

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIDADE ACADÊMICA DE DESIGN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

Helenaldo Firmino de Azevedo

MODULARIDADE APLICADA AO PROJETO DE UMA MÁQUINA AGRÍCOLA:
Estudo da relação entre a arquitetura do produto e seu processo produtivo

Campina Grande
2016

Helenaldo Firmino de Azevedo

Modularidade aplicada ao design de máquinas agrícolas:

Estudo da relação entre a arquitetura do produto e seu processo produtivo

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Design na Universidade Federal de Campina Grande.

Orientador:

Dr. Juscelino de Farias Maribondo

Campina Grande

2017

Helinaldo Firmino de Azevedo

Modularidade aplicada ao projeto de uma máquina agrícola:

Estudo da relação entre a arquitetura do produto e seu processo produtivo

Dissertação apresentada à Banca Examinadora do Programa de Pós-graduação em Design da Universidade Federal de Campina Grande para obtenção do Título de Mestre em Design.

Aprovada em 16 de Dezembro de 2016.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Juscelino de Farias Maribondo
Orientador PPGDesign

Prof. Dr. Luiz Felipe de Almeida Lucena
PPGDesign - UFCG

Prof. Dr. Wanderley Ferreira de Amorim Junior
UAEM - UFCG

Dedico este trabalho à minha esposa Amanda e ao meu filho Heitor.

"Vocês são a minha gasolina."

AGRADECIMENTOS

Aos meus Pais, por me ensinarem que a educação e o trabalho são libertadores.

À todos os meus Professores, em especial ao meu Orientador e ao Coordenador do PPG Design, pela orientação, apoio e incentivo.

À Turma 2014.1 do Mestrado em Design da UFCG por encarmos juntos o desafio de sermos a primeira turma do programa.

Aos Amigos da Laboremus Indústria de Máquinas Agrícolas, pelos sete anos de aprendizado e companheirismo.

Aos Colegas da Unidade Acadêmica de Engenharia de Produção, em especial aos Amigos do Laboratório de Engenharia de Produto LEP/UAEP, pelo apoio na pesquisa.

Às Doutoradas da minha família, pelas dúvidas esclarecidas .

À minha Esposa pelo apoio e ao meu Filho por ser o motivo de tudo.

Muito obrigado.

Helinaldo Firmino de Azevedo

AZEVEDO, Helenaldo F. de. **MODULARIDADE APLICADA AO PROJETO DE UMA MÁQUINA AGRÍCOLA: Estudo da relação entre a arquitetura do produto e seu processo produtivo**. 2016. 134 p. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Design. Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2016.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é analisar os impactos da modularização no desenvolvimento de produtos e no sistema produtivo de uma organização. O método utilizado foi o *Modular Function Deployment* (MFD) e a aplicação foi realizada em uma máquina de processamento de forragem animal. Os resultados alcançados com a modularização mostram que houve reduções de peças e de processos de fabricação com a modularização do produto. Diante desses resultados foi possível concluir que os impactos foram positivos tanto no desenvolvimento do produto como no sistema produtivo da organização em função da racionalização da produção, redução dos custos e possível aumento da produtividade.

Palavras-Chave: Modularidade, *Modular Function Deployment* (MFD), Projeto de Produto, Sistema Produtivo, Processo de Fabricação.

ABSTRACT

This present work aims to analyze the impacts of modularization on product development and on the productive system of a particular organization. The chosen method was the Modular Function Deployment (MDF) and it was applied on a processing fodder machine. The results achieved with modularization shows reduction in the number of parts, likewise reduction in the number of manufacturing processes due to product's modularization. Based on these results, it was possible to conclude that the impacts were positive both in product's development stage and in the company production system due to production's rationalization, costs reduction and a projected productivity increase.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Computadores com arquitetura integrada e arquitetura modular.....	09
Figura 2 - Câmera Modular Sony.....	10
Figura 3 - Fluxograma - Geral da Pesquisa.....	34
Figura 4 - Matriz de Interfaces (MI).....	42
Figura 5 - Exemplo de modelamento de Módulo Funcional.....	44
Figura 6 - Exemplo de Dendograma de Modularização.....	45
Figura 7 - Forrageira Conjugada (Vista Frontal/Lateral direita e Frontal/Lateral esquerda).....	50
Figura 8 - Da esquerda para a direita, Picotador/Triturador, Fatiador e Forrageira Conjugada.....	51
Figura 9 - Divisão geral da Forrageira Conjugada.....	52
Figura 10 - Árvore de Funções da Forrageira Conjugada.....	58
Figura 11 - Matriz de Interfaces de Forrageira Conjugada.....	65
Figura 12 - Esquema de Conversão de ST1 e ST8 em MF8.....	70
Figura 13 - Esquema de Conversão de ST6 e ST9 em MF6.....	71
Figura 14 - Conversão de ST10, SR15 e ST36 em MF10.....	72
Figura 15 - Conversão de ST7 em MF7.....	73
Figura 16 - Conversão de ST3 em MF3 e Incorporação de ST5 por MF3.....	74
Figura 17 - Conversão de ST11, SR12 e ST19 em MF11.....	75
Figura 18 - Conversão de ST13 em MF13.....	76
Figura 19 - Conversão de ST20 em MF20 e localização.....	77
Figura 20 - Conversão de ST39 e ST45 em MF39.....	78
Figura 21 - Conversão de ST41 e ST44 em MF41.....	79
Figura 22 - Conversão de ST39 e ST45 em MF39.....	80
Figura 23 - Conversão de ST34 e ST35 em MF35.....	81
Figura 24 - Formação de MF42 e MF53.....	82
Figura 25 - Protetor de Correias e Polias MF54.....	83
Figura 26 - Módulos específicos para composição da família de produtos.....	84
Figura 27 - Diagrama de Modularização da Forrageira Conjugada.....	85
Figura 28 - Composição das variantes da Forrageira Conjugada.....	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Matriz de qualificação de metodologias de modularização.....	28
Quadro 2 - Matriz do Desdobramento da Função Qualidade (DFQ).....	38
Quadro 3 - Matriz de Propriedades do Produto.....	39
Quadro 4 - Matriz de Identificação de Módulos (MIM).....	40
Quadro 5: Mapa de Gerenciamento de Produto (MGP).....	41
Quadro 6 - Matriz de Composição das Estratégias de Modularização.....	43
Quadro 7 - Matriz da Arquitetura dos Produtos.....	46
Quadro 8 - Matriz de Comunalidade.....	47
Quadro 9 - Matriz Comparativa de Materiais e Processos de Fabricação.....	47
Quadro 10 - Matriz do Desdobramento da Função Qualidade.....	59
Quadro 11 - Matriz das Propriedades do Produto.....	61
Quadro 12 - Matriz Identificação de Módulos.....	62
Quadro 13 - Mapa de Gerenciamento de Produto da Forrageira Conjugada.....	64
Quadro 14: Matriz de Composição das Estratégias de Modularização.....	66
Quadro 15: Matriz de Composição das Estratégias de Modularização (continuação 1).....	67
Quadro 16: Matriz de Composição das Estratégias de Modularização (continuação 2).....	68
Quadro 17 - Matriz de Funções e Componentes da Forrageira Conjugada.....	86
Quadro 18 - Matriz de Comunalidade.....	89
Quadro 19 - Matriz Comparativa de Materiais e Processos de Fabricação.....	93

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Gráfico de barras de Fatores da Forrageira Conjugada.....	87
Gráfico 2 - Gráfico de barras de ST's/MF's e Componentes da Família de Produtos	90
Gráfico 3 - Gráfico de barras do Número de Materiais.....	94
Gráfico 4 - Gráfico de barras do Peso do Material Utilizado.....	95
Gráfico 5 - Gráfico de barras do Preço do Material Utilizado.....	96
Gráfico 6 - Gráfico de barras do Perímetro de Corte Plasma.....	97
Gráfico 7 - Gráfico de barras das Operações de Corte em Serra Mecânica.....	97
Gráfico 8 - Gráfico de barras das Operações de Estampagem em Prensa Excêntrica.....	98
Gráfico 9 - Gráfico de barras das Operações de Conformação em Prensa Hidráulica.....	99
Gráfico 10 - Gráfico de barras das Operações de Conformação em Viradeira Hidráulica.....	100
Gráfico 11 - Gráfico de barras das Operações de Conformação em Calandra.....	101
Gráfico 12 - Gráfico de barras do Perímetro de Soldagem.....	102
Gráfico 13 - Gráfico de barras dos Pontos de Solda.....	103
Gráfico 14 - Gráfico de barras do Perímetro de Acabamento.....	104
Gráfico 15 - Gráfico de barras da Montagem Final.....	105

SUMÁRIO

CAPÍTULO I - DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	01
1.1 INTRODUÇÃO.....	01
1.2 OBJETIVO GERAL.....	03
1.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	03
1.4 JUSTIFICATIVA.....	04
1.5 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO.....	04
1.6 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO.....	05
CAPÍTULO II - O PROJETO DE PRODUTO MODULAR.....	06
2.1 INTRODUÇÃO.....	06
2.2 PROJETO DE PRODUTO E PROCESSO PRODUTIVO.....	06
2.3. ARQUITETURA MODULAR DO PRODUTO.....	09
2.3.1 Módulo.....	11
2.3.2 Interface	12
2.3.3 Sistema Modular	12
2.4 MODULARIDADE	13
2.4.1 Tipos de Modularidade	15
2.4.1.1 Modularidade de Projeto	15
2.4.1.2 Modularidade de Processo	16
2.4.1.3 Modularidade de Uso	17
2.4.2 Elementos conceituais relacionados a Modularidade	17
2.4.3 Aplicações da Modularidade	19
2.4.4 Benefícios da Modularidade	20
2.5 PRINCIPAIS MÉTODOS DE AUXÍLIO AO DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS MODULARES.....	21
2.5.1 <i>Function Structure Heuristics (FSH)</i>	22
2.5.2 <i>Design Structure Matrix (DSM)</i>	23
2.5.3 <i>Modular Function Deployment (MFD)</i>	23
2.6 DEFINIÇÃO DO MÉTODO DE MODULARIZAÇÃO UTILIZADO	27
2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30

CAPÍTULO III – METODOLOGIA	33
3.1 INTRODUÇÃO.....	33
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	33
3.3 O PROCESSO DE PROJETO.....	33
CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
4.1 INTRODUÇÃO.....	49
4.2 FASE 1 - APRESENTAR O PRODUTO DE ARQUITETURA INTEGRAL A MODULARIZAR.....	49
4.2.1 Etapa 1.1 – Definir o Produto de Arquitetura Integral.....	49
4.2.2 Etapa 1.2 – Estabelecer as principais partes da arquitetura do produto e identificar suas funções.....	52
4.3 FASE 2 – MODULARIZAR O PRODUTO.....	53
4.3.1 Etapa 2.1 - Estabelecer as Necessidades dos Clientes (NC)	53
4.3.2 Etapa 2.2 - Estabelecer as Propriedades do Produto (PP)	54
4.3.3 Etapa 2.3 - Estabelecer as Soluções Técnicas (ST)	56
4.3.4 Etapa 2.4 - Correlacionar as Necessidades dos Clientes com as Propriedades do Produto	59
4.3.5 Etapa 2.5 - Correlacionar as Propriedades do Produto com as Soluções Técnicas	60
4.3.6 Etapa 2.6 - Correlacionar as Soluções Técnicas as Diretrizes de Modularização	62
4.3.7 Etapa 2.7 - Estabelecer as Estratégias de Modularização.....	63
4.3.8 Etapa 2.8 - Desenvolver os Módulos Funcionais e Conceber a Arquitetura Modular	69
4.3.8.1 Atividade 2.8.1 Desenvolver os Módulos Funcionais.....	69
4.3.8.2 Atividade 2.8.2 - Execução do Dendograma de Modularização.....	84
4.4 FASE 3 – ANALISAR OS IMPACTOS DA MODULARIZAÇÃO.....	86
4.4.1 Etapa 3.1 – Analisar a Arquitetura Integral e Modular do produto base do estudo.....	86
4.4.2 Etapa 3.2 - Analisar a arquitetura integral e modular das variantes que compõem a família de produtos	88

4.4.3	Etapa 3.3 – Analisar os Materiais e Processos de Fabricação dos Produtos Integral e Modular.....	91
	CAPÍTULO V - CONCLUSÕES	106
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	107
	REFERÊNCIAS	108
	APÊNDICE 1 - DIÁRIO DE CAMPO.....	112
	APÊNDICE 2 - BENCHMARK	113
	ANEXO 1 - ÁRVORE DE FUNÇÕES.....	120
	ANEXO 2 - MANUAL TÉCNICO DA FORRAGEIRA CONJUGADA	122
	ANEXO 3 - CATÁLOGO DE PRODUTOS	131

CAPÍTULO I

1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

1.1 INTRODUÇÃO

No atual modelo de mercado, diante da facilidade de acesso a qualquer produto e da viabilidade de negócios com clientes em qualquer parte do mundo, a concorrência acirrada entre produtos similares é cada vez maior e irrestrita. Este fato acontece devido à velocidade do fluxo de informação gerada pela *Internet* e o melhoramento dos sistemas de logística entre mercados antes distantes.

Para se manter competitivas, as empresas necessitam de um investimento contínuo em técnicas de desenvolvimento de projeto que possibilitem a evolução gradativa dos seus produtos no mercado, assim como diminuam os recursos necessários ao seu processo de fabricação. Neste sentido o *Design*, como mecanismo de desenvolvimento de produto associado intimamente ao processo produtivo, assume o papel de diferencial competitivo, destacando-se na estratégia organizacional das empresas. Com isso, torna-se impossível dissociar a parte caracterizada como criativa do processo de design do produto dos parâmetros e características do seu processo construtivo.

No mercado de máquinas agrícolas, as empresas de pequeno e médio porte que antes só atuavam em mercados regionais, sentem a necessidade de expandir suas áreas de atuação, ao mesmo tempo em que enfrentam a forte concorrência de grandes empresas do setor. Estes dois fatores geram demandas comuns: a necessidade da atualização constante dos produtos em linha de fabricação e o desenvolvimento de novos produtos, alinhados com as necessidades do mercado consumidor, a um custo cada vez menor. No caso específico do seguimento de processadores de ração animal, a capacidade de processamento da máquina, a durabilidade, a resistência mecânica e os fatores relativos à usabilidade, como a ergonomia e a segurança do produto, são cruciais para a boa aceitação do produto no mercado. Junto a isso, também é necessário que os projetos sejam pensados no

sentido de reduzir custos, flexibilizar a linha de produtos e contribuir para a assertividade e a velocidade do sistema produtivo.

Para conseguir estes resultados e contribuir para a competitividade das organizações, as áreas de desenvolvimento de produto e processo utilizam técnicas que geralmente tem como objetivo a simplificação da arquitetura de produtos complexos. Para tanto, a modularidade é um dos conceitos mais utilizados.

Segundo Rodrigues e Carnevalli (2012), a modularidade é uma estratégia utilizada pelas empresas para desenvolver produtos e organizar a produção com a finalidade de aumentar a produtividade, a variedade e a customização de seus produtos e, conseqüentemente, reduzir os custos de desenvolvimento e produção. A técnica consiste na subdivisão da arquitetura do produto em módulos funcionais, conectados por interfaces padronizadas. As mudanças nas características do projeto do produto naturalmente exercem influência direta sobre vários aspectos da empresa, principalmente os ligados ao seu desenvolvimento e fabricação.

A modularidade é especialmente eficiente para o desenvolvimento de produtos de média e alta complexidade, pois possui a finalidade de racionalizar a arquitetura do produto e com isso simplificar seu processo produtivo. A resultante da aplicação desta estratégia de design é a obtenção do máximo de variações do produto final, utilizando o mínimo possível de componentes diferentes.

Para a aplicação do método de projeto modular, com o objetivo de compreender a relação entre o design modular e o processo produtivo, foi escolhida uma indústria de máquinas agrícolas de pequeno porte, por esta apresentar condições para a aplicação de um estudo de design voltado para a manufatura e a montagem.

Um dos fatores determinantes para a definição do estudo de caso proposto na pesquisa foi inicialmente a demanda pela otimização do principal produto fabricado pela empresa parceira, com conseqüências diretas em seu processo de fabricação. Outro fator é a característica eminentemente funcional do design dos equipamentos aqui estudados, sua relativa complexidade e a grande quantidade de componentes e processos de fabricação envolvidos.

Este conjunto de fatores se mostra ideal para a aplicação de uma estratégia de design de desenvolvimento de projetos complexos com foco na simplificação da

arquitetura do produto, tendo como objetivo a "redução" da forma ao seu aspecto funcional primordial.

Isto posto, o estudo desenvolvido consiste na aplicação do conceito de modularidade no desenvolvimento do principal produto fabricado por uma indústria metal-mecânica local de médio porte, e na análise das consequências para o processo produtivo.

Assim, o problema da pesquisa consiste em: investigar como o design modular de um produto pode influenciar em certos aspectos ligados ao sistema produtivo de uma indústria, partindo da hipótese de que a adoção desta estratégia de design de produto exerce impacto direto sobre a quantidade e complexidade de componentes fabricados.

1.2 OBJETIVO GERAL

Determinar os impactos da modularização da arquitetura do produto sobre aspectos quantitativos do processo produtivo.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para viabilizar o objetivo geral da pesquisa, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Determinar o método de modularização do produto de arquitetura integral;
- Analisar o produto de arquitetura integral a ser modularizado;
- Aplicar o método de modularização;
- Comparar o produto de arquitetura integral com o produto de arquitetura modular em relação à quantidade de componentes, matéria-prima e número de operações de fabricação, e discutir os resultados.

1.4 JUSTIFICATIVAS

A realização deste estudo se justifica por meio de aspectos científicos, técnicos e sociais, a saber:

- A necessidade de estudos práticos que analisem as vantagens competitivas da utilização da modularidade como estratégia de desenvolvimento de produto, sobretudo em sua relação com o sistema produtivo;
- O fortalecimento do *design* modular como fator diferencial competitivo para a indústria metal-mecânica local;
- A redução de insumos de fabricação e conseqüente redução do preço final das máquinas agrícolas desenvolvidas, gerando maior oportunidade de acesso a essa tecnologia, por parte dos produtores rurais, fortalecendo a cadeia produtiva do agronegócio da região.

1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Quanto ao público alvo: Este trabalho destina-se a estudantes de graduação e pós-graduação nas áreas de design e metodologia de projeto de produto.

Quanto à metodologia empregada: Buscou-se trabalhar com base em uma metodologia que levasse em consideração as várias etapas do ciclo de vida do produto, em especial as etapas do processo de fabricação.

Quanto à aplicação da metodologia: A metodologia de projeto modular foi aplicada para o redesenho do principal produto da família de Processadores de Forragem de uma Indústria de máquinas agrícolas, a Forrageira Conjugada.

Quanto aos resultados obtidos: O produto foi desenvolvido até a fase de projeto conceitual, com execução do modelamento virtual, impressão de maquete em escala reduzida, e especificações da arquitetura do produto e processo de fabricação.

Quanto às análises realizadas: As análises dos resultados obtidos foram feitas a partir de comparações de fatores quantitativos do projeto integrado e

modular, como a quantidade de matéria-prima, o número de componentes fabricados, o número de operações de fabricação e montagem e o nível de comunalidade dos componentes entre os produtos acabados.

1.6 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco Capítulos, descritos a seguir:

No Capítulo I (Definição do problema) é feita uma introdução geral a respeito do problema da pesquisa e levantada a hipótese, que rege o estabelecido do objetivo geral e em função dele os objetivos específicos. Em seguida são apresentadas as justificativas, a delimitação do trabalho e a forma como o texto está estruturado.

No Capítulo II (O projeto de produto modular) é feita uma revisão geral sobre as relações entre o projeto de produto e o processo produtivo, arquitetura modular do produto e modularidade, determinando seus tipos ou níveis, seus elementos conceituais, aplicações e benefícios. Em seguida, são discutidos os principais métodos de modularização de projeto de produto e estabelecido o método mais apropriado para o estudo.

No Capítulo III (Metodologia) é feita a caracterização da pesquisa, descrito o método de modularização e de análise comparativa entre os projetos de produto integral e modular.

No Capítulo IV (Resultados e Discussões) é demonstrado o desenvolvimento do projeto de produto modular, os resultados das análises entre os projetos de produto integral e modular e as discussões realizadas.

No Capítulo V são apresentadas as Conclusões e Recomendações para trabalhos futuros.

Por fim, são apresentados as Referências, os Apêndices e os Anexos.

CAPÍTULO II

2 O PROJETO DE PRODUTO MODULAR

2.1 INTRODUÇÃO

Neste Capítulo, inicialmente, busca-se a compreensão do que é o projeto do produto e de sua relação com a organização, observando principalmente as influências que decisões de design exercem sobre o processo produtivo. Segundo Romeiro (2010), estas relações podem ser estabelecidas por meio dos princípios gerais de simplificação, padronização e modularização. Estes princípios são fortemente ligados entre si e à arquitetura do produto. Sendo assim, na sequência é estudado o conceito da arquitetura modular do produto e de seus elementos: o módulo, a interface e o sistema modular, o que leva ao estudo do conceito de modularidade, seus objetivos, seus principais tipos e os principais elementos conceituais a ela ligados, assim como, exemplos de aplicações e benefícios.

Posteriormente, são descritos os três principais métodos de modularização utilizados por empresas metal-mecânicas e estudados pelos pesquisadores: o *Function Structure Heuristics*, o *Design Structure Matrix* e o *Modular Function Deployment*.

Nas considerações finais, destaca-se os principais pontos relativos a projeto de produto modular abordados na literatura e define-se a metodologia de modularização a ser utilizada.

2.2 PROJETO DE PRODUTO E PROCESSO PRODUTIVO

Para compreender melhor as possibilidades de impacto de um projeto modular de produto sobre uma organização produtiva, se faz necessário discorrer inicialmente sobre a relação entre o projeto e os processos de fabricação de um produto.

Nunes (2014) define o processo de desenvolvimento de produto (PDP) como o conjunto de atividades que começam com a percepção de uma oportunidade de mercado, terminando na produção, venda e entrega de um produto, enquanto Rozenfeld (2006) acrescenta as etapas de pós-lançamento e as evoluções necessárias para manter o produto no mercado de forma planejada, a chamada obsolescência programada, comentando também que o PDP leva em consideração as necessidades do mercado, as oportunidades e restrições tecnológicas e também a estratégia competitiva da organização.

Conforme Nunes (2014), o desenvolvimento de produto é um processo criativo, inovador, dinâmico, interdisciplinar, altamente acoplado, massivamente paralelo, interativo, baseado na comunicação, de planejamento intensivo, incerto e arriscado, sendo determinante para a sobrevivência e evolução das organizações.

Buscando entender mais profundamente a relação entre o PDP e a organização, Baxter (2011) identificou quatro estratégias de desenvolvimento de produtos: (1) Estratégias pioneiras - liderança de mercado baseada na tecnologia; (2) Estratégias responsivas - combate à concorrência, utilizando ferramentas como o *benchmarking*; (3) Estratégias tradicionais - manutenção de competitividade em mercados estáticos; (4) Estratégias dependentes - inovação subordinada à empresa matriz e aos clientes.

Estas estratégias são desdobramentos de diretrizes identificadas inicialmente por Chung (1989): modernização, variação, invasão, diversificação e colaboração. Nunes (2014) define-as como pesquisadora, analisadora, defensora e reativa.

A estratégia utilizada por uma organização com relação ao desenvolvimento de produto varia de acordo com a necessidade do projeto, o grau de desenvolvimento tecnológico da empresa e as características do mercado para o qual ele se destina.

Segundo Barczak e Kahn (2012), o processo de desenvolvimento de produto interage com a organização em 7 dimensões, que estão interligadas sequencialmente e ordenadas da seguinte forma: Cultura da Empresa, Estratégia, Pesquisa, Projeto, Processo produtivo, Comercialização e Mensuração de desempenho.

Observando que o presente trabalho busca a análise da relação entre duas destas dimensões (o projeto do produto e o processo produtivo), tomou-se como referência alguns princípios gerais aplicados ao projeto de produtos industriais, bem difundidos no seguimento metal-mecânico citados por Romeiro (2010). O autor afirma que estes princípios são utilizados em projetos cujo objetivo é atingir o custo mínimo de desenvolvimento e produção e são utilizados, principalmente, para verificar a viabilidade de fabricação de um produto ainda em sua fase de projeto conceitual.

Segundo Romeiro (2010) alguns dos princípios gerais para o desenvolvimento racional de produto com foco na facilitação dos processos de fabricação, são:

- Simplificação: o produto deve ter a menor quantidade de componentes e a menor sequência de fabricação, montagem e ajuste fino possível;
- Padronização: devem ser utilizados materiais padronizados, ou a menor quantidade de materiais diferentes possível, facilitando a aquisição no mercado e dispensando o uso de processos e ferramentais específicos de produção;
- Modularização: devem ser desenvolvidos componentes e subconjuntos comuns a vários produtos finais, de modo a proporcionar economias de escala na produção.

Estes princípios gerais de projeto conduzem ao que Romeiro (2010) chamou de regras específicas para um projeto de produto orientado para a redução de custos e facilitação dos processos de fabricação. São elas:

- Reduzir o número de componentes;
- Reduzir a quantidade de material dos componentes;
- Reduzir a quantidade de operações de fabricação;
- Utilizar operações padronizadas e de baixo custo;
- Utilizar materiais comuns a vários componentes;
- Manter os padrões de interface já utilizados.

Estas diretrizes de projeto estão fortemente ligadas entre si e, combinadas, determinam as características formais e estruturais do produto. A esse conjunto de características é dado o nome de arquitetura do produto.

Então, partindo do princípio de que o planejamento da arquitetura do produto é em sua essência a atividade de definir a forma, o dimensionamento e o material dos componentes, assim como a maneira como estes são agrupados ou combinados entre si e os processos de fabricação e montagem necessários para a sua produção, em um projeto de produto modular torna-se necessário o estudo sobre o tema da arquitetura modular do produto.

2.3 ARQUITETURA MODULAR DO PRODUTO

A arquitetura de um produto consiste nas especificações formais e dimensionais de seus componentes e nas interações que estas partes realizam entre si, formando um sistema único e funcional (CARNEVALLI, 2011). Baxter (2011) as classifica em arquitetura integral e arquitetura modular. A Figura 1 mostra um exemplo do mesmo produto com arquitetura integral e modular.

Figura 1 - Computador com arquitetura integral e com arquitetura modular



Fonte - Google Imagens

A arquitetura integrada parte de um complexo mapeamento da estrutura geral do produto, na qual os elementos funcionais estão distribuídos entre seus componentes físicos. A arquitetura modular parte de um mapeamento diferenciado de cada elemento funcional, em função da estrutura geral dos componentes físicos do produto e especifica suas interfaces para estabelecer as conexões (NUNES, 2014).

De acordo com Prieto (2011) um produto não pode ser classificado como estritamente modular ou integral, pois a classificação pode ser feita de forma relativa entre concorrentes de acordo com o seu grau de modularidade.

A arquitetura modular é aquela em que os blocos são arranjados em módulos (BAXTER, 2011). Na arquitetura modular, o projeto é concebido a partir de subsistemas projetados paralelamente, com interfaces padronizadas que permitem fácil montagem e desmontagem, como visto na Figura 2. Cada subsistema, ou módulo, pode exercer uma ou mais funções isoladamente, porém, quando acoplados, funcionam de forma integrada. Deste modo, permite maior flexibilidade de projeto e manufatura (CARNEVALLI, 2011).

Figura 2 - Câmera Modular Sony



Fonte - Google Imagens

De acordo com Martin & Ishii (2002), a utilização da arquitetura modular permite o *Design for Variety* (DFV) ou o desenvolvimento de plataformas de produtos que focam dois índices importantes para avaliar sua arquitetura: a geração de variedade, que é uma medida do esforço de projeto necessário em futuros projetos do produto, e o índice de acoplamento, uma medida da quantidade de possibilidades de uniões entre componentes, o que podem ser considerados fatores importantes para o ciclo de vida do produto no mercado e para o desenvolvimento de famílias de produtos (ULRICH, 2007).

De acordo com Prieto (2011), o conceito de arquitetura modular é ideal para construir produtos complexos com base na definição de unidades padronizadas, aqui chamadas de módulos funcionais, que possibilitam a simplificação e o paralelismo nos processos de desenvolvimento, fabricação (montagem) e manutenção (desmontagem).

Em um projeto modular a arquitetura do produto é dividida em módulos que tem como objetivo o atendimento a diversas funções. Isto geralmente resulta em um produto complexo, com um custo relativamente elevado de projeto e de produção. Deste modo, para viabilizar o projeto é necessário um processo de racionalização de sua arquitetura, subdividindo-a em componentes e/ou subconjuntos específicos combinados entre si. Essa combinação é realizada aplicando o princípio modular, que prevê o desenvolvimento de um produto a partir do conceito de sistema. (PAHL et al. 2005).

De acordo com Nunes (2014), a arquitetura de um sistema modular compreende três elementos, em três categorias de regras de projeto: a) Particionamento do Módulo - Definição dos módulos do sistema e suas respectivas funções; b) Especificação de interface - Delineamento da forma como os módulos vão se conectar e trabalhar juntos; c) Conformidade do sistema e testes - Definição de normas para testes de desempenho e compatibilidade dos módulos do sistema. Então, de modo geral, uma arquitetura modular pode ser compreendida a partir dos conceitos de módulo, interface e sistema modular, explicados a seguir:

2.3.1 Módulo

De acordo com Maribondo (2000), um módulo é a unidade planejada segundo determinadas proporções e destinada a reunir-se ou ajustar-se a outras unidades análogas, de várias maneiras, formando um todo homogêneo e funcional.

Segundo Toporowicz (2012), o conceito de módulo evoluiu de uma medida padrão, passando por unidades básicas construtivas, até chegar ao conceito atual, no qual a funcionalidade e a flexibilidade são seus principais fatores, sendo essenciais para a inovação de produtos e a competitividade das empresas.

A utilização de módulo em diferentes situações deu origem a uma classificação que, segundo Piran (2015), consta de módulos funcionais, construtivos, básicos, auxiliares, especiais, adaptativos, não-módulos, grandes e pequenos.

De acordo com Bernardes (2012), os módulos têm como principal característica a capacidade de submeter-se a testes funcionais, ajustabilidade, padronização das interfaces, intercambialidade, transportabilidade, fraca interdependência entre eles e alta interdependência dentro deles. Toporowicz (2012) acrescenta que um fator importante é a facilidade com que um módulo pode sofrer um *re-design* sem interferir nas suas interfaces, bem como no restante do produto.

2.3.2 Interface

Segundo Maribondo (2000), as interfaces são os meios de união, comunicação ou de transmissão de energia, material e sinal que permitem que os módulos se acoplem uns aos outros a fim de gerar diferentes produtos ou sistemas.

A interface é o elemento de conexão entre os módulos, que permite as diferentes montagens de um sistema. A precisão de sua especificação é o principal fator de sucesso para a diversificação das possibilidades de arranjo físico do produto (CARNEVALLI, 2011), assim como para a interação com o usuário em qualquer fase do ciclo de vida do produto. Para tanto, é necessário que estas uniões sejam simples e que necessitem do mínimo ou até mesmo nenhuma ferramenta. (TOPOROWICZ, 2012).

Erixon (1998) classifica as interfaces em fixas, móveis e de comunicação, e Pelegrini (2005) em interfaces de encaixe, volumétricas e de transferência.

2.3.3 Sistema modular

Para compreender o conceito de sistema modular, inicialmente é necessário compreender o conceito de sistema que, segundo Maribondo (2000), é uma reunião ou uma combinação de elementos ou partes destinadas a formar um todo complexo

ou unitário, ou um grupo de componentes inter-relacionados trabalhando para atingir um objetivo comum.

De acordo com Bataglin (2012), um sistema modular tem como objetivos: facilitar o gerenciamento de produtos e processos complexos por meio da divisão em módulos; possibilitar a realização de atividades de desenvolvimento de manufatura em paralelo; e adaptar a produção às incertezas de demanda futura.

Segundo Graziadio (2004), um sistema modular é composto por módulos ou subsistemas que são projetados e produzidos separadamente, porém funcionam de forma integrada, por meio de interfaces padronizadas. Esta divisão garante maior flexibilidade para quem projeta, produz e usa os produtos modulares e, assim, mostra-se relacionada principalmente a estas três dimensões: Projeto, Produção e Uso.

Erixon et al. (1996) enfatizam que a divisão do produto em subprodutos (módulos) é uma excelente base para a continuada renovação do produto e o simultâneo desenvolvimento do seu sistema de manufatura, contribuindo de forma determinante para o prolongamento do ciclo de vida do produto no mercado.

Um sistema modular é decorrente da arquitetura do produto, em que é feito um planejamento prévio das interfaces entre os módulos que constituem sua configuração. (TOPOROWICZ, 2012). Então, um projeto de produto baseado no conceito de sistema modular corresponde a um conjunto de blocos distintos com interfaces padronizadas, intercambiáveis entre si, que interagem de maneira dinâmica, com o objetivo de possibilitar a criação de uma família de produtos destinados a atender diferentes necessidades (MARIBONDO, 2000). Desta forma, a estes produtos é atribuído o conceito de modularidade.

2.4 MODULARIDADE

De acordo com Graziadio (2004), modularidade é a divisão de um produto ou processo em módulos compostos de vários componentes. Maribondo (2000), por sua vez, define modularidade como a capacidade da estrutura de um produto se adaptar a mudanças.

Segundo Bataglin (2013), a modularidade consiste em uma estratégia de engenharia que considera o produto final como sendo a união de subsistemas mais simplificados, podendo ser entendida como uma característica de projeto que depende da similaridade entre a função e a forma dos módulos que compõem o sistema. (MARIBONDO, 2000).

Para Baldwin e Clark (2007), a modularidade é um atributo do sistema relacionado à estrutura e funcionalidade, em que a substituição de um módulo por outro gera uma variação no produto. Ela está intimamente ligada ao conceito de intercambialidade, que é a facilidade de troca ou permutação entre os módulos do sistema, e é obtida por meio da padronização das especificações das suas interface. (MARIBONDO, 2000).

O projeto modular possibilita a padronização e a racionalização necessárias ao bom funcionamento do processo produtivo com a customização e a flexibilidade exigidas pelo mercado (ARCHER, 2010), pois os componentes e subconjuntos podem ser montados em linhas de produção separadas, formando assim módulos, que são enviados para a linha de montagem final (RODRIGUES, 2012).

A modularidade é uma estratégia utilizada pelas empresas para desenvolver produtos e organizar a produção (DORAN; HILL, 2008) com o objetivo de aumentar a produtividade, a variedade e a customização de seus produtos e, conseqüentemente, reduzir os custos de desenvolvimento e produção, agindo como um impulsionador da competitividade da indústria.

Segundo Archer (2010), os três objetivos básicos em relação ao projeto de produto, para a adoção da modularidade são: a criação de uma família de produtos; a utilização de similaridades; e a redução de complexidades.

Sob a perspectiva da engenharia, a modularidade apresenta três principais objetivos (BALDWIN; CLARK, 2000): a) uma forma de lidar com a complexidade do produto e processo; b) permitir a realização simultânea de atividades de projeto do produto; c) acomodar incertezas futuras associadas ao lançamento de novos produtos.

2.4.1 Tipos de Modularidade

A modularidade se subdivide em algumas perspectivas que englobam a cadeia produtiva como um todo. Dentre elas, algumas estão ligadas de forma indissociável e se relacionam diretamente com a pesquisa proposta: a modularidade do projeto (ou de desenvolvimento de produto), do processo (ou de produção) e de uso. Mas além destas, também são citadas por Kubota (2014) a modularidade organizacional e a de serviços. Todas elas estão relacionadas entre si e são adotadas isoladamente ou em conjunto pelas organizações, em especial as de maior porte.

2.4.1.1 Modularidade de Projeto

A modularidade de projeto define o produto, e cada um de seus módulos com sua respectiva função e componentes, assim como a padronização de suas interfaces. (CARNEVALLI, 2011).

De acordo com Graziadio (2004), a modularidade aplicada ao projeto de produto tem como objetivo reduzir o tempo de concepção através da paralelização das atividades de projeto dos módulos que compõem o produto ou processo. A autora afirma também que existem dois tipos de informação na concepção do produto modular: a visível e a invisível.

As informações visíveis, também chamadas de normas, são definidas na fase inicial do projeto e repassadas a todos os envolvidos. Um bom exemplo é a definição das interfaces, que afetam a decisão de projeto de todos os módulos. Já a informação invisível é concebida pelo projetista de cada módulo, e não exerce influência nos demais.

Para Toporowicz (2012), dois aspectos são importantes para o uso de produtos modulares: a funcionalidade adequada e a montagem, aspectos diretamente relacionados à arquitetura do produto.

Uma arquitetura modular permite ampliar a variedade de produtos ofertados, possibilitando o desenvolvimento de famílias de componentes re-configuráveis que

compartilham características comuns, portanto reduzindo custos de desenvolvimento para a próxima geração de produtos e promovendo a continuidade do produto no mercado. (KUBOTA, 2014).

Pahl e Beitz (1996) classificam a modularidade aplicada a projeto de produto em:

- Modularidade por compartilhamento de componentes - quando um mesmo módulo padronizado é utilizado por vários produtos finais;
- Modularidade por permuta de componentes - quando um mesmo produto final utiliza vários módulos padronizados comuns a outros produtos finais;
- Modularidade por ajuste de componentes (ou adaptação para variação) - quando são utilizados módulos padronizados associados a módulos adicionais com dimensões variáveis dentro de limites preestabelecidos;
- Modularidade por mix - quando vários módulos são acoplados de uma forma que perdem a distinção entre si.
- Modularidade por bus (ou uso de barramento) - quando a um módulo padronizado básico pode ser acoplado diferentes módulos, em diferentes arranjos físicos;
- Modularidade seccional - quando vários tipos de módulos podem ser acoplados em várias configurações diferentes, gerando uma ampla gama de possibilidades de arranjos físicos.

2.4.1.2 Modularidade de Processo

A modularidade de processo tem por objetivo simplificar os processos produtivos (manufatura e montagem), subdividindo-os em etapas mais bem definidas de pré-montagens e pré-testes funcionais dos módulos. (PARENTE, 2011; CARNEVALLI, 2011; KUBOTA, 2014).

A partir desta divisão das operações, os subconjuntos ou módulos podem ser direcionados para unidades fabris externas (no caso de parte da produção ser terceirizada) ou distribuídas por várias linhas de produção paralelas (quando toda a

produção é internalizada na fábrica), sendo necessária, nos dois casos, a ocorrência da montagem final que configura o produto acabado.

Segundo Ventura (2004), a modularidade na produção proporciona a descentralização produtiva, resultando no aumento da especialização das unidades produtivas internas ou externas, na sua eficácia e na economia de recursos empregados na produção, contribuindo para a criação de novos parâmetros operacionais.

De acordo com Miguel (2005), a aplicação da modularidade no processo de produção implica na determinação dos limites da arquitetura do produto para facilitar a fabricação e a montagem, satisfazendo os requisitos de variedade de produto, fluxo de produção, custo e qualidade.

2.4.1.3 Modularidade de Uso

A modularidade de uso propõe a decomposição do produto em módulos, visando a facilitação do uso do produto, e proporciona o ajuste e customização, valorizando a individualidade dos clientes. Desta forma, componentes padronizados são acoplados de modo a obter diferentes produtos por meio da variedade de combinações entre os módulos (KUBOTA, 2014).

A modularização voltada para o uso está relacionada com a customização em massa e atende diretamente às necessidades do consumidor (TOPOROWICZ, 2012).

2.4.2 Elementos conceituais relacionados à modularidade

De acordo com Schmickl e Kieser (2008), existem vários elementos conceituais relacionados à modularidade do produto com enfoque principal na funcionalidade, na arquitetura dos módulos e na própria estrutura geral do produto. Estes elementos têm impactos em diversas áreas, tais como: projeto, gestão, custos

e tempo de desenvolvimento do produto. E no caso da modularidade de produção, os elementos remetem geralmente à padronização dos componentes.

Ainda segundo os autores, os principais elementos conceituais relacionados estritamente à modularidade de produto são:

- Funcionalidade - Consiste na capacidade de um módulo desempenhar uma ou mais funções;
- Reusabilidade - Consiste na possibilidade do aproveitamento de módulos para a atualização do projeto e lançamento de novos produtos.
- Grau de "comunalidade" - Consiste na quantidade de módulos compartilháveis por diferentes produtos;
- Grau de substituição - Define o grau de possibilidade de substituição de módulos ao longo de uma família de produtos.

Já os principais elementos conceituais relacionados à modularidade de produto e de processo são:

- Padronização - Consiste na possibilidade de recombinação de módulos sem a necessidade de alteração de suas interfaces;
- Variedade de produtos - Refere-se à quantidade de produtos diferentes de uma mesma família que a empresa oferece no mercado;
- Independência entre módulos - Refere-se à independência estrutural dos módulos, autonomia de funcionamento e capacidade de acoplamento;
- Co-design - Refere-se ao grau de envolvimento que os vários agentes envolvidos na produção tem no desenvolvimento do produto;
- Terceirização - Também relacionado à modularidade organizacional, consiste no grau de componentes com possibilidades de terceirização do processo de fabricação.

Assim, os principais elementos conceituais relacionados a modularidade de produto e outros tipos são:

- Nível de customização - Também relacionado à modularidade de uso e de serviço, consiste em quanto o produto pode ser modificado ou ajustado para atender a demandas específicas;

- Compartilhamento de informações - Também relacionado à modularidade organizacional. Refere-se ao grau de compartilhamento de informações entre os vários agentes do projeto.

De acordo com Kubota (2014), todos os elementos ligados à modularidade possuem relações de interdependência mais ou menos intensas, de acordo com o foco de cada conceito. Por exemplo, a funcionalidade por ser ligada diretamente à arquitetura do produto, que define os módulos e suas interfaces, está associada à padronização que, por sua vez, está ligada à "comunalidade" que determina a variedade de produtos.

2.4.3 Aplicações da modularidade

O campo de aplicação da modularidade é bastante vasto e em contínua expansão. O conceito de módulos independentes conectados por interfaces padronizadas, formando um sistema único, com o objetivo de atender a uma ou mais funções, pode ser adaptado para utilização nas mais diversas áreas. Essas possibilidades de aplicação vão de produtos simples como brinquedos ou eletrodomésticos a sistemas de gerenciamento de informação em organizações complexas, como de empresas multinacionais.

Segundo Maribondo (2000), em aplicações do conceito em projetos complexos de engenharia, como estações espaciais, o termo se refere ao uso de unidades independentes. Na arquitetura, o termo geralmente se refere à construção de uma estrutura a partir de componentes padronizados, como colunas e vigas pré-moldadas em concreto armado. Na fabricação de automóveis, por exemplo, consiste no uso de unidades padronizadas intercambiáveis para criar diferentes versões de uma mesma família de produtos.

Em todos os casos a utilização da modularidade, como princípio construtivo fundamental para que as empresas possam se adaptar a mercados dinâmicos (WORREN et al. 2002), é determinada a partir da necessidade de flexibilidade para rápida adaptação do sistema a novas demandas, mercadológicas (advindas de

concorrentes ou usuários) ou tecnológicas (advindas da implantação de novos sistemas produtivos, tecnologia ou materiais).

Outros exemplos de aplicação de sistemas modulares são computadores, sistemas de processamento de dados, painéis solares, turbinas eólicas, elevadores, edifícios, robótica, estações de trabalho, mobiliário, máquinas dentre outros.

2.4.4 Benefícios da Modularidade

De acordo com Erixon (1996) e Baxter (2011), assim como demonstrado nos estudos recentes de Carnevalli (2011), Toporowicz (2012) e Kubota (2014), o emprego da modularidade como estratégia de desenvolvimento de produto gera vários benefícios, que exercem influência sobre as áreas do sistema produtivo em diferentes aspectos, tais como: redução de tempo, área física e custos nas atividades de desenvolvimento, prototipagem, produção (matéria-prima e mão-de-obra), estocagem e transporte; Ampliação da variedade de produtos; Maior gerenciamento de risco e incertezas no lançamento de novos produtos; Aumento da flexibilidade da produção; Facilitação da economia de escala; Redução da complexidade do produto e do processo produtivo; Favorecimento de inovações tecnológicas; Aumento da qualidade do produto; Aumento da confiabilidade do sistema produtivo; Facilitação da atualização, manutenção, reparo, reutilização e reciclagem de produtos; Melhoria da produtividade; Melhor alinhamento dos resultados das áreas de desenvolvimento e produção com as áreas administrativa e marketing; Maior velocidade de resposta a demandas variáveis; Maior liberdade de projeto; Maior facilidade de controle de operações; Maior estruturação de conhecimento do projeto.

2.5 PRINCIPAIS MÉTODOS DE AUXÍLIO AO DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS MODULARES

A modularização de um projeto de produto consiste no processo de subdivisão de sua arquitetura integral, em componentes ou soluções técnicas, e no seu posterior redesenho como módulos funcionais independentes que, conectados por interfaces padronizadas, compõem uma arquitetura modular (ERIXON, 1996).

De acordo com Ramos (2016), para a modularização de um produto são consideradas as necessidades dos vários envolvidos no seu ciclo de vida. Estas necessidades determinam parâmetros estratégicos, mercadológicos, funcionais, físicos, geométricos, de materiais e de processos.

Quanto aos objetivos da modularização, Chung (2002) cita o aumento da produtividade e a redução da mão-de-obra e do custo logístico; Worren et.al. (2002) cita a estabilização do processo de fabricação, o controle de estoques e a ampliação da variedade de produtos, a partir da menor quantidade de peças; e Nunes (2014) complementa com o atendimento às necessidades personalizadas do consumidor, a redução do risco e da incerteza no lançamento de novos produtos, bem como da complexidade da produção.

Segundo Maribondo (2000), a modularização do projeto de produto tem como objetivo reduzir a variação de componentes e subconjuntos produzidos, embora aumente a quantidade de possibilidades de produtos finais fabricados, reduzindo custos e tempo nos processos de desenvolvimento, produção e manutenção.

Com relação às ferramentas de modularização, Archer (2010) afirma que existem diferentes metodologias para o desenvolvimento de produtos modulares, com diferentes focos (manufatura ou uso), estratégias (modularização por funções, por mercados ou por componentes) e abordagens, que vão desde a criação de um produto estruturado de forma modular até o desenvolvimento de famílias de produtos com módulos compartilhados.

Hölttä (2005) afirma que, de modo geral, as metodologias utilizadas para o processo de modularização de um projeto possuem etapas gerais comuns: a) Identificar as necessidades do consumidor; b) Construir uma estrutura de função;

c) Modularizar o produto; d) Calcular a complexidade das interfaces; e) Identificar as interfaces críticas; f) Definir os limites do módulo.

Ainda de acordo com Hölttä (2013) e Ramos (2016), as principais metodologias de modularização estudadas pelos autores da área e utilizadas pelas empresas para o desenvolvimento de produtos são o *Function Structure Heuristics* (Heurísticas da Estrutura Funcional), o *Design Structure Matrix* (Matriz da Estrutura de Projeto) e o *Modular Function Deployment* (Desdobramento da Função Modular).

As três principais metodologias de modularização são apresentadas a seguir:

2.5.1 *Function Structure Heuristics* (FSH)

O *Function Structure Heuristics* (Heurísticas da Estrutura Funcional) é uma metodologia de modularização baseada na estrutura funcional do produto e foi proposta inicialmente por Stone, Wood e Crawford (2000). Os autores estabelecem, inicialmente, a decomposição funcional do produto, que consiste na subdivisão da função global em sub-funções correlacionadas por meio da observação do fluxo de energia, matéria ou sinal que ocorre entre as partes da estrutura funcional. Em seguida, são aplicadas regras heurísticas pré-definidas a esta estrutura para a definição dos módulos que irão compor a arquitetura do produto.

As heurísticas são regras que definem os conjuntos de sub-funções como módulos, observando os fluxos, e são citadas pelos autores como sendo:

- Heurística 1 - Fluxo dominante - o conjunto de sub-funções, em que um fluxo passa da entrada ou início do fluxo no sistema, até a saída do sistema define um módulo;
- Heurística 2 - Ramificação de fluxo – os membros de uma cadeia de função paralela constituem módulos;
- Heurística 3 - Conversão/transmissão de fluxo - as sub-funções ou conjunto de sub-funções de conversão ou transmissão constituem um módulo.

2.5.2 Design Structure Matrix (DSM)

De acordo com Ramos (2016), o *Design Structure Matrix* (Matriz da Estrutura de Projeto) é uma metodologia de modularização que utiliza uma matriz para analisar as relações de dependência entre componentes, funções ou soluções técnicas de um produto. A metodologia consiste em inserir, nas linhas e colunas da matriz estes elementos na mesma sequência e atribuir em seus cruzamentos os valores -2, -1, 0, 1 ou 2, de acordo com o grau de intensidade da relação existente entre eles. Após o preenchimento, os elementos são reagrupados de acordo com os graus de intensidade da relação, determinando as possibilidades de composição dos módulos.

Ainda segundo Ramos (2016), o método DSM utiliza apenas elementos funcionais e estruturais, não considerando aspectos relacionados às necessidades dos clientes ou estratégias da empresa.

2.5.3 Modular Function Deployment (MFD)

O *Modular Function Deployment* (Desdobramento da Função Modular) é um método de desenvolvimento de projeto que subdivide o sistema ou produto em Módulos Funcionais, possibilitando assim sua simplificação e a reorganização da arquitetura do produto de forma mais eficiente. Este método de modularização foi apresentado inicialmente por Erixon (1996) e foi baseado em estudos de modularização desenvolvidos na década de 1990, com aplicações em recentes estudos de Bataglin (2013), Nunes (2014), Machado (2014) e Ramos (2016), dentre outros.

Archer (2010) afirma que o MFD é uma das metodologias mais utilizadas para o desenvolvimento de sistemas modulares e consiste em um procedimento sistemático para desenvolvimento de projetos, baseado na elaboração de diretrizes, no qual é sugerida uma série de critérios para avaliação da modularidade em produtos, denominada Diretrizes de Modularização.

Segundo Ramos (2016), o MFD utiliza esta série de critérios para o agrupamento de componentes ou funções em módulos que, combinados, configuram a arquitetura do produto.

De acordo com Scalice (2011), as diretrizes abrangem todo o ciclo de vida do produto. Um dos motivos pelos quais o método é bastante difundido é o fato de tais critérios apesar de genéricos, poderem ser complementados e adaptados à realidade específica de cada situação de projeto (características da empresa, do mercado, do produto ou serviço, estratégias de negócio e limitações financeiras, tecnológicas ou normativas).

De acordo com Erixon (1996), as Diretrizes de Modularização do MFD são combinadas a outros fatores, como: as necessidades sinalizadas pelos vários agentes, que de alguma forma interagem com o produto; as características e particularidades observadas nos produtos já fabricados pela empresa e pelos produtos concorrentes; e as soluções técnicas encontradas no produto base do estudo. A correlação entre estes fatores é feita por meio do Mapa de Gerenciamento de Produto (MGP), que consiste em uma matriz que os correlaciona e, desta forma, direciona a composição dos módulos funcionais e a configuração geral da arquitetura do produto modular.

O MGP é a ferramenta utilizada pelo MFD para o gerenciamento visual das informações relativas ao projeto, e é utilizado para identificar as Estratégias de Modularização para a composição dos Módulos Funcionais, da arquitetura do produto. Esta identificação é feita por meio da observação das relações verificadas entre os Fatores que compõem as matrizes do MGP. Estas relações, por sua vez, indicam a Estratégia de Modularização para cada Solução Técnica ou Função do produto.

O MGP consiste em um sistema de três matrizes combinadas que descrevem o processo de desenvolvimento do produto, desde as necessidades apontadas pelos clientes até o estabelecimento das estratégias para configuração do Projeto Modular. As matrizes que compõem a MGP são:

1. Matriz de Desdobramento da Função Qualidade (MFQ), que mostra as relações entre as Necessidades dos Clientes e as Propriedades do Produto. Esta matriz tem como objetivo estabelecer que características estruturais

satisfaçam a determinadas necessidades dos vários clientes ao longo do ciclo de vida do produto;

2. Matriz de Propriedade de Projeto (MPP), que mostra as relações entre as Propriedades do Produto e as Soluções Técnicas. Esta matriz tem como objetivo estabelecer que características estruturais possam servir de guia para o redesenho de cada Solução Técnica ou Função;
3. Matriz de Identificação de Módulos (MIM), que mostra as relações entre as Soluções Técnicas descritas nas linhas e as Diretrizes de Modularização descritas nas colunas. Esta matriz tem como objetivo determinar as combinações de Soluções Técnicas ou Funções que possam ser reconfiguradas como Módulos Funcionais.

Para a composição da MIM são adotadas as Diretrizes de Modularização, um conjunto de fatores que podem determinar a conversão de uma solução técnica, função ou uma combinação delas, em um único Módulo Funcional, simplificado e padronizado para vários produtos finais.

Erixon (1998) determina as Diretrizes de Modularização de acordo com seis áreas, que descrevem o ciclo de vida do produto. São elas:

- Desenvolvimento e projeto de produto: DM1 - *Carry-over* - Uma função pode ser um módulo separado onde a solução tecnológica atual poderá ser levada para uma nova geração ou família de máquinas; DM2 - Evolução tecnológica - uma função pode ser um módulo único se o mesmo possui uma tecnologia que irá ser superada no seu ciclo de vida; DM3 - Mudanças planejadas no projeto - uma função pode ser um módulo separado se esta possui características que serão alteradas segundo um plano.
- Variação: DM4 - Especificações técnicas - Pode ser adequada a concentração de alterações para se conseguir variantes em um só módulo; DM5 - Estilo - Uma sub-função pode ser um módulo separado se esta for influenciada por tendências e modismos de tal maneira que a forma e/ou cor necessite ser alterada.
- Manufatura: DM6 - Unidade comum - Uma função poderá ser separada em um módulo se a mesma possuir a mesma solução física em todos os produtos variantes; DM7 - Processo/organização - São possíveis razões para um

módulo separado quando uma sub-função possui uma tarefa específica em um grupo, encaixa-se no conhecimento tecnológico da empresa, possui uma montagem pedagógica ou possui um tempo de montagem que difere extremamente dos outros módulos.

- Qualidade: DM8 - Testes em separado - Uma sub-função pode ser um módulo separado quando sua função pode ser testada separadamente.
- Aquisição: DM9 - Uma sub-função, que pode ser entregue e tratada como uma “caixa preta” gera a redução de custos de logística.
- Pós-vendas: DM10 - Manutenção e manutenibilidade - Serviços e reparos podem ser mais fáceis se a sub-função for um módulo separado; DM11 - Atualização - Se atualizações são previstas, estas podem ser facilitadas se a sub-função for um módulo separado; DM12 - Reciclagem - pode ser uma vantagem concentrar materiais poluentes (ou de fácil reciclagem) em um módulo separado.

Como complemento da MGP é desenvolvida a chamada Matriz de Interfaces, que mostra o tipo de interface existente entre as Soluções técnicas. Esta pode ser observada no momento da composição das Estratégias de Modularização.

De acordo com a metodologia desenvolvida por Erixon (1996), em um projeto de modularização são levadas em consideração particularidades do produto, dos materiais e do processo de fabricação envolvido. Estes conhecimentos específicos absorvidos pelo projetista, durante o contato com o universo do projeto, são determinantes para a tomada das decisões, permitindo assim que exista certo nível de subjetividade no projeto, embora esta seja baseada no conhecimento adquirido. Ou seja, a ferramenta MGP mostra as possíveis estratégias para a modularização do produto, mas as decisões finais de projeto sofrem influência do nível de conhecimento técnico do projetista (grifo nosso).

De acordo com Nunes (2014), ferramentas baseadas em matrizes como o MFD são mais apropriadas para gerenciar o volume e inter-relação de informações características da complexidade de um projeto modular, de uma forma mais simples e direta.

2.6 DEFINIÇÃO DO MÉTODO DE MODULARIZAÇÃO UTILIZADO

Para a definição da metodologia de modularização utilizada na pesquisa, foi tomado como referência o estudo desenvolvido por Borjesson (2010) e utilizado por Ramos (2016), que analisou os principais métodos utilizados em projetos modulares.

Os autores utilizaram onze critérios para análise qualitativa dos métodos estudados, são eles:

- Organização dos dados em matrizes - Maneira como os dados são organizados;
- Flexibilidade - Método é flexível, permite ajustes;
- Execução simultânea - Promove execução simultânea em grupos;
- Fácil de aprender e utilizar - Fácil de utilizar conceitos bem conhecidos;
- Suportado por software - Propício para aplicação de software, incluindo projetos grandes;
- Design handover - Simplifica a condução da fase de conceituação para o detalhamento;
- Repetibilidade - Repetibilidade dos resultados e permite interações;
- Aplicação prática - Método aplicado com resultados satisfatórios em empresas;
- Desenvolvimento de plataforma ou família - Apresenta capacidade de ser aplicado em família de produtos ou plataforma;
- Específico para modularidade - Específico para gerar arquitetura modular;
- Descrição dos dados - Todos os dados, incluindo requerimento do cliente e intenção estratégica.

Em seguida, foi construída uma matriz de qualificação que atribuiu valores de 1, 3 e 5, expressando os desempenhos fraco, médio ou forte de cada método de modularização em relação a cada critério de avaliação proposto. Esta matriz de qualificação dos métodos é demonstrada no Quadro 1.

Quadro 1 - Matriz de qualificação de metodologias de modularização

CRITÉRIOS	FSH	DSM	MFD
Organização dos dados em matrizes	1	5	5
Flexibilidade	5	3	5
Execução simultânea	1	3	5
Fácil de aprender e utilizar	1	5	3
Suportado por software	1	5	5
Design handover	1	3	5
Repetibilidade	3	5	3
Aplicação prática	5	5	5
Desenvolvimento de plataforma ou família	5	3	3
Específico para modularidade	5	3	5
Descrição dos dados	1	3	5
SOMATÓRIO	29	43	49

Fonte: Adaptado de Ramos (2016)

Com base nos estudos de Borjesson (2010) e Ramos (2016), foram feitas as seguintes considerações a respeito dos três principais métodos de modularização:

Os três métodos analisados são passíveis de aplicação prática e são amplamente utilizados em empresas.

O FSH é considerado um método flexível, pois à sua lista de três heurísticas pode se somar novos critérios para a determinação dos módulos em função de características específicas de cada projeto. Segundo o estudo, é considerado como o melhor para o desenvolvimento de famílias de produtos e é utilizado especificamente para projetos modulares, porém é considerado um método com pouca precisão e repetibilidade, sendo, segundo Ramos (2016), mais adequado à fase de conceituação no desenvolvimento de projetos de produtos inovadores, quando não existem ainda grande quantidade de informações técnicas disponíveis.

O DSM trabalha com seus dados organizados em matrizes, o que, segundo Ramos (2016), favorece sua fácil inserção e manipulação, além de possibilitar a utilização de *softwares* padrão como o *MS Excel*. O método é considerado de fácil aprendizado e utilização, assim como possui alta repetibilidade. Estas características são resultantes do fato do DSM utilizar apenas informações técnicas sobre a

arquitetura do produto para a determinação dos módulos funcionais, não levando em consideração outros fatores como as necessidades dos vários clientes que existem ao longo do ciclo de vida do produto. Isto também pode determinar o distanciamento do projeto modular em relação às limitações e necessidades da organização, assim como da realidade do mercado.

O MFD, assim como o DSM, também utiliza um sistema de matrizes, facilitando a inserção e manipulação das informações e possibilitando a utilização de *softwares* padrão. As matrizes também são mais adequadas para o desenvolvimento de produtos complexos, nos quais a decomposição de sua arquitetura gera uma grande quantidade de componentes. Porém, diferentemente do DSM, este método considera as necessidades específicas apontadas pelos vários clientes do ciclo de vida do produto e as características dos produtos concorrentes, associando-as às diretrizes de modularização que orientam a configuração final do projeto modular.

O MFD, assim como o FSH, possui maior flexibilidade em relação ao DSM. Enquanto no FSH podem ser adicionadas novas heurísticas, no MFD podem ser adicionadas, retiradas ou modificadas diretrizes de modularização para determinação dos módulos em função de características específicas de cada projeto.

O MFD permite maior execução simultânea, devido à coleta de dados de forma paralela e posterior correlação na ferramenta do Mapa de Gerenciamento de Produto, e possui uma melhor capacidade para guiar o desenvolvimento dos módulos, pois lida com informações de toda o ciclo de vida.

Diante da análise realizada, o método escolhido para o desenvolvimento da família de Processadores de forragem foi o Desdobramento da Função Modular (DFM), pois, como afirma Bataglin et al. (2013), este método é o que melhor se adapta à situação do desenvolvimento de famílias de produtos complexos, sendo amplamente utilizado pela indústria automobilística, por exemplo. O DFM é um dos métodos mais completos e flexíveis para o desenvolvimento de produtos modulares, podendo ser adaptado às mais diferentes situações de projeto, levando em consideração vários aspectos de todo o ciclo de vida do produto e necessidades específicas de todos os agentes e setores envolvidos com o produto (desde a concepção e a fabricação até o uso e o descarte). Ou seja, pode-se adicionar ou

excluir diretrizes de modularização, além de poder mensurar em grau de importância essas diretrizes para as definições do projeto do produto.

2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo buscou analisar as questões pertinentes ao tema do projeto de produto modular e suas relações com o processo produtivo de uma organização, possibilitando as seguintes considerações:

O desenvolvimento de produto, com foco na racionalização do processo produtivo, utiliza alguns princípios gerais. Dentre eles, destacam-se a simplificação, a padronização e a modularização. Estes princípios são interdependentes e sua aplicação tem impacto direto na composição da arquitetura do produto.

Em um projeto modular, a arquitetura do produto é composta por módulos funcionais acoplados por meio de interfaces padronizadas, formando um sistema modular integrado. A característica da modularidade é atribuída aos produtos desenvolvidos a partir desta lógica de similaridade entre a forma e a função dos módulos que compõem o sistema.

Existem tipos diferentes de modularidade em um projeto de produto, aplicados em diferentes níveis do seu ciclo de vida. Cada tipo determina como a arquitetura do produto é subdividida em módulos, levando em consideração determinados aspectos e relacionando-se a determinados elementos conceituais.

A modularidade de projeto considera a função de cada componente ou subsistema e está ligada a sua funcionalidade, reusabilidade, grau de comunalidade e grau de substituição. A modularidade de processo considera os processos de fabricação e montagem de cada componente ou subsistema e está ligada a padronização dos processos, variedade de produtos, independência entre módulos, co-design, terceirização. A modularidade de uso considera a necessidade de customização e adaptação a diferentes situações e está ligada ao nível de customização do produto.

Com relação à aplicação, devido à sua alta adaptabilidade, o conceito de sistema modular é aplicado nas mais diferentes áreas de projeto, dentre elas:

brinquedos, móveis, eletrodomésticos, equipamentos eletrônicos e mecânicos, robótica, arquitetura, construção civil e sistemas de informação.

Em todos os casos a utilização da modularidade como princípio construtivo é determinante para a adaptação das organizações a novas demandas mercadológicas ou tecnológicas, e proporcionam a simplificação geral dos produtos, gerando vários benefícios, tais como os sugeridos neste estudo: a redução da matéria-prima e processos de fabricação necessários à produção e a ampliação da variedade de produtos.

Com relação aos métodos de modularização, observa-se que estes possuem fases similares que podem ser resumidas na identificação das necessidades, divisão funcional da arquitetura do produto em soluções técnicas, especificação das interfaces, redesenho de módulos funcionais e desenvolvimento do sistema modular.

Existem três principais métodos de modularização estudados pelos autores da área e base dos métodos utilizados pelas organizações para o desenvolvimento de produtos complexos, são eles:

O *Function Structure Heuristics (FSH)*, método em que o agrupamento de componentes, subsistemas ou soluções técnicas em módulos funcionais é feito de acordo com premissas que consideram apenas os fluxos de energia, matéria ou sinal existentes entre estes componentes.

O *Design Structure Matrix (DSM)*, método em que é utilizada uma matriz que correlaciona os componentes, subsistemas ou soluções técnicas, analisando e quantificando suas relações de dependência, e indicando a composição dos módulos funcionais por meio do agrupamento dos componentes que possuem relações mais fortes.

E o *Modular Function Deployment (MFD)*, que consiste em um método baseado em diretrizes de modularização que abrangem todo o ciclo de vida do produto. Assim, este método difere dos dois primeiros, pois eles possuem pouca precisão em sua definições (FSH) ou consideram apenas características estruturais e funcionais (DSM) para a definição dos módulos que compõem sua arquitetura.

No MFD, além dos fatores funcionais e estruturais, são considerados fatores estratégicos, técnicos e mercadológicos relacionados às diretrizes de modularização

para a determinação dos módulos funcionais. Estes fatores são: as Necessidades dos Clientes que interagem com o produto em todas as etapas do seu ciclo de vida; as Propriedades do Projeto, baseadas nas necessidades levantadas e servem de base para análise das características dos produtos concorrentes durante o Benchmark; e as Soluções Técnicas do projeto integral a ser modularizado.

A abrangência e a flexibilidade do MFD faz deste método o mais utilizado pela indústria metal-mecânica para o desenvolvimento de produtos modulares e desta forma justifica sua aplicação no presente estudo, sendo melhor apresentado no capítulo III, que aborda a metodologia.

CAPÍTULO III

3 METODOLOGIA

3.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem por objetivo caracterizar a pesquisa realizada e apresentar ao leitor a maneira como e com que foram desenvolvidas as atividades destinadas à modularização de um produto integral e, posteriormente, analisar os impactos dessa modularização com relação à sua arquitetura e aos materiais e processos utilizados para sua fabricação.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

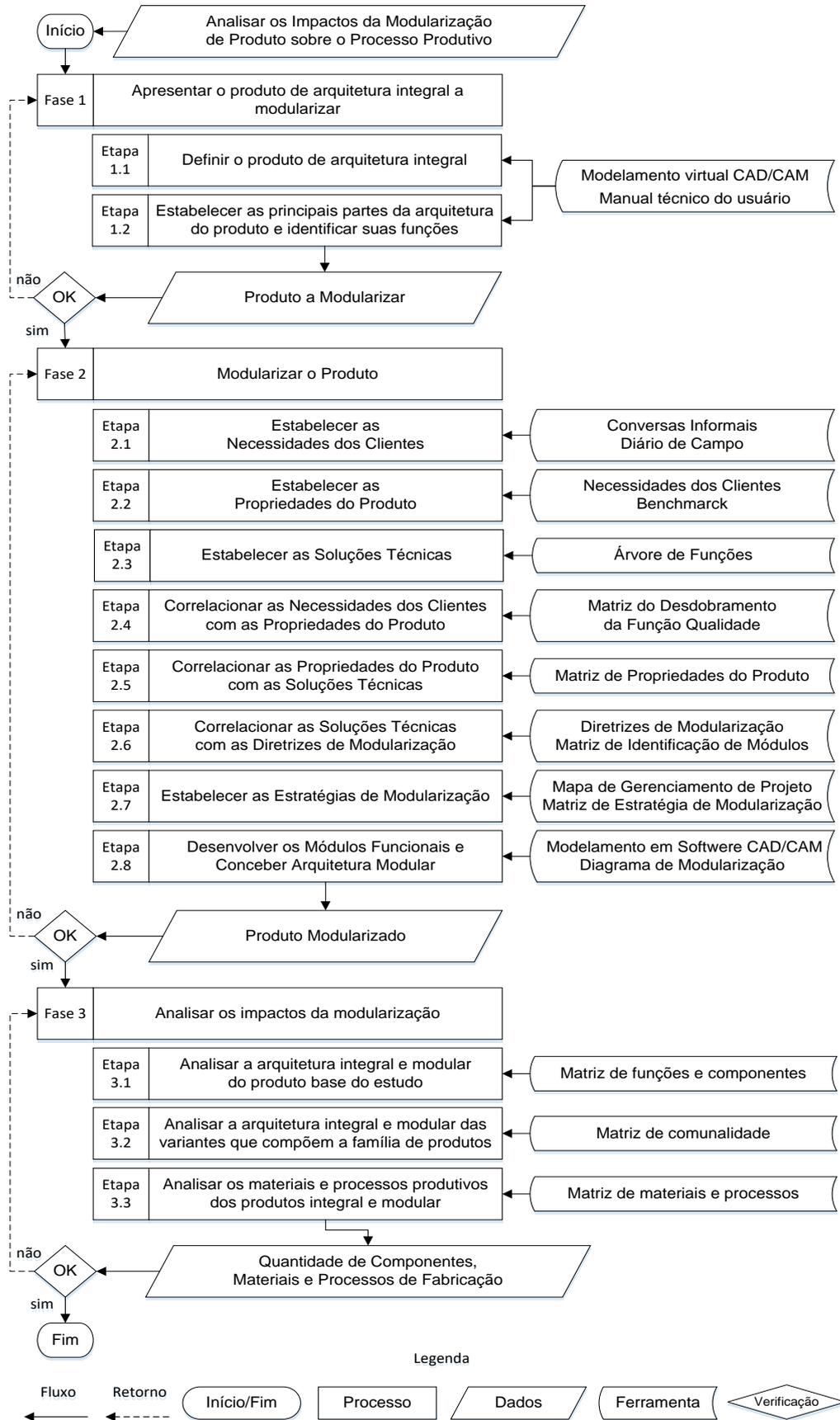
Quanto aos objetivos, a pesquisa é de caráter exploratório e explicativo e quanto aos procedimentos técnicos, se caracteriza como um estudo de caso e aplicação de uma metodologia já consolidada.

Quanto à abordagem, a pesquisa é de caráter quantitativo e parte da premissa de que o projeto do produto desenvolvido sob a perspectiva da modularidade exerce impactos positivos sobre o sistema produtivo, contribuindo com a produtividade da organização. Esta premissa foi estabelecida inicialmente por Erixon (1996) e demonstrada em estudos recentes como os de Carnevalli (2011), Toporowicz (2012), Kubota (2014) e Ramos (2016).

3.3 O PROCESSO DE PROJETO

O processo de projeto utilizado para o desenvolvimento da pesquisa segue o fluxograma apresentado na Figura 3 em que as atividades são desenvolvidas em fases e etapas. As fases representam ações mais complexas e abrangentes e as etapas compreendem ações menos complexas e específicas. Em cada etapa são apresentadas as ferramentas de auxílio ao desenvolvimento das mesmas.

Figura 3 - Fluxograma Geral da Pesquisa



Fonte - Adaptado de Maribondo (2000)

O processo de projeto se inicia com o estabelecimento da necessidade ou motivação para a realização do estudo que, a partir desse momento, é desdobrado em três fases: Fase 1 – Apresentar o produto de arquitetura integral a modularizar; Fase 2 – Modularizar o produto; e Fase 3 – Analisar os impactos da modularização.

A **Fase 1** - Apresentar o produto de arquitetura integral a modularizar tem como objetivo identificar as principais características estruturais e funcionais do produto e, em função disso, descrever os motivos que justificam sua modularização. Esta fase é composta de duas etapas, quais sejam: Etapa 1.1 - Definir o produto de arquitetura integral; e Etapa 1.2 - Estabelecer as principais partes da arquitetura do produto e identificar suas funções.

A **Etapa 1.1** compreende a descrição da função principal do produto, sua composição básica e as características que justificam sua modularização.

A **Etapa 1.2** compreende a descrição dos conjuntos principais que compõem a arquitetura do produto e a identificação de suas respectivas funções.

Para o levantamento das informações necessárias para o desenvolvimento das etapas citadas faz-se necessário uma das duas premissas básicas: 1) Deve-se possuir prévio conhecimento técnico sobre o produto de arquitetura integral a ser modularizado ou 2) Deve-se ter acesso junto à empresa parceira da pesquisa a tais informações técnicas. No segundo caso, estas informações podem ser obtidas por meio de algumas técnicas, sendo a observação direta do produto ou a análise da documentação técnica do projeto, como os desenhos técnicos, o modelamento virtual em *software* CAD/CAM, o manual técnico do usuário ou o catálogo de produtos.

Ao final desta fase, deve-se ter com clareza a definição das características estruturais e funcionais do produto a ser modularizado.

Após apresentar o produto de arquitetura integral a modularizar, é realizada a **Fase 2** - Modularizar o produto, que tem como objetivo converter a arquitetura integral do produto em uma arquitetura modular.

O processo de modularização utilizado no presente estudo consiste em uma adaptação do *Modular Function Deployment* (MFD) e é composto de oito etapas, quais sejam: Etapa 2.1 - Estabelecer as Necessidades dos Clientes do projeto; Etapa 2.2 - Estabelecer as Propriedades do Produto; Etapa 2.3 - Estabelecer as Soluções Técnicas; Etapa 2.4 - Correlacionar as Necessidades dos Clientes com as

Propriedades do Produto; Etapa 2.5 - Correlacionar as Propriedades do Produto com as Soluções Técnicas; Etapa 2.6 - Correlacionar as Soluções Técnicas com as Diretrizes de Modularização; Etapa 2.7 - Estabelecer as Estratégias de Modularização; e Etapa 2.8 - Desenvolver os Módulos Funcionais e Conceber a Arquitetura Modular.

A **Etapa 2.1** - Estabelecer as Necessidades dos Clientes - tem como objetivo elencar as expectativas em relação ao projeto de todos os indivíduos que interagem com o produto durante o seu ciclo de vida. Estes indivíduos podem ser gestores, projetistas, profissionais envolvidos na fabricação, montagem, armazenagem e distribuição, vendedores, usuários, técnicos de manutenção e reciclagem.

O levantamento destas informações pode ser feito por meio de algumas técnicas, dentre elas: aplicação de questionários, realização de *brainstorming*, realização de entrevistas formais ou conversas informais*. Em todos os casos deve-se fazer uma única pergunta geral e aberta sobre as expectativas que eles têm em relação ao projeto.

Após o levantamento, as informações são ordenadas de acordo com o ciclo de vida do produto e simplificadas em sentenças que se caracterizaram como as necessidades específicas de cada grupo de indivíduos em relação ao projeto de modularização a ser executado, chamadas de Necessidades dos Clientes.

A **Etapa 2.2** - Estabelecer as Propriedades do Produto - tem como objetivo "traduzir" as Necessidades dos Clientes em requisitos de projeto ou, como colocado por Erixon (1996), Propriedades do Produto, indicando especificações físico/estruturais que auxiliam no desenvolvimento do produto modular. Observa-se que uma propriedade pode corresponder a mais de uma necessidade.

Após seu estabelecimento, as Propriedades do Produto são utilizadas como referência para a análise das características físicas gerais da arquitetura dos produtos concorrentes em uma atividade complementar, chamada de *Benchmark*.

O *Benchmark* consiste em uma ferramenta que relaciona as necessidades estabelecidas (aqui traduzidas como Propriedades do Produto) com os produtos ou

* Segundo Duarte (2002) em sua pesquisa sobre trabalhos de campo, estratégias de investigação qualitativa como conversas informais com as pessoas ligadas ao universo investigado podem ser utilizadas para a coleta de dados, desde que registradas em um diário de campo.

sistemas existentes no mercado, a fim de verificar quais soluções atendem a tais necessidades para serem utilizadas como referência para o projeto.

Esta análise pode ser feita por meio da observação direta dos produtos, de manuais técnicos do usuário ou de catálogos de produtos.

Após o levantamento das características, a estas são atribuídos os conceitos de desejável ou indesejável. As características físicas desejáveis são as relacionadas à simplificação, à padronização e à modularização e são, posteriormente, tomadas como referência na etapa de definição dos Módulos Funcionais.

A **Etapa 2.3** - Estabelecer as Soluções Técnicas - tem como objetivo encontrar os subconjuntos ou componentes correspondentes a cada função técnica ou secundária do produto. Isto é feito por meio da subdivisão da arquitetura integral do produto observando aspectos estritamente funcionais e não físico/estruturais, como dimensões ou complexidade das partes. Para este processo é utilizada a ferramenta da estrutura funcional ou árvore de funções, explicada no Anexo 1.

A **Etapa 2.4** - Correlacionar as Necessidades dos Clientes com as Propriedades do Produto - tem como objetivo compreender como as Necessidades dos Clientes se relacionam com as Propriedades do Produto. Para isto, utiliza a Matriz do Desdobramento da Função Qualidade (DFQ), demonstrada no exemplo do Quadro 2, na qual são dispostas nas linhas, ordenadas de cima para baixo, as Necessidades dos Clientes, e nas colunas, ordenadas da esquerda para a direita, as Propriedades do Produto. As relações entre os dois fatores são classificadas da seguinte forma: Forte, que recebe o peso 5 e a cor cinza-escuro; Média, que recebe o peso 3 e a cor cinza-médio; e Fraca, que recebe o peso 1 e a cor cinza-claro.

Na borda lateral direita, os somatórios indicam o grau de impacto que cada Necessidade dos Clientes tem sobre as Propriedades do Produto e na borda superior os somatórios indicam o grau de impacto que cada Propriedade do Produto tem sobre as Necessidades dos Clientes. Então, por meio dos somatórios da DFQ se obtém a hierarquização das Necessidades dos Clientes e das Propriedades do Produto mais importantes para o projeto frente às necessidades estabelecidas.

Quadro 2 - Matriz do Desdobramento da Função Qualidade (DFQ)

Legenda		Somatório das Propriedades do Produto							
		Σ	9	14	10	7	8	8	DFQ
DFQ	Matriz do Desdobramento da Função Qualidade	NC1	5	1		3			9
NC	Necessidades dos Clientes	NC2		5		1	3	5	14
PP	Propriedades do Produto	NC3	3		3	3	5		14
5	Relação Forte	NC4		5	1				6
3	Relação Média	NC5		3	5				8
1	Relação Fraca	NCn	1		1			3	5
Σ	Somatório		PP1	PP2	PP3	PP4	PP5	PPn	Σ

Somatório das Necessidades dos Clientes

Fonte - Adaptado de Erixon (1996)

A **Etapa 2.5** - Correlacionar as Propriedades do Produto com as Soluções Técnicas - tem como objetivo estabelecer como as Propriedades do Produto se relacionam com as Soluções Técnicas. Para isto, utiliza-se a Matriz de Propriedades do Produto (MPP), apresentado no Quadro 3, no qual são dispostas nas colunas, ordenadas da esquerda para a direita, as Propriedades do Produto e nas linhas, ordenadas de cima para baixo, as Soluções Técnicas. As relações entre os dois fatores seguem as convenções adotadas na DFQ.

Na borda lateral direita, os somatórios indicam o grau de impacto que cada Solução Técnica tem sobre as Propriedades do Produto e na borda inferior os somatórios indicam o grau de impacto que cada Propriedade do Produto tem sobre as Soluções Técnicas.

Quadro 3 - Matriz de Propriedades do Produto

Legenda		PP1	PP2	PP3	PP4	PP5	PPn	Σ	
MPP	Matriz de Propriedades de Produto	ST1	3		1			4	
PP	Propriedades do Produto	ST2			5	1		3	9
ST	Soluções Técnicas	ST3	5			5	3		13
5	Relação Forte	ST4		3	1	1	3		8
3	Relação Media	ST5		5	3		1		9
1	Relação Fraca	STn	1		5			5	11
Σ	Somatório	Σ	9	8	15	7	7	8	MPP

Somatório das Propriedades do Produto

Somatório das Soluções Técnicas

Fonte - Adaptado de Erixon (1996)

A **Etapa 2.6** - Correlacionar as Soluções Técnicas com as Diretrizes de Modularização - tem como objetivo identificar que Diretrizes de Modularização (explicadas no item 2.5.3) podem ser utilizadas para modularizar cada Soluções Técnicas. Para isto, utiliza-se a Matriz de Identificação de Módulos (MIM), apresentada no Quadro 4, em que dispostas nas linhas, ordenadas de cima para baixo, as Soluções Técnicas, e nas colunas, ordenadas da esquerda para a direita, as Diretrizes de Modularização. As relações entre os dois fatores seguem as convenções adotadas na DFQ e na MPP.

Na borda lateral esquerda, os somatórios indicam o grau de impacto que cada Solução Técnica tem sobre as Diretrizes de Modularização e na borda inferior os somatórios indicam o grau de impacto que cada Diretriz de Modularização tem sobre as Soluções Técnicas.

Quadro 4 - Matriz de Identificação de Módulos (MIM)

Legenda		Σ	DM1	DM2	DM3	DM4	DM5	DMn	
MIM	Matriz de Identificação de Módulos								
ST	Soluções Técnicas								
DM	Diretrizes de Modularização								
5	Relação Forte								
3	Relação Media								
1	Relação Fraca								
Σ	Somatório								
		6			1	5			ST1
		11	5	3				3	ST2
		6		1		5	5		ST3
		7	3	3				1	ST4
		7	5	1				1	ST5
		13		5		3	3	5	STn
		MIM	13	13	1	13	8	10	Σ

Somatório das Diretrizes de Modularização

Fonte - Adaptado de Erixon (1996)

A **Etapa 2.7** - Estabelecer as Estratégias de Modularização - tem como objetivo definir as estratégias para a configuração dos Módulos Funcionais. Para tanto, utiliza-se o Mapa de Gerenciamento do Produto (MGP), apresentado no Quadro 5, que consiste na integração das matrizes DFQ, MPP e MIM, e no seu complemento a Matriz de Interfaces, mostrada na Figura 4.

Na Matriz de Interfaces, são dispostas nas linhas, de cima para baixo, as Soluções Técnicas, que são relacionadas entre si por meio de linhas diagonais onde são colocados círculos com as letras F, M e C para designar interfaces Fixas, Móveis ou de Comunicação. As cores azul, vermelho e verde são utilizadas apenas para facilitar a diferenciação visual.

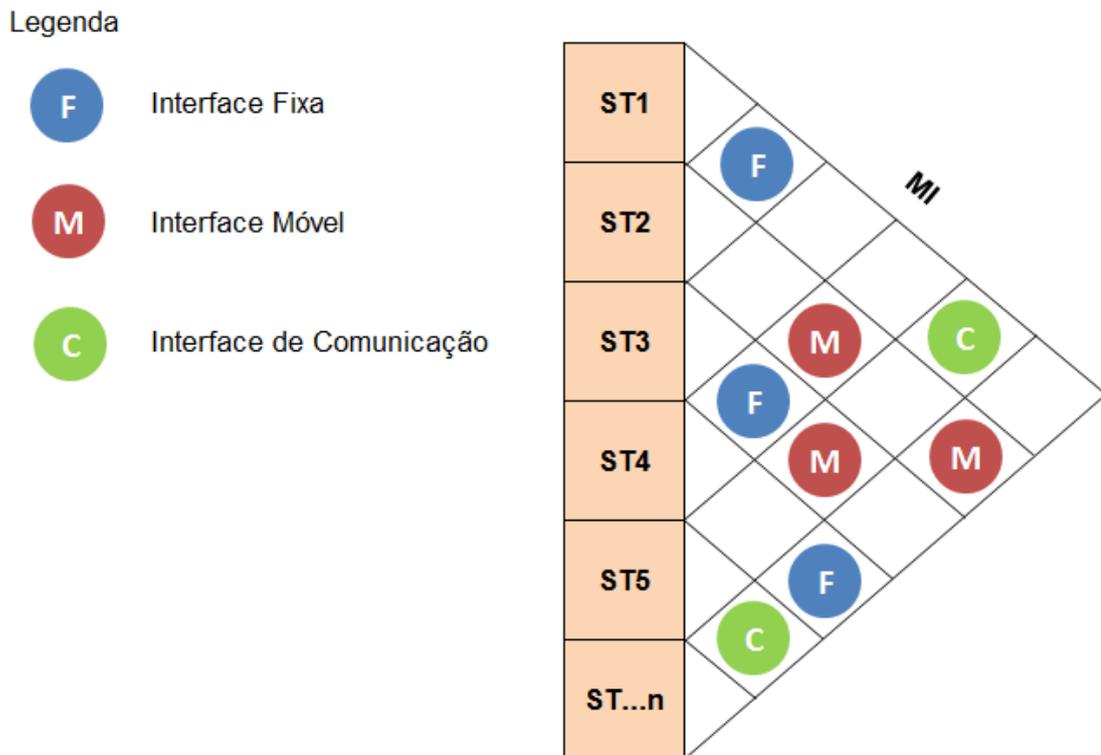
Quadro 5 - Mapa de Gerenciamento de Produto (MGP)

Matrizes		Fatores		Somatório das Propriedades do Produto														
MGP	Mapa de Gerenciamento de Produto	NC	Necessidades dos Clientes	Σ	9	14	10	7	8	8			DFQ					
DFQ	Matriz do Desdobramento da Função Qualidade	PP	Propriedades do Produto	NC1	5	1		3					9					
MPP	Matriz de Propriedades do Produto	ST	Soluções Técnicas	NC2		5		1	3	5			14					
MIM	Matriz de Identificação de Módulos	DM	Diretrizes de Modularização	NC3	3		3	3	5				14					
				NC4		5	1						6					
				NC5		3	5						8					
				NCn	1		1				3		5					
				Σ	DM1	DM2	DM3	DM4	DM5	DMn	MGP	PP1	PP2	PP3	PP4	PP5	PPn	Σ
				6			1	5			ST1	3		1				4
				11	5	3				3	ST2			5	1		3	9
				6		1		5	5		ST3	5			5	3		13
				7	3	3				1	ST4		3	1	1	3		8
				7	5	1				1	ST5		5	3		1		9
				13		5		3	3	5	STn	1		5			5	11
				MIM	13	13	1	13	8	10	Σ	9	8	15	7	7	8	MPP

Intensidade das Relações		1	3	5
		Fraca	Media	Forte

Fonte - Adaptado de Erixon (1996)

Figura 4 - Matriz de Interfaces (MI)



Fonte - Adaptado de Erixon (1996)

A composição das Estratégias de Modularização é feita por meio da análise das relações estabelecidas entre os fatores que compõem as três matrizes da MGP e das interfaces entre as Soluções Técnicas, sinalizadas na Matriz de Interfaces.

As análises são feitas conjuntamente, obedecendo a sequência da MGP, cuja montagem e leitura é feita no sentido horário: As Necessidades dos Clientes são traduzidas em Propriedades do Produto, que estão ligadas às Soluções Técnicas, que por sua vez, são modularizadas de acordo com as Diretrizes de Modularização.

A composição das Estratégias de Modularização obedece cinco etapas, à saber:

1) Escolher as Soluções Técnicas ou Funções que irão compor o Módulo Funcional – Esta etapa é realizada observando a semelhança entre as ST's, em relação à geometria, dimensões, função ou localização, e a semelhança das relações que elas possuem com as Propriedades do Produto e com as Diretrizes de Modularização.

2) Estabelecer as características estruturais desejáveis e indesejáveis (verificadas no *Benchmark*) que tem relação com as Soluções Técnicas ou Funções escolhidas para a composição do Módulo Funcional;

3) Verificar quais as Propriedades do Produto com as quais as Soluções Técnicas escolhidas possuem relações mais fortes, verificadas na Matriz de Propriedades do Produto;

4) Verificar quais as Diretrizes de Modularização com as quais as Soluções Técnicas escolhidas possuem relações mais fortes, verificadas na Matriz de Identificação de Módulos;

5) Verificar os tipos de interfaces entre as Soluções Técnicas escolhidas, apresentadas na Matriz de Interfaces (MI).

Após o levantamento das informações supracitadas, é montada uma Matriz de Composição da Estratégia de Modularização para cada conjunto de Soluções Técnicas a ser modularizada, conforme sequência mostrada no Quadro 6.

Quadro 6 - Matriz de Composição das Estratégias de Modularização

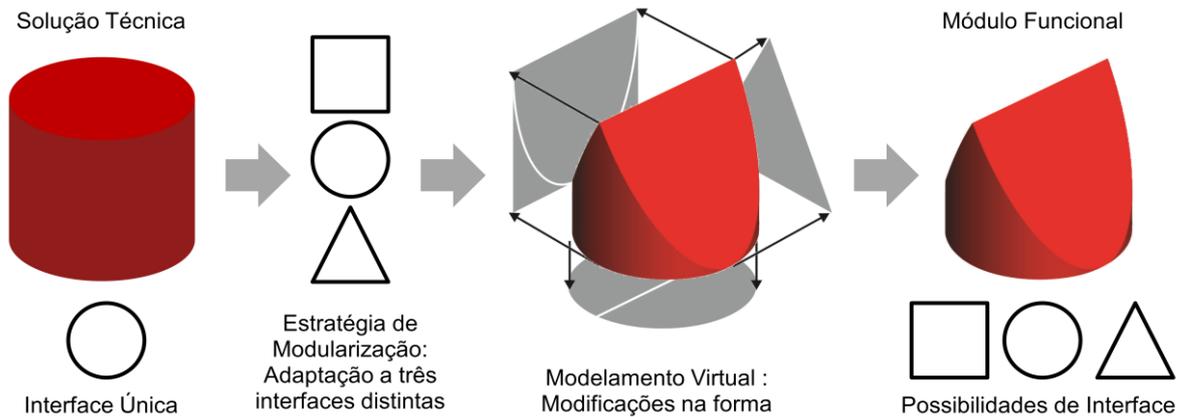
Soluções Técnicas ou Funções Utilizadas	Característica estrutural da Solução Técnicas	Propriedade do Projeto relacionada	Diretriz de Modularização aplicável	Estratégia de Modularização	Módulo Funcional Resultante
Solução Técnica X	Solução Técnica com mesma função porém diferente para as variantes da família	PP3 - Componentes compartilhados entre todos os produtos da família.	DM6 – Unidade Comum: Mesma solução em todas as variantes.	Padronização da forma do Módulo Funcional em todas as variantes	Módulo Funcional X

Fonte - Produzido pelo autor

A **Etapa 2.8** - Desenvolver os Módulos Funcionais e Conceber a Arquitetura Modular - consiste no desenho ou modelamento dos Módulos Funcionais, obedecendo as Estratégias de Modularização definidas. Esta etapa compreende o projeto conceitual da arquitetura do Produto Modular e, para sua realização, são utilizadas ferramentas de desenho e modelamento virtual do tipo *Computer Aided Design* (CAD) para conceber ou modificar a forma dos componentes e Módulos Funcionais que compõem o produto.

O modelamento dos Módulos Funcionais são executados a partir das Soluções Técnicas existentes. Um exemplo de modelamento, seguindo uma estratégia de modularização, é apresentada na Figura 5.

Figura 5 - Exemplo de modelamento de Módulo Funcional

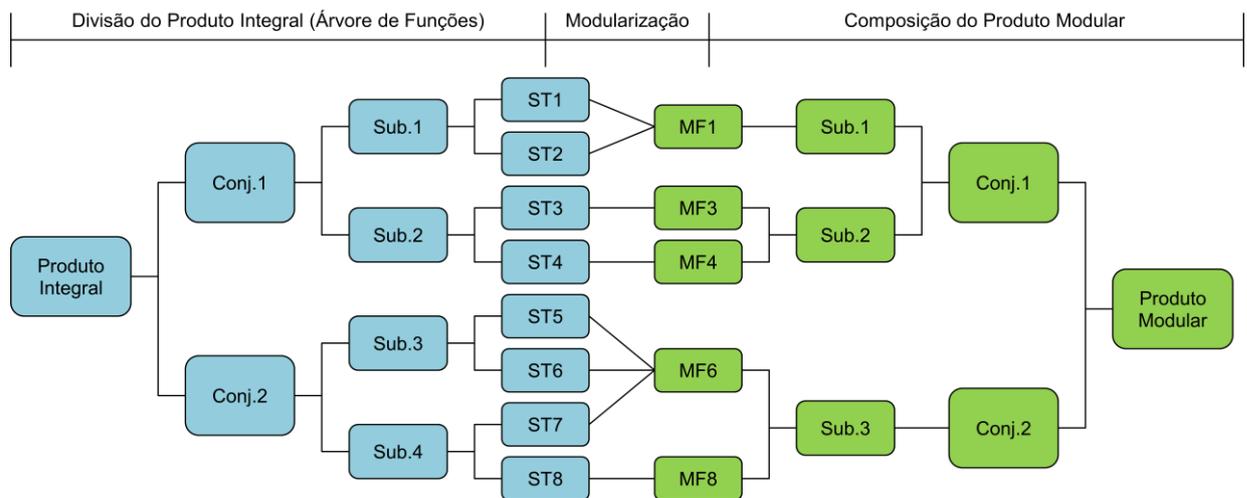


Fonte - Produzido pelo autor

Neste exemplo, a solução técnica é um cilindro e a interface observada é um círculo. Pelas estratégias de modularização, deseja-se adaptá-la a três interfaces distintas: um quadrado, o próprio círculo e um triângulo. Após o modelamento da forma, para que atendam as estratégias de modularização, chega-se ao módulo funcional apresentado na última figura.

Concluído o modelamento de todos os Módulos Funcionais, é realizada a composição da arquitetura modular do produto. Para isto, é utilizado um Diagrama de Modularização baseado na ferramenta Árvore de Funções já comentada e demonstra. O diagrama da Figura 6 mostra, da esquerda para a direita, o processo de divisão do produto integral em Conjuntos, Subconjuntos e Soluções Técnicas (ST). Em seguida, mostra o processo de modularização e os Módulos Funcionais (MF) resultantes, que acoplados formam os Subconjuntos, Conjuntos, e, por fim, constituem o Produto Modular.

Figura 6 - Exemplo de Diagrama de Modularização



Fonte - Produzido pelo autor

A **Fase 3** - Analisar os Impactos da Modularização - tem como objetivo verificar o impacto que a modularização da arquitetura do produto exerce sobre aspectos quantitativos ligados ao sistema produtivo. Para isto, utiliza as regras específicas para a facilitação dos processos de fabricação e redução de custos, postas por Romeiro (2010) como parâmetros para as análises realizadas:

1. Reduzir o número de componentes;
2. Manter os padrões de interface já utilizados;
3. Utilizar materiais comuns a vários componentes;
4. Reduzir a quantidade de material dos componentes;
5. Reduzir a quantidade de operações de fabricação;
6. Utilizar operações padronizadas e de baixo custo.

Esta fase está dividida em três etapas, a saber: Etapa 3.1 - Analisar a arquitetura integral e modular do produto base do estudo; Etapa 3.2 - Analisar a arquitetura integral e modular das variantes que compõem a família de produtos; e Etapa 3.3 - Analisar os materiais e processos de fabricação dos produtos integral e modular.

Na **Etapa 3.1** – Analisar a arquitetura integral e modular do produto base do estudo – comparam-se as quantidades de Soluções Técnicas ou de Módulos Funcionais, de Funções atendidas e de Componentes dos produtos integral e

modular. Deste modo, utiliza-se uma Matriz de Funções e Componentes, apresentada no Quadro 7, que mostra as informações relativas ao Projeto Integral (na cor azul) e as relativas ao Projeto Modular (na cor verde). Os itens são divididos em: abordados pelo projeto de modularização; não abordados pelo projeto de modularização; e somatório geral. Nas células de cor cinza foram alocadas as diferenças nominais e percentuais entre as quantidades de cada item para os dois projetos. A partir dos dados, são gerados Gráficos de barras para melhor visualização da diferença entre os somatórios de cada variável.

Quadro 7 - Matriz de Funções e Componentes

		Solução Técnica	Módulo Funcional	Diferença Nominal	Diferença Percentual
Partes do Produto	Não Abordado				
	Abordado				
	Total				
Funções Atendidas	Não Abordado				
	Abordado				
	Total				
Componentes	Não Abordado				
	Abordado				
	Total				

Fonte - Produzido pelo autor

A **Etapa 3.2** - Analisar a arquitetura integral e modular das variantes que compõem a família de produtos - compara as quantidades de Soluções Técnicas ou Módulos Funcionais e de Componentes dos produtos integral e modular necessários para a composição da família. Para isto, é utilizada uma Matriz de Comunalidade, apresentada no Quadro 8, que mostra as quantidades de Soluções Técnicas, Módulos Funcionais e Componentes específicos e comuns às variantes da família de produtos. A partir dos dados são gerados histogramas para melhor visualização da diferença entre os somatórios de cada variável. Posteriormente, são feitas as discussões destes resultados frente às referências levantadas sobre o assunto. O uso da cor azul para o projeto Integral e verde para o Projeto Modular é mantida e repetida para as demais ferramentas que se seguem.

Quadro 8 - Matriz de Comunalidade

Produto	Solução Técnica	Módulo Funcional	Diferença Nominal	Diferença Percentual	Componentes		Diferença Nominal	Diferença Percentual
Exclusivo Variante 1								
Exclusivo Variante 2								
Exclusivo Variante 3								
Variante 1 e 3								
Variante 2 e 3								
Variante 1, 2 e 3								
Variante 1 Total								
Variante 2 Total								
Variante 3 Total								
Total								

Fonte - Produzido pelo autor

A **Etapa 3.3** - Analisar os materiais e processos de fabricação dos produtos integral e modular - observa o impacto do projeto de modularização do produto sobre o sistema produtivo. Para tanto utiliza-se uma ferramenta para inserção e análise das quantidades e especificações dos materiais e processos, a chamada Matriz Comparativa de Materiais e Processos de Fabricação, apresentada no Quadro 9.

Quadro 9 - Matriz Comparativa de Materiais e Processos de Fabricação

Projeto Integrado	Projeto Modular	Componentes Fabricados							Processos de Fabricação						
		Nº comp	Material (tipo)	Nº comp	Material (tipo)	Peso (Kg)		Preço do Material (R\$)	Nº Operações Processo 1		Nº Operações Processo 2		Nº Operações Processo x		
ST1	MF1	n	x	n	x	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
ST2	MF2	n	x	n	x	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
ST...n	MF...n	n	x	n	x	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
Sematários ⇨		Σn		Σn		Σn	Σn	Σn	Σn	Σn	Σn	Σn	Σn	Σn	Σn

Fonte - Produzido pelo autor

A Matriz Comparativa de Materiais e Processos de Fabricação consiste em uma matriz na qual são dispostos em colunas a especificação, a quantidade e o

preço do material utilizado em cada Solução Técnica e Módulo Funcional. Em seguida, e de forma sequencial, são dispostas as quantidades de operações ou ciclos de cada processo de fabricação a que cada Solução Técnica e Módulo Funcional são submetidos em seu processo de transformação, de material em componentes e, por fim, em parte do produto acabado. As informações relativas ao projeto integral seguem em azul e as relativas ao projeto modular em verde.

A coleta de dados referentes aos itens analisados é feita por meio da análise da documentação técnica dos projetos, podendo ser o modelamento virtual, os desenhos técnicos, e as especificações do processo de fabricação (carta de processo).

Observa-se que os modelos virtuais devem ser desenvolvidos em escala real (1:1), obedecendo as especificações de espessura e material de cada componente, para posterior medição de seu peso, por meio de ferramentas disponíveis no próprio *software* de modelamento virtual.

Na borda inferior da matriz, são apresentados os pares de somatórios para cada variável que servem de base para a construção de histogramas, mostrando de forma mais clara o impacto relativo à modularização do projeto sobre cada variável. Posteriormente, são feitas as discussões destes resultados frente às referências levantadas sobre o assunto.

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem por objetivo apresentar ao leitor os resultados e as discussões levantadas a partir da metodologia estabelecida no capítulo anterior.

Para tanto, apresenta-se a definição do produto de arquitetura integral a modularizar, o processo de modularização e o projeto conceitual do Produto de arquitetura Modular e, em seguida, uma análise comparativa entre os dois projetos em relação aos aspectos ligados ao processo produtivo.

4.2 FASE 1 - APRESENTAR O PRODUTO DE ARQUITETURA INTEGRAL A MODULARIZAR

4.2.1 Etapa 1.1 – Definir o Produto de Arquitetura Integral

O produto de arquitetura integral a modularizar é uma máquina agrícola chamada Forrageira Conjugada, fabricada em uma indústria situada no município de Campina Grande, estado da Paraíba. Sua escolha se deu em função dos conhecimentos técnicos do autor desta pesquisa com relação ao seu projeto e processo de fabricação. Explica-se: Antes de participar de pesquisas acadêmicas, o autor desenvolveu máquinas agrícolas na empresa parceira da pesquisa, possibilitando o aprendizado de conhecimentos de como atuar no projeto e modificá-lo. Aspectos sobre o sistema, subsistema, componentes, materiais e processos de fabricação são de seu conhecimento, contribuindo para o desenvolvimento deste trabalho.

Iniciando o projeto de modularização, fez-se necessário definir o produto de arquitetura integral a ser modularizado. As informações necessárias foram extraídas do Modelamento virtual, executado no *Software Autodesk Inventor 2016*, dos Manuais Técnicos e do Catálogo de Produtos, os dois últimos compondo os Anexos 1 e 2 do trabalho. Todo o material foi fornecido pela empresa parceira da pesquisa.

O produto de arquitetura integral utilizado como base do estudo de modularização consiste em um tipo de multiprocessador de forragens, chamado Forrageira Conjugada. Considerada uma máquina agrícola de pequeno porte, é constituída em chapas de aço carbono e mede aproximadamente 90 cm de altura. A Forrageira Conjugada (Figura 7) é utilizada para fatiar, picotar ou triturar plantas forrageiras, que são usadas para a composição de ração animal, destinada a caprinos, bovinos, ovinos e equinos.

Figura 7 - Forrageira Conjugada (Vista Frontal/Lateral direita e Frontal/Lateral esquerda)



Fonte - Arquivo Laboremus

A Forrageira Conjugada é composta de um Fatiador e um Picotador/Triturador. Portanto, o equipamento consiste na combinação de dois subsistemas mecânicos diferentes, o que lhe confere a capacidade de processamento de várias espécies de forragens. O subsistema Fatiador processa palma, mandioca, tronco de palma e de bananeira, cabeça de agave (sisal) e macambira, enquanto o subsistema Picotador

processa capim, cana, sorgo, maniva e demais forragens e leguminosas. O equipamento também possui acessórios que permitem a trituração de milho em grãos, fazendo xerém e fubá. Observa-se que as duas máquinas que compõem a Forrageira Conjugada podem ser utilizadas simultaneamente.

Devido ao fato da Forrageira Conjugada ser composta por duas máquinas distintas, o Fatiador e o Picotador/Triturador, o projeto de modularização abrange toda a família de produtos, composta pela máquina conjugada e suas variantes individuais.

Outro fator determinante para a análise das três variantes da família é o fato de que a maioria dos componentes das variantes individuais das máquinas não possui as mesmas características estruturais das utilizadas na variante conjugada, embora correspondam às mesmas funções. Isto contribui para uma maior dificuldade na atualização dos projetos e para o aumento de componentes diferentes em linha de produção, o que gera o aumento de custos de produção e uma maior dificuldade de gerenciamento dos processos de fabricação e montagem.

As três variantes da família de forrageiras são demonstradas na Figura 8.

Figura 8 - Da esquerda para a direita, Picotador/Triturador, Fatiador e Forrageira Conjugada



Fonte - Arquivo Laboremus

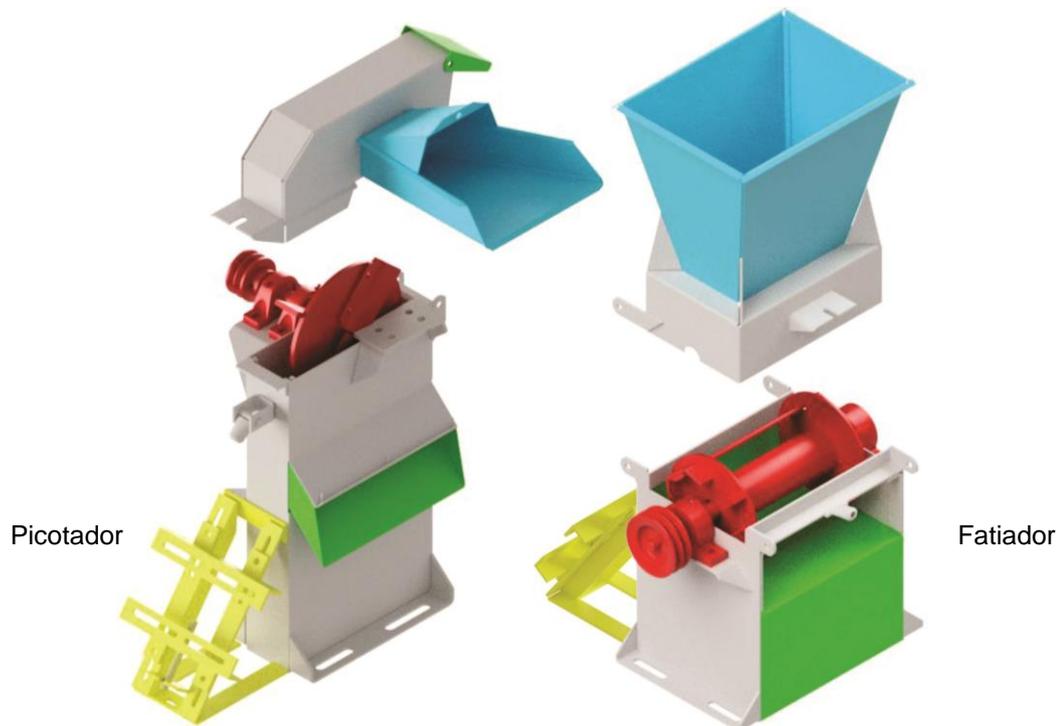
A escolha da Forrageira Conjugada para a execução do estudo de modularização se deve à característica predominantemente funcional e composta de sua arquitetura, o que a torna ideal para a aplicação de uma metodologia de projeto

de produto que tem como objetivo a composição da forma à partir de Módulos Funcionais. Outro fator que contribuiu para a utilização do produto no estudo é a ampla aplicação da modularização em produtos metal-mecânicos verificada no referencial teórico.

4.2.2 Etapa 1.2 – Estabelecer as principais partes da arquitetura do produto e identificar suas funções

Em relação à sua arquitetura, as duas máquinas que compõem a Forrageira Conjugada, o Picotador e o Fatiador possuem funções análogas e, por este motivo, foram divididas nos mesmos cinco tipos de conjuntos principais, identificados por cores, a saber: Alimentador (azul), Caixa (cinza), Rotor (vermelho), Bica de saída (verde) e Base do motor (amarelo). A Divisão Geral da Forrageira Conjugada é apresentada na Figura 9.

Figura 9 - Divisão geral da Forrageira Conjugada



Fonte - Produzido pelo autor

A seguir são descritos os cinco conjuntos principais com suas respectivas funções.

- Alimentador ou Calha de alimentação (sinalizada em azul) - possui a função de canalizar os vegetais a serem processados em direção às lâminas do rotor;
- Caixa ou corpo principal da máquina (sinalizada em cinza) - possui a função de estruturar e fixar a máquina ao chão e comportar em seu espaço interno os vegetais em processo de corte;
- Rotor (sinalizado em vermelho) - consiste no sistema rotativo dotado de lâminas, que têm a função efetiva de cortar os vegetais e direcioná-los para a bica de saída;
- Calha e Bica de saída (sinalizada na cor verde) - possui a função de canalizar o fluxo de material processado para o exterior da máquina;
- Base do motor elétrico (sinalizado em amarelo) - possui a função de suportar o motor, alinhar a polia do motor em relação a do Rotor e tracionar as correias.

4.3 FASE 2 – MODULARIZAR O PRODUTO

4.3.1 Etapa 2.1 – Estabelecer as Necessidades dos Clientes (NC)

Em Conversas Informais realizadas com os vários clientes distribuídos ao longo do ciclo de vida do produto e registradas no Diário de Campo (Apêndice 1), foi feita uma única pergunta geral e aberta - "Que sugestão você daria para o redesenho da Forageira Conjugada?" - foram identificadas vinte sentenças, convertidas em necessidades iniciais que deveriam ser atendidas pelo projeto. Estas necessidades foram organizadas de acordo com os setores das fases do ciclo de vida do produto e são descritas a seguir.

- Gestão: NC1 - Reduzir os custos de fabricação; e NC2 - Liberar os meios de produção para novos projetos;

- Projeto: NC3 - Facilitar a otimização contínua dos produtos; e NC4 - Facilitar a adaptação a novas demandas rapidamente;
- Planejamento e controle da produção: NC5 - Facilitar o gerenciamento da produção;
- Almoxarifado: NC6 - Facilitar o armazenamento e distribuição de componentes;
- Assistência Técnica: NC7 - Facilitar a troca de peças;
- Corte: NC8 - Favorecer um plano de corte econômico;
- Estamparia: NC9 - Reduzir troca de matrizes;
- Conformação: NC10 - Reduzir troca de matrizes;
- Usinagem: NC11 - Reduzir troca de ferramentas e parâmetros de máquina;
- Pré-montagem: NC12 - Facilitar o acesso a áreas de soldagem;
- Acabamento: NC13 - Facilitar o acesso às soldas;
- Pintura: NC14 - Facilitar o acesso a todas as superfícies dos componentes;
- Montagem final: NC15 - Facilitar o acesso às interfaces de montagem;
- Expedição: NC16 - Facilitar armazenamento, transporte e cubagem do produto;
- Vendas: NC17 - Oferecer diferencial do produto;
- Mercado (Cliente/Usuário): NC18 - Baixo preço; NC19 - Segurança; e NC20 - Fácil manutenção.

4.3.2 Etapa 2.2 - Estabelecer as Propriedades do Produto (PP)

Relacionadas às 20 Necessidades dos Clientes identificadas na fase anterior, foram estabelecidas as Propriedades do Produto. Estas correspondem ao conjunto de características físicas gerais necessárias aos componentes, aos módulos, às interfaces e à arquitetura geral do produto modular.

As Propriedades do Produto estabelecidas foram utilizadas como parâmetro de análise dos produtos concorrentes na utilização da ferramenta de *Benchmark* (Apêndice 2) em que foram identificados os princípios de solução que foram incorporados ou evitados na Etapa 2.7, de estabelecimento das Estratégias de Modularização.

As Propriedades do Produto, seguidas dos respectivos princípios de solução desejáveis e indesejáveis encontrados durante o *Benchmark*, são apresentadas a seguir.

- PP1 - Componentes simplificados e/ou integrados.

Princípios de solução desejáveis: Bica de Saída e Registro de capim integrada à Caixa superior; Travamento das caixas Inferior/superior do picotador composto de apenas duas peças e um parafuso; Caixa superior do picotador composta apenas por uma peça; Caixa Inferior do picotador composta apenas por duas peças; Saída de grãos e capim integrada à caixa inferior; Alimentador de capim composto de apenas duas peças; Alimentador de grãos composto de apenas duas peças; Alimentador e Caixa superior do fatiador integradas; Defletor do fluxo de saída de palma; Base do motor elétrico integrada à Base da máquina; e Calha de saída e Caixa inferior do fatiador integradas.

Princípios de solução indesejáveis: Registro do Alimentador do tipo chapa basculante; e Registro da Moega do tipo chapa travada por alavanca.

- PP2 - Materiais e processos de fabricação padronizados.

Princípios de solução desejáveis: Caixa em Chapa 12. Alimentador e Calha de saída, defletor e Registro de capim em chapa 14. Cortados em plasma; e Base de chapa cortada em plasma e conformada em viradeira.

Princípios de solução indesejáveis: Base em cantoneira e perfis cortada em prensa excêntrica; Estampagem profunda para a conformação da Caixa superior; Base do motor elétrico em cantoneira; Componentes da Caixa curvados em calandra.

- PP3 - Componentes modularizados entre os produtos da família.

Princípio de solução desejável: Todos os componentes modularizados.

Princípio de solução indesejável: Nenhum componente modularizado.

- PP4 - Componentes implementados.

Princípio de solução desejável: Moega e Alimentador de Capim.

Princípio de solução indesejável: Nenhum componente implementado.

- PP5 - Interfaces de montagem e regulagem de fácil acesso.

Princípios de solução desejáveis: Alimentador de capim móvel parafusado na Caixa inferior; Montagem Caixa Inferior/ Calha de saída de grãos/ Base Parafusada; Base elétrica com fácil regulagem de tração das correias e alinhamento das polias; Acoplamento Registro de saída de capim e Alimentador de grãos por meio de encaixe e Manípulos; Acoplamento Rotor/ Caixa inferior.

Princípio de solução indesejável: Regulagem de tração das correias e alinhamento de polias de difícil acesso.

- PP6 - Arquitetura simplificada e modular.

Princípios de solução desejáveis: Base simplificada e separada da caixa; Moega, Suporte de acoplamento e Registro integrados; Alimentador de grãos sem suporte de acoplamento no Alimentador de capim; Alimentador e Caixa superior do fatiador integradas; Calha de saída e Caixa inferior integradas.

Princípios de solução indesejáveis: Moega necessita de Registro e suporte de acoplamento no Alimentador de capim; Caixas superiores e inferiores diferentes entre o modelo Forrageira Conjugada e os modelos separados (Picotador e Fatiador).

- PP7 - Arquitetura estável, segura e ergonomicamente bem planejada.

Princípios de solução desejáveis: Maior inclinação do alimentador de capim; Base trapezoidal; Saída de grãos do mesmo lado da saída de capim; Alimentador do fatiador inclinado.

Princípios de solução indesejáveis: Base em forma de "T"; Saída de grãos do mesmo lado do alimentador; Acoplamento frágil Caixa Inferior/Base; Base estreita em relação ao volume superior da máquina, gerando instabilidade; Alimentador do fatiador vertical.

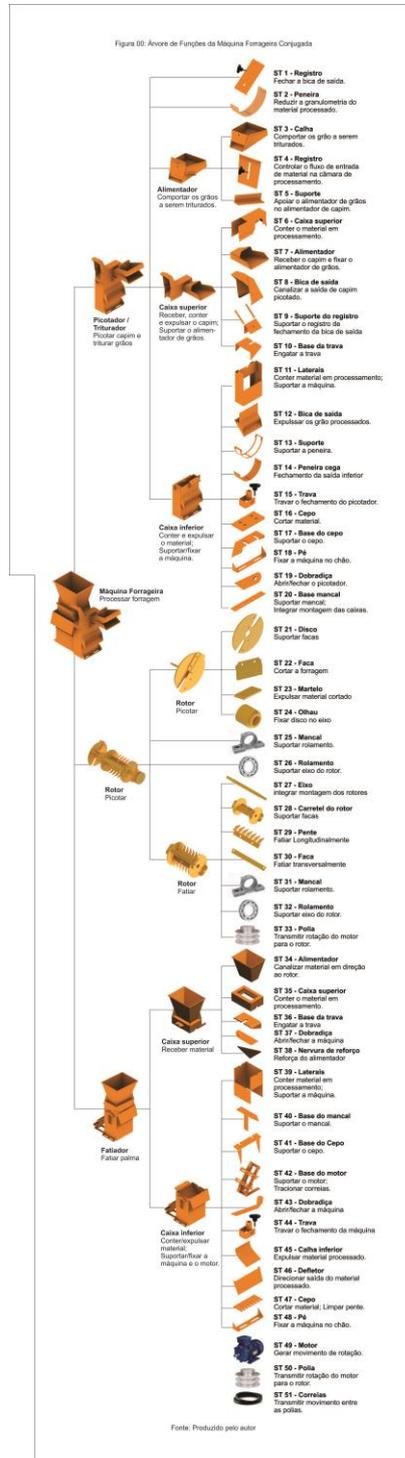
4.3.3 Etapa 2.3 - Estabelecer as Soluções Técnicas (ST)

O estabelecimento das Soluções Técnicas foi feito por meio da divisão da arquitetura do produto integral, utilizando a ferramenta da Árvore de Funções

apresentada da esquerda para a direita: o Produto com sua Função Principal, os Conjuntos com suas Funções Básicas e os Subconjuntos e Soluções Técnicas com suas Funções Secundárias, conforme mostrado na Figura 10.

Após a execução da Árvore de Funções, obteve-se 51 Soluções Técnicas. Algumas delas não foram abordadas pelo projeto de modularização, pois se tratam de componentes funcionais internos, com projeto já fechado e testado e, por isso, fora do escopo do projeto. Estas Soluções Técnicas são: ST2 e ST14 (as Peneiras); ST16 e ST47 (os Cepos de capim e palma); e componentes compreendidos no intervalo de ST21 a ST33, que pertencem ao conjunto do Rotor da máquina. Também não fazem parte do escopo os implementos ST49 (Motor elétrico), ST50 (Polia) e ST51 (Correias).

Figura 10



4.3.4 Etapa 2.4 - Correlacionar as Necessidades dos Clientes com as Propriedades do Produto

Esta etapa utiliza a Matriz do Desdobramento da Função Qualidade (Quadro 10) que apresenta as relações entre as Necessidade dos Clientes e as Propriedades do Produto.

Quadro 10 - Matriz do Desdobramento da Função Qualidade

	Σ	90	41	70	31	27	100	29	DFQ
NC1 - Reduzir os custos de fabricação	5	5	5	5	1	1	5		22
NC2 - Liberar os meios de produção para novos projetos	5	5	5	5	3		5		23
NC3 - Facilitar a otimização contínua dos produtos	5	5	5	5	1		5	3	24
NC4 - Facilitar a adaptação a novas demandas rapidamente	5	5	5	5	5		5	1	26
NC5 - Facilitar o gerenciamento da produção	5	5	5	5			5		20
NC6 - Facilitar o armazenamento e distribuição de componentes	5	1	5	5			5		16
NC7 - Facilitar a troca de peças	5		3	3	1	5	5	1	20
NC8 - Favorecer um plano de corte econômico	5		5	5			5		15
NC9 - Reduzir setup de matrizes	5		5	5	3		5		18
NC10 - Reduzir setup de matrizes	5		5	5	3		5		18
NC11 - Reduzir setup de ferramentas e parâmetros de máquina	5	3	5	5	3		5		21
NC12 - Facilitar o acesso a áreas de soldagem	5						5	1	11
NC13 - Facilitar o acesso às soldas	5						5	1	11
NC14 - Facilitar o acesso a todas as superfícies dos componentes	5						5	1	11
NC15 - Facilitar o acesso às interfaces de montagem	5				3	5	5	3	21
NC16 - Facilitar armazenamento, transporte e cubagem do produto	1		1	1		3	5	3	13
NC17 - Oferecer diferencial do produto	3	1	5	5	3	5	5	5	27
NC18 - Baixo preço	5	5	5	5	3		5		23
NC19 - Segurança	1	1	1	1	1	3	5	5	17
NC20 - Fácil manutenção	5	5	5	5	1	5	5	5	31
									Σ

Legenda	
DFQ	Matriz do Desdobramento da Função Qualidade
NC	Necessidades dos Clientes
PP	Propriedades do Produto
5	Relação Forte
3	Relação Media
1	Relação Fraca

PP1 - Componentes simplificados e/ou integrados.	PP2 - Materiais e processos de fabricação padronizados.	PP3 - Componentes modularizados entre os produtos	PP4 - Componentes implementados.	PP5 - Interfaces de montagem e regulagem de fácil acesso.	PP6 - Arquitetura simplificada e modular.	PP7 - Arquitetura estável, segura e ergonomicamente bem
--	---	---	----------------------------------	---	---	---

A partir do quadro do DFQ pode-se fazer algumas verificações, dentre elas destacou-se: a simplificação e modularização da arquitetura do produto (PP6) e a simplificação e/ou integração dos componentes (PP1), que são as propriedades do produto de maior impacto sobre as Necessidades dos Clientes; e a padronização dos materiais e processos (PP2) e a modularização dos componentes entre as variantes da família de produtos (PP3), que é determinante para as necessidades ligadas ao gerenciamento do processo (NC2 e NC5), ao desenvolvimento do produto (NC3 e NC4) e à redução do custo de produção e preço do produto final (NC1 e NC18).

4.3.5 Etapa 2.5 - Correlacionar as Propriedades do Produto com as Soluções Técnicas

Esta etapa utiliza a Matriz das Propriedades do Produto (Quadro 11) que apresentam as relações entre as Propriedades do Produto e as Soluções Técnicas.

A partir do quadro do MPP pode-se fazer algumas verificações, dentre elas destacou-se:

A modularização dos componentes entre as variantes da família de produtos (PP3) pode ser aplicada em todas as Soluções Técnicas, com exceção da Base do mancal interno (ST20), que consiste em um componente de conexão entre as duas máquinas que compõem a Forrageira Conjugada e tem seu desenho alterado nas variantes individuais da família de produtos (Picotador e Fatiador).

Apenas o Alimentador do picotador (ST7) e o Alimentador de grãos (composto ST3, ST4 e ST5) são passíveis de serem tratados como implementos (PP4), o que passa a ser uma tendência verificada no *Benchmark*.

As propriedades de simplificação dos componentes (PP1) e a simplificação da arquitetura geral do produto (PP6) devem ser aplicadas principalmente às Soluções Técnicas que possuem uma maior quantidade de componentes. O fácil acesso às interfaces de montagem e regulagem (PP5) e a arquitetura estável e segura (PP7) são necessárias principalmente nas Soluções Técnicas que são manipuladas com frequência no processo de uso do produto, com uma única exceção, a Base do mancal interno (ST20), que devido à própria arquitetura do produto normalmente possui um difícil acesso para a montagem.

Quadro 11 - Matriz das Propriedades do Produto

Legenda										
MPP Matriz de Propriedades do Produto										
PP	Propriedades do Produto	5	Relação Forte							
ST	Soluções Técnicas	3	Relação Média							
		1	Relação Fraca							
			PP1 - Componentes simplificados e/ou integrados.	PP2 - Materiais e processos de fabricação padronizados.	PP3 - Componentes modularizados entre os produtos	PP4 - Componentes implementados.	PP5 - Interfaces de montagem e regulagem de fácil acesso.	PP6 - Arquitetura simplificada e modular.	PP7 - Arquitetura estável, segura e ergonomicamente bem planejada.	Σ
ST1 - Registro da bica de saída superior do picotador	3	5	5		5	3	3	24		
ST2 - Peneira	1	1	5		3	3	3	16		
ST3 - Calha do alimentador de grãos	5	5	5	3	3	5	3	29		
ST4 - Registro do alimentador de grãos	1	5	5	3	5	3	3	25		
ST5 - Suporte do alimentador de grãos	3		5	3		3	3	17		
ST6 - Caixa superior do picotador	5	5	5		5	3	1	24		
ST7 - Alimentador do picotador	5	5	5	3	5	5	5	33		
ST8 - Bica de saída superior do picotador	3	5	5		3	3	5	24		
ST9 - Suporte do registro da saída superior do picotador	3	5	5		3	5	3	24		
ST10 - Base da trava da caixa superior do picotador	5	3	5		3	3	3	22		
ST11 - Laterais da caixa inferior do picotador	5	5	5		5	5	5	30		
ST12 - Bica de saída inferior do picotador	5	5	5		5	5	5	30		
ST13 - Suporte da peneira	3		5		3	3	1	15		
ST14 - Peneira "cega"		1	5		3	3	3	15		
ST15 - Trava da caixa inferior do picotador	5	3	5		3	3	3	22		
ST16 - Cepo do picotador			5		3	3	1	12		
ST17 - Base do cepo do picotador	1	3	5		3	3	1	16		
ST18 - Barra de fixação do picotador	3	3	5		3	5	5	24		
ST19 - Dobradiça da caixa inferior do picotador		3	5		3	3	1	15		
ST20 - Base do mancal interno	3	3	1		5	3	1	16		
ST34 - Alimentador do fatiador	5	5	5		3	5	5	28		
ST35 - Caixa superior do fatiador	5	5	5		3	5	5	28		
ST36 - Base da trava da caixa superior do fatiador	5	3	5		3	3	3	22		
ST37 - Dobradiça da caixa superior do fatiador		3	5		3	3	1	15		
ST38 - Nervura de reforço	1	1	5					7		
ST39 - Laterais da caixa inferior do fatiador	5	5	5			5	5	25		
ST40 - Base do mancal externo	3	3	5		5	3	1	20		
ST41 - Base do cepo do fatiador	3	3	5		3	3	1	18		
ST42 - Base do motor	5	3	5		5	3	3	24		
ST43 - Dobradiça da caixa inferior do fatiador	3	3	5		3	3	1	18		
ST44 - Trava da caixa inferior do fatiador	5	3	5		3	3	3	22		
ST45 - Bica de saída do fatiador	5	5	5			5	1	21		
ST46 - Defletor do fatiador	5	5	5		3	3	3	24		
ST47 - Cepo do fatiador			5		3	3	1	12		
ST48 - Barra de fixação do fatiador	3	3	5		3	5	5	24		
Σ	112	115	171	12	111	124	96	MPP		

Fonte - Produzido pelo autor

4.3.6 Etapa 2.6 - Correlacionar as Soluções Técnicas com as Diretrizes de Modularização

Esta etapa utiliza a Matriz de Identificação de Módulos (MIM), que apresenta as relações entre as Soluções Técnicas e as Diretrizes de Modularização, conforme o Quadro 12.

Quadro 12 - Matriz Identificação de Módulos

Σ	MIM												Σ
	DM1 - Carry-over	DM2 - Evolução tecnológica	DM3 - Mudanças planejadas no projeto	DM4 - Especificações técnicas	DM5 - Estilo	DM6 - Unidade comum	DM7 - Processo/organização	DM8 - Testes em separado	DM9 - "Caixa preta"	DM10 - Manutenção e manutenibilidade	DM11 - Atualização	DM12 - Reciclagem	
36	5	1	5		3	5	3	1		5	5	3	ST1 - Registro da bica de saída superior do picotador
26	5	1			3	5	3	1	5			3	ST2 - Peneira
31	5	1			3	5	3	1		5	5	3	ST3 - Calha do alimentador de grãos
26	5	1			3	5	3	1	5			3	ST4 - Registro do alimentador de grãos
31	5	1			3	5	3	1		5	5	3	ST5 - Suporte do alimentador de grãos
36	5	1		5	3	5	3	1		5	5	3	ST6 - Caixa superior do picotador
36	5	1	5		3	5	3	1		5	5	3	ST7 - Alimentador do picotador
36	5	1	5		3	5	3	1		5	5	3	ST8 - Bica de saída superior do picotador
36	5	1		5	3	5	3	1		5	5	3	ST9 - Suporte do registro da saída superior do picotador
31	5	1	5		3	5	3	1	5			3	ST10 - Base da trava da caixa superior do picotador
41	5	1	5	5	3	5	3	1		5	5	3	ST11 - Laterais da caixa inferior do picotador
41	5	1	5	5	3	5	3	1		5	5	3	ST12 - Bica de saída inferior do picotador
31	5	1			3	5	3	1		5	5	3	ST13 - Suporte da peneira
26	5	1			3	5	3	1	5			3	ST14 - Peneira "cega"
31	5	1	5		3	5	3	1	5			3	ST15 - Trava da caixa inferior do picotador
26	5	1			3	5	3	1	5			3	ST16 - Cepo do picotador
26	5	1			3	5	3	1	5			3	ST17 - Base do cepo do picotador
41	5	1	5	5	3	5	3	1		5	5	3	ST18 - Barra de fixação do picotador
41	5	1	5	5	3	5	3	1		5	5	3	ST19 - Dobradiça da caixa inferior do picotador
16		1			3		3	1	5			3	ST20 - Base do mancal interno
41	5	1	5	5	3	5	3	1		5	5	3	ST34 - Alimentador do fatiador
41	5	1	5	5	3	5	3	1		5	5	3	ST35 - Caixa superior do fatiador
31	5	1	5		3	5	3	1	5			3	ST36 - Base da trava da caixa superior do fatiador
26	5	1			3	5	3	1	5			3	ST37 - Dobradiça da caixa superior do fatiador
11		1			3		3	1				3	ST38 - Nervura de reforço
36	5	1	5		3	5	3	1		5	5	3	ST39 - Laterais da caixa inferior do fatiador
26	5	1			3	5	3	1	5			3	ST40 - Base do mancal externo
26	5	1			3	5	3	1	5			3	ST41 - Base do cepo do fatiador
41	5	1	5	5	3	5	3	1		5	5	3	ST42 - Base do motor
26	5	1			3	5	3	1	5			3	ST43 - Dobradiça da caixa inferior do fatiador
31	5	1	5		3	5	3	1	5			3	ST44 - Trava da caixa inferior do fatiador
36	5	1	5		3	5	3	1		5	5	3	ST45 - Bica de saída do fatiador
26	5	1			3	5	3	1	5			3	ST46 - Defletor do fatiador
26	5	1			3	5	3	1	5			3	ST47 - Cepo do fatiador
41	5	1	5	5	3	5	3	1		5	5	3	ST48 - Barra de fixação do fatiador
MIM	165	35	85	50	105	165	105	35	80	90	90	105	Σ

A partir do quadro da MIM pode-se fazer algumas verificações, tais como:

Todas as Soluções Técnicas, com exceção da Base do mancal interno (ST20) e das Nervuras de reforço (ST38), podem ser utilizadas em redesenhos futuros (DM1) e devem ser utilizadas por todas as variantes da família de produtos (DM6).

As Soluções técnicas impactadas por mudanças planejadas de projeto (DM3) correspondem às soluções verificadas no *Benchmark* ou sugeridas durante o Levantamento das Necessidades dos Clientes.

Todas as Soluções Técnicas podem sofrer influência do estilo ou tendências de mercado (DM5) ou de mudanças nos processos de fabricação (DM7). Devido ao fato de serem fabricadas com o mesmo tipo de material, o aço, podem todas ser facilmente recicladas (DM12).

4.3.7 Etapa 2.7 - Estabelecer as Estratégias de Modularização

O estabelecimento das correlações entre os fatores das matrizes DFQ, MPP e MIM resultou da combinação demonstrada no Mapa de Gerenciamento de Produto para a Forrageira Conjugada integral, que é apresentado no Quadro 13. Em seguida, foram estabelecidas as interfaces entre as Soluções Técnicas utilizando a Matriz de Interfaces (MI), mostrada na Figura 11, complementando a MGP.

Após a montagem do Mapa de Gerenciamento de Produto e de seu complemento, a Matriz de Interfaces, foram estabelecidas as Estratégias de Modularização para Solução Técnica, função ou combinação destas.

As estratégias foram determinadas obedecendo às cinco fases descritas na metodologia e alocadas na Matriz de Composição de Estratégias de modularização, apresentada nos Quadros 14, 15 e 16.

Legenda

- MGP** Mapa de Gerenciamento de Produto
- DFQ** Matriz do Desdobramento da Função Qualidade
- MPP** Matriz de Propriedades do Produto
- MIM** Matriz de Identificação de Módulos

- NC** Necessidades dos Clientes
- PP** Propriedades do Produto
- ST** Soluções Técnicas
- DM** Diretrizes de Modularização

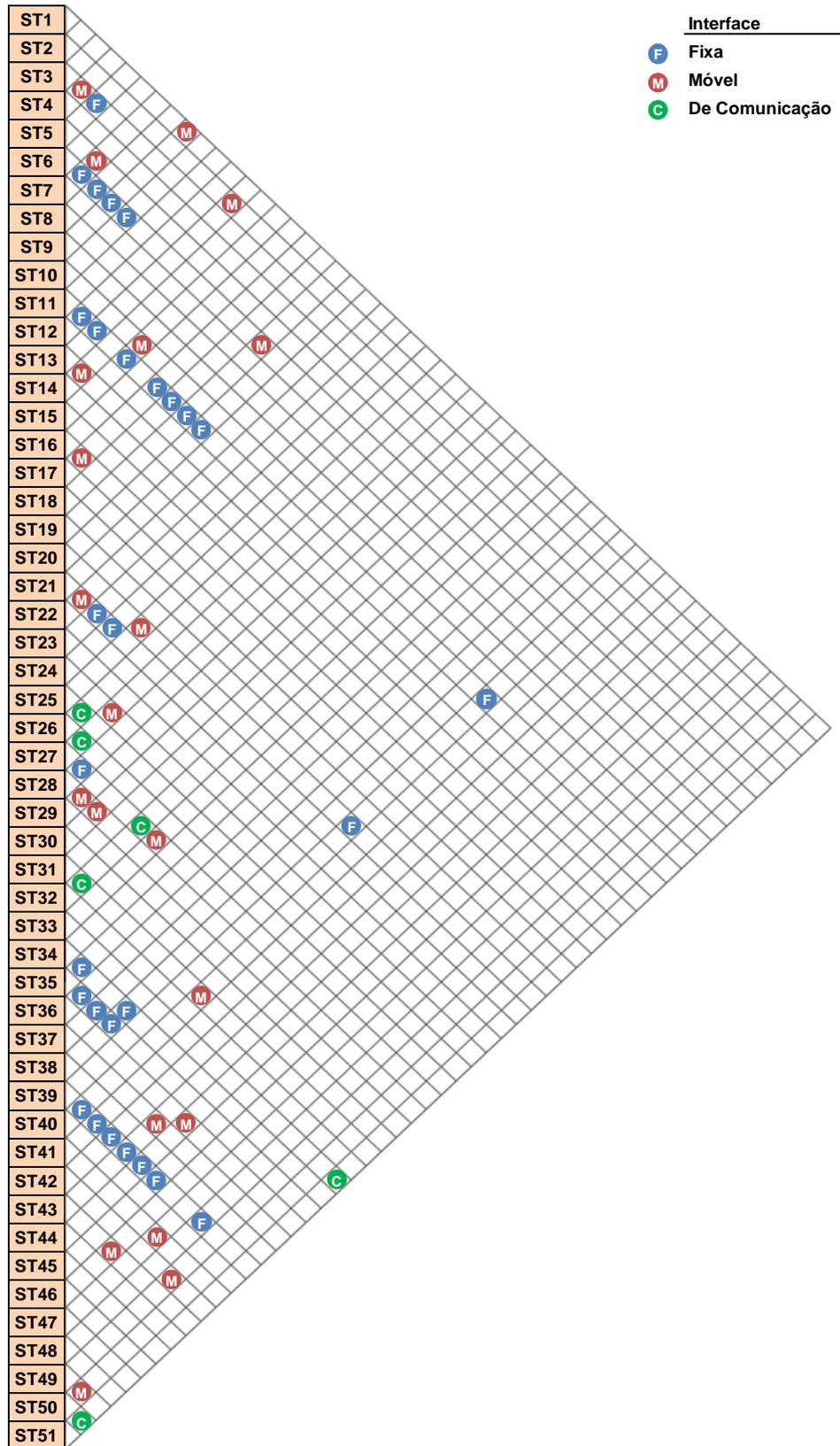
- 5** Relação Forte
- 3** Relação Media
- 1** Relação Fraca

Σ	90	41	70	31	27	100	29	DFQ
NC1	5	5	5	1	1	5		22
NC2	5	5	5	3		5		23
NC3	5	5	5	1		5	3	24
NC4	5	5	5	5		5	1	26
NC5	5	5	5			5		20
NC6	5	1	5			5		16
NC7	5		3	1	5	5	1	20
NC8	5		5			5		15
NC9	5		5	3		5		18
NC10	5		5	3		5		18
NC11	5	3	5	3		5		21
NC12	5					5	1	11
NC13	5					5	1	11
NC14	5					5	1	11
NC15	5			3	5	5	3	21
NC16	1		1		3	5	3	13
NC17	3	1	5	3	5	5	5	27
NC18	5	5	5	3		5		23
NC19	1	1	1	1	3	5	5	17
NC20	5	5	5	1	5	5	5	31

Σ	DM1	DM2	DM3	DM4	DM5	DM6	DM7	DM8	DM9	DM10	DM11	DM12	MGP	PP1	PP2	PP3	PP4	PP5	PP6	PP7	Σ
36	5	1	5		3	5	3	1		5	5	3	ST1	3	5	5		5	3	3	24
26	5	1			3	5	3	1	5			3	ST2	1	1	5		3	3	3	16
31	5	1			3	5	3	1		5	5	3	ST3	5	5	5	3	3	5	3	29
26	5	1			3	5	3	1	5			3	ST4	1	5	5	3	5	3	3	25
31	5	1			3	5	3	1		5	5	3	ST5	3		5	3		3	3	17
36	5	1		5	3	5	3	1		5	5	3	ST6	5	5	5		5	3	1	24
36	5	1	5		3	5	3	1		5	5	3	ST7	5	5	5	3	5	5	5	33
36	5	1	5		3	5	3	1		5	5	3	ST8	3	5	5		3	3	5	24
36	5	1		5	3	5	3	1		5	5	3	ST9	3	5	5		3	5	3	24
31	5	1	5		3	5	3	1	5			3	ST10	5	3	5		3	3	3	22
41	5	1	5	5	3	5	3	1		5	5	3	ST11	5	5	5		5	5	5	30
41	5	1	5	5	3	5	3	1		5	5	3	ST12	5	5	5		5	5	5	30
31	5	1			3	5	3	1		5	5	3	ST13	3		5		3	3	1	15
26	5	1			3	5	3	1	5			3	ST14		1	5		3	3	3	15
31	5	1	5		3	5	3	1	5			3	ST15	5	3	5		3	3	3	22
26	5	1			3	5	3	1	5			3	ST16			5		3	3	1	12
26	5	1			3	5	3	1	5			3	ST17	1	3	5		3	3	1	16
41	5	1	5	5	3	5	3	1		5	5	3	ST18	3	3	5		3	5	5	24
41	5	1	5	5	3	5	3	1		5	5	3	ST19		3	5		3	3	1	15
16		1			3		3	1	5			3	ST20	3	3	1		5	3	1	16
41	5	1	5	5	3	5	3	1		5	5	3	ST34	5	5	5		3	5	5	28
41	5	1	5	5	3	5	3	1		5	5	3	ST35	5	5	5		3	5	5	28
31	5	1	5		3	5	3	1	5			3	ST36	5	3	5		3	3	3	22
26	5	1			3	5	3	1	5			3	ST37		3	5		3	3	1	15
11		1			3		3	1				3	ST38	1	1	5					7
36	5	1	5		3	5	3	1		5	5	3	ST39	5	5	5		5	5		25
26	5	1			3	5	3	1	5			3	ST40	3	3	5		5	3	1	20
26	5	1			3	5	3	1	5			3	ST41	3	3	5		3	3	1	18
41	5	1	5	5	3	5	3	1		5	5	3	ST42	5	3	5		5	3	3	24
26	5	1			3	5	3	1	5			3	ST43	3	3	5		3	3	1	18
31	5	1	5		3	5	3	1	5			3	ST44	5	3	5		3	3	3	22
36	5	1	5		3	5	3	1		5	5	3	ST45	5	5	5			5	1	21
26	5	1			3	5	3	1	5			3	ST46	5	5	5		3	3	3	24
26	5	1			3	5	3	1	5			3	ST47			5		3	3	1	12
41	5	1	5	5	3	5	3	1		5	5	3	ST48	3	3	5		3	5	5	24
MIM	165	35	85	50	105	165	105	35	80	90	90	105	Σ	112	115	171	12	111	124	96	MPP

Fonte - Produzido pelo autor, baseado em Erixon (1996).

Figura 11 - Matriz de Interfaces de Forrageira Conjugada



Fonte - Produzido pelo autor, baseado em Erixon (1996).

Quadro 14 - Matriz de Composição das Estratégias de Modularização

Soluções Técnicas ou Funções Utilizadas	Característica estrutural da Solução Técnicas	Propriedade do Projeto relacionada	Diretriz de Modularização aplicável	Estratégia de Modularização	Módulo Funcional Resultante
ST1 Registro da Saída Superior do Picotador + ST8 Bica de Saída Superior do Picotador	Similaridade de forma e localização entre as soluções técnicas. Porém sem interface comum.	PP1 - Componentes simplificados e/ou integrados.	DM6 – Unidade Comum: Mesma solução em todas as variantes.	Integração de duas Soluções Técnicas em um único Módulo Funcional.	MF8 Bica de Saída Superior do Picotador
	Diferença entre as mesmas Soluções Técnicas para produtos diferentes.	PP3 - Componentes compartilhados entre todos os produtos da família.		Padronização da posição do Módulo Funcional em relação a arquitetura geral para as duas variantes da família de produtos.	
	Interface fixa entre a Solução Técnica principal (ST8) e Caixa Superior (ST6).	PP5 - Interfaces de montagem e regulagem de fácil acesso.	DM10 – Manutenção: Facilitação de reparos. DM11 – Atualização: Facilitação de substituição.	Transformação da interface fixa da Solução Técnica principal em interface móvel.	
ST6 Caixa Superior do Picotador + ST9 Suporte do Registro do Picotador + Função de Pega	Proximidade entre os dois planos que compõem o Suporte do Registro (ST9) Interface fixa.	PP1 - Componentes simplificados e/ou integrados.	DM4 - Especificações técnicas: Concentração de alterações em um módulo	Integração de duas Soluções Técnicas em um único Módulo Funcional.	MF6 Caixa Superior do Picotador
	Compatibilidade da forma do Suporte do Registro (ST9) com a Bica de saída (ST8).				
	Compatibilidade da forma e localização das barras de travamento da Peneira (ST2 e ST14) com as chapas de frontal (ST9) e posterior da Caixa superior (ST6)	PP3 - Componentes compartilhados entre todos os produtos da família.	DM6 – Unidade Comum: Mesma solução em todas as variantes.	Transferência de função de um componente para outro.	
	Diferença entre as saídas de capim das Caixas Superiores (ST6) para produtos diferentes.	PP3 - Componentes compartilhados entre todos os produtos da família.	DM6 – Unidade Comum: Mesma solução em todas as variantes.	Padronização do Módulo Funcional em relação a arquitetura geral para as duas variantes da família de produtos.	
	Ausência de Pega para auxílio da abertura da Caixa Superior (ST6)	PP5 - Interfaces de montagem e regulagem de fácil acesso.	DM10 – Manutenção: Facilitação de reparos.	Incorporação de nova função.	
	Ausência de interface para Bica de saída (MF8) móvel.	PP5 - Interfaces de montagem e regulagem de fácil acesso.	DM10 – Manutenção: Facilitação de reparos.	Incorporação de nova função.	

Fonte - Produzido pelo autor

Quadro 15 - Matriz de Composição das Estratégias de Modularização (continuação 1)

Soluções Técnicas ou Funções Utilizadas	Característica estrutural da Solução Técnicas	Propriedade do Projeto relacionada	Diretriz de Modularização aplicável	Estratégia de Modularização	Módulo Funcional Resultante
ST10/ST15/ST36 Suporte de Trava das Caixas	Três sistemas de travamento diferentes das Caixas.	PP3 - Componentes compartilhados entre todos os produtos da família.	DM6 – Unidade Comum: Mesma solução em todas as variantes.	Padronização da forma do Módulo Funcional.	MF10 Suporte de Trava das Caixas
ST7 Alimentador do Picotador	Alimentador de capim (ST7) fixo na Caixa Superior (ST6).	PP5 - Interfaces de montagem e regulagem de fácil acesso.	DM10 – Manutenção: Facilitação de reparos. DM11 – Atualização: Facilitação de substituição.	Transformação da interface fixa da Solução Técnica principal em interface móvel.	MF7 Alimentador do Picotador
ST3 Alimentador de Grãos + ST5 Suporte	Dobraduras de chapa para estruturação desnecessárias. Suporte (ST5) hiperdimensionado em relação a sua função de encaixe do Alimentador de Grãos (ST3) no Alimentador de Capim (ST7).	PP1 - Componentes simplificados e/ou integrados.	DM9 - "Caixa preta": Função isolada.	Eliminação de um dos componentes da Solução Técnica e de processos de fabricação. Integração de uma Solução Técnica pelo Módulo Funcional.	MF3 Alimentador de Grãos
ST11 Caixa Inferior + ST12 Bica de Saída de Grãos + ST19 Dobradiças do Picotador	Bica de Saída de Grãos (ST12) do mesmo lado do alimentador. Proximidade formal e de localização das Dobradiças (ST19) as laterais da Caixa Inferior (ST11) Suporte da Peneira (ST13) possui função de estruturação da Caixa Inferior (ST11) Caixa Inferior (ST11) reforçada para atender a função de base da máquina. Diferença entre as Caixas Inferiores (ST11) para a versão conjugada e individual do Picotador de Capim.	PP1 - Componentes simplificados e/ou integrados. PP7 - Arquitetura estável segura e ergonomicamente bem planejada. PP3 - Componentes compartilhados entre todos os produtos da família.	DM4 - Especificações técnicas: Concentração de alterações em um módulo DM6 – Unidade Comum: Mesma solução em todas as variantes.	Incorporar várias Soluções Técnicas e funções a um único Módulo funcional. Incorporar função de outra Solução Técnica Extrair função para a composição de um novo Módulo Funcional. Padronização da forma do Módulo Funcional para utilização nas duas variações da família de produtos.	MF11 Caixa Inferior do Picotador
ST13 Suporte da Peneira	Componentes internos de estruturação da Caixa Inferior (ST11)	PP1 - Componentes simplificados e/ou integrados.	DM9 - "Caixa preta": Função isolada.	Transferência de funções para outros Módulos Funcionais.	MF13 Suporte da Peneira
ST20 Base do Mancal Interno	Difícil acesso as interfaces de montagem.	PP6 - Arquitetura simplificada e modular	DM9 - "Caixa preta": Função isolada.	Alteração da forma para funcionar como principal Módulo de conexão entre as partes principais da máquina.	MF20 Base do Mancal Interno

Fonte - Produzido pelo autor

Quadro 16 - Matriz de Composição das Estratégias de Modularização (continuação 2)

Soluções Técnicas ou Funções Utilizadas	Característica estrutural da Solução Técnica	Propriedade do Projeto relacionada	Diretriz de Modularização aplicável	Estratégia de Modularização	Módulo Funcional Resultante
ST39 Laterais da Caixa Inferior do Fatiador + ST45 Calha de Saída de Palma	A Calha de Saída de Palma (ST45) consiste em uma chapa curvada.	PP1 - Componentes simplificados e/ou integrados.	DM9 - "Caixa preta": Função isolada.	Integrar duas Soluções Técnicas em um único Módulo Funcional.	MF39 Caixa Inferior do Fatiador
	Caixa Inferior (ST11) reforçada para atender a função de base da máquina.		DM10 – Manutenção: Facilitação de reparos.	Extraír função para a composição de um novo Módulo Funcional.	
	Diferença entre os as Caixas Inferiores (ST39) para a versão conjugada e individual do Fatiador de Palma.	PP3 - Componentes compartilhados entre todos os produtos da família.	DM11 – Atualização: Facilitação de substituição.		
ST41 Base do Cepo + ST44 Suporte da Trava das Caixas	Suporte do Cepo (ST41) formado por 3 componentes separados.	PP1 - Componentes simplificados e/ou integrados.	DM10 – Manutenção: Facilitação de reparos.	Integrar componentes em um único Módulo Funcional.	MF41 Base do Cepo
	Sistema de Travamento composto por 4 componentes.		DM11 – Atualização: Facilitação de substituição.	Integrar duas Soluções Técnicas em um único Módulo Funcional.	
ST40 Base do Mancal Externo	Necessidade de Reforço vertical para suportar vibração do Rotor.	PP1 - Componentes simplificados e/ou integrados.	DM9 - "Caixa preta": Função isolada.	Simplificar forma.	MF40 Base do Mancal Externo
ST34 Alimentador + ST35 Caixa Superior do Fatiador + Função de Registro Flexível	Alimentador vertical (ST34) afunilado e separado da Caixa Superior (ST35) necessita de nervura de Reforço (ST38).	PP1 - Componentes simplificados e/ou integrados.	DM4 - Especificações técnicas - Concentração de alterações em um módulo	Integrar Soluções Técnicas em um único Módulo Funcional.	MF34 Alimentador do Fatiador
	Não Possui sistema de segurança, inibidor de acesso e bloqueador de refluxo.	PP7 - Arquitetura estável, segura e ergonomicamente bem planejada		Incorporar novo componente com função de sistema de segurança.	
	Diferença entre os Alimentadores (ST34) e as Caixas Superiores (ST35) para a versão conjugada e individual do Fatiador de Palma.	PP3 - Componentes compartilhados entre todos os produtos da família.	DM6 – Unidade Comum: Mesma solução em todas as variantes.	Padronização da forma do Módulo Funcional para utilização nas duas variações da família de produtos.	
ST42 Base do Motor + ST18/ST48 Barras de Fixação + Função de Sustentação do Rotor e das Caixas + Função de Suporte do Protetor de Correias	Base do motor elétrico (ST42) composto por 14 componentes. E possui inclinação para facilitar montagem e regulagem da tensão das correias.	PP6 - Arquitetura simplificada e modular	DM-4 - Especificações técnicas - Concentração de alterações em um módulo	Integrar as três Soluções Técnicas e funções transferidas de outras Soluções Técnicas em um novo Módulo Funcional.	MF42 Base do Motor + MF53 Base da Máquina
	Barras de Fixação da máquina (ST18 e ST48) diferentes entre si.				

Fonte - Produzido pelo autor

4.3.8 Etapa 2.8 - Desenvolver os Módulos Funcionais e Conceber a Arquitetura Modular

Seguindo as Estratégias de Modularização definidas e observando as relações de interface mostradas na MI, foram desenvolvidas duas atividades: Desenvolver os Módulos Funcionais; e Conceber a Arquitetura Modular.

A seguir, estão descritos e representados os Modelamentos de cada Módulo Funcional resultante de acordo com a ordem já apresentada nos Quadros de Composição da Estratégia de Modularização do tópico anterior.

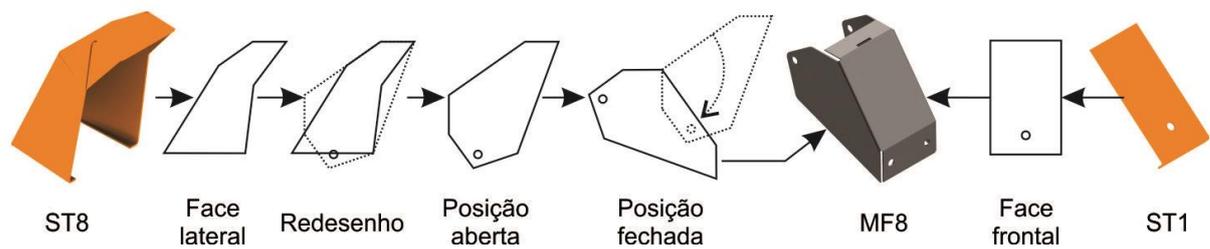
4.3.8.1 Atividade 2.8.1 Desenvolver os Módulos Funcionais

MF8 - Bica de Saída e Registro da Saída do Picotador

A bica de saída (ST8) consiste em um prolongamento fixo da caixa superior (ST6) e possui a função de canalizar o fluxo de capim para fora da máquina após o corte. O registro de saída (ST1) consiste em uma chapa localizada antes da bica de saída e possui a função de fechar a caixa superior do picotador (ST6) no momento da trituração de grãos.

Baseado nas estratégias de modularização definidas em função da integração da Bica de saída a outros componentes, no compartilhamento total destes componentes e do acoplamento do Registro de saída de capim à Caixa Superior por meio de interface móvel (encaixe e manípulos), verificados no *Benchmark*, foi realizado o modelamento do Módulo Funcional MF8, de acordo com o esquema demonstrado na Figura 12.

Figura 12 - Esquema de Conversão de ST1 e ST8 em MF8



Fonte - Produzido pelo autor

Aplicando as estratégias de modularização no projeto do produto, definiu-se a separação da Bica de Saída (ST8) da Caixa Superior (ST6), substituindo sua Interface Fixa soldada por uma Interface Móvel de encaixe pivotante, de modo a possibilitar duas posições e, deste modo, incorporar também a função de Registro de saída (ST1).

O Módulo Funcional MF8 resultante assume a função da Bica de saída (canalizar a saída do fluxo de capim picotado) quando colocado na posição aberta, sendo fixada por manípulos laterais e a função do Registro de saída (conter os grãos no momento da trituração) quando colocado na posição fechada, sendo fixada por manípulos frontais.

Outro ponto da estratégia de modularização foi posicionar a Bica/Registro de saída de capim (MF8) na face frontal da máquina, possibilitando sua utilização pelas duas variações de Picotador da família de produtos, o Picotador em sua versão individual e a Forrageira Conjugada.

Observa-se que o ângulo de expulsão do fluxo de material na posição aberta e o ângulo de fechamento do registro na posição fechada foram mantidos.

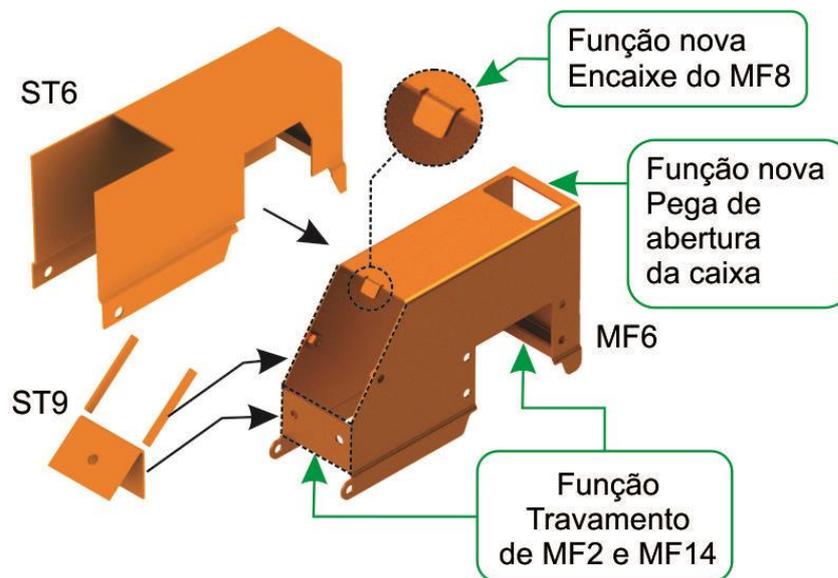
MF6 - Caixa Superior do Picotador

A Caixa Superior (ST6) consiste na parte superior do corpo do Picotador de Capim e possui a função primária de conter o capim ou os grãos no momento do corte ou trituração. Além desta função, a Solução Técnica também funciona como

base para o acoplamento do Alimentador de Capim (ST7), da Bica de Saída (ST8), do Suporte do Registro (ST9) e da Base da Trava de fechamento entre as Caixas superior e Inferior da máquina (ST10).

Tendo em vista as estratégias de modularização definidas em função da arquitetura simplificada e do compartilhamento total dos componentes verificados no *Benchmark* e da necessidade de incorporação de novas funções, foi realizado o modelamento do Módulo Funcional MF6 de acordo com o esquema apresentado na Figura 13.

Figura 13 - Esquema de Conversão de ST6 e ST9 em MF6



Fonte - Produzido pelo autor

Aplicando as estratégias de modularização definiu-se a incorporação do Suporte de fixação do registro de saída de capim (ST9) como fechamento frontal da nova Caixa superior (MF6). Esta modificação permitiu a padronização do posicionamento da Bica de saída (MF8) na face frontal da máquina, tornando-a, juntamente com a Caixa Superior (MF6), módulos comuns para as duas variantes de Picotador da família de produtos, o individual e o conjugado.

O fechamento frontal, juntamente com o fechamento posterior, adquire também a função de travamento da Peneira (MF2 e MF14), função transferida de

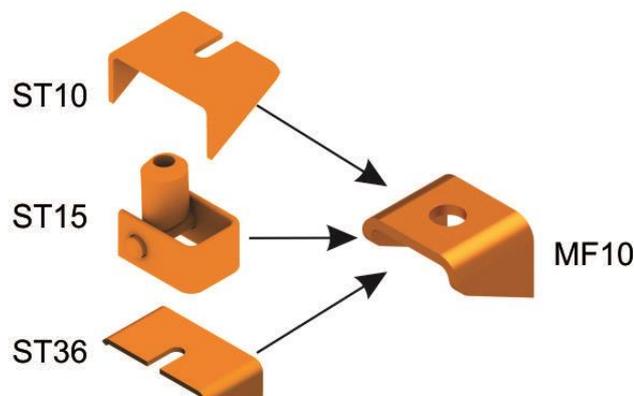
duas barras internas. No plano superior do módulo MF6, de um lado foi inserido um prolongamento central para encaixe da Bica de saída (MF8), que funciona como uma espécie de dobradiça, e do outro lado foi criada uma nova função de Pega para facilitar a abertura da Caixa superior.

MF10 - Trava e Suportes da Trava das Caixas

Os Suportes de travamento consistem em componentes soldados nas Caixas Superiores e Inferiores tanto do Picotador de capim quanto do Fatiador de palma. Eles possuem a função de travar as caixas na posição fechada e são utilizados aos pares. Os Suportes ST10 e ST36 consistem em chapas com rasgos e são fixados nas Caixas Superiores do Picotador e do Fatiador, respectivamente, enquanto que a Trava ST15 consiste em um cilindro pivotante que é fixado na Caixa Inferior do Picotador (ST11). Para o travamento é utilizado um Parafuso que passa pelo rasgo e é atarraxado na trava.

A partir da estratégia de modularização definida em função do compartilhamento total dos componentes, verificado no *Benchmark*, e das Interfaces fixas que os componentes fazem com as Caixas Superior e Inferior da máquina, foi realizado o modelamento do Módulo Funcional MF10 de acordo com o esquema apresentado na Figura 14.

Figura 14 - Conversão de ST10, SR15 e ST36 em MF10



Fonte - Produzido pelo autor

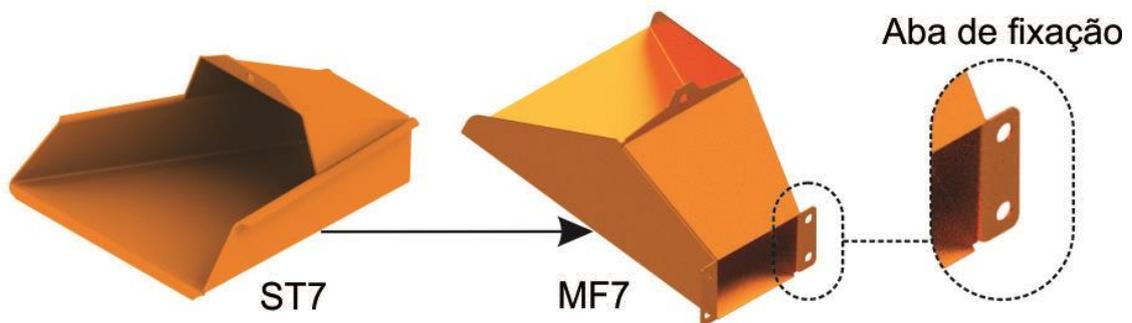
As Soluções Técnicas ST10, ST15 e ST36 foram convertidas em um único Módulo Funcional (MF10), pois possuem a mesma função de suporte para a fixação do parafuso de travamento entre as caixas superior e inferior.

MF7 - Alimentador do Picotador

O Alimentador do Picotador (ST7) consiste em uma espécie de calha de forma afunilada fixada na lateral da Caixa Superior (ST6). Este componente tem como função canalizar o capim para o interior da máquina, onde é picotado, além de servir como suporte do Alimentador de grãos (ST3).

Com a na estratégia de modularização definida em função da interface móvel verificada no *Benchmark*, foi realizado o modelamento do Módulo Funcional MF7, de acordo com o esquema apresentado na Figura 15.

Figura 15 - Conversão de ST7 em MF7



Fonte - Produzido pelo autor

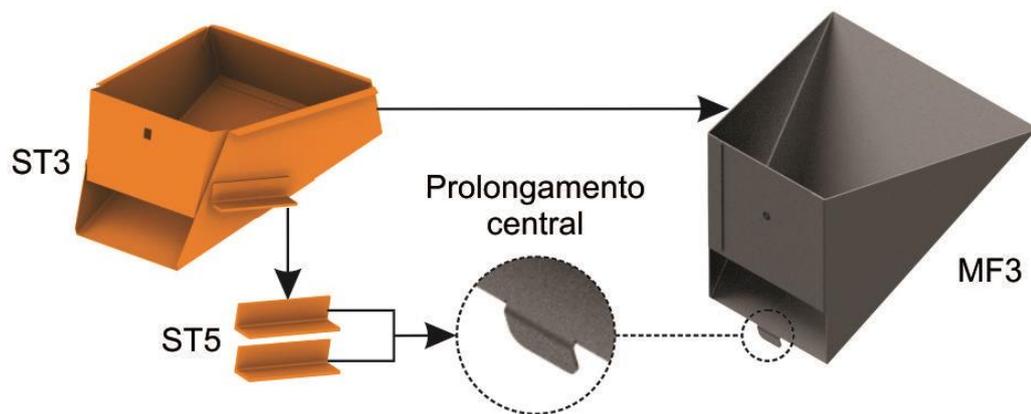
A calha de alimentação, ou alimentador de capim (ST7), foi simplificado e convertido no módulo funcional MF7, deixando de ter uma interface fixa soldada à caixa superior de capim (ST6/MF6), para ser parafusada, por meio de abas laterais.

MF3 - Alimentador de Grãos

O Alimentador de grãos (ST3) consiste em uma espécie de funil utilizado para conter e canalizar os grãos de milho para o interior da Caixa Superior (ST6), onde é triturado. Os ST5 são cantoneiras soldadas nas duas laterais da calha do ST3 que possuem a função de apoiar o módulo sobre o Alimentador do Picotador (ST7).

Baseado nas estratégias de modularização definidas em função da arquitetura simplificada, composta por apenas dois componentes e verificada no *Benchmark*, e das interfaces fixas entre ST3 e ST5, foi realizado o modelamento do Módulo Funcional MF3, de acordo com o esquema apresentado na Figura 16.

Figura 16 - Conversão de ST3 em MF3 e Incorporação de ST5 por MF3



Fonte - Produzido pelo autor.

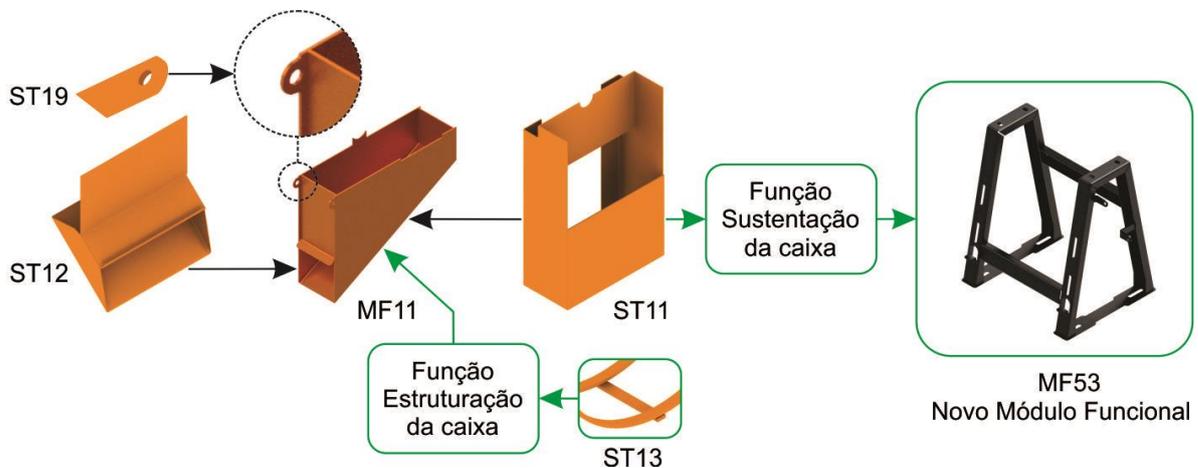
Aplicando as estratégias de modularização no projeto do produto, definiu-se a eliminação das duas cantoneiras de Suporte (ST5) unidas às laterais da Calha de alimentação de grãos (ST3) por meio de uma interface fixa soldada. Sua função de encaixe no Alimentador de Capim (ST7) foi incorporada por um único prolongamento central da própria chapa que compõe a nova Calha de alimentação de grãos (MF3). Observa-se que foi mantida a capacidade volumétrica da Calha.

MF11 - Caixa Inferior do Picotador

A Caixa Inferior consiste na parte inferior do Picotador de capim e é composta pelas Laterais (ST11), sendo responsável pela sustentação da máquina, pela Calha de saída (ST12), e pela canalização dos grãos triturados para fora da máquina e pelas Dobradiças (ST19), os elementos de conexão entre as caixas superior e inferior da máquina.

Tendo em vista as estratégias de modularização definidas em função do compartilhamento total dos componentes e da função de sustentação da máquina desempenhada por um módulo separado, verificados no *Benchmark*, e das Interfaces fixas que as Soluções Técnicas fazem entre si, foi realizado o modelamento do Módulo Funcional MF11, de acordo com o esquema apresentado na Figura 17.

Figura 17 - Conversão de ST11, SR12 e ST19 em MF11



Fonte - Produzido pelo autor

As barras que servem como Dobradiças (ST9) e a Bica de saída de grãos (ST11) foram incorporados às laterais da Caixa Inferior (MF11), que incorporou também, esta agora posicionada na mesma face frontal da Bica de saída de capim (MF8).

A Caixa Inferior (MF11) perde sua função de sustentação da máquina, o que passa a ser desempenhada por um novo módulo específico (MF53), como indica a

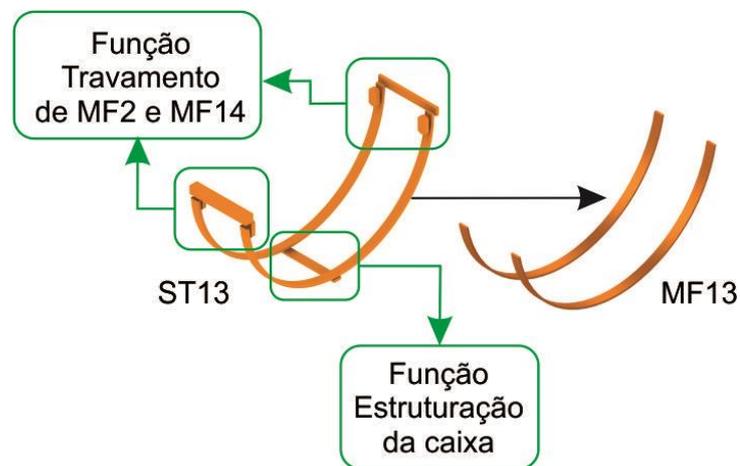
Figura 24. A modificação foi feita com o objetivo de simplificar a Caixa Inferior (MF11) e, ao mesmo tempo, proporcionar a utilização da Base da máquina (MF53) em outros produtos da família de forrageiras.

MF13 - Suporte da Peneira

O Suporte da Peneira (ST13) consiste em duas barras curvas soldadas no interior da Caixa Inferior (ST11), que possuem a função de apoiar as Peneiras (ST2 e ST14).

Com base na estratégia de modularização definida em função da possibilidade de transferência de funções entre Soluções Técnicas verificadas no *Benchmark* foi realizado o modelamento do Módulo Funcional MF13, de acordo com o esquema apresentado na Figura 18.

Figura 18 - Conversão de ST13 em MF13



Fonte - Produzido pelo autor

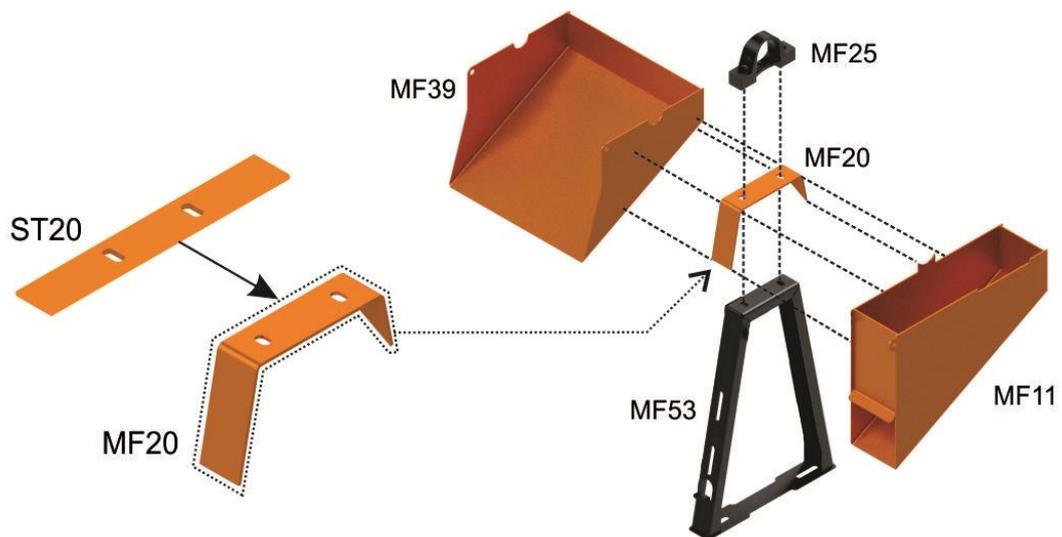
As Barras transversais situadas nas extremidades do Suporte da peneira (ST13) da Caixa inferior de capim foram retiradas, pois tiveram sua função de travamento incorporada pelo Módulo Funcional MF6. A Barra transversal inferior foi eliminada, pois sua função de estruturação da caixa inferior foi incorporada pelo Módulo Funcional MF11.

MF20 - Base do Mancal Interno

A Base do Mancal Interno (ST20) consiste em uma chapa plana que serve como apoio do mancal situado entre o Picotador e o Fatiador da Forrageira Conjugada. Ela também é um dos componentes de junção entre as duas máquinas.

Tendo em vista a estratégia de modularização definida em função da interface fixa, que a Solução Técnica possui com as Caixas Inferiores da máquina, e móvel com o conjunto do Rotor e potencialmente com a Base, foi realizado o modelamento do Módulo Funcional MF20, de acordo com o esquema apresentado na Figura 19.

Figura 19 - Conversão de ST20 em MF20 e localização



Fonte - Produzido pelo autor

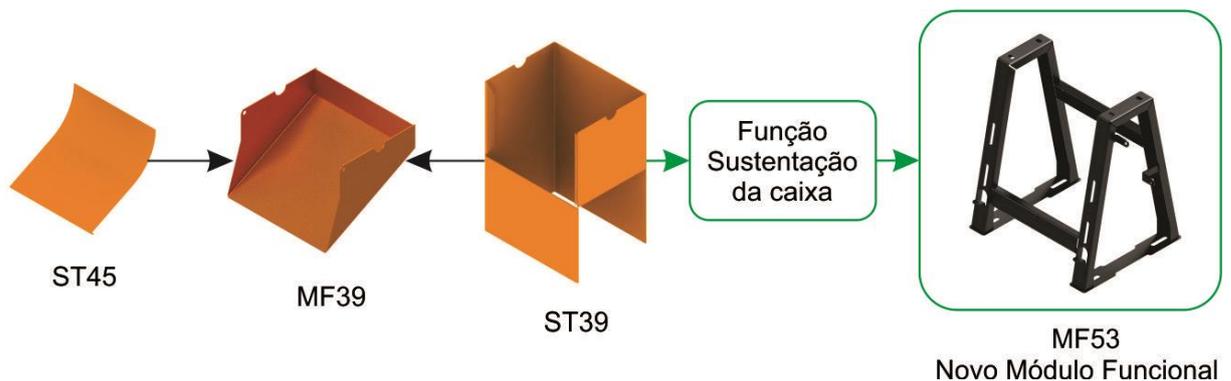
A Base do mancal interno (ST20), componente da Caixa inferior de capim (ST11), localizado entre as caixas inferiores da máquina, assume papel essencial para a configuração da arquitetura modular. Convertido em Módulo Funcional (MF20), o componente único desempenha duas novas funções além de sua função original de suportar o conjunto do Rotor por meio da fixação do Mancal (MF25). São elas: unir em uma conexão fixa o Fatiador de palma, por meio de sua Caixa inferior, (MF39) com o Picotador de capim, por meio de sua Caixa inferior (MF11); e fixar o conjunto de caixas inferiores (MF11+ MF39) na Base da máquina (MF53).

MF39 - Caixa Inferior do Fatiador

A Caixa Inferior consiste na parte inferior do Fatiador de Palma e é composta pelas Laterais (ST39), responsável pela sustentação da máquina, pela Calha de saída (ST45), e pela canalização da palma fatiada para fora da máquina.

Baseado nas estratégias de modularização definidas em função do compartilhamento total dos componentes e da função de sustentação da máquina desempenhada por um módulo separado, verificados no *Benchmark*, e das Interfaces fixas que as Soluções Técnicas fazem entre si, foi realizado o modelamento do Módulo Funcional MF39, de acordo com o esquema apresentado na Figura 20.

Figura 20 - Conversão de ST39 e ST45 em MF39



Fonte - Produzido pelo autor

A Função de Sustentação das Laterais da Caixa inferior do Fatiador de palma (ST39) foi transferida para um novo Módulo Funcional, a Base da máquina (MF53), restando apenas as funções de conter e canalizar a saída da palma processada e de suportar a Caixa superior/Alimentador de palma (MF35).

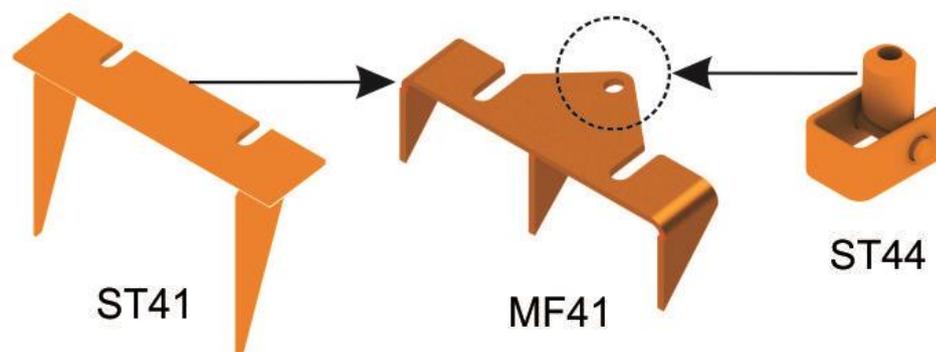
MF41 - Base do Cepo / Trava das Caixas

A Base do Cepo (ST41) consiste em uma barra chata apoiada por duas nervuras de reforço e fixada externamente à Caixa Inferior (ST39). O componente tem a função de suporte do Cepo ou Contra-faca que, em conjunto com o Rotor, realiza o corte da palma.

A Trava ST44 consiste em um cilindro pivotante que é fixado na Caixa Inferior do Fatiador (ST39). Para o travamento é utilizado um Parafuso que passa pelo rasgo da Base da Trava (ST36), fixado na Caixa Superior (ST35), e é atarraxado no cilindro da trava.

As estratégias de modularização definidas em função da possibilidade de integração entre componentes e Soluções Técnicas, verificados no *Benchmark*, determinaram o modelamento do Módulo Funcional MF7, de acordo com o esquema apresentado na Figura 21.

Figura 21 - Conversão de ST41 e ST44 em MF41



Fonte - Produzido pelo autor

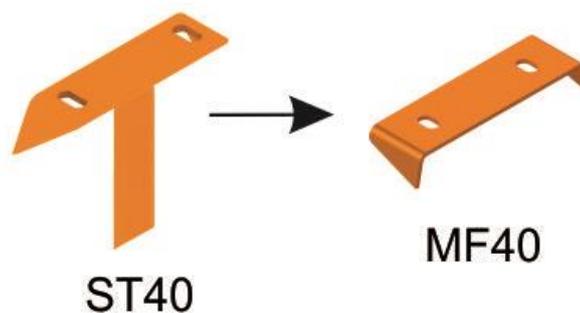
As duas nervuras verticais de reforço, antes soldadas na barra horizontal da Base do cepo (ST41), passam a fazer parte do novo módulo funcional MF20, que, além de manter a função inicial de suporte para fixação do cepo, incorpora também a função de Suporte de travamento entre as caixas superior e inferior do Fatiador (MF35 e MF39).

MF40 - Base do Mancal Externo

A Base do Mancal Externo (ST40) consiste em uma chapa que serve como apoio do Mancal situado na lateral da Caixa Inferior do Fatiador (ST39) possuindo uma chapa de reforço vertical .

Baseado na estratégia de modularização definida em função da necessidade de simplificação da forma para utilização do módulo por vários produtos da família, foi realizado o modelamento do Módulo Funcional MF40, de acordo com o esquema apresentado na Figura 22.

Figura 22 - Conversão de ST39 e ST45 em MF39



Fonte - Produzido pelo autor.

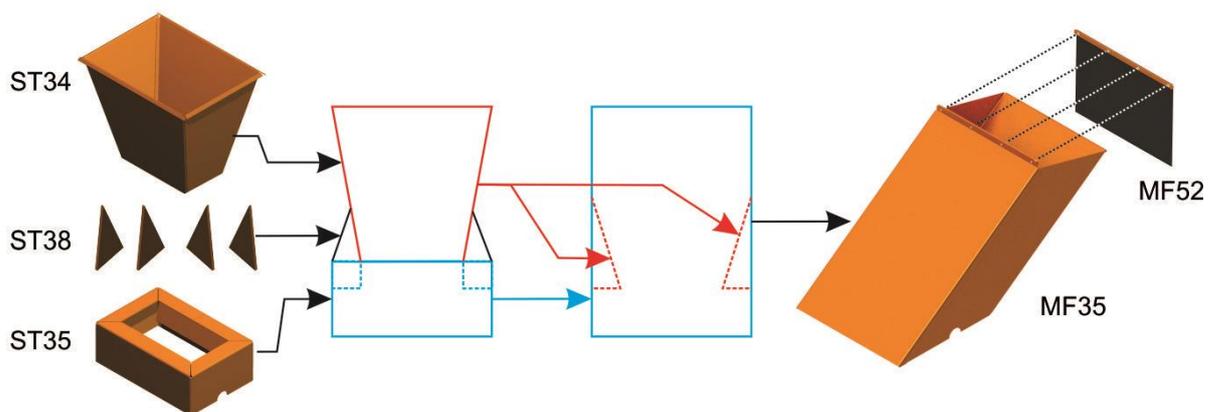
A perda da função de Sustentação das Laterais da Caixa inferior do Fatiador de palma (ST39) eliminou a necessidade do reforço da base do mancal (ST40) configurando, assim, o módulo MF40.

MF34 - Alimentador / Caixa Superior do Fatiador

O subconjunto da Caixa Superior consiste na parte superior do Fatiador de Palma sendo composta pelo Alimentador (ST34), responsável pela canalização da palma para dentro da Caixa Superior (ST35), onde é fatiada. Outros componentes são as Nervuras de Reforço (ST38), que estruturam a união entre o Alimentador e a Caixa Superior.

Tendo em vista as estratégias de modularização definidas em função da integração entre Alimentador e Caixa superior do Fatiador, a incorporação de um componente de segurança e o compartilhamento do módulo por vários produtos da família, verificados no *Benchmark*, além da interface fixa que as Soluções Técnicas fazem entre si, foi realizado o modelamento do Módulo Funcional MF34, de acordo com o esquema apresentado na Figura 23.

Figura 23 - Conversão de ST34 e ST35 em MF35



Fonte - Produzido pelo autor

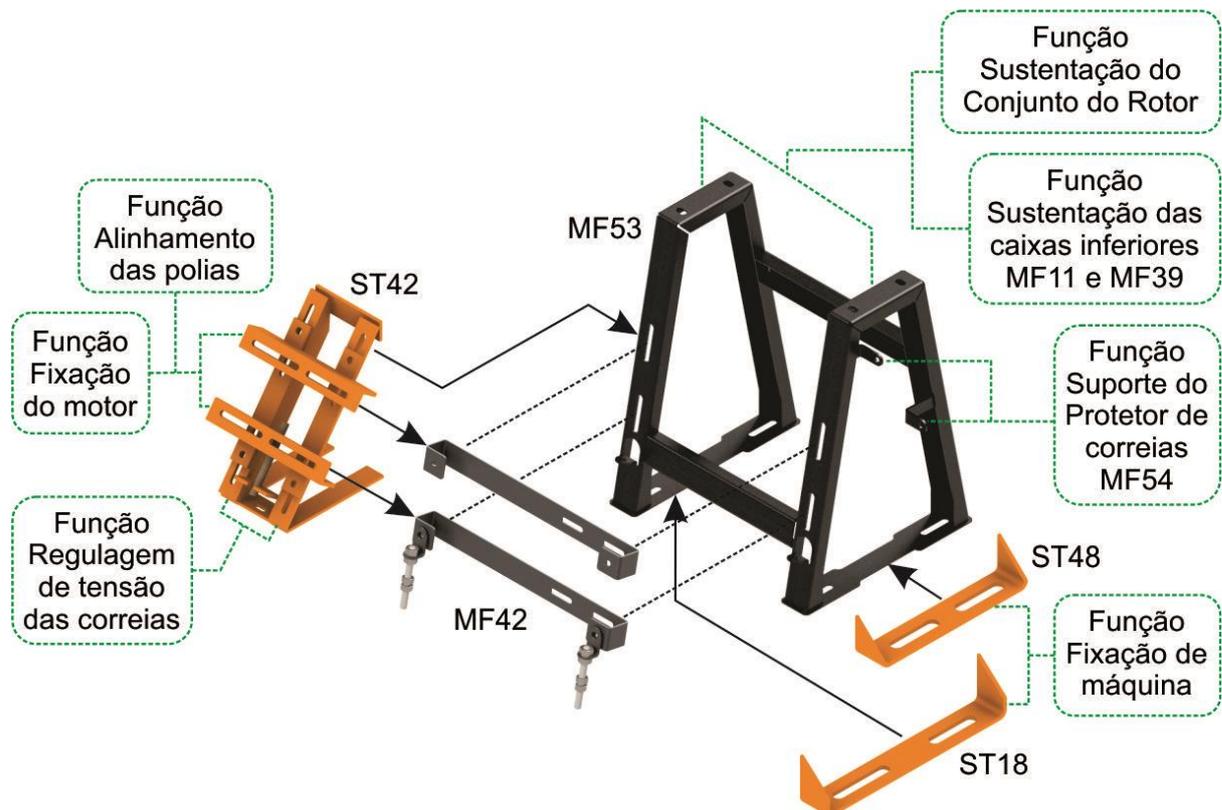
A Calha de alimentação de palma (ST34) tem a função de canalizar o fluxo de entrada de forragem para o interior da Caixa superior (ST35). Esta função foi transferida para duas chapas internas da nova Caixa Superior (MF35), possibilitando a integração das duas Soluções Técnicas em um único Módulo Funcional, o que eliminou a necessidade das Nervuras de reforço (ST38). Também foi adicionado o módulo MF52, que consiste em uma Placa de borracha flexível com a função de conter o possível contra-fluxo de forragem em processamento.

MF53 - Base da Máquina e MF42 - Base do Motor

A Base da Máquina (MF53) consiste em uma estrutura trapezoidal composta de perfis "U", que tem a função de suporte das Caixas, Rotor e Motor da máquina.

A estratégia de modularização definida em função da possibilidade de integração entre componentes, funções e Soluções Técnicas, verificados no *Benchmark*, determinou o modelamento do Módulo Funcional MF7, de acordo com o esquema apresentado na Figura 24.

Figura 24 - Formação de MF42 e MF53



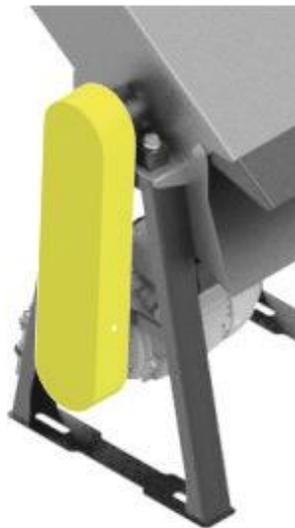
Fonte - Produzido pelo autor

A função de sustentação da máquina foi extraída das Caixas inferiores (ST11 e ST39) e a partir dela foi desenvolvido um novo módulo. O MF53 é a Base padrão da família de Máquinas Forageiras. Além desta função básica, este módulo também reúne as seguintes funções: Sustentação do Conjunto do Rotor; Fixação da máquina, originalmente exercida pelos componentes ST18 e ST48; Suporte do protetor de correias (MF54); Suporte do Motor juntamente com as Barras transversais (MF42), a base de sustentação realiza o alinhamento das polias do Motor e Rotor e a regulação da tensão das correias.

MF54 - Protetor de Correias e Polias

Atendendo à Propriedade do Produto PP7, que cita a necessidade de uma arquitetura segura, foi desenvolvido um novo módulo com a função de isolar o acesso ao sistema de correias e polias da máquina, para, desta forma, proteger o operador do conjunto de transmissão de movimento (Polia do motor/Correias/Polia do Rotor), chamado de Protetor de correias (MF54). Este módulo de segurança pode ser utilizado nos três modelos de máquinas base do estudo, o Picotador de Capim, o Fatiador de Palma e a Forrageira Conjugada, e é apresentado na Figura 25.

Figura 25 - Protetor de Correias e Polias MF54



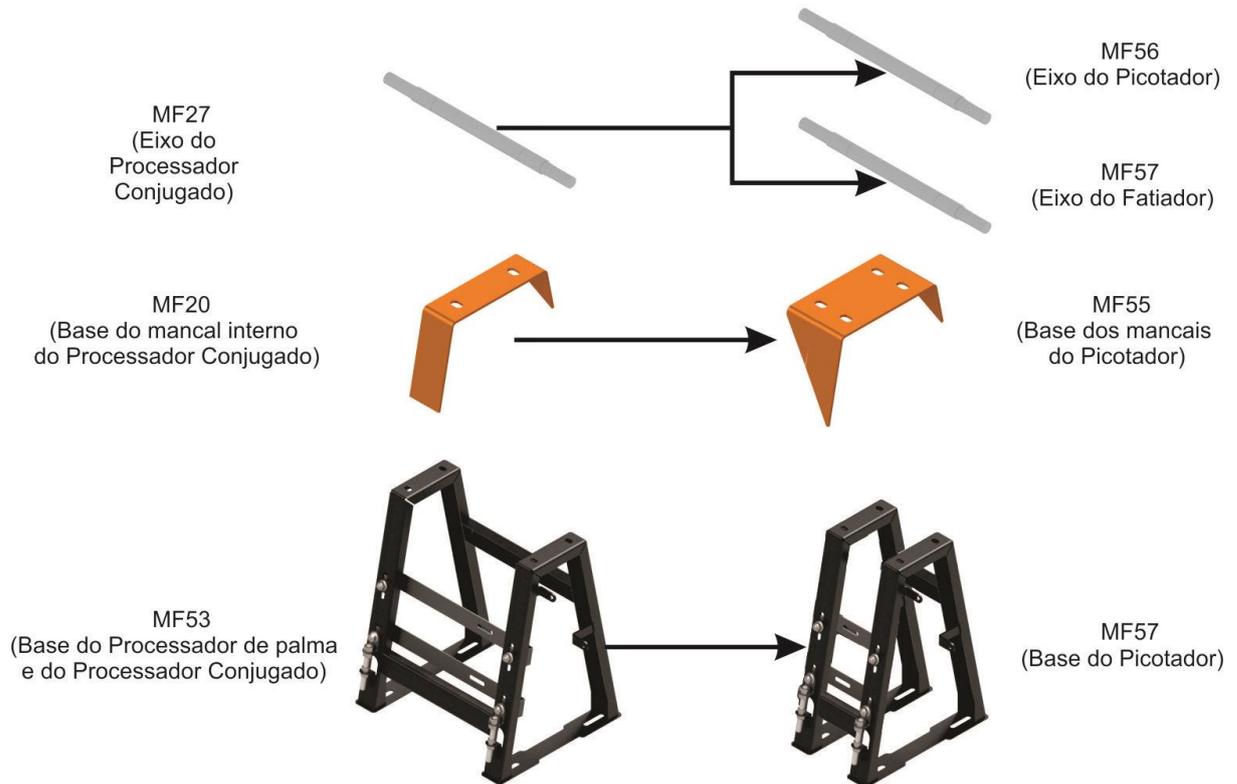
Fonte - Produzido pelo autor

MF55, MF56, MF57 e MF58 - Módulos Específicos

Para permitir a construção das duas variantes da Forrageira Conjugada, o Picotador e o Fatiador, foi necessário o desenvolvimento de módulos específicos a partir dos já existentes. Estes módulos são: o Eixo do Picotador/Triturador (MF56) e o Eixo do Fatiador (MF57), a partir do Eixo do Processador conjugado (MF27); a Base dos mancais do Picotador (MF55), a partir da Base do mancal interno do processador conjugado (MF20); e uma Base específica para o Picotador (MF58), a

partir da Base do Fatiador e Forrageira Conjugada. Os módulos são mostrados na Figura 26.

Figura 26 - Módulos específicos para composição da família de produtos



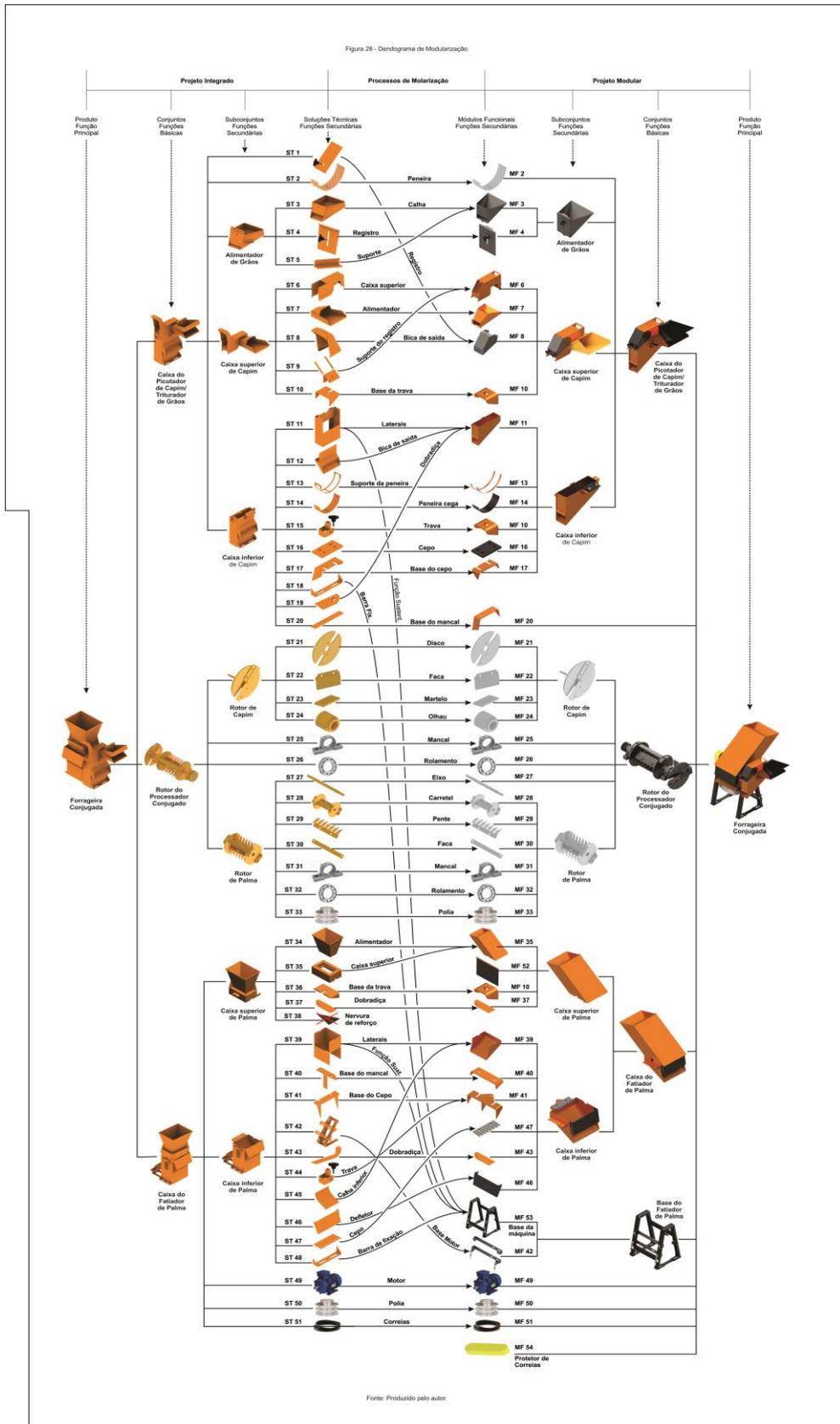
Fonte - Produzido pelo autor

4.3.8.2 Atividade 2.8.2 - Execução do Dendograma de Modularização

Após o desenvolvimento dos Módulos Funcionais descritos anteriormente, foi desenvolvido um Dendograma de Modularização que demonstra a subdivisão da Arquitetura Integral em Soluções Técnicas. Em seguida, foi feita a conversão destas em Módulos Funcionais e a combinação destes módulos em subconjuntos que, por sua vez, constituem a Arquitetura Modular do produto resultante.

O Diagrama de Modularização da Forrageira Conjugada é apresentado na Figura 27.

Figura 27 - Diagrama de Modularização da Forrageira Conjugada



4.4 FASE 3 – ANALISAR OS IMPACTOS DA MODULARIZAÇÃO

4.4.1 Etapa 3.1 – Analisar a Arquitetura Integral e Modular do produto base do estudo

Para esta análise, foi desenvolvida uma Matriz de Funções e Componentes, apresentada no Quadro 17, na qual são apresentadas as quantidades de Soluções Técnicas ou Módulos Funcionais, Funções atendidas e Componentes da Forrageira Conjugada.

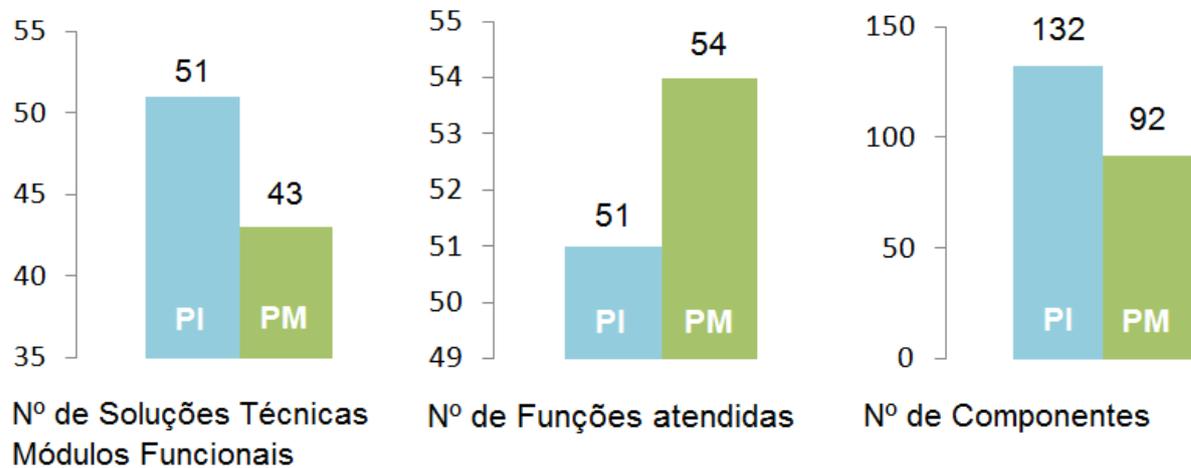
Quadro 17 - Matriz de Funções e Componentes da Forrageira Conjugada

		Solução Técnica	Módulo Funcional	Diferença Nominal	Diferença Percentual
Partes do Produto	Não Abordado	24	24	0	0,0
	Abordado	27	19	8	29,6
	Total	51	43	8	15,7
Funções Atendidas	Não Abordado	24	24	0	0,0
	Abordado	27	30	3	11,1
	Total	51	54	3	5,9
Componentes	Não Abordado	45	46	1	2,2
	Abordado	87	46	41	47,1
	Total	132	92	40	30,3

Fonte - Produzida pelo autor

Para melhor visualização e comparação entre as quantidades de Soluções Técnicas ou Módulos Funcionais, Funções atendidas e Componentes utilizados para a composição da Forrageira Conjugada, foram desenvolvidos os gráficos de barras apresentados no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Gráfico de barras de ST's/MF's, Funções e Componentes da Forrageira Conjugada



Fonte - Produzido pelo autor

Com a modularização do projeto o somatório das partes do produto passou de 51 soluções técnicas para 43 módulos funcionais, resultando em uma redução de 8 partes, ou seja, de 15,7%. A redução da quantidade de partes, associada ao processo de simplificação das suas geometrias, ampliou esta diferença com relação à quantidade total de componentes, que passou de 132 para 92, resultando em uma redução de 30%.

Observou-se também que mesmo diante da simplificação da arquitetura do produto e da redução da quantidade de seus módulos e componentes, manteve-se o atendimento às mesmas 51 funções secundárias, além de serem agregadas mais três. Estas últimas, sendo funções apontadas por necessidades específicas dos clientes.

O aumento de 6% na quantidade de funções oferecidas pelo produto, em paralelo com a redução dos componentes, aponta para a configuração final de um produto com uma arquitetura mais simples, porém atendendo a mais funções.

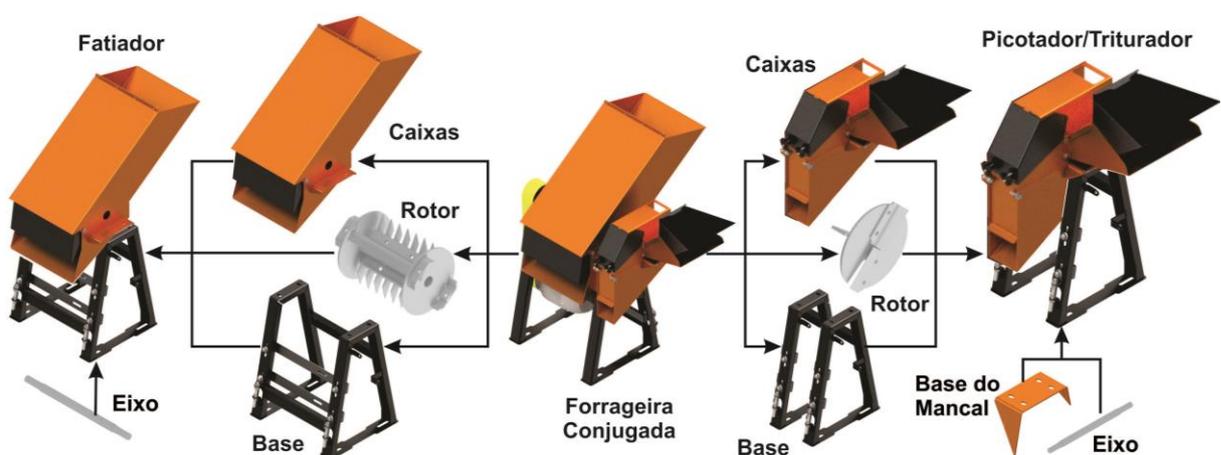
A redução de 30% no número de Componentes utilizados para a montagem da Forrageira Conjugada corrobora com a primeira regra de projeto baseada em Romeiro (2010) - Reduzir o número de componentes, ou seja, que uma menor variedade de componentes diferentes necessários para a montagem da família de

produtos facilita o controle da produção, da qualidade, dos estoques, e reduz as trocas de ferramental durante os processos de fabricação, contribuindo para a produtividade da organização.

4.4.2 Etapa 3.2 - Analisar a arquitetura integral e modular das variantes que compõem a família de produtos

Com relação a composição da família de produtos, observou-se que a modularização da arquitetura do produto base do estudo, a Forrageira Conjugada, possibilitou a padronização dos módulos funcionais para sua utilização pelas suas duas variantes. Como consequência disso houve a redução da quantidade de módulos e de componentes distintos necessários para a composição dos três produtos da família (a Forrageira Conjugada, o Picotador e o Fatiador), sendo necessário apenas o desenvolvimento de alguns módulos específicos, conforme apresentado na Figura 28. São eles: para o Picotador - o eixo, a base do mancal, as duas travessas de fixação do motor e as duas travessas da base da máquina; e para o Fatiador apenas o eixo.

Figura 28 - Composição das variantes da Forrageira Conjugada



Fonte - Produzido pelo autor

Para a utilização de módulos funcionais entre as três variantes da família de produtos mantiveram-se os padrões de interface já utilizados. Esta característica do projeto corrobora para a segunda regra, baseada em Romeiro (2010) - Manter os padrões de interface já utilizados.

Como explicado no tópico 4.3.3, o projeto de modularização desenvolvido não aborda o subsistema Rotor da máquina, que tem a função específica de fatiar, picotar e triturar a forragem, e localiza-se em seu interior. O Rotor é acoplado à estrutura ou corpo da máquina por meio das bases dos mancais através de duas interfaces móveis parafusadas, que foram mantidas sofrendo apenas ajustes de sua geometria.

Outro componente que não sofreu alteração em sua interface com o produto foi o Motor elétrico, que consiste em um implemento e, por isso, não abordado pelo projeto. O motor também é acoplado à estrutura da máquina por meio de interfaces móveis parafusadas, que foram mantidas.

Com relação ao número de componentes, a partir da análise comparativa entre as arquiteturas dos produtos integral e modular, pôde-se observar alterações no número de partes (Módulos Funcionais/Soluções Técnicas) e de componentes específicos e comuns entre as variantes da família de produtos. Estas alterações são apresentadas pela Matriz de Comunalidade, no Quadro 18.

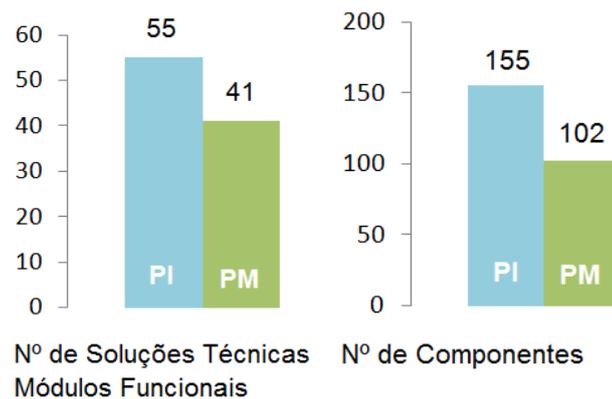
Quadro 18 - Matriz de Comunalidade

Produto	Solução Técnica	Módulo Funcional	Diferença Nominal	Diferença Percentual	Componentes		Diferença Nominal	Diferença Percentual
Exclusivo do Picotador	6	3	3	50,0	14	6	8	57,1
Exclusivo do Fatiador	3	1	2	66,7	5	1	4	80,0
Exclusivo do Forrageira Conjugada	9	2	7	77,8	22	2	20	90,9
Picotador e Forrageira Conjugada	17	15	2	11,8	35	24	11	31,4
Fatiador e Forrageira Conjugada	13	13	0	0,0	57	60	3	5,0
Picotador, Fatiador e Forrageira Conjugada	7	7	0	0,0	22	9	13	59,1
Picotador Total	30	25	5	16,7	71	39	32	45,1
Fatiador Total	23	21	2	8,7	84	70	14	16,7
Forrageira Conjugada Total	46	37	9	19,6	136	95	41	30,1
Total	55	41	14	25,5	155	102	53	34,2

Fonte - Produzido pelo autor

Para melhor visualização e comparação entre as quantidades de soluções técnicas ou módulos funcionais e componentes utilizados para a composição da família de produtos, foram desenvolvidos os gráficos de barras mostrados no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Gráfico de barras de ST's/MF's e Componentes da Família de Produtos



Fonte - Produzido pelo autor

A partir da análise da Matriz de Comunalidade, pôde-se fazer as seguintes considerações:

Com relação à família de produtos, composta pela Forrageira Conjugada, o Picotador e Fatiador, observou-se uma redução maior da quantidade de componentes diferentes (34%) em comparação com a redução de soluções técnicas/módulos funcionais diferentes (25%). Isto pode ser atribuído à simplificação da geometria dos módulos, o que gera naturalmente a redução da quantidade de componentes.

Observou-se também uma forte redução da quantidade de módulos funcionais em relação às soluções técnicas exclusivas, principalmente no caso da Forrageira Conjugada, que obteve uma redução de 91%.

A redução de 30% no número de componentes necessários para a montagem da Forrageira Conjugada e de 34% na variedade de componentes diferentes necessários para a composição da família de produtos superam, por exemplo, os obtidos por Mello (2010) em seu estudo sobre a aplicação de DFMA (*Design for*

Manufactory and Assembly) no desenvolvimento de um forno industrial. Nele, o autor desenvolve o redesenho da fechadura do forno e após a análise comparativa entre a primeira versão e o redesenho verifica-se uma redução de 15% no número de componentes, demonstrando que, assim como a modularização, o DFMA é uma técnica eficiente para o desenvolvimento de produto voltado para a facilitação dos processos de fabricação e montagem e redução de custos.

4.4.3 Etapa 3.3 – Analisar os Materiais e Processos de Fabricação dos Produtos Integral e Modular

O processo de fabricação da empresa parceira no estudo é composto pela sequência de processos individuais dos dois principais tipos de subconjuntos que compõem as máquinas, a saber:

Subconjunto Interno (Rotor) - Composto por eixo, discos, facas (lâminas de corte), martelos, pentes, rolamentos e mancais. Responsável pelo corte e trituração da forragem. Os processos de fabricação de seus componentes compreendem estampagem em Prensa excêntrica, corte em Serra mecânica e Plasma, e usinagem em Torno mecânico. Posteriormente, passam por um processo de Pré-montagem com Solda MIG.

Subconjuntos Externos (Caixas superior e inferior) - corpo externo da máquina, composto por chapas de diferentes espessuras. Responsável pelo suporte do rotor, estruturação, fixação, alimentação e saída de material processado. Os processos de fabricação de seus componentes compreendem corte plasma, estampagem em prensa excêntrica, e conformação em prensa hidráulica e viradeira hidráulica e calandra. Posteriormente, passam por processos de montagem por meio de solda MIG.

Após as montagens dos subconjuntos internos e externos, estes passam pelo processos de acabamento e pintura. Posteriormente, estes subconjuntos passam pelo processo de montagem final, feita de forma manual e com o auxílio de ferramentas, configurando o produto final.

Com o objetivo de analisar e comparar as informações dos dois projetos foi desenvolvida a Matriz Comparativa de Materiais e Processos de Fabricação, em que estão dispostas lateralmente e em suas linhas as soluções técnicas do projeto integrado (à esquerda e sinalizadas na cor azul) e os módulos funcionais do projeto modular (à direita e sinalizados na cor verde). Estas informações são cruzadas com as colunas que mostram a quantidade de componentes e suas especificações de matéria-prima, peso e preço. Também são quantificadas nas colunas todas as operações do processo de fabricação, descrito da esquerda para a direita na sequência do processo produtivo do produto.

Para o preenchimento da matriz, foram utilizadas as resultantes das Árvores de Função dos projetos integrado e modular apenas do produto base do estudo, a Forrageira Conjugada, com exceção das soluções técnicas e módulos funcionais que não foram abordados pelo processo de modularização, citados no item 4.3.3.

Ao final da matriz, foi feito um somatório de cada variável e construídos histogramas que ilustram a diferença entre os projetos integrado e modular em função de cada variável.

A Matriz Comparativa de Materiais e Processos de Fabricação é apresentada no Quadro 19.

Quadro 19 - Matriz Comparativa de Materiais e Processos de Fabricação.

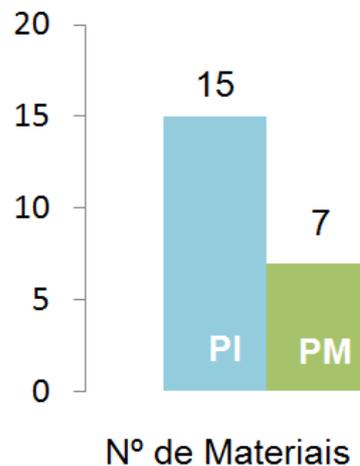
Projeto Integrado	Projeto Modular	Componentes Fabricados				Processos de Fabricação																					
						Corte		Estampagem			Conformação				Montagem Solda		Acabamento		Montagem Final								
Solução Técnica	Módulo Funcional	Material (tipo)	Material (tipo)	Peso (Kg)	Preço do Material (R\$)		Plasma (Perímetro mm)	Serra Mec.	Prensa Excêntrica	Prensa Hidráulica	Viradeira Hidráulica	Calandra	Gabarito / Solda Mig (mm)	Solda Ponto	Lixadeira Manual	Ferramentas Manuais											
ST1	Incorporado	Chapa 12		0,410		1,341	610										1										
ST3	MF3	Chapa 18	Chapa 18	1,485	0,852	5,729	2,760	2665	2016								20	8	1580	1	1						
ST5	Incorporado	Cantoneira 1x1/8"		0,238		0,793	600			2							40				1	1					
ST6	MF6	Chapa 12	Chapa 12	3,122	3,371	10,209	11,023	2660	3790												3	10					
		Barra quadrada 1/2"		0,082		0,280		2		2	2	6	5	340	542	340											
ST7	MF7	Chapa 12	Chapa 14	3,448	1,970	11,275	6,442	2572	1916												3	10					
		Barra Chata 1/2x3/16"		0,044		0,148		1				8	5	720	246	720											
ST8	MF8	Chapa 12	Chapa 14	1,440	0,793	4,709	2,569	1592	1150			1	5				600	111		600	111						
ST9	Incorporado	Chapa 12		0,248		0,811		445										340			200						
		Barra Chata 1/2x3/16"		0,088		0,297				2				1													
ST10	MF10	Chapa 3/16"	Chapa 3/16"	0,352	0,118	1,126	0,378	502	253				1	2			120	82		80							
ST11	MF11	Chapa 12	Chapa 12	6,993	3,571	22,867	11,677	4992	2477					2	3		820	554		820							
ST12	Incorporado	Chapa 12		3,259		10,657		2386									1540			1540							
ST13	MF13	Barra Chata 1/2x3/16"	Barra Chata 1/2x3/16"	0,552	0,276	1,860	0,930														3	4					
		Barra quadrada 1/2"		0,123		0,421		5	2			2	2	500	240												
ST15	MF10	Barra chata 3/16x1.1/4"	Chapa 3/16"	0,156	0,118	0,519	0,378														3	4					
		Barra redonda 1/2"		0,054		0,187		253	2	2	2	1	260	82	200												
		Tubo 3/4"		0,120		0,473																					
ST18	Incorporado	Barra chata 1/4x2"		0,895		3,141		1200					2				500			200							
ST19	Incorporado	Barra chata 3/16x1.1/4"		0,146		0,486		400									300			300							
ST20	MF20	Barra chata 1/4x2"	Chapa 3/16"	0,797	0,854	2,797	2,733	800	914								760	776		760							
ST34	Incorporado	Chapa 12	Chapa 12	10,144	14,690	18,523	26,824	5802													1960	1843	1960				
		Chapa 1/4"												8	8												
ST35	MF34	Chapa 1/8"		5,625		18,056															3	3					
		Chapa 12		0,041		0,134		5572	7422									970					970				
		Barra chata 2.1/2x1/4"		1,706		5,800																					
ST36	MF10	Chapa 3/16"	Chapa 3/16"	0,338	0,118	1,082	0,378	492	253				1	2			160	82		160							
ST38	Eliminado	Chapa 3/16"		0,632		2,022		1332									800			400							
ST39	MF39	Chapa 12	Chapa 12	9,606	5,054	31,412	16,527	4502	2811					1	2		1000	508		1000							
ST40	MF40	Barra chata 1/4x2"	Chapa 3/16"	0,949	0,497	3,331	1,590	1022	582					2	2		610	250		300							
ST41	MF41	Barra chata 1/4x2.1/2"	Chapa 1/4"	0,837	0,986	2,846	2,899	1392	1195												500						
		Chapa 14		0,100		0,324					2	940	610														
ST43	MF43	Barra chata 1.1/4x3/16"	Chapa 3/16"	0,620	0,300	2,065	0,960	900	400								400	400		400							
ST44	Incorporado	Barra chata 1.1/4x3/16"		0,156		0,519															200						
		Barra redonda 1/2"		0,054		0,187			2	2	2						260										
		Tubo 3/4"		0,120		0,473																					
ST45	Incorporado	Chapa 1/8"		3,592		11,530		1523						1	1		1500			1000							
ST48	Incorporado	Barra chata 1/4x2"		0,634		2,225		1100						2	2		430			200							
ST42	MF42	Chapa 3/16"	Chapa 1/8"	3,500	1,496	11,655	4,802	6133	2750	1	2						900			500	5	6					
Inexistente	MF56		Chapa 1/8"		8,884		28,518	9874										1200									
Inexistente	MF55		Barra Chata 1/2x3/16"		0,108		0,364							5													
Inexistente	MF57		Chapa 18		2,145		8,366		2649											8		2					
		15 tipos	7 tipos	62,7	46,2	192	130	51194	40705	5	2	16	7	6	14	66	40	3	2	16770	7526	20	16	14930	111	18	29

Fonte - Produzido pelo autor

Após a análise da Matriz Comparativa de Materiais e Processos de Fabricação, pôde-se constatar que:

Houve a redução dos tipos de materiais utilizados para a fabricação do produto de 15 para sete materiais diferentes. Uma redução de 8 materiais ou de 53% no número de especificações de materiais diferentes a serem utilizados na fabricação do produto. A redução no número de materiais é apresentada no gráfico de barras do Gráfico 3.

Gráfico 3 - Gráfico de barras do Número de Materiais



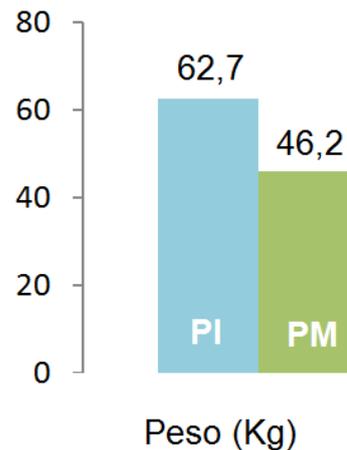
Fonte - Produzido pelo autor

Houve uma redução de 16,5 Kg na quantidade total de aço utilizado na fabricação do equipamento. Em que, dos componentes fabricados abrangidos pelo projeto que inicialmente somavam 62,7 Kg passaram a somar 46,2 Kg, o que representa uma redução de 26,3%. A redução da quantidade de material utilizado, representado pelo peso, é apresentado no Gráfico de barras do Gráfico 4.

A redução de 53% no número de especificações ou tipos de materiais empregados na fabricação dos componentes, passando de 15 para sete materiais diferentes, corroboram com a terceira regra baseada em Romeiro (2010) - é atribuído a união de soluções técnicas ou funções em um único módulo funcional. Esta redução termina por reduzir, também, os processos de aquisição da matéria-prima, pois possibilita sua compra em lotes maiores, além de facilitar o

gerenciamento de estoque e proporcionar a padronização das operações de fabricação.

Gráfico 4 - Gráfico de barras do Peso do Material Utilizado

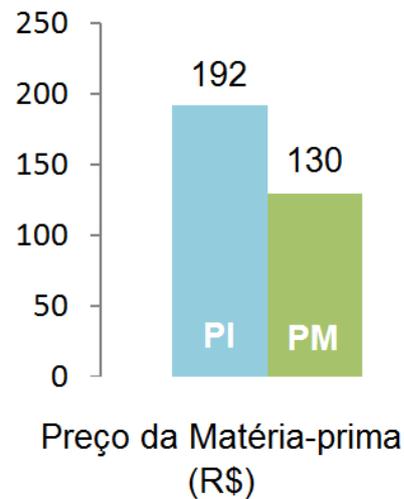


Fonte - Produzido pelo autor

Os dados relativos aos pesos dos aços utilizados foram associados ao preço específico de cada matéria-prima e constatou-se que os componentes aqui trabalhados, que possuíam um custo total de R\$ 192,00, passou no projeto modular para um custo de R\$ 130,00. Isto representa uma redução de R\$ 62,00 ou seja, 32,2% no custo do material utilizado para a fabricação dos componentes modularizados. A redução do custo de material utilizado é apresentado no gráfico de barras do Gráfico 5.

A Redução de 26,3% na quantidade de material utilizado para a fabricação dos componentes abordados pelo projeto, o que proporcionou uma redução de 32,2% no custo do material, corroboram com a quarta regra baseada em Romeiro (2010) - Reduzir a quantidade de material dos componentes.

Gráfico 5 - Gráfico de barras do Preço do Material Utilizado



Fonte - Produzido pelo autor

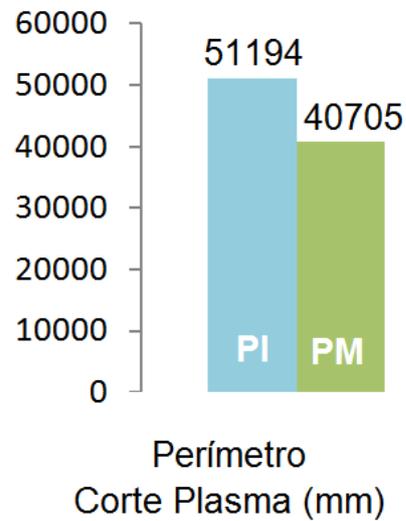
As modificações na arquitetura do produto a partir do processo de modularização do projeto exerceu forte influência sobre todos os processos de fabricação, como evidenciado a partir da análise das informações dispostas na Matriz Comparativa de Materiais e Processos de Fabricação.

Em seguida, são descritos os impactos do projeto e modularização nas várias etapas do processo de fabricação dos módulos trabalhados.

- Corte por Plasma

Com a simplificação e a integração de soluções técnicas e funções, houve a redução no somatório do perímetro de corte dos componentes de 51.194 mm para 40.705 mm, ou seja, uma redução de 10.489 mm, ou de 20% no perímetro total de corte. A redução do perímetro de corte é apresentada no gráfico de barras do Gráfico 6.

Gráfico 6 - Gráfico de barras do Perímetro de Corte Plasma

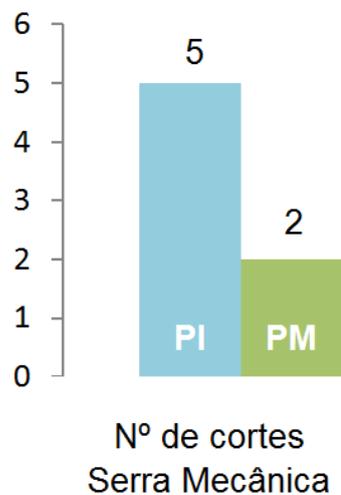


Fonte - Produzido pelo autor

- Corte em Serra Mecânica

Houve a redução no somatório das operações de corte na serra mecânica de cinco para duas, ou seja, de 60%. A redução do número de operações de corte é apresentado no gráfico de barras do Gráfico 7.

Gráfico 7 - Gráfico de barras das Operações de Corte em Serra Mecânica

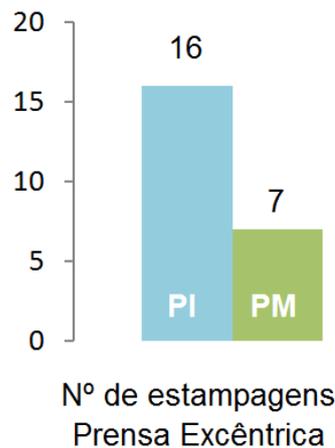


Fonte - Produzido pelo autor

- Estampagem em Prensa Excêntrica

Houve a redução no somatório das operações de estampagem de 16 para sete, ou seja, de 56%. A redução do número de operações de estampagem é apresentada no gráfico de barras do Gráfico 8.

Gráfico 8 - Gráfico de barras das Operações de Estampagem em Prensa Excêntrica



Fonte - Produzido pelo autor

- Conformação em Prensa Hidráulica

As operações de estampagem de conformação realizadas na Prensa hidráulica passaram de 6 para 14, sofrendo um aumento de 8 operações ou 57%.

O aumento das operações de dobradura foi consequência direta da estratégia de redução de componentes, que determinou a união de superfícies, substituindo a montagem de 2 ou mais peças soldadas por uma única peça dobrada.

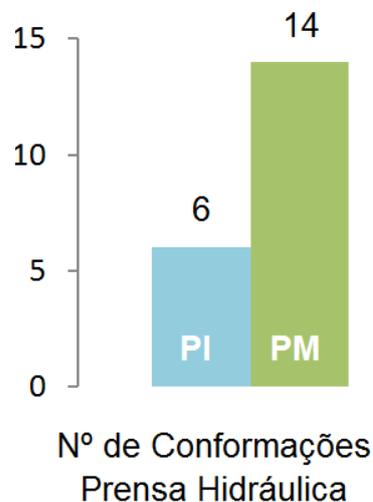
Observa-se que este processo é direcionado para dobraduras das chapas de aço e necessitam inevitavelmente da utilização de uma matriz específica para cada componente ou para um conjunto de componentes com etapas de conformação idênticas.

Em um projeto de modularização, no qual ocorre a padronização de vários componentes com o objetivo de sua utilização em diversos produtos, o aumento de operações padronizadas é uma das consequências mais notórias.

No projeto foram desenvolvidos dois módulos funcionais que necessitariam do desenvolvimento de matrizes, são eles a Bica de saída de capim (MF8) e a base da trava (MF10). Em ambos os casos, o investimento em uma matriz de conformação se justificaria devido ao alto nível de comunalidade e multifuncionalidade dos dois módulos. A bica de saída é o módulo responsável tanto pela expulsão do capim processado no interior da máquina, quando aberto, quanto responsável pela contenção dos grãos no processo de trituração, quando na posição fechada. A base da trava consiste em um dos módulos mais versáteis do projeto, pois serve para o travamento do fechamento das caixas da máquina, podendo ser acoplado em diferentes posições e em toda a família dos processadores de forragem e de demais máquinas fabricadas pela empresa.

O aumento das operações de conformação em prensa hidráulica é apresentado no gráfico de barras do Gráfico 9.

Gráfico 9 - Gráfico de barras das Operações de Estampagem em Prensa Hidráulica



Fonte - Produzido pelo autor

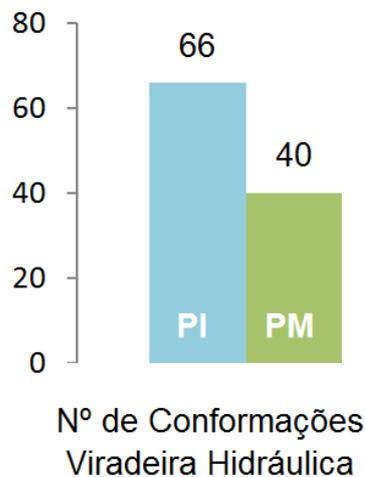
- **Conformação em Viradeira Hidráulica**

Um dos mais importantes processos de modelamento da forma de componentes de chapa é a conformação na viradeira hidráulica. Esse processo é responsável pela dobradura de superfícies planas, e no processo de simplificação da

forma das Soluções técnicas atua como substituto da solda, auxiliando na redução de componentes. No projeto desenvolvido, houve uma diminuição de 66 para 40 operações de dobradura, o que gerou uma redução de 26 operações, ou seja, 39%.

A redução das operações de conformação em viradeira hidráulica é apresentada no gráfico de barras do Gráfico 10.

Gráfico 10 - Gráfico de barras das Operações de Conformação em Prensa Hidráulica



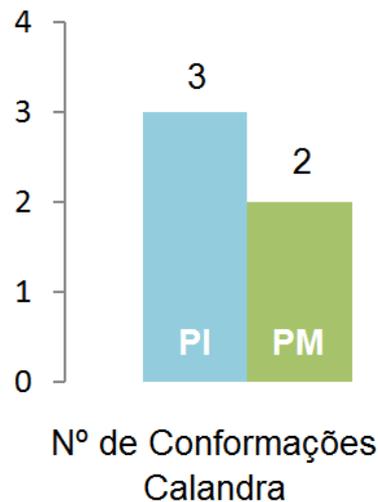
Fonte - Produzido pelo autor.

- Conformação por Calandragem

Das três soluções técnicas abrangidas, as únicas que permanecem utilizando a conformação por calandragem são as duas guias da peneira (ST13), passando a ser este o único componente com forma curva do produto. A outra solução técnica que utilizava este processo era a calha de saída inferior de palma (ST45), a qual foi incorporada à caixa inferior de palma (MF39). Essa modificação resultou na eliminação de uma das operação de conformação de curvatura.

A redução das operações de conformação em calandra é apresentada no gráfico de barras do Gráfico 11.

Gráfico 11 - Gráfico de barras das Operações de Conformação em Calandra



Fonte - Produzido pelo autor

- Montagem intermediária por Solda MIG

O processo de soldagem de componentes corresponde ao próprio processo de montagem intermediária do produto, sendo um dos mais especializados do processo de fabricação.

Como comentado anteriormente, a redução dos processos de soldagem é uma consequência direta da mudança na arquitetura do produto, quando é realizada a substituição dos processos de solda por dobraduras, e possui também íntima relação com o processo posterior de acabamento. Observa-se aqui que todo o redesenho do equipamento foi realizado mantendo-se as soldas sempre externas a fim de facilitar o acesso para sua execução.

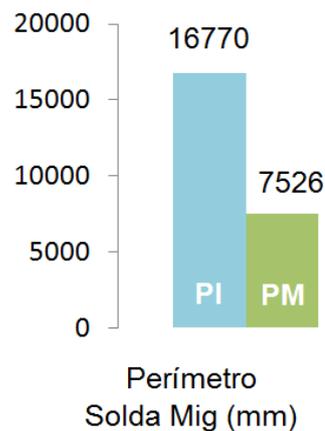
A partir da união de componentes e substituição de soldas por dobraduras, assim como a separação de funções em novos módulos, a máquina, antes montada com aproximadamente 16,8 metros de cordão de solda MIG, passou a ser montada apenas com aproximadamente 7,7 metros. Isso representou uma redução de aproximadamente 9 metros de cordão de solda, ou uma redução de 54% em um dos processos mais caros e essenciais da fábrica.

A redução da quantidade de solda empregada para a montagem da máquina consiste em um dos ganhos de processo mais significativos, pois a solda MIG é uma

das etapas de fabricação mais complexas e demoradas, exigindo uma mão-de-obra mais especializada.

A redução do perímetro de soldagem é apresentada no gráfico de barras do Gráfico 12.

Gráfico 12 - Gráfico de barras do Perímetro de Soldagem

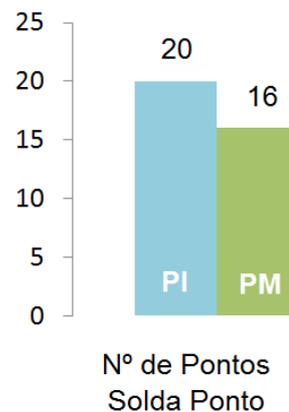


Fonte - Produzido pelo autor

- Montagem por Solda Ponto

O processo de solda ponto é destinado apenas para a montagem por sobreposição de chapas finas, e utilizado apenas para a montagem do alimentador de grãos e do protetor de correias (inexistente no projeto integral). Sendo assim, a quantidade de pontos necessários para a montagem do primeiro módulo reduziu de 20 para oito pontos, mas a estes foram somados oito novos pontos do novo módulo, o que ocasionou uma redução de 20%. A redução de pontos de soldagem é apresentada no gráfico de barras do Gráfico 13.

Gráfico 13 - Gráfico de barras dos Pontos de Solda



Fonte - Produzido pelo autor

- Acabamento com Lixadeira Manual

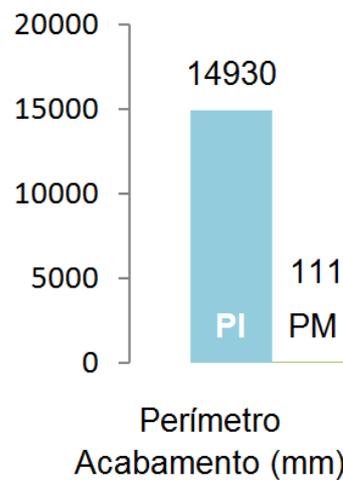
O processo de acabamento consiste em um dos mais problemáticos da fabricação de produtos como a Forrageira Conjugada. Esse processo consiste no esmerilhamento das soldas aparentes existentes em todo o corpo do produto com uma lixadeira manual. É um processo crítico, pois depende muito da habilidade do operador podendo causar muitos acidentes, além do fato de ser causador de enorme ruído e, conseqüentemente, desconforto na planta produtiva. Outro fator negativo do processo é o enfraquecimento dos cordões de solda, o que causa fragilidade estrutural ao produto.

A solução adotada foi o recuo de todos os componentes de modo a gerar sempre ângulos de encaixe menores que 180 graus, especialmente dos subconjuntos que compõem o corpo externo da máquina. E com esta modificação eliminou-se quase que completamente a necessidade de operações de acabamento, que passou de 15 metros para 11 centímetros de solda a ser esmerilhada.

A eliminação da necessidade do acabamento nas soldas, também representa um ganho significativo, pois a operação de acabamento com lixadeira manual é uma das mais insalubres e arriscadas de todo o processo.

A redução de pontos do perímetro de acabamento é apresentada no gráfico de barras do Gráfico 14.

Gráfico 14 - Gráfico de barras do Perímetro de Acabamento



Fonte - Produzido pelo autor

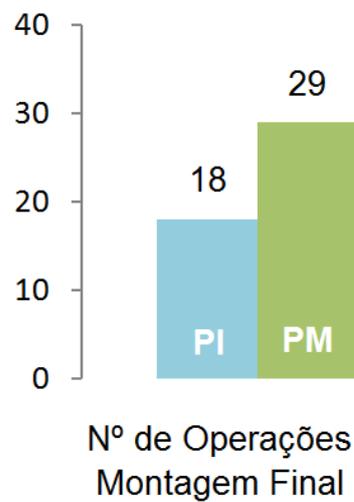
- Montagem Final

Com a mudança da arquitetura do produto algumas operações de montagem final permaneceram inalteradas, como, por exemplo, a fixação do motor, o alinhamento da polia do motor com a polia do rotor e a regulagem da tensão das correias. Porém outras operações de montagem foram acrescentadas a partir da criação de novos módulos funcionais, como a fixação simultânea do rotor e caixas inferiores nos suportes da base da máquina por meio das bases dos mancais. Outra operação geradas foi a fixação do protetor de correias também à base da máquina e a fixação da bica de saída na caixa superior de capim. Essas alterações geraram 11 operações a mais de montagem final ou um aumento de 38%.

O aumento das operações de montagem final consiste em uma consequência habitual da subdivisão máxima atingida pela modularização de projetos de produtos.

A redução de pontos de operações de montagem final é apresentada no Gráfico de barras do Gráfico15.

Gráfico 15 - Gráfico de barras da Montagem Final



Fonte - Produzido pelo autor

A redução na quantidade da maioria dos processos de fabricação do produto corrobora com a quinta regra baseada em Romeiro (2010) - Reduzir a quantidade de operações de fabricação. Podendo o presente estudo ser comparado ao de Piran (2015), no qual o autor evidencia os benefícios da modularização também por meio de dados quantitativos, porém, com um diferencial. Em seu estudo desenvolvido em uma empresa fabricante de ônibus, o autor utiliza como base empírica para medição do impacto da modularização os aspectos de produtividade e eficiência do sistema produtivo, medidos principalmente pelo fator tempo, e no presente estudo são utilizados como fatores de análise a quantidade de componentes, material e operações de fabricação.

Todas as operações de fabricação da forrageira conjugada modular seguem os mesmos padrões dos processos já utilizados pelo projeto integral, não havendo modificações. As soldas entre os componentes acoplados por interfaces fixas e os parafusos para os módulos funcionais acoplados por interfaces móveis foram mantidos, corroborando com a sexta regra baseada em Romeiro (2010) - Utilizar operações padronizadas e de baixo custo.

CAPÍTULO 5

5 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo geral determinar os impactos da modularização da arquitetura de um produto sobre os aspectos quantitativos do processo produtivo de uma organização. Para tanto, inicialmente, foi realizada a revisão da literatura envolvendo os seguintes temas: Projeto de produto e processo produtivo; Arquitetura modular do produto; Modularidade; e os Principais métodos de auxílio ao desenvolvimento de projetos modulares. Em seguida, se fez uso do método do *Modular Function Deployment* (MFD) aplicando-o numa máquina de processamento de forragem animal. Após apresentar e discutir os resultados obtidos é possível concluir que:

a) Durante o desenvolvimento do projeto foi verificado que o conhecimento técnico sobre o universo do produto, detido pelo autor, foi de grande importância para as definições das estratégias de modularização, se mostrando como determinantes para os resultados positivos do projeto. Isto confirma os aspectos da adaptabilidade e integração de informações teóricas e técnicas característicos do *Modular Function Deployment*, conforme grifo nosso da página 26.

b) A Modularidade como princípio ou estratégia de design tem influência sobre todas as etapas do ciclo de vida do produto desde o seu desenvolvimento, passando por todas as etapas do processo de fabricação.

c) Os impactos da adoção da modularidade como estratégia de desenvolvimento de produto sobre o processo produtivo estão mais fortemente ligados ao aspecto estrutural do produto.

d) Os Módulos Funcionais desenvolvidos em um Projeto modular podem ser compartilhados entre produtos diferentes, e incorporados de forma gradativa ou de uma só vez a um produto ou família de produtos.

e) A modularização dos componentes de um produto permite que a indústria possa, com uma menor quantidade de componentes específicos, montar uma maior quantidade de produtos acabados.

Diante do exposto confirmou-se no presente estudo a hipótese levantada de que a adoção da modularidade como estratégia de design de produto exerce impacto direto sobre a quantidade e complexidade dos componentes fabricados e produtos montados e, desta forma, contribui para redução no uso de recursos empregados para a sua fabricação. Por tanto, a modularização se mostrou positiva tanto no desenvolvimento do produto como no sistema produtivo da organização em função da racionalização da produção, redução dos custos e possível aumento da produtividade.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugerem-se os seguintes trabalhos futuros:

- 1) Estudo das ferramentas desenvolvidas para auxiliar no processo de gerenciamento visual e análise de informações durante o projeto;
- 2) Desenvolvimento do estudo de tempos e movimentos, chamado de cronoanálise, para a determinação do impacto do projeto modular no tempo destinado a fabricação da máquina.

REFERÊNCIAS

- ARCHER, J. A.; SCALICE, R. K. **Aplicação e análise de uso de três metodologias de projeto de produtos modulares**. XXX. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, São Carlos, SP, 2010.
- BALDWIN, C. Y.; CLARK, K.B. **Managing in the age of modularity**. Harvard Business Review, 1997.
- BALDWIN, C. Y.; CLARK, K.B.; **Modularity in the Design of Complex Engineering Systems**, Harvard Business School Working Paper, No. 04-055, 2004.
- BALDWIN, C. Y.; **Modularity, Transactions, and the Boundaries of Firms: A Synthesis**. Harvard Business School, 2007.
- BALDWIN, C. Y.; CLARK, K. B.; **Design Rules: The Power of Modularity**. Cambridge: MIT Press, 2000.
- BARCZAK, G.K.; **Identifying new product development best practice**. Business Horizons, Kelley School of Business, Indiana University. 2012.
- BATAGLIN, M.; FERREIRA, J.C.E.; **Método do desdobramento da função modular aplicado ao projeto e manufatura sustentável de produtos em uma empresa do setor metal-mecânico**. 7º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. Itatiaia, RJ, 2013.
- BAXTER, M.; **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. 3º ed. Ver. São Paulo: Edgard Blücher, 2011.
- BORJESSON, F. **A systematic qualitative comparison of five approaches to modularity**. in: **international design conference – design**,. Dubrovnik, Croatia, p. 147–156. 2010.
- CARNEVALLI, J. A.; **Uma investigação sobre os benefícios e dificuldades da modularidade em uma montadora de automóveis**. **Produto & Produção**, vol.12, n.1, p.60-90, fev. 2011.
- CHUNG, M. K.; **The way of modularization strategy by Hyundai**. **Dixième Rencontre Internationale Du Gerpisa**. Paris, 2002.
- CHUNG, M. K.; **The role of industrial design in new product strategy: with particular emphasis on the role of design consultant**. Thesis (PhD). The Manchester Metropolitan University, Manchester, 1989.
- CNI, Confederação Nacional da Indústria. **Perfil da indústria nos estados 2014**. ed. rev. Brasília, 2014.

DORAN, D.; HILL, A.; **A review of modular strategies and architecture within manufacturing operations**. Journal of Automobile Engineering, v. 223, p. 65-75, 2008.

ERIXON, G.; **Modular function deployment (MFD): Support for good product creation**. Centre for Industrial Engineering at Dalarna University, Stockholm, 1996.

ERIXON, G.; **Modularity – the Basis for Product and Factory Reengineering**. Annals of the CIRP; vol. 45/1/1996, pp.1-6; 1996.

FIXSON, S. K.; **The multiple faces of modularity – a literature analysis of a product concept for assembled hardware products**. Industrial & Operations Engineering, University of Michigan, 2003.

GRAZIADIO, T.; **Estudos comparativos entre fornecedores de computadores automotivos de placas convencionais e modulares**. Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

HÖLTTÄ, K. M.; **Incorporating design effort complexity measures in product architectural design and assessment**. Design Studies, Vol. 26, N° 5, p. 463-485, 2005.

JFMG; **Lista de Indústria e Comércio de Máquinas Agrícolas**. Disponível em: <<http://www.jfmg.com.br/maquinas/maquinas-agricolas>> Acessado em: 15/07/2015.

KUBOTA, F. I.; CAMPOS, L. M. S.; **Classificação e análise da literatura sobre modularidade: perspectivas futuras para pesquisa**. Revista Geintec, São Cristovão, SE, 2014.

MACHADO, J.; MAZIERO, N. L.; **Aplicação do método MFD para projeto de produto modular com enfoque na manufatura e na montagem**. Revista Ciatic, vol.6 (2), p.p.1-14, 2014.

MARIBONDO, J. F.; **Desenvolvimento de uma metodologia de projeto de sistemas modulares, aplicada a unidades de processamento de resíduos sólidos domiciliares**. 2000. 262 f. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

MARTIN, V. M.; ISHI, K.; **Project for Variety: developing standardized and modularized product platform architectures**. Trabalho apresentado para a Divisão de Engenharia Mecânica e Projeto, Universidade Stanford, Stanford, 2002.

MELLO, C. N. P.; **Projeto conceitual de componentes de um forno industrial por meio da integração entre a engenharia reversa e o DFMA**. Gestão da Produção. vol.17 no.3 São Carlos, 2010.

MIGUEL, P. A. C.; **Modularity in product development: a literature review towards a research agenda**. Product: Management & Development, v.3 n° 2, p.165-174, 2005.

MILLER, T. D.; ELGARD, P.; **Defining Modules, Modularity and Modularization-Evolution of the Concept in a Historical Perspective, Design for Integration in Manufacturing**, 13th Research Seminar, 1998.

NEGELE, H.; FRICKE, E.; SCHREPFER, L.; HORTLEIN, N. **Modeling of integrated product development processes, Proceedings of the 9th Annual Symposium of INCOSE**, Brighton, UK, 1999.

NUNES, F. N.; **Análise da modularização como estratégia em desenvolvimento de produtos**. Espacios. Vol. 35. Nº 13. Año 2014.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. **Projeto na Engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2005.

PELEGRINI, A. V. **O processo de modularização em embalagens orientado para a customização em massa: uma contribuição para a gestão do design**. 2005. Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

RAMOS, C. C. **Análise e Aplicação de Métodos de Modularização no Desenvolvimento do Produto**. 2016, 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

RODRIGUES, E. A.; CARNEVALLI, J. A.; **Uma investigação sobre a relação entre o projeto de produto e produção em uma montadora automotiva e fornecedores de motores que adotam a modularidade**. Produção, v. 22, n. 3, p. 367-379, maio/ago, 2012.

ROMEIRO, E.; **Projeto de Produto**. Ed. Elsevier. São Paulo, 2010.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; **Gestão de Desenvolvimento de Produtos**, Editora Saraiva, São Paulo. 2006.

SCALICE, R. K.; JOVITA, E. M.; **Estudo da viabilidade de combinação de ferramentas para a modularização de produtos**. 8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, Porto Alegre, RS, 2011.

SCHMICKL, C.; KIESER, A. **How much do specialists have to learn from each other when they jointly develop radical product innovations?** Research Policy, v. 37, n. 3, p. 473-491, 2008.

TOPOROWICZ, M. A.; **Modularidade e mobiliário infantil: Satisfação de uso e extensão de vida útil**. 2012. 119 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

PRIETO, E. CAUCHICK. P. A.; **A adoção da estratégia modular por empresas do setor automotivo e as implicações relativas à transferência de atividades no**

desenvolvimento de produtos: um estudo de casos múltiplos. Gestão da Produção, São Carlos, v. 18, n. 2, p. 425-442, 2011.

ULRICH, K. T.; Design: **Creation of artifacts in society**, 2007. Disponível em: <<http://opim.wharton.upenn.edu/~ulrich/documents/ulrich-architecture-chapter.pdf>> Acesso em: 17/04/2015.

VENTURA, A.; **Produção modular: seu reflexo na arquitetura.** Estudos em design, V. 11, n. 1, p. 43-66. Rio de Janeiro, 2004.

WORREN, N.; MOORE, K.; **Modularity, strategic flexibility and firm Performance: a study of the home appliance industry.** Strategic Management Journal , p. 1123-1140. 2002.

YIN, R. K.; **Estudo de Caso: planejamento e métodos.** Tradução de Daniel Grassi. 3a ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

APÊNDICE 1 - DIÁRIO DE CAMPO

A coleta de dados para listagem das Necessidades dos Clientes foi realizada por meio de conversas informais em que foi feita a pergunta geral e aberta: Que sugestão você daria para o redesenho da Forrageira Conjugada?

As respostas foram simplificadas em sentenças e ordenadas de acordo com o ciclo de vida do produto, sendo descritas a seguir:

- Gestor (um indivíduo): "Reduzir os custos de fabricação e liberar mão-de-obra".
- Projetistas (dois indivíduos): "Facilitar ajustes e evolução do design do produto".
- Planejamento e controle da produção (um indivíduo): "Simplificar a máquina"
- Almojarifado (um indivíduo): "Facilitar o encaixe, a arrumação e reduzir o peso".
- Operador de Assistência Técnica (dois indivíduos): "Livrar o acesso pra montagem"
- Operador do Corte plasma (dois indivíduos): "Peças com bom encaixe pra corte".
- Operador da Estamparia (dois indivíduos): "Estampagem padronizada".
- Operador da Conformação (dois indivíduos): "Viradas padronizadas".
- Torneiro/Plainador (três indivíduos): "Usinagem padronizada".
- Soldadores (oito indivíduos): "Solda acessível".
- Operador de Acabamento (três indivíduos): "Solda acessível".
- Pintor (dois indivíduos): "peças simples".
- Montador (dois indivíduos): "Reduzir o peso, acesso aos parafusos e padronização dos parafusos".
- Operador de Expedição (dois indivíduos): "Reduzir volume e peso"
- Vendedores (cinco indivíduos): "Oferecer diferencial e baixo preço".
- Clientes/Usuários (12 indivíduos): "Baixo preço, segurança, manutenção barata, estabilidade, durabilidade e produtividade".

APÊNDICE 2 - BENCHMARK

Como o produto base do estudo é uma máquina que resulta da união de outras duas, o *Benchmark*, a pesquisa de mercado foi feita com as três variantes que compõem a família de produtos, a saber: a Forrageira Conjugada - variante híbrida base do estudo; o Picotador/Triturador; e o Fatiador - variantes individuais da máquina.

O *Benchmark* consiste em um levantamento de informações junto aos principais concorrentes do produto base do estudo no mercado nacional, por meio da pesquisa em sites de fabricantes e revendas. Assim como por meio de uma pesquisa de campo nas revendas locais para análise dos produtos através da manipulação direta.

Como parâmetros de análise dos produtos foram utilizadas as Propriedades do Produto, estabelecidas durante o processo de montagem do Mapa de Gerenciamento de Produto.

Os produtos analisados foram separados por tipo (Picotador/Triturador, Fatiador e Forrageira conjugada) e por tamanho (1, 2 e 3), de acordo com sua capacidade de processamento.

As características de cor verde são consideradas positivas e referências para a etapa de desenvolvimento dos Módulos Funcionais do projeto e as vermelhas são consideradas negativas e devem ser evitadas.

A Matriz do Benchmark é demonstrada nos Quadros 20, 21, 22, 23, 24 e 25.

Quadro 20 - Matriz do Benchmark

	PP 1 - Componentes simplificados e/ou integrados;	PP 2 - Materiais e processos de fabricação padronizados;	PP 3 - Componentes modularizados entre os produtos da família;	PP 4 - Componentes implementados *	PP 5 - Interfaces de montagem e regulagem de fácil acesso;	PP 6 - Arquitetura simplificada e/ou modular;	PP 7 - Arquitetura estável, segura e ergonomicamente bem planejada.
PICOTADOR / TRITURADOR (tamanho 1) Produção média: capim 500kg/h e grãos 50kg/h							
 LABOREMUS LB2N 2,0E	Travamento das caixas Inferior/superior (2 peças + parafuso). Saída de capim integrada à caixa superior. Registro do Alimentador (Chapa basculante). Registro da Moega (Chapa	Caixa em Chapa 12. Alimentador e Calha de saída, defletor e Registro de capim em chapa 14. Cortados em plasma. Base em cantoneira e perfis cortada em prensa excêntrica.	Nenhum componente modularizado	Moega	Alimentador de capim móvel parafusado na Caixa inferior. Montagem Caixa inferior/ Calha de saída de grãos/ Base Parafusada.	Base simplificada e separada da caixa. Moega necessita de Registro e suporte de acoplamento no Alimentador de capim.	Maior inclinação do alimentador de capim. Base em forma de "T". Saída de grãos do mesmo lado do alimentador.
 TRAPP TRF 80	Caixa superior composta apenas por 1 peça. Caixa Inferior composta por 2 peças. Saída de capim integrada à caixa superior. Registro do Alimentador (Chapa basculante).	Base de chapa cortada em plasma e conformada em viradeira. Estampagem profunda para a conformação da Caixa superior.	Caixa, Moega e Alimentador.	Moega	Alimentador de capim móvel parafusado na Caixa inferior.	Base separada da caixa. Moega necessita de suporte de acoplamento no Alimentador de capim.	Maior inclinação do alimentador de capim. Saída de grãos do mesmo lado do alimentador.
 NOGUEIRA DPM Hobby	Caixa Inferior composta por 2 peças. Saída de grãos e capim integrada a caixa inferior.	Base de chapa cortada em plasma e conformada em viradeira. Estampagem profunda para a conformação da Caixa superior.	Nenhum componente modularizado	Moega	Alimentador de capim móvel parafusado.	Saída de grãos integrada a caixa inferior. Base separada da caixa. Moega necessita de suporte de acoplamento no Alimentador de capim.	Maior inclinação do alimentador de capim. Base trapezoidal. Acoplamento Caixa Inferior/Base.
 GARTENGP-1500	Caixa Inferior composta por 2 peças. Saída de grãos e capim integrada a caixa inferior.	Base em chapa cortada no plasma e conformada na viradeira.	Alimentador de capim e de grãos	Alimentador e Moega	Alimentador de capim móvel parafusado.	Saída de grãos integrada a caixa inferior. Base separada da caixa. Moega, Suporte de acoplamento e Registro integrados.	Maior inclinação do alimentador de capim. Base trapezoidal. Montagem frágil Caixa Inferior/Base.

Fonte - Adaptado de Erixon (1996)

Quadro 21 - Matriz do Benchmark (continuação 1)

	PP 1 - Componentes simplificados e/ou integrados;	PP 2 - Materiais e processos de fabricação padronizados;	PP 3 - Componentes modularizados entre os produtos da família;	PP 4 - Componentes implementados *	PP 5 - Interfaces de montagem e regulagem de fácil acesso;	PP 6 - Arquitetura simplificada e/ou modular;	PP 7 - Arquitetura estável, segura e ergonomicamente bem planejada.
PICOTADOR / TRITURADOR (tamanho 2) Produção média: capim 1000kg/h e grãos 80kg/h							
 <p>LABOREMUS FS2N</p>	Alimentador de capim composto de 2 peças. Alimentador de grãos composto de 2 peças. Saída de capim integrada à caixa superior.	Base do motor elétrico em chapa cortada e coformada na viradeira.	Alimentadores, Base do motor elétrico e Rotor	Nenhum componente implementado	Alimentador de capim móvel parafusado. Fácil regulagem de tração das correias e alinhamento das polias Base elétrica.	Alimentador de grãos sem suporte de acoplamento no Alimentador de capim.	Base estreita em relação ao volume superior da máquina, gerando instabilidade. Saída de grãos do mesmo lado do alimentador.
 <p>TRAPP TRF 300 Super</p>	Caixa superior composta apenas por 1 peça. Caixa inferior composta por 2 peças. Registro do Alimentador (Chapa basculante).	Base de chapa cortada em plasma e coformada em viradeira. Estampagem profunda para a conformação da Caixa superior.	Caixa, Moega e Alimentador.	Moega	Alimentador de capim móvel parafusado na Caixa inferior.	Base separada da caixa. Moega necessita de suporte de acoplamento no Alimentador de capim.	Maior inclinação do alimentador de capim. Saída de grãos do mesmo lado do alimentador.
 <p>NOGUEIRA DPM Jr</p>	Caixa superior composta apenas por 1 peça. Caixa inferior composta por 2 peças. Saída de capim integrada à caixa superior. Registro do Alimentador (Chapa basculante).	Base de chapa cortada em plasma e coformada em viradeira. Estampagem profunda para a conformação da Caixa superior.	Caixa, Moega e Alimentador.	Moega	Alimentador de capim móvel parafusado na Caixa inferior.	Base separada da caixa. Moega necessita de suporte de acoplamento no Alimentador de capim.	Maior inclinação do alimentador de capim. Saída de grãos do mesmo lado da saída de capim.

Fonte - Adaptado de Erixon (1996)

Quadro 22 - Matriz do Benchmark (continuação 2)

	PP 1 - Componentes simplificados e/ou integrados;	PP 2 - Materiais e processos de fabricação padronizados;	PP 3 - Componentes modularizados entre os produtos da família;	PP 4 - Componentes implementados *	PP 5 - Interfaces de montagem e regulagem de fácil acesso;	PP 6 - Arquitetura simplificada e/ou modular;	PP 7 - Arquitetura estável, segura e ergonomicamente bem planejada.
PICOTADOR / TRITURADOR (tamanho 3) Produção média: capim 2000kg/h e grãos 120kg/h							
 LABOREMUS FS3S	Alimentador de capim composto de 2 peças. Saída de capim integrada à caixa superior.	Base do motor elétrico em chapa em cantoneira	Alimentadores, Base do motor elétrico e Rotor	Nenhum componente implementado	Registro de saída de capim e do Alimentador de grãos	Alimentador de grãos não necessita suporte de acoplamento no Alimentador de capim.	Base estreita em relação ao volume superior da máquina, gerando instabilidade. Saída de grãos do mesmo lado do alimentador.
 TRAPP TRF 600 /650	Caixa superior composta apenas por 1 peça. Caixa inferior composta por 2 peças. Saída de capim integrada à caixa superior.Registro do Alimentador (Chapa basculante).	Base de chapa cortada em plasma e coformada em viradeira. Estampagem profunda para a conformação da Caixa superior.	Caixa, Moega e Alimentador.	Moega	Alimentador de capim móvel parafusado na Caixa inferior.	Base separada da caixa.Moega necessita de suporte de acoplamento no Alimentador de capim.	Maior inclinação do alimentador de capim. Saída de grãos do mesmo lado do alimentador.
 CREMASCO DP.2	Caixa superior composta apenas por 1 peça. Caixa inferior composta por 2 peças. Saída de capim integrada à caixa superior.Registro do Alimentador (Chapa basculante).	Base de chapa cortada em plasma e coformada em viradeira. Estampagem profunda para a conformação da Caixa superior.	Caixa, Moega e Alimentador.	Moega	Alimentador de capim móvel parafusado na Caixa inferior.	Base separada da caixa.Moega necessita de suporte de acoplamento no Alimentador de capim.	Maior inclinação do alimentador de capim. Saída de grãos do mesmo lado do alimentador.
 JF JF 5D	Caixa superior composta apenas por 1 peça. Caixa inferior composta por 2 peças. Registro do Alimentador (Chapa basculante).	Base de chapa cortada em plasma e coformada em viradeira. Estampagem profunda para a conformação da Caixa superior.	Caixa, Moega e Alimentador.	Moega	Alimentador de capim móvel parafusado na Caixa inferior.	Base separada da caixa.Moega necessita de suporte de acoplamento no Alimentador de capim.	Maior inclinação do alimentador de capim. Saída de grãos do mesmo lado da saída de capim.

Fonte - Adaptado de Erixon (1996)

Quadro 23 - Matriz do Benchmark (continuação 3)

	PP 1 - Componentes simplificados e/ou integrados;	PP 2 - Materiais e processos de fabricação padronizados;	PP 3 - Componentes modularizados entre os produtos da família;	PP 4 - Componentes implementados *	PP 5 - Interfaces de montagem e regulagem de fácil acesso;	PP 6 - Arquitetura simplificada e/ou modular;	PP 7 - Arquitetura estável, segura e ergonomicamente bem planejada.
FATIADOR (tamanho 2) Produção média: palma 3000kg/h e mandioca 2000kg/h							
 LABOREMUS FP1001R	Alimentador e Caixa superior integradas.	Base do motor elétrico em chapa cortada no plasma e coformada na viradeira.	Alimentador, Base do motor elétrico e Rotor	Nenhum componente implementado	Acoplamento Rotor/ Caixa inferior	Alimentador e Caixa superior integradas	Alimentador inclinado
 TRAPP JK 500	Defletor do fluxo de saída. Base de motor elétrico integrada a Base da máquina.	Base em chapa cortada no plasma e coformada na viradeira.	Alimentador/ Caixa superior, Caixa inferior e Protetor de correias	Nenhum componente implementado	Regulagem da tração da correia / alinhamento de polias de difícil acesso	Base da máquina separada da Caixa inferior	Alimentador vertical
FATIADOR (tamanho 3) Produção média: palma 4000kg/h e mandioca 3000kg/h							
 LABOREMUS FP3001R	Alimentador e Caixa superior integradas	Base do motor elétrico em chapa cortada no plasma e coformada na viradeira.	Alimentador, Base do motor elétrico e Rotor	Nenhum componente implementado	Acoplamento Rotor/ Caixa inferior	Alimentador e Caixa superior integradas	Alimentador inclinado
 NOQUEIRA SERTANEJA	Alimentador e Caixa superior integradas. Calha de saída e Caixa inferior integradas	Base em chapa cortada no plasma e coformada na viradeira. Componentes da Caixa curvados em calandra.	Nenhum componente modularizado	Nenhum componente implementado	Acoplamento Rotor/ Caixa inferior	Alimentador e Caixa superior integradas. Calha de saída e Caixa inferior integradas	Alimentador inclinado

Fonte - Adaptado de Erixon (1996)

Quadro 24 - Matriz do Benchmark (continuação 4)

	PP 1 - Componentes simplificados e/ou integrados;	PP 2 - Materiais e processos de fabricação padronizados;	PP 3 - Componentes modularizados entre os produtos da família;	PP 4 - Componentes implementados *	PP 5 - Interfaces de montagem e regulagem de fácil acesso;	PP 6 - Arquitetura simplificada e/ou modular;	PP 7 - Arquitetura estável, segura e ergonomicamente bem planejada.
Forrageira conjugada (tamanho 2) Produção média: capim 1000kg/h, grãos 60kg/h e palma 3000kg/h							
 <p>LABOREMUS MC1N</p>	<p>Alimentador de capim composto de 2 peças. Alimentador de grãos composto de 2 peças. Defletor de saída de palma.</p>	<p>Base do motor elétrico em chapa cortada no plasma e coformada na viradeira.</p>	<p>Alimentadores, Base do motor elétrico e Rotor</p>	<p>Nenhum componente implementado</p>	<p>Alimentador de capim móvel parafusado.</p>	<p>Alimentador de grãos sem suporte de acoplamento no Alimentador de capim. Caixas superiores de Capim e de Palma diferentes das versões separadas (Picotador e Fatiador)</p>	<p>Alimentador de palma vertical. Saída de grãos do mesmo lado do alimentador.</p>
 <p>LABOREMUS MC1001N</p>	<p>Alimentador de capim composto de 2 peças. Alimentador de grãos composto de 2 peças. Alimentador de palma e Caixa superior integradas</p>	<p>Base do motor elétrico em chapa cortada no plasma e coformada na viradeira.</p>	<p>Alimentadores, Base do motor elétrico e Rotor</p>	<p>Nenhum componente implementado</p>	<p>Alimentador de capim móvel parafusado. Acoplamento do Alimentador de grãos. Regulagem de tração de correias e alinhamento de polias.</p>	<p>Alimentador de grãos sem suporte de acoplamento no Alimentador de capim. Caixa superior e inferior de Capim inferior de Palma diferentes das versões separadas (Picotador e Fatiador)</p>	<p>Alimentador de palma inclinado. Saída de grãos do mesmo lado do alimentador.</p>
 <p>TRAPP JK700/ JK700G</p>	<p>Defletor do fluxo de saída. Base de motor elétrico integrada a Base da máquina.</p>	<p>Base em chapa cortada no plasma e coformada na viradeira.</p>	<p>Alimentador/ Caixa superior, Caixa inferior de palma, Caixa inferior de capim e Protetor de correias</p>	<p>Moega</p>	<p>Regulagem da tração da correia / alinhamento de polias de difícil acesso</p>	<p>Base da máquina separada das Caixas inferiores</p>	<p>Alimentador de palma vertical</p>

Fonte - Adaptado de Erixon (1996)

Quadro 25 - Matriz do Benchmark (continuação 5)

	PP 1 - Componentes simplificados e/ou integrados;	PP 2 - Materiais e processos de fabricação padronizados;	PP 3 - Componentes modularizados entre os produtos da família;	PP 4 - Componentes implementados *	PP 5 - Interfaces de montagem e regulagem de fácil acesso;	PP 6 - Arquitetura simplificada e/ou modular;	PP 7 - Arquitetura estável, segura e ergonomicamente bem planejada.
Forrageira conjugada (tamanho 3) Produção média: capim 3000kg/h, grãos 60kg/h e palma 3000kg/h							
 <p>LABOREMUS MC3N</p>	<p>Alimentador de capim composto de 2 peças. Alimentador de grãos composto de 2 peças. Defletor de saída de palma.</p>	<p>Base do motor elétrico em chapa cortada no plasma e coformada na viradeira.</p>	<p>Alimentadores, Base do motor elétrico e Rotor</p>	<p>Nenhum componente implementado</p>	<p>Alimentador de capim móvel parafusado.</p>	<p>Alimentador de grãos sem suporte de acoplamento no Alimentador de capim. Caixas superiores de Capim e de Palma diferentes das versões separadas (Picotador e Fatiador)</p>	<p>Alimentador de palma vertical. Saída de grãos do mesmo lado do alimentador.</p>
 <p>LABOREMUS MC1001N</p>	<p>Alimentador de capim composto de 2 peças. Alimentador de grãos composto de 2 peças. Alimentador de palma e Caixa superior integradas</p>	<p>Base do motor elétrico em chapa cortada no plasma e coformada na viradeira.</p>	<p>Alimentadores, Base do motor elétrico e Rotor</p>	<p>Nenhum componente implementado</p>	<p>Alimentador de capim móvel parafusado. Acoplamento do Alimentador de grãos. Regulagem de tração de correias e alinhamento de polias.</p>	<p>Alimentador de grãos não necessita suporte de acoplamento no Alimentador de capim. Caixa superior e inferior de Capim inferior de Palma diferentes das versões separadas (Picotador e Fatiador)</p>	<p>Alimentador de palma inclinado. Saída de grãos do mesmo lado do alimentador.</p>

Fonte - Adaptado de Erixon (1996)

ANEXO 1 - ÁRVORE DE FUNÇÕES

Segundo Baxter (2011) a Árvore de Funções é um método de análise sistemática das funções exercidas por um produto, e exige o conhecimento de seu funcionamento.

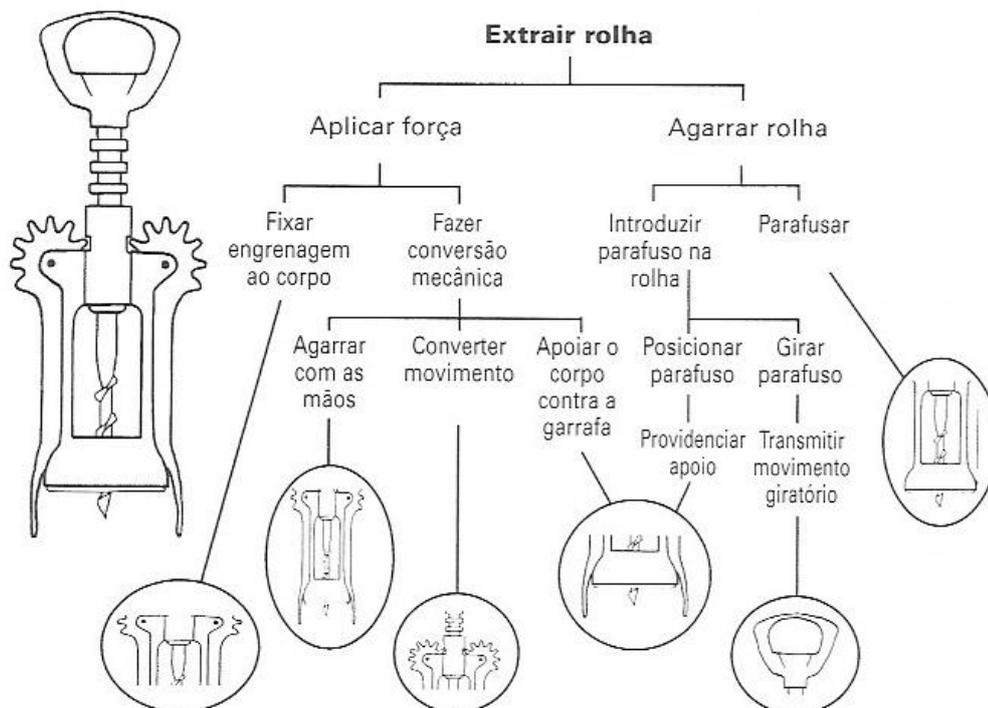
A ferramenta consiste em uma técnica de divisão da estrutura funcional do produto, que tem como objetivo encontrar as Soluções Técnicas correspondentes as funções secundárias, e é composto por cinco atividades, quais sejam:

- a. Listar as Funções - Elaborar uma lista de todas as funções do produto sob o ponto de vista do usuário, descrevendo as funções de forma concisa usando duas ou três palavras, combinando verbo com substantivo. Para isso, deve-se perguntar o que o produto "faz" e não apenas o que o produto "é". Deve-se prosseguir com o processo até se esgotar todas as funções de todas as partes do produto;
- b. Selecionar a Função Principal - À partir da Função Principal do produto, a razão de sua existência do ponto de vista do consumidor, ordenar as funções obtidas de forma lógica e hierárquica, em uma estrutura gráfica similar a uma árvore. Construindo a chamada Árvore de Funções, que pode ser de cima para baixo ou da esquerda para a direita;
- c. Selecionar as Funções Básicas - No nível abaixo ou à direita da função principal são posicionadas as funções básicas, que se relacionam com a função principal de duas formas: 1) são essenciais para a função principal; e 2) são causas diretas da ocorrência da função principal;
- d. Ordenar as Funções Secundárias - Os outros níveis da Árvore de Funções são construídos com as funções secundárias perguntando-se: como essa função é realizada? Em cada nível, as funções são causa direta, essenciais para a função de nível superior. O processo de divisão da funções secundárias é repetido até obterr-se uma lista de funções que não podem ser subdivididas em outras, de forma lógica. Geralmente essas funções se referem a características mais simples ou componentes unitários do produto, e se caracterizam como as Soluções Técnicas;

- e. Conferir a *Árvore de Funções* - Após a construção da *Árvore de Funções* deve-se fazer uma verificação, fazendo-se a pergunta "Como?". Começando com a função principal, movendo-se na direção das *Soluções Técnicas*. O funcionamento de uma função deve ser explicada pelas funções de nível posterior a ela.

Um exemplo de divisão da arquitetura de um produto em *Soluções Técnicas*, por meio da *Árvore de Funções* é demonstrado na Fig.4.

Figura 4 - *Árvore de Funções* de um Saca-Rolhas

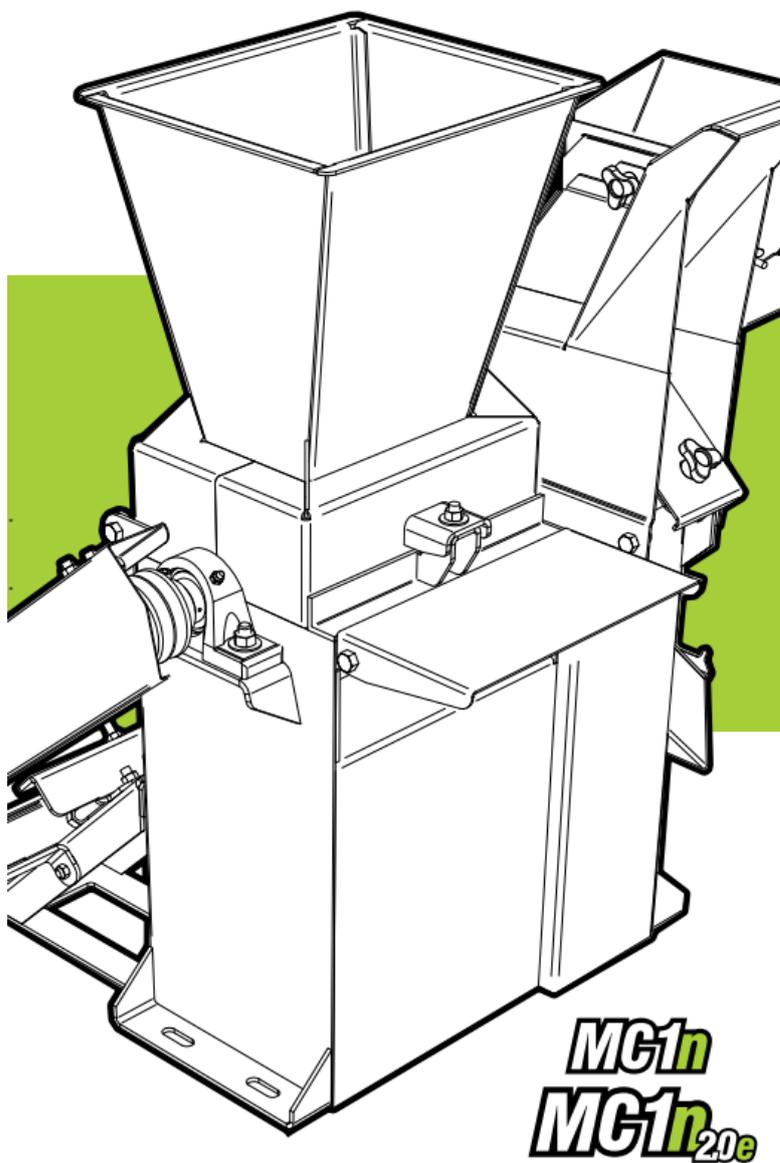


Fonte: Baxter (2011)

ANEXO 2 - MANUAL TÉCNICO DA FORRAGEIRA CONJUGADA

LABOREMUS

A Marca do AGRONEGÓCIO



MG1n
MG1n_{2.0e}

MANUAL DE UTILIZAÇÃO
PICADOR TRITURADOR CONJUGADO

IMPORTANTE

Sr. proprietário, este manual tem por finalidade auxiliá-lo nas operações que envolvem os nossos produtos. Sendo este, seu guia de segurança e informação. Ele contém as instruções necessárias de montagem, segurança, funcionamento e manutenção, que devidamente observadas, terão a garantia de um bom rendimento e durabilidade do produto.

A indústria **LABOREMUS** disponibiliza aos seus clientes, através de nossos endereços, solução a quaisquer dúvidas, oferecendo-lhes assistência técnica rápida e eficiente durante a vida útil de nossos produtos.

É recomendável antes de qualquer manuseio com o equipamento, a leitura deste manual por inteiro.

As máquinas **LABOREMUS** tem projeto e controle de fabricação que garantem alta durabilidade e eficiência, que serão mantidas em níveis ótimos se a máquina tiver a correta manutenção durante toda sua vida útil.



Leia o manual de instruções antes de utilizar o seu equipamento. Proceda conforme suas indicações e o guarde para consultas posteriores, para terceiros ou para quem possa vir a utilizar o equipamento.

APRESENTAÇÃO

A **MC1n / MC1n 2.0e** é uma máquina conjugada versátil com estrutura robusta que, através do acionamento de um único motor reúne as funções das máquinas **frrageiras** e **fatiadeiras**. É capaz de moer e picar material verde e seco, como: capim, cana, sorgo, maniva, raízes, tubérculos, dentre outras. Fatia com precisão e sem machucar: mandioca, palma frrageira como também o seu tronco*. Possui um conjunto de peneiras com furos de **1.00, 3.18, 6.35 e 12.7mm**, permitindo ao usuário triturar grãos com excelência e rapidez, sendo ideal para a preparação de rações e alimentos.

DADOS TÉCNICOS

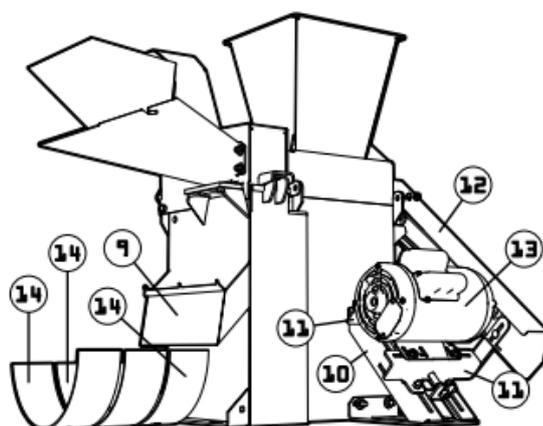
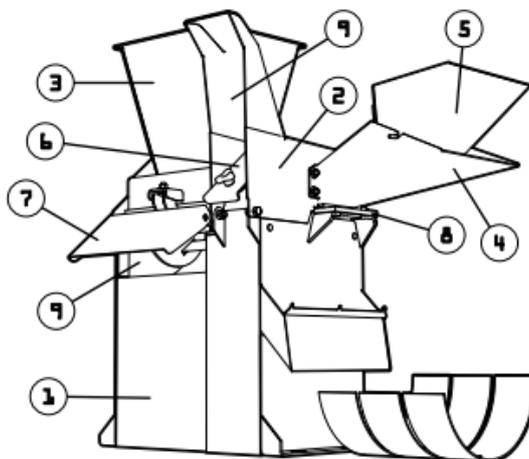
Modelo	MC1n	MC1n 2.0e
Rotação de trabalho	2600rpm	2600rpm
Polia da máquina	80mm A2	80mm A2
Motor	Item não incluso	2,0cv
Polia do motor	Item não incluso	60mm A2
Correias	Item não incluso	A39
Acionamento	Motor Elétrico	Motor Diesel / Gasolina
Rotação	3500rpm	2000 a 3500rpm
Potência	2,0 a 3,0cv	5,0cv
Polia recomendada	60mm A2	Ver cálculo**
Produtos	Produção (Kg/h)	
Capim / Cana	800 a 1000	
Xerém Fino (Peneira com furos de 3,18mm)	100 a 150	
Xerém Grosso (Peneira com furos de 6,35mm)	250 a 300	
Milho em espiga (Peneira com furos de 12,7mm)	300 a 400	
Palma frrageira	até 3000	
Mandioca	até 2000	

*Para o tronco de palma, se faz necessário o corte prévio do mesmo antes de introduzi-lo pelo alimentador da sua **MC1n / MC1n 2.0e**. Esta operação visa diminuir o risco de sobrecarga em seu equipamento e consequentemente aumentar sua vida útil.

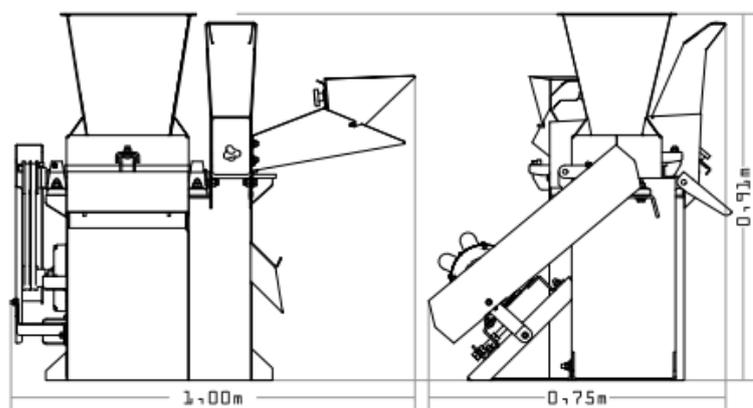
Para calcular do tamanho da polia para motor diesel ou gasolina, utilizar a regra (fórmula): **diâmetro da polia motora x rotação da polia motora = diâmetro da polia movida x rotação da polia movida.



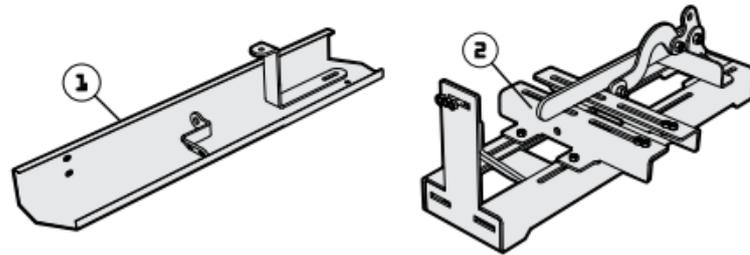
Nunca utilize na sua **MC1n / MC1n 2.0e** um motor fora das especificações.

CONFIGURAÇÃO DA SUA MC1n / MC1n 2.0e


1. Caixa inferior	8. Contra-faca
2. Caixa superior para capins	9. Bicas para saída de produto
3. caixa superior para palma	10. Base para motor elétrico
4. Alimentador para capins	11. Travessas da base para motor
5. Moega para grãos	12. Protetor de correias
6. Tampa de vedação	13. Motor 2.0cv (MC1n 2.0e)
7. Direcionador de fluxo	14. Peneiras

DIMENSÕES


ACESSÓRIOS OPCIONAIS



1. Proteção de correias para base diesel e gasolina
2. Base para motor diesel e gasolina

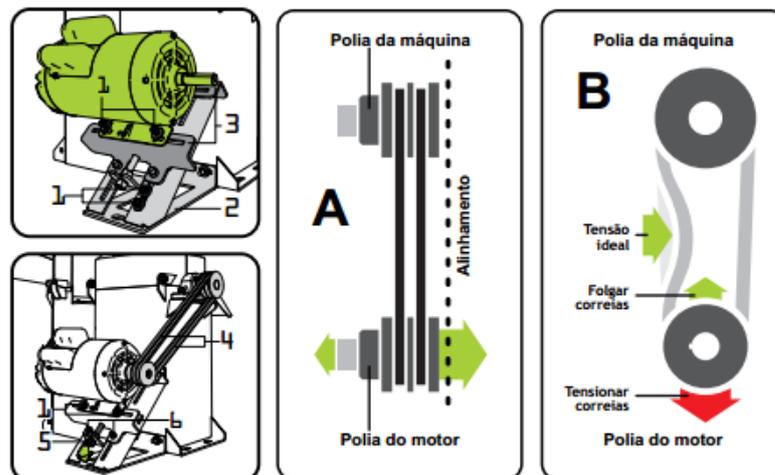
INSTALAÇÃO DO MOTOR E ALINHAMENTO DAS CORREIAS

Para a instalação do motor e o alinhamento das correias, siga os procedimentos abaixo:

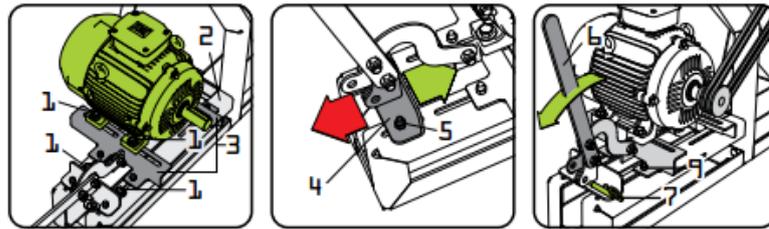
- a) afrouxe e retire os parafusos de fixação do motor (1) que encontram-se dispostos na base elétrica (2);
- b) posicione o motor nas travessas da base elétrica (3);
- c) encaixe os parafusos de fixação do motor (1), mas não os aperte;
- d) acomode as correias (4) nas polias do motor e do rotor da sua MC1n / MC1n 2.0e;
- e) faça o alinhamento das polias utilizando como auxílio uma “régua”. Através do gráfico (A) é possível exemplificar o seu alinhamento;

Base para motor elétrico

- f) aperte os parafusos de fixação do motor (1);
- g) observe o nível de tensão através do gráfico (B);
- h) aperte o parafuso de tração da base elétrica (5) para tensionar corretamente as correias (4) e por último os parafusos da base elétrica (6);
- i) verifique se houve folga nas correias após as primeiras horas de trabalho, caso tenha ocorrido, será necessário tencioná-las novamente.

**Base para motor diesel e gasolina**

- f) posicione a base da alavanca tensionadora (4) e aperte os parafusos de fixação (5);
- g) puxe a alavanca tensionadora (6) até conseguir o nível de tensão recomendado pelo gráfico B, realize o travamento da alavanca tensionadora com o pino de travamento (7);
- h) caso não consiga atingir o nível de tensão recomendado pelo gráfico B e realizar o travamento da alavanca tensionadora com o pino de travamento (7), repita os procedimentos E e F até realizá-los;
- i) aperte os parafusos de fixação das travessas da base para motor (8);
- j) verifique se houve folga nas correias após as primeiras horas de trabalho, caso tenha ocorrido, será necessário tencioná-las novamente.

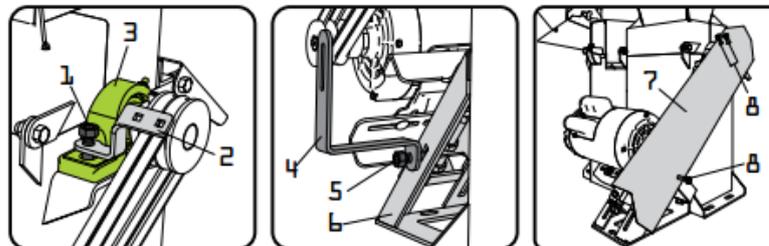


As correias não devem ficar tensionadas em demasia, pois a sua vida útil como também seus rolamentos serão comprometidos. O ideal é que a face superior de uma das correias, quando pressionada, fique nivelada com a face inferior da outra correia.

INSTALAÇÃO DO CONJUNTO DE PROTEÇÃO PARA CORREIAS

Após a instalação do motor e alinhamento das correias, faz-se necessário a instalação do conjunto de proteção para correias, para a instalação do conjunto, siga o procedimento abaixo:

- afrouxe e retire o parafuso de fixação (1) do mancal do rotor (3) que está próximo à dobradiça da caixa superior para palmas;
- posicione o suporte da proteção para correias (2) no mancal do rotor (3);
- aperte o parafuso de fixação (1) do mancal do rotor (3) para prender o suporte da proteção para correias (2);
- posicione o suporte da proteção para correias (4) na lateral da base elétrica (6);
- encaixe o parafuso (5) mas não o aperte;
- posicione a proteção para correias (7) nos respectivos suportes (2 e 4);
- encaixe e aperte os parafusos de fixação (8).



PARTIDA E PARADA DA MÁQUINA



Sempre que for colocar a máquina em funcionamento, verifique com atenção o que está disposto nos itens da lista abaixo:

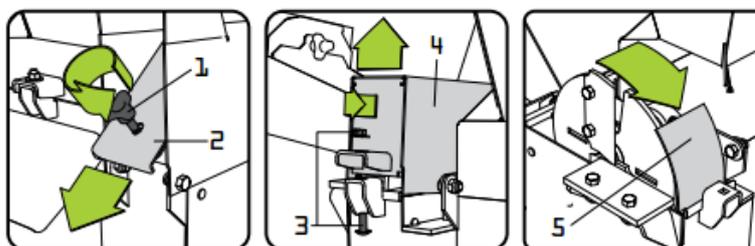
- se não há objetos dentro da bica de alimentação ou sobre a máquina;
 - se o sentido de rotação está correto;
 - se a distância entre a faca e a contra-faca está correta (aproximadamente ...3mm);
 - se a peneira é adequada para o material a ser processado;
 - se não há pessoas em frente às bicas de saída de material.
- acionar a máquina somente quando estiver vazia e após checados os itens no quadro acima;
 - iniciar a alimentação apenas quando for atingida a rotação de trabalho;
 - não parar a máquina quando esta estiver sendo alimentada, ou quando ainda possuir material em seu interior.

PREPARAÇÃO PARA O CORTE, FATIAMENTO E MOAGEM DE MATERIAL

CORTE DE FORRAGENS

Para o corte de forragens, siga o procedimento abaixo:

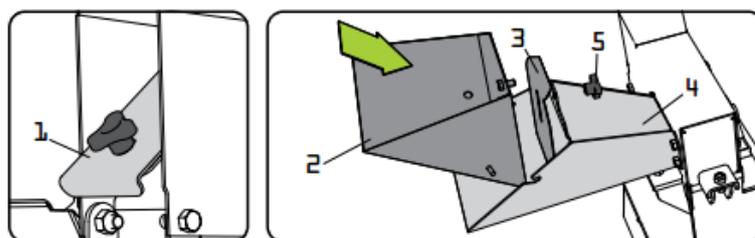
- afrouxe e retire o manípulo (1);
- retire a tampa de vedação da caixa superior (2), deslizando-a para baixo;
- afrouxe e retire o parafuso de travamento da caixa superior (3);
- levante a caixa superior (4);
- certifique-se que a tampa curva (5) da caixa inferior esteja inserida na sua MC1n / MC1n 2.0e, caso não esteja, providencie sua instalação;
- baixe a caixa superior (4);
- encaixe e aperte o parafuso de travamento da caixa superior (3);
- inicie a operação.



MOAGEM DE GRÃOS

Para moagem de grãos, siga os procedimentos abaixo:

- certifique-se que a tampa de vedação da caixa superior (1) esteja fechada;
- posicione a moega (2) e o regulador de fluxo de grãos (3) no alimentador da caixa superior (4);
- aperte o manípulo (5) para firmar a moega e o regulador de fluxo de grãos no alimentador da caixa superior;
- inicie a operação.



A alimentação com material para ser processado na máquina deve ser constante e em quantidade suficiente para manter a máquina em trabalho contínuo, evitando sobrecarga ou falta de material.

SUBSTITUIÇÃO DAS PENEIRAS / TAMPA CURVA

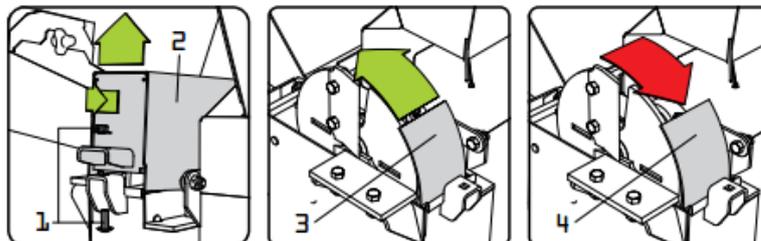


Para que não haja risco do equipamento entrar em funcionamento acidentalmente, antes de realizar qualquer manutenção ou substituição de acessórios, certifique-se que a chave elétrica esteja devidamente desligada e que o motor e as demais partes móveis estejam parados.

Sua MC1n / MC1n 2.0e dispõe de quatro peneiras para triturar grãos e uma tampa curva para o corte de forragens. Para substituí-las, siga o procedimento abaixo:

- afrouxe e retire o parafuso de travamento da caixa superior (1);

- b) levante a caixa superior (2);
- c) remova a peneira/tampa curva (3) deslizando-a para fora;
- d) encaixe a peneira/tampa curva substituta (4);
- e) baixe a caixa superior (2);
- f) encaixe e aperte o parafuso de travamento da caixa superior (1).

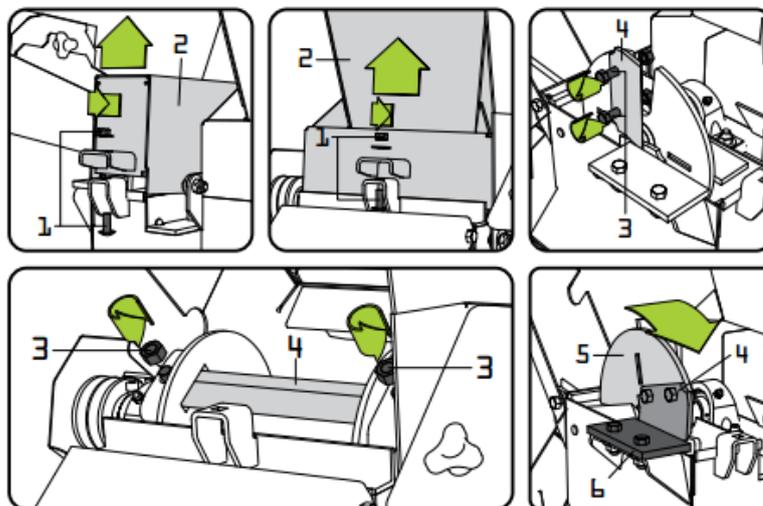


SUBSTITUIÇÃO E AFIAÇÃO DAS FACAS

As facas devem ser afiadas ou substituídas sempre que estiverem com o fio gasto (arredondado), para substituí-las ou realizar sua manutenção siga os procedimentos abaixo:

Substituição:

- a) afrouxe e retire o parafuso de travamento da caixa superior (1);
- b) levante a caixa superior (2);
- c) afrouxe e retire os parafusos de fixação das facas (3);
- d) remova as facas (4);
- e) realize a manutenção das facas (4) ou substitua por novas;
- f) encaixe e aperte parafusos de fixação das facas (3);
- g) gire o rotor (5) manualmente e verifique se a distância de 3mm entre as facas (6) e a contra-faca (7) está correta. Caso não esteja, a contra-faca deverá ser ajustada.



Afiação:

- a) prenda as facas (4) firmemente em uma morsa;
- b) utilize apenas ferramentas destinadas para afiar, como limas ou esmeris;
- c) para que a afiação seja bem sucedida, mantenha o ângulo de afiação sempre em 30°.

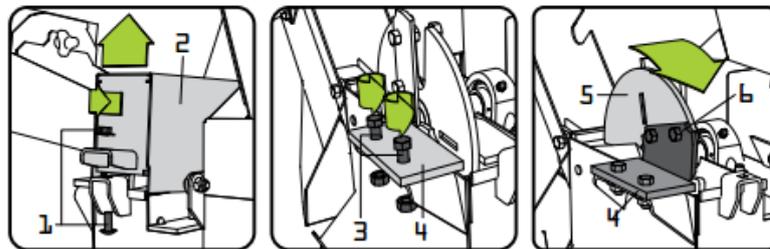


SUBSTITUIÇÃO, AJUSTE E AFIÇÃO DA CONTRA-FACA

A contra-faca deve ser afiada ou substituída sempre que estiver com o fio gasto (arredondado), para substituí-la, ajustá-la ou realizar sua manutenção siga os procedimentos abaixo:

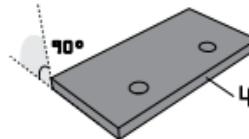
Substituição e ajuste:

- afrouxe e retire o parafuso de travamento da caixa superior (1);
- levante a caixa superior (2);
- afrouxe e retire os parafusos de fixação da contra-faca (3);
- remova a contra-faca (4);
- realize a manutenção da contra-faca (4) ou substitua por uma nova;
- encaixe e aperte parafusos de fixação da contra-faca (3);
- gire o rotor (5) manualmente e verifique se a distância de 3mm entre as facas (6) e a contra-faca (4) está correta. Caso não esteja, a contra-faca deverá ser ajustada.



Afiação:

- prenda a contra-faca (4) firmemente em uma morsa;
- utilize apenas ferramentas destinadas para afiar, como limas ou esmeris;
- para que a afiação seja bem sucedida, mantenha o ângulo de afiação sempre em 90°.

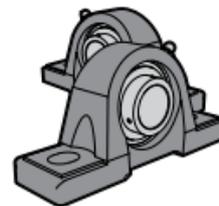


1. Quando não for mais possível ajustar e/ou afiar as facas e contra-faca, as mesmas devem ser substituídas por novas, genuínas LABOREMUS;

- Para manter o corte sempre preciso, ao realizar a afiação das facas, deve-se também realizar a afiação da contra-faca e vice-versa;
- Não recomenda-se combinar facas antigas com novas, isso irá desbalancear o rotor da sua Mc1n / Mc1n 2.0e;
- Verifique sempre se os parafusos das facas e contra-faca estão apertados.

LUBRIFICAÇÃO DOS ROLAMENTOS

Sendo a sua MC1n / MC1n 2.0e muito utilizada ou não, a lubrificação dos rolamentos dos mancais deve ser realizada semanalmente ou a cada 8 horas de trabalho da máquina (o que acontecer primeiro) com graxa MPA2. Lubrificar os rolamentos dos mancais nos períodos recomendados por esse manual é de extrema importância, pois só assim você garantirá seu total funcionamento como também reduzirá o risco de desgaste prematuro das peças da sua MC1n / MC1n 2.0e.



PRODUTOS ORIGINAIS LABOREMUS (garantia de qualidade)

Utilizando os nossos produtos de reposição originais, você proprietário, estará adquirindo maior segurança e qualidade no beneficiamento diário de seus produtos.

PRODUTO ORIGINAL
GARANTIA DE QUALIDADE

AVISOS DE SEGURANÇA



- O equipamento não deve ser colocado em funcionamento se o cabo elétrico ou partes importantes do equipamento como, por exemplo, dispositivos de segurança, estiverem danificados.
- Antes de qualquer utilização do equipamento, verificar se o cabo elétrico e o plugue não apresentam quaisquer danos. O cabo danificado tem que ser imediatamente substituído pela assistência técnica ou por um electricista autorizado.
- O equipamento só deve ser ligado a uma conexão elétrica executada por um electricista, conforme NBR 5410.
- Evite colocar o equipamento em funcionamento em áreas com perigo de explosão.
- Na utilização do equipamento em zonas de perigo, deverão ser observadas as respectivas normas de segurança.
- Os plugues de um cabo de extensão devem ser estanques e não podem ser colocados em contato com a água. Cabos de extensão não apropriados podem ser perigosos. Utilize unicamente cabos de extensão com uma bitola suficiente e devidamente identificada: de 1 à 10 metros utilizar cabos com bitola de 1,5 mm² e de 10 à 30 metros utilizar cabos com bitola de 2,5 mm².
- O cabo de extensão deve ser completamente desenrolado.
- Este equipamento não é adequado para a utilização por pessoas com capacidades físicas, sensoriais e psíquicas reduzidas. Este equipamento não deve ser utilizado por crianças, pessoas não instruídas ou pessoas que tenham ingerido bebida alcoólica.
- O usuário deve usar o equipamento de acordo com as especificações. Deve levar em conta as condições locais e a movimentação de pessoas nas proximidades.
- Não utilizar o equipamento se outras pessoas se situarem no raio de ação do mesmo, a não ser que estas utilizem equipamentos de proteção.
- Nunca deixar o equipamento sem vigilância enquanto o mesmo estiver em funcionamento.
- No caso de longas interrupções de funcionamento deve-se desligar o equipamento, retirando o plugue da tomada.

PROTEÇÃO DO MEIO AMBIENTE



Os equipamentos antigos contém materiais recicláveis e devem ser reutilizados. Por isso, descarte os equipamentos antigos através de sistemas de coleta de lixo adequados.

ANEXO 3 - CATÁLOGO DE PRODUTOS

Picador Triturador LB2n Laboremus

Versão: **LB2n/2.0e**

Forrageira com alto potencial produtivo, ideal para preparação de ração animal a partir de diversas matérias-primas.



Versátil

Corta produtos secos ou verdes e tritura grãos em uma única máquina.



Sistema de Peneiras

Tritura grãos em diferentes tamanhos, para preparação de vários tipos de alimentos.



Capim	Milho			
				
Corte com navalhas	Grânulo com peneira 1.60 mm	Grânulo com peneira 3.18 mm	Grânulo com peneira 6.35 mm	Grânulo com peneira 12.7 mm

E mais:

- Pintura epóxi para mais resistência e durabilidade.
- Motor intermitente para forrageiras Nova Motores.
- Melhor manutenção e assistência técnica para peças e acessórios.
- Motor e chave liga/desliga de fábrica. E só ligar e usar!

Produção:

Produto	(kg/h)
Capim/Cana	500 a 600
Fubá (1.6 mm)	50 a 60
Xerém fino (3.18 mm)	200 a 250
Xerém grosso (6.35 mm)	130 a 180
Milho em espiga (12.7 mm)	130 a 180

Dados Técnicos:

Motor elétrico
Potência: 2,0 CV
Rotação: 3500 rpm

Picador Triturador FS3s Laboremus

Versão: FS3s

Forrageira eficaz e com robustez superior. Ideal para preparação de rações e alimentos.



Versátil e eficaz

Picota e tritura milho e forragens verdes e secas em uma só máquina.



Sistema de Peneiras

Tritura grãos em diferentes tamanhos e também milho com palha e espiga, fazendo xerém e fubá.



Capim

Milho



Corte com navalhas



Grânulo com peneira 1.60 mm



Grânulo com peneira 3.18 mm



Grânulo com peneira 6.35 mm



Grânulo com peneira 12.7 mm

Produção:

Produto	(kg/h)
Capim/Cana	2800 a 3200
Fubá (1.6 mm)	360 a 440
Xerém fino (3.18 mm)	600 a 700
Xerém grosso (6.35 mm)	600 a 850
Milho em espiga (12.7 mm)	250 a 300

Dados Técnicos:

Motor elétrico	Motor a diesel/gás
Potência: 7,5 a 10,0 CV	Potência: 8,0 a 10,0 CV
Rotação: 3500 rpm	Rotação: 2000 a 3500 rpm
Rotação da máquina: 2600 rpm	

Fatiador FP1001n Laboremus

Fatiadeira exclusiva que permite 4 tipos de corte diferentes apenas com a mudança do kit de navalhas.



Corte sem igual

Fatia palma com precisão e sem machucar. Possui um sistema exclusivo que permite fazer 4 tipos de corte diferentes, apenas trocando o kit de navalhas.



Palma



Corte sem navalhas verticais



Corte com 1 navalha vertical



Corte com 3 navalhas verticais



Corte com 7 navalhas verticais

Mandioca



Corte sem peneira



Corte com peneira 6,35 mm

Maniva



Corte sem peneira



Corte com peneira 6,35 mm

E mais:

- Pintura epóxi para mais resistência e durabilidade.
- Mancais autocompensadores para mais durabilidade.
- Proteção de correias de acordo com a norma de trabalho NR12.
- Melhor manutenção e assistência técnica para peças e acessórios.

Produção:

Produto	(kg/h)
Palma	Até 3000
Mandioca	Até 2000

Dados Técnicos:

Motor elétrico	Motor a diesel/gás
Potência: 2,0 a 3,0 CV	Potência: 5,0 CV
Rotação: 3500 rpm	Rotação: 2000 a 3500 rpm
Rotação para corte: 2625 rpm	

Picador Triturador Conjugado MC1n Laboremus

Versões: MC1n e MC1n/2.0e

Máquina conjugada com desempenho e robustez superiores. Picador e triturador acionados por um único motor.



Precisão e eficiência

Picota e tritura milho e forragens verdes e secas, além de fatiar a palma sem machucar. Tudo isso em uma só máquina.



Sistema de Peneiras

Tritura grãos em diferentes tamanhos e também milho com palha e espiga, fazendo xerém e fubá.



Milho			
Grânulo com peneira 1.60 mm	Grânulo com peneira 3.18 mm	Grânulo com peneira 6.35 mm	Grânulo com peneira 12.7 mm
Capim	Palma	Mandioca	
Corte com 2 navalhas	Corte com 2 navalhas horizontais	Corte com 2 navalhas horizontais	

E mais:

- Pintura epóxi para mais resistência e durabilidade.
- Mancais autocompensadores para mais durabilidade.
- Proteção de correias de acordo com a norma de trabalho NR12.
- Melhor manutenção e assistência técnica para peças e acessórios.

Na versão 2.0e acompanha:

- Motor intermitente de 2.0 cv para forrageiras desenvolvido pela Nova Motores
- Motor, polia, correias e chave liga/desliga de fábrica. É só ligar e usar!

Produção:

Produto	(kg/h)
Palma	Ate 2000
Mandioca	800 a 1000
Capim/Cana	800 a 1000
Fubá (1.6 mm)	180 a 210
Xerém fino (3.18 mm)	100 a 150
Xerém grosso (6.35 mm)	130 a 180
Milho em espiga (12.7 mm)	130 a 180

Dados Técnicos:

Motor elétrico	Motor a diesel/gás
Potência: 2,0 a 3,0 CV	Potência: 5,0 CV
Rotação: 3500 rpm	Rotação: 2000 a 3500 rpm
Rotação da máquina: 2600 rpm	