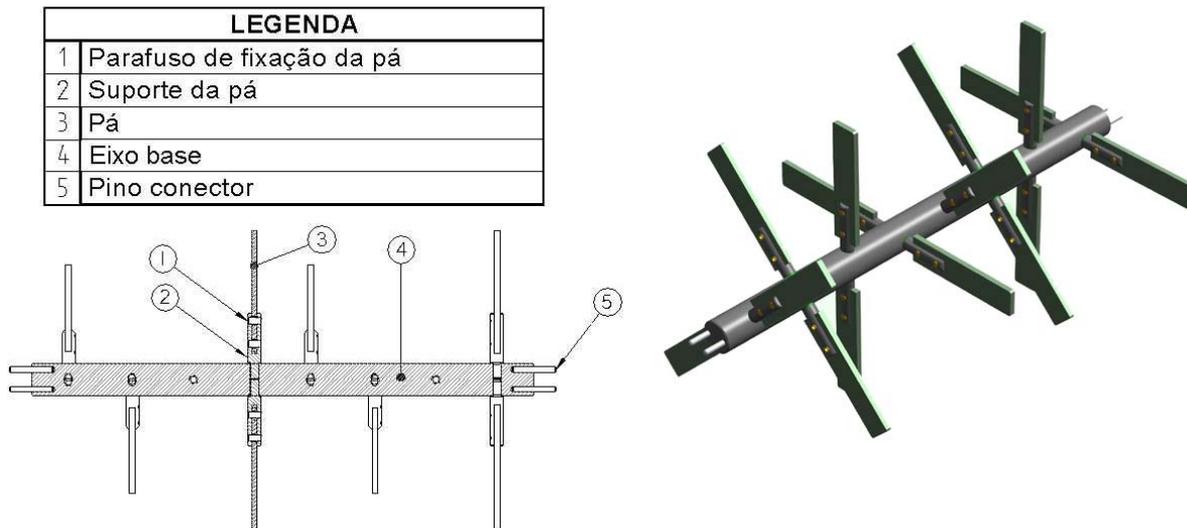


Figura 6.30 – Leiaute definitivo do módulo M4.

Tabela 6.7 – Especificações técnicas do módulo eixo agitador (M4).

| Especificação | Valor | Unidade | Observações |
|---------------------------|-------------------------------------|---------|---|
| Peso | 3,3 | kg | |
| Dimensões do eixo sem pás | Ø 30 x 456 | mm | |
| Dimensões do eixo com pás | Ø 275 x 456 | mm | |
| Materiais empregados | Aço inox 316L e náilon 66 hidratado | - | Adequados ao trabalho com água do mar e pela manipulação de alimentos |

□ Módulo M5 – Eixo de escovas

O módulo eixo de escovas tem apenas uma função no sistema: a limpeza dos mexilhões. Diferentemente do que foi proposto ao final do projeto conceitual do sistema modular, ao invés de dois tipos de escovas distintos, um para a limpeza simples e outro para a limpeza refinada, adotou-se uma única escova que, individualmente, permite a realização do processo de limpeza dos mexilhões e, em par ou em maior número, o processo de limpeza refinada. Durante o projeto preliminar pensou-se este módulo como um elemento a ser manufaturado por empresas especializadas na confecção de escovas, adotando-se uma estrutura espiralada para facilitar a condução dos mexilhões. No entanto, para fins de representação, desenvolveu-se um desenho mais simples, ilustrado na Figura 6.31. A fixação do módulo a ser fabricado deverá seguir o padrão definido para os demais módulos, através de pinos localizados na extremidade do eixo. As especificações técnicas do equipamento são apresentadas a seguir, na Tabela 6.8.

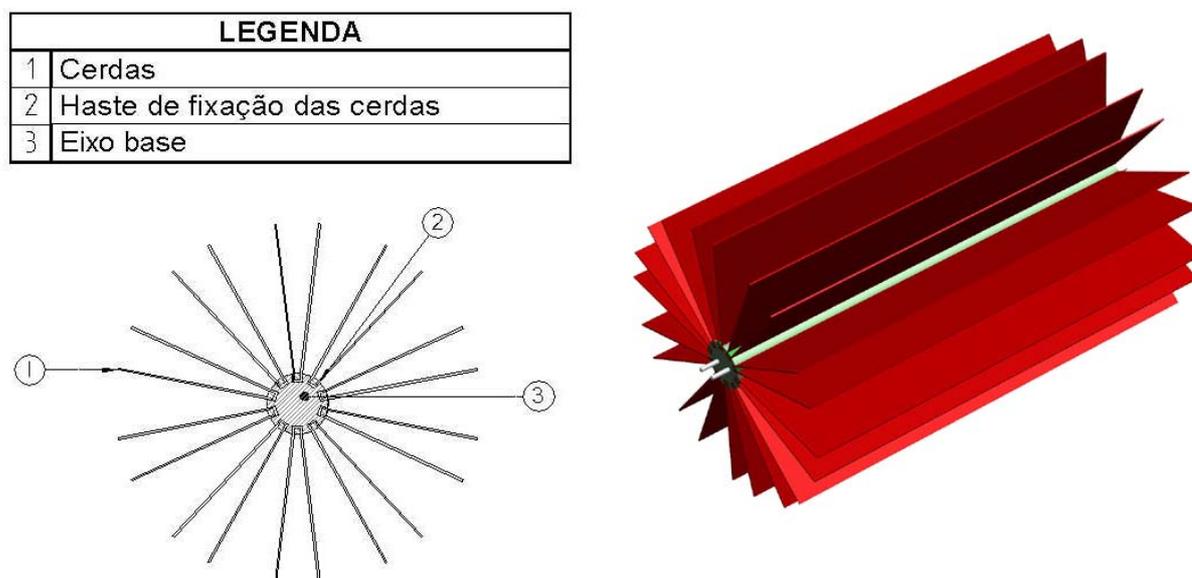


Figura 6.31 – Leiaute definitivo do módulo M5.

Tabela 6.8 – Especificações técnicas do módulo eixo de escovas (M5).

| Especificação | Valor | Unidade | Observações |
|-------------------------------|---------------------|---------|---|
| Peso | 3,0 | kg | |
| Dimensões do eixo sem escovas | Ø 50 x 456 | mm | |
| Dimensões do eixo com escovas | Ø 295 x 456 | mm | |
| Materiais empregados | Náilon 66 hidratado | - | Adequados ao trabalho com água do mar e pela manipulação de alimentos |

□ Módulo M6 – Extensor para encordoamento

O módulo M6, à semelhança do módulo extensor hermético, participa somente de um processo: o encordoamento. Adaptável ao módulo receptor de mexilhões (M1), o módulo M6 possui em sua estrutura, conforme apresentado na Figura 6.32, duas tampas específicas para sua configuração: a tampa de entrada (1), onde é fixo ao eixo central do sem-fim (7) que conduz as sementes de mexilhões ao tubo de saída (5), e a tampa de saída (3), na qual é preso o anel de fixação (4) para conexão com o módulo M1, bem como para sustentação do equipamento, graças à presença de encaixes para pernas. O módulo também conta com a calha do sem-fim (2), para posicionar os mexilhões por sobre o sem-fim, e um bico para malha (6), facilmente removível que, em maior número, permite uma otimização da alimentação da máquina através de uma redução do tempo de reposição da malha.

Adotou-se o método de encordoamento já praticado em Santa Catarina como base para o processo realizado por este equipamento, no qual utiliza-se de um conjunto formado por um saco confeccionado por redes de pesca de náilon, um saco de rede de algodão e, eventualmente, uma corda central. Da forma como foi projetado, o equipamento permite o

encordoamento com ou sem corda central, sendo a distribuição das sementes de mexilhões feita uniformemente em torno do cabo graças ao canal centralizador do tubo de saída (5). O processo de encordoamento através do extensor para encordoamento será detalhado mais adiante, quando forem apresentadas as configurações possíveis de módulos. Em relação aos materiais empregados, usou-se náilon 66 em ambas as tampas, no bico para malha e no sem-fim, sendo adotado aço inoxidável 316L nos demais componentes. As especificações técnicas do módulo M6 são apresentadas a seguir, na Tabela 6.9.

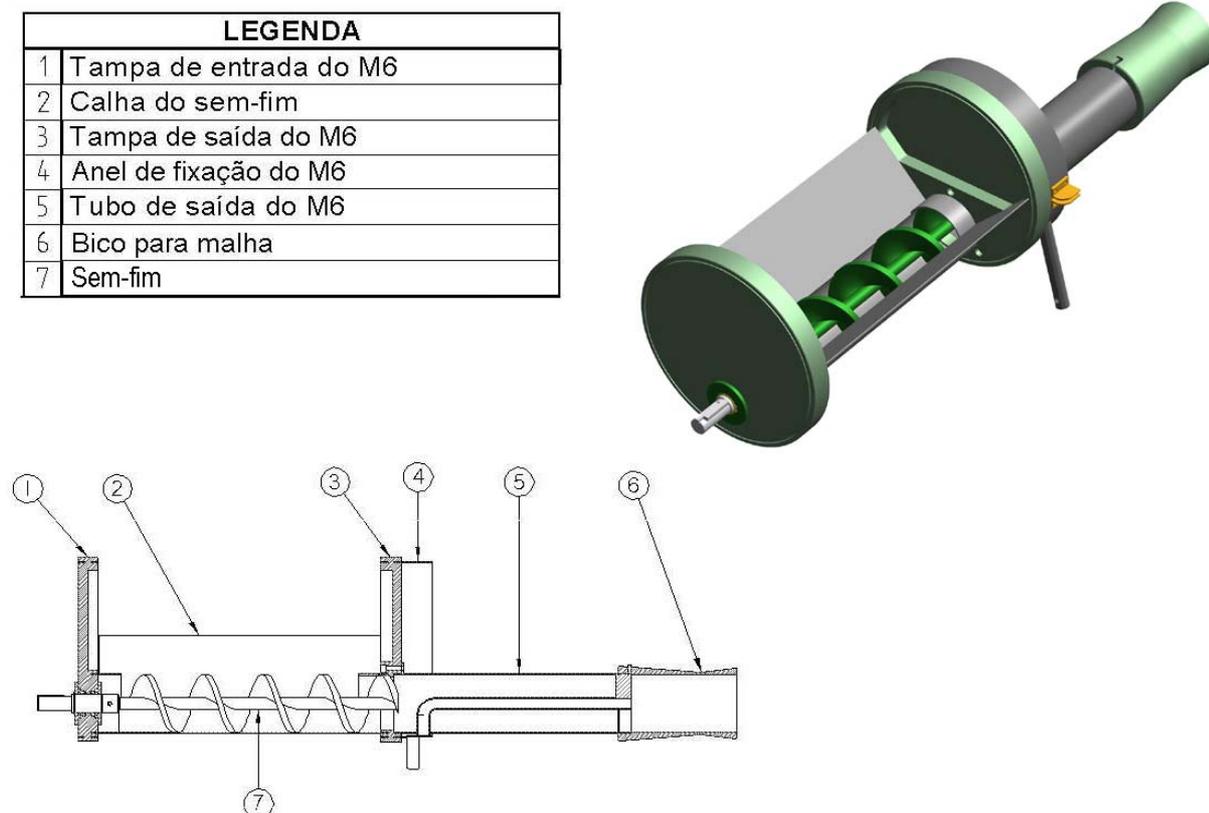


Figura 6.32 – Leiaute definitivo do módulo M6.

Tabela 6.9 – Especificações técnicas do módulo extensor para encordoamento (M6).

| Especificação | Valor | Unidade | Observações |
|--|---------------|---------|---|
| Peso | 17,3 | kg | |
| Dimensões totais do módulo | Ø 300 x 1180 | mm | |
| Dimensões do duto de saída (com bico para malha) | Ø 101,6 x 513 | mm | O valor do diâmetro corresponde a dimensões do material encontrado comercialmente |
| Dimensões do duto de saída (sem bico para malha) | Ø 101,6 x 355 | mm | O valor do diâmetro corresponde a dimensões do material encontrado comercialmente |
| Taxa máxima de encordoamento (a 20 RPM) | 0,77 | kg/min | Valores calculados com base na utilização total do vão do sem-fim. Na prática espera-se resultados em torno de 50 a 70% deste valor |

Tabela 6.9 (continuação) – Especificações técnicas do módulo extensor para encordoamento (M6).

| Especificação | Valor | Unidade | Observações |
|---|-------------------------------------|----------------|---|
| Taxa máxima de encordoamento (a 40 RPM) | 1,53 | kg/min | Valores calculados com base na utilização total do vão do sem-fim. Na prática espera-se resultados em torno de 50 a 70% deste valor |
| Diâmetro de encordoamento adotado | Ø 75 ± 15 | mm | Corresponde ao diâmetro cujo encordoamento de sementes proporciona uma baixa fixação no interior do saco de rede. Para mexilhões de desdobre o bico deve ser substituído, podendo utilizar diâmetros maiores. |
| Materiais empregados | Aço inox 316L e náilon 66 hidratado | - | Adequados ao trabalho com água do mar e pela manipulação de alimentos |

□ **Módulo M7 – Tractionador de cordas**

Este módulo desenvolveu-se com uma geometria distinta da dos módulos anteriormente apresentados, sendo esta diferença já observada durante o projeto conceitual do produto. No entanto, seguindo-se uma tendência constatada através da elaboração dos leiautes preliminares dos produtos, pôde-se combinar os módulos 14 e 16 em um único elemento, denominado "tracionador de cordas" (M7) que, além de realizar sozinho o processo de retirada das cordas do cultivo, também pode ser combinado ao módulo extrator de mexilhões (M8) para a execução do processo de remoção dos mexilhões das cordas.

A estrutura do módulo tracionador de cordas, mostrada na Figura 6.33, é toda confeccionada em aço inoxidável, sendo seus dois principais elementos a canaleta (11), responsável por receber e conduzir a corda de mexilhões, e o corpo da máquina (6), onde estão presentes os componentes móveis da máquina e as pernas (10) para sua sustentação. O processo de tração das cordas de mexilhões inicia-se com a preparação da máquina, feita prendendo-se manualmente a extremidade de uma corda de mexilhões ao gancho (8) e soltando-a do sistema de cultivo (*long-line*), acionando o motor (1) na seqüência. O movimento do motor é transferido, através de correntes protegidas por uma tampa (4), ao sistema tracionador (5), o qual enrola o cabo (7) puxando a corda. As principais especificações técnicas deste equipamento são apresentadas na Tabela 6.10.

Dentre os componentes citados, uma atenção especial deve ser dada ao sistema tracionador (7). Devido à simplicidade desejada ao equipamento, optou-se por realizar o desenrolar da corda de forma manual, sendo desenvolvido um sistema próprio para tanto, o qual é apresentado na Figura 6.34. O cilindro tracionador é composto por um cilindro tracionador (3), o qual é apoiado em um par de eixos (1 e 7), e pelo o sistema de encaixe, que inclui um manipulador (5) com dois pinos (4), o qual é forçado contra o cilindro tracionador

por uma mola. Da forma como foi desenvolvido, o movimento do motor somente é transmitido quando o manipululo (5) é encaixado ao cilindro tracionador, o que obriga ao operador o uso de ambas as mãos para desenrolar o cabo do cilindro tracionador (2): uma para forçar a tampa contra a mola e outra para desempenhar a operação propriamente dita. Esta é uma medida de segurança para evitar que o operador venha a acionar o equipamento com uma mão livre durante a realização desta atividade.

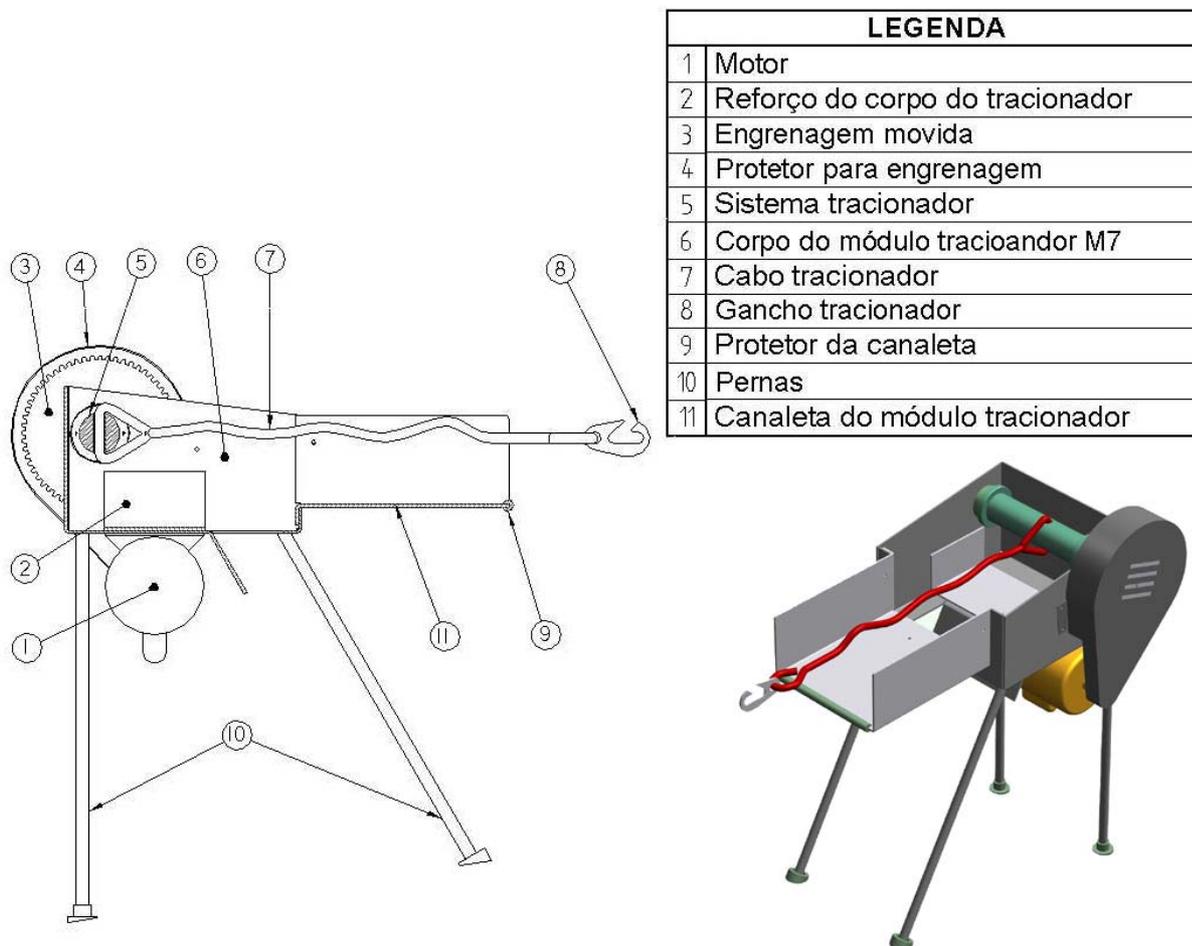


Figura 6.33 – Leiaute definitivo do módulo M7.

Tabela 6.10 – Especificações técnicas do módulo tracionador de cordas (M7).

| Especificação | Valor | Unidade | Observações |
|-------------------------------|-------------------------------------|---------|---|
| Peso sem o motor | 47,0 | kg | |
| Dimensões totais do módulo | 965 x 840 x 505 | mm | |
| Dimensões da rampa | 352 x 310 x 155 | mm | |
| Velocidade de tração da corda | 12 | RPM | |
| Materiais empregados | Aço inox 316L e náilon 66 hidratado | - | Adequados ao trabalho com água do mar e pela manipulação de alimentos |

Tabela 6.10 (continuação) – Especificações técnicas do módulo tracionador de cordas (M7).

| Especificação | Valor | Unidade | Observações |
|--------------------------------------|---|---------|--|
| Características do motor | Massa = 10 kg | | Procurou-se utilizar um sistema motor e de transmissão compatível entre o módulo fonte de potência (M9) e para este equipamento. |
| | Potência = 0,5 cv | | |
| | Frequência = 60 Hz | | |
| Rotação = 1720 RPM | | | |
| Características do redutor | Redução de 1/8 a 1/30 | | |
| Sistema de transmissão por correntes | Diâmetro da engrenagem: movida = 242,66 mm motora = 49,07 mm relação = 1/5 | | |

| LEGENDA | |
|---------|-----------------------------------|
| 1 | Eixo de apoio do tracionador |
| 2 | Mancal de apoio do tracionador |
| 3 | Cilindro tracionador |
| 4 | Pino de engate do tracionador |
| 5 | Manípulo de engate do tracionador |
| 6 | Rolamento |
| 7 | Eixo da polia do tracionador |
| 8 | Pino do eixo do mancal |
| a | Canal do cabo tracionador |
| b | Canal de engate |
| c | Guia do engate |

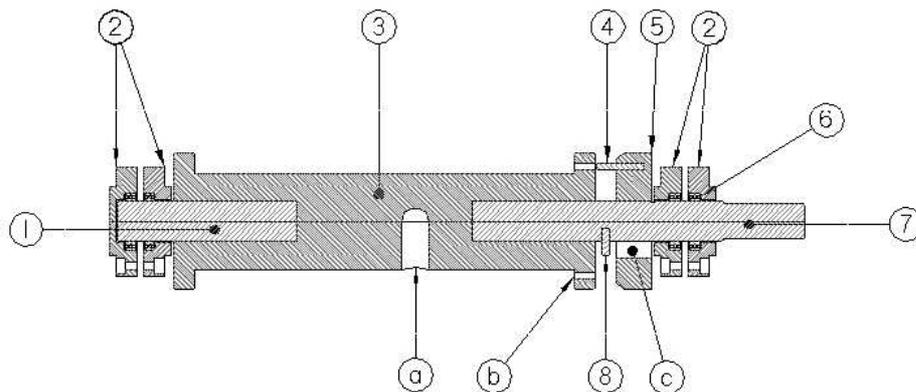


Figura 6.34 – Leiaute definitivo do sistema tracionador do M7.

□ Módulo M8 – Extrator de mexilhões

O módulo extrator de mexilhões incorpora uma solução simples para um problema aparentemente complexo: o processo de remoção de mexilhões das cordas. A dificuldade de se mecanizar esta operação estava na combinação de alguns fatores: a irregularidade no

tamanho das cordas, cujo diâmetro poderia variar consideravelmente, a resistência do bisso e, talvez o fator mais importante, o interesse em preservar intacto o substrato de fixação dos mexilhões (redes de pesca) para posterior uso. Agravando-se a situação, havia ainda a possibilidade de, por um encordoamento inadequado, haver a presença de mexilhões ainda presos ao interior da rede de pesca. A solução encontrada foi a utilização de molas para a realização deste processo, garantindo ao elemento extrator a flexibilidade necessária para se adaptar a imperfeições e irregularidades presentes nas cordas de mexilhões.

A estrutura do equipamento, apresentada na Figura 6.35, é bastante simples, composta de um corpo (2) e quatro molas (1), posicionadas como se formando uma grade, presas ao anel com o auxílio de oito pinos fixadores (3). O extrator de mexilhões é adaptável ao módulo tracionador de cordas (M7), através de orifícios presentes na canaleta do módulo M7, representada pelo número (11) na Figura 6.33. As especificações técnicas deste módulo são apresentadas na Tabela 6.11.

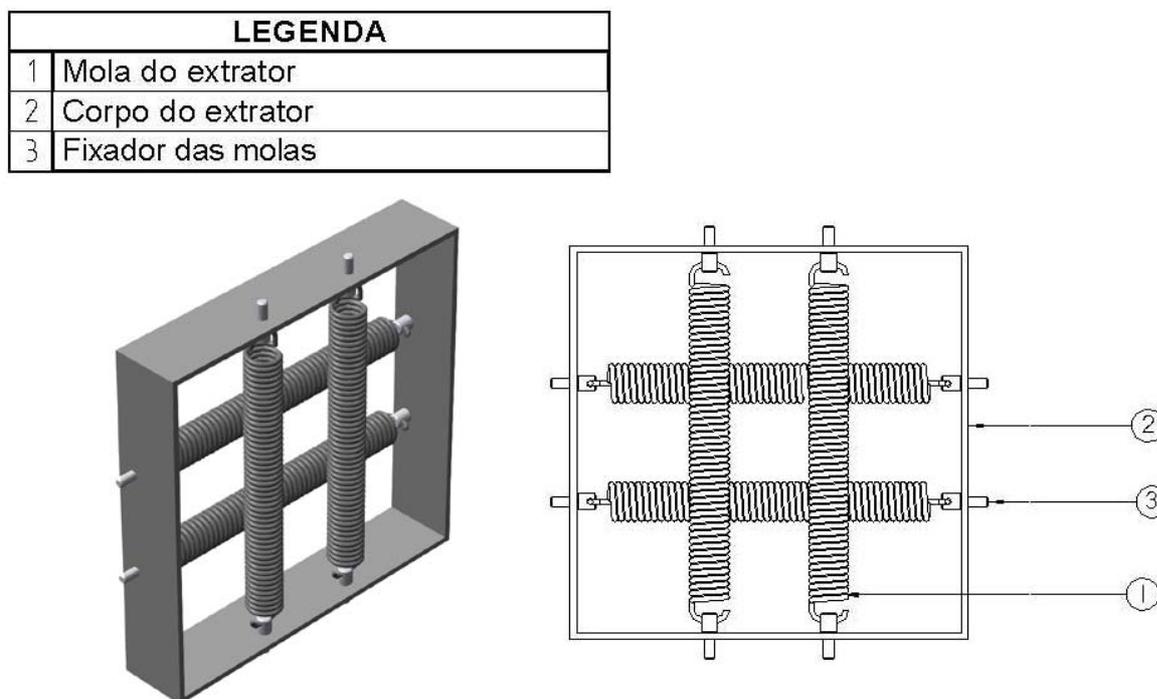


Figura 6.35 – Leiaute definitivo do módulo M8.

Tabela 6.11 – Especificações técnicas do módulo extrator de mexilhões (M8).

| Especificação | Valor | Unidade | Observações |
|----------------------------|-------------------------|---------|---|
| Peso | 4,6 | kg | |
| Dimensões das molas | Ø 30 x 270 (fio Ø 4) | mm | |
| Dimensões totais do módulo | 300 x 300 x 60 | mm | |
| Materiais empregados | Aço inox 316L | - | Adequados ao trabalho com água do mar e pela manipulação de alimentos |

□ Módulo M9 – Fonte de Potência

Durante o projeto conceitual selecionou-se cinco sistemas distintos para o fornecimento de energia ao sistema: dois movidos pelo esforço humano (a manivela e a pedal), um mecânico (através da conexão com algum sistema de propulsão), um elétrico e um hidráulico/pneumático. Durante o projeto preliminar, no entanto, adotou-se uma combinação do elétrico e do mecânico (Figura 6.36), de forma que parte da rotação do motor (6) já fosse reduzida através do emprego de um conjunto de engrenagens de corrente (formado por 1, 3, e 4), os quais foram envolvidos por um protetor (2) por medida de segurança. Também se optou pela adoção de um variador de velocidade (não apresentado na figura) para os testes, de forma a permitir o controle da rotação imposta ao sistema. As especificações técnicas do módulo fonte de potência são apresentadas na Tabela 6.12.

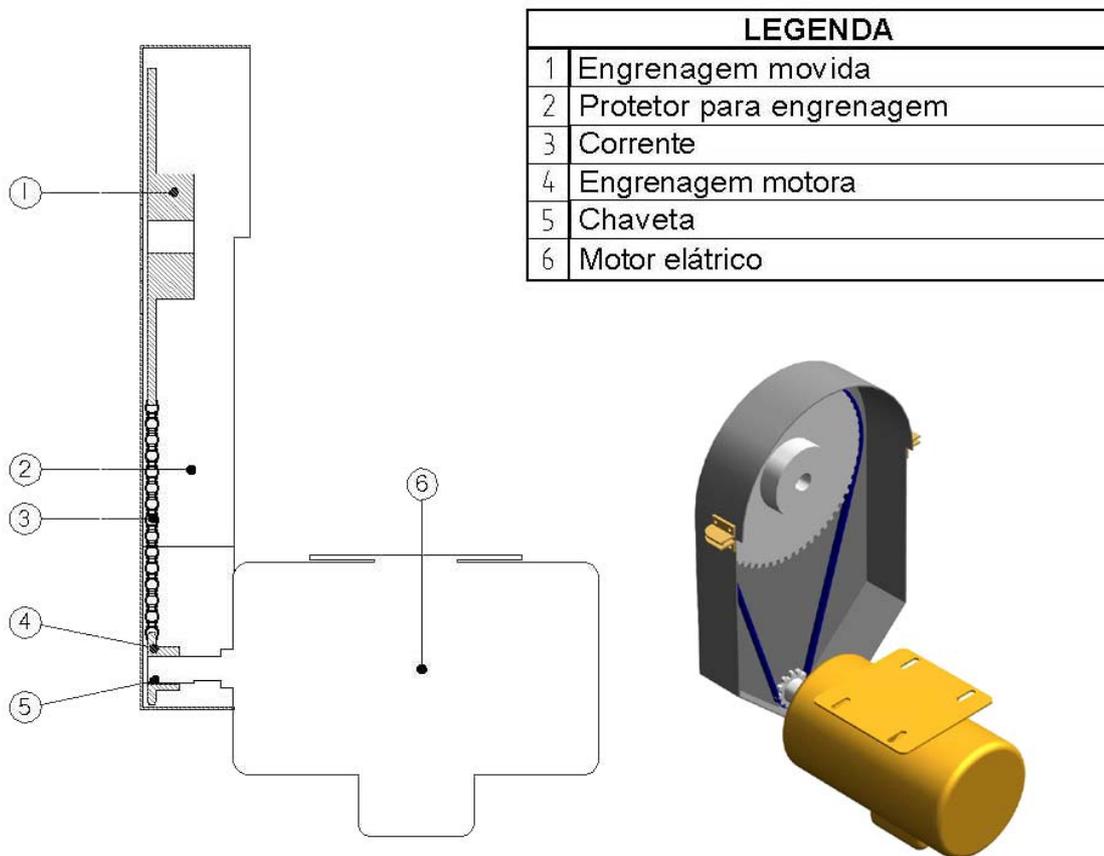


Figura 6.36 – Leiaute definitivo do módulo M9.

Tabela 6.12 – Especificações técnicas do módulo fonte de potência (M9).

| Especificação | Valor | Unidade | Observações |
|----------------------------|-----------------|---------|-------------|
| Peso sem o motor | 8,6 | kg | |
| Dimensões totais do módulo | 965 x 840 x 505 | mm | |
| Dimensões da rampa | 352 x 310 x 155 | mm | |

Tabela 6.12 (continuação) – Especificações técnicas do módulo fonte de potência (M9).

| Especificação | Valor | Unidade | Observações |
|---|---|----------------|---|
| Características do motor | Massa = 10 kg Potência = 0,5 cv Frequência = 60 Hz Rotação = 1720 RPM | | Procurou-se utilizar um sistema motor e de transmissão compatível entre o módulo fonte de potência (M9) e para o módulo tracionador de cordas (M7). |
| Características do variador de velocidade | Redução de 1/8 a 1/30 | | |
| Sistema de transmissão por correntes | Diâmetro da engrenagem: movida = 242,66 mm motora = 49,07 mm relação = 1/5 | | |
| Materiais empregados | Aço inox 316L e náilon 66 hidratado | - | Adequados ao trabalho com água do mar e pela manipulação de alimentos |

□ Módulos Construtivos

Os módulos construtivos são, no sistema modular em desenvolvimento, subsistemas utilizados na solução de problemas específicos de conexão entre módulos, existindo apenas três casos. O primeiro módulo construtivo (I-1), apresentado na Figura 6.37, foi originalmente proposto como uma alternativa de interface durante a etapa de projeto das interfaces. Este módulo é constituído por um anel de náilon (1) em cujo centro foi adaptado um mancal para suporte dos eixos agitador (M4) e de escovas (M5), onde se encontra o eixo de conexão (3), os rolamentos (4) e os protetores (2), sendo a fixação do sistema feita por anéis elásticos (5). Sua adoção como módulo independente originou-se do fato de que sua geometria e função serem comuns a várias Configurações de produtos, propiciando o desenvolvimento de um único componente padronizado. Este mesmo padrão foi utilizado na concepção de outros componentes em módulos distintos, tal qual ilustrado no Quadro 6.2.

O segundo módulo construtivo é o módulo fixador (I2), originado pela adoção de grampos para a fixação dos módulos, o que exigiu um componente que, ao mesmo tempo, contivesse o elemento de encaixe dos grampos e proporcionasse suporte ao último mancal ou tampa da configuração. Sua estrutura é bem simples e, conforme mostrado na Figura 6.38, é constituída por um anel de aço inoxidável (1) e por encaixes de grampos (2).

O último módulo construtivo surgiu da necessidade de se melhorar a transportabilidade dos módulos M1, M2 e M3, através da adoção de pernas removíveis comuns aos três módulos. Na Figura 6.39 observa-se que o módulo construtivo I3 possui um corpo cilíndrico (2) em cuja extremidade está localizado o pino conector (1), o qual possui uma série de orifícios para propiciar o ajuste de altura do equipamento, e um pé (3) em sua extremidade.

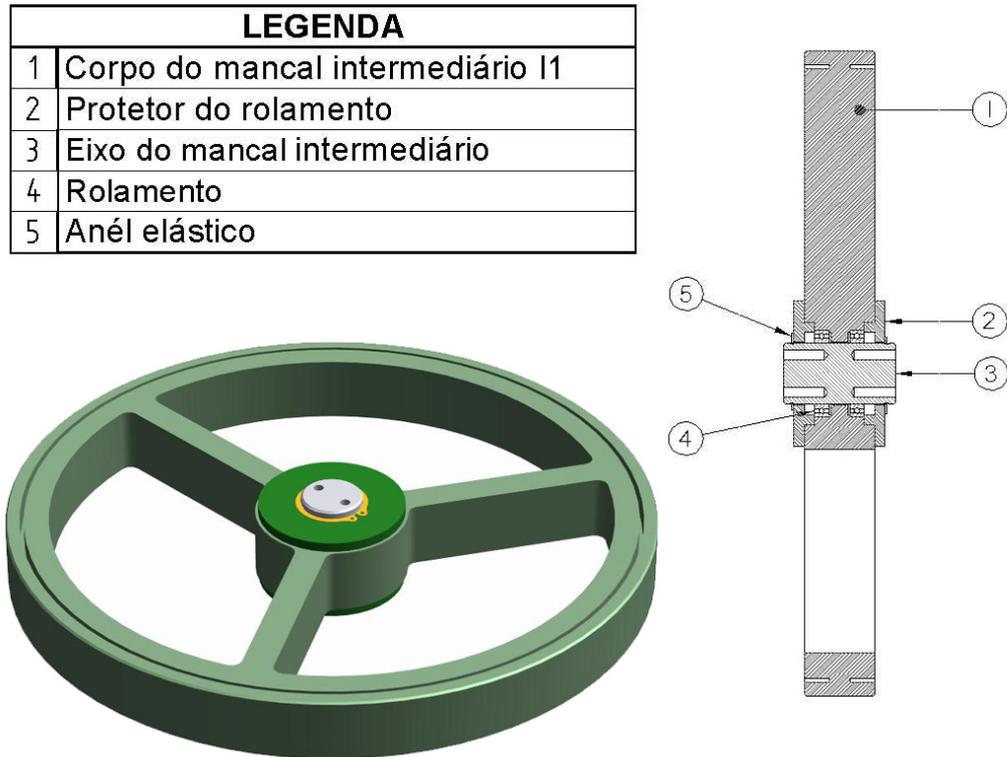


Figura 6.37 – Leiaute definitivo do módulo I1.

Quadro 6.2 – Padrão de interface adotado em mancais e tampas do sistema modular.

| Interface | Descrição | Interface | Descrição |
|---|--|--|--|
|  | Tampa do M1 – elemento usado para fechamento do módulo e para transmissão do movimento proveniente do motor ao eixo a ele acoplado |  | Mancal intermediário I1 – elemento utilizado em várias configurações, inclusive repetidas vezes, para prover sustentação e transmitir movimento aos eixos a ele acoplado. |
|  | Tampa de saída do M3 – também possui a função de fechamento do módulo, bem como de prover sustentação ao eixo de pás a ele acoplado. |  | Tampa de entrada do M6 – elemento especialmente desenvolvido para substituição da Tampa do M1 de forma a prover transmitir movimento ao sem-fim segundo as necessidades deste módulo. |
|  | Mancal intermediário do M3 – utilizado para a conexão dos corpos intermediário e final do módulo extensor separador (M3), além de prover sustentação e transmitir movimento entre os eixos a ele acoplados. |  | Tampa de saída do M6 – dentre os elementos desenvolvidos, este é o único que não utiliza o sistema de mancal incorporado, servindo apenas ao fechamento do módulo M6. |

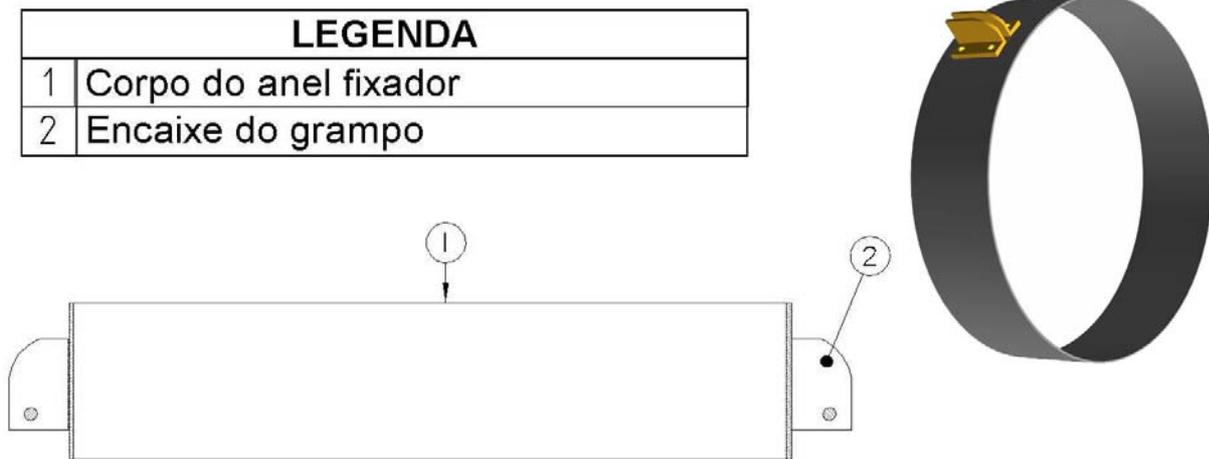


Figura 6.38 – Leiaute definitivo do módulo I2.

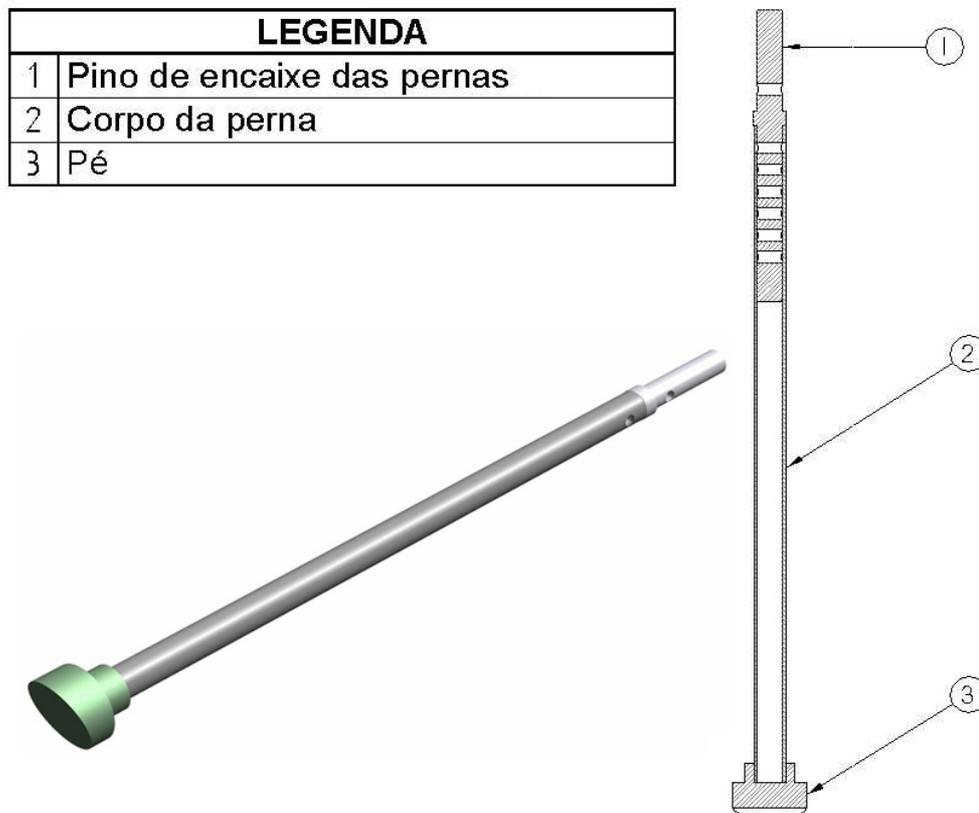


Figura 6.39 – Leiaute definitivo do módulo I3.

□ Módulos Auxiliares

Os módulos auxiliares são, em sua totalidade, componentes ou subsistemas dos módulos propostos ao final do projeto conceitual que, durante o processo de dimensionamento, foram considerados não essenciais à realização dos processos em estudo, apesar de, em certos casos, representarem um ganho expressivo de produtividade. O primeiro deles, o módulo auxiliar A1, trata-se de um suporte para bandejas de pescado

(caixas de material plástico normalmente utilizadas para o transporte de peixe), o qual permite a colocação de duas destas caixas (Figura 6.40-a), uma em cima da outra, de forma que, durante a sua substituição, não haja a necessidade de paralisação do processo.

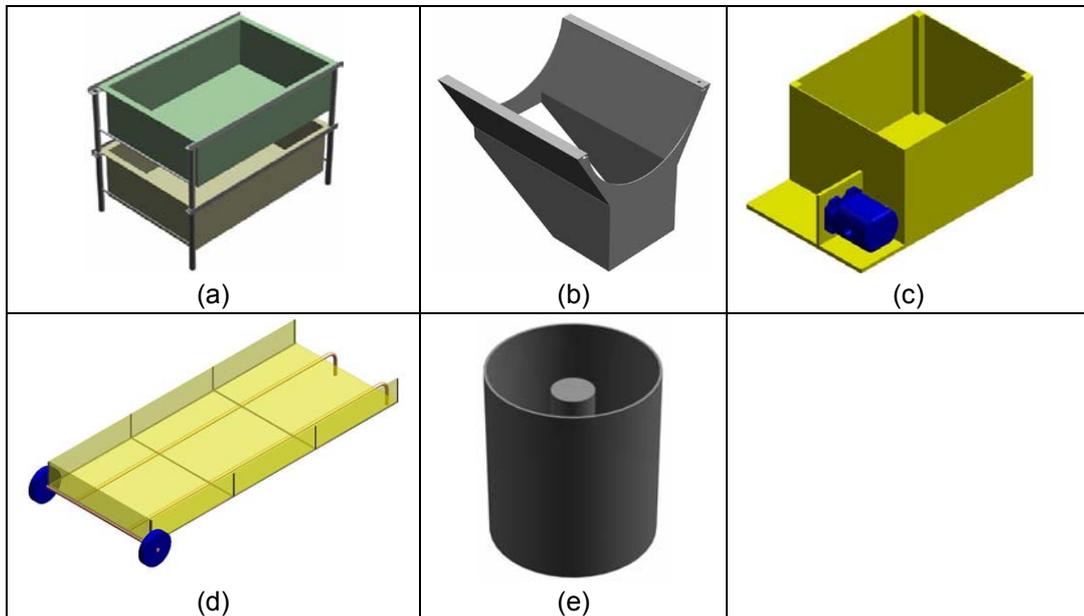


Figura 6.40 – Módulos auxiliares propostos: (a) A1 – suporte para bandeja de pescado; (b) A2 – funil coletor d'água; (c) A3 - tanque de recirculação d'água; (d) A4 – carrinho para corda de mexilhões; (e) A5 – porta-cordas.

Como segundo módulo auxiliar tem-se o funil coletor d'água (A2), o qual permite, durante um processo de limpeza, que toda a água com detritos seja conduzida para um único orifício, localizado na base do equipamento (Figura 6.40-b). O terceiro módulo auxiliar (módulo A3), o tanque de recirculação d'água (Figura 6.40-c), permite o reaproveitamento da água captada pelo módulo A2, filtrando-a e bombeando-a de volta ao sistema. O carrinho para corda de mexilhões (módulo A4) trata-se de um equipamento cuja função é facilitar o transporte das sementes recém encordoadas (Figura 6.40-d). O último módulo é o porta-cordas (módulo A5), componente utilizado para a acomodação do cabo central da corda de mexilhões, de forma que esta não trave nem enrole durante o processo encordoamento (Figura 6.40-e).

Dos módulos auxiliares propostos, somente o módulo A2 (funil coletor d'água) foi desenvolvido durante o projeto preliminar. A justificativa para tanto está no fato de que, apesar de não contribuir diretamente no desempenho dos processos em que irá participar, seu uso influi diretamente na transportabilidade do equipamento (aumento de peso) e na montagem e desmontagem dos módulos, sendo interessante sua presença durante a avaliação do equipamento. Tal fato não ocorre diretamente com os demais módulos auxiliares, uma vez que suas geometrias apresentam-se independentes da estrutura dos demais módulos.

6.1.3 Configurações de produtos

Cada um dos processos do cultivo de mexilhões, selecionados para projeto durante esta pesquisa, pode ser realizada através da combinação de módulos descritos no tópico anterior, sendo as configurações de produtos possíveis listadas a seguir e ilustradas na Figura 6.41:

- CF-1 – Processo de desgranação de mexilhões / processo de seleção de mexilhões.
- CF-2 – Processo de limpeza de mexilhões / processo de seleção de mexilhões.
- CF-3 – Processo de limpeza refinada de mexilhões / processo de seleção de mexilhões.
- CF-4 – Processo de retirada das conchas
- CF-5 – Processo de encordoamento
- CF-6 – Processo de remoção dos mexilhões das cordas

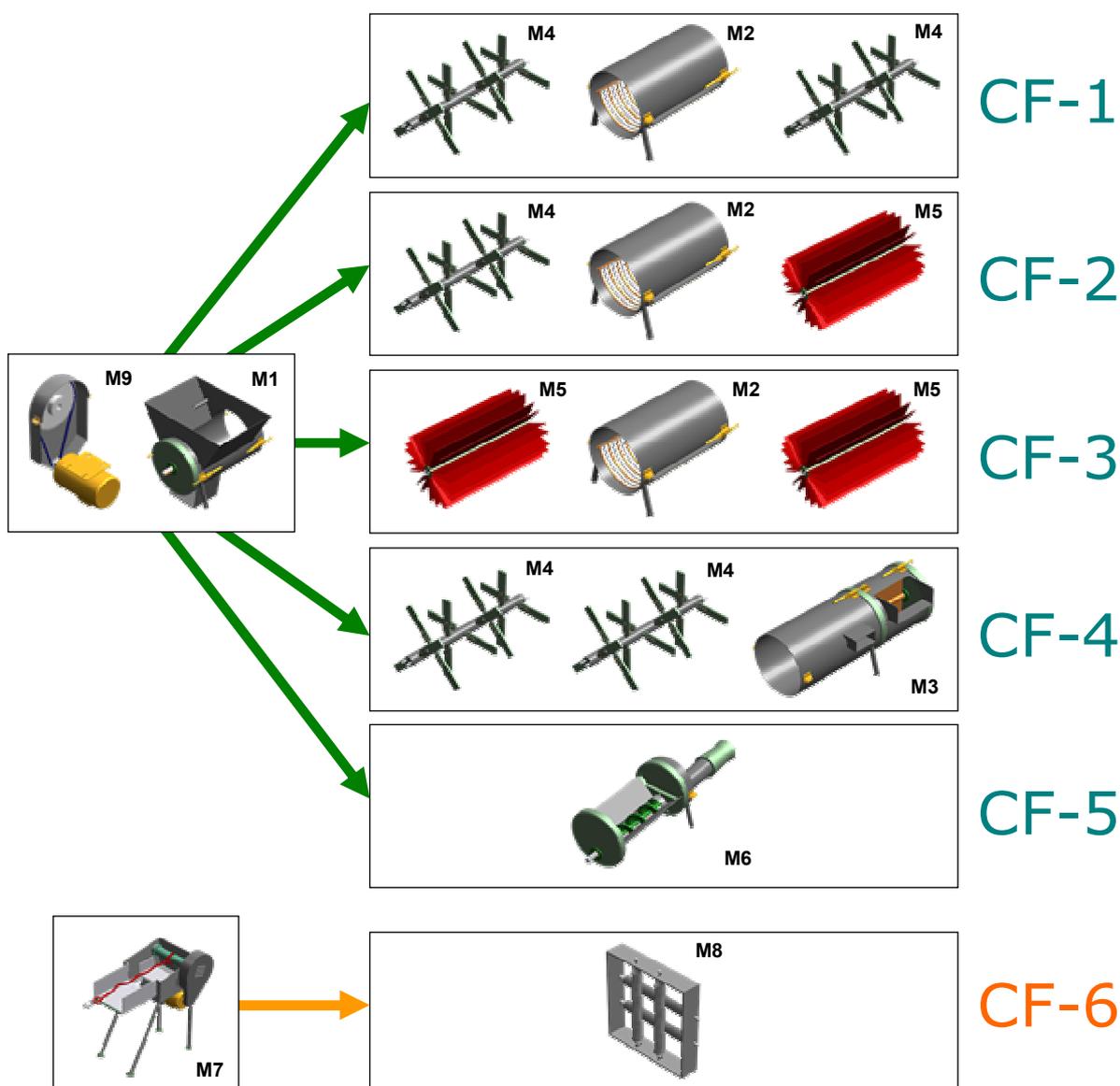


Figura 6.41 – Mapeamento das configurações simples de módulos.

Apenas a retirada das cordas do cultivo, também pertencente ao grupo de processos de cultivo de mexilhões selecionados para mecanização, não faz parte desta lista, sendo este processo plenamente realizado através do módulo M7, o tracionador de cordas. A configuração CF-1, esquematizada na Figura 6.42, é obtida através da combinação de dois módulos M4 (eixo agitador), um módulo receptor de mexilhões (M1) e um módulo extensor separador. O movimento propiciado pela rotação dos eixos agitadores permite, através de impactos sucessivos e da rotação constante, o rompimento do bisso e a conseqüente individualização dos mexilhões. Para reduzir o estresse a que o animal será submetido pela intensa agitação, o que poderia levar à desova prematura dos mexilhões e à conseqüente perda de peso, as pás utilizadas na movimentação dos mexilhões são confeccionadas em náilon. Além disso, durante o projeto dos equipamentos procurou-se limitar a rotação do sistema de desgranação a, no máximo, 50 RPM, porém sendo necessária determinação, durante os ensaios, de um valor ótimo de produtividade. A configuração CF-1 também permite a realização do processo de seleção de mexilhões, propiciado pela retirada da sobre grade do módulo extensor separador, aumentando o vão entre as grades permitindo a passagem de sementes enquanto que os mexilhões em tamanho comercial permanecem no interior do equipamento.

Com a configuração CF-2 (Figura 6.43), pode-se realizar o processo de limpeza dos mexilhões. Neste caso, os mexilhões são conduzidos pelo eixo agitador (módulo M4) em direção ao eixo de escovas (módulo M5) o qual, através do atrito contínuo dos mexilhões com as cerdas da escova, proporciona a liberação dos materiais incrustados por sobre o mexilhão. Durante este processo é importante que seja colocada uma fonte de água doce, já existindo no equipamento um local apropriado à colocação de uma mangueira (no funil do módulo receptor de mexilhões M1). Novamente o equipamento pode ser configurado para a realização do processo de seleção de mexilhões, bastando apenas retirar a sobre-grade presente no módulo extensor separador (M2). Com a permanência da sobre-grade, apenas detritos e mexilhões muito pequenos podem passar pelos vãos, sendo interessante o uso, neste caso, do módulo auxiliar A2, permitindo uma coleta mais racional da água colocada no sistema.

Na configuração CF-3, apresentada na Figura 6.44, são empregados dois eixos de escovas (M5), ao invés de um único como visto na configuração CF-2, o que permite a obtenção de um maior grau de limpeza em se comparando com a configuração anterior. Com esta possibilidade de combinação de módulos objetiva-se propiciar a comercialização de mexilhões com um acabamento mais refinado, tal qual o desejado pelas unidades de beneficiamento para a venda de mariscos em meia concha. Esta configuração também poderia ser utilizada para a limpeza de mexilhões em locais onde haja uma ocorrência mais acentuada de deposição de materiais por sobre as conchas dos mexilhões.

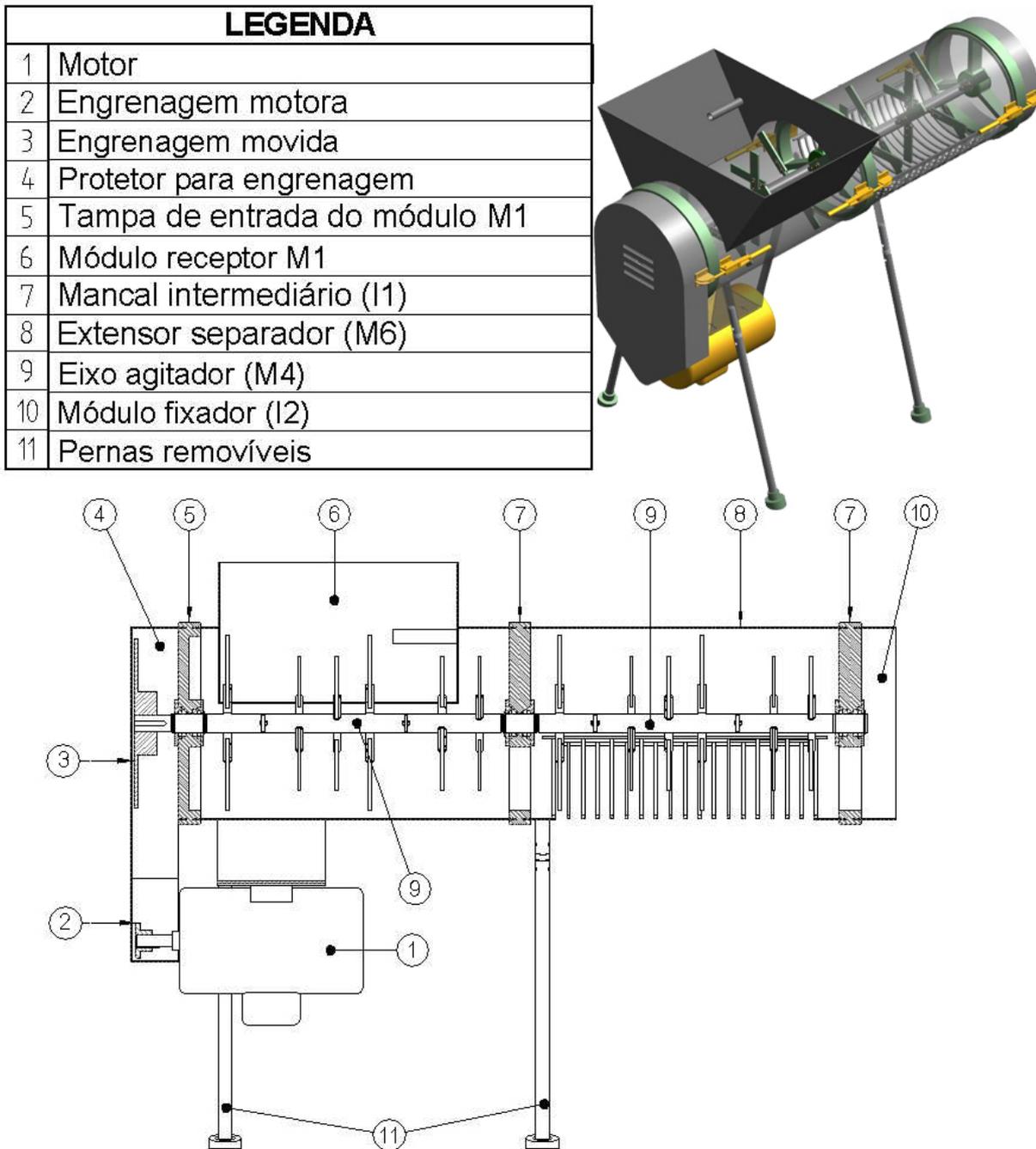


Figura 6.42 – Configuração de produto para a realização do processo de desgranação de mexilhões (CF-1).

Uma outra configuração, a CF-4, distinta das apresentadas anteriormente e cujo principal mercado serão as unidades de beneficiamento, é conseguida através da combinação do módulo receptor de mexilhões (M1), de dois eixos agitadores (M4) e do módulo extensor hermético (M3), conforme o ilustrado na Figura 6.45. O funcionamento deste equipamento se dá através da alimentação do equipamento com mexilhões pré-cozidos (processo necessário para que ocorra a abertura das conchas) através do funil do módulo M1, mergulhando-os em uma solução de água e salmoura. Com a agitação propiciada pelos eixos agitadores (M4), a carne do animal tende a se soltar de sua concha,

dirigindo-se à superfície do líquido graças à diferença de densidade entre a solução salina e as conchas, que permanecem no bojo do equipamento. Através da alimentação contínua de solução salina no sistema, o nível de líquido tende sempre a aumentar, conduzindo as carnes em direção à saída do equipamento. Já as conchas são levadas em direção à câmara final do equipamento, onde são conduzidas à saída com o auxílio do eixo com pás do M3. Para que haja o reaproveitamento da solução salina, recomenda-se que seja utilizado junto a esta configuração o tanque de recirculação d'água (módulo A4).

| LEGENDA | |
|---------|-------------------------------|
| 1 | Motor |
| 2 | Engrenagem motora |
| 3 | Engrenagem movida |
| 4 | Protetor para engrenagem |
| 5 | Tampa de entrada do módulo M1 |
| 6 | Módulo receptor M1 |
| 7 | Mancal intermediário (I1) |
| 8 | Eixo de escovas (M5) |
| 9 | Extensor separador (M6) |
| 10 | Eixo agitador (M4) |
| 11 | Módulo fixador (I2) |
| 12 | Pernas removíveis |

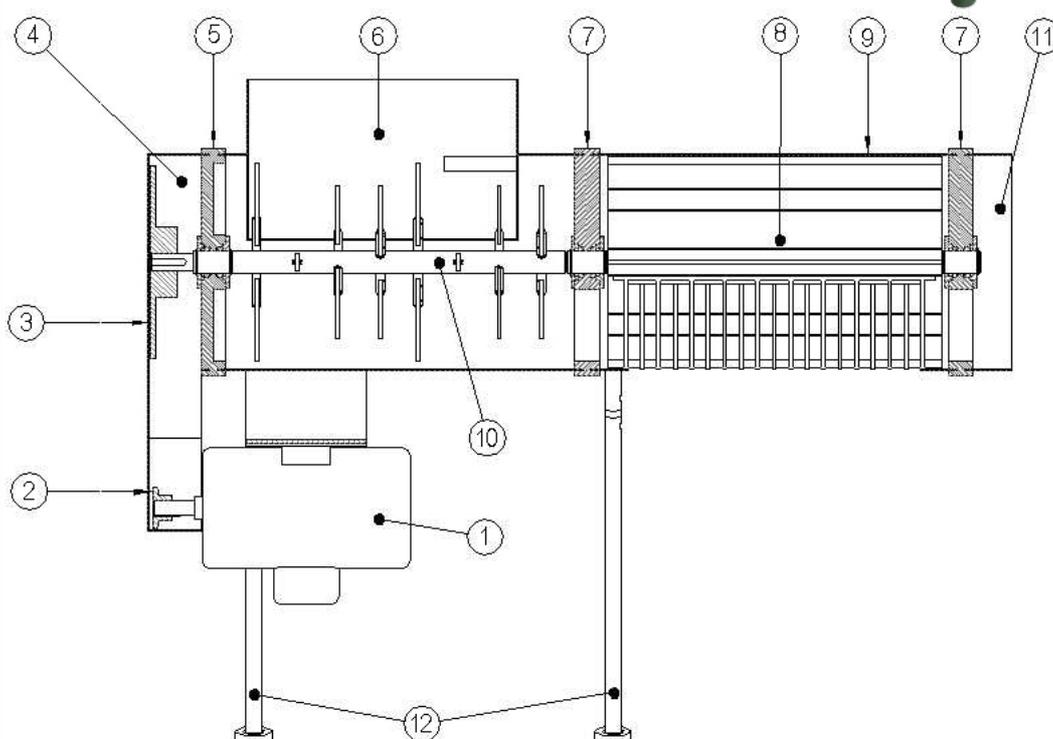
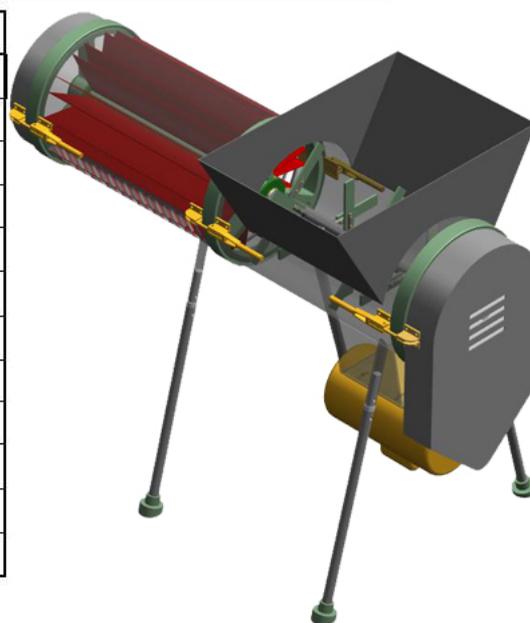


Figura 6.43 – Configuração de produto para a realização do processo de limpeza de mexilhões (CF-2).

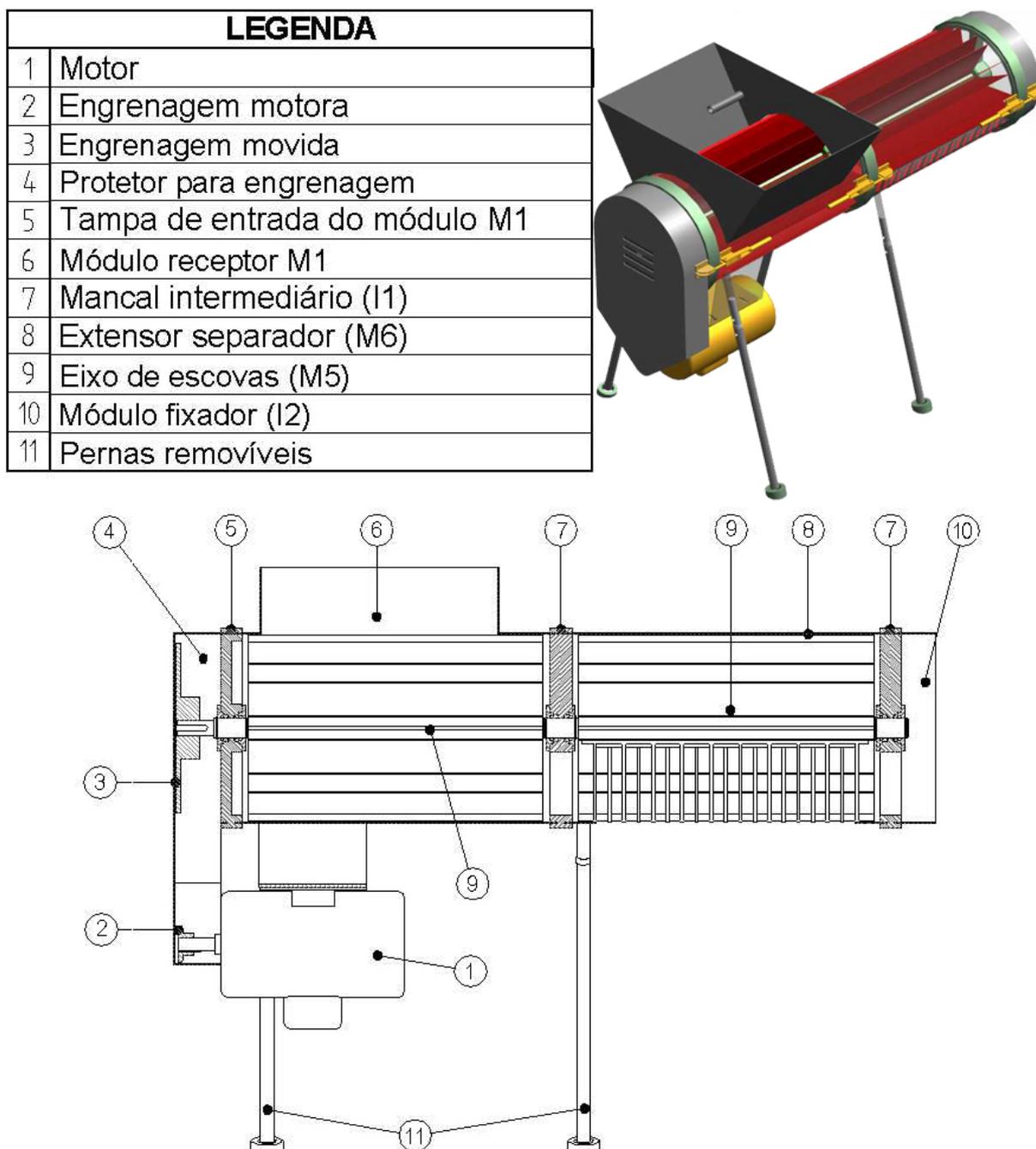


Figura 6.44 – Configuração de produto para a realização do processo de limpeza refinada de mexilhões (CF-3).

A CF-5 é última configuração em que ocorre a participação do módulo receptor de mexilhões (M1), sendo responsável pela realização do processo de encordoamento (Figura 6.46). A operação deste equipamento inicia-se com a preparação da máquina, adotando-se, ao final do duto de saída, um bico para malhas, contendo um conjunto de sacos de redes de pesca e algodão. A máquina é então acionada, sendo alimentada com sementes de mexilhões, os quais são conduzidos por um sem-fim, empurrando o conjunto de sacos de rede. Ao ser preenchida a corda de mexilhões, o operador desliga a máquina, amarra a extremidade superior da corda e substitui o bico de malha, ativando a máquina para

encordoar novamente. Tal solução permite ao produtor, através de um número maior de bicos de malha, otimizar seu processo de encordoamento.

| LEGENDA | |
|---------|--------------------------------|
| 1 | Motor |
| 2 | Engrenagem motora |
| 3 | Engrenagem movida |
| 4 | Protetor para engrenagem |
| 5 | Tampa de entrada do módulo M1 |
| 6 | Módulo receptor M1 |
| 7 | Mancal intermediário (I1) |
| 8 | Corpo intermediário do M3 |
| 9 | Mancal intermediário do M3 |
| 10 | Corpo final do M3 |
| 11 | Eixo de pás |
| 12 | Tampa do extensor hermético M3 |
| 13 | Módulo fixador (I2) |
| 14 | Eixo agitador (M4) |
| 15 | Pernas removíveis (I3) |

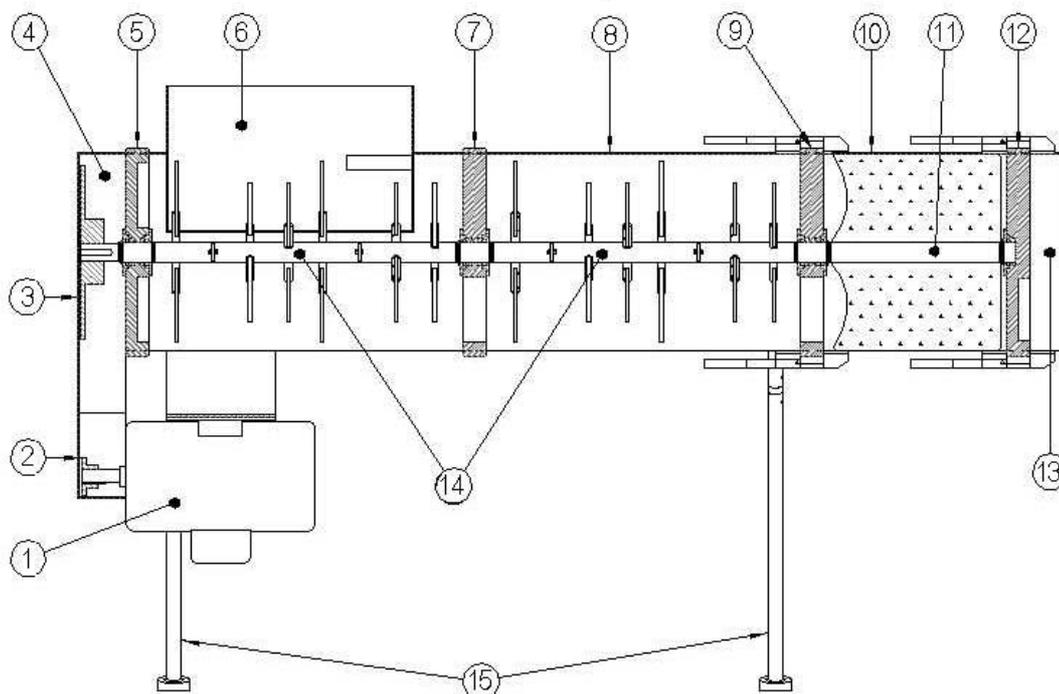
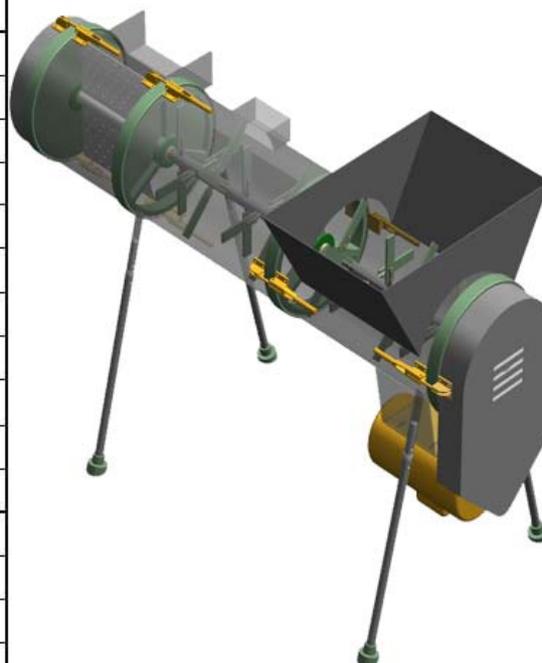


Figura 6.45 – Configuração de produto para a realização do processo de retirada da carne dos mexilhões (CF-4).

Finalmente, a Configuração de produto CF-6 (Figura 6.47), responsável pelo processo de remoção dos mexilhões das cordas, constitui-se da adição do módulo extrator de mexilhões (M8) ao módulo tracionador de cordas (M7). Com o acionamento do módulo

M7, a corda de mexilhões é puxada através do orifício formado entre as quatro molas do módulo M8, extraíndo os mexilhões de sua superfície sem, no entanto, danificar o saco de rede de náilon ou dos próprios mexilhões, graças à flexibilidade obtida pelo uso de molas como sistema extrator. As principais especificações técnicas dos equipamentos, obtidos através das configurações de produtos descritos, são apresentadas a seguir, na Tabela 6.13.

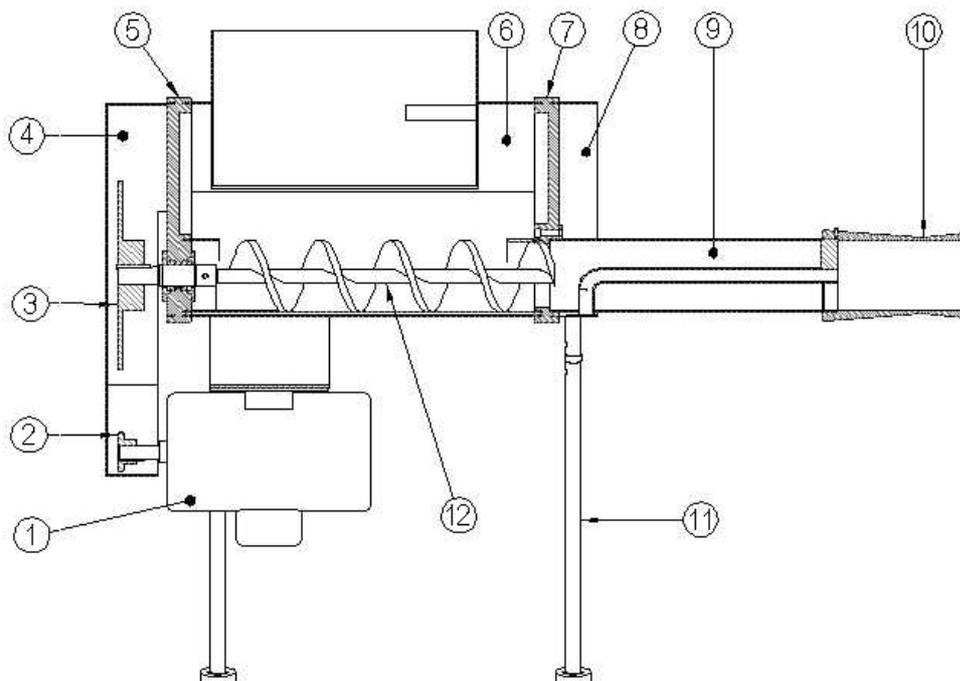
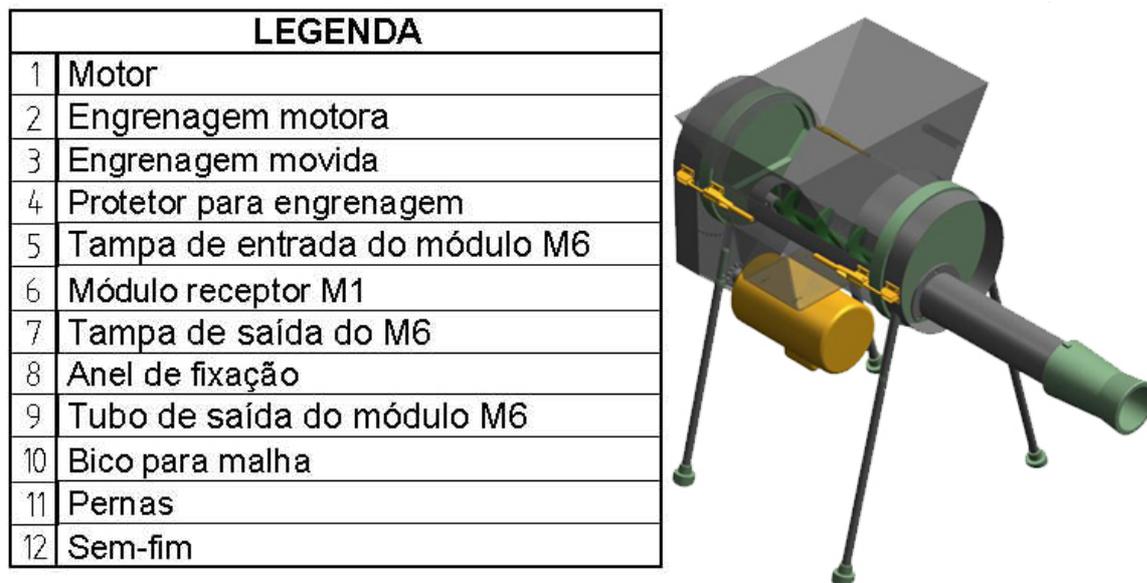


Figura 6.46 – Configuração de produto para a realização do processo de encordoamento de mexilhões (CF-5).

Tabela 6.13 – Especificações das configurações de produtos desenvolvidas.

| Especificação | Configuração | Valor |
|------------------------|---|------------------------------------|
| Peso (sem o motor) | CF-1 | 47,0 kg |
| | CF-2 | 46,7 kg |
| | CF-3 | 46,3 kg |
| | CF-4 | 58,0 kg |
| | CF-5 | 43,8 kg |
| | CF-6 | 51,6 kg |
| | CF-8 | 60,7 kg |
| | Capacidade de processamento projetada | CF-1; CF2; CF-3 |
| CF-4 | | 300 kg de carne/h |
| CF-5 | | 1,53 kg de sementes/min (a 40 RPM) |
| CF-6 | | 1 m de corda a cada 3s |
| CF-8 | | 500 kg de mexilhões/h |
| Tamanho (C x H x L) | CF-1; CF2; CF-3 | 1180 x 915 x 635 (mm) |
| | CF4 | 1490 x 915 x 635 (mm) |
| | CF5 | 1195 x 915 x 635 (mm) |
| | CF-6 | 965 x 840 x 505 (mm) |
| | CF-8 | 1690 x 915 x 635 (mm) |

Da forma como foi concebido, o sistema modular desenvolvido também permite formar configurações de produtos mistas, ampliando a capacidade do equipamento em realizar um dado processo ou agregando novas operações ao equipamento. Conforme ilustra a Figura 6.48, tal versatilidade somente pode ser obtida entre os módulos M1, M2, M4 e M5, através da adição de mais um módulo extensor separador e de um dos eixos às configurações CF-1, CF-2 ou CF-3. Os processos desempenhados pelas configurações mistas sugeridas para estes módulos são listadas a seguir, existindo em todas a possibilidade de realizar simultaneamente o processo de seleção de mexilhões com o de separação de detritos:

- CF-7 – Processo de desgranação de mexilhões mais profundo (para locais em que haja uma dificuldade maior de se soltar o bisso dos mexilhões).
- CF-8 – Processo de desgranação agregado ao de limpeza mexilhões.
- CF-9 – Processo de limpeza aprofundado pela adição de uma nova escova (adequado à locais com a presença mais acentuada de materiais depositados por sobre os mexilhões).
- CF-10 – Processo de aprofundado de limpeza refinada de mexilhões.

Tomando-se como exemplo a Configuração de produto CF-8, cujas especificações foram comparadas com as configurações simples de módulos na Tabela 6.13, pode-se ter uma melhor noção dos benefícios que podem ser obtidos do emprego das configurações mistas no cultivo de mexilhões. Nela os mexilhões são desgranados tal qual seriam pela configuração CF-1, porém sem que haja a necessidade de se transportar os mexilhões nem de modificar os módulos presentes no equipamento, os mexilhões são conduzidos imediatamente ao processo de limpeza de mexilhões. Se for considerada a possibilidade de

se trabalhar sem a sobre-grade no segundo módulo extensor separador (M2), além do processo de limpeza, também é agregado o processo de seleção de mexilhões o que resultaria em um processo bem interessante em termos de produtividade: os mexilhões são desgranados entre os módulos receptor (M1) e o primeiro módulo separador (M2), sendo escovados na seqüência, enquanto que, simultaneamente, os detritos são removidos através das grades do primeiro módulo M2 e as sementes de mexilhões no segundo.

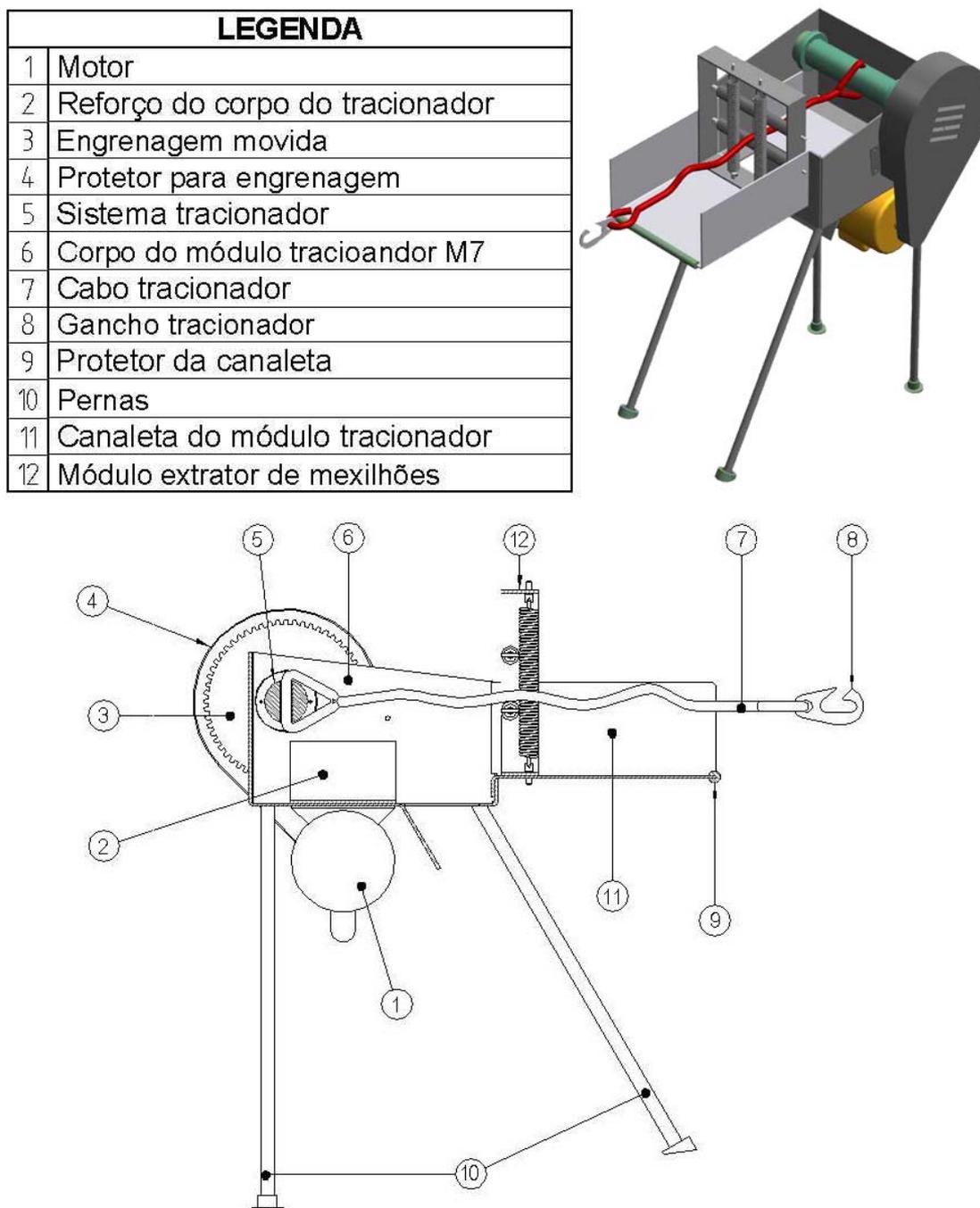


Figura 6.47 – Configuração de produto para a realização do processo de remoção dos mexilhões das cordas (CF-6).

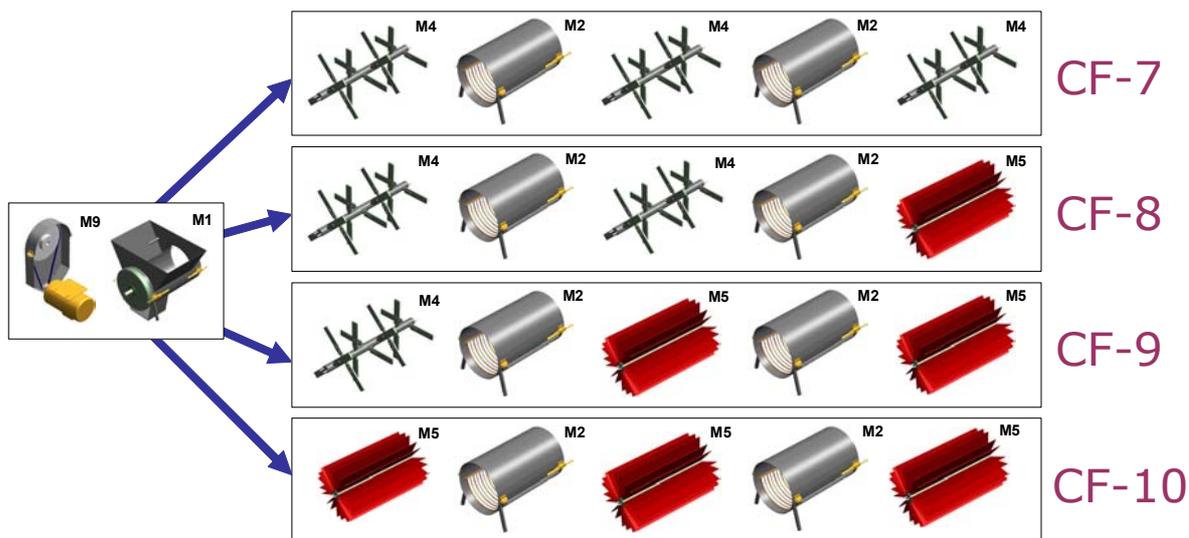


Figura 6.48 – Mapeamento das configurações mistas de módulos.

Todo o conteúdo descrito até o momento descreve os resultados advindos do projeto preliminar dos módulos, sendo esta a base para a confecção dos documentos necessários à manufatura do sistema modular, dentre os quais os mais importantes são, certamente, os desenhos técnicos dos equipamentos. O processo de documentação faz parte da fase de projeto detalhado do sistema modular, a qual é apresentada a seguir.

6.2 Projeto Detalhado do Sistema Modular

O principal foco desta fase do projeto de produtos para o cultivo de mexilhões é a confecção de desenhos técnicos das peças, sub-montagens e montagens dos elementos dimensionados durante a fase de projeto preliminar. Para facilitar esta tarefa, adotou-se um sistema de codificação para a identificação e diferenciação do tipo de desenho e do local de uso do componente, o qual é ilustrado a seguir, na Figura 6.49, onde:

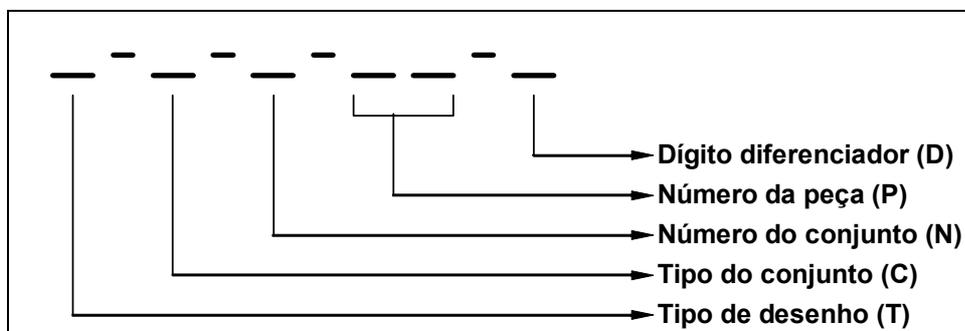


Figura 6.49 – Sistema de codificação dos desenhos.

- **Tipo de desenho (T)** – este é um dígito especial utilizado somente para indicar desenhos de peças a serem submetidas a processos de corte/dobra de chapas (P) ou de soldagem (S). Sua ausência indica apenas a não realização destes processos de manufatura;
- **Tipo do conjunto (C)** – este elemento identifica à que categoria pertence o desenho. As possibilidades são: um componente de um módulo principal (M), de um módulo construtivo (I), de um módulo auxiliar (A), de um produto padronizado adquirido no mercado (F) ou de uma possibilidade de Configuração de produto (CF);
- **Número do conjunto (N)** – utilizado para complementar a codificação do tipo de conjunto, sempre obedecendo a designação já apresentada na Tabela 6.3.
- **Número da peça (P)** – estes dois dígitos somente são utilizados na enumeração dos componentes e subsistema que compõem cada conjunto;
- **Dígito diferenciador (D)** – como o próprio nome sugere, este dígito é utilizado para identificar variantes de peças (principalmente no caso de peças para protótipos) ou para identificar partes de componentes (tais como peças de subsistemas incluídos na categoria anterior), podendo ser empregados tanto letras quanto números.

Na Tabela 6.14 são apresentados alguns exemplos do emprego desta codificação em componentes desenvolvidos neste projeto.

Tabela 6.14 – Exemplos do emprego da codificação proposta neste projeto.

| Código | Significado | Descrição |
|---------------|--|---|
| CF-1 | Configuração de produto 01 | Corresponde à combinação de módulos apresentada na Figura 6.26 e ilustrada no Desenho 14 . |
| M-2 | Módulo M2 | Corresponde ao extensor separador, apresentado no Desenho 02. |
| M-2-02 | Sobre grade | Componente formado por um conjunto de hastes de secção quadrada, soldadas em forma de grelha. Poder ser posicionada sobre os elementos de grade localizados no bojo do corpo do módulo 02 (presente no Desenho 02) de forma a reduzir o vão das hastes. |
| S-M-2-02 | Desenho de soldagem para o componente M-2-02 | Corresponde às indicações de soldagem para elementos que compõe a peça descrita anteriormente. |
| P-M-2-01-a | Desenho de corte de chapa para o componente M-2-01-a | Conforme o próprio significado afirma, corresponde às cotas para corte de chapa para o componente M-2-01-a (Corpo do módulo extensor separador – M2). |
| A-2 | Módulo auxiliar A2 | Corresponde ao componente denominado funil coletor d'água, o qual pode ser utilizado durante o processo de limpeza de mexilhões para a captação da água utilizada (vide Figura 6.25). |
| I-1-03 | Protetor para rolamento | Peça utilizada em maçais interfaciais e em tampas de módulos para proteger os rolamentos da presença de detritos (vide Quadro 6.2). |

Os desenhos de peças, de sub-montagens e de montagens, foram elaborados tendo-se em vista a facilitação de seu entendimento durante o processo de fabricação e montagem. No caso de peças, os principais esforços foram no sentido de serem eliminadas as cotas desnecessárias, mantendo-se apenas aquelas de interesse para corte e processamento. Para as peças soldadas, foram produzidos desenhos em separado, reduzindo-se o tempo de interpretação do desenho. Em relação às montagens, sempre que possível, optou-se pelo uso de perspectivas explodidas, cuja interpretação da forma e da seqüência de montagem se dá de forma mais intuitiva. Todos os desenhos confeccionados durante o projeto detalhado dos módulos encontram-se no CD em anexo, os quais foram ajustados para a impressão em folhas de papel no formato A1.

6.3 Comentários Finais

Durante a proposição da metodologia de projeto adotada, considerou-se o dimensionamento dos módulos, etapa projeto preliminar, como uma caixa-preta, a qual englobava todas as tarefas ligadas à transformação do conceito selecionado em um produto factível. Tal decisão foi tomada tendo-se em vista que, com exceção do projeto das interfaces, não foram introduzidas novas técnicas e ferramentas a esta fase. Apesar de ser a primeira vez em que é empregado, o processo de projeto de interfaces (ou PSI) apresentou desempenho considerado satisfatório, sendo adotadas somente interfaces baseadas em seus resultados.

Analisando-se o sistema modular desenvolvido, pode-se dizer que o maior benefício para o produtor deverá ser a facilidade com que poderão ser permutados os módulos projetados, o que também permitirá ao produtor a aquisição gradativa de módulos conforme suas necessidades individuais, sendo esta versatilidade ainda mais predominante entre os módulos M1, M2, M4 e M5. Os benefícios de um sistema mais flexível vêm de encontro à meta de incluir no processo de desenvolvimento do cultivo de mexilhões também os produtores de baixa renda, garantindo a eles um melhor planejamento do crescimento de sua estrutura produtiva e aproximando cada vez mais o custo total do sistema a patamares mais próximos a esta realidade.

Em relação aos desenhos, estes foram elaborados visando à construção do protótipo do equipamento e, após os testes, poderão vir a sofrer modificações.

7

Teste dos Protótipos

Este capítulo trata dos procedimentos e resultados dos testes realizados em protótipos construídos para a validação do projeto dos equipamentos desenvolvidos para a mecanização dos processos do cultivo e beneficiamento de mexilhões. Em seu conteúdo são abordados o planejamento prévio dos testes, o histórico do processo de manufatura dos protótipos fabricados em parceria com o SENAI/SC, as diferenças existentes entre o protótipo e o produto comercial, os resultados e análises preliminares dos testes e, finalizando, a avaliação final do projeto, com a análise do desempenho dos equipamentos, testados e a proposição de melhorias para o produto comercial

7.1 Planejamento dos Testes dos Protótipos

O planejamento do teste dos protótipos foi feito com base nos procedimentos descritos por MIALHE (1996) para o ensaio de máquinas agrícolas, combinados a conhecimentos de outros autores e de outras áreas (DE CICCIO & FANATAZZINI, 1988; PMI, 1996; SAKURADA, 2001; VINADÉ ET AL., 2001; MACHADO NETO, 2002). O procedimento adotado pode ser esquematizado conforme a Figura 7.1. Devido a restrições de tempo e recursos, para a avaliação do projeto foram selecionados quatro processos mecanizados, os quais são listadas a seguir, juntamente às justificativas de sua seleção:

- **Remoção dos Mexilhões das Cordas (FG-3/CF-6)** – o teste deste processo pretende verificar o funcionamento de um princípio de solução inovador adotado neste equipamento, sendo manufaturado apenas o módulo extrator (M8), portador das funções a serem avaliadas.
- **Desgranação dos Mexilhões (FG-4/CF-1)** – dentre os oito processos estudados neste projeto, esta é a configuração de produto que será submetida aos maiores esforços. Desta forma, sua avaliação permite validar parâmetros utilizados no dimensionamento de outros módulos e, conseqüentemente, de outros processos do cultivo de mexilhões, sendo esta a razão para sua seleção.

- **Seleção dos Mexilhões (FG-6/CF-1)** – a inclusão deste processo dentre aqueles serem testados está diretamente ligada ao fato de que, para sua realização, não são necessários quaisquer outros componentes além daqueles já manufaturados para a configuração de produto para a desgranação de mexilhões.
- **Limpeza dos mexilhões (FG-5/CF-2)** – a justificativa pela inclusão deste processo é similar ao do processo anterior, porém sendo necessária a manufatura de um módulo eixo de escovas (M5). Sua inserção é interessante sob o aspecto da avaliação da permutabilidade entre módulos, quando da mudança de configurações.

| Planejamento do teste | |
|-----------------------|---|
| Etapa 1 | Seleção dentre as especificações de projeto |
| Saídas ➡ | <i>Parâmetros de análise baseados nas especificações</i> |
| Etapa 2 | Seleção dentre os modos de falha |
| Saídas ➡ | <i>Parâmetros de análise baseados nos modos de falha</i> |
| Etapa 3 | Definição das fontes supridoras de dados |
| Saídas ➡ | <i>Formas de obtenção de dados (ensaios, surveys, etc.)</i> |
| Etapa 4 | Determinação de métodos de avaliação dos resultados |
| Saídas ➡ | <i>Métodos (comparativo, probabilístico ou qualitativo) selecionados.</i> |
| Etapa 5 | Planejamento dos recursos |
| Saídas ➡ | <i>Recursos determinados</i> |
| Etapa 6 | Planejamento do tempo |
| Saídas ➡ | <i>Tempo planejado</i> |
| Etapa 7 | Elaboração do plano de testes |
| Saídas ➡ | <i>Documentação do planejado</i> |

Figura 7.1 – Esquemática do processo adotado para o planejamento dos testes.

Os parâmetros de análise selecionados dentre as especificações de projeto foram divididos em três grupos, segundo os métodos de avaliação a serem empregados. Na Tabela 7.1 são listados os parâmetros que irão ser submetidos aos métodos de avaliação comparativos, caracterizados pelo confronto entre valores metas pré-estabelecidos e os resultados obtidos. Na Tabela 7.2 são apresentados os parâmetros de ensaio a serem avaliados por métodos qualitativos de avaliação, caracterizados pela avaliação dos resultados segundo critérios subjetivos, ou seja, dependentes das observações do avaliador. Os critérios empregados nesta avaliação estão na Tabela 7.3. Uma última listagem, apresentada na Tabela 7.4, é feita com as especificações de projeto que, por motivos diversos, não serão avaliadas durante os testes.

Tabela 7.1 – Parâmetros de análise submetidos a métodos comparativos de avaliação.

| Parâmetros de análise | Unidade | Tipo de medida | Recursos necessários |
|------------------------|---------|--------------------------|----------------------|
| Dimensões do conjunto | m | Especificação física | Trena |
| Peso do conjunto | kg | Especificação física | Balança |
| Custo de fabricação | R\$ | Característica econômica | - |
| Quebras de conchas | % | Característica dinâmica | - |
| Dimensões dos módulos | m | Especificação física | Trena |
| Capacidade de produção | kg/h | Característica dinâmica | - |
| Custo dos materiais | R\$ | Característica econômica | - |
| Peso do módulo | kg | Especificação física | Balança |

Tabela 7.2 – Parâmetros de análise submetidos a métodos qualitativos de avaliação.

| Parâmetros de análise |
|--------------------------------------|
| Usar aço inox |
| Usar materiais plásticos |
| Interface simples com o usuário |
| Projeto robusto |
| Produto seguro para o usuário |
| Realizar processos simultâneos |
| Realizar processos de forma contínua |
| Minimizar operações de montagem |
| Operável por uma pessoa |
| Adequar manufatura a escala |
| Usar materiais recicláveis |

Tabela 7.3 – Critérios adotados nas análises qualitativas.

| Avaliação | Descrição |
|-----------|---|
| Ruim | Não atende às necessidades ou está fora do nível aceitável |
| Regular | Atende parte das necessidades ou está pouco fora do aceitável |
| Bom | Atende às necessidades |
| Excelente | Atende às necessidades e supera o resultado esperado |

Tabela 7.4 – Especificações de projeto não selecionadas como parâmetros de análise.

| Especificações de projeto | Justificativa |
|------------------------------------|---|
| Usar diferentes fontes de potência | Não será testado o uso de diferentes fontes de potência |
| Usar pegas para transporte | Alguns dos elementos não essenciais à realização dos processos, como os módulos auxiliares e diversos outros componentes, incluindo as pegas para transporte, foram desconsiderados para a manufatura dos protótipos. |
| Densidade de encordoamento | Não se avaliará, durante os testes, a configuração de produto para realização do processo de encordoamento. No entanto, o sistema foi projetado para encordoar cordas de 75mm de diâmetro, valor considerado como o mais adequado sementes de mexilhões. Para mexilhões de desdobre, o bico para malha deverá ser alterado. |
| Comprimento de corda | Não se avaliará, durante os testes, a configuração de produto para realização do processo de encordoamento. No entanto, o equipamento foi projetado para encordoar cordas de mexilhões em qualquer comprimento desejado pelo produtor. |

Dentre os parâmetros de análise a serem submetidos a métodos comparativos de avaliação, existem duas medidas dinâmicas que, devido ao seu caráter dependente do tempo, necessitam de um planejamento mais elaborado para obtenção de resultados, sendo este apresentado no Quadro 7.1. Neste caso, deseja-se avaliar o comportamento do processo de desgranação, considerado como o mais críticos dentre os processos estudados, em diferentes velocidades de rotação. Desta forma, o planejamento realizado não levou em conta métodos estatísticos de avaliação dos resultados, uma vez que seriam necessários números proibitivos de repetições para alcançar este objetivo.

Quadro 7.1 – Planejamento da coleta de dados para as variáveis dinâmicas do processo de desgranação dos mexilhões.

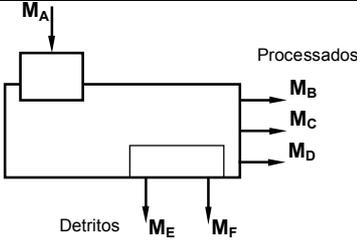
| | | |
|--------------------------------------|--|---|
| Objetivo | Avaliar a capacidade de processamento, o rendimento, a quebra de conchas e a separação de detritos do processo. | |
| Recursos necessários | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Balança; ▪ Cronômetro; ▪ 10 baldes (volume: 20 l); ▪ Mesa de classificação; ▪ Fichas de dados; ▪ Cordas de mexilhões. | <p style="text-align: center;">Esquema do processo</p>  |
| Processo de coleta de dados | <ol style="list-style-type: none"> 1. Medir a massa de cada balde, numerando-os em seguida. 2. Utilizando somente mexilhões em torrões (condição crítica), preencher três baldes (M_A). 3. Regular a rotação da máquina (R1, R2 ou R3), de acordo com os valores apresentados na Tabela 7.5. 4. Acionar o equipamento. 5. Acionar o cronômetro. 6. Alimentar o equipamento com a maior quantidade possível de mexilhões, repondo-os continuamente até acabarem-se todos os mexilhões a serem processados. 7. Desligar o cronômetro. 8. Desligar o equipamento. 9. Anotar o tempo de processamento da massa testada. 10. Separar e registrar a massa processada em 3 grupos (conforme o esquema): desgranados corretamente (M_B+M_E), não desgranados totalmente (M_C) e quebrados (M_D+M_F). 11. Repetir o processo até serem avaliadas todas as velocidades e repetições (2 para cada velocidade). | <p style="text-align: center;">LEGENDA</p> <p>M_A,... total de mexilhões a serem processados</p> <p>M_B,... massa de mexilhões adultos processados corretamente</p> <p>M_C,... massa de mexilhões que não foram totalmente desgranados</p> <p>M_D,... massa de mexilhões quebrados saídos junto aos processados corretamente</p> <p>M_E,... massa de mexilhões pequenos (sementes) processados corretamente</p> <p>M_F,... massa de mexilhões quebrados saídos junto às sementes</p> |
| Processo de análise dos dados | <ol style="list-style-type: none"> 1. Calcular a massa total de mexilhões presente no teste (Equação 1) 2. Calcular, para cada medição, a capacidade de processamento (Equação 2). 3. Calcular, para cada medição, a eficiência de processamento (Equação 3). 4. Calcular, para cada medição, percentual de quebras de mexilhões (Equação 4). 5. Delinear gráfico: rotações x eficiência de processamento. 6. Determinar os parâmetros ótimos de processamento. | <p>Equações:</p> $M_A = M_B + M_C + M_D + M_E + M_F \dots [Eq. 1]$ $C_P = \frac{M_A}{t} \times 60 \dots [Eq. 2]$ $E_P = \frac{M_B + M_E}{M_A} \times 100 \dots [Eq. 3]$ $P_Q = \frac{M_D + M_F}{M_A} \times 100 \dots [Eq. 4]$ <p>Onde:</p> <p>C_P... Capacidade de processamento [Kg/h]</p> <p>E_P... Eficiência de processamento [%]</p> <p>P_Q... Percentual de quebras [%]</p> |

Tabela 7.5 – Velocidades de rotação empregadas no ensaio dinâmico da configuração de produto para a desgranação e seleção de mexilhões.

| Velocidade de rotação | RPM |
|-----------------------|-----|
| R1 | 12 |
| R2 | 25 |
| R3 | 42 |

Na avaliação dos parâmetros de ensaio foi tomada como referência a configuração de produto para a realização da operação de desgranação de mexilhões, processo considerado como o mais crítico dentre todos a serem avaliados. Os demais processos serão avaliados qualitativamente, sendo observados aspectos técnicos e de desempenho dos produtos.

Além dos parâmetros de ensaio definidos com base nas especificações de projeto, também foram determinados outros, baseados no método FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*). Para tanto, foram elaboradas análises dos componentes da configuração de produto para o processo de desgranação dos mexilhões (novamente por ser considerado como o processo mais crítico), sendo o resultado da análise de seus modos de falha, causas e efeitos, apresentados nas Tabelas 7.6 e 7.7. Como fatores de criticalidade adotou-se os valores definidos por AKAO (1996), descritos na Tabela 7.8. Dos resultados obtidos, selecionou-se os cinco componentes apontados como de maior risco potencial para serem observados durante os testes. São eles: as pás (com grau de criticalidade 9,4); o eixo (com grau de criticalidade 9,2), o moto-redutor e o interruptor (empatados com grau de criticalidade 7,3) e, finalizando, a corrente (com grau de criticalidade 5,6).

Planejou-se que todas as medições seriam realizadas no período máximo de um dia, de forma a reduzir a possibilidade de variações de procedimento e outros tipos de alterações ambientais que possam vir a influir nos resultados. Tal planejamento, no entanto, não elimina a possibilidade de realização de novos testes para verificação de dados ou para a implementação de alterações de projeto. Tendo-se encerrada a descrição do planejamento realizado, no tópico a seguir serão apresentados os protótipos construídos e as modificações feitas em seu projeto.

Tabela 7.6 – Aplicação do FMEA à configuração de produto para desgranação: modos de falha, causas e efeitos.

| Sistema | Peças | Função no sistema | Modos de falhas | Efeitos | Causas |
|------------------|--|--|--|---|--|
| Carcaça | Pernas removíveis | Sustentação do equipamento e adequação à altura do usuário | Corroídas | Dificuldade em remover/ajustar | Limpeza/manutenção inadequadas ou materiais impróprios ao ambiente |
| | Corpo da carcaça principal e corpo do prolongador | Conduzir material, dar suporte aos mancais e prover conexão entre os módulos | Desgastado | Acúmulo de material/detritos no interior do equipamento, vazamentos | Montagem, transporte, armazenamento inadequados ou erro de fabricação ou projeto |
| | | | Deformado | | Montagem, transporte, armazenamento inadequados |
| | | | Corroído | Vazamentos | Limpeza/manutenção inadequadas ou materiais impróprios ao ambiente |
| | | Presença de material oxidado no processo | | | |
| | Mancal interfacial / tampa da carcaça principal | Conectar e dar suporte aos eixos e à engrenagem | Desgastado | Vazamentos, folgas, vibrações | Montagem inadequada dos módulos, problemas de fabricação ou de projeto |
| | | | Emperrado | Menor velocidade de processamento | Presença de detritos ou oxidação nos rolamentos |
| | | | | Aumento no ruído | |
| | | | Deformado | Aumento no ruído | Montagem ou armazenamento inadequados dos módulos |
| | | | | Aumento de vibrações | |
| Funil | Agrupar e conduzir os mexilhões ao interior do equipamento | Corroído | Presença de material oxidado no processo | Limpeza/manutenção inadequadas ou materiais impróprios ao ambiente | |
| | | | Perda de mexilhões | | |
| Sistema elétrico | Interruptor | Prover/interromper fluxo elétrico ao motor | Inoperante | Processamento interrompido | Mau contato, ausência de energia elétrica |
| | | | Em curto | Processamento interrompido | Presença de água, sobrecarga do equipamento |
| | | | Fogo/ explosão | | |
| | Moto-variador | Converte energia elétrica em mecânica (rotativa) | Inoperante | Equipamento não funciona | Travamento, detritos, com defeito, ausência de energia elétrica |
| | | | Em curto | Processamento interrompido | Presença de água, sobrecarga do equipamento |
| | | | | Fogo/ explosão | |
| | | | Vagaroso | Menor velocidade de processamento | Emperrado (com detritos ou deformação de peças) |
| | | | Saída de material não processado | | |

Tabela 7.6 (continuação) – Aplicação do FMEA à configuração de produto para desgranação: modos de falha, causas e efeitos.

| Sistema | Peças | Função no sistema | Modos de falhas | Efeitos | Causas | |
|---|---------------------------------|--|-----------------------------------|--|--|--|
| Sistema de transmissão | Engrenagens de corrente 01 e 02 | Transmitir movimento do motor | Rompida | Menor velocidade de processamento | Manutenção ou montagem inadequadas, problemas de fabricação ou projeto | |
| | | | | Saída de material não processado | | |
| | | | Desgastada | Processamento interrompido | | |
| | | | | Menor velocidade de processamento | | |
| | Corrente | Transmitir movimento entre engrenagens | Rompida | Saída de material não processado | | Manutenção ou montagem inadequadas, problemas de fabricação ou projeto |
| | | | Travada | Processamento interrompido | | |
| | | Desgastada | Menor velocidade de processamento | | | |
| | | | Saída de material não processado | | | |
| Sistema de agitação e individualização de mexilhões | Pás | Imprime movimento e individualiza os mexilhões | Rompidas | Saída de material não processado | Travamento das pás, problemas de montagem, manutenção, fabricação ou de projeto | |
| | Eixo | Transfere torque, rotação e provê sustentação às pás | Rompido | Processamento interrompido | Problemas de fabricação ou manutenção | |
| | | | Desalinhado | Aumento no ruído | Problemas de fabricação ou montagem | |
| | | | | Aumento de vibrações | | |
| | | | Saída de material não processado | | | |
| Sistema de separação | Grade | Separa sementes de mexilhões adultos | Deformada | Saída de mexilhões adultos junto às sementes | Condições inadequadas de uso, manutenção, problemas de fabricação, montagem ou projeto | |
| | | | Desgastada | | | |
| | | | Rompida | | | |
| | Sobre-grade | Separa detritos de mexilhões | Deformada | Saída de mexilhões junto aos detritos | Condições inadequadas de uso, manutenção, problemas de fabricação, montagem ou projeto | |
| | | | Rompida | | | |
| | | | Desgastada | | | |

Tabela 7.7 – Aplicação do FMEA à configuração de produto para desgranação: criticalidade dos modos de falha.

| Sistema | Componentes | Modos de falhas | Fatores de criticalidade | | | | | |
|---|---|-----------------|--------------------------|-----|-----|-----|------------|------------|
| | | | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | CE |
| Carcaça | Pernas removíveis | Corroídas | 0,5 | 0,5 | 1,0 | 0,7 | 1,0 | 0,2 |
| | | Desgastado | 1,0 | 0,5 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,5 |
| | Corpo da carcaça principal e corpo do prolongador | Deformado | 1,0 | 0,5 | 0,7 | 0,7 | 1,0 | 0,2 |
| | | Corroído | 3,0 | 0,5 | 1,0 | 0,7 | 1,0 | 1,1 |
| | | Desgastado | 1,0 | 0,5 | 0,7 | 1,0 | 1,2 | 0,4 |
| | Mancal interfacial / tampa da carcaça principal | Emperrado | 3,0 | 2,0 | 0,7 | 1,0 | 1,2 | 5,0 |
| | | Deformado | 3,0 | 1,0 | 0,7 | 1,0 | 1,2 | 2,5 |
| Funil | Corroído | 1,0 | 0,5 | 1,0 | 0,7 | 0,8 | 0,3 | |
| Sistema elétrico | Interruptor | Inoperante | 5,0 | 0,5 | 0,7 | 1,3 | 0,8 | 1,8 |
| | | Em curto | 5,0 | 2,0 | 0,7 | 1,3 | 0,8 | 7,3 |
| | | Inoperante | 5,0 | 0,5 | 0,7 | 1,3 | 0,8 | 1,8 |
| | Moto-reductor | Em curto | 5,0 | 2,0 | 0,7 | 1,3 | 0,8 | 7,3 |
| | | Vagaroso | 3,0 | 0,5 | 0,7 | 1,0 | 0,8 | 0,8 |
| Sistema de transmissão | Engrenagens de corrente 01 e 02 | Rompida | 3,0 | 1,0 | 0,7 | 1,3 | 0,8 | 2,2 |
| | | Desgastada | 1,0 | 1,0 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,4 |
| | Corrente | Rompida | 5,0 | 0,5 | 1,0 | 1,3 | 0,8 | 2,6 |
| | | Travada | 5,0 | 2,0 | 0,7 | 1,0 | 0,8 | 5,6 |
| | | Desgastada | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,7 | 0,8 | 0,6 |
| Sistema de agitação e individualização de mexilhões | Pás | Rompidas | 3,0 | 2,0 | 1,0 | 1,3 | 1,2 | 9,4 |
| | | Rompido | 5,0 | 2,0 | 0,7 | 1,3 | 1,0 | 9,1 |
| | Eixo | Desalinhado | 3,0 | 1,0 | 0,7 | 0,7 | 1,0 | 1,5 |
| Sistema de separação | Grade | Deformada | 1,0 | 0,5 | 1,0 | 1,3 | 1,0 | 0,7 |
| | | Desgastada | 1,0 | 0,5 | 1,0 | 1,3 | 1,0 | 0,7 |
| | | Rompida | 1,0 | 1,0 | 0,7 | 1,3 | 1,0 | 0,9 |
| | Sobre-grade | Deformada | 1,0 | 0,5 | 1,0 | 1,3 | 1,0 | 0,7 |
| | | Rompida | 1,0 | 0,5 | 1,0 | 1,3 | 1,0 | 0,7 |
| | | Desgastada | 1,0 | 1,0 | 0,7 | 1,3 | 1,0 | 0,9 |

Tabela 7.8 – Fatores de criticalidade propostos por AKAO (1996).

| Item | Descrição | Conteúdo | Fator |
|------|--|---|-------|
| F1 | Grandeza da influência provocada pela falha | Falha que provoca perda fatal | 5,0 |
| | | Falha que provoca perda considerável | 3,0 |
| | | Falha que provoca perda da função | 1,0 |
| | | Falha que não provoca perda da função | 0,5 |
| F2 | Abrangência da influência exercida sobre o sistema | Exerce mais de duas influências graves | 2,0 |
| | | Exerce uma influência grave | 1,0 |
| | | A influência exercida não é muito grave | 0,5 |
| F3 | Frequência de ocorrência da falha | Alta frequência de ocorrência | 1,5 |
| | | Possibilidade de ocorrência | 1,0 |
| | | Pouca possibilidade de ocorrência | 0,7 |
| F4 | Possibilidade de prevenção da falha | Prevenção é impossível | 1,3 |
| | | Prevenção é possível | 1,0 |
| | | Prevenção é fácil | 0,7 |
| F5 | Projeto novo ou não | Projeto muito diferente | 1,2 |
| | | Projeto similar | 1,0 |
| | | Projeto idêntico | 0,8 |

7.2 Protótipos desenvolvidos

Os protótipos dos módulos necessários à execução dos processos de desgranação, seleção e limpeza de mexilhões foram manufaturados em uma parceria firmada com o SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial), representado pela unidade São José (SC), na qual o NeDIP (Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC) contribuiu com os desenhos e o suporte ao projeto e o SENAI/São José forneceu os recursos necessários à fabricação do protótipo. O processo de transferência do projeto deu-se através de reuniões para verificação e adaptação do projeto às capacidades e aos procedimentos de manufaturas do SENAI, levando a proposição de alterações no desenho do protótipo, as quais são ilustradas no Quadro 7.2. O protótipo manufaturado no SENAI é apresentado na Figura 7.2, juntamente a alguns de seus componentes em estágios iniciais e intermediários de construção (à esquerda da figura) e em suas configurações finais (à direita).

O protótipo do módulo extrator de mexilhões (M8) foi manufaturado no próprio NeDIP, seguindo-se os desenhos de projeto, não sendo necessárias modificações em sua estrutura. Para a montagem do módulo M8, foi desenvolvido um suporte em madeira. O resultado é ilustrado na Figura 7.3.

Quadro 7.2 – Principais alterações efetuadas pelo SENAI para adaptação do projeto às características locais de manufatura.

| | |
|---|---|
|  | <p>Suporte para pás – Conforme o proposto inicialmente no projeto, as pás do módulo eixo agitador (M4) seriam fixas ao eixo central através de um suporte individual. Por não haver no SENAI recursos para garantir o correto posicionamento destes suportes, optou-se por confeccioná-los como hastes passantes (Figura ao lado), o que obrigou ao seu uso com duas pás em suas extremidades. Tal modificação tornou mais simples a fabricação, mas eliminou a agilidade desejada na substituição destas pás.</p> |
| <p>Corpo dos módulos M1 e M2 – o projeto inicial destas peças previam a calandragem em uma chapa única, já cortada no comprimento relativo ao perímetro do módulo. No entanto, com o objetivo de facilitar a manufatura, optou-se por fazê-los em três partes, o que levou a problemas dimensionais pelo acúmulo de tolerâncias e pelas soldagens efetuadas. Soluções para este problema incluem a manutenção do projeto original, mudança do processo de soldagem adotado e o uso de calandras de maior precisão.</p> | |
| <p>Mancais e tampas – devido aos problemas dimensionais com os módulos M1 e M2, bem como a dificuldades de localização do encaixe entre estes módulos e os mancais, modificaram-se os canais usados nesta função tornando-os mais angulados. Tal modificação não prejudicará os processos a serem testados, no entanto deverão ser considerados os problemas de vedação em processos como a retirada das conchas dos mexilhões.</p> | |

Quadro 7.2 (continuação) – Principais alterações efetuadas pelo SENAI para adaptação do projeto às características locais de manufatura.

| | |
|---|--|
|  | <p>Suporte do motor – este componente, incorporado ao módulo M1, foi desenvolvido tendo-se em mente um motor sem redução acoplada. No entanto, conforme descrito no planejamento, optou-se por avaliar o desempenho do equipamento em diferentes velocidades, exigindo mudanças no suporte para a instalação de um moto-variador.</p> |
|  | <p>Grampos – o projeto presumia o uso de um par de grampos para a fixação dos módulos, os quais trabalhariam em conjunto com os mancais. Com a alteração da geometria dos canais dos mancais, o sistema tornou-se instável, exigindo um terceiro grampo para preservar a rigidez do sistema.</p> |

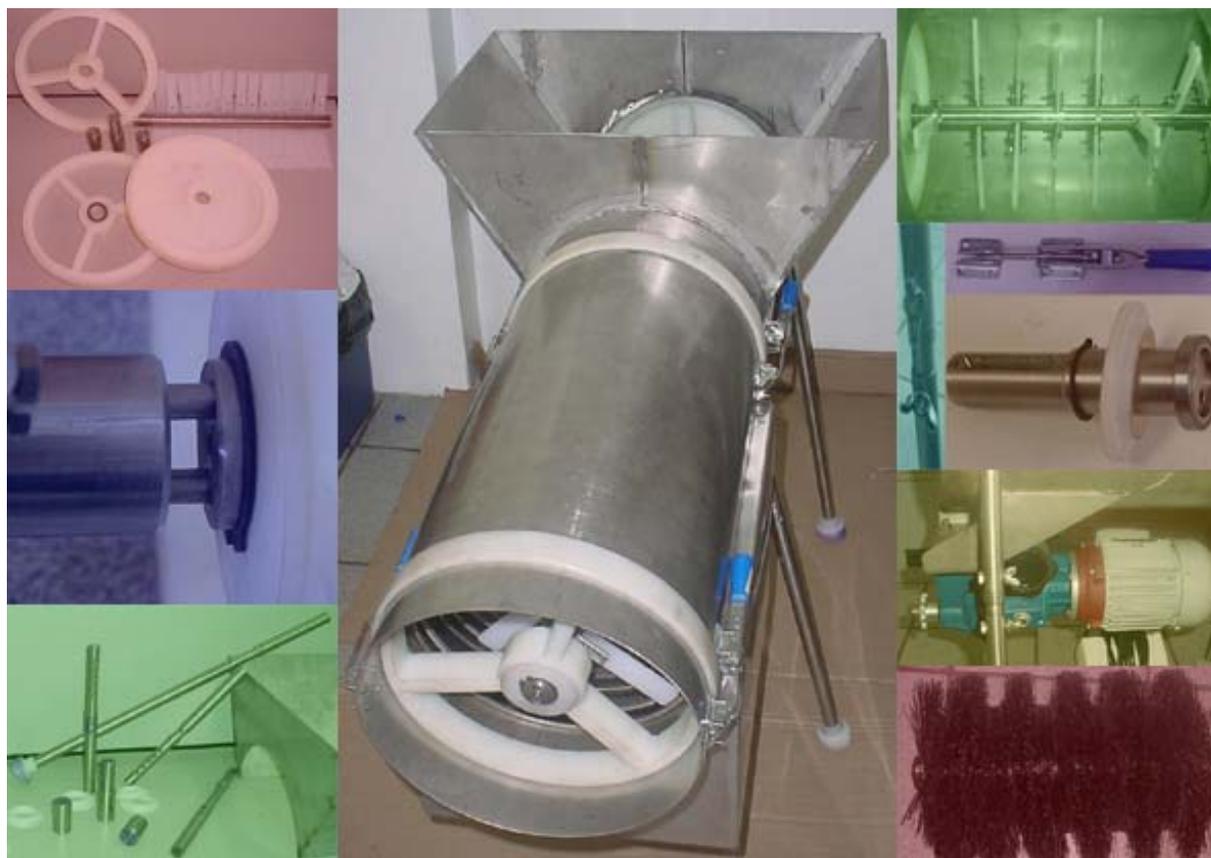


Figura 7.2 – Configuração final do protótipo e alguns de seus componentes.

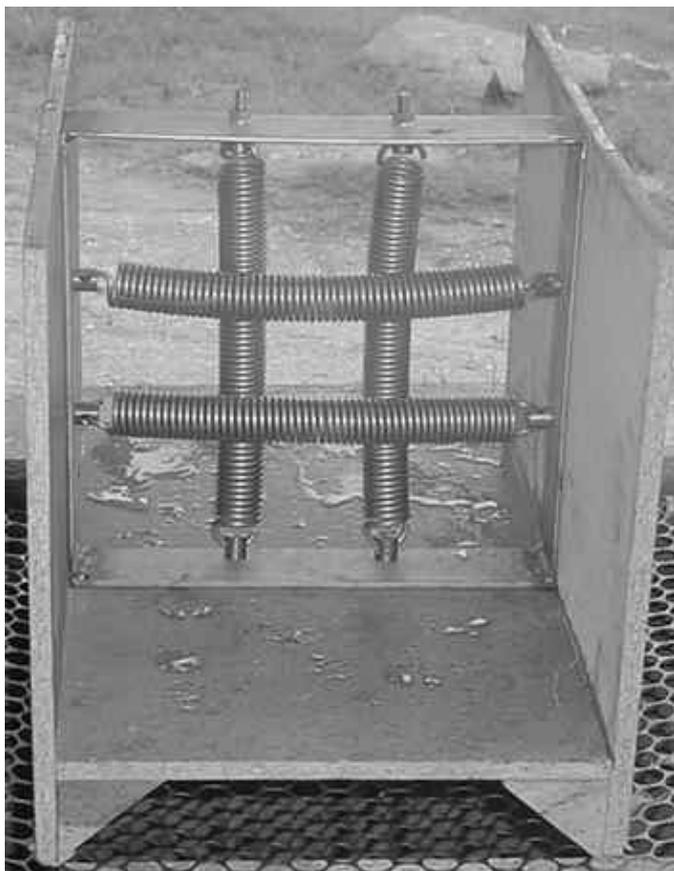


Figura 7.3 – Módulo extrator de mexilhões (M8) fixo ao suporte de madeira.

7.3 Realização do primeiro conjunto de testes dos equipamentos desenvolvidos e análise preliminar dos resultados

Os testes dos equipamentos foram realizados na praia de Sambaqui em Florianópolis/SC, nas instalações de uma das unidades do Laboratório de Cultivo de Moluscos Marinhos (LCMM) do Departamento de Aqüicultura da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Além de integrantes do NeDIP e do SENAI/São José, também contou-se com a presença de professores e alunos da pós-graduação em aqüicultura da UFSC e produtores da própria localidade. A Figura 7.4 mostra o local de realização dos testes.

Foram testados quatro processos do cultivo de mexilhões: a retirada dos mexilhões das cordas, a desgranação, a seleção e a limpeza dos mexilhões, sempre procurando seguir os procedimentos determinados durante o planejamento dos testes. No entanto, conforme a disponibilidade do LCMM, ao invés de cordas de cultivo, foram utilizadas cordas de coleta de mexilhões, constituídas por redes de pesca usadas enroladas, formando um emaranhado de rede de 2 m de comprimento, a qual é depositada no mar servindo de substrato para a captação de mexilhões ainda na fase plantigrada (fase do ciclo de vida do animal onde

ocorre a fixação dos mexilhões, ocorrendo após as fases larvária e véliger – LCMM, 2000-a). As cordas utilizadas já estavam a mais de 6 meses no mar e, portanto, já contavam com mexilhões em tamanho comercial.



Figura 7.4 – Instalações do LCMM/UFSC utilizadas nos testes.

Durante o manuseio destas cordas, constatou-se uma baixa presença de sementes de mexilhões em se comparando com as cordas de cultivo manipuladas durante as visitas realizadas na fase de projeto informacional da pesquisa, bem como se observou que os mexilhões se entavam fixos por uma quantidade maior de bisso. Estas características propiciaram um teste em condições mais críticas, exigindo dos equipamentos maiores esforços na realização dos processos. Exemplificando tais características, é ilustrado na Figura 7.5 um dos torrões utilizados no processo de desgranação dos mexilhões, também sendo utilizadas “pencas” de maior ou menor tamanho, mas com poucas variações.

A seguir será discutido cada um dos testes dos equipamentos realizados, sendo comentados os resultados preliminares obtidos.



Figura 7.5 – Mexilhões em “pencas” utilizados nos testes de desgranação de mexilhões.

□ **Processo de remoção dos mexilhões das cordas**

Tal qual já comentando no tópico 7.2, para a realização da remoção dos mexilhões das cordas, construiu-se somente o módulo extrator M8, portador dos princípios de solução essenciais à realização deste processo, o qual foi montado em um suporte de madeira. Durante a realização deste teste, utilizou-se força humana para a tração da corda, exigindo esforços muito grandes, principalmente ao iniciar o processo de extração. O processo somente foi realizado com êxito utilizando-se duas pessoas na tração da corda ou soltando-se previamente os mexilhões. Assim sendo, soluções como o uso de um sistema motor para a tração da corda, de sistemas de polias ou engrenagens para ampliar a força ou de roletes para pré-liberar os mexilhões são suficientes para concluir a mecanização deste processo, sendo tais soluções já contempladas durante o projeto.

Quanto aos princípios de solução adotados no módulo extrator (M8), estes apresentaram uma eficiência acima da esperada, conseguindo a liberação total dos mexilhões na maior parte das cordas submetidas à extração. Um exemplo desta eficiência pode ser observado na Figura 7.6, onde são comparadas duas cordas, uma ainda não processada e outra recém saída do processo de remoção dos mexilhões das cordas. Dentre as observações feitas no teste, a mais importante é que foi desnecessário um ajuste do vão de passagem da corda, bastando a flexibilidade da mola para permitir sua adaptação a variações no diâmetro de cordas.

Considerando-se que o teste foi feito em condições mais rigorosas de fixação dos animais do que as encontradas em cordas de cultivo (durante a fase de projeto informacional) e o fato de ter sido liberada a quase totalidade dos mexilhões durante a extração, pode-se concluir que os princípios adotados são adequados à mecanização deste

processo. Modificações eventuais poderão ser feitas no módulo tracionador (M7), de forma a torná-lo mais compacto, reduzindo-se principalmente o comprimento da canaleta, uma vez que não se constatou, durante o teste, o espalhamento de mexilhões após o módulo extrator. Outras constatações de interesse ao aperfeiçoamento do módulo tracionador M7 é a adoção de um sistema motor no qual a rotação do carretel não deveria exceder a 15 RPM para não danificar os mexilhões e a potência necessária pode ser equivalente ao esforço realizado por dois ou três seres humanos.



Figura 7.6 – Comparação entre cordas antes e depois da retirada de mexilhões.

□ **Processo de desgranação dos mexilhões**

O processo de desgranação de mexilhões é realizado através da configuração de produto CF-1, composta pelos módulos receptor (M1), extensor separador (M2), fonte de potência (M9) e dois eixos agitadores (M4), os quais efetivamente realizavam a individualização dos mexilhões em “pencas”. Neste processo utilizaram-se somente mexilhões em “pencas”, provenientes do processo de retirada dos mexilhões das cordas que, em sua maioria, apresentavam em grandes volumes como o ilustrado na Figura 7.5. O funil do módulo receptor foi totalmente preenchido com mexilhões, sendo medidos os valores do material processado em três categorias: mexilhões processados corretamente (desgranados), mexilhões não processados totalmente e mexilhões quebrados. Os resultados obtidos neste primeiro teste são apresentados a seguir, na Tabela 7.9.

Tabela 7.9 – Resultados obtidos dos testes da configuração de máquinas para o processo de desgranação dos mexilhões.

| Rotação do eixo agitador | | Mexilhões processados corretamente | Mexilhões não processados totalmente | Mexilhões quebrados | Mexilhões presentes no teste | Tempo do processamento (s) |
|--------------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|------------------------------|----------------------------|
| 25 RPM | Massa (g) | 26990 | 7180 | 4930 | 39100 | 3'33" |
| | Percentual | 69% | 18% | 13% | 100% | |
| 12 RPM (mínimo) | Massa (g) | 9480 | 9530 | 1190 | 20200 | 6'07" (abortado) |
| | Percentual | 47% | 47% | 6% | 100% | |
| 42 RPM (máximo) | Massa (g) | 13080 | 9530 | 1810 | 24420 | 2'18" |
| | Percentual | 54% | 39% | 7% | 100% | |

Para fins de cálculo, a massa de detritos presente no início do processo é desconsiderada, uma vez que para a análise da eficiência do processo somente interessa a quantidade total de mexilhões. Além disso, grande parte dos detritos são perdidos juntamente à água colocada no sistema junto aos mexilhões, o que tornaria inadequados os valores medidos ao final do processo. A análise preliminar dos resultados revelou um elevado índice de quebras dos mexilhões durante o processamento. Tal fato também foi constatado durante o teste, tendo sido resultado do desprendimento da sobre-grade do módulo separador durante o processamento, criando uma barreira para os mexilhões que eram danificados ao colidirem com ela.

Em relação a eficiência do equipamento, ligada ao volume de mexilhões processados corretamente, notou-se uma grande influência da velocidade de rotação da máquina, expelindo muito rapidamente os mexilhões em 42 RPM, não permitindo seu total processamento, e apenas girando os mexilhões a 12 RPM, não os processando nem os conduzindo à saída da máquina, obrigando a interrupção do teste. Um equilíbrio foi obtido a 25 RPM, sendo os mexilhões conduzidos à saída com uma elevada porcentagem destes processados totalmente. Neste ponto é interessante ressaltar que, dentre os mexilhões não processados totalmente não se constatou a presença de torrões de grande volume, sendo grande parte deste material composta de dois ou três mexilhões ainda presos por um pequeno número de filamentos de bisso, o que permite concluir que o percentual de desgranação total seria ainda maior em condições de processamento mais usuais.

Além da soltura da sobre grade durante o processo, outros problemas também foram evidenciados durante a realização dos testes. Estes problemas são comentados a seguir:

- Notou-se que o ressalto sobre a face interna do canal de encaixe dos mancais intermediários (módulos I-1) com os módulos receptor (M1), extensor separador (M2) e anel de fixação (I-2) serviram como barreiras ao deslocamento dos mexilhões, dificultando sua saída. Como solução a este problema, sugere-se a eliminação deste ressalto na região mais próxima ao bojo da máquina.

- Também em relação ao mancal intermediário (I1), evidenciou-se a necessidade de colocação de guias para facilitar o posicionamento correto destes módulos, evitando rotações indesejadas na montagem.
- Em relação ao sistema de grades adotado no módulo extensor separador, este também se apresentou como obstáculos ao deslocamento dos mexilhões em direção à saída, sendo considerado seu posicionamento no exterior do equipamento como a melhor alternativa para a solução deste problema.
- O vão de 15 mm do sistema de grades (com a sobre-grade) mostrou-se adequado à separação de detritos e sementes muito pequenas (menores de 2 cm).
- Ao final dos testes, observou-se que a limpeza do equipamento exigiria do produtor um cuidado muito acentuado para não molhar o motor. Desta forma sugere-se que o motor do equipamento seja posicionado em uma caixa hermética, eliminando a ocorrência de acidentes com o usuário.
- Ao se desmontar o equipamento, constatou-se que diversas pás do eixo agitador haviam se deslocado durante a realização do teste. Verificou-se, no entanto, que se tratava de um problema de fabricação, uma vez que as pás foram confeccionadas com seus orifícios de encaixe com 8 mm de diâmetro (vide Figura 7.7), enquanto que os furos do suporte eram de 5 mm. Não foram observadas deformações nos furos das pás, mostrando a adequação da resistência da peça às condições de trabalho importas.
- Ainda em relação às pás, verificou-se que estas sofreram um desgaste elevado, tal qual evidenciado na Figura 7.7. No entanto, grande parte deste problema foi resultado do travamento dos mexilhões que, pela soltura da sobre grade ou pelo acúmulo de mexilhões no interior do equipamento, passaram a impor uma abrasão maior a este componente. Em condições normais de uso, a adoção de um chanfro nas laterais das pás serviria para reduzir consideravelmente este desgaste.

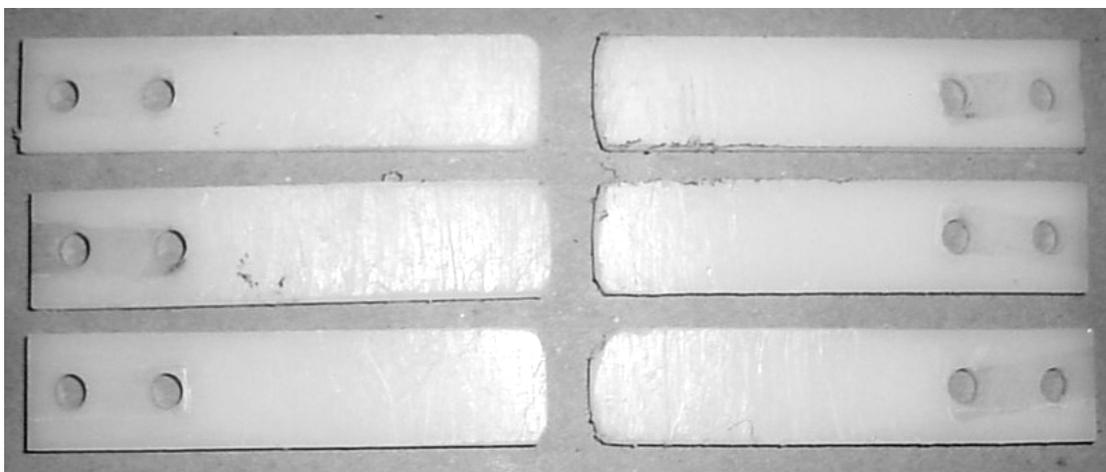


Figura 7.7 – Furação realizada nas pás – problemas na fabricação.

Da análise destes resultados preliminares, decidiu-se implementar modificações no sistema de grades de separação do módulo extensor separador (M2), removendo-se algumas barreiras internas ao deslocamento dos mexilhões, bem como refazer a furação das pás para torná-las mais próximas à furação dos suportes. Tais alterações objetivaram a realização de um novo teste desta configuração de produto.

□ **Processo de limpeza dos mexilhões**

O teste da configuração de produto para a limpeza de mexilhões, composta pelos mesmos módulos da configuração anterior, substituindo-se apenas um dos eixos agitadores (M4) por um eixo de escovas (M5), foi largamente prejudicado pelas grades internas ao módulo extensor separador (M2), cujos filetes apresentaram-se como barreiras ao deslocamento dos mexilhões, sendo esta situação agravada pelo fato dos mexilhões, ao adentrarem à escova, eram pressionados sobre o interior do corpo do módulo M2. Para solucionar este problema, é proposto o uso de um sistema externo de separação de detritos, evitando a presença de obstáculos ao deslocamento de mexilhões. Além disso, cogita-se a possibilidade de se disponibilizar um sistema em que o bojo do módulo M2 fosse fechado de forma a se obter uma superfície lisa, acompanhando a circunferência da máquina, não sendo o processo de separação e mantendo-se a água no interior do equipamento até o fim do processo.

Outro problema evidenciado durante a realização deste processo foi o acúmulo de mexilhões na entrada da escova, o qual pode ter sido ocasionado pelas grades internas ou pelo ressalto dos mancais interfaciais (I1). Tal acúmulo teve por consequência uma deformação permanente pela flexão das pás próximas à saída do módulo receptor (M1), conforme ilustrado na Figura 7.8, as quais foram submetidas a esforços demasiados no sentido axial da máquina.

Entretanto, apesar dos problemas encontrados, o processo de limpeza de mexilhões mostrou-se bastante eficiente, uma vez que os mexilhões que conseguiram passar sem problemas pela escova apresentavam-se com um alto grau de limpeza. Na Figura 7.9 são ilustrados mexilhões em duas situações distintas: à esquerda mexilhões antes de passar pelo processo de limpeza e, à direita, mexilhões limpos pelo equipamento. Outro ponto interessante a ser ressaltado é o fato de que nos mexilhões limpos, até mesmo as cracas foram removidas, sendo esta mais uma constatação da eficiência do processo.

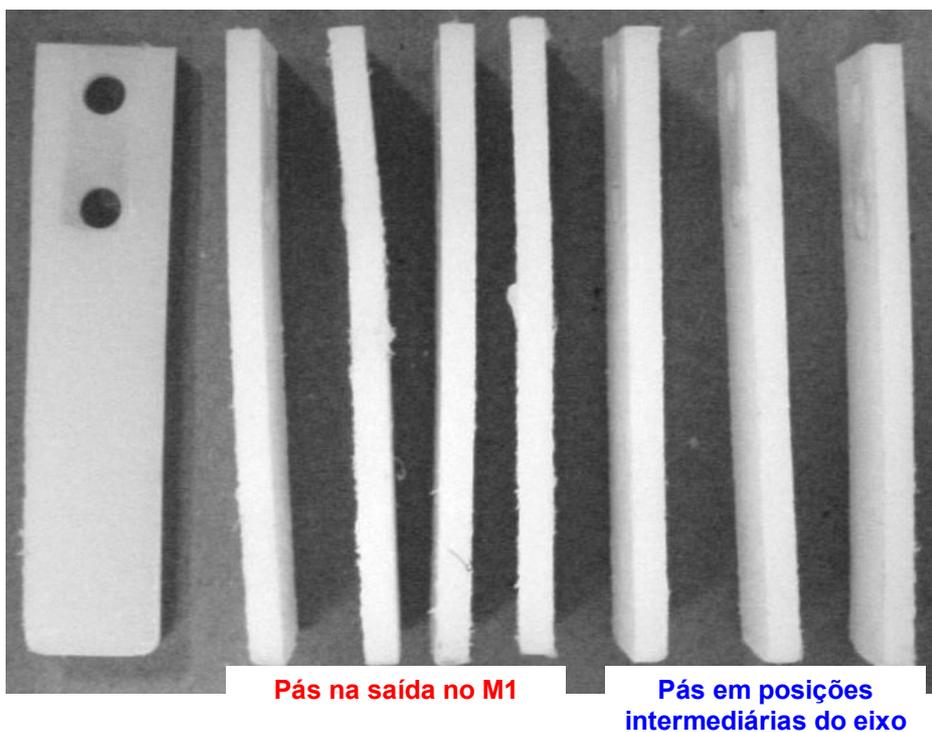


Figura 7.8 – Deformação das pás próximas à saída no módulo receptor (M1) durante a limpeza dos mexilhões.



Figura 7.9 – Comparação entre mexilhões sujos e limpos pelo equipamento.

□ **Processo de seleção dos mexilhões**

A avaliação do processo de seleção de mexilhões (separação das sementes dos mexilhões adultos) foi feita tanto em relação ao processo de desgranação quanto para o de limpeza de mexilhões. Apesar de haver uma presença muito pequena de jovens mexilhões

nas cordas utilizadas (cordas de coleta), o pouco que havia foi suficiente para verificar que o sistema de grades foi dimensionado incorretamente para a seleção de mexilhões, uma vez que, sem a sobre-grade, o vão de passagem era muito grande, deixando passar uma grande quantidade de mexilhões adultos. Em contrapartida, o vão dentre grades com a presença da sobre grade mostrou-se adequado somente à separação de detritos.

Como solução, optou-se por desenvolver um novo sistema de grades, agora externo, destinado apenas o processo de classificar mexilhões por tamanho, sendo evidenciado durante o teste que o tamanho de vão mais adequado estaria entre 16mm e 18mm. Desta forma, o sistema modular passará a contar com um conjunto de três bases distintas para o módulo separador de mexilhões, uma lisa, para o processo de limpeza, uma em tela moeda, para a separação de detritos, e outra com grades, para a separação das sementes.

7.4 Realização do segundo conjunto de testes dos equipamentos desenvolvidos e análise preliminar dos resultados

Para o segundo teste dos equipamentos, foram implementadas as modificações sugeridas para o sistema de grades do módulo extensor separador (M2), sendo confeccionadas as bases “bojo tela moeda”, para a separação de detritos, e “bojo liso”, para o processo de limpeza de mexilhões, apresentadas nas Figuras 7.10 e 7.11, respectivamente. Estes componentes são fixos externamente ao módulo M2 por parafusos, através de orifícios feitos em sua aba, conforme visto na Figura 7.12. Também foram efetuadas as correções propostas nas pás, de forma a ajustá-las a furação feita nos suportes das pás, conforme ilustra a Figura 7.13.

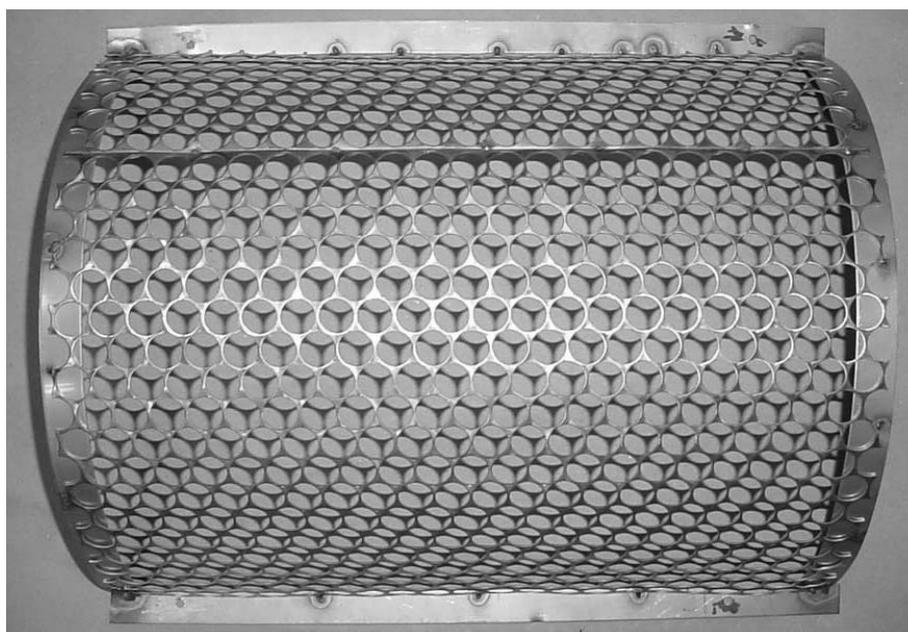


Figura 7.10 – Nova base para o módulo separador de mexilhões – bojo tela moeda.

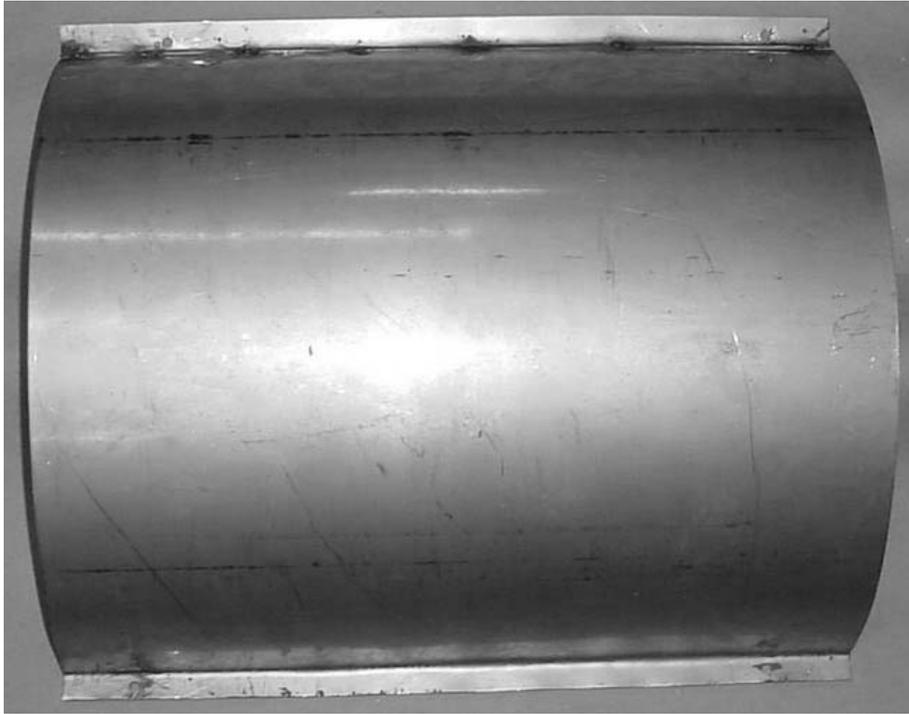


Figura 7.11 – Nova base para o módulo separador de mexilhões – bojo liso.



Figura 7.12 – Novo sistema de fixação dos bojos do extensor separador (M2).

Novos testes foram então realizados para os processos de desgranação e limpeza de mexilhões, no mesmo local e adotando-se os mesmos procedimentos empregados nos primeiros testes. Desta vez contou-se apenas com a presença do pessoal envolvido diretamente com o projeto (membros do SENAI e do NeDIP). Os mexilhões utilizados também eram provenientes de cordas de coleta, os quais aparentavam as mesmas

características do teste anterior, garantindo a comparabilidade dos resultados de ambos testes. Os objetivos e o desempenho de cada um dos processos avaliados será discutido nos tópicos a seguir.



Figura 7.13 – Correções na furação para fixação das pás.

□ Processo de desgranação de mexilhões

Objetivou-se, através deste novo teste da configuração para a desgranação de mexilhões, avaliar o desempenho do produto após a implementação das alterações de projeto citadas. O equipamento foi montado combinando-se os módulos receptor (M1), extensor separador (M2) e dois eixos agitadores (M4), sendo utilizado o bojo de tela moeda para a separação dos detritos. Assim como no primeiro teste deste processo, foram utilizados somente mexilhões em “pencas”, preenchendo-se totalmente o funil do módulo receptor. Através destes procedimentos obteve-se os resultados apresentados na Tabela 7.10.

Tabela 7.10 – Resultados obtidos dos testes da configuração de produto para o processo de desgranação dos mexilhões.

| Rotação do eixo agitador | | Mexilhões processados corretamente | Mexilhões não processados totalmente | Mexilhões quebrados | Mexilhões presentes no teste | Tempo de processamento (s) | Capacidade de produção [kg/h] |
|--------------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| 25 RPM | Massa 1 (g) | 9450 | 9650 | 260 | 19360 | 04:02 | |
| | Massa 2 (g) | 6850 | 10350 | 630 | 17830 | 02:54 | |
| | <i>Média (g)</i> | <i>8150</i> | <i>10000</i> | <i>445</i> | <i>18595</i> | <i>03:28</i> | |
| | Percentual | 44% | 54% | 2% | 100% | | 321,8 |
| 12 RPM (mínimo) | Massa 1 (g) | 7070 | 11420 | 310 | 18800 | 02:34 | |
| | Massa 2 (g) | 8750 | 10110 | 340 | 19200 | 02:10 | |
| | <i>Média (g)</i> | <i>7910</i> | <i>10765</i> | <i>325</i> | <i>19000</i> | <i>02:22</i> | |
| | Percentual | 42% | 57% | 2% | 100% | | 481,6 |
| 42 RPM (máximo) | Massa 1 (g) | 5970 | 6080 | 220 | 12270 | 03:16 | |
| | Massa 2 (g) | 4900 | 6760 | 290 | 11950 | 02:58 | |
| | <i>Média (g)</i> | <i>5435</i> | <i>6420</i> | <i>255</i> | <i>12110</i> | <i>03:07</i> | |
| | Percentual | 45% | 53% | 2% | 100% | | 233,1 |

Durante os testes observou-se uma queda sensível do volume de quebras de mexilhões, comprovada pelos valores medidos, sendo registrado variações de até 11 pontos percentuais. Esta queda foi evidenciada nas três rotações adotadas, demonstrando que as modificações efetuadas no bojo do módulo extensor separador surtiram o efeito desejado. Entretanto, ao se comparar o percentual de mexilhões processados corretamente no primeiro e segundo testes, verifica-se uma queda de eficiência do equipamento, principalmente em relação à rotação de 25 RPM. Tal queda de produtividade é explicada pela ausência dos elementos de grades internos ao equipamento, que auxiliavam no processo de desgranação ao servirem de anteparo às “pencas” de mexilhões. Comparando-se os resultados obtidos para as três rotações avaliadas durante este teste, pode-se notar um crescimento do percentual de mexilhões processados corretamente acompanhando o aumento de rotação do eixo agitador, não havendo, no entanto, base para afirmar se esta diferença é significativa e que este comportamento corresponda a uma tendência real do equipamento.

Já a análise comparativa dos valores entre mexilhões processados corretamente e não processados corretamente, obtidos neste teste, poderia levar a conclusão de que o rendimento desta configuração não chegaria a 50%. Para até que ponto a presença de uma fixação maior entre os mexilhões afetou este resultado, optou-se pela realização de mais um teste nesta mesma configuração de produto, porém utilizando-se somente amostras de mexilhões não processados totalmente. Com este teste pode-se ter noção da dificuldade de se desprender tais mexilhões, sendo os resultados apresentados na Tabela 7.11.

Tabela 7.11 – Resultados obtidos dos testes da configuração de máquinas para o processo de desgranação dos mexilhões – reprocessamento de mexilhões não processados totalmente.

| Rotação do eixo agitador | | Mexilhões processados corretamente | Mexilhões não processados corretamente | Mexilhões quebrados | Mexilhões presentes no teste |
|---------------------------|------------|------------------------------------|--|---------------------|------------------------------|
| 12 RPM (mínimo) | Massa (g) | 7390 | 13240 | 860 | 21490 |
| | Percentual | 34% | 62% | 4% | 100% |
| 42 RPM (máximo) | Massa (g) | 9220 | 11830 | 340 | 21220 |
| | Percentual | 42% | 56% | 2% | 100% |

Os resultados dos testes demonstram que, descontando-se o percentual de quebras, aproximadamente 60% dos mexilhões não processados corretamente não seriam, de qualquer forma, soltos pelo equipamento. Avaliando-se os mexilhões não processados neste segundo ensaio, verificou-se que os animais encontravam-se presos em grupos de no máximo três unidades, fixos a uma quantidade muito elevada de filamentos de bisso, sendo esta a provável razão para o baixo rendimento observado e demonstrando a influência da fixação do bisso neste processo. Assim sendo, reduzindo-se este percentual dos valores

apresentados na Tabela 7.10, chega-se a rendimentos próximos a 70% (novamente descontando-se as quebras), demonstrando que esta configuração de produto se já se encontraria adequada para o trabalho em condições normais de processamento. No entanto, cabe ressaltar que estes desempenhos superam, e muito, as condições de trabalho manual atualmente empregadas, onde horas de trabalho podem ser reduzidas para minutos e o esforço realizado pelo produtor limitado apenas à alimentação e coleta dos mexilhões processados, sendo estas as maiores contribuições sob o foco do usuário.

□ **Processo de limpeza de mexilhões**

O processo de limpeza de mexilhões foi testado em duas configurações de produtos, uma formada pelo módulo fonte de potência (M9), módulo receptor de mexilhões (M1), eixo agitador (M4), eixo de escovas (M5) e pelo extensor separador (M2) com bojo liso, e a outra substituindo-se o bojo liso pelo de tela moeda. Comparativamente, o bojo liso mostrou-se mais eficiente, uma vez que os furos do bojo de tela moeda também serviram como obstáculos ao deslocamento dos mexilhões que, prensados sobre a superfície interna do corpo do módulo M2, acabavam encaixando-se na tela moeda. Tal resultado demonstra a necessidade de se manter o uso de um bojo liso para a realização do processo de limpeza dos mexilhões.

Entretanto, o maior problema em relação a este processo continua sendo o acúmulo de mexilhões na entrada da escova do módulo M5. Conforme ilustrado na Figura 7.14, o módulo eixo de escova foi fabricado seguindo-se uma espiral dupla, uma com cerdas faceando o corpo do módulo extensor separador e outra mais baixa, formando um canal para condução dos mexilhões ao fim da escova. O problema de acúmulo decorreu do fato das cerdas mais próximas à entrada da escova deslocarem-se ao primeiro contato com os mexilhões, não os conduzindo ao canal da escova. O problema agravava-se ainda mais conforme o volume de mexilhões aumentava na entrada da escova, a qual prensava-os sobre as cerdas mais altas dificultando ainda mais o deslocamento dos animais no interior do módulo.

Apesar dos problemas apresentados, a limpeza efetuada por esta escova nos mexilhões que conseguiram passar corretamente pelo canal manteve o bom aspecto de concha já evidenciado no primeiro teste desta configuração, demonstrando que, se for solucionado o problema de acúmulo de mexilhões na entrada da escova, o processo será realizado corretamente.

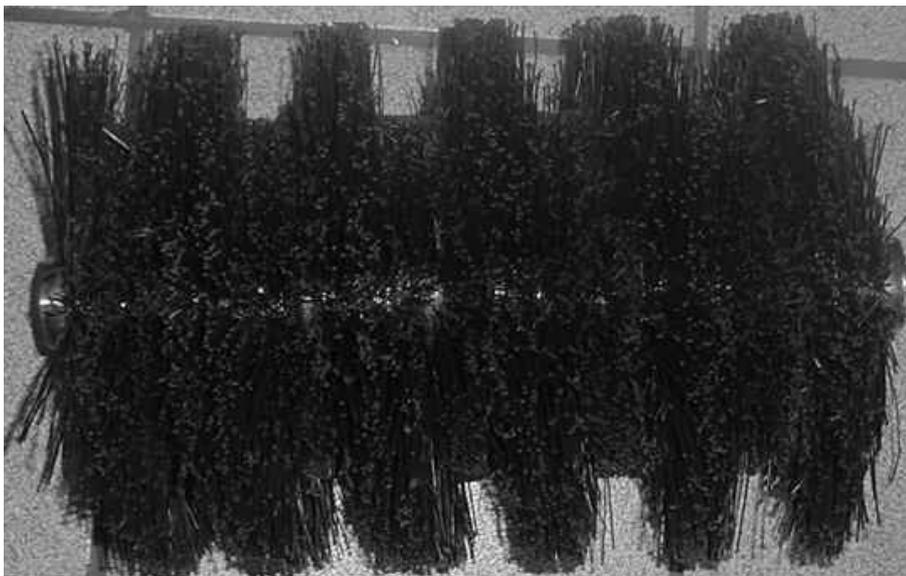


Figura 7.14 – Modelo de escova adotado no processo de limpeza de mexilhões.

7.5 Avaliação do Produto

A avaliação do produto se deu com base nos resultados obtidos durante os testes, incluindo os parâmetros de análise, avaliações feitas pela equipe técnica e o estudo de propostas de melhorias. É importante destacar que, para os fins desta pesquisa, entende-se por produto toda a gama de configurações possíveis da combinação dos módulos do sistema modular desenvolvido, incluindo as configurações não avaliadas nos testes. Logicamente, a avaliação de todo um sistema com base em apenas algumas de suas partes traz algumas limitações, porém, graças à arquitetura modular obtida, conseguiu-se testar seis dos nove módulos principais desenvolvidos, abrangendo elementos presentes em todas as configurações de produtos.

Analisando-se, primeiramente, os parâmetros de análise submetidos a métodos comparativos (Tabela 7.12) e os submetidos a métodos qualitativos de avaliação (Tabela 7.13), ambos provenientes das especificações de projeto, nota-se que quinze dos dezenove parâmetros de análise utilizados foram plenamente atingidas, sendo este o caso de parâmetros importantes como as dimensões e o peso do conjunto, os custos dos materiais e a quebra de mexilhões, inclusive com valores muito abaixo da meta estipulada. Dos quatro parâmetros restantes, um não obteve o resultado esperado devido ao elevado custo para manufatura do protótipo e dois foram mantidos conforme o projeto. Somente um, a Capacidade de Produção, foi designada para melhoramento, porém chegando a valores muito próximo à meta estabelecida.

Uma constatação interessante em relação à configuração de produto ensaiada, (desgranação de mexilhões) é o fato de que variando a rotação do sistema de agitação não se altera significativamente o rendimento do sistema, podendo ser utilizado qualquer valor

dentro do intervalo de teste. No entanto, em relação à capacidade de produção, valores de rotação em torno de 25 RPM mostraram-se mais produtivos, podendo ser utilizado como especificação de projeto para as configurações de produtos CF-1 a CF-5 e CF-7 a CF-10.

Tabela 7.12 – Avaliação dos parâmetros de análise submetidos a métodos comparativos.

| Parâmetros de análise | Meta | Valor Obtido | Unidade | Avaliação |
|------------------------|-----------------|--|---------|---|
| Dimensões do conjunto | ≤ 2000 (compr.) | 1.690 (CF-8) | mm | META ATINGIDA. Todas as demais configurações encontram-se abaixo da meta |
| Peso do conjunto | ≤ 100 | 60,7+16,2 (CF-8 + motor) | Kg | META ATINGIDA. Todas as demais configurações encontram-se abaixo da meta |
| Custo de fabricação | ≤ 4.000,00 | 9.240,00 ¹ | R\$ | APENAS NO PROTÓTIPO. O valor do protótipo foi extremamente elevado, haja vista que foram utilizados mão-de-obra externa ao SENAI/SC (R\$ 3.100,85), adquiriu-se um motor com variador de velocidade (1.963,00) e outros recursos que não correspondem ao que será gasto no produto comercial, o que tornará o custo final do produto mais próximo do custo-meta definido. |
| Quebras de conchas | ≤ 5 | ≤ 2 | % | META ATINGIDA |
| Dimensões dos módulos | ≤ 500/400/300 | 965/840/505 (M7) Ø 300/1180 (M6) | mm | MANTER O OBTIDO. Os módulos apresentados possuem valores dimensionais superiores às metas. No entanto, tais valores não chegam a invalidar o projeto, já que o módulo M7 constitui-se praticamente de uma arquitetura integral, não sofrendo alterações dimensionais expressivas, e o M6 será introduzido no M1, não resultando em tamanhos excessivos de equipamentos. Os demais módulos estão dentro da meta. |
| Capacidade de produção | ≥ 500 | 233-480 | kg/h | MELHORAR. A capacidade de produção ficou abaixo da esperada, principalmente devido aos obstáculos presentes no deslocamento dos mexilhões pelos mancais (em regiões sem a influência das pás). Desta forma, faz-se necessária a remoção destas barreiras, de forma a facilitar o fluxo de mexilhões. |
| Custo dos materiais | ≤ 2.000 | 635.00 ¹ (metais) 540,00 ¹ (náilon) | R\$ | META ATINGIDA |
| Peso do módulo | ≤ 23 | 47,0 (M7) | kg | MANTER O OBTIDO. Dentre todos os módulos desenvolvidos, apenas o módulo tracionador de cordas se encontra fora da meta de peso estipulada. No entanto, seu projeto, ao contrário dos demais, segue uma arquitetura mais próxima à integral, justificando o alto valor obtido. |

¹ Valores obtidos junto ao SENAI e apresentados no Apêndice B deste documento.

Desempenho semelhante foi evidenciado pela avaliação dos parâmetros de análise obtidos a partir do FMEA, apresentada na Tabela 7.14, com apenas um dos modos de

falhas considerado regular e todos os demais avaliados como excelentes. No caso do modo de falha “em curto”, presente nos componentes moto-variador e interruptor, a escolha por atribuir uma classificação tão baixa não está relacionada à ocorrência da falha, mas ao interesse em promover uma maior segurança ao usuário e viabilizar a troca por um motor de menor custo que o utilizado pelo protótipo, o qual possuía todas as proteções possíveis de fábrica. Desta forma, prevê-se o uso de uma carcaça protetora para o motor, isolando-o do ambiente externo e reduzindo a possibilidade de contato com a água.

Tabela 7.13 – Avaliação dos parâmetros de análise submetidos a métodos qualitativos de avaliação.

| Parâmetros de análise | Avaliação | Justificativa |
|--------------------------------------|-----------|---|
| Usar aço inox | EXCELENTE | Além de mostrarem adequados ao trabalho com água marinha (não se notou pontos de ferrugem em até uma semana após o uso) os materiais utilizados foram extremamente eficientes durante a limpeza do equipamento. |
| Usar materiais plásticos | | |
| Interface simples com o usuário | EXCELENTE | A pequena quantidade de botões (apenas um, para ligar e desligar) e o uso de elementos conhecidos como funil e grades resultou em um produto cuja interface é altamente intuitiva. |
| Projeto robusto | EXCELENTE | Todos os protótipos desenvolvidos foram submetidos a esforços superiores aos que serão usualmente encontrados na prática, tendo suportado-os sem o aparecimento de problemas. No entanto, tal resultado foi alcançado sem o uso de dimensões excessivas de peças nem de gastos exagerados de materiais. |
| Produto seguro para o usuário | BOM | O único problema de segurança ainda presente no equipamento é o fácil acesso às pás. Para solucionar isto, procurou-se selecionar a menor velocidade de trabalho possível, tornando o sistema mais seguro. Em relação à ergonomia, a altura e demais aspectos relacionados à realização do trabalho com o equipamento mostraram-se satisfatórias. |
| Realizar processos simultâneos | BOM | Quatro dos oito processos estudados durante esta pesquisa podem ser combinados em uma mesma configuração de produto. Além disso, o processo de seleção pode ser realizado simultaneamente em três diferentes configurações. |
| Realizar processos de forma contínua | BOM | Cinco dos oito processos estudados durante esta pesquisa foram mecanizados de forma a serem realizados continuamente. |
| Minimizar operações de montagem | BOM | O emprego de técnicas de DFMA permitiu o desenvolvimento de um produto de fácil manufatura e montagem. No entanto, uma ressalva deve ser feita quanto à forma como foi planejada a montagem que, ao invés de ser realizada deitando-se o equipamento, o que na prática mostrou-se inadequado, esta deveria ser realizada com o produto em sua posição de trabalho, exigindo-se uma nova perna para sustentação do módulo receptor de mexilhões (M1) |
| Adequar manufatura a escala | | |
| Operável por uma pessoa | BOM | Apesar de poder utilizar um único operador, o processo ficou muito mais fácil dividindo-se o trabalho em duas pessoas. Além disso, por questões de segurança, é norma geral que se trabalhe no mar com 2 ou 3 pessoas. |
| Usar materiais recicláveis | EXCELENTE | Todos os materiais empregados na manufatura dos módulos são recicláveis. |

Convém ressaltar que todas as avaliações foram feitas com base nos resultados dos testes realizados e, sempre que cabível, utilizando-se como referência a configuração de

produto CF-1, dedicada ao processo mais rigoroso dentre os selecionados para projeto, o de desgranação dos mexilhões. Deve-se lembrar também que o equipamento foi submetido a condições mais críticas de uso do que as encontradas na prática (cordas de coleta de mexilhões e preenchimento total do funil do M1), sendo seu desempenho em condições mais usuais de trabalho presumivelmente superior ao obtido. Um exemplo da criticalidade dos esforços a que o sistema foi submetido pode ser constatado pelo fato de que, ao serem processados uma segunda vez os mexilhões não processados corretamente no segundo teste, somente uma pequena parcela conseguiu libertar-se totalmente, resultado da elevada fixação entre os mexilhões.

Tabela 7.14 – Avaliação dos componentes apontados como críticos pelo FMEA para a configuração de produto para desgranação dos mexilhões.

| Componentes | Modo de falha | Avaliação | Justificativa |
|-------------------------------|---------------|-----------|---|
| Pás | Rompidas | ÓTIMO | FALHA NÃO OCORRIDA. O náilon, material selecionado para a manufatura das pás, mostrou-se adequado aos esforços a que foi submetido durante o processo, tendo resistido, inclusive, quando se evidenciou os problemas com sua furação.. |
| Eixo (do eixo agitador) | Rompido | ÓTIMO | FALHA NÃO OCORRIDA. Conforme já vislumbrado durante o projeto, trata-se de uma peça muito robusta, sendo o risco de seu rompimento muito baixo. |
| Moto-reductor/ Interruptor | Em curto | REGULAR | FALHA NÃO OCORRIDA. Apesar de ter-se adquirido um motor e um interruptor com todas as proteções necessárias, estes estiveram em contato (externo) com água durante a limpeza do equipamento, porém sem a ocorrência de curtos. No entanto, para reduzir os riscos futuros, por medida de segurança sugere-se o desenvolvimento de uma proteção para o motor e o interruptor, isolando-os do ambiente externo. |
| Corrente | Travada | ÓTIMO | FALHA NÃO OCORRIDA. Não foram constatados quaisquer problemas com o sistema de transmissão por correntes, não havendo contato das correntes (nem das engrenagens) com quaisquer elementos externos. |

Considerando o fato de que os parâmetros de análise avaliados foram considerados satisfatórios em sua quase totalidade, não havendo problemas sem soluções e que todas as melhorias propostas são factíveis e tendem a melhorar o desempenho do sistema, principalmente nos parâmetros de análise não aprovados, pode-se entender como validado o projeto. Corroborando com esta conclusão tem-se o bom desempenho do módulo extrator (M8), a facilidade de limpeza dos equipamentos e a excelente aparência de concha obtida através do processo de limpeza dos mexilhões (CF-2). Obviamente, problemas foram encontrados, no entanto, o principal objetivo dos testes foi obter subsídios para o aperfeiçoamento dos módulos desenvolvidos. Tal objetivo foi alcançado, sendo todas as modificações propostas listadas e descritas a seguir:

- **Aumento na espessura dos módulos (abrangem: M1, M2, M3 e M9)** – devido aos problemas encontrados no sistema de fixação dos módulos (grampos), que chegavam a deformar (não permanentemente), quando não ajustados corretamente, o corpo de certos módulos, optou-se por tornar ainda mais robusta sua estrutura, prevenindo a ocorrência de deformações permanentes. Assim sendo, alterou-se a espessura da chapa utilizada de 2 para 3 mm em todos os módulos que se utilizam de fixação por grampos, incluindo o extensor hermético (M3) não testado.
- **Uso de um terceiro grampo de fixação (abrangem: M1, M2, M3 e M9)** – pelos mesmos motivos apresentados no caso anterior, sugere-se o uso de um terceiro grampo para a fixação dos módulos citados, balanceando as forças de fechamento e guiando os módulos durante o fechamento dos grampos.
- **Nova geometria dos mancais e tampas (abrangem: M1, M3, M6 e I1)** – em todos os módulos onde há a presença dos mancais e tampas de náilon, são sugeridas modificações no canal para a fixação do corpo dos módulos, tornando-os levemente inclinados de forma a corrigir posicionamentos errados durante o processo de fechamento dos grampos e facilitando a montagem das configurações. Esta alteração é esquematizada na Figura 7.15.

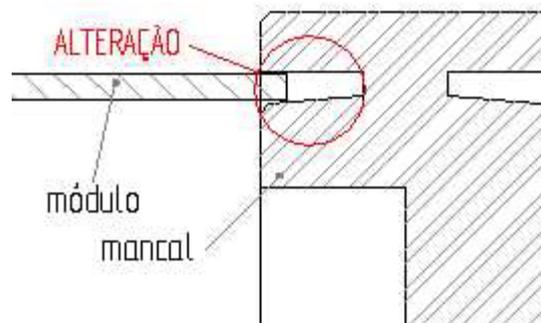


Figura 7.15 – Nova geometria para os mancais e tampas dos módulos.

- **Remoção dos obstáculos presentes nos mancais interfaciais (abrangem: M3 e I1)** – um dos piores problemas encontrados durante os testes, afetando tanto o rendimento quanto a capacidade de produção do equipamento, foi a presença de obstáculos ao deslocamento dos mexilhões. A única solução possível é a total eliminação destes obstáculos, incluindo as bases dos mancais desenvolvidos, conforme ilustra a Figura 7.16.
- **Orientação do posicionamento dos mancais (abrangem: M3 e I1)** – com as alterações geométricas propostas no item anterior, fazem-se necessário a garantia do correto posicionamento destes mancais durante a montagem das configurações. Para tanto, sugere-se o uso de pinos (Figura 7.17) e orifícios para a garantia deste posicionamento.

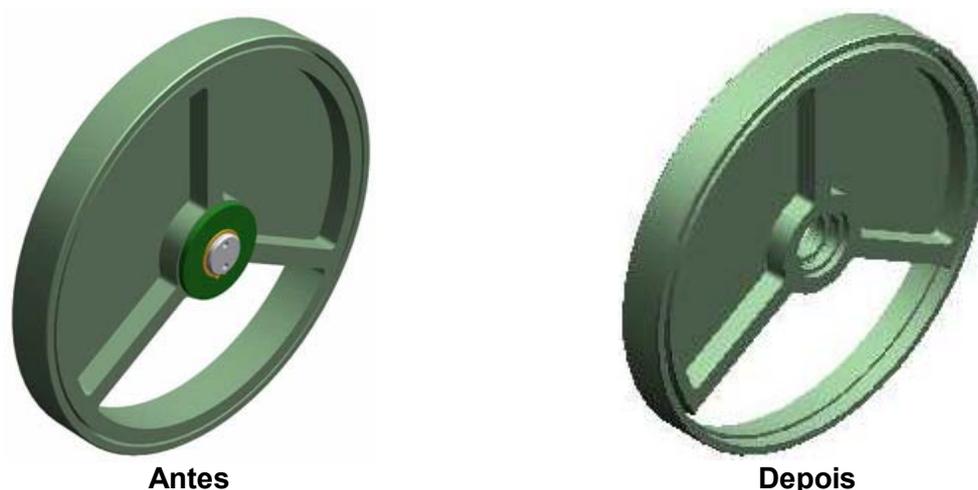


Figura 7.16 – Nova geometria para o mancal intermediário do módulo M3.

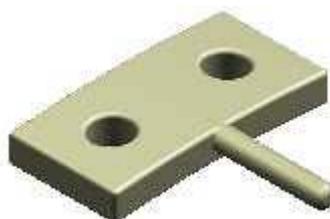


Figura 7.17 – Pino posicionador.

- **Novos sistemas separadores (abrange: M2)** – outro obstáculo ao deslocamento dos mexilhões era proporcionado pelo sistema de grade de separação presentes no interior do módulo extensor separador (M2). A solução encontrada está na sua substituição por sistemas externos de separação, tal qual os utilizados no segundo teste. Desta forma, três novos componentes devem ser desenvolvidos (Figura 7.18): um bojo em tela moeda, para a separação de detritos, um bojo de grades, para a classificação das sementes, e um bojo liso, para quando se deseja um deslocamento melhor dos mexilhões no interior do equipamento.



Figura 7.18 – Bojos liso, tela moeda e com vão de 16mm.

- **Aumento do comprimento dos módulos (abrange: M1, M2, M3, M4, M5, M6)** – um dos problemas encontrados foi o relativo baixo rendimento do equipamento em se

comparando com a meta estabelecida. Uma das soluções possíveis será o aumento do comprimento dos módulos listados, de forma a permitir uma maior permanência dos mexilhões no interior do equipamento. Esta alteração deve abranger a maior parte dos módulos principais desenvolvidos, os quais poderão ser aumentados em 100mm sem que qualquer uma das configurações de produtos venha a extrapolar as metas de tamanho estabelecidas.

- **Novo eixo agitador (abrange: M4)** – outra modificação sugerida para o aumento da permanência dos mexilhões no interior do equipamento é trabalhar com a configuração de produto para a desgranação dos mexilhões de forma inclinada. No entanto, esta forma de trabalho exigiria uma geometria de pás que forçasse os mexilhões em direção a saída. A solução encontrada é o projeto de um novo eixo agitador, denominado M40, adaptado especificamente a esta necessidade (Figura 7.19). Neste novo eixo são utilizadas pás de borracha (EPDM) reforçadas com chapas de inox próximo à aresta de ataque da pá.



Figura 7.19 – Novo eixo agitador (M40).

- **Modificações na entrada da escova (abrange: M5)** – tendo-se em vista os problemas encontrados durante os testes, propõe-se a adição de um sistema rígido de coleta de mexilhões na entrada do canal da escova, evitando-se a ocorrência de deformação das cerdas.
- **Nova perna para o M1 (abrange: M1, M2 e M6)** – dentre as modificações sugeridas durante a análise dos resultados, citou-se a necessidade de propiciar ao equipamento condições para a montagem em sua posição normal de trabalho, ao invés de deitado como inicialmente proposto. Esta solução envolve a adição de mais um par de pernas ao corpo do módulo receptor de mexilhões (M1), o qual servirá de componente base para os

demais módulos. Tal modificação acaba por afetar o módulo receptor de mexilhões (M2), que passará a ter as pernas mais próximas à saída do equipamento, e o módulo extensor para encordoamento (M6), que perderá a necessidade do uso de um anel especial com pernas, o qual será substituído pelo anel de fixação (I2) como nas demais configurações. Esta alteração, juntamente a outras citadas, foram inclusas na Figura 7.20.

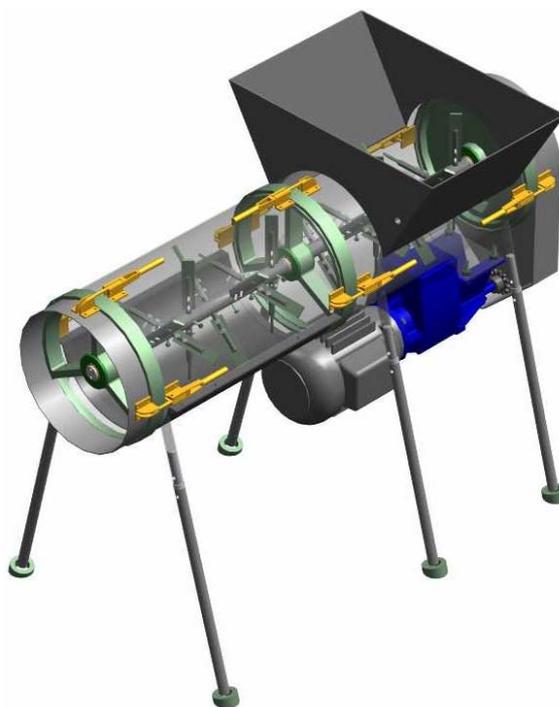


Figura 7.20 – Configuração demonstrando as novas posições das pernas.

- **Protetor do motor (abrangente: M1 e M9)** – outra sugestão apresentada durante a avaliação dos resultados foi a introdução de um protetor para o motor, isolando-o do ambiente externo e aumentando a segurança do usuário contra curtos e outros acidentes.
- **Ajuste rápido da altura das pernas (abrangente: I3)** – uma das sugestões apresentadas durante os testes por alguns dos observadores externos foi a substituição do sistema de ajuste das pernas atual, realizando por parafusos e porcas-borboleta, por outro que permita um ajuste deslizante.

Além das modificações listadas, outras deverão ser implementadas visando o produto comercial:

- **Pegas (abrangente: M1, M2, M3 e M7)** – será incorporado um par de alças à estrutura de cada um dos módulos listados, de forma que exista ao menos um par de pegas em cada configuração de produto, facilitando seu transporte montado.
- **Motor-redutor (abrangente: M7 e M9)** – tendo-se concluído os testes e definido a velocidade de rotação a ser empregada (12 RPM para M7 e CF-6 e 25 RPM para as

demais configurações) pode-se substituir o conjunto motor-variador empregado por um conjunto de motor e redutor, reduzindo o custo final do produto.

- **Suporte do motor (abrangência: M1 e M7)** – com a substituição do moto-variador por um moto-redutor, será necessário refazer o desenho do suporte do motor, de forma a adaptá-lo a fixação deste novo componente.
- **Novos pés (abrangência: M7 e I3)** – como uma das modificações a serem implementadas no produto comercial, tem-se a substituição dos pés desenvolvidos para os protótipos por outros, adquiridos no mercado, que possibilitam um melhor ajuste à superfície do local de trabalho.

Muitas destas modificações já foram introduzidas nos desenhos dos produtos, sendo estas inclusas no CD em anexo neste trabalho. As modificações cabíveis também deverão ser implementadas no protótipo utilizado nos testes, visando a futura divulgação do projeto.

7.6 Comentários Finais

O planejamento de testes realizado mostrou-se adequado à avaliação e a validação dos produtos projetados. Em particular, os procedimentos relativos ao estudo dos modos de falha permitiram concentrar a atenção em componentes mais críticos do produto. Além disso, o planejamento do ensaio permite abordar de forma mais estruturada as variáveis a serem avaliadas, tratando-as de forma individualizada e reduzindo as incertezas do ensaio. Desta forma, atribui-se os bons resultados obtidos à elaboração do plano de testes.

Em relação aos resultados, estes se mostraram adequados à avaliação do desempenho do produto (o sistema modular desenvolvido), dando os subsídios necessários à proposição de modificações tanto nos módulos testados quanto naqueles não testados. As alterações propostas visam tornar o produto mais confiável, além de lhes agregar valor, procurando-se aproximar o produto desenvolvido às condições ideais a sua comercialização.



Conclusão

Ao se iniciar a pesquisa, um objetivo foi traçado: desenvolver máquinas para a mecanização dos processos realizados no cultivo e no beneficiamento de mexilhões. Tal objetivo foi alcançado, tendo em vista que protótipos dos módulos desenvolvidos foram testados e mostraram um desempenho satisfatório. Também foram determinadas algumas metas secundárias, primeiramente, restringindo o foco da mecanização aos interesses do pequeno e médio produtor de mexilhões, mas também propiciando colaborações ao desenvolvimento do processo metodológico para o projeto de produtos modulares. Cada um destes objetivos será avaliado separadamente, seguindo-se a uma análise do desempenho global da pesquisa.

8.1 Objetivo Principal do Trabalho: o Desenvolvimento de Máquinas para a Mecanização dos Processos do Cultivo e do Beneficiamento de Mexilhões

Como o próprio título indica, o objetivo principal deste trabalho é o desenvolvimento de máquinas para a mecanização dos processos realizados no cultivo de mexilhões, todas caracterizadas pela extensiva dependência do trabalho humano e pela baixa presença de recursos técnicos, incluindo ferramentas adequadas. Através de análises técnicas e mercadológicas, treze processos realizados pelos produtores e por unidades de beneficiamento foram avaliados, dos quais oito mostraram-se adequados à imediata mecanização. É interessante ressaltar que todos os processos selecionados ao início do Projeto Informacional do produto, permaneceram tecnologicamente viáveis durante todo o transcorrer do desenvolvimento da pesquisa, demonstrando a coerência dos pressupostos técnicos utilizados em sua seleção.

Através do processo metodológico adotado, cujo desempenho será discutido mais adiante neste capítulo, puderam-se desenvolver produtos mais adequados às necessidades dos clientes identificados, em especial aos pequenos e médios produtores de mexilhões,

considerados como mercado alvo deste trabalho. Os equipamentos desenvolvidos tiveram uma boa aceitação em aspectos como a aparência e tamanho por não integrantes do grupo de desenvolvimento, incluindo produtores, profissionais da biologia e da engenharia de aquíicultura. Também se ressalta o fato de não existirem críticas por parte dos espectadores, quanto a ruídos elevados, excessos de vibrações, nem de qualquer outro aspecto que, caso perceptível, poderia levar a uma má impressão do produto.

Analisando-se os aspectos técnicos do ensaio dos equipamentos, alguns problemas tiveram que ser corrigidos, sendo este o caso do sistema de grades desenvolvido para a separação de mexilhões e sementes ou detritos, a qual se soltava facilmente, inclusive levando à quebra de mexilhões. Entretanto, as soluções para este, bem como para outros problemas, em muitos casos mostraram-se tecnicamente mais interessantes do que as alternativas inicialmente propostas, contribuindo ainda mais para a versatilidade do produto. Dentre estes casos citam-se a proposição de bojos modulares para a separação de detritos ou sementes e para a realização da limpeza dos mexilhões, a proposição do uso de ajustes deslizantes para a altura das pernas dos equipamentos e o reposicionamento das pernas que, apesar de refletirem um aumento do uso de materiais, permitirá a montagem e a desmontagem dos módulos em uma posição mais confortável.

Logicamente, algumas das alterações de projeto propostas poderão refletir em aumento de custos, sendo este, possivelmente o caso dos mancais interfaciais dos módulos, os quais poderão exigir operações de usinagem extras para sua confecção, mas são essenciais para o melhor desempenho do produto. Outras modificações também foram propostas para os equipamentos na forma de melhorias, tais como a substituição dos pés fixos por pés móveis, o uso de uma caixa para o motor, visando à substituição dos motores elétricos atualmente utilizados por outros de menor custo, a proposição de uma nova geometria para as pás do eixo agitador, permitindo o trabalho dos equipamentos em ângulos positivos, aumentando a permanência dos mexilhões no interior do equipamento, entre várias outras.

Uma das maiores vantagens obtidas do projeto modular foi, certamente, a versatilidade do sistema desenvolvido, a qual permitiu, além de configurações para a realização individual dos processos selecionados, combinações de módulos para a realização simultânea dos processos de limpeza, limpeza refinada e desgranação dos mexilhões. Tal solução permite um uso mais intensivo do equipamento e, portanto, uma maior produtividade do capital investido pelo produtor. A versatilidade obtida também é interessante sob o ponto de vista mercadológico, uma vez que o sistema, além de permitir a adequação de configurações às necessidades individuais de cada produtor (vantagem que será discutida no tópico seguinte), também possui módulos acessórios, os quais permitem otimizar consideravelmente algumas das funções desempenhadas pelos equipamentos, além de servirem como uma fonte extra de recursos para o fabricante.

Desta forma, pode-se concluir que se atendeu satisfatoriamente o objetivo de se desenvolver máquinas adequadas à realidade do cultivo de mexilhões em Santa Catarina, capazes de processar mexilhões com as características de intensidade de fixação, presença de detritos e volume de produção encontrados localmente e em concordância com os requisitos técnicos definidos.

8.2 Meta: Desenvolver Produtos Adequados às necessidades de Pequenos e Médios Produtores

Como objetivo secundário do trabalho, definiu-se que o projeto deveria estar o mais próximo possível da realidade técnica e econômica dos produtores de médio e pequeno porte. Tal meta fez com se procurasse, durante todo o processo de desenvolvimento, alternativas para tornar menor possível o custo total de mecanização de todos os processos. Neste sentido, o projeto modular, apesar de poder refletir em custos mais elevados se analisadas individualmente as configurações de produtos, possui custo relativamente baixo se considerado todo o conjunto de módulos. Tal fato, apesar de impor ao produtor um investimento inicial mais elevado, traz como benefício a possibilidade de se atingir rapidamente patamares mais altos de mecanização do cultivo. Além disso, o ganho de produtividade representado pela migração do trabalho manual para o mecanizado é muito grande, o que permite retornos de investimento em períodos relativamente curtos.

Entretanto, a maior vantagem para o produtor talvez seja a versatilidade obtida pela estrutura modular, a qual permite que cada produtor, individualmente, selecione as configurações de produtos que melhor atendem às suas necessidades técnicas e que melhor se enquadram à sua capacidade econômica. Tal versatilidade torna-se ainda mais interessante ao se considerar a possibilidade de configurações de produtos multifuncionais, as quais podem ser obtidas a custos relativamente mais baixos e permitem ganhos de produtividade com a não necessidade de parada do equipamento para executar alterações de função desempenhada.

Tão importante quanto o custo final de manufatura é o fato de que todo o desenvolvimento do produto se deu calcado em necessidades obtidas junto aos produtores e profissionais ligados ao cultivo de mexilhões, sendo estas necessidades a base para as tomadas de decisões realizadas no projeto. Assim sendo, pode-se afirmar, ao menos no tocante aos médios produtores de mexilhões, que se conseguiu atingir a meta imposta a esta pesquisa. Em relação aos pequenos produtores, talvez seja necessário o desenvolvimento de políticas de crédito, por parte do governo catarinense, para a viabilização desta aquisição.

8.3 Meta: Contribuições ao Processo Metodológico de Projeto de Produtos Modulares

Somente o fato de se desenvolver, através de um processo metodológico de projeto, um produto modular já seria o suficiente para prover colaborações neste campo de projeto, seja através do apontamento das dificuldades encontradas, seja com sugestões ao aprimoramento de metodologias existentes ou, ao menos, com a apresentação de um novo caso de desenvolvimento. No entanto, através da metodologia adotada, pôde-se obter uma arquitetura bem interessante do sistema, onde os módulos, definidos através do método de síntese funcional modular e pelas diretrizes de modularização de ERIXON ET AL.(1996), possuíam diferentes graus de permutabilidade. Tal resultado não foi imaginado inicialmente, tendo sido obtido através da separação das funções elementares pelo emprego da matriz indicadora de módulos, proposta neste trabalho.

Outra ferramenta, cuja eficiência também chamou a atenção, foi o processo de seleção de interfaces, ou PSI, que permite, com base nos módulos definidos pelo projeto conceitual do sistema modular, propor e classificar alternativas de interfaces de forma que melhor atendam aos requisitos técnicos de conexão entre módulos. A contribuição desta ferramenta ao produto desenvolvido foi tão grande que a quase totalidade das interfaces entre módulos implementadas durante o dimensionamento do sistema correspondiam às primeiras classificadas pelo PSI, sendo as poucas exceções representadas pelas segundas ou terceiras colocadas. Outro fato interessante foi a implementação de uma destas interfaces como um módulo em separado, o qual foi considerado como um módulo construtivo. Este fato, ligado à alta repetição desta interface em diferentes configurações, pode ser levado em conta em projetos futuros, incorporando ao PSI diretrizes para identificações de interfaces em condições semelhantes.

Em outros aspectos da metodologia, poucas foram as inovações implementadas, dentre as quais cita-se a necessidade de se pré-conceber alguns “conceitos” para servirem de base à proposição das alternativas de projeto, tarefa não considerada inicialmente pela metodologia, mas que se mostrou essencial à definição de um sistema modular. O método adotado para a definição destes conceitos básicos também se mostrou adequado, tendo sido empregadas as funções comuns existentes no sistema como base para a proposição destas alternativas de projeto, garantindo a manutenção da modularidade entre funções já evidenciada pelo processo de síntese funcional modular.

Contribuições também foram dadas ao processo de planejamento de ensaio de máquinas, sendo apresentado um roteiro para a elaboração de um plano de ensaio focado na maximização do aproveitamento do tempo e recursos disponíveis e na priorização das informações a serem coletadas. O método proposto conseguiu atender às expectativas e

aos objetivos do ensaio, garantindo subsídios para a avaliação do desempenho do produto e para a proposição de melhorias.

8.4 Encerramento do Trabalho

Tendo-se finalizada a análise das metas do trabalho e concluído, com as devidas ressalvas, que estas foram atendidas satisfatoriamente, pode-se afirmar que a pesquisa foi bem sucedida, viabilizando um produto realizável, adaptável a diferentes necessidades e tecnicamente interessante, principalmente no aspecto da modularidade obtida. Conforme observado nos testes, ao se submeter o produto desenvolvido às condições rigorosas de trabalho, este apresentou bons resultados. Tal constatação fica ainda mais interessante levando-se em consideração o fato de ainda ser possível, através de modificações tecnologicamente simples, a melhoria destes desempenhos, como descrito durante a análise dos resultados dos testes.

Entretanto a maior contribuição do trabalho é social, tendo-se viabilizado recursos técnicos para dar início à consolidação e profissionalização de uma indústria de transformação mexilhões, sendo a tecnologia, neste caso, a força que poderá impulsionar uma atividade, em grande parte, precária, proporcionando os subsídios necessários à criação de um novo ciclo de crescimento produtivo. No segundo capítulo deste trabalho idealizou-se um cenário no qual o cultivo de mexilhões catarinense, senão o brasileiro, poderia chegar a patamares de qualidade e de produção similares aos maiores encontrados globalmente e, através desta pesquisa, deram-se os primeiros passos neste caminho, cujo futuro dependerá dos esforços integrados da engenharia, biologia, aqüicultura, governo, sociedade e, principalmente, dos próprios produtores.

8.5 Sugestões para trabalhos futuros

Durante a realização deste trabalho algumas idéias, técnicas e conceitos foram avaliados, porém não utilizadas por não fazerem parte do escopo da pesquisa. Tais elementos são apresentados a seguir como sugestões a trabalhos futuros:

1. **Mecanização de outras operações** – sugere-se, em trabalhos futuros, o estudo da mecanização das outras operações do cultivo de mexilhões não abordados neste trabalho, porém que possam ser de interesse tecnológico ou comercial no futuro. Um exemplo é a tarefa de retirada de sementes dos coletores que, com os recentes esforços para padronização de suas características, tornou-se interessante à mecanização.
2. **Mecanização em outras áreas da aqüicultura** – podem existir operações em outras áreas da aqüicultura, como o cultivo de ostras, camarões ou berbigões, que também podem ser interessantes à mecanização.

3. **Metodologia** – em uma proposta apresentada recentemente, levantou-se a possibilidade de se introduzir conceitos de DoE (*Design of Experiments* ou Projeto de Experimentos) deste o projeto informacional onde, por exemplo, poderia se levantar de informações já com as respectivas tolerâncias ou, no projeto conceitual, definir as funções comuns levando-se em conta as variações existentes entre as operações, e assim por diante. Com este enfoque espera-se desenvolver o equipamento sempre se tendo por base a especificações do projeto e preparar mais facilmente os testes de equipamentos.
4. **Modularização** – estudar as quais são os agentes que dão origem à necessidade de modularização de um ou vários produtos, avaliando-se a possibilidade de ser o próprio consumidor ou se somente seria uma oportunidade vislumbrada pela empresa.

Bibliografia

ACAQ – Associação Catarinense de Aqüicultura. **Planilha de investimento para a atividade de maricultura**, 2001. Disponível em: <http://www.acaq.org.br/arquivos/custeio_maricultura.xls>. Acesso em: 27 de maio de 2003.

AKAO, Y. **Introdução ao Desdobramento da Qualidade – Manual de Aplicação do Desdobramento da Qualidade**. Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 1996, v.1.

ARANA, L.A.V. **Aqüicultura e Desenvolvimento Sustentável: Subsídios para a Formulação de Políticas de Desenvolvimento da Aqüicultura Brasileira**. Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

ARAÚJO, A.A.B. **Obtenção de Sementes de Mexilhão Perna perna (Bivalvia – Mytilidae) em Estruturas Manufaturadas, na Ponta do Papagaio, Palhoça – Santa Catarina**. 1994. Dissertação (Mestrado da Pós-graduação em Aqüicultura do Centro de Ciências Agrárias). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis.

BACK, N.; FORCELLINI, F. A. **Projeto de Produtos**. Apostila (disciplinas de Projeto Conceitual e Projeto para Manufatura do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

BRALLA, J. G, **Handbook of product desing for manufacturing. A practical guide to low-cost production**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1986

CAMACHO, A.P.; CASASBELLAS, M.A.C. **Tema 10**. Espanha: Xunta de Galicia, 1991.

CASAS, R.F.; CASASBELLAS. M. A. C. **Tema 11 – La Batea Como Sistema de Cultivo**. Espanha: Xunta de Galicia, 1991.

CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO – CNPq. **Apoio ao crescimento da aqüicultura no Brasil**. CNPq Notícias, Brasília, DF, Ano 04, nº 04, p.05, agosto 1998.

DAHMUS, J. B.; GONZALEZ-ZUGASTI, J. P.; OTTO, K. N. Modular Product Architecture. In: ASME DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCES AND COMPUTERS AND INFORMATION IN ENGINEERING CONFERENCE. Baltimore, Maryland, U.S.A.: ASME, September 10-13, 2000. **Proceedings of DETC 00**. 11 p.

DAHMUS, J. B.; GONZALEZ-ZUGASTI, J. P.; OTTO, K. N. Modular Product Architecture. **Design Studies**, Great Britain, v. 22, n. 5, p. 409-424, September 2001.

DE CICCIO, F. M. G. A. F.; FANTAZZINI, M. L. **Introdução à engenharia de segurança de sistemas**. São Paulo: FUNDACENTRO, 1988.

DREIBHOLZ, D. Ordnungsschemata bei der Suche von Lösungen Konstruktion. 27, s.233-240,1975.

DRM ASSOCIATES. **New product development body of knowledge**. Disponível em: < <http://www.npd-solutions.com/bok.html>>. Acesso em: 28 de janeiro de 2002.

DUL, J.; WEERDMEEESTER, B. **Ergonomia Prática**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1995.

EPAGRI. **Pólo de maricultura**. Disponível em: < <http://www.epagri.rct-sc.br/polomar.html>>. Acesso em: 22 de agosto de 2000.

EPAGRI. **Produtos da Maricultura Catarinense**. Folheto, 1999.

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.

FABRYCKY, W.J. and BLANCHARD, B.S. **Systems Engineering and Analysis**. New Jersey, United States of America: Prentice Hall, 1990.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Fishstat plus**, 2002. Disponível em: <<http://www.fao.org/fi/statist/FISOFT/FISHPLUS.asp>>. Acesso em: 02 de setembro de 2002.

FERDANDES, F.C. **Manual de maricultura**. Ministério da Marinha. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Estudos do Mar, 1985.

FERREIRA, C. V. **Estimativa de Custos de Produtos na Fase de Projeto Conceitual: Uma metodologia para seleção da estrutura funcional e da alternativa de solução.**, 1997. Dissertação (Mestrado no programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica). UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

FERREIRA, J. F. G. T. Maricultura. In: II WORKSHOP REGIONAL SUL SOBRE O MAR – REPENSANDO O MAR PARA O SÉCULO XXI, Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1998. p.83-99.

FERREIRA, J.F; MAGALHÃES, A.R.M. **Mexilhões Biologia e Cultivo**. Apostila UFSC, 1997.

FIOD NETO, M. **Desenvolvimento de Sistema Computacional para Auxiliar a Concepção de Produtos Industriais**.1993. Tese (Doutorado no programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica). UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

FIXSON, S. K. **Three perspectives on modularity – a literature review of a product concept for assembled hardware products**. Massachusetts Institute of Technology Engineering Systems Division, 2001. Disponível em: <<http://esd.mit.edu/WPS/esd-wp-2001-06.pdf>>. Acesso em: 11 de maio de 2002.

GERSHENSON, J.K.; PRASAD, G.J.; ALLAMNENI, S. Modular Product Design: A Life-cycle View. **Journal of Integrated Design and Process Science**, U.S.A, v. 3, n. 4, p. 13-26, December, 1999.

GU, P.; SOSALE, S. **An Integrated Modular Design Methodology for Life-cycle Engineering**. 1997.

HILLSTRÖN, F. Applying Axiomatic Design to Interface Analysis in Modular Product Development. **Advances in Design Automation – ASME**, DE – vol. 4-2,1994.

HUANG, C.; KUSIAK, A. Modularity in Design of Products and Systems. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics – Part A: System and Humans**. v. 28, n. 1, January 1998.

INSTITUTO NACIONAL PARA ESTUDOS O MAR. **Manual de Maricultura**. Rio de Janeiro: Ministério da Marinha, 1985.

ISHII, K.; EUBANKS, C. F. Design for Product retirement and Modularity Based on Technology Life-Cycle. **Manufacturing Science and Engineering – ASME**, MED-Vol. 1-1/MH-Vol. 3-2, pp. 921 – 933, 1995.

ISHII, K.; JUENGEL, C.; EUBANKS, C.F. Design for Product Variety: Key to Product Line Structuring. In: ASME DESIGN TECHNICAL CONFERENCE, Boston, MA, Sept. 1995,ISBN 0-7918-17-2, V.2, pp. 499-506, 1995.

KIM, K.; CHHAJED, D. Commonality in Product Design: Cost Saving, Valuation Change and Cannibalization. **European Journal of Operational Research**, v. 125, p. 602-621, September 16, 1999.

KOTLER, P. **Administração de Marketing**. 5ª ed. São Paulo: Editora Atlas. 1998.

KRICK, E. V. **Introdução à Engenharia**. Ao Livro Técnico Editora, 1970.

LCMM – LABORATÓRIO DE CULTIVO DE MOLUSCOS MARINHOS. **Cultivo de moluscos em Santa Catarina**. Disponível em: < <http://www.lcmm.ufsc.br/slides/culmolsc.ppt>>. Acesso em: 22 de junho de 2000-b.

LCMM – LABORATÓRIO DE CULTIVO DE MOLUSCOS MARINHOS. **Cultivo de Mexilhões em Santa Catarina**. Disponível em: <<http://www.lcmm.ufsc.br/mexilhao/cultmex.htm>>. Acesso em: 22 de junho de 2000-a.

MACHADO NETO, V. **Metodologia para garantia da confiabilidade no desenvolvimento de produtos mecatrônicos**. 2002. Tese (Doutorado no programa de pós-graduação em engenharia mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis.

MAGALHÃES, A.R.M. **Efeito da Parasitose por Trematoda Budephalidae na Reprodução, Composição Bioquímica e Índices de condição de Mexilhões Perna perna**. 1998. Tese. Universidade de Campinas - UNICAMP, Campinas.

MARIBONDO, J. F. **Desenvolvimento de uma metodologia de projeto de sistemas modulares, aplicada a unidades de processamento de resíduos sólidos domiciliares**. 2001. Tese (Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis.

MARIBONDO, J. F. **Desenvolvimento de uma Sistemática de Projeto de Sistemas Modulares Aplicada a Unidades de Processamento de Resíduos Domiciliares**. 1997. Proposta de Tese (Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis.

MARSHALL, R. **Holonic Product Design**. Loughborough University, 1997. Disponível em: http://www.iboro.ac.uk/departments/en/research/cae/res_int/ipps/mod2.htm. Acesso em: março de 2002.

MARTIN, M. V.; ISHII, K. Design for Variety: a Method for Understanding the Costs of Product Proliferation. In: ASME DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCES AND COMPUTERS IN ENGINEERING CONFERENCE, Irvine, California, U.S.A., August 18-22, 1996. **Proceedings of DETC1996**. 9 p.

MARTIN, M. V.; ISHII, K. Design for Variety: a Methodology for Developing Product Platform Architectures. In: 2000 ASME DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCES, Baltimore, M.D., U.S.A.: ASME, September 10-13, 2000. **Proceedings of DETC2000**. 15 p.

MATTAR, F. N. **Pesquisa de Marketing: metodologia, planejamento**. 4.ed. São Paulo: Editora Atlas S.A. v.1, 1999.

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaios & certificação**. Piracicaba: Fundação de estudos agrários Luiz Queiroz, 1996.

MOUTINHO, D. A. **Manual de Pesquisa de Mercado**. Rio de Janeiro: CNI-SESI/DN, 1977.

NAGARUR, N.; AZEEM, A. Impact of Commonality and Flexibility on Manufacturing Performance. **Int. J. Production Economics**, n. 60-61, p. 125-134, April 20, 1999.

NEIRA, C. D.; CASTROVIEJO, R. A.; CAAMANÓ, J. S. **El mejillo: biología, cultivo y comercialización**. 1 ed. La Coruña, Espanha: Fundacion Caixa Galicia, 1990

NEW ZEALAND SEAFOOD INDUSTRY CONCIL. **Mussel Farming**. Disponível em: <www.seafood.co.nz/Catching_methods/catchmusselfarms.html>. Acesso em: 25 de setembro de 2000.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design. A systematic Approach**. Great Britain: Springer-Verlag London Limited, 1996.

PERERA, H.S.C.; NAGARUR, N.; TABUCANON, M. T. Component Part Standardization: a Way to Reduce the Life-cycle Costs of Products. **Int. J. Production Economics**, v. 60-61, p. 109-116, April 20, 1999.

PIZZATTO, A. **Sistemática de Projeto para Produtos Modulares com Aplicação em Móveis**. 1998. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica). UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PMI - Project Management Institute. **A Guide to the Project Management Body of Knowledge**. USA, 1996.

PUGH, S. **Total Design Integrated Methods for Successful Product Engineering**. Adison Wesley Publishing Company, 1991.

ROMANOS, M. S. Demand Forecasting for Parts Used in Modular Products: a Case Study. **Engineering Costs and Production Economics**, 17, pp.231-244, 1989.

ROOZENBURG, N.F.M.; EEKELS, J. **Product Design: Fundamentals and Methods**. England: John Wiley & Sons Ltd, 1996.

ROSA, R.C.C. **Impacto do Cultivo de mexilhões nas Comunidades Pesqueiras de Santa Catarina**. 1997. Dissertação (Mestrado do Curso de Pós-graduação em Aqüicultura do Centro de Ciências Agrárias). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SAKURADA, E. Y. **As técnicas de análises dos modos de falhas e seus efeitos e análise da árvore de falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos**. 2001. Dissertação (Mestrado no programa de pós-graduação em engenharia mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis.

SCALICE, R. K. **Desenvolvimento de um Sistema Mecanizado Modular para o Cultivo de Mexilhões**. 1999. Monografia (Disciplina EMC 6601 – Tópicos Especiais em Projeto de Sistemas Mecânicos do programa de pós-graduação em engenharia mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis.

SCALICE, R. K. **Desenvolvimento de uma família de produtos modulares para o cultivo e industrialização de mexilhões**. 2000. Exame de Qualificação (Doutorado do programa de pós-graduação em engenharia mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis.

SCALICE, R.K.; FORCELLINI, F. A.; BACK, N. Uma Contribuição ao Processo Metodológico de Projeto de Produtos Modulares. IN: CONEM 2000 – CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, Natal, Agosto 07-11, 2000. **Anais...** Natal, 2000.

STARR, M. K. Modular Production – A New Concept. **Harv. Bus.**, 43 (6): 131-142, 1965.

STONE, R. B.; WOOD, K.; CRAWFORD, R. H. A Heuristic Method for Identifying Modules for Products Architectures. **Design Studies**, Great Britain, v. 21, n. 1, p. 5-31, 2000.

STONE, R. B.; WOOD, K.; CRAWFORD, R. H. A Heuristic Method to Identify Modules from a Functional Description of a Product. In: ASME DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCES, Atlanta, Georgia, U.S.A., 1998. **Proceedings of DETC98**, p. 1-11.

SUH, NAM P. **The Principles of Design**. Oxford University Press, 1990.

TALLERES AGUIN, S.L. Disponível em: <<http://www.aguin.com>>, 1999. Acesso em: novembro de 1999.

ULLMAN, D.G. **The Mechanical Design Process**. McGraw-Hill, Inc., 1992.

ULRICH, K.T.; EPPINGER, S.D. **Product Design and Development**. McGraw-Hill, 1995.

ULRISH, K. The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm. **Research Policy**, n. 24, p. 419-440, 1995.

ULRISH, K.; TUNG, K. Fundamentals of Product Modularity (Issues in Design Manufacture/Integration). **ASME**, DE-vol.39, p. 73-79, 1991.

VARONA, M. El mejillón de Galicia resiste el embate de la marga rosa. **Revista Mar**, Madrid, Espanha, nº 379, p. 47-51, 2000-a.

VARONA, M. Superada la crisis, el mejillón crea empleo y riqueza. **Revista Mar**, Madrid, Espanha, nº382, p.62-63, 2000-b.

VINADÉ, C. A.; MORETTI, A. B.; DIAS, A.; SILVA, J. C. FMEA aplicado no desenvolvimento de sistemas hidráulicos. In: 3º CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS, Florianópolis, SC, 2001. **Anais...**

WILSON, J.; FLEMING, D. Economics of the maine mussel industry. *World Aquaculture*, v. 20, n. 4, p. 49-55, 1989.

ZAMIROWSKI, E. J.; OTTO, K. N. Identifying Product Portfolio Architecture Modularity Using Function And Variety Heuristics. In: 11TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON DESIGN THEORY AND METHODOLOGY –DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCES. Las Vegas, Nevada, U.S.A., 1999. **Proceedings...** ASME, 11 p.



Matrizes de Pugh para a Seleção de Alternativas de Projeto

Neste apêndice são apresentados as matrizes de PUGH (1991) usadas para selecionar as alternativas de projeto que melhor se adequavam às necessidades dos clientes. Este procedimento foi realizado durante o Projeto Conceitual do Sistema Modular para a Mecanização do Cultivo de mexilhões (Capítulo 5), na tarefa de Geração e Seleção de alternativas de Projeto. Para tanto foram utilizadas as alternativas de projeto, propostas com base na estrutura funcional e em princípios de solução obtidos em diversas fontes de consulta, e as necessidades do consumidor, obtidas durante o Projeto Informacional do Sistema Modular para a Mecanização do Cultivo de mexilhões (Capítulo 4). As matrizes elaboradas são apresentadas nas páginas a seguir.

| Necessidades | | | Peso | Alternativas | | | | | | | | |
|--------------------------|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|---|
| | | | | 1-1 | 1-2 | 1-3 | 1-4 | 1-5 | 1-6 | 1-7 | 1-8 | |
| Produto | Processo | Pouco tempo de processamento | 4 | | + | + | + | + | + | - | - | |
| | | Higiênico | 2 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | | Poucas quebras de mexilhões | 2 | | + | + | + | + | + | + | + | |
| | | Realize processos simultâneos | 4 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | | Realize processos contínuos | 4 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | |
| | Preço | Acessível | 5 | | 0 | + | 0 | 0 | 0 | + | + | |
| | Aparência | Tamanho compacto | 2 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | | Agradável | 1 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | Materiais | Durável | 2 | | 0 | + | + | + | + | - | - | |
| | | Adaptado ao trabalho no mar | 2 | R | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Manufatura | Fabricação | Baixo custo | 3 | E | + | + | - | 0 | 0 | + | + | |
| | | Adequado ao volume de produção | 1 | F | 0 | + | 0 | 0 | 0 | + | + | |
| | | Fácil montagem | 1 | E | 0 | + | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | Transporte | Ocupe pouco espaço | 1 | R | 0 | + | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | | Transportável por veículos leves | 2 | Ê | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Uso | Deslocamento | Transporte manual facilitado | 2 | N | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | | Operação | Permitir trabalho embarcado | 2 | C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | | Operação | Utilize pouca mão-de-obra | 4 | I | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | | | Exija poucos esforços do produtor | 1 | A | 0 | - | 0 | 0 | 0 | - | - |
| | | | Sem paradas inesperadas | 2 | | 0 | - | + | + | 0 | 0 | 0 |
| | | | Interface simples com o usuário | 1 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Segurança | Sem contato do operador/ mexilhão | 2 | | 0 | - | 0 | 0 | 0 | - |
| | Manutenção | Segurança | Não lesione o usuário | 2 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Fácil manutenção | 2 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Não exija muita manutenção | 4 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - |
| | Pós-uso | Manutenção | Fácil de limpar | 2 | | 0 | + | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | Reuso | Descarte planejado | 1 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Específicas | Encordoamento | Cordas em diferentes comprimentos | 1 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | |
| | | Sem mexilhões presos | 1 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Total + | | | | 0 | 3 | 9 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | |
| Total - | | | | 0 | 0 | -3 | -1 | 0 | 0 | -7 | -7 | |
| Total global | | | | 0 | 4 | 6 | 3 | 4 | 3 | -3 | -3 | |
| TOTAL (com pesos) | | | | 0 | 9 | 16 | 7 | 10 | 8 | -7 | -7 | |

Figura A.1 – Matriz de Pugh para o processo de encordoamento das sementes.

| Necessidades | | | Peso | Alternativas | | | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------|-----|-----|-----|-----|
| | | | | 2-1 | 2-2 | 2-3 | 2-4 | 2-5 |
| Produto | Processo | Pouco tempo de processamento | 4 | - | - | - | - | |
| | | Higiênico | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | | Poucas quebras de mexilhões | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | | Realize processos simultâneos | 4 | - | - | 0 | - | |
| | | Realize processos contínuos | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | Preço | Acessível | 5 | + | 0 | + | + | |
| | Aparência | Tamanho compacto | 2 | - | - | 0 | 0 | |
| | | Agradável | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | Materiais | Durável | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | | Adaptado ao trabalho no mar | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | R |
| Manufatura | Fabricação | Baixo custo | 3 | 0 | - | + | 0 | E |
| | | Adequado ao volume de produção | 1 | + | + | + | 0 | F |
| | | Fácil montagem | 1 | - | - | + | 0 | E |
| | Transporte | Ocupe pouco espaço | 1 | - | - | 0 | - | R |
| Transportável por veículos leves | | 2 | - | - | 0 | 0 | Ê | |
| Uso | Deslocamento | Transporte manual facilitado | 2 | - | - | 0 | - | N |
| | | Operação | Permitir trabalho embarcado | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Utilize pouca mão-de-obra | | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | I |
| | Exija poucos esforços do produtor | | 1 | - | + | - | - | A |
| | Sem paradas inesperadas | | 2 | + | + | 0 | + | |
| | Interface simples com o usuário | | 1 | - | - | 0 | 0 | |
| | Segurança | Sem contato do operador/ mexilhão | 2 | - | + | - | - | |
| | | Não lesione o usuário | 2 | 0 | + | 0 | 0 | |
| | Manutenção | Fácil manutenção | 2 | - | - | + | 0 | |
| | | Não exija muita manutenção | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Fácil de limpar | | 2 | + | + | 0 | + | | |
| Pós-uso | Reuso | Descarte planejado | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Total + | | | 4 | 6 | 5 | 3 | 0 | |
| Total - | | | -11 | -10 | -3 | -6 | 0 | |
| Total global | | | -7 | -4 | 2 | -3 | 0 | |
| TOTAL (com pesos) | | | -12 | -12 | 5 | -5 | 0 | |

Figura A.2 – Matriz de Pugh para o processo de retirada das cordas do cultivo.

| Necessidades | | | Peso | Alternativas | | | | |
|------------------------------|------------|-----------------------------------|------|--------------|-----|-----|-----|-----|
| | | | | 3-1 | 3-2 | 3-3 | 3-4 | 3-5 |
| Produto | Processo | Pouco tempo de processamento | 4 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Higiênico | 2 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Poucas quebras de mexilhões | 2 | | 0 | 0 | - | 0 |
| | | Realize processos simultâneos | 4 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Realize processos contínuos | 4 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Preço | Acessível | 5 | | - | - | - | 0 |
| | Aparência | Tamanho compacto | 2 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Agradável | 1 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Materiais | Durável | 2 | R | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Adaptado ao trabalho no mar | 2 | E | + | + | + | + |
| Baixo custo | | 3 | F | - | - | - | 0 | |
| Manufatura | Fabricação | Adequado ao volume de produção | 1 | E | - | - | - | - |
| | | Fácil montagem | 1 | R | - | - | - | 0 |
| | | Ocupe pouco espaço | 1 | Ê | - | - | - | 0 |
| | Transporte | Transportável por veículos leves | 2 | N | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Transporte manual facilitado | | 2 | C | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Uso | Operação | Permitir trabalho embarcado | 2 | I | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Utilize pouca mão-de-obra | 4 | A | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Exija poucos esforços do produtor | 1 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Sem paradas inesperadas | 2 | | 0 | 0 | 0 | - |
| | | Interface simples com o usuário | 1 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Segurança | Sem contato do operador/ mexilhão | 2 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Não lesione o usuário | 2 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Manutenção | Fácil manutenção | 2 | | - | - | - | + |
| | | Não exija muita manutenção | 4 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Fácil de limpar | 2 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pós-uso | Reuso | Descarte planejado | 1 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total + | | | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | |
| Total - | | | 0 | -6 | -6 | -7 | -2 | |
| Total global | | | 0 | -5 | -5 | -6 | 0 | |
| TOTAL (com pesos) | | | 0 | -11 | -11 | -13 | 1 | |

Figura A.3 – Matriz de Pugh para o processo de remoção dos mexilhões das cordas.

| Necessidades | | | Peso | Alternativas | | | | | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------|----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----|
| | | | | 4-1 | 4-2 | 4-3 | 4-4 | 4-5 | 4-6 | 4-7 |
| Produto | Processo | Pouco tempo de processamento | 4 | - | - | | 0 | - | - | - |
| | | Higiênico | 2 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Poucas quebras de mexilhões | 2 | 0 | 0 | | 0 | 0 | - | 0 |
| | | Realize processos simultâneos | 4 | - | - | | 0 | - | - | - |
| | | Realize processos contínuos | 4 | - | - | | 0 | - | - | - |
| | Preço | Acessível | 5 | 0 | 0 | | - | + | + | + |
| | Aparência | Tamanho compacto | 2 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Agradável | 1 | - | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Materiais | Durável | 2 | 0 | 0 | | 0 | 0 | - | 0 |
| | | Adaptado ao trabalho no mar | 2 | 0 | 0 | R | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Manufatura | Fabricação | Baixo custo | 3 | + | + | E | 0 | + | + | + |
| | | Adequado ao volume de produção | 1 | 0 | 0 | F | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Fácil montagem | 1 | + | + | E | 0 | + | + | + |
| | Transporte | Ocupe pouco espaço | 1 | - | 0 | R | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Transportável por veículos leves | | 2 | 0 | 0 | É | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Uso | Deslocamento | Transporte manual facilitado | 2 | 0 | 0 | N | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Operação | Permitir trabalho embarcado | 2 | 0 | 0 | C | 0 | - | - |
| | Utilize pouca mão-de-obra | | 4 | 0 | 0 | I | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Exija poucos esforços do produtor | | 1 | - | - | A | 0 | - | - | - |
| | Sem paradas inesperadas | | 2 | - | 0 | | 0 | 0 | - | 0 |
| | Interface simples com o usuário | | 1 | - | - | | 0 | - | - | - |
| | Segurança | Sem contato do operador/ mexilhão | 2 | 0 | 0 | | - | - | - | - |
| | | Não lesione o usuário | 2 | 0 | 0 | | 0 | - | - | - |
| | Manutenção | Fácil manutenção | 2 | + | + | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Não exija muita manutenção | 4 | 0 | 0 | | 0 | + | - | + |
| Fácil de limpar | | 2 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Pós-uso | Reuso | Descarte planejado | 1 | 0 | 0 | | 0 | - | - | - |
| Total + | | | 3 | 3 | 0 | 0 | 4 | 3 | 4 | |
| Total - | | | -8 | -5 | 0 | -2 | -9 | -13 | -9 | |
| Total global | | | -5 | -2 | 0 | -2 | -5 | -10 | -5 | |
| TOTAL (com pesos) | | | -12 | -8 | 0 | -7 | -8 | -22 | -8 | |

Figura A.4 – Matriz de Pugh para o processo de desgranação dos mexilhões.

| Necessidades | | | Peso | Alternativas | | | | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------|----------|-----------|-----------|------------|-----|
| | | | | 5-1 | 5-2 | 5-3 | 5-4 | 5-5 | 5-6 |
| Produto | Processo | Pouco tempo de processamento | 4 | - | - | | 0 | - | - |
| | | Higiênico | 2 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| | | Poucas quebras de mexilhões | 2 | 0 | 0 | | - | 0 | - |
| | | Realize processos simultâneos | 4 | - | - | | 0 | - | - |
| | | Realize processos contínuos | 4 | - | - | | 0 | - | - |
| | Preço | Acessível | 5 | 0 | 0 | | - | + | + |
| | Aparência | Tamanho compacto | 2 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| | | Agradável | 1 | - | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| | Materiais | Durável | 2 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| | | Adaptado ao trabalho no mar | 2 | 0 | 0 | R | 0 | 0 | 0 |
| Manufatura | Fabricação | Baixo custo | 3 | + | + | E | 0 | + | + |
| | | Adequado ao volume de produção | 1 | 0 | 0 | F | 0 | 0 | 0 |
| | | Fácil montagem | 1 | + | + | E | 0 | + | + |
| | Transporte | Ocupe pouco espaço | 1 | - | 0 | R | 0 | 0 | 0 |
| Transportável por veículos leves | | 2 | 0 | 0 | É | 0 | 0 | 0 | |
| Uso | Deslocamento | Transporte manual facilitado | 2 | 0 | 0 | N | 0 | 0 | 0 |
| | | Operação | Permitir trabalho embarcado | 2 | 0 | 0 | C | 0 | - |
| | Utilize pouca mão-de-obra | | 4 | 0 | 0 | I | 0 | 0 | 0 |
| | Exija poucos esforços do produtor | | 1 | - | - | A | 0 | - | - |
| | Sem paradas inesperadas | | 2 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| | Interface simples com o usuário | | 1 | - | - | | 0 | - | - |
| | Segurança | Sem contato do operador/ mexilhão | 2 | 0 | 0 | | 0 | - | - |
| | | Não lesione o usuário | 2 | 0 | 0 | | 0 | - | - |
| | Manutenção | Fácil manutenção | 2 | + | + | | 0 | 0 | 0 |
| | | Não exija muita manutenção | 4 | 0 | 0 | | 0 | + | + |
| Fácil de limpar | | 2 | 0 | 0 | | + | 0 | + | |
| Pós-uso | Reuso | Descarte planejado | 1 | 0 | 0 | | 0 | - | - |
| Total + | | | 3 | 3 | 0 | 1 | 4 | 5 | |
| Total - | | | -7 | -5 | 0 | -2 | -9 | -10 | |
| Total global | | | -4 | -2 | 0 | -1 | -5 | -5 | |
| TOTAL (com pesos) | | | -10 | -8 | 0 | -5 | -8 | -8 | |

Figura A.5 – Matriz de Pugh para o processo de limpeza dos mexilhões.

| Necessidades | | | Peso | Alternativas | | | | | | |
|-------------------|--------------|-----------------------------------|--------------------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| | | | | 6-1 | 6-2 | 6-3 | 6-4 | 6-5 | 6-6 | |
| Produto | Processo | Pouco tempo de processamento | 4 | - | - | | 0 | - | - | |
| | | Higiênico | 2 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | |
| | | Poucas quebras de mexilhões | 2 | - | 0 | | - | 0 | - | |
| | | Realize processos simultâneos | 4 | - | - | | 0 | - | - | |
| | | Realize processos contínuos | 4 | - | - | | 0 | - | - | |
| | Preço | Acessível | 5 | 0 | 0 | | - | + | + | |
| | Aparência | Tamanho compacto | 2 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | |
| | | Agradável | 1 | - | 0 | | 0 | 0 | 0 | |
| | Materiais | Durável | 2 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | |
| | | Adaptado ao trabalho no mar | 2 | 0 | 0 | R | 0 | 0 | 0 | |
| | | | | | | | | | | |
| Manufatura | Fabricação | Baixo custo | 3 | 0 | 0 | E | 0 | + | + | |
| | | Adequado ao volume de produção | 1 | 0 | 0 | F | 0 | 0 | 0 | |
| | | Fácil montagem | 1 | 0 | 0 | E | 0 | 0 | 0 | |
| | Transporte | Ocupe pouco espaço | 1 | - | 0 | R | 0 | 0 | 0 | |
| | | Transportável por veículos leves | 2 | 0 | 0 | Ê | 0 | 0 | 0 | |
| Uso | Deslocamento | Transporte manual facilitado | 2 | 0 | 0 | N | 0 | 0 | 0 | |
| | Operação | Permitir trabalho embarcado | 2 | 0 | 0 | C | 0 | 0 | 0 | |
| | | Utilize pouca mão-de-obra | 4 | 0 | 0 | I | 0 | 0 | 0 | |
| | | Exija poucos esforços do produtor | 1 | - | - | A | 0 | - | - | |
| | | Sem paradas inesperadas | 2 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | |
| | | Interface simples com o usuário | 1 | - | - | | 0 | - | - | |
| | Segurança | Sem contato do operador/ mexilhão | 2 | 0 | 0 | | 0 | - | - | |
| | | Não lesione o usuário | 2 | 0 | 0 | | 0 | - | - | |
| | Manutenção | Fácil manutenção | 2 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | |
| | | Não exija muita manutenção | 4 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | |
| | | Fácil de limpar | 2 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | |
| | Pós-uso | Reuso | Descarte planejado | 1 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| | Total + | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | |
| Total - | | | -8 | -5 | 0 | -2 | -7 | -8 | | |
| Total global | | | -8 | -5 | 0 | -2 | -5 | -6 | | |
| TOTAL (com pesos) | | | -18 | -14 | 0 | -7 | -10 | -12 | | |

Figura A.6 – Matriz de Pugh para o processo de seleção dos mexilhões.

| Necessidades | | | Peso | Alternativas | | | | | | |
|-------------------|--------------|-----------------------------------|--------------------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| | | | | 7-1 | 7-2 | 7-3 | 7-4 | 7-5 | 7-6 | |
| Produto | Processo | Pouco tempo de processamento | 4 | - | - | | 0 | - | - | |
| | | Higiênico | 2 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | |
| | | Poucas quebras de mexilhões | 2 | 0 | 0 | | - | 0 | - | |
| | | Realize processos simultâneos | 4 | - | - | | 0 | - | - | |
| | | Realize processos contínuos | 4 | - | - | | 0 | - | - | |
| | Preço | Acessível | 5 | 0 | 0 | | - | + | + | |
| | Aparência | Tamanho compacto | 2 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | |
| | | Agradável | 1 | - | 0 | | 0 | 0 | 0 | |
| | Materiais | Durável | 2 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | |
| | | Adaptado ao trabalho no mar | 2 | 0 | 0 | R | 0 | 0 | 0 | |
| | | | | | | | | | | |
| Manufatura | Fabricação | Baixo custo | 3 | + | + | E | 0 | + | + | |
| | | Adequado ao volume de produção | 1 | 0 | 0 | F | 0 | 0 | 0 | |
| | | Fácil montagem | 1 | + | + | E | 0 | + | + | |
| | Transporte | Ocupe pouco espaço | 1 | - | 0 | R | 0 | 0 | 0 | |
| | | Transportável por veículos leves | 2 | 0 | 0 | Ê | 0 | 0 | 0 | |
| Uso | Deslocamento | Transporte manual facilitado | 2 | 0 | 0 | N | 0 | 0 | 0 | |
| | Operação | Permitir trabalho embarcado | 2 | 0 | 0 | C | 0 | - | - | |
| | | Utilize pouca mão-de-obra | 4 | 0 | 0 | I | 0 | 0 | 0 | |
| | | Exija poucos esforços do produtor | 1 | - | - | A | 0 | - | - | |
| | | Sem paradas inesperadas | 2 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | |
| | | Interface simples com o usuário | 1 | - | - | | 0 | - | - | |
| | Segurança | Sem contato do operador/ mexilhão | 2 | 0 | 0 | | 0 | - | - | |
| | | Não lesione o usuário | 2 | 0 | 0 | | 0 | - | - | |
| | Manutenção | Fácil manutenção | 2 | + | + | | 0 | 0 | 0 | |
| | | Não exija muita manutenção | 4 | 0 | 0 | | 0 | + | + | |
| | | Fácil de limpar | 2 | 0 | 0 | | + | 0 | + | |
| | Pós-uso | Reuso | Descarte planejado | 1 | 0 | 0 | | 0 | - | - |
| | Total + | | | 3 | 3 | 0 | 1 | 4 | 5 | |
| Total - | | | -7 | -5 | 0 | -2 | -9 | -10 | | |
| Total global | | | -4 | -2 | 0 | -1 | -5 | -5 | | |
| TOTAL (com pesos) | | | -10 | -8 | 0 | -5 | -8 | -8 | | |

Figura A.7 – Matriz de Pugh para o processo de limpeza refinada dos mexilhões.

| Necessidades | | | Peso | Alternativas | | | | | | |
|--------------------------|----------------|-----------------------------------|--------------------|--------------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|---|
| | | | | 8-1 | 8-2 | 8-3 | 8-4 | 8-5 | 8-6 | |
| Produto | Processo | Pouco tempo de processamento | 4 | - | - | | 0 | - | - | |
| | | Higiênico | 2 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | |
| | | Poucas quebras de mexilhões | 2 | - | 0 | | + | 0 | + | |
| | | Realize processos simultâneos | 4 | 0 | 0 | | 0 | - | - | |
| | | Realize processos contínuos | 4 | - | - | | 0 | - | - | |
| | Preço | Acessível | 5 | 0 | 0 | | - | + | + | |
| | Aparência | Tamanho compacto | 2 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | |
| | | Agradável | 1 | - | 0 | | 0 | 0 | 0 | |
| | Materiais | Durável | 2 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | |
| | | Adaptado ao trabalho no mar | 2 | 0 | 0 | R | 0 | 0 | 0 | |
| Manufatura | Fabricação | Baixo custo | 3 | + | + | E | 0 | + | + | |
| | | Adequado ao volume de produção | 1 | 0 | 0 | F | 0 | 0 | 0 | |
| | | Fácil montagem | 1 | + | + | E | 0 | + | + | |
| | Transporte | Ocupe pouco espaço | 1 | - | 0 | R | 0 | 0 | 0 | |
| | | Transportável por veículos leves | 2 | 0 | 0 | Ê | 0 | 0 | 0 | |
| Uso | Deslocamento | Transporte manual facilitado | 2 | 0 | 0 | N | 0 | 0 | 0 | |
| | Operação | Permitir trabalho embarcado | 2 | 0 | 0 | C | 0 | - | - | |
| | | Utilize pouca mão-de-obra | 4 | 0 | 0 | I | 0 | 0 | 0 | |
| | | Exija poucos esforços do produtor | 1 | - | - | A | 0 | - | - | |
| | | Sem paradas inesperadas | 2 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | |
| | | Interface simples com o usuário | 1 | - | - | | 0 | - | - | |
| | Segurança | Sem contato do operador/ mexilhão | 2 | 0 | 0 | | 0 | - | - | |
| | | Não lesione o usuário | 2 | 0 | 0 | | 0 | - | - | |
| | Manutenção | Fácil manutenção | 2 | + | + | | 0 | + | + | |
| | | Não exija muita manutenção | 4 | 0 | 0 | | 0 | + | + | |
| | | Fácil de limpar | 2 | + | + | | 0 | + | + | |
| | Pós-uso | Reuso | Descarte planejado | 1 | 0 | 0 | | 0 | - | - |
| | Total + | | | 4 | 4 | 0 | 1 | 6 | 7 | |
| Total - | | | -7 | -4 | 0 | -1 | -9 | -9 | | |
| Total global | | | -3 | 0 | 0 | 0 | -3 | -2 | | |
| TOTAL (com pesos) | | | -6 | -2 | 0 | -3 | -4 | -2 | | |

Figura A.8 – Matriz de Pugh para o processo de retirada das conchas dos mexilhões.

| Necessidades | | | Peso | Alternativas | | |
|------------------------------|---------------|-----------------------------------|------------|--------------|----------|-----|
| | | | | 1-3 | 1-5 | 1-9 |
| Produto | Processo | Pouco tempo de processamento | 4 | - | 0 | |
| | | Higiênico | 2 | 0 | 0 | |
| | | Poucas quebras de mexilhões | 2 | 0 | 0 | |
| | | Realize processos simultâneos | 4 | 0 | 0 | |
| | | Realize processos contínuos | 4 | 0 | 0 | |
| | Preço | Acessível | 5 | 0 | - | |
| | Aparência | Tamanho compacto | 2 | 0 | 0 | |
| | | Agradável | 1 | 0 | 0 | |
| | Materiais | Durável | 2 | 0 | 0 | |
| | | Adaptado ao trabalho no mar | 2 | 0 | 0 | R |
| Baixo custo | | 3 | 0 | - | E | |
| Manufatura | Fabricação | Adequado ao volume de produção | 1 | 0 | - | F |
| | | Fácil montagem | 1 | 0 | 0 | E |
| | | Ocupe pouco espaço | 1 | 0 | - | R |
| | Transporte | Transportável por veículos leves | 2 | 0 | 0 | Ê |
| Transporte manual facilitado | | 2 | 0 | 0 | N | |
| Uso | Operação | Permitir trabalho embarcado | 2 | 0 | 0 | C |
| | | Utilize pouca mão-de-obra | 4 | 0 | 0 | I |
| | | Exija poucos esforços do produtor | 1 | - | + | A |
| | | Sem paradas inesperadas | 2 | - | 0 | |
| | | Interface simples com o usuário | 1 | 0 | 0 | |
| | Segurança | Sem contato do operador/ mexilhão | 2 | - | + | |
| | | Não lesione o usuário | 2 | - | + | |
| | Manutenção | Fácil manutenção | 2 | 0 | 0 | |
| | | Não exija muita manutenção | 4 | 0 | 0 | |
| | | Fácil de limpar | 2 | 0 | 0 | |
| Pós-uso | Reuso | Descarte planejado | 1 | 0 | 0 | |
| Específicas | Encordoamento | Cordas de tamanho variado | 1 | 0 | 0 | |
| | | Cordas em diferentes diâmetros | 1 | 0 | 0 | |
| Total + | | | 0 | 3 | 0 | |
| Total - | | | -5 | -4 | 0 | |
| Total global | | | -5 | -1 | 0 | |
| TOTAL (com pesos) | | | -11 | -5 | 0 | |

Figura A.9 – Segunda Matriz de Pugh para o processo de encordoamento das sementes.



Custos de Fabricação dos Protótipos

Neste apêndice são apresentados os custos de aquisição de materiais, de serviços terceirizados e de aquisição de componentes prontos durante a manufatura dos protótipos para teste (à exceção do módulo extrator de mexilhões). A manufatura dos módulos selecionados foi realizada pelo SENAI – São José, sendo os dados aqui apresentados (Tabela B.1) obtidos junto à esta instituição. A Figura B.1 apresenta o uso dos recursos dividido em quatro categorias: componentes padronizados, serviços de terceiros, serviços SENAI e Materiais.

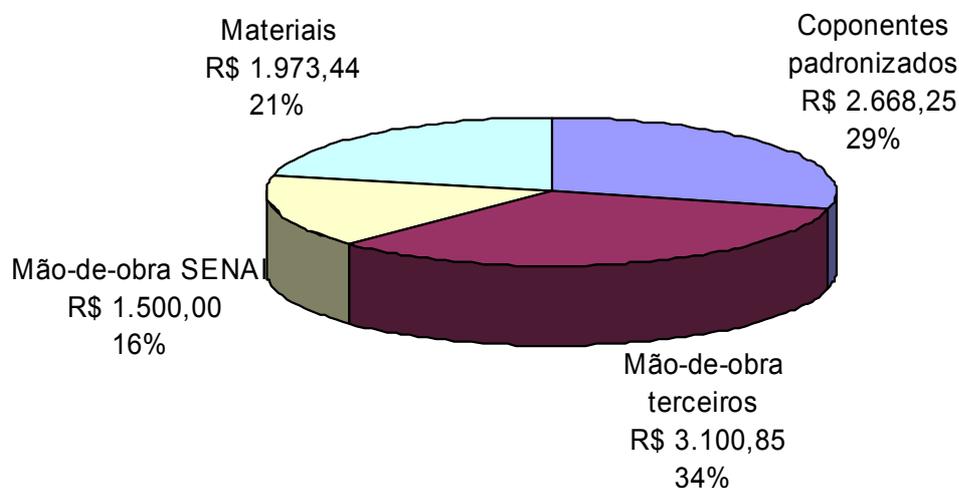


Figura B.1 – Proporção de gastos nos protótipos por categoria.

Tabela B.1 – Levantamento de gastos nos protótipos.

| Material | Quantidade | Valor R\$ |
|---|-------------------|---------------------|
| Nylon | | |
| Chapa de nylon 5x250x500 | 1 Pç | R\$ 34,00 |
| Disco de nylon 320x40 | 3 Pçs | R\$ 494,40 |
| Nylon 50 mm | 0,460 Kgs | R\$ 6,52 |
| Nylon 75 mm | 0,419 Kgs | R\$ 5,87 |
| Total Nylon | | R\$ 540,79 |
| Metais | | |
| Aço inox 1 1/4 | 7,977 Kgs | R\$ 98,52 |
| Aço inox 1/2 | 3 Kgs | R\$ 38,70 |
| Aço inox 1/4 | 0,260 Kgs | R\$ 3,09 |
| Chapa inox 304 2mm 14 1,24x2,00 | 40,600 Kgs | R\$ 376,93 |
| Chapa inox 304 5 mm 1,24x2,00 | 2,728 Kgs | R\$ 24,69 |
| Tubo inox 1 1/2 | 1 Mt | R\$ 33,43 |
| Tubo inox 7/8 | 3 Mts | R\$ 59,31 |
| Total Metais | | R\$ 634,67 |
| Componentes Padronizados | | |
| Corrente 8B1 | 1,5 Mts | R\$ 21,39 |
| Emenda p/ corrente 8B1 | 1 Pç | R\$ 1,58 |
| Grampo de aperto rápido | 7 Pçs | R\$ 240,04 |
| Rolamento 61806 | 6 Pçs | R\$ 288,00 |
| Anel elástico externo | 6 Pçs | R\$ 6,00 |
| Parafuso 10x30 inox | 4 Pçs | R\$ 3,51 |
| Parafuso 3/16x3/4 | 8 Pçs | R\$ 5,20 |
| Parafuso 8x30 inox | 8 Pçs | R\$ 4,02 |
| Parafuso allen 8x16 | 3 Pçs | R\$ 1,20 |
| Parafuso allen 8x16 sem cabeça | 2 Pçs | R\$ 0,70 |
| Parafuso inox M5 x 20 | 64 Pçs | R\$ 21,12 |
| Parafuso inox M6 x 20 | 16 Pçs | R\$ 8,00 |
| Porca 10 inox | 4 Pçs | R\$ 1,34 |
| Porca borboleta 8 | 8 Pçs | R\$ 1,69 |
| Total Componentes Padronizados | | R\$ 603,79 |
| Motorização | | |
| Motovariador SRT 0,5cv 220/380V, 4 polos, 60Hz | 1 Pç | R\$ 1.962,45 |
| Parte Elétrica | | |
| Cabo de cobre isol. 75V. Cordoplast PP 4x1mm ² | 9 Mts | R\$ 9,18 |
| Chave partida PDW Trif. 1,8-2,8 A | 1 Pç | R\$ 81,39 |
| Conector prensa-cabo cinza 1/2 | 1 Pç | R\$ 2,38 |
| Plug 16 A | 1Pç | R\$ 9,06 |
| Total motorização | | R\$ 2.064,46 |
| Mão de obra | | |
| Mão de obra de terceiros | | R\$ 2.702,85 |
| Mão de obra do SENAI | | R\$ 1.500,00 |
| Total de mão de obra | | R\$ 4.202,85 |
| Escova (fabricação terceirizada) | | R\$ 398,00 |
| Material de consumo | | R\$ 797,98 |
| Total | | R\$ 9.242,54 |