

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO
PARA COMPACTAR CAVACO - BRIQUETADEIRA**

FLÁVIO LUIZ BOFF

Caxias do Sul, 2013

FLÁVIO LUIZ BOFF

**DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO
PARA COMPACTAR CAVACO - BRIQUETADEIRA**

Relatório apresentado à disciplina de Estágio II como
requisito parcial à conclusão do Curso de Graduação em
Engenharia Mecânica.
Supervisor: Prof. Msc. Ivandro Cecconello

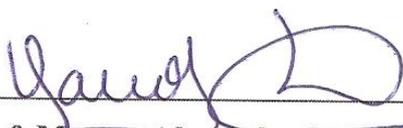
Caxias do Sul, 2013.

FLÁVIO LUIZ BOFF

**DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO
PARA COMPACTAR CAVACO - BRIQUETADEIRA**

ESTE RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO DE ENGENHARIA
MECÂNICA, NA UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL, FOI APROVADO.

Caxias do Sul, 07 de Junho de 2013.



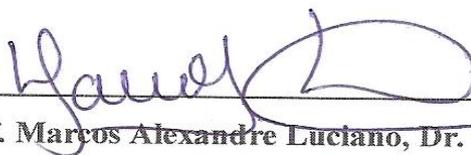
Prof. Marcos Alexandre Luciano, Dr. Eng. Prod.
Coordenador do Estágio II em Engenharia Mecânica



Prof. Ivandro Ceconello, M. Eng. Prod.
Supervisor de Estágio / Universidade de Caxias do Sul

CONCEITO FINAL:

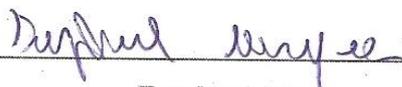
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Marcos Alexandre Luciano, Dr. Eng. Prod.
Professor Convidado / Universidade de Caxias do Sul



Prof. Sérgio da Silva Kucera, M. Eng. Materiais.
Professor Convidado / Universidade de Caxias do Sul



Raphael Marques, Eng. Mec.
Orientador / Traço Desenvolvimento Industrial

RESUMO

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um equipamento para compactação de cavaco denominado briquetadeira. Este equipamento separa em porções determinadas o material oriundo do processo de usinagem, compacta a uma pressão também determinada e extrai durante a compactação os fluidos utilizados no processo de usinagem, agregando valor ao metal. Para o desenvolvimento deste equipamento foi utilizado a teoria do Processo de Desenvolvimento de Produto e suas ferramentas. O desenvolvimento deste trabalho é dividido em nove etapas propostas. O objetivo desta sistematização é que ao final do trabalho se obtenha um equipamento que atenda os requisitos iniciais de projeto, seja de boa qualidade, baixo consumo de energia e baixo custo. Desta forma a Traço Desenvolvimento Industrial produzirá e comercializará este equipamento de acordo com a demanda de mercado.

Palavras-chave: Processo de Desenvolvimento de Produto, Briquetadeira.

ABSTRACT

The objective of this work is the development of a device for compression chip called briquetter. This equipment separates into certain portions of the material from the machining process, the pressure compresses and extracts also determined during compaction fluids used in the machining process, adding value to the metal. For the development of this equipment was used the theory of Product Development Process and its tools. The development of this work is divided into nine steps proposed. The aim of this systematic is that the end of the work is to get a device that meets the requirements of the initial project, to be of good quality, low power consumption and low cost. Thus the Traço Desenvolvimento Industrial produce and sell this equipment according to market demand.

Keywords: Product Development Process, briquetter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fases do Desenvolvimento de Produto	15
Figura 2 - Exemplo de Matriz QFD	18
Figura 3 - Subdivisões do Projeto Conceitual	20
Figura 4 - Uso Prático de Estrutura de Funções	21
Figura 5 - Exemplo de Matriz Morfológica	22
Figura 6 - Exemplo de Matriz Decisão	23
Figura 7 - Diferença entre Engenharia Sequencial e Engenharia Simultânea.....	25
Figura 8 - Esquema Funcional do Compactador Tecnobriq	27
Figura 9 - Esquema Funcional do Compactador RUF.....	28
Figura 10 - Triturador Hammel	28
Figura 11 - Briquetes de Materiais Metálicos e Inorgânicos.....	35
Figura 12 - Distribuição Geográfica das Empresas Pesquisadas.....	37
Figura 13 - Fluxograma de Etapas.....	38
Figura 14 - Dispositivo de Prensagem	45
Figura 15 - Briquete Obtido no Teste	47
Figura 16 - Desenvolvimento da Matriz QFD.....	50
Figura 17 - Função Global do Equipamento	53
Figura 18 - Estrutura de Função do Equipamento	53
Figura 19 - Matriz Morfológica.....	54
Figura 20 - Matriz Decisão.....	55
Figura 21 - Esboço do Equipamento.....	56
Figura 22 - Desenho do Briquete.....	58
Figura 23 - Sistema de Compactação.....	60
Figura 24 - Esboço da Gaveta de Fechamento	63
Figura 25 - Conjunto Desenbaraçador Triturador	64
Figura 26 - Detalhes do Conjunto Desenbaraçador Triturador	65
Figura 27 - Fresa de Corte.....	66
Figura 28 - Esforços do Eixo do Triturador	69
Figura 29 - Desenho do Equipamento Montado.....	72
Figura 30 - Montagem Parcial do Equipamento.....	74
Figura 31 - Testes do Equipamento	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características Técnicas das Briquetadeiras.....	30
Tabela 2 – A Evolução do Universo de Maquinário.....	36
Tabela 3 – Densidade dos Briquetes.....	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Exemplo de Especificação de Projeto de Produto.....	19
Quadro 2 – Relação entre Pressão Hidráulica e Força Aplicada.....	46
Quadro 3 – Necessidades do Cliente e Pontuação.....	48
Quadro 4 – Necessidades do Cliente e Requisitos de Projeto.....	49
Quadro 5 – NC's, Objetivos, Metas e Saídas Indesejáveis.....	51
Quadro 6 – Custo para Fabricar o Equipamento.....	73
Quadro 7 – Resultados Obtidos.....	76

ÍNDICE DE SIGLAS

CAD	<i>Computer Aided Design</i> – Projeto Auxiliado por Computador
CNC	Comando Numérico Computadorizado
ES	Engenharia Simultânea
QFD	<i>Quality Function Deployment</i> – Desdobramento da Função Qualidade
NR	Norma Regulamentadora
NC	Necessidade do Cliente
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto
RP	Requisito de Projeto
RPM	Rotação por Minuto
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TRDI	Traço Desenvolvimento Industrial

SUMÁRIO

1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2	JUSTIFICATIVA DO ESTÁGIO	12
1.3	OBJETIVOS	13
1.3.1	Objetivo Geral	13
1.3.2	Objetivos Específicos	14
1.4	DESCRIÇÃO DA EMPRESA E AMBIENTE DE ESTÁGIO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO	15
2.1.1	Projeto de Produto	16
2.1.2	Metodologias de Projeto	16
2.1.3	Fases do Projeto	17
2.1.3.1	Projeto Informacional	17
2.1.3.1.1	Desdobramento da Função Qualidade - QFD	17
2.1.3.1.2	Especificações do Projeto de Produto	19
2.1.3.2	Projeto Conceitual	20
2.1.3.2.1	Estrutura de Funções	21
2.1.3.2.2	Matriz Morfológica	22
2.1.3.2.3	Matriz de Decisão	23
2.1.3.3	Projeto Preliminar	24
2.1.3.4	Projeto Detalhado	24
2.1.4	Engenharia Simultânea no Desenvolvimento de Produtos	25
2.2	EQUIPAMENTOS DE BRIQUETAGEM	26
2.2.1	Conceito de Briquetagem	26
2.2.2	Patentes	26
2.2.3	Tipos de Equipamento	27
2.2.4	Principais Requisitos deste tipo de Equipamento	29
2.3	SEGURANÇA NO TRABALHO	30
2.3.1	Visão Geral	30
2.3.2	NR-10 Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade	30
2.2.3	NR-12 Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos	31
2.2.3.1	Sistema de Segurança	31
2.2.3.2	Parada de Emergência	32

2.2.3.3	Componentes Pressurizados.....	32
2.2.3.4	Transportadores de Materiais.....	32
2.2.3.5	Aspectos Ergonômicos	33
3	PLANO DE TRABALHO	34
3.1	CENÁRIO ATUAL.....	34
3.1.1	Aspectos Econômicos e Estratégicos da Empresa TRDI.....	34
3.1.2	Potencial do Produto	35
3.2	PLANO DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	37
3.2.1	Etapa 1: Levantamento de Informações.....	38
3.2.2	Etapa 2: Elaboração da Matriz QFD.....	39
3.2.3	Etapa 3: Elaboração da Estrutura de Funções.....	39
3.2.4	Etapa 4: Elaboração da Matriz Morfológica.....	39
3.2.5	Etapa 5: Elaboração da Matriz de Decisão	40
3.2.6	Etapa 6: Projeto Preliminar.....	40
3.2.7	Etapa 7: Custo Aproximado do Equipamento	41
3.2.8	Etapa 8: Projeto Detalhado.....	41
3.2.9	Etapa 9: Testes, Correções e Aprovação	42
4	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	44
4.1	ETAPA 1: LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES	44
4.2	ETAPA 2: ELABORAÇÃO DA MATRIZ QFD	49
4.3	ETAPA 3: ELABORAÇÃO DA ESTRUTURA DE FUNÇÕES	52
4.4	ETAPA 4: ELABORAÇÃO DA MATRIZ MORFOLÓGICA.....	54
4.5	ETAPA 5: ELABORAÇÃO DA MATRIZ DE DECISÃO	55
4.6	ETAPA 6: PROJETO PRELIMINAR.....	57
4.6.1	Desenvolvimento do Compactador	57
4.6.2	Desenvolvimento do Desembaraçador Triturador.....	64
4.6.3	Desenvolvimento da Estrutura e Disposição dos Componentes.....	71
4.7	ETAPA 7: CUSTOS APROXIMADOS DO EQUIPAMENTO	72
4.8	ETAPA 8: PROJETO DETALHADO	73
4.9	ETAPA 9: TESTES, CORREÇÕES E APROVAÇÃO	74
5	CONCLUSÃO	78
APENDICE A	– Diagrama hidráulico.....	83
APENDICE B	– Detalhamento Conjunto Geral	84
APENDICE C	– Detalhamento Unidade de Prensaagem	85

APENDICE D – Detalhamento Conjunto Triturador	86
ANEXO A – Catálogo do Redutor.....	87
ANEXO B – Distância de Segurança.....	88

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Inseridas em uma economia globalizada, as empresas devem buscar formas inovadoras para manter seus negócios competitivos perante seus concorrentes e perpetuá-los. Avaliar tendências, desenvolver rapidamente novos produtos, com novos métodos e processos ambientalmente corretos, estão entre as formas de se tornarem competitivas. Investir em ferramentas e equipamentos modernos e automatizados está entre os recursos necessários para dar respostas rápidas aos clientes e poder maximizar os resultados.

Desta forma a Traço Desenvolvimento Industrial – TRDI, empresa onde foi realizado o estágio, atua no desenvolvimento e fabricação de ferramentas, dispositivos e equipamentos industriais, utilizados para suprir as necessidades de seus clientes, melhorando seus produtos, métodos e processos produtivos. Estas melhorias são baseadas no desenvolvimento de técnicas, ferramentas e equipamentos específicos para cada solicitação, que atenda os requisitos necessários e torne o produto final do cliente competitivo. Além disto, a TRDI está objetivando desenvolver novos e diferenciados produtos padronizados que venham a ser produzidos em série e que tenham uma demanda estável de mercado.

1.2 JUSTIFICATIVA DO ESTÁGIO

A atuação da TRDI está no desenvolvimento de produtos e soluções em parceria com seus clientes, atuando no desenvolvimento de equipamentos especiais e ferramentas. Porém, este ramo de atividade é extremamente vulnerável as oscilações de mercado. Quando o mercado está em baixa, as empresas reduzem ou postergam seus investimentos deixando a TRDI em uma situação crítica. Devido a isto, a TRDI está expandindo seu ramo de atividades buscando também fabricar equipamentos industriais em série, ou seja, ter uma linha de produtos padronizados e com uma demanda estável.

Avaliando as atuais necessidades de mercado, e já tendo uma boa clientela neste ramo, a TRDI está com interesse em fabricar equipamentos destinados à reciclagem de aço e outros metais. Após uma pesquisa de mercado a empresa estará buscando desenvolver um equipamento para compactação de cavaco (apara de usinagem) denominado briquetadeira.

Para isto, primeiramente a empresa ouviu seus clientes e parceiros que possuem o processo de fundição dentre seus processos produtivos e observou necessidades semelhantes

quanto ao processo de reciclagem de aço. Segundo seus potenciais clientes para o equipamento, o maior ganho na reciclagem de aço não é no aproveitamento de matéria prima, nem mesmo no ganho energético em estar utilizando metal com maior densidade para alimentar o forno de fundição. O maior ganho deste processo é separar e agrupar o material de acordo com suas propriedades básicas.

Num processo básico de fundição se funde o aço ou minério de ferro e, com o material no estado líquido, se retira uma amostragem, resfria e faz análise de composição química para verificar quais os aditivos serão necessários para se obter a liga desejada. Dependendo da solicitação da peça a ser fundida, após uma correção é necessário repetir o processo até obter na amostragem em análise a liga necessária. Sendo que este processo ocorre enquanto o montante do metal está no estado líquido em alta temperatura consumindo energia e mantendo a linha de fundição parada até a obtenção da liga necessária.

Observou-se então que a grande necessidade é em agrupar metal em três grandes grupos: aços ao carbono comum; aços para beneficiamento (aços ferramenta e aços inoxidáveis); e o ferro fundido. Diante desta informação se observou a necessidade de processar o cavaco na saída das máquinas de usinagem compactando-o para diminuir o volume e facilitar o manuseio, além de separar o fluido refrigerante utilizado na usinagem que acaba sendo transportado com o cavaco. Desta forma os equipamentos para compactação podem ser de pequeno porte, pois a quantidade média de cavaco em uma máquina de produção fica entre trinta e cinquenta quilogramas por hora.

Na pesquisa realizada foi constatado que fundir um briquete com material conhecido é o mesmo que refundir uma peça com a mesma liga e o valor sugerido para este material é entre cinco a oito vezes maior que utilizar aço misturado não compactado.

A proposta de estágio é desenvolver (projetar, dimensionar e prototipar) o equipamento descrito, para ser utilizado primeiramente pela TRDI em seus processos de usinagem, mas com objetivo de torná-lo um produto a ser fabricado em série.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um equipamento para compactação de cavaco de aço e outros metais oriundos do processo de usinagem.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral definiram-se os seguintes objetivos específicos:

- a. pesquisar a fundamentação teórica relativa ao Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) para a elaboração do plano de trabalho;
- b. pesquisar aplicações e características do modo de funcionamento e dimensionamentos básicos das briquetadeiras existentes atualmente no mercado;
- c. elaborar um plano de trabalho para o desenvolvimento do projeto;
- d. acompanhar a prototipagem e testes do equipamento na ferramentaria da TRDI, para aprovação final.

1.4 DESCRIÇÃO DA EMPRESA E AMBIENTE DE ESTÁGIO

A Traço Desenvolvimento Industrial é uma empresa do setor metal mecânico situada em Caxias do Sul, voltada para o desenvolvimento de produtos, ferramental, equipamentos e dispositivos especiais. Atua no mercado desde 1995, sendo que inicialmente prestava serviços de engenharia, apenas fornecendo projetos para seus clientes. Porém, a partir de 2008 inaugurou sua própria unidade fabril. Atualmente conta com um quadro de 65 colaboradores e um parque fabril de 3.000m², onde dispõe de soluções completas para manufatura de ferramentais e maquinário demandado por seus clientes.

A empresa tem como objetivo viabilizar a transformação de ideias em produtos tangíveis, tendo em vista ser referência em soluções industriais em todos os segmentos que atua. Para isto tem investido fortemente em todos os setores da empresa, a fim de manter um crescimento sustentável. Atualmente atua nos segmentos de transporte rodoviário, construção civil, agricultura, além de utensílios em geral.

Este trabalho de conclusão de curso - TCC foi realizado no departamento de engenharia da empresa, que disponibiliza de dez estações de CAD (projeto auxiliado por computador) *Solid Edge* e uma estação de simulação de estampagem *Pan Stamp*. O desenvolvimento do equipamento foi orientado por um engenheiro mecânico da própria empresa, que já possuem grande experiência no desenvolvimento de equipamentos especiais.

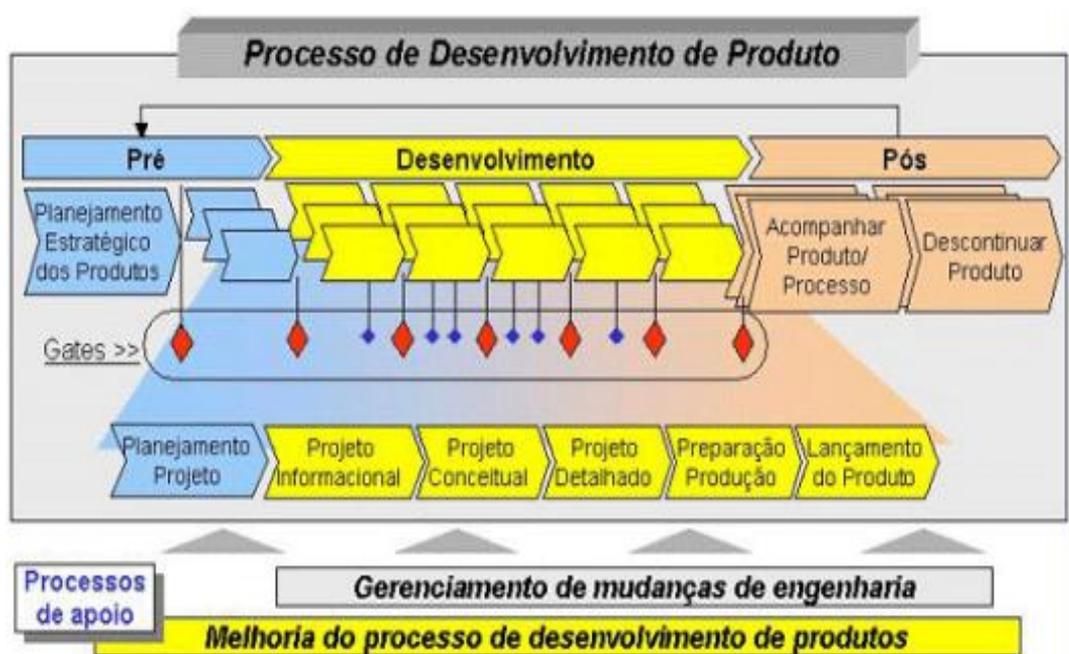
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

A vantagem competitiva de uma empresa de manufatura, em uma economia globalizada, está diretamente relacionada com sua capacidade de introduzir novos produtos no mercado, garantindo linhas de produtos atualizadas e com características de desempenho, custo e distribuição condizentes com o nível de exigência dos consumidores (MUNDIN et al. 2002). De acordo com Huston (2006), o Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) exige um gerenciamento integrado, envolvendo capacidades internas multifuncionais e externas com parcerias, para capacitar a empresa a gerar inovações que a possibilite acompanhar a necessidade de crescimento.

Forcellini (2002) separa o PDP em três fases: Pré-Desenvolvimento, Desenvolvimento e Pós-Desenvolvimento. Na Figura 1 pode-se observar estas fases e suas subdivisões, a partir da proposta de (ROZENFELD et al. 2006).

Figura 1 - Fases do Desenvolvimento de Produto



Fonte: Rozenfeld et al. (2006).

Para Rozenfeld et al. (2006), o PDP situa-se na interface entre o fabricante de produto e o mercado consumidor. Cabe ao PDP identificar ou até mesmo se antecipar às necessidades do mercado e propor uma solução que as atenda.

2.1.1 Projeto de Produto

Segundo Shigley, Mischke e Budynas (2004), projetar consiste em formar um plano que satisfaça uma necessidade específica ou solucione um problema. Já para Forcellini (2002), o projeto ou plano de produto deve conter as seguintes informações: identificação das necessidades; projeto conceitual; projeto preliminar; projeto detalhado; avaliação do produto; distribuição e uso do produto; plano de manutenção e até o seu descarte.

Norton (2004) acrescenta que para a solução de um problema, o engenheiro se baseia em conhecimentos das ciências naturais e da engenharia e na aplicação de técnicas e princípios científicos. Além disso, se deve levar em conta restrições legais e ambientais, com intuito de definir um produto, um método ou um sistema suficientemente minucioso que permita sua realização.

O projeto de engenharia é entendido de forma muito semelhante pelos autores de metodologias de projeto. Para Forcellini (2002), o projeto é uma atividade orientada para o atendimento de uma ou mais necessidade humana, principalmente as que podem ser satisfeitas por fatores tecnológicos.

2.1.2 Metodologias de Projeto

Para Mello (2011) método de projeto é o que o projetista faz para chegar a uma solução, considerando todas as características e processos onde um produto deverá passar para atender as funções pré-determinadas com satisfação.

Segundo Almeida (2000), várias metodologias de projeto surgiram nos últimos tempos, principalmente devido à constatação de sua importância para a implementação de sistemas inteligentes de projeto auxiliado por computador. Ao lado destas, podem ser reconhecidas metodologias de projeto já clássicas, formadas sem considerações acerca de sua implementação em ambientes computacionais. Finalmente, há metodologias de Projeto Conceitual que são propostas de adaptações de algumas metodologias clássicas para sua transferência para sistemas computacionais.

Forcellini e Penso (2006) afirmam que o processo de projeto precisa ser planejado cuidadosamente e executado sistematicamente para que o desenvolvimento de produtos seja eficiente. Para que isto ocorra é necessária a utilização de um procedimento sistemático, lógico e compreensível.

Mello (2011) ainda afirma que existe uma grande quantidade de métodos e técnicas para desenvolver um produto, mas que não existe um método que atenda adequadamente a todas as necessidades apresentadas.

2.1.3 Fases do Projeto

Segundo Forcellini (2002), o modelo consensual de projeto pode ser composto em três etapas: projeto informacional, projeto conceitual e projeto detalhado. Ao final de cada uma das etapas há um ganho de informações para obter um modelo mais concreto do produto, alimentar as informações da fase seguinte e melhorar o entendimento da fase anterior.

Para Pahl et al. (2005), está contido entre as fases de desenvolvimento de produto a etapa de Projeto Preliminar que também será explanada na seção 2.1.3.3.

2.1.3.1 Projeto Informacional

O início desta etapa de projeto é o problema que deu origem à necessidade de desenvolvimento de um produto. O esclarecimento da tarefa consiste na análise detalhada do problema de projeto, baseando-se em todas as informações técnicas necessárias para o entendimento do problema. Ao final desta etapa se obtém as especificações de projeto que são os objetivos que o projeto deva atender (FORCELLINI 2002).

Rozenfed et al. (2006) destaca que é nesta etapa de projeto que são levantadas as informações necessárias para o desenvolvimento do produto. Além de orientar a geração de soluções, essas especificações fornecem a base sobre o qual serão montados os critérios de avaliação e tomada de decisão. Nesta etapa muitos autores recomendam o uso do Desdobramento da Função Qualidade – QFD para auxiliar no processo de tomada de informação.

2.1.3.1.1 Desdobramento da Função Qualidade - QFD

Quality Function Deployment - QFD é uma tradução literal das palavras japonesas *hin shitsu* (qualidade, características, atributos), *ki no* (função, mecanização) e *tem kai* (desdobramento, difusão, desenvolvimento e evolução) (BERNARD, 1992).

Também chamada de Casa da Qualidade, a técnica do QFD se originou no Japão em 1972 na empresa Mitsubishi e posteriormente foi modificada pela também japonesa Toyota.

Desde então tem sido utilizada com sucesso pelas empresas japonesas dos mais variados ramos de atividade (FORCELLINI 2002).

Segundo Pahl et al. (2005), Forcellini (2002) e Rozenfeld et al. (2006), QFD é uma ferramenta muito eficiente para transformar as necessidades dos clientes em requisitos de projeto, assegurando que o produto seja desenvolvido, desde a fase inicial de projeto, com as características, qualidade e preço que os potenciais clientes necessitam. Utilizando a ferramenta QFD tem-se uma diminuição significativa do tempo de desenvolvimento pela redução do número de mudanças de projeto, e ao mesmo tempo reduzindo-se os custos decorrentes das mudanças de projeto em estágios avançados.

Para Forcellini (2002) os principais benefícios do uso da ferramenta QFD são:

- redução de até 50% do número de mudanças de projeto;
- custos de início de operação reduzido entre 20% e 60%;
- redução de reclamações de garantia;
- planejamento da garantia de qualidade mais estável;
- identificar as características que mais contribuem para os atributos de qualidade.

A Figura 2 apresenta um exemplo de matriz QFD com as Necessidades (atributos) dos Clientes e os Requisitos de Projeto (características de engenharia) devidamente preenchidas. Esta matriz QFD foi utilizada no desenvolvimento de uma porta para automóvel.

Figura 2 - Exemplo de Matriz QFD

			Características de Engenharia									
			Energia para Fechar a porta	Verificar vigor do nível do solo	Verificar vigor em 10° de encosta	Energia para abrir a porta	Força de fechamento de pico	Resistência de vedação da porta	Transmissão acústica da janela	Redução do ruído de entrada	Resistência a água	
<u>RELAÇÃO</u>			Importancia Relativa (0 à 10)									
4 - Positivo Forte												
3 - Positivo Médio												
2 - Negativo Médio												
1 - Negativo Forte												
Atributos do cliente	Fácil fechar de fora	7		4				4	2			
	Permanece aberto em uma colina	5			4	4						
	Fácil de abrir do lado de fora	3				4		3				
	Não abrir sem acionamento	3		3	3	3		2				
	Não vazar na chuva	3						4			4	
	Não fazer barulho	2						3	3	4		

Fonte: Traduzido de Hauser e Clausing (1998).

Segundo Pahl et al. (2005), Forcellini (2002) e Rozenfeld et al. (2006) para construir uma matriz QFD deve-se seguir os seguintes passos:

- a) identificar as necessidades dos clientes (NC's);
- b) quantificar as NC's e identificar as mais críticas;
- c) transformar as NC's em Requisitos de Projeto (RP);
- d) preencher o corpo da matriz QFD indicando de forma quantitativa os requisitos de projeto em cada RP;
- e) somar o valor de cada RP afim de classificá-los para que suas necessidades sejam priorizadas.

2.1.3.1.2 Especificações do Projeto de Produto

Segundo Santos e Sanches (2008), apenas os requisitos de projeto na forma como são apresentados na Casa da Qualidade não constituem ainda um conjunto de informações adequadas para representarem os objetivos a serem alcançados pelo projeto do produto. A estes requisitos devem ser somadas as especificações de projeto para que o conjunto de informações gere um documento denominado Especificações de Projeto de Produto, representado no Quadro 1, o qual foi utilizado para desenvolver um retroprojektor de transparências.

Quadro 1 – Exemplo de Especificação de Projeto de Produto

requisito	objetivos	sensor	saídas indesejáveis	observações / restrições
conjunto de lentes adequado	imagem 100% nítida	escala	imagem com regiões desfocadas	
temperatura externa da carcaça	25°C (máximo)	termopar	comprometimento da segurança	operador tem contato físico com aparelho
peso	3 kg (máximo)	balança	dificuldades de transporte e manipulação	o transporte é manual
cantos vivos	inexistência	inspeção visual	comprometimento da segurança	operador tem contato físico com aparelho
nível de ruído	20 dB (máximo)	medidor NPS	ruído excessivo perturbando a operação e / ou o meio	

Fonte: Adaptado de Forcellini (2002).

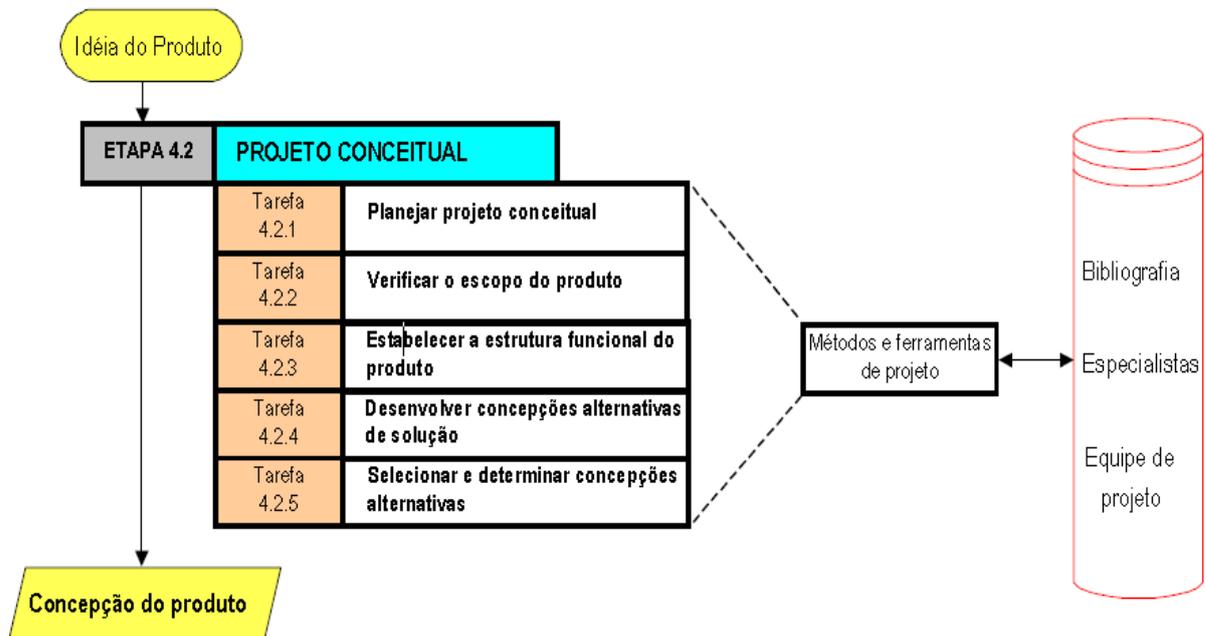
2.1.3.2 Projeto Conceitual

Segundo Forcellini (2002) o projeto conceitual é a etapa mais importante na fase de projeto de um produto, pois as decisões tomadas nessa etapa influenciam nas fases subsequentes. Esta etapa gera, a partir de uma necessidade detectada e esclarecida, uma concepção para um produto que atenda da melhor maneira possível esta necessidade, sujeita às limitações de recursos e às restrições de projeto.

O processo de criação de soluções é fundamental nesta etapa, porém deve ser direcionado pelas necessidades, requisitos e especificações de projeto e auxiliado por métodos de criatividade (ROZENFELD et al., 2006).

Para Forcellini (2002), o projeto conceitual é dividido num conjunto de tarefas e atividades que visam garantir a obtenção de uma concepção do produto adequada, conforme Figura 3.

Figura 3 - Subdivisões do Projeto Conceitual



Fonte: Forcellini (2002).

Rozenfeld et al. (2006) recomenda desenvolver uma série de soluções para cada função, para que assim possa ser escolhido o melhor resultado. Para melhorar o desenvolvimento do projeto conceitual, recomenda-se seguir as seguintes etapas:

- a) modelar a estrutura de função do produto;
- b) conceber soluções através da matriz morfológica;

c) selecionar a concepção pela matriz de decisão.

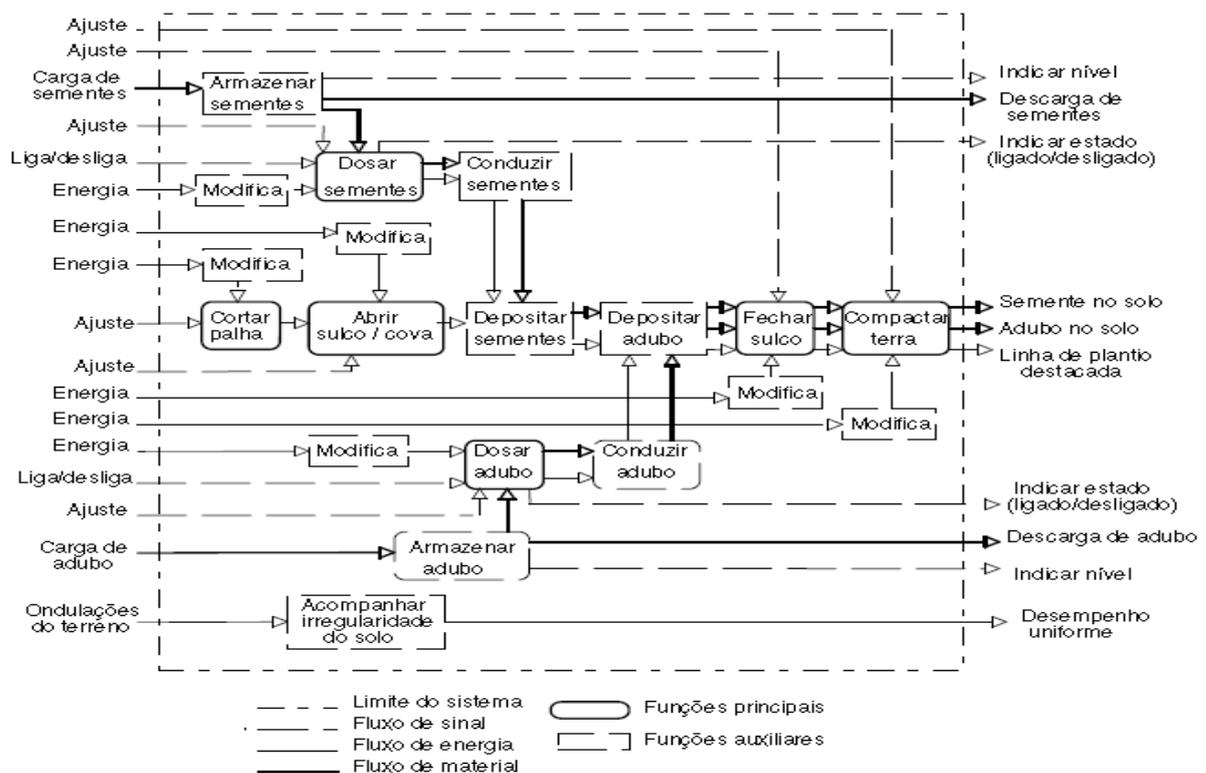
2.1.3.2.1 Estrutura de Funções

Para Rozenfeld et al. (2006), no início do projeto conceitual, o produto é modelado funcionalmente e descrito de forma abstrata definindo-se o produto em termos de funções. Para isso, inicialmente define-se a função global do produto, que em seguida, é desdobrada em várias estruturas de função do produto até que uma seja selecionada. Definida a estrutura, vários princípios são propostos para satisfazer cada uma das funções, podendo ser combinadas e criadas várias alternativas. Estas alternativas passarão por uma seleção que apontará a melhor concepção que atenda as especificações.

Forcellini (2002) acrescenta que, caso seja necessário, deve-se decompor as funções principais do produto em funções elementares, até que seja possível identificar para todas as funções um princípio de solução.

A Figura 4 apresenta um exemplo de estrutura de funções desenvolvido por Rezende (2005) utilizado no projeto de uma semeadora adubadora.

Figura 4 - Uso Prático de Estrutura de Funções



Fonte: Rezende (2005).

2.1.3.2.2 Matriz Morfológica

Para Forcellini (2002), após o desdobramento da função global em funções elementares, pode-se utilizar a Matriz Morfológica para listar diferentes princípios de solução para as funções.

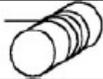
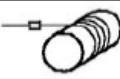
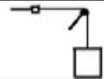
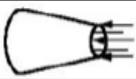
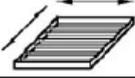
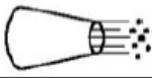
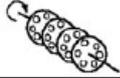
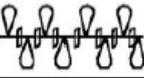
Rezende (2005) afirma que apresentação sistemática dos dados facilita a procura por futuras soluções em várias direções e a identificação e combinação de características fundamentais para a solução. Essas vantagens motivaram a elaboração de matrizes morfológicas.

O esquema usual de duas dimensões consiste de linhas e colunas, que representam as sub-funções e princípios de solução respectivamente. Essas matrizes morfológicas ajudam no processo de projeto de várias formas. Em particular, elas podem ser utilizadas como catálogos de projeto durante toda a fase de procura por uma solução. Além disso, elas também podem ajudar na combinação de sub-soluções em soluções gerais (REZENDE, 2005).

Rozenfeld et al. (2006) complementa que nesta etapa inicia-se a passagem do projeto abstrato para o concreto, ou seja, de uma função à forma, buscando a combinação de funções que resulte na melhor opção de produto.

A Figura 5 apresenta uma Matriz Morfológica desenvolvida por Scalice (2003), para o desenvolvimento de uma família de produtos destinados ao beneficiamento e cutivo de mexilhões.

Figura 5 - Exemplo de Matriz Morfológica

Descrição	Princípios de Solução					
Coletar rede de nylon						
	Tambores paralelos	Tambor simples	Peso/ polia	Tambor + cabo	Peso + cabo	Aspirando
						
	Gravidade					
Extrair detritos dos mexilhões						
	Placa rotativa	Escova	Tambor rotativo	Tambor com grades	Grade vibratória	Eixo com placas
						
	Jato de areia	Eixo com placas com orifícios	Placa com orifícios	Eixo com pás	Barra rotativa	Cabo rotativo

Fonte: Scalice (2003).

2.1.3.2.3 Matriz de Decisão

Segundo Forcellini (2002) e Rozenfeld et al. (2006), após conceber as combinações do princípio de solução, deve-se comparar qual método é mais eficiente para realizar a Função Elementar. Este método fornece uma maneira de medir a capacidade de cada conceito atender as necessidades dos clientes. A comparação dos conceitos serve para indicar as melhores alternativas e fornecer as informações para a tomada de decisão. A Matriz de Decisão deve conter as necessidades e requisitos dos clientes e os princípios de solução encontrados. Para cada informação deve ser atribuído uma nota de relevância sobre o projeto e para cada alternativa proposta deve ser dado uma nota com valores entre zero e dez, conforme pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 - Exemplo de Matriz Decisão

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

Fonte: Scalice (2003).

2.1.3.3 Projeto Preliminar

Para Linhares (2005) é na fase de projeto preliminar que a concretização de formas e a ocupação espacial do produto ou sistema ficam mais evidentes. Nesta etapa define-se o modo de interação das peças e componentes na composição final do produto.

Para Scalice (2005), nesta fase o produto será avaliado como um todo, e devem ser observados os seguintes aspectos:

- a) determinação das formas geométricas de produto;
- b) observação dos aspectos ergonômicos;
- c) avaliação da funcionalidade do produto;
- d) seleção de materiais do produto;
- e) avaliação de montagem do produto;
- f) avaliação de custos;
- g) definição de leiaute;
- h) realização de ensaios e / ou prototipagem.

O uso do computador nesta fase de projeto provocou uma verdadeira revolução tornando prática e ágil a análise de engenharia. As ferramentas de CAD – Desenho Auxiliado por Computador estão presentes em qualquer ambiente de engenharia e se destacam por auxiliar na visualização espacial, prototipagem, simulação de modelos e montagens (NORTON, 2004).

2.1.3.4 Projeto Detalhado

Segundo Rozenfeld et al. (2006), o detalhamento do projeto tem como objetivo desenvolver e finalizar todas as especificações do produto. Para Pahl et al. (2005), o detalhamento do projeto complementa a estrutura de construção de um objeto técnico, seja ele um componente ou um produto, por meio de prescrições definitivas para a forma, dimensionamento e até o acabamento superficial de todos os componentes. A especificação de materiais, revisão de possibilidades de produção e utilização, bem como a revisão de custos finais, criando as documentações obrigatórias para os desenhos, roteiros e afins.

O detalhamento é, de forma sucinta, a elaboração da documentação para a produção, contendo os desenhos individuais, de conjuntos e subconjuntos e até mesmo as listas de matéria prima e peças dos conjuntos. Os desenhos devem prescrever também as instruções de

montagem, transporte, testes e controle de qualidade, além de instruções para operação e manutenção (PAHL et al., 2005).

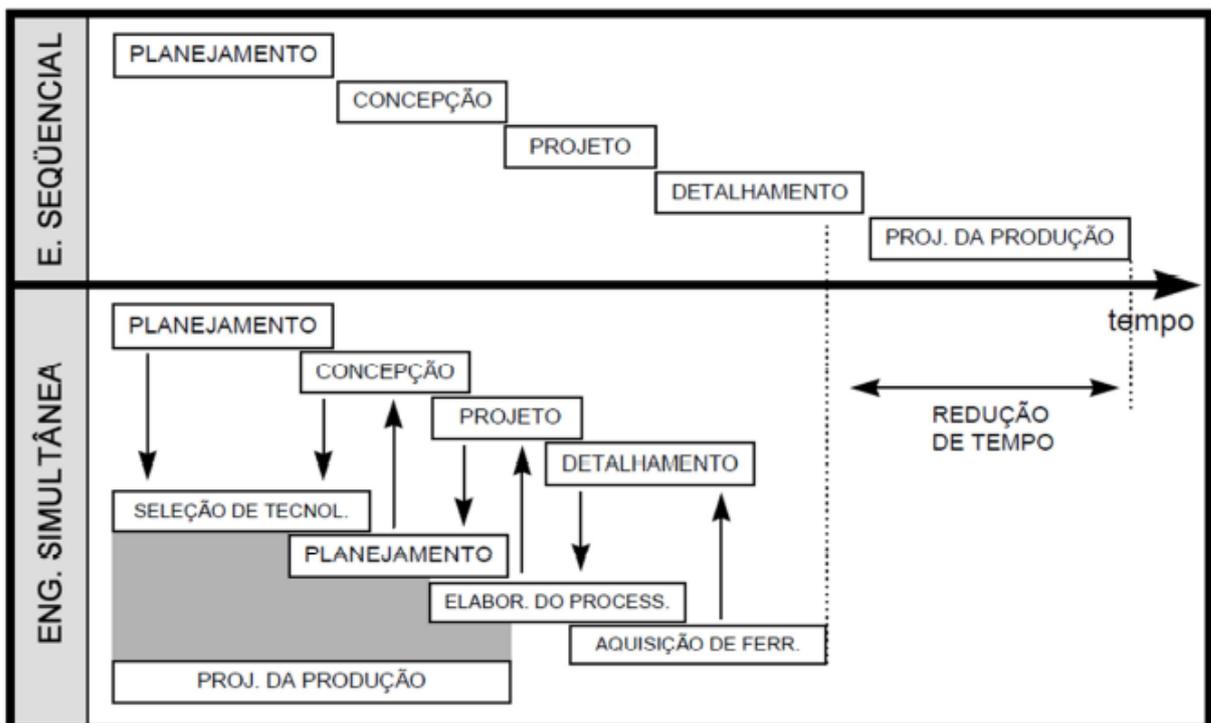
Rozenfeld et al. (2006) afirma que após a construção e montagem do produto, deve-se testa-lo exaustivamente, até que ele seja homologado. Caso seja necessário, deve-se implementar possíveis melhorias, para então iniciar a produção seriada.

2.1.4 Engenharia Simultânea no Desenvolvimento de Produtos

A Engenharia Simultânea (ES) é derivada da expressão em inglês *concurrent engineering* e busca a realização simultânea de várias etapas do processo de desenvolvimento de produtos. Diferencia-se da sequência normal de desenvolvimento, pois objetiva a total integração do maior número de setores. O objetivo de tudo isso é a obtenção de resultados mais eficientes, sendo fundamental para conseguir uma redução do *lead time* e agregar valor à mudança pretendida (CASAROTTO FILHO; FÁVERO, 1999).

Para Fabrício (2002) a aplicação da Engenharia Simultânea também tem a finalidade de obter uma significativa redução de tempo no desenvolvimento de novos produtos, proporcionando uma maior interação entre os setores de desenvolvimento dos processos envolvidos, conforme pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 - Diferença entre Engenharia Sequencial e Engenharia Simultânea



Fonte: Fabrício (2002).

Segundo Gurgel (2001), a ES tem por objetivo fortalecer o relacionamento entre as engenharias desde os fornecedores até os clientes, incentivando o trabalho em parceria junto às equipes internas de desenvolvimento de produtos e serviços, obtendo assim características específicas de trabalho, podendo ser listadas:

- a) procura obstinada pelo aumento de confiabilidade do produto;
- b) contribuição simultânea entre as equipes envolvidas, sejam elas equipes da própria empresa, fornecedores ou até mesmo de clientes;
- c) opção por um processo de manufatura inovador;
- d) forte relacionamento entre as equipes internas e externas envolvidas no processo;
- e) ambiente de mercado favorável para estimular a criatividade e o empenho de cada equipe.

2.2 EQUIPAMENTOS DE BRIQUETAGEM

2.2.1 Conceito de Briquetagem

Para Quirino e Brito (1991), briquetagem é um processo de reconstrução, ou seja, é a reconsolidação de material particulado por meio da aplicação de pressão e ou temperatura a uma quantidade específica de partículas, com ou sem adição de ligantes.

Aglomerção é o termo empregado para designar algumas operações aplicadas a materiais de granulometria fina para transformá-los em corpos, ou fragmentos coesos, por meio da ligação rígida e consolidação de suas partículas, entre si, por meio de mecanismos físicos e/ou químicos, conferindo-lhes tamanho e forma adequada (CARVALHO e BRINCK 2004).

A briquetagem é um processo de densificação de resíduos. Todo resíduo pode ser compactado pela briquetagem, bastando atender às necessidades de granulometria e teor de umidade. Esse processo possui a vantagem de transformar um resíduo de baixa densidade em um material de qualidade com valor agregado (QUIRINO, 2003).

2.2.2 Patentes

A primeira patente relacionada à briquetagem foi concedida a William Easby, em 1848. O processo desenvolvido por Easby possibilitava a formação de aglomerados sólidos de tamanho e forma variados, a partir de frações finas de qualquer tipo de carvão, por meio da

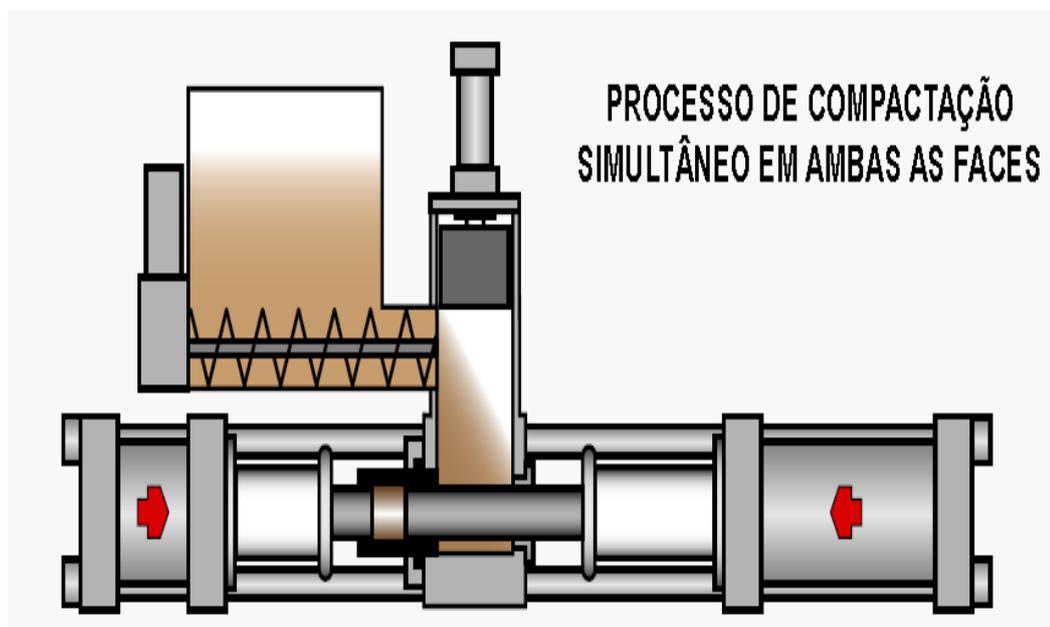
pressão exercida sobre esse material. Por esse processo, materiais de pequeno ou quase nenhum valor agregado podiam ser transformado em um produto de elevado valor combustível para máquinas a vapor, forjas, culinária e outras aplicações, permitindo recuperar grande parte das finas frações consideradas como rejeito do processo de beneficiamento de carvão (CARVALHO e BRINCK, 2004).

Para a briquetagem de metais, ou mais específico para o processo de briquetagem de aparas de usinagem, a Tecnobriq possui um processo de prensagem patenteado. Trata-se de um sistema de compactação simétrico em ambas as faces. Segundo o fabricante este processo garante um briquete mais denso e com a compactação uniforme (TECNOBRIQ, 2012).

2.2.3 Tipos de Equipamento

As briquetadeiras hidráulicas Tecnobriq possuem um sistema de compressão simétrica por ambas às faces do briquete, por meio de dois cilindros hidráulicos. Neste tipo de equipamento o cavaco é inserido no funil de alimentação e transportado por um sistema helicoidal até a pré-compactação. Após a pré-compactação, o metal fica na região de compactação principal onde é aplicada uma força que varia de 60 a 290 toneladas, conforme Figura 8. A extração do briquete ocorre devido ao deslocamento do metal que sai por um orifício lateral (TECNOBRIQ, 2012).

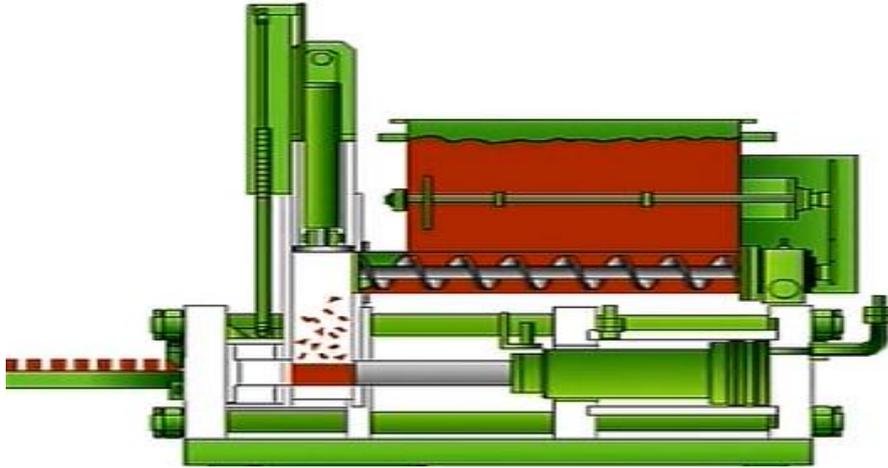
Figura 8 - Esquema Funcional do Compactador Tecnobriq



Fonte: Tecnobriq (2012).

As máquinas da fabricante alemã RUF tem o mesmo modo de operação que a Tecnobriq, porém a compactação final é em um único sentido, conforme pode ser observado na Figura 9.

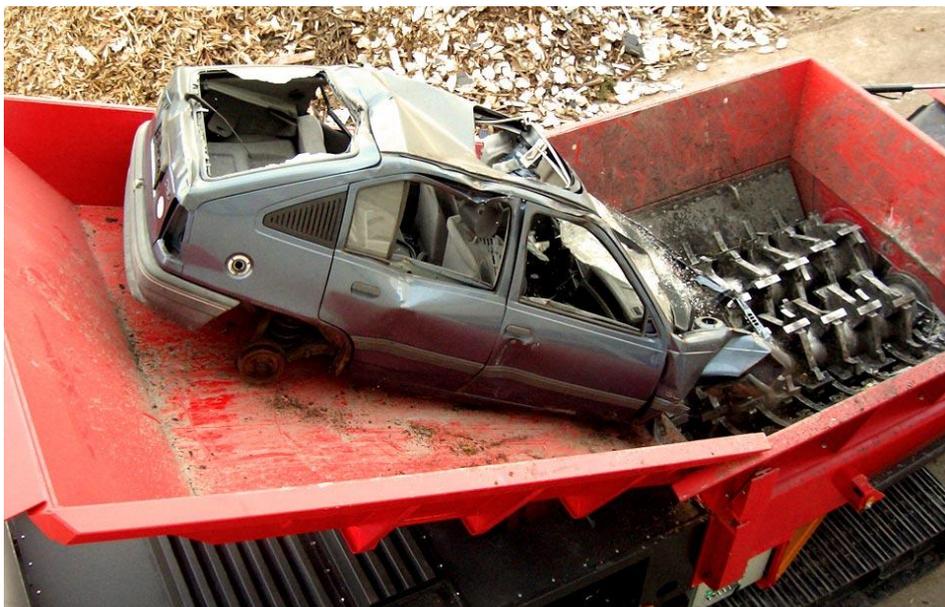
Figura 9 - Esquema Funcional do Compactador RUF



Fonte: RUF (2012).

Já a multinacional Metso Minerale e a empresa alemã Hammel fabricam equipamentos de trituração seguidos de compactador que pode processar peças de grande porte, até mesmo carcaça de automóvel, como pode ser observado na Figura 10. Este tipo de equipamento é empregado no parque de grandes fundições ou em empresas recicladoras.

Figura 10 - Triturador Hammel



Fonte: HAMMEL (2012).

2.2.4 Principais Requisitos deste tipo de Equipamento

Segundo Jessberger (2007), as prensas para a fabricação de briquetes devem ser capazes de fornecer a qualidade desejada em processos automáticos e com grande disponibilidade para a operação em três turnos. São requisitos indispensáveis os baixos custos no consumo de energia elétrica, como também custos viáveis de manutenção e de substituição de peças, incluindo as sobressalentes e as de desgaste. Os briquetes devem:

- a) ser firmemente prensados e apresentar alta resistência ao manuseio;
- b) ter uma boa friabilidade (alta resistência ao desgaste e estabilidade dos cantos);
- c) possuir uma baixa umidade residual;
- d) alcançar a maior densidade possível.

De acordo com os fabricantes Polytechnik, Eurostec, Metalbrik, Tecnobriq, Lanner, Ruf e Metso Minerales, além das características citadas acima, o processo de briquetagem de aço apresenta as seguintes vantagens:

- a) redução na área de estocagem de cavacos se comparado aos briquetes;
- b) maior facilidade na movimentação dos cavacos briquetados;
- c) recuperação de até 99% do óleo de corte ou solúvel utilizado no processo de usinagem;
- d) aumento de até 33% no rendimento da fusão utilizando briquetes para alimentar o forno;
- e) redução de até 90% na emissão de fumaça durante a fusão de briquetes;
- f) redução do consumo de energia elétrica para fusão em até 29%;
- g) economia direta de custos e proteção ao meio ambiente.

É importante também a oferta de aparelhos periféricos para a prensa, como por exemplo, os funis de carga do mesmo fornecedor, além de uma rápida disponibilidade de peças sobressalentes e de assistência técnica. Também deve existir a possibilidade de colocar, por um tempo limitado, instalações de aluguel à disposição da fundição, usinagem, etc, para permitir que sejam feitos ensaios de fusão. Para alcançar a rentabilidade máxima, deve ser possível adaptar o tamanho da máquina à produção necessária, com base na disponibilidade de modelos de equipamento. Instalações superdimensionadas resultam em custos de investimento desnecessariamente altos (JESSBERGER, 2007).

Os fabricantes de briquetadeira para metais classificam seus equipamentos de acordo com a força de compactação, potência instalada, rendimento, etc. A Tabela 1 apresenta um comparativo entre as principais características dos fabricantes.

Tabela 1 – Características Técnicas das Briquetadeiras

Fabricante	Capacidade Produtiva	Tamanho do Briquete	Potencia Instalada
CONEMAG	500 a 2500 kg/hora	Ø 80 a Ø120 mm	15 a 45 kW
EUROSTEC	até 500 kg/hora	Ø 70 a Ø90 mm	15 kW
LANNER	40 a 2200 kg/hora	Ø 50 a Ø135 mm	4 a 45 kW
METALBRIQ	100 a 2000 kg/hora	Ø 70 a Ø100 mm	20,6 a 94,1 kW
POLYTECHNIK	200 a 800 kg/hora	Ø 50 a Ø90 mm	19 a 49 kW
RUF	30 a 1500 kg/hora	40x60 a 100x260mm	4 a 90 kW
TECNOBRIQ	209 a 1358 kg/hora	Ø 60 a Ø130 mm	22 a 30 kW

Fonte: Adaptado de Conemag, Eurostec, Lanner, Metalbriq, Polytechnik, Ruf e Tecnobriq (2012).

2.3 SEGURANÇA NO TRABALHO

2.3.1 Visão Geral

O decreto de lei número 5.452 criado em 1º de maio de 1943 sancionado pelo presidente Getúlio Vargas cria uma norma legislativa brasileira e o direito processual do trabalho. Esta norma unificou toda a legislação trabalhista existente até então (FGV, 2012). Em julho 1978 foram criadas e aprovadas as Normas Regulamentadoras (NR) relativas a segurança e medicina do trabalho. Estas normas são de observância obrigatória para engenheiros e técnicos de empresas públicas ou privadas (ATLAS, 2011).

A partir de observações prévias em catálogos e sites de fabricantes de briquetadeira, observou-se que algumas das NR's devem ser tratadas no desenvolvimento deste equipamento e estão detalhadas a seguir.

2.3.2 NR-10 Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade

Esta norma estabelece os requisitos e condições mínimas de trabalho, objetivando a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos, de forma a garantir a segurança dos trabalhadores que, direta ou indiretamente, interajam em instalações elétricas e que executem serviços com eletricidade (ATLAS, 2011).

A NR-10 se aplica desde a geração, transmissão, distribuição e consumo de energia elétrica. Além das fases de projeto, construção, montagem, operação e manutenção de instalações elétricas e qualquer trabalho realizado nas proximidades de instalações (ATLAS, 2011).

2.2.3 NR-12 Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos

Esta norma regulamentadora e seus anexos definem referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção a fim de garantir saúde e integridade física dos trabalhadores. Estabelece os requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto de utilização de máquinas e equipamentos ainda na fabricação ou adaptação das existentes. Isto se estende a comercializadores e importadores de equipamentos de qualquer espécie (ATLAS, 2011).

Entre os diversos tópicos, a NR-12 aponta as disposições a serem seguidas por fabricantes, importadores, comerciários e usuários de máquinas e equipamentos. Os diversos tópicos são agrupados da seguinte forma:

- a) arranjo físico e instalações;
- b) instalações e dispositivos elétricos;
- c) dispositivos de partida, acionamento e parada;
- d) sistemas de segurança;
- e) dispositivos de parada de emergência;
- f) meios de acesso permanente;
- g) componentes pressurizados;
- h) transportadores de materiais;
- i) aspectos ergonômicos;
- j) riscos adicionais.

A seguir serão detalhados os tópicos de segurança mais prováveis que foram utilizados para desenvolver o dispositivo para compactar cavaco.

2.2.3.1 Sistema de Segurança

Esta seção da NR-12 determina que as zonas de perigo das máquinas e equipamentos devem possuir sistemas segurança caracterizados por proteções físicas fixas ou móveis, de modo a garantir a proteção e integridade física dos trabalhadores. Além disto, devem-se avaliar todas as características e possibilidades para que se chegue ao nível de segurança mínimo exigido (ATLAS, 2011).

Os sistemas de segurança se classificam em:

- a) comandos elétricos: relés de segurança, controlador lógico programável de segurança;

- b) dispositivos de intertravamento: chaves de segurança eletrônicas, magnéticas, eletromecânicas, optoeletrônicas e indutivas;
- c) sensores de segurança: cortinas de luz, detectores de presença optoeletrônicos, barreiras ópticas e tapetes de segurança;
- d) dispositivos pneumáticos ou hidráulicos: válvulas e blocos de segurança.

2.2.3.2 Parada de Emergência

Todo e qualquer equipamento deve ser equipado com um ou mais dispositivos de parada de emergência, para que possam ser evitadas situações de perigo. Não devem ser utilizados como dispositivo de partida ou acionamento do equipamento e devem estar posicionados em locais de fácil acesso e visualização pelo operador. (ATLAS, 2011).

O acionamento deste dispositivo deve prevalecer sobre qualquer outro comando do equipamento gerando uma parada rápida de todos os movimentos. Este tipo de acionamento deve ser retido até seu *reset* ou rearme manual (ATLAS, 2011).

2.2.3.3 Componentes Pressurizados

Devem ser adicionadas medidas de proteção adicionais em tubulações, mangueiras e demais componentes pressurizados sujeitos a eventuais impactos mecânicos e ou agentes agressivos, quando houver risco (ATLAS, 2011).

As mangueiras e tubulações devem ser protegidas de tal forma que em uma situação de ruptura não venha a ocasionar acidentes de trabalho. As mangueiras utilizadas devee possuir indicação de máxima pressão de trabalho admissível, sendo que o equipamento deva possuir obrigatoriamente um sistema que garanta que a pressão nunca ultrapasse a máxima permitida em qualquer ponto do circuito (ATLAS, 2011).

2.2.3.4 Transportadores de Materiais

Transportadores contínuos de materiais do tipo esteiras, correias, roletes, acoplamentos, freios, roldanas, amostradores, volantes, tambores, engrenagens, cremalheiras, correntes, guias e alinhadores devem estar devidamente protegidos nos pontos de esmagamento, agarramento e aprisionamento (ATLAS, 2011).

2.2.3.5 Aspectos Ergonômicos

Esta cláusula da norma NR-12, também citada detalhadamente na NR-17, determina a forma em que os equipamentos devem ser projetados, construídos e mantidos de forma que atendam aos requisitos mínimos exigidos (ATLAS, 2011). Os requisitos são:

- a) atender a variabilidade das características antropológicas dos operadores;
- b) respeitar as exigências posturais, cognitivas, movimentos e esforços físicos;
- c) a iluminação deve estar adequada ao ambiente;
- d) os comandos devem indicar a direção dos movimentos;
- e) reduzir a exigência de esforços repetitivos e ou em postura inadequada.

Além disto, deve-se evitar o máximo possível a presença de cantos vivos e quinas cortantes nos pontos de possível contato com os segmentos do corpo do operador (ATLAS, 2011).

3 PLANO DE TRABALHO

3.1 CENÁRIO ATUAL

Conforme citado no ítem 1.1 e 1.2, a empresa Traço Desenvolvimento Industrial – TRDI, onde foi realizado o estágio, é uma empresa do ramo metalúrgico que atua no desenvolvimento e fabricação de ferramentas, dispositivos e equipamentos industriais, utilizados para suprir as necessidades de seus clientes, melhorando seus produtos, métodos e processos produtivos. Estas melhorias são baseadas no desenvolvimento de técnicas, ferramentas, dispositivos e equipamentos específicos para cada solicitação que atenda os requisitos e objetivos de projeto e torne competitivo o produto final do cliente.

Este mercado de trabalho em que a TRDI atua é extremamente vulnerável a qualquer oscilação na economia. Quando o mercado está em baixa, as empresas reduzem ou postergam seus investimentos deixando a TRDI em uma situação crítica de trabalho e consequentemente financeira. Além disto, uma empresa que sofre oscilações com certa frequência, acaba perdendo os profissionais que possui, consumindo as reservas financeiras e não garantindo o crescimento contínuo e sucesso que toda organização almeja.

Diante desta situação, a TRDI está buscando alternativas para contornar situações de crise, o qual já tem passado algumas vezes no período de 17 anos de sua existência. Dentre as alternativas e também as metas da empresa, a TRDI planeja desenvolver e comercializar equipamentos industriais fabricados em série.

3.1.1 Aspectos Econômicos e Estratégicos da Empresa TRDI

Preocupada com as oscilações de mercado dos últimos anos, a TRDI vem fazendo um trabalho de pesquisa voltado a encontrar nichos de atividades pouco exploradas pelo mercado atual, com objetivo de desenvolver produtos próprios. Isto para tornar parte de suas atividades, uma produção seriada produzindo equipamentos com características próprias que tenham uma boa demanda de mercado. Esta pesquisa se iniciou há alguns anos pelos departamentos de engenharia, comercial e direção da empresa buscando encontrar a melhor solução para manter a estrutura organizacional da TRDI mais estável.

Nestes anos de pesquisa observou-se que o ramo de reciclagem, segurança e meio ambiente estão entre os maiores investimentos de muitas empresas, dentre elas, alguns dos atuais clientes da TRDI. Com isso se observou a necessidade de desenvolvimento de um

equipamento ou uma linha de equipamentos designados à reciclagem de aço denominado de briquetadeira.

Conforme citado no item 1.2, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um equipamento destinado à reciclagem de aço e outros metais. Conforme caracterizados no item 2.2, estes equipamentos são projetados para separar em porções determinadas, compactar a uma determinada densidade e remover fluido lubri-refrigerante durante a compactação de metais oriundos do processo de usinagem.

O metal compactado é denominado briquete e é produzido em formato retangular ou redondo, como pode ser observado na Figura 11. Estes briquetes podem atingir densidades muito próximas ao metal fundido e não se desintegra com facilidade, propiciando fácil manuseio e melhorando o processo de fundição.

Figura 11 - Briquetes de Materiais Metálicos e Inorgânicos



Fonte: Catálogo Tecnobriq (2012).

3.1.2 Potencial do Produto

Pesquisando os atuais fabricantes e importadores de briquetadeiras, de acordo com o item 2.2.4, pode-se observar que o elevado valor comercial aliado ao custo operacional faz com que este equipamento não faça parte do parque fabril da grande maioria das empresas.

Estes equipamentos possuem boa capacidade produtiva, ou seja, são de médio a grande porte, mas deixam de ser adquiridos principalmente devido ao investimento inicial ser elevado. Em duas cotações realizadas pela TRDI, no ano de 2012, a fabricantes nacionais de briquetadeira, pode-se observar que o valor praticado é superior a R\$ 140.000,00 pelo menor equipamento fabricado sem os acessórios que são ofertados separadamente.

Baseado nisto, a TRDI está se propondo a desenvolver um equipamento de briquetagem de pequeno porte, baixo consumo de energia e baixo custo de fabricação, para que se torne um produto a ser fabricado em série e tenha uma demanda estável.

A aplicação deste tipo de equipamento está em qualquer ambiente que possua processos de usinagem ou em pequenas fundições. Sendo que este processo é mais rentável quando utilizado próximo ou até mesmo acoplado às máquinas de usinagem, onde facilita a separação de metais por categorias, diminuindo seu volume, extraindo possíveis fluídos contaminantes e aumentando o rendimento metálico no processo de fundição.

De acordo com o XI Inventário Brasileiro de Máquinas de Usinagem, desenvolvido pela revista Máquinas e Metais (2011), a quantidade de máquinas CNC vem aumentando gradativamente a cada ano, conforme pode ser observado na Tabela 2. Este inventário é realizado com um determinado número de empresas, mas a quantidade de máquinas de usinagem existentes, em nível nacional, certamente é maior.

Tabela 2 – A Evolução do Universo de Maquinário

Ano da pesquisa	1992	1994	1997	1999	2001	2003	2005	2009	2011
Empresas pesquisadas	1.728	4.484	4.998	6.376	7.807	9.042	10.222	10.031	10.349
Quantidade de máquinas CNC	8.031	12.375	16.250	20.424	29.031	34.736	47.328	54.631	55.040
Total de máquinas existentes	72.102	183.509	183.586	188.586	205.485	224.933	222.397	233.040	223.194

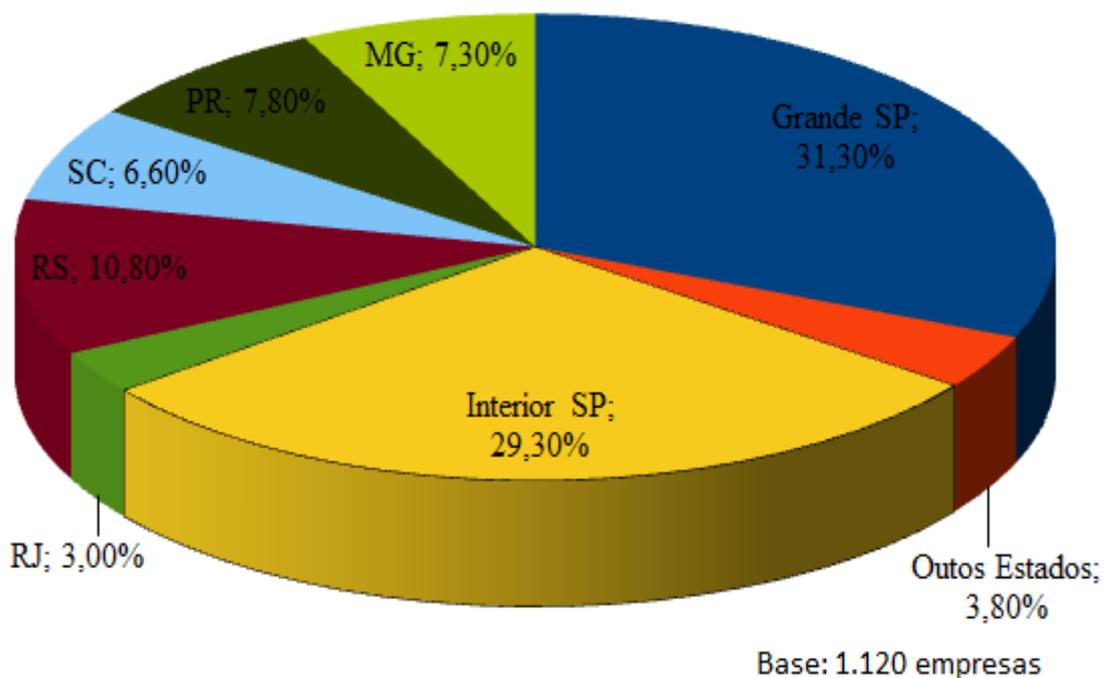
Fonte: Adaptado de Máquinas e Metais (2011).

Com base nestes números pode-se fazer uma perspectiva de venda de briquetadeiras no mercado nacional. Considerando que entre as empresas pesquisadas apenas trinta por cento ($10.349 \times 0,3 = 3.105$) tenham interesse em introduzir em seu parque fabril o processo de briquetagem, desde que o investimento inicial seja baixo, e que destes trinta por cento apenas a metade ($3.105 / 2 = 1.552$) das empresas venham efetivamente adquirir um equipamento de briquetagem ainda termos um número elevado de demanda.

Mesmo sabendo que a concorrência existe para este equipamento, a TRDI acredita que após um breve período de divulgação, demonstração e testes em potenciais clientes venha a ter uma demanda entre três e cinco equipamentos por mês. E isto significaria entre vinte a trinta por cento do faturamento mensal da empresa.

Para atingir esta meta de venda o departamento comercial da TRDI estará buscando um representante que possa receber treinamento e efetuar assistência técnica autorizada no estado de São Paulo, pois de acordo com o Inventário de Máquinas é nesta região que se encontram grande parte das empresas que seriam potenciais clientes, conforme pode ser observado na Figura 12.

Figura 12 - Distribuição Geográfica das Empresas Pesquisadas



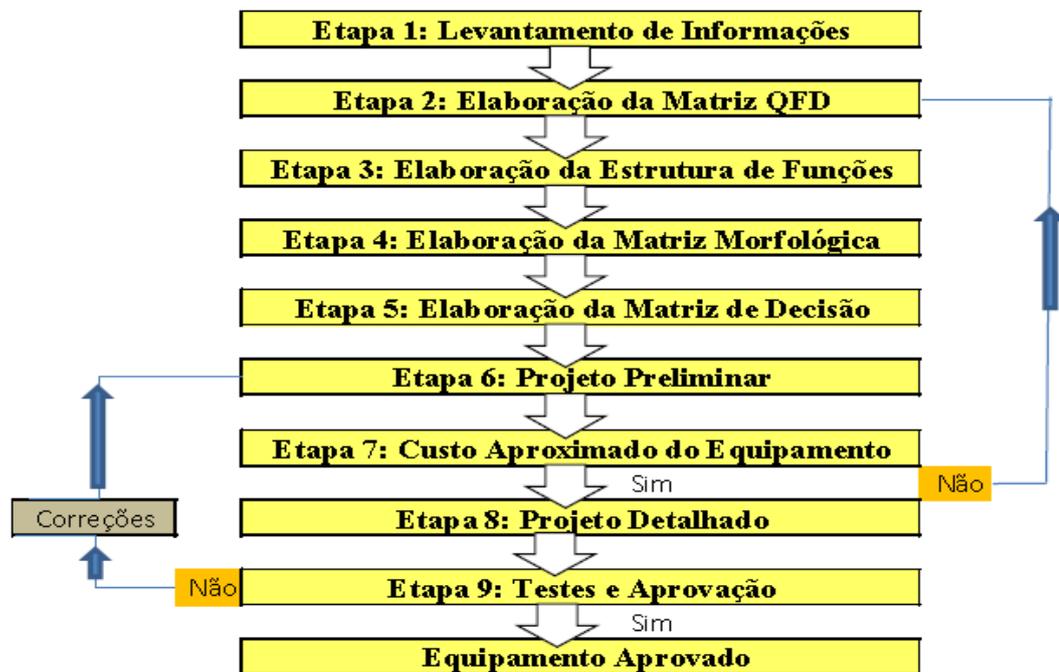
Fonte: Máquinas e Metais (2011).

3.2 PLANO DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

A proposta de desenvolvimento deste equipamento está de acordo com o processo de desenvolvimento de produto descrito no item 2.1 ditadas por Forcellini (2002), Pahl et al. (2005) e Rozenfeld et al. (2006). Estes autores propõem metodologias semelhantes para o PDP e estão contidas nas etapas de desenvolvimento do projeto do equipamento de briquetagem.

Para estabelecer uma sistemática de desenvolvimento deste equipamento, foi elaborado um fluxograma de trabalho contendo todas as etapas do processo, até sua aprovação final, conforme Figura 13.

Figura 13 - Fluxograma de Etapas



Fonte: O Autor (2012).

3.2.1 Etapa 1: Levantamento de Informações

Esta primeira etapa, é uma das mais importantes de qualquer projeto. Saber a serventia, como é utilizado, detalhes mais e menos relevantes, expectativas, entre outros, são informações fundamentais para se iniciar um trabalho, seja ele simples ou complexo. De acordo com o referencial teórico citado no item 2.1, estas informações são denominadas necessidades do cliente. Todo o desenvolvimento do trabalho, desde o projeto até sua aprovação tem embasamento nestas informações.

Para o desenvolvimento do equipamento de briquetagem as necessidades do cliente foram coletados de potenciais clientes, em consulta a catálogos e sites dos atuais fabricantes e em avaliações técnicas a equipamentos demonstrados em feiras, além do embasamento teórico citado no item 2.2.

Os principais requisitos definidos são: força de compactação, capacidade volumétrica do compactador, grau desejável de compactação, capacidade produtiva, método de entrada da

matéria prima, método de extração do briquete compactado, sistema de retirada do fluido extraído no processo, entre outros. Além dos principais requisitos técnicos, nesta etapa será especificado um custo objetivo para o equipamento.

Nesta etapa as necessidades do cliente são transformadas em requisitos de projeto para permitir a quantificação dos mesmos. Esta etapa do desenvolvimento foi realizada no item 4.1 deste trabalho.

3.2.2 Etapa 2: Elaboração da Matriz QFD

O objetivo desta etapa do desenvolvimento é verificar, através da matriz QFD, o grau de importância dos requisitos de projeto. Através disto é esperado que o foco do projeto seja mantido, garantindo que os requisitos do equipamento sejam alcançados.

A realização do QFD proporciona informações que definem quais as características do equipamento devem ser priorizadas. Estas informações são utilizadas como entrada para a próxima etapa do desenvolvimento, fazendo com que os requisitos iniciais não sejam perdidos durante o desenvolvimento. Esta etapa foi desenvolvida no item 4.2 deste trabalho.

3.2.3 Etapa 3: Elaboração da Estrutura de Funções

Nesta etapa o conceito do projeto do equipamento começa a ser desenvolvido. Para isso é elaborado de forma sistemática algumas funções que representam as principais etapas de funcionamento do equipamento. A estrutura de funções tem como finalidade tratar cada necessidade ou requisito de forma generalizada, até que se obtenha o refinamento do projeto, sempre levando em conta os resultados obtidos na matriz QFD.

Define-se uma função global do produto e desdobra-se em várias estruturas de funções, até que seja selecionada a mais adequada para realização de cada tarefa. Cabe ao projetista definir a estrutura de função que atenda os requisitos iniciais de projeto. Esta etapa foi desenvolvida no item 4.3 deste trabalho.

3.2.4 Etapa 4: Elaboração da Matriz Morfológica

Nesta etapa lista-se diferentes maneiras de atender, como princípio de solução, para cada uma das funções elementares determinadas na etapa anterior.

A forma sistemática de resolver esta etapa é criar uma matriz que contenha cada uma das funções elementares e elencar a estas funções vários princípios de solução para cada situação, baseado no conhecimento técnico e experiência no desenvolvimento de produtos. Estes princípios são informações de entrada para a próxima etapa, onde é definido, através da matriz decisão, qual o princípio é mais adequado para o desenvolvimento do produto. Esta etapa foi desenvolvida no item 4.4 deste trabalho.

3.2.5 Etapa 5: Elaboração da Matriz de Decisão

A elaboração da matriz de decisão facilita o processo de decisão dos diferentes princípios de solução relacionados na etapa anterior, a fim de se elaborar alguns conceitos de máquinas, para que então seja eleita a melhor destas.

Para realizar a escolha do melhor conceito, são desenvolvidas algumas combinações de princípios de solução em uma matriz. Após isso, é efetuada a pontuação de cada uma dessas combinações, tendo-se em conta os requisitos de projeto.

Após a pontuação de cada princípio de solução, é realizado um comparativo com os resultados, que indica qual é a melhor alternativa de projeto, dentre as combinações desenvolvidas. O conceito que apresentar a melhor nota é selecionado para que seja realizada a próxima etapa. Esta etapa foi desenvolvida no item 4.5 deste trabalho.

3.2.6 Etapa 6: Projeto Preliminar

Definido conceitualmente o projeto, desenvolve-se a concretização de formas e a ocupação espacial do produto. Nesta etapa são calculadas as forças necessárias em cada movimento do equipamento, determinando o curso dos movimentos para que se obtenha o briquete da melhor forma possível. Também é definido o leiaute de distribuição de componentes e forma de carregamento de cavaco e a saída do briquete prensado. Ainda é estudado formas de extrair o óleo solúvel. Tudo isto sem descuidar das normas de segurança citados no item 2.3

O projeto do equipamento é executado em um software de CAD denominado Solid Edge®. Após efetuado o modelamento 3D do equipamento pode-se avaliar de forma virtual todos os movimentos, interferências entre peças, praticidade na montagem e manutenção,

além do aspecto visual do equipamento e os requisitos necessários para enquadramento nas normas de segurança. Esta etapa foi desenvolvida no item 4.6 deste trabalho.

3.2.7 Etapa 7: Custo Aproximado do Equipamento

Esta etapa do projeto está entre as que mais desafiam o projetista. Desenvolver um projeto que atenda aos requisitos iniciais, possua algum diferencial que o destaque entre os concorrentes e tenha custo dentro do objetivo, torna-se necessário que o projetista avalie minuciosamente cada um dos componentes.

Para o desenvolvimento da briquetadeira este item tem grande relevância, visto que pode ser bem aceito no mercado se, além de seus diferenciais, possa ser comercializado abaixo do preço da concorrência. Então, é necessário avaliar cada item, até mesmo os menos relevantes, para obter os resultados esperados.

Caso o custo do produto desenvolvido ultrapase o custo objetivo definido na etapa um, é necessário retornar o projeto a partir da etapa dois do desenvolvimento, seguindo as demais etapas, até que se obtenha o resultado esperado.

Na empresa TRDI esta etapa do desenvolvimento pode ser acompanhada durante o modelamento do projeto, pois a TRDI utiliza um sistema que integra os setores e torna visível ao projetista as informações de custo de cada componente durante sua seleção. Ao importar a lista de materiais para o sistema integrador da TRDI o valor da matéria prima já fica disponível para análise, restando apenas determinar, junto à engenharia de processo, as horas necessárias para fabricação, o qual também possui um custo médio pré-estabelecido no sistema. Ao inserir as horas necessárias para fabricação o custo total do equipamento fica disponível para análise. Esta etapa foi desenvolvida no item 4.7 deste trabalho.

3.2.8 Etapa 8: Projeto Detalhado

Após a validação do projeto, dentro do custo previsto e que atenda os requisitos iniciais de projeto, passa-se para a etapa de detalhamento. Nesta etapa é desenvolvida toda a documentação necessária para que o mesmo possa ser produzido, montado e testado. Portanto, nessa fase são elaborados os manuais de operação e manutenção, o detalhamento de cada item individualmente e a criação de adesivos e plaquetas que contenham as informações técnicas.

Após a conclusão do detalhamento, os desenhos e documentos são entregues ao setor de processo de manufatura para que seja providenciada a compra e fabricação de todos os

componentes. Estando disponível e dentro das especificações de projeto todos os itens, os mesmos serão encaminhados para o setor de montagem. Esta etapa foi desenvolvida no item 4.3 deste trabalho.

3.2.9 Etapa 9: Testes, Correções e Aprovação

Estando instalados todos os componentes, inclusive os itens de segurança, pode-se então dar início aos movimentos do equipamento. Após estar lubrificado, sem possíveis vazamentos e não apresentando ruídos fora do esperado pode ser iniciada a alimentação de cavaco para prensagem.

Primeiramente deve-se alimentar o equipamento com cavaco em pequenas quantidades e verificar se as etapas de processamento estão ocorrendo conforme o previsto em projeto. Verificar se o cavaco está se deslocando para a região de compactação, se o briquete compactado está sendo extraído do equipamento, se o fluido refrigerante eliminado na compactação está sendo drenado do briquete, entre outras características que podem ser descritas após o projeto estar totalmente definido.

Caso alguma destas características citadas acima não esteja ocorrendo, o projeto será retomado a partir da etapa seis, seguindo as demais etapas do desenvolvimento até que se obtenha o resultado esperado. Estando o equipamento já fabricado e não atendendo todas as expectativas iniciais do projeto, se retorna a etapa seis, pois retornar a etapa dois do desenvolvimento pode comprometer o protótipo já fabricado. Apenas se não for encontrada uma solução se retorna a etapa dois, o qual comprometeria os custos e prazos do desenvolvimento.

Estando o equipamento com funcionamento de acordo com o detalhamento do projeto, o setor de engenharia efetua a leitura de tempos de processo para comparar com o previsto em projeto. Além disto, deve ser efetuada a pesagem dos briquetes produzidos com os principais metais e também comparado aos valores previstos no projeto. Com a medição efetiva dos tempos e densidade dos briquetes é possível determinar a capacidade produtiva real e compara-lá com o previsto. Sabe-se que este fator é relativo a densidade inicial do cavaco, que varia de acordo com o tipo e também os parâmetros de usinagem.

Além dos itens citados acima, pode haver necessidade de verificação de mais alguns itens, estes de acordo com o projeto, cujo desenvolvimento está escrito no capítulo quatro deste trabalho, por isso, ainda não podem ser descritos.

Realizados todos os testes preliminares para verificação de movimentos e tempos de processo, o equipamento deve ser acoplado a alguma máquina de usinagem ou até mesmo ser alimentado manualmente para que trabalhe por um período mínimo de duzentas horas. Neste período devem ser realizadas inspeções básicas nos componentes mecânicos para avaliar possíveis desgastes prematuros. Se neste período o equipamento apresentar alguma falha de processo, deve-se desmontá-lo para avaliar cada componente buscando a origem do problema. Caso necessário o projeto deverá ser retomado a partir da etapa seis, seguindo as demais etapas do desenvolvimento até que se obtenha o resultado esperado. Somente após este período de teste é que o equipamento vai estar disponível para comercialização.

Feito isto, o setor de engenharia passa a dar suporte técnico ao setor comercial a fim de auxiliar nas vendas e também auxiliar a produção na fabricação das demais unidades, conforme a demanda de mercado.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Neste capítulo foi realizado o PDP de um equipamento utilizado para compactar cavaco denominado briquetadeira. Este processo foi elaborado em nove etapas propostas no capítulo três deste trabalho, e com referencial teórico apresentado no capítulo dois do mesmo. Estas etapas se iniciam com o levantamento de informações e finalizam com o equipamento testado e aprovado pela TRDI.

4.1 ETAPA 1: LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES

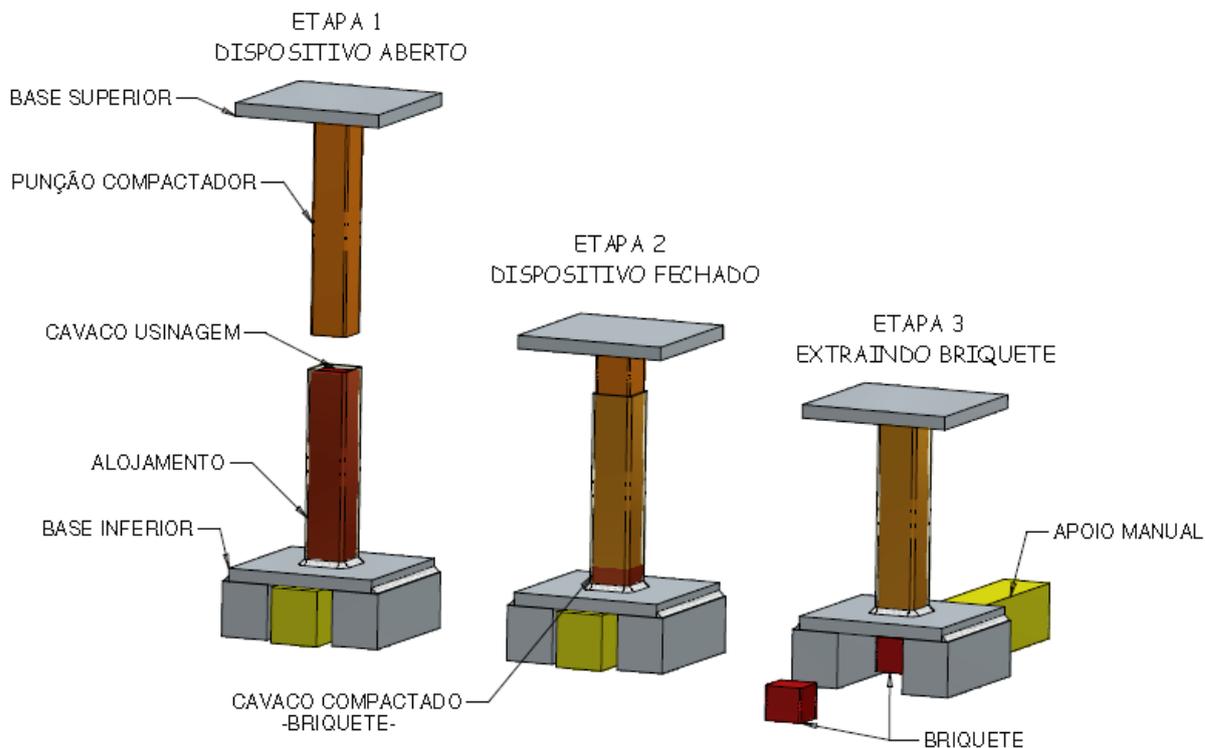
Diante das informações coletadas em catálogos de fabricantes de briquetadeiras, pesquisas em artigos, sites e revistas citadas no capítulo dois deste trabalho observou-se a necessidade de simular a compactação de metais com objetivo de obter algumas características técnicas deste processo, que são:

- a) quantificar a diminuição de volume do cavaco compactado até se tornar um briquete;
- b) aplicar diferentes forças de compactação em diferentes amostras;
- c) realizar passagem das amostras a fim de avaliar a densidade do briquete;
- d) avaliar em diferentes compactações a estrutura física do briquete;
- e) verificar se é possível extrair o óleo solúvel do cavaco durante a compactação;
- f) avaliar em diferentes amostras se resta fluído refrigerante no briquete, e que este venha a escoar posteriormente.

Para possibilitar este teste a TRDI disponibilizou uma prensa com força de fechamento regulável de 60 toneladas (588.360 Newton), material e horas de fabricação necessária para fabricar de forma simples algum dispositivo que possa realizar este teste. Além disto, a TRDI solicitou que os testes fossem realizados apenas com cavaco de aço em diferentes formas e processos de obtenção, ou seja, com volume inicial variado.

Diante disto foi elaborado um desenho do dispositivo necessário, de acordo com materiais existentes na empresa e que necessitasse de pouca manufatura para poder efetuar os testes com segurança. Para isto foi criado então um alojamento para acomodar manualmente o cavaco, um punção para compacta-lo e um apoio que possibilite extrair o briquete produzido, conforme pode ser observado na Figura 14. Na primeira etapa pode-se observar o dispositivo aberto com material no recipiente. Na segunda etapa observa-se o material já compactado através do movimento da prensa e na terceira etapa, através do deslocamento manual do batente, pode ser observada a extração do briquete.

Figura 14 - Dispositivo de Prensagem



Fonte: O Autor (2013).

Fixando a base inferior à mesa da prensa e a base superior ao seu martelo da mesma com o auxílio de grampos, o dispositivo é utilizado com características semelhantes a uma ferramenta de estamparia. Ao movimentar hidráulicamente a prensa, o punção distribui a força regulável da prensa sob o material a ser compactado. A prensa disponível para os testes possui uma válvula direcional muscular, ou seja, é acionada manualmente pelo operador. Junto a válvula possui um manômetro e uma válvula de alívio onde pode-se regular a pressão máxima requerida na prensagem e, conseqüentemente regular a força aplicada ao movimento.

A prensa possui um atuador hidráulico de oito polegadas de diâmetro, ou seja, possui uma área de atuação no avanço do cilindro de 32.429 mm². Desta forma, ao variar o manômetro em uma unidade (um bar) a linha de pressão do sistema hidráulico da prensa a força aplicada ao movimento é de 3242,9 N. Já o alojamento do dispositivo foi projetado e fabricado com tubo quadrado de 60x60 mm com parede de 3 mm e arredondamento interno nos cantos de 3 mm. Desta forma a área útil de acomodação de cavaco é de 2908 mm².

Com base nestas informações foi elaborado o Quadro 2 onde foram sugeridas diversas pressões a serem testadas. Este quadro foi elaborado para efetuar os testes na máquina e também para a avaliação de cada amostra de briquete produzida.

Quadro 2 – Relação entre Pressão Hidráulica e Força Aplicada

Pressão Sistema Hidráulico (bar)	Força da Máquina (N)	Força Aplicada ao Briquete (N/mm ²)
10	32.429	11,15
20	64.858	22,30
30	97.287	33,45
40	129.716	44,60
50	162.145	55,75
60	194.574	66,90
70	227.003	78,06
80	259.432	89,21
90	291.861	100,36
100	324.290	111,51
120	389.128	133,81
140	454.006	156,12
160	518.864	178,42
180	583.722	200,73

Fonte: O Autor (2013).

Fabricado o dispositivo, inicia-se então a fase de testes com as pressões sugeridas no quadro. O primeiro item a ser observado durante o teste é a quantidade de óleo solúvel que o cavaco, aparentemente livre do óleo, possui. Mesmo aplicando forças muito baixas se observa o óleo solúvel se separando do cavaco e escorrendo do dispositivo. A partir da terceira amostra sugerida o briquete extraído já apresenta boa resistência quanto à estrutura física. Seguindo com os testes se observou que a partir de 55,75 N/mm² pouco se altera nas características do briquete, ou seja, sua aparência, integridade, e densidade são muito semelhantes.

Após a realização da maioria dos testes sugeridos, com obtenção de briquete compactado com forças variando entre 33,45 e 200,73 N/mm² os briquetes foram então armazenados por duas horas sobre um papel absorvente para poder visualizar possíveis resíduos de óleo solúvel no briquete. Neste período o papel absorvente não umideceu, podendo comprovar que o briquete fica praticamente isento de óleo.

Por último foi então realizado a medição de volume e a pesagem de um briquete com objetivo de obter os resultados de densidade e volume compactado. Todas as amostras foram realizadas preenchendo o alojamento com cavaco de densidade semelhante, devido a dificuldade de manusear e inserir cavacos longos e embaraçados. O alojamento fabricado possui uma altura de 300 mm e conseqüentemente seu volume interno é de 872.400 mm³ a ser

preenchido com cavaco. Ao realizar as medições nos briquetes se observou que os briquetes compactados com força igual ou superior a $55,75 \text{ N/mm}^2$ o seu volume variou entre 100.000 e 110.000 mm^3 . Deste modo pode-se observar que o volume do cavaco prensado reduziu até oito vezes o volume inicial. Com o auxílio de uma balança eletrônica foi realizado a pesagem individual dos briquetes compactados entre $55,75$ e $200,73 \text{ N/mm}^2$. A massa encontrada ficou entre 380 e 415 gramas cada amostra. Desta forma a densidade do briquete fica em torno de $3,8$ toneladas por metro cubico, ou seja, fica com aproximadamente de 48% da densidade do aço sólido. A Figura 15 apresenta um briquete compactado a $5,57 \text{ kgf/mm}^2$.

Figura 15 - Briquete Obtido no Teste



Fonte: O Autor (2013).

Diante das amostras e informações coletadas durante os testes, foi realizada uma reunião na empresa TRDI envolvendo os setores de engenharia de produto e processo, o departamento comercial e a direção da empresa. Nesta reunião foram abordados os assuntos técnicos e também estratégicos para que se desenvolva um equipamento que, além de eficiente, venha a ter boa aceitação no mercado. A seguir estão listadas todas as características observadas na reunião e que o equipamento deve atender:

- a) o valor de todos os materiais e componentes necessários para fabricação do equipamento, incluindo o tratamento térmico, não ultrapasse R\$ 30.000,00 e o custo de fabricação dos componentes fique em, no máximo, R\$ 15.000,00;

- b) a capacidade produtiva seja entre 40 e 60 kg por hora;
- c) a potência total instalada não ultrapasse 10 kW;
- d) a pressão de compactação aplicada não seja inferior a 49,03 N/mm² do briquete;
- e) exista um reservatório e um sistema automático de remoção do óleo solúvel extraído no processo;
- f) ver possibilidade de viabilizar um sistema que processe também o cavaco produzido em fitas longas e embaraçadas.

Diante destas informações foi elaborado o Quadro 3 com as necessidades do cliente citados acima e adicionado demais necessidades fundamentais no desenvolvimento de um equipamento. Estas foram pontuadas de acordo com a importância no projeto, variando entre um e dez pontos, em ordem crescente, de acordo com o grau de importância. Estas atribuições foram definidas em conjunto com os setores de projeto, processo e automação.

Quadro 3 – Necessidades do Cliente e Pontuação

Necessidades do Cliente	Pontuação
Aspecto visual	5
Consumo de energia	7
Durável	7
Ergonomia	3
Espaço físico	2
Fácil lubrificação	4
Fácil manutenção	5
Máquina silenciosa	6
Movimentos automatizados	8
Preço baixo	10
Processar fitas embaraçadas	5
Produtiva	7
Segurança de operação	6
Sistema remoção óleo solúvel	6

Fonte: O Autor (2013).

Nesta pontuação fica evidente que o baixo custo de fabricação e a quantidade de movimentos automatizados têm maior relevância, e os aspectos de ergonomia e espaço físico necessário tem menor relevância, visto que o equipamento deva trabalhar acoplado a uma máquina operatriz e possivelmente não necessite de operador.

Com base nestas necessidades cria-se então os requisitos de projeto relacionados a cada necessidade, conforma Quadro 4:

Quadro 4 – Necessidades do Cliente e Requisitos de Projeto

Necessidades do Cliente	Requisito de Projeto
Aspecto visual	Possuir boa aparência
Consumo de energia	Baixo consumo de energia (KW)
Durável	Tempo de garantia (meses)
Ergonomia	Altura de trabalho (mm)
Espaço físico	Area necessária instalação (m ²)
Fácil lubrificação	Tempo necessário para lubrificar (min)
Fácil manutenção	Componentes padronizados (% do total)
Máquina silenciosa	Decibéis máximo (dB)
Movimentos automatizados	% movimentos automáticos (%)
Preço baixo	Custo do equipamento (R\$)
Processar fitas embaraçadas	Desembaraçador de fitas
Produtiva	kg/h material processado (kg/h)
Segurança de operação	Atender NR-12
Sistema remoção óleo solúvel	Bomba de Fluido

Fonte: O Autor (2013).

4.2 ETAPA 2: ELABORAÇÃO DA MATRIZ QFD

Diante das necessidades do cliente e dos requisitos de projeto claramente compreendidos pode-se então iniciar a construção da matriz QFD, que tem por objetivo definir o grau de importância dos requisitos de projeto. Desta forma pode-se obter quais os requisitos de projeto são determinantes para que o desenvolvimento do equipamento possa progredir mantendo o foco inicial.

Montou-se então a matriz QFD, conforme Figura 16, e em reunião entre os setores de projeto, processo e automação foram preenchidos todos os campos do QFD, sendo que os integrantes participaram efetivamente da pontuação, principalmente onde envolvia sua área de atuação e conhecimento específico.

Diante dos resultados obtidos no desenvolvimento da matriz QFD pode-se observar os seguintes detalhes:

- a) o custo de fabricação segue como prioritário no desenvolvimento do equipamento, sendo que este fator é primordial para ter boa aceitação no mercado;
- b) o item de bastante repercussão durante o desenvolvimento da matriz QFD foi o desembarçador de cavacos, que ficou em segundo lugar na lista de prioridades, e torna-se necessário para garantir um trabalho contínuo do equipamento com qualquer tipo de cavaco;

- c) entre os itens de relevância estão ainda a importância de se ter os movimentos automatizados para garantir produtividade, afastar o operador do processo garantindo segurança, e economizar energia elétrica aproveitando todos os tempos de processo evitando paradas;
- d) os demais itens estão relacionados aos aspectos gerais de um equipamento e foram considerados de baixa relevância para o desenvolvimento da matriz QFD, pois a TRDI aplica estes conceitos em todos os equipamentos fabricados, portanto também serão observados no desenvolvimento deste projeto.

Figura 16 - Desenvolvimento da Matriz QFD

		Requisitos do Projeto														
		grau de importância	Possuir boa aparência	Baixo consumo de energia	Tempo de garantia	Altura de trabalho	Area necessária instalação	Tempo necessário para lubrificar	Componentes padronizados	Decibéis máximos	% movimentos automáticos	Custo do equipamento	Desembaraçador de fitas	kg/h material processado	Atender NR-12	Bomba de Fluido
<u>RELAÇÃO</u> 5 - Forte 3 - Médio 1 - Leve 0 - Não Se Aplica																
Necessidades do Cliente	Aspecto visual	5	5	0	0	1	1	0	1	1	3	1	1	5	0	
	Consumo de energia	7	0	5	0	0	0	0	3	1	3	3	3	0	1	
	Durável	7	0	0	5	0	0	0	1	0	1	5	3	1	0	1
	Ergonomia	3	1	0	0	5	1	0	0	0	3	1	1	0	1	1
	Espaço físico	2	3	0	0	1	5	1	0	0	0	1	1	0	0	0
	Fácil lubrificação	4	1	1	3	1	1	5	0	0	0	1	1	0	1	0
	Fácil manutenção	5	1	0	1	0	0	1	5	0	0	3	1	0	3	0
	Máquina silenciosa	6	1	0	0	0	0	0	0	5	0	1	3	0	1	1
	Movimentos automatizados	8	1	3	1	0	0	0	0	0	5	5	5	5	3	3
	Preço baixo	10	1	1	0	0	0	0	0	0	5	5	5	3	3	3
	Processar fitas embaraçadas	5	0	5	3	1	1	1	1	3	5	5	5	5	1	0
	Produtiva	7	0	3	0	0	0	1	0	0	5	3	3	5	0	1
	Segurança de operação	6	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	5	0	5	1
	Sistema remoção óleo solúvel	6	0	1	1	0	0	0	1	1	3	3	0	0	0	5
Soma >		67	125	81	31	27	44	43	77	214	273	245	163	142	120	
Priorização >		10	6	8	13	14	11	12	9	3	1	2	4	5	7	
Percentual >		4,1	7,6	4,9	1,9	1,6	2,7	2,6	4,7	13	17	15	9,9	8,6	7,3	

Fonte: O Autor (2013).

Para melhor organização dos dados obtidos no desenvolvimento da matriz QFD foi elaborado o Quadro 5, contendo os requisitos de projeto, os objetivos e metas a serem alcançados, bem como as possíveis saídas indesejadas.

Quadro 5 – NC's, Objetivos, Metas e Saídas Indesejáveis

Clas.	Requisitos de Projeto	Objetivos	Metas	Saídas Indesejadas
1º	Custo de fabricação	Minimizar o custo de fabricação e de componentes necessários	R\$ 30.000,00 para matéria prima, componentes e tratamento térmico e R\$ 15.000,00 para fabricação	Custo acima da meta
2º	Desenbarçador de fitas	Desenvolver sistema que possibilite processar cavaco em fita e embarçado	Criar sistema que desembarace, separe ou triture os materiais	Baixo rendimento ao processar fitas embarçadas e/ou material obstrua a alimentação do equipamento
3º	% movimentos automáticos	Equipamento 100% automatizado	Material entra de um lado e sai briquete	Necessite da intervenção do operador
4º	kg/h material processado	Máquina produtiva	Produzir entre 40 e 60 kg/hora de briquete	Produzir menos que 40 kg/hora com alimentação contínua
5º	Atender NR-12	Fabricar máquina segura	Máquina atenda as exigências da norma regulamentadora NR-12	Máquina que ofereça algum risco a integridade física de pessoas próximas ao equipamento
6º	Baixo consumo de energia	Desenvolver equipamento que seja de baixo consumo de energia elétrica	Tenha potência instalada de no máximo 10 KW	Equipamento com mais de 10 KW de potência instalada
7º	Bomba de fluído	Extrair o fluído do equipamento	Instalar bomba d'água para facilitar a movimentação do fluído	Equipamento com vazamento de fluído e dificuldade para retirar o fluído

Quadro 5 (continuação) – NC's, Objetivos , Metas e Saídas Indesejáveis

Clas.	Requisitos de Projeto	Objetivos	Metas	Saídas Indesejadas
8º	Tempo de garantia	Prazo de garantia de 12 meses para defeito de fabricação	Produzir equipamento resistente e não sofra desgaste prematuro. Utilizar componentes duráveis	Gerar despesas com garantia
9º	Decibéis máximo	Construir equipamento silencioso	Equipamento em operação não ultrapace 80 decibéis	Equipamento em operação ultrapace 80 decibéis
10º	Possuir boa aparência	Desenvolver equipamento como boa aparência	Fabricar equipamento com qualidade, com cantos arredondados e com boa pintura	Visual desagradável
11º	Tempo necessário para lubrificar	Facilidade para lubrificar equipamento	Pontos de lubrificação e identificados e acessíveis	Número excessivo de pontos de lubrificação e dificuldade de acesso
12º	Componentes padronizados	Utilizar componentes padrão de mercado	Utilizar o máximo possível de componentes padronizados	Utilização de componentes específicos
13º	Altura de trabalho	Altura de alimentação ergonômica	Fabricar equipamento com altura de alimentação entre 700 e 1100 mm de altura	Dificuldade para alimentar o equipamento
14º	Area necessária instalação	Utilizar mínimo espaço físico	Minimizar os espaços e fabricar equipamento compacto	Necessidade de grande espaço físico

Fonte: O Autor (2013).

Diante destas informações obteve-se a base necessária para que seja elaborada a próxima etapa de desenvolvimento do equipamento.

4.3 ETAPA 3: ELABORAÇÃO DA ESTRUTURA DE FUNÇÕES

Após classificar os requisitos de projeto por grau de importância no desenvolvimento do equipamento foi então elaborado a estrutura de função global do equipamento de compactar cavacos, conforme Figura 17.

Figura 17 - Função Global do Equipamento



Fonte: O Autor (2013).

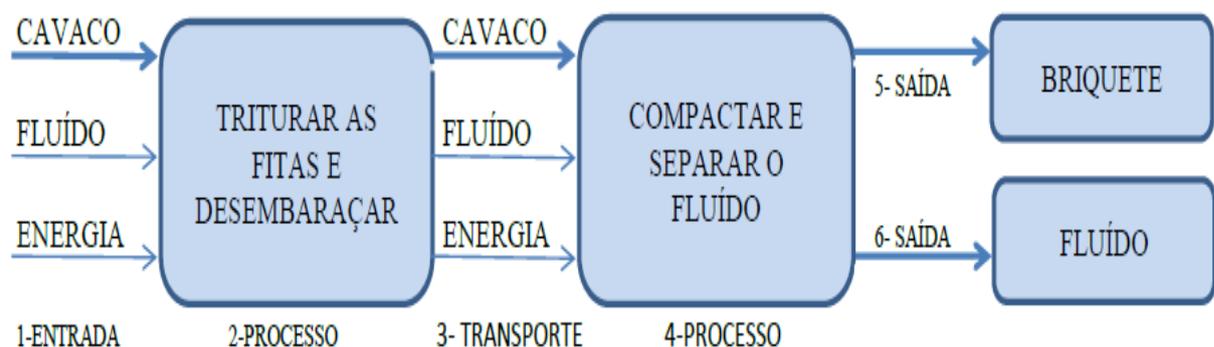
Esta função é desenvolvida em apenas três etapas, onde a entrada e a saída de material permanecem ao longo de desenvolvimento, mas o processo requer um refinamento, de onde surgirá o conceito de máquina requerido, de acordo com os requisitos de projeto anteriormente tratados.

Diante da função global do equipamento iniciou-se então o desdobramento em funções elementares para se encontrar um princípio de solução que possa satisfazer cada um dos requisitos de projeto.

Este trabalho também foi desenvolvido pelos setores de projeto, processo e automação, onde foram selecionadas quais as funções elementares que possam atender da melhor forma os objetivos e metas tratados na etapa anterior. A Figura 18 apresenta a estrutura de função escolhida pelo grupo.

Observou-se a necessidade de desdobrar a função de saída pra tratar separadamente a condução do briquete e o fluído extraído no processo. A parte de processo ficou definida como tendo um triturador e desembaraçador de fitas logo após a entrada, seguido cor um condutor que direcionará o cavaco juntamente com o fluído para a região de compactação.

Figura 18 - Estrutura de Função do Equipamento



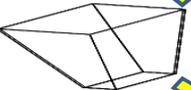
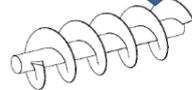
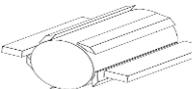
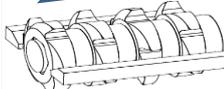
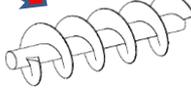
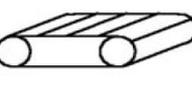
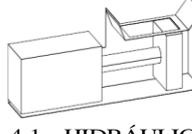
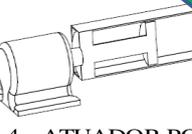
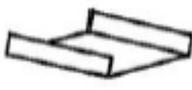
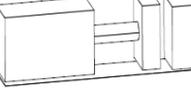
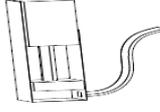
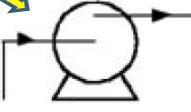
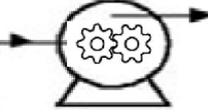
Fonte: O Autor (2013).

4.4 ETAPA 4: ELABORAÇÃO DA MATRIZ MORFOLÓGICA

Diante da estrutura de função desenvolvida para o equipamento passou-se então a listar diferentes maneiras para atender, como princípio de solução, cada uma das funções determinadas na etapa anterior.

Para cada princípio de solução listada elaborou-se um escopo que representa funcionalmente o princípio, como pode ser observado na Figura 19. Estes princípios listados tiveram embasamento nos equipamentos pesquisados no capítulo dois deste trabalho, aliado ao conhecimento técnico e os equipamentos que a TRDI possui em seu parque fabril disponível para fabricar o equipamento.

Figura 19 - Matriz Morfológica

FUNÇÃO	PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO			
	A1	A2	A3	A4
1 ENTRADA CAVACO	 1.1 - ESTEIRA	 1.2 - FUNIL QUADRADO	 1.3 - FUNIL REDONDO	 1.4 - ESPIRAL DE ARQUIMED
2 TRITURA E DESEMBARAÇA	 2.1 - TRITURADOR POR NAVALHAS	 2.2 - PICADOR DENTADO	 2.3 - TRITURADOR POR FRESAS	 2.4 - TESOURA
3 TRANSPORTE	 3.1 - FUNIL REDONDO	 3.2 - ESPIRAL DE ARQUIMED	 3.3 - FUNIL QUADRADO	 3.4 - ESTEIRA
4 COMPACTA E SEPARA FLUÍDO	 4.1 - HIDRÁULICO HORIZONTAL	 4.2 - EIXO EXCÊNTRICO	 4.3- HIDRÁULICO DUPLA AÇÃO	 4.4 - ATUADOR POR FUSO
5 SAÍDA DO BRIQUETE	 5.1 - CALHA EM RAMPA	 5.2 - CILINDRO	 5.3 - CANALETA	 5.4 - MANIPULADOR COM GARRA
6 SAÍDA DO FLUÍDO	 6.1 - BOMBA DE PISTÃO	 6.2 - MOTOBOMBA DE PALHETAS	 6.3 - MOTOBOMBA DE ENGRENAGENS	 6.4 - MANUALMENTE

Nesta etapa do desenvolvimento participaram os mesmos integrantes das demais etapas, e foram utilizados os catálogos, sites e vídeos disponíveis dos atuais fabricantes de briquetadeiras para ilustrar e facilitar o desenvolvimento desta etapa. Os escopos foram desenhados primeiramente em um quadro para facilitar a visualização de cada princípio de solução, visto que os princípios selecionados na próxima etapa serão utilizados no desenvolvimento do projeto preliminar.

4.5 ETAPA 5: ELABORAÇÃO DA MATRIZ DE DECISÃO

A partir dos princípios de solução desenvolvidos na matriz morfologia elaborou-se novamente uma matriz para relacionar os requisitos de projeto desenvolvidos no início deste capítulo a as cinco alternativas propostas. Os requisitos de projeto foram pontuados de acordo com o resultado da matriz QFD e relacionados com as alternativas, de acordo com o grau de importância de cada alternativa, como pode ser observado na Figura 20.

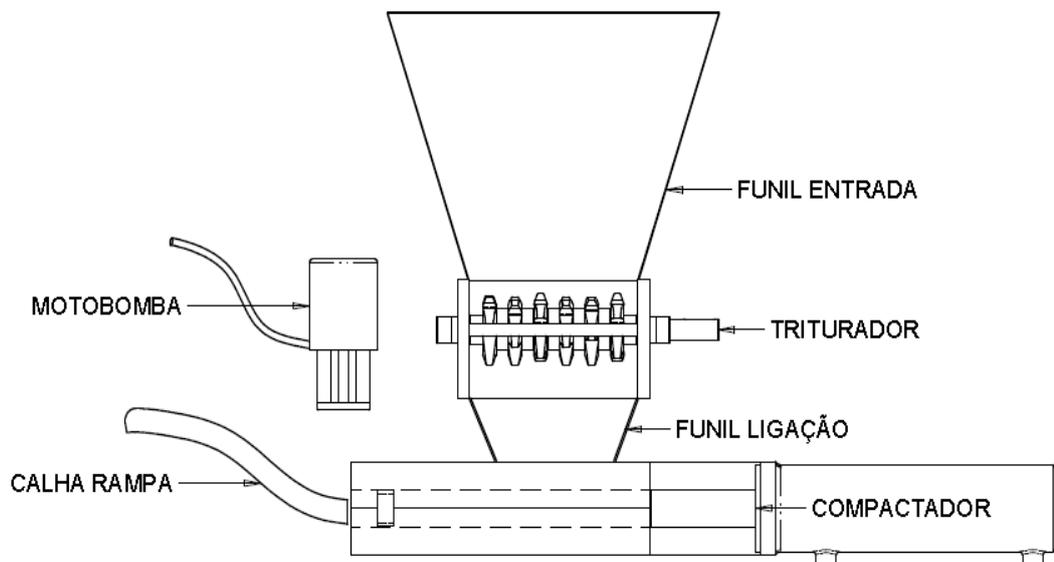
Figura 20 - Matriz Decisão

REQUISITOS DE PROJETO	PESO %	A1	A2	A3	A4
Possuir boa aparência	4,1	1	3	3	3
Baixo consumo de energia	7,6	1	5	3	3
Tempo de garantia	4,9	1	5	1	1
Altura de trabalho	1,9	3	3	3	3
Area necessária instalação	1,6	1	5	5	1
Tempo necessário para lubrificar	2,7	1	5	3	3
Componentes padronizados	2,6	1	1	5	3
Decibéis máximo	4,7	1	5	3	3
% movimentos automáticos	13,0	3	3	3	1
Custo do equipamento	17,0	1	5	1	3
Desenbaraçador de fitas	15,0	1	5	1	3
kg/h material processado	9,9	3	5	3	1
Atender NR-12	8,6	3	3	3	3
Bomba de Fluido	7,3	1	5	3	1
SOMATÓRIO		167,7	438,9	237,3	229,3

Legenda	
5	Atende Bem
3	Atende
1	Não Atende

Através da matriz decisão ficou então selecionado a alternativa dois para o desenvolvimento deste trabalho. A Figura 21 ilustra o esboço do equipamento selecionado. Participaram do desenvolvimento desta etapa as engenharias de produto, de processo e o setor de automação.

Figura 21 - Esboço do Equipamento



Fonte: O Autor (2013).

Observando os princípios de solução para a primeira função poderia-se utilizar o movimento motorizado para inserir o metal ao triturador, mas optou-se pelo uso de um funil e utilizar a gravidade como meio de deslocamento do metal. Isto porque grande parte das máquinas de usinagem possui uma esteira para retirar o cavaco, o qual pode ser acoplado diretamente ao funil de entrada. Também uma esteira ou o sistema aspiral pode ser fabricado independente da briquetadeira e ser comercializado como acessório opcional do equipamento.

Para a segunda função se observou que o uso de fresas ao invés de navalhas reduz os esforços de corte, pois as fresas podem ser montadas intercaladas de forma que o corte não seja no mesmo instante em toda a extensão. Isto reduz a potência requerida para esta função, além de que as arestas da fresa podem facilitar o deslocamento do metal, desembaraçando e cisalhando as fitas.

Na terceira função manteve-se o funil retangular, pois fica em vantagem quanto ao funil redondo, no aspecto construtivo. O funil retangular pode ser fabricado a partir de chapas oxecortadas, não requerendo o processo de conformação por calandra.

No processo de compactação se observou que o uso de atuador hidráulico é a melhor opção, isto comparado ao custo de desenvolvimento e fabricação de um sistema excêntrico, como citado na alternativa dois. O sistema por fuso também foi descartado devido à potência necessária para esta aplicação ser maior, aliada ao desgaste dos componentes.

Para a retirada do briquete e também para a saída do fluido optou-se pelos sistemas mais econômicos possíveis. Como há a necessidade de automatizar a retirada do fluido do equipamento, optou-se por uma motobomba de palhetas, e para a saída do briquete, optou-se por uma calha em rampa. Como o briquete se deslocará da câmara de prensagem para a rampa com o próprio movimento do compactador, pode-se então utilizar uma rampa acendente que direciona o briquete para cima. Isto possibilita também o escoamento de possíveis resíduos de óleo solúvel para o reservatório interno do equipamento.

4.6 ETAPA 6: PROJETO PRELIMINAR

Após definir conceitualmente o equipamento na etapa anterior, iniciou-se então o desenvolvimento e concretização de formas e geometrias que vão formar o equipamento. Nesta etapa foi executado o modelamento 3D de todo o equipamento, calculados os esforços, determinando o curso e sequência de cada movimento. Também foi realizada a escolha dos componentes e desenvolvido o sistema de segurança do equipamento.

Diante do esboço selecionado para seguir o projeto, optou-se por dividir esta etapa em três subitens. Primeiro desenvolvendo e dimensionando o compactador, seguindo pelo desenvolvimento e cálculos do triturador e na terceira etapa desenvolvendo a estrutura e disposição de todos os componentes que formam o equipamento.

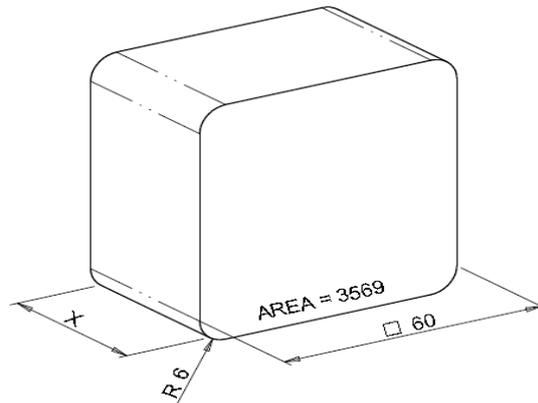
4.6.1 Desenvolvimento do Compactador

Para desenvolver esta etapa será necessário primeiramente dimensionar a câmara de prensagem, a força de compactação, o curso do cilindro compactador e também dimensionar o sistema de gaveta que permite a retirada do briquete compactado.

De acordo com as amostras coletadas na tomada de informações e também com as informações contidas na Tabela 1 deste trabalho, que trata das características dos equipamentos produzidos pela concorrência, ficou sugerido então que o briquete produzido pelo equipamento tenha formato quadrado com dimensão de 60 x 60 milímetros e arredondamento de canto de 6 milímetros.

O comprimento do briquete, representado pela letra 'x' da Figura 22, varia de acordo com o volume e quantidade inicial do cavaco inserido na câmara de prensagem. Desta forma o equipamento terá uma área de compactação de 3.569 mm².

Figura 22 - Desenho do Briquete



Fonte: O Autor (2013).

Diante disto passou-se então a dimensionar o atuador hidráulico seguido da unidade hidráulica. Para atingir a pressão de compactação mínima sugerida na tomada de informações, que é de 49,03 N/mm², a força de compactação mínima ficou em: 3569 x 49,03 = 174.988 N. Desta forma o atuador hidráulico necessário para realizar esta força a uma pressão também sugerida de 15,69 N/mm² (aproximadamente 160 bar), fica determinado pela equação 1 abaixo.

$$a \times P = F_c \quad [1]$$

$$r^2 \times \pi \times 15,69 = 174.944 \quad r = 59,58 \text{ mm}$$

Onde:

a = área de atuação do atuador (mm²);

F_c = força do cilindro (N);

P = pressão do sistema hidráulico (N / mm²);

r = raio interno do atuador (mm).

Assim o diâmetro do êmbolo fica em 2 x r = 119,16 mm. Como os cilindros comerciais são dimensionados em polegadas, o cilindro que mais se aproxima desta dimensão

é o de 5 polegadas, ou seja 127 mm de diâmetro e com haste de duas polegadas de diâmetro. Este cilindro aplicado à pressão máxima definida fica, de acordo com a Equação 1, com a força de:

$$(127/2)^2 \times \pi \times 15,69 = F_c \quad F_c = 198.756 \text{ N}$$

Assim a força aplicada ao briquete fica: $198.756 \div 3.569 = 55,69 \text{ N/mm}^2$. Desta forma a força aplicada fica com 13,33% acima da força mínima requerida na tomada de informações.

Como a compactação reduz o volume em até oito vezes o volume inicial, necessita-se então de uma câmara com trezentos milímetros de comprimento para realizar dois ciclos por minuto e produzir cerca de 62,4 kg de briquete por hora. Estes dados foram obtidos através dos cálculos realizados na Equação 2, a seguir:

$$V_b \times D_b \times 10^{-6} = M_b \quad [2]$$

$$\frac{300}{8} \times 3569 \times 3,8 \times 10^{-6} = 0,52 \text{ kg/ciclo}$$

Onde:

V_b = volume do briquete (mm);

D_b = densidade do briquete (ton/m³);

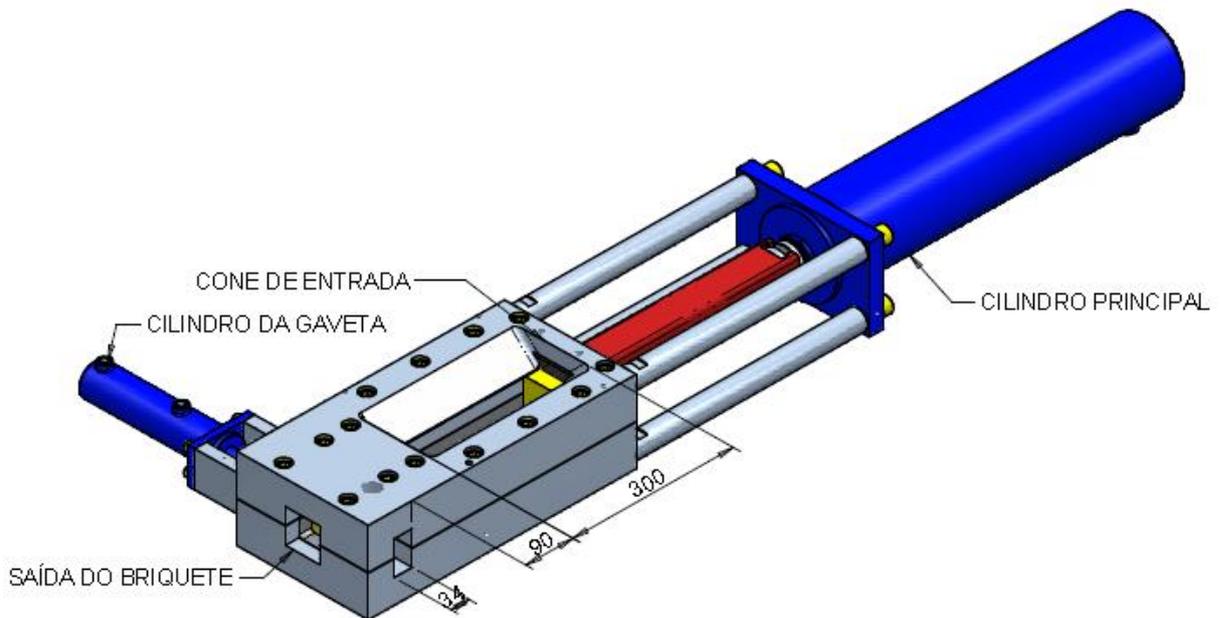
16^{-6} = transformar ton/m³ para kg/mm³;

M_b = massa do briquete (kg).

A produção de 62,4 kg hora é considerando que em cada ciclo se tenha um preenchimento total da câmara de compactação e que o cavaco tenha densidade aproximada do utilizado nos testes da tomada de informações. Por isto se dimensionou o equipamento com a produtividade um pouco acima da máxima requerida na tomada de informações. Desta forma o equipamento pode ter rendimento de apenas 65% da capacidade nominal que ainda atinge a produção requerida.

A partir disto então se elaborou o modelamento 3D do conjunto compactador, considerando a necessidade de um sistema de gaveta para permitir a retirada do briquete da câmara de prensagem, como pode ser observado na Figura 23.

Figura 23 - Sistema de Compactação



Fonte: O Autor (2013).

Diante do modelamento 3D do equipamento pode-se constatar que o cilindro principal de compactação deverá ter o deslocamento de 450 mm e o cilindro da gaveta ficou em 50,8 mm (duas polegadas) de diâmetro, com haste de 25,4mm (uma polegada) e com curso de deslocamento de 100 mm. Assim pode-se calcular o volume de óleo necessário para o deslocamento. Conseqüentemente pode-se calcular a vazão da bomba hidráulica necessária e a potência elétrica requerida para esta função. O dimensionamento do volume de óleo é obtido apartir da Equação 3, a seguir.

$$\left(\frac{dc}{2}\right)^2 \times \pi \times c = Va1 \quad [3]$$

$$Va1 = (127/2)^2 \times \pi \times 450 \quad Va1=5.700.459 \text{ mm}^3$$

Onde:

dc = diâmetro do cilindro;

c = curso cilindro;

Va1 = volume do avanço cilindro principal;

Para calcular o volume de avanço do cilindro da gaveta, Va2, utiliza-se a mesma equação, onde obteve-se Va2= 202.682 mm³. Já para calcular o volume de óleo no retorno

dos cilindros calcula-se o volume da haste do mesmo. O volume encontrado é diminuído do volume no avanço. Desta forma obtemos $Vr1 = 4.788.385 \text{ mm}^3$ e $Vr2 = 152.012 \text{ mm}^3$.

Com a soma dos volumes calculados acima se pode obter o volume total Vc de deslocamento da bomba para efetuar um ciclo da máquina, que é obtido a partir da Equação 4, a seguir.

$$Vc = Va1 + Va2 + Vr1 + Vr2 \quad [4]$$

$$Vc = 5.700.459 + 202.282 + 4.788.385 + 152.012 \quad Vc = 10.843.138 \text{ mm}^3$$

Obtido a vazão necessária para efetuar um ciclo do equipamento pode-se então dimensionar a bomba hidráulica e conseqüentemente a potência necessária para atingir a pressão requerida. Como são necessários dois ciclos completos por minuto para atingir a produção requerida, a vazão mínima da bomba é de $20.686.276 \text{ mm}^3$ por minuto. Uma bomba com deslocamento de $13000 \text{ mm}^3/\text{rotação}$ (13 cm^3 por rotação) acoplada a um motor elétrico de quatro polos com rotação de 1750 rotações por minuto atinge a vazão nominal de $22.750.000 \text{ mm}^3$. Através da Equação 5, pode-se obter a potência do motor necessária para esta aplicação.

$$P = \frac{Q \times p}{456 \times n} \quad [5]$$

$$P = \frac{22.750.000 \times 15,69}{60.500 \times 0,85} \quad P = 6.941,2W$$

Onde:

P = potencia do motor (W);

Q = vazão da bomba (em mm^3 por minuto);

p = pressão de trabalho (em N/mm^2);

n = rendimento do conjunto bomba, acoplamento, motor.

Como um motor de 6.941 W ficou elevado para a meta estabelecida na tomada de informações, necessita-se de um método que venha a simplificar a potência necessária na unidade hidráulica. Nos testes efetuados na tomada de informação observou-se que a pressão

do sistema hidráulico permanece baixa durante grande parte do deslocamento do atuador, ou seja, apenas nos instantes finais da compactação que a pressão se eleva.

Desta forma podemos utilizar uma bomba hidráulica de dois corpos, aumentando o deslocamento inicial e, ao atingir a pressão pré-estabelecida, o óleo da bomba de alta vazão é direcionado a tanque e apenas o óleo com alta pressão e baixa vazão completa o ciclo. Para utilizar este sistema é necessário, além da bomba de dois corpos, um bloco manifold da unidade hidráulica possua duas entradas separadas e duas válvulas de alívio. Assim, ao ligar o motor elétrico e acionar a válvula de ventagem seguido da válvula direcional as duas bombas passam a deslocar o cilindro. Quando a pressão interna do sistema começa se elevar, uma das válvulas previamente regulada direciona o óleo de alta vazão ao tanque e mantém apenas a linha de pressão com menor vazão deslocando o cilindro. Com isto podemos dimensionar duas bombas com pressão e vazão diferentes até que se obtenha o deslocamento mínimo necessário para realizar os dois ciclos necessitando de uma potência menor ao sistema.

Admitindo que 1/3 final do deslocamento de avanço do atuador compactador e o avanço e retorno do atuador da gaveta sejam realizados com uma bomba que atinja pressão de 15,69 N/mm² e que o restante dos deslocamentos seja realizado com uma bomba de alta vazão e baixa pressão, efetuou-se simulações de aplicação, até que se encontre uma forma viável de combinação de bomba.

Considerando a disponibilidade dos fabricantes de bomba hidráulica de engrenagem, a melhor aplicação ficou utilizando uma bomba de dois corpos com deslocamento volumétrico de 6.000 e 14.000 mm³/rotação. Utilizando motor elétrico de 4 pólos se obtém um deslocamento de 10.500.000 e 24.500.000 mm³ por minuto. Retornando à equação 4, com as adequações do parágrafo anterior, se obteve um volume de deslocamento lento de $V_{cl} = 4.320.000 \text{ mm}^3$ e um volume de deslocamento rápido $V_{cr} = 17.156.000 \text{ mm}^3$ para os dois ciclos necessários. Desta forma se realiza os dois deslocamentos em 54,1 segundos, restando 5,9 segundos ou 10% do tempo para ser aplicado a possíveis tempos de espera entre um acionamento e outro, o qual será avaliado durante os testes do equipamento.

Diante desta aplicação de bomba foi utilizado novamente a Equação 5 para determinar a potência total do motor necessária.

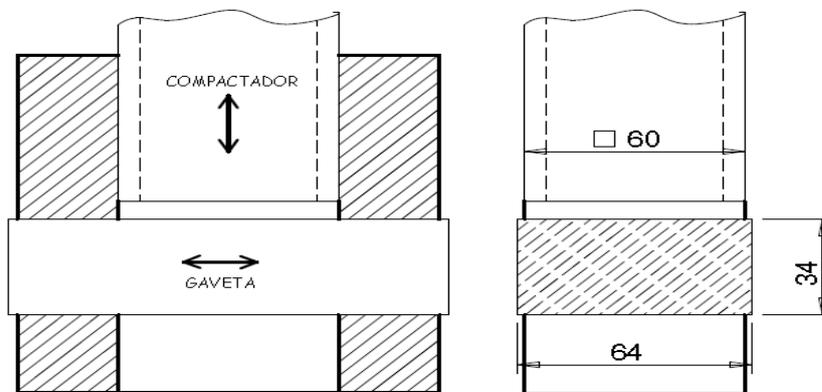
$$P = \frac{Q \times p}{60.500 \times n} \quad [5] \quad P1 = \frac{10.500.000 \times 15,69}{60.500 \times 0,85} \quad P = 3.203 \text{ W}$$

$$P2 = \frac{24.500.000 \times 3,92}{60.500 \times 0,85} \quad P1 = 1.867 \text{ W} \quad P = P1 + P2 \quad P = 5.070 \text{ W}$$

Para este resultado podemos utilizar um motor elétrico de 7,5 cv, padrão de mercado, que resultará em $7,5 \text{ cv} \times 738 \text{ W} = 5.535 \text{ W}$ de potência instalada para efetuar a compactação e deslocamento do briquete. Como requisito de projeto temos um limite de 10 kW para todo o equipamento, então utilizamos 55,3% para compactação estando disponível ainda de 4.470 W para trituração e bombeamento de fluido, além de uma quantidade mínima de consumo dos componentes eletrônicos de automação. O Apêndice A apresenta o diagrama hidráulico necessário para o equipamento.

Ainda nesta etapa do equipamento observou-se a necessidade de calcular a espessura mínima da gaveta de fechamento, o qual sofre esforços de cisalhamento puro, necessitando suportar o esforço do atuador principal. A partir da Figura 24 pode-se efetuar os cálculos, recordando que a força aplicada pelo atuador principal é de 198.756 N.

Figura 24 - Esboço da Gaveta de Fechamento



Fonte: O Autor (2013).

Observando a figura temos um perfil retangular submetido a um cisalhamento puro concentrado em dois pontos de apoio da estrutura do equipamento. Deste modo o esforço aplicado fica distribuído em dois pontos, restando $198.748/2 = 99.374\text{N}$ aplicados à área de cisalhamento que é $64 \times 34 = 2176 \text{ mm}^2$. Assim a tensão de cisalhamento puro pode ser calculada de acordo com a Equação 6 abaixo.

$$\sigma = \frac{F}{a} \quad [6]$$

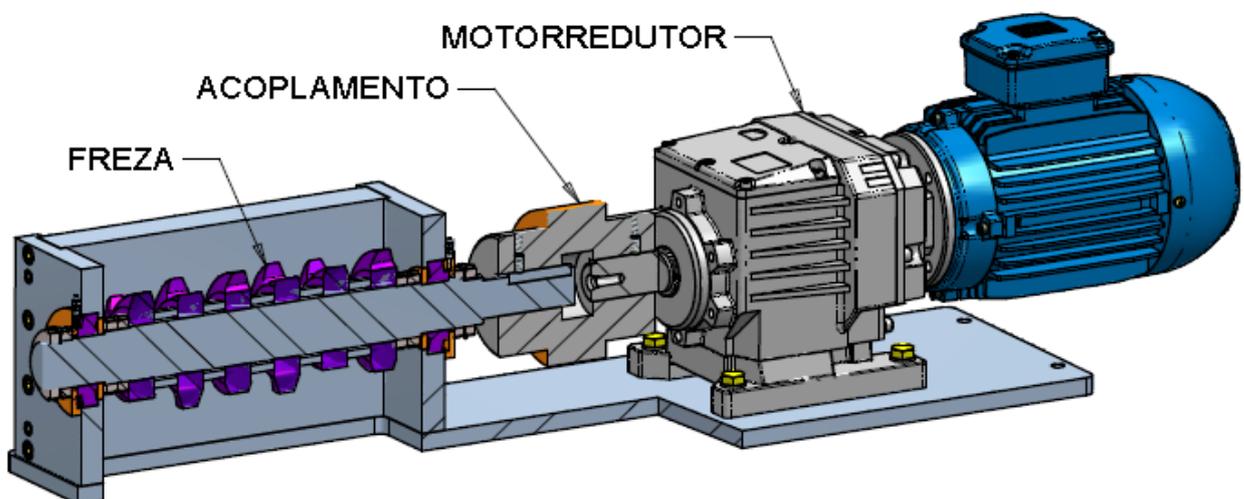
$$\sigma = \frac{99.374}{2176} \quad \sigma = 45,67 \text{Mpa}$$

Todos os itens do equipamento que estiverem em contato com o cavaco sob pressão de compactação devem ser fabricados em aço ferramenta tratado termicamente para resistirem à abrasão que o cavaco de aço sob pressão efetua nas paredes da câmara de compactação. Como a TRDI fabrica ferramentas de corte e estampo e utiliza os aços AISI D6 ou D2 temperados e triplamente revenidos com dureza final entre 60 a 62 HRC, adotou-se este material para fabricação de todos os componentes em contato com o cavaco sob pressão. Um material com estas características apresenta resistência mecânica superior a 2000 Mpa. Desta forma obtém-se um fator de segurança de $2000 / 45,7 = 43,7$. A espessura de 34 mm sugerida para a gaveta não pode ser diminuída em virtude da fixação do cilindro que a movimenta, por isto ficou com um fator de segurança bem acima do mínimo necessário.

4.6.2 Desenvolvimento do Desembaraçador Triturador

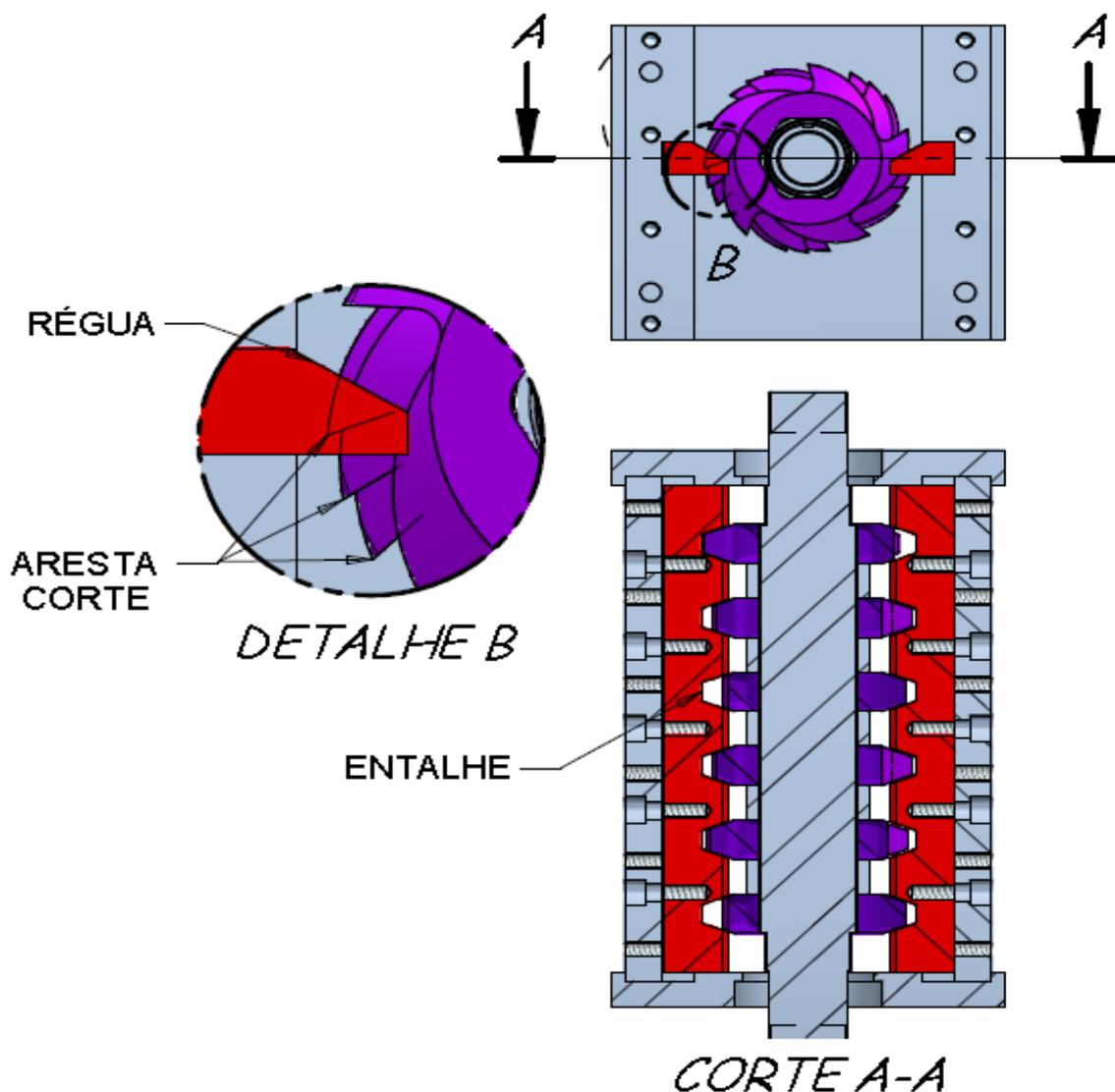
A próxima etapa do projeto foi desenvolver e dimensionar o desembaraçador triturador de fitas, conforme Figura 25. A vista está com um corte parcial no triturador e acoplamento, para facilitar a observação dos detalhes. Observando a figura pode-se observar a necessidade de dimensionar, além da força de corte em cada instante das fresas e consequentemente o torque do motorreductor, a flexão do eixo principal do triturador.

Figura 25 - Conjunto Desembaraçador Triturador



Para facilitar a montagem e permitir que as arestas cortantes das fresas não efetuem o corte simultaneamente, o eixo principal do conjunto deve ser fabricado a partir de um aço sextavado. Desta forma o esforço de corte será em apenas uma aresta em cada instante, como pode ser observado no detalhe 'B' na Figura 26. Outra característica deste conjunto é o espaçamento entre as fresas para permitir que os grãos menores de cavaco passem pelo triturador sem contato com as fresas, que pode ser visualizado no corte A - A da Figura 26.

Figura 26 - Detalhes do Conjunto Desembaraçador Triturador



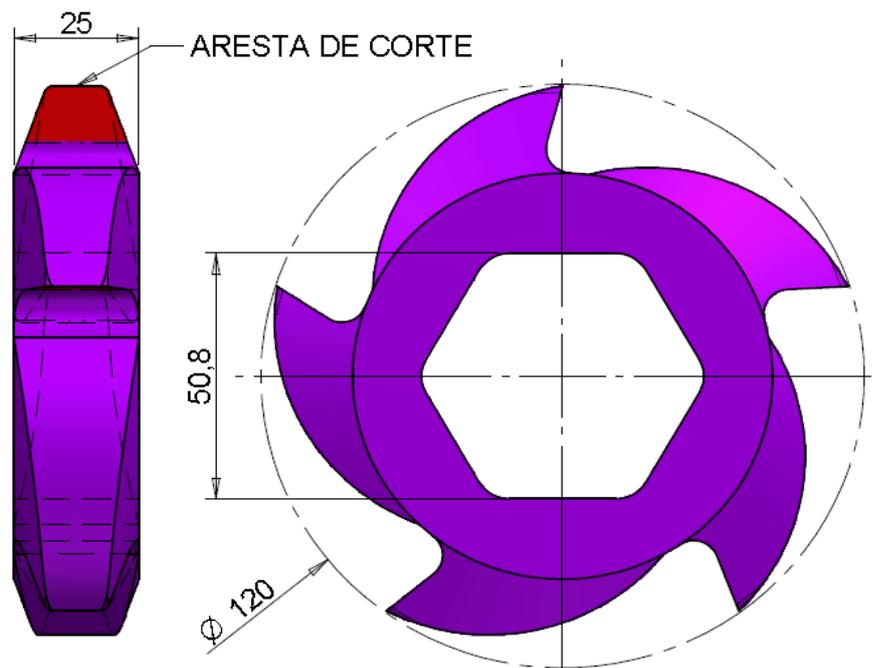
Fonte: O Autor (2013).

O cisalhamento do triturador ocorre entre a aresta cortante da fresa, que pode ser observado na Figura 27, e o entalhe da régua. Estes componentes também foram fabricados em aço ferramenta tratados termicamente. Optou-se por trabalhar com velocidade de corte

inferior à recomendada para usinagem com aço rápido que é de 25 m/min. Como a velocidade de corte está diretamente ligada à potência requerida, observou-se que quanto menor a velocidade de corte, menor a potência necessária e maior a vida útil dos componentes. A fresa com diâmetro da aresta de corte de 120 mm apresenta um deslocamento de $120 \times \pi = 377$ mm/rotação. Assim, a velocidade deve ser de no máximo $25/0,377 = 66,3$ rotações por minuto.

Considerando que o triturador tenha capacidade de triturar em cada instante a espessura de 1 mm em toda a aresta de corte, isto significa uma área de 14 mm^2 . Assim será necessário que a aresta de corte da fresa aplique uma força de $14 \times 320 = 4480$ N para cisalhar aços de baixo carbono, com tensão de cisalhamento de 320 Mpa. Esta força multiplicada pelo raio da fresa resulta no torque necessário para este cisalhamento, que é $120/2 \times 4480 = 268.800$ N/mm ou 268,8 N/m.

Figura 27 - Fresa de Corte



Fonte: O Autor (2013).

A partir da Equação 7 podemos verificar a potência necessária para efetuar o cisalhamento a partir da velocidade máxima de 66,3 RPM. Este cálculo é teórico, por não considerar a eficiência do mecanismo.

$$T = 9,806 \times \frac{P}{\text{RPM}} \quad [7] \quad 268,8 = 9,806 \times \frac{P}{66,3} \quad P = 1.817 \text{ W}$$

Onde:

T = Torque requerido (N/m);

9,806 = valor de ajuste e conversão de unidades;

P = Potência do motor (W);

RPM = Rotação por minuto.

Avaliando o catálogo de redutores do fabricante IBR Redutores, Anexo B, verificou-se que os redutores de alto rendimento tipo coaxial de engrenagens helicoidais são os mais indicados para esta aplicação, pois além de apresentarem uma variada quantidade de reduções, possuem eficiência de até 96%, são leves e compactos, além de seu valor comercial ser inferior à grande maioria dos fabricantes de redutor.

Considerando então um rendimento de 96% para o redutor, a potência teórica necessária para atuar com a máxima velocidade é de $1,817 / 0,96 = 1.893$ W. Outro fator a ser observado na seleção de redutores é o fator de serviço, que requer um dimensionamento para cada tipo de aplicação. No Anexo A pode-se observar que quando o movimento pode sofrer choques moderados e o trabalho pode ser contínuo por mais de um turno de trabalho o fator de serviço ficou em 1,5. Para esta aplicação pode-se considerar um número de partidas / hora inferior a 10 vezes.

Como a potência requerida nos cálculos teóricos ficou consideravelmente baixa, ou seja, esta potência acrescida dos demais itens do equipamento não ultrapassa a potência máxima determinada na tomada de informações. Partiu-se então para o refinamento do cálculo considerando o fator de serviço e também o rendimento mecânico do equipamento. Este rendimento foi avaliado pelo setor de engenharia da TRDI e considerado em 90% de eficiência, isto porque os mancais de sustentação do eixo principal do equipamento estão sustentados sobre rolamentos, onde a perda por atrito é inferior a 8%.

Diante disto optou-se por utilizar um motorreductor com motor de 2.214 W, 4 polos e redução de 35,58 :1 para obter o torque necessário respeitando o fator de serviço e um rendimento do mecanismo de 90%. A partir da Equação 8 pode-se avaliar o resultado.

$$\frac{T_s}{R_m} \times F_{sa} = T_r \times F_{sr} \quad [8]$$

$$\frac{T_s}{0,9} \times 1,5 = 423,3 \times 1,2 \quad T_s = 304,77 \text{ N/m}$$

Onde:

T_s = Torque de saída total (N/m);

R_m = Rendimento do mecanismo;

F_s = Fator de serviço (sugerido no texto acima);

T_r = Torque do redutor (fornecido em N/m pelo fabricante);

F_{sr} = Fator de serviço nominal do redutor.

A partir do torque que o mecanismo dispõe podemos calcular a quantidade máxima de material que pode ser cisalhado em cada instante. Desta forma $304,77 / 0,06 = 5.080$ N que a aresta cortante da fresa aplica sobre o cavaco e o entalhe da régua. Considerando que o metal tenha uma resistência ao cisalhamento de 320 Mpa podemos cisalhar até $5.080 / 320 = 15,875$ mm² de cavaco em cada instante. Este valor ficou 13% acima do determinado anteriormente, ou seja, tem a capacidade de cisalhar em toda a aresta de corte 1,13 mm em cada instante.

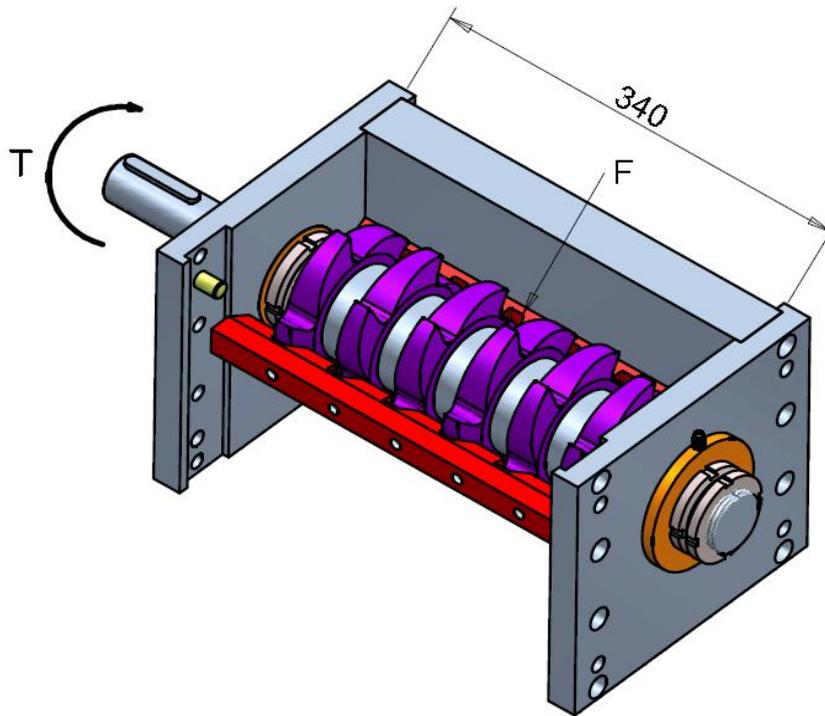
Nos cálculos acima desenvolvidos foi considerado que a resistência ao cisalhamento do aço é de 320 Mpa. Porém, sabe-se que o cavaco de usinagem é resultante do processo de corte de uma ferramenta ao metal em dimensões pequenas. Isto fragiliza a microestrutura do material alterando suas propriedades mecânicas. Mesmo assim optou-se por manter a potência de corte calculada, pois o mecanismo pode sofrer desgastes e mesmo assim pode se manter em operação.

Com esta aplicação a velocidade de corte ficou em $120/1000 \times \pi \times 1750/35,58 = 18,54$ m/segundo, ou seja, com 74,2% da rotação máxima sugerida anteriormente.

Calculado o torque e a velocidade do triturador, observa-se a necessidade de dimensionar o eixo principal. A Figura 28 representa a situação em que o torque aplicado ao eixo resultará na maior tensão sobre ele, ou seja, onde o eixo está submetido ao esforço em toda a extensão produzido pelo torque do redutor mais uma tensão de momento com maior intensidade no centro do triturador.

De acordo com o redutor selecionado anteriormente deve-se utilizar como o torque máximo produzido pelo redutor e aplicado ao eixo principal acrescido do seu fator de serviço, pois em casos de uma exigência acima do dimensionado, o eixo não deve falhar. Sendo que, caso seja inserido um objeto com dimensões acima do máximo permitido, o relé térmico do motor deve ser desarmado sem que haja dano aos componentes mecânicos. Desta forma o redutor aplica um torque máximo de 423,3 N/m com um fator de serviço de 1,2, ou seja, $423,3 \times 1,2 = 507,96$ N/m. Assim os cálculos serão realizados considerando este possível torque.

Figura 28 - Esforços do Eixo do Triturador



Fonte: O Autor (2013).

Através do torque máximo que o redutor possa aplicar ao eixo, pode-se determinar a força máxima que a fresa pode aplicar em um corte no centro do triturador, onde os esforços sobre o eixo terão intensidade máxima. Através da Equação 9 obtém-se este valor.

$$F_c = \frac{T_m}{r} \quad [9]$$

$$F_c = \frac{507,96}{0,06} \quad F_c = 8466 \text{ N}$$

Onde:

F_c = Força máxima de corte (N);

T_m = Torque máximo do redutor (N/m);

r = raio da fresa (mm).

Diante da maior força que o redutor pode aplicar ao sistema, calculada anteriormente, calcula-se a maior tensão de flexão do sistema (Equação 11), a partir do maior momento fletor obtido na Equação 10, a seguir.

$$Mf = F \times d \quad Mf = 8466 \times 170 \quad Mf = 1432220 \frac{N}{mm} \quad [10]$$

$$\sigma_{max} = \frac{Mf \times r}{I} \quad \sigma_{max} = \frac{1432220 \times 25}{\frac{\pi \times r^4}{4}} \quad \sigma_{max} = 116,7 \text{ Mpa} \quad [11]$$

Onde:

Mf = Momento fletor (N/mm);

F = força (N);

d= distância (mm);

σ_{max} = Tensão máxima (Mpa);

R = raio eixo (mm);

I = momento de inércia (mm⁴).

Além da tensão de flexão que tem maior intensidade no centro do triturador, todo o eixo está submetido a uma tensão de torsão, que será calculado a partir da Equação 12, a seguir.

$$\tau_{max} = \frac{T \times r}{J} \quad \tau_{max} = \frac{507,96 \times 25}{(\pi \times r^4)/2} \quad \tau_{max} = 20,696 \text{ Mpa} \quad [12]$$

Onde:

τ_{max} = Tensão de torsão (Mpa);

J = momento polar de inércia (mm⁴).

O eixo será fabricado em aço SAE 1045 trefilado, com limite de resistência ao escoamento de 530 Mpa. Através dos critérios de falha de Treska (Equação 13) e Vom Mises (Equação 14) avalia-se o fator de segurança, a seguir.

$$\frac{\sigma_{adm}}{S} = \frac{\sigma_{max}}{2} + (\sigma_{max}^2 + \tau_{max}^2)^{1/2} \quad [13]$$

$$530/S = 116,7/2 + (116,7^2 + 20,696^2)^{1/2} \quad S = 4,40$$

$$\frac{\sigma_{adm}}{S} = (\sigma_{max}^2 + 3\tau_{max}^2)^{1/2} \quad [14]$$

$$530/S = (116,7^2 + 3 \times 20,696^2)^{1/2} \quad S = 4,34$$

Além disto, devemos calcular a deflexão deste eixo, a fim de determinar a folga mínima de corte. A partir da tensão máxima de 116,7 Mpa calculada anteriormente pode-se calcular o deslocamento máximo do eixo, conforme Equação 15, a seguir.

$$V_{max} = \frac{-P \times L^3}{48 \times E \times I} \quad [15]$$

$$V_{max} = \frac{-116,7 \times 170^3}{48 \times 208.000 \times \left(\frac{\pi \times r^4}{4}\right)} \quad V_{max} = 0,0187 \text{ mm}$$

Onde:

V_{max} = deslocamento máximo (mm);

P = tensão máxima aplicada (Mpa);

L = distância entre apoios (mm);

E = módulo de elasticidade do material avaliado (Mpa);

I = momento de inércia (mm⁴).

Com base nestes cálculos pode-se afirmar que o eixo com diâmetro de 50 mm fabricado com aço SAE 1045 trefilado atende as solicitações com fator de segurança acima de quatro e com deformação máxima inferior a 0,02 mm, o qual não interfere no funcionamento.

4.6.3 Desenvolvimento da Estrutura e Disposição dos Componentes

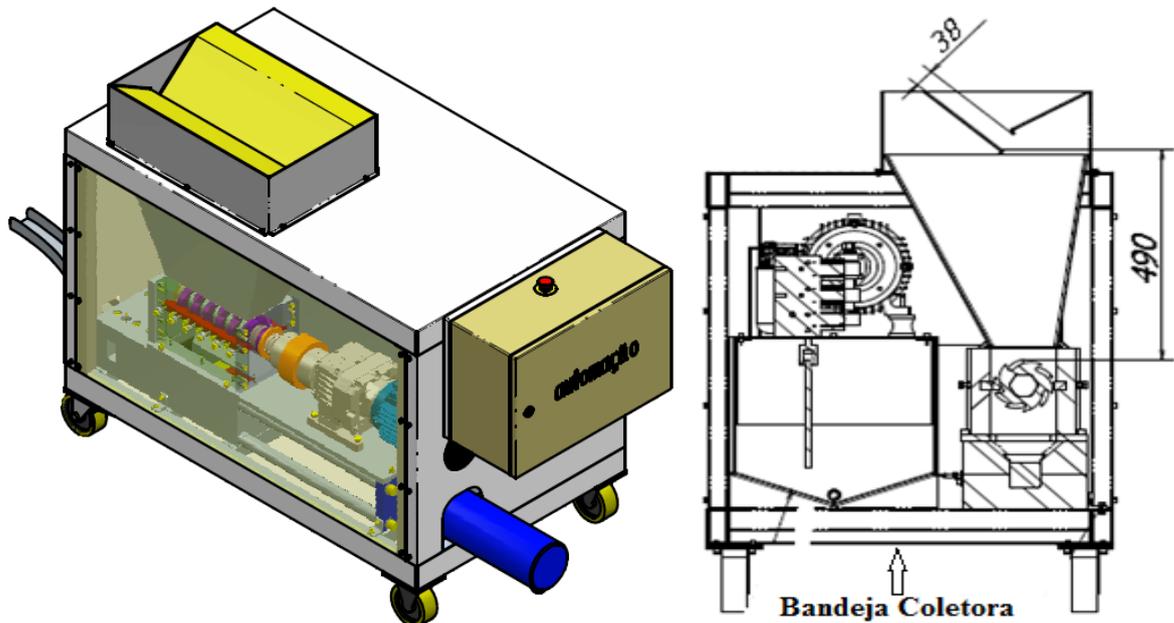
Calculado os principais itens do equipamento passa-se então a desenvolver as proteções que servem como sistema de segurança do equipamento. Optou-se por fabricar um gabinete sobre rodízios para instalar o triturador, o compactador, a unidade hidráulica e os demais itens do equipamento, como pode ser observado na Figura 29.

No detalhe em corte da Figura 29 pode-se observar na parte superior o orifício por onde o metal entra no equipamento. A dimensão de 38 mm do orifício e a distância de 490 mm entre a entrada do metal e a área de risco atendem à NR12, que pode ser observado no Anexo B deste trabalho.

As laterais do gabinete foram revestidas com chapas fixas por parafusos de segurança, permitindo sua remoção por pessoas autorizadas para possíveis manutenções. As proteções no funil de entrada também foram parafusadas, pois caso o equipamento seja acoplada a uma esteira transportadora de cavacos, possa ser removida ou adaptada à nova configuração de alimentação.

Na parte inferior do gabinete foi desenvolvido uma bandeja coletora para garantir que o óleo solúvel extraído no processo fique acumulado nesta região. Sobre este alojamento foi fixado a bomba de fluído que permite automatizar a retirada do mesmo. Este fluído poderá ser direcionado diretamente para as máquinas de usinagem que o utilizam.

Figura 29 - Desenho do Equipamento Montado



Fonte: O Autor (2013).

Concluído o modelamento 3D do equipamento, este foi apresentado ao Engenheiro de Segurança contratado pela TRDI para validar os requisitos de segurança previstos em lei. Estando este aprovado passou-se para a próxima etapa do desenvolvimento.

4.7 ETAPA 7: CUSTOS APROXIMADOS DO EQUIPAMENTO

Diante do modelamento 3D completo do equipamento e da lista de materiais gerada automaticamente pelo Solid Edge, reuniu-se os setores de processo, programação de usinagem, engenharia e direção da TRDI com objetivo de avaliar o projeto e quantificar o custo de fabricação e viabilidade de fabricação de cada item do equipamento. Após o consenso da maioria dos integrantes reunidos se estimou a quantidade de horas necessárias para fabricar e montar o equipamento.

A lista de materiais gerada pelo próprio Solid Edge foi inserida no sistema interno da empresa TRDI e acrescentado os valores orçados dos itens específicos deste equipamento. O

Quadro 6 apresenta estes valores obtidos agrupados por categorias pré-determinadas pela empresa. Nestes valores não está incluso os impostos de venda, nem o custo de projeto, testes e validação do equipamento, pois estes devem ser diluídos com a produção seriada do mesmo.

Quadro 6 – Custo para Fabricar o Equipamento

	CATEGORIA	DESCRIÇÃO- FORNECEDOR	QUANTIDADE	VALOR EM REAIS
Materiais	aço estrutural	tubo -chapa- aço estrutural SAE 1020	650 kg	R\$ 2.320
	aço ferramenta	aço D6 - D2 - VND - N2711	60 kg	R\$ 1.125
	tratamento térmico	tempera - revenimento	50 kg	R\$ 230
	componentes	parafusos -rolamentos - acoplamentos - rodízios	unid	R\$ 1.465
	motorreductor	Ibr redutores	1 unid	R\$ 975
	atuadores hidráulicos	Neumaq	2 unid	R\$ 2.410
	motobomba	Téxius	1 unid	R\$ 89
	unidade hidráulica	Airteq	1 unid	R\$ 8.361
	automação	CLP- acionamentos - cabos - botoeiras - sensores	unid	R\$ 4.820
			subtotal	R\$ 21.795
M. O.	usinagem	usinagem	190 hs	R\$ 12.350
	mão de obra	montagem - solda - pintura - ajustes	140 hs	R\$ 6.720
	mão de obra	automação	60 hs	R\$ 2.880
				subtotal
			TOTAL R\$	R\$ 43.745

Fonte: O Autor (2013).

Após observar que o custo para fabricar e montar o equipamento alcançou a meta estabelecida na tomada de informações, que é de R\$ 45.000 e que os demais itens também atendem os requisitos de projeto, foi então liberado a compra de matéria prima e componentes. O custo previsto para a fabricação ultrapassou o valor meta, mas este poderá ser reduzido de diversas formas quando o produto se tornar produção seriada.

4.8 ETAPA 8: PROJETO DETALHADO

Nesta etapa todas as informações técnicas foram passadas ao desenho impresso para fabricação de cada item, subconjunto e conjunto. Informações estas como: dimensões, tolerâncias, acabamento superficial, tratamento térmico, tratamento superficial, tipo de cordão de solda, tamanho do cordão de solda, entre outros. Os Apêndices B, C e D ilustram o detalhamento do conjunto geral e dos principais subconjuntos do equipamento.

Também foi desenvolvido nesta etapa o projeto de automação, lista de componentes para automação, os manuais de operação e manutenção, diagrama elétrico, programação do CLP e o projeto de montagem do painel de acionamento.

Diante de todos os desenhos impressos e revisados foi então liberado para a fabricação, montagem e ajustes do equipamento.

4.9 ETAPA 9: TESTES, CORREÇÕES E APROVAÇÃO

A TRDI adquiriu o material para fabricação do triturador, do compactador e do gabinete do equipamento. Restando adquirir as proteções físicas, os componentes de automação e a unidade hidráulica, os quais representam cerca de um terço do custo total do equipamento.

Com o material a TRDI executou a usinagem, tratamento térmico e montagem dos subconjuntos e também do gabinete, como pode ser observado na Figura 30.

Diante da montagem parcial do equipamento, com o auxílio de um disjuntor elétrico foi possível testar o desembarçador triturador de fitas. Foi possível observar que o seu rendimento em cisalhar e desembarçar fitas ficou de acordo com a expectativa. O cavaco de pequeno porte passa livremente entre os espaçadores e os segmentos do triturador mantendo a corrente elétrica muito baixa, e conseqüentemente o torque necessário também.

Figura 30 - Montagem Parcial do Equipamento



Fonte: O Autor (2013).

Para testar o compactador se fez uso de uma unidade hidráulica desenvolvida para outro equipamento da TRDI, com vazão de 24,5 litros por minuto e a pressão sugerida no projetor. Esta unidade possui um bloco com opção para até quatro acionamentos bidirecionais ao mesmo tempo através do acionamento das manoplas.

Diante desta instalação foi possível efetuar alguns testes e obter amostras de briquete em aço e também em alumínio, que permitiu avaliar a densidade dos mesmos. Como a unidade hidráulica utilizada tem vazão diferente do requerido no projeto, os tempos de ciclo não foram apurados. De uma forma geral, os testes permitiram checar o desempenho do equipamento e visualizar a saída do fluido durante a compactação. A Figura 31 ilustra os testes realizados.

Figura 31 - Testes do Equipamento



Fonte: O Autor (2013).

Com a obtenção das amostras produzidas com cavaco de aço e também com cavaco de alumínio naval foi possível obter o volume e densidade dos briquetes. A Tabela 3 apresenta a densidade de cada amostra obtida e também a densidade média para o aço e para o alumínio.

A densidade média do briquete de aço ficou em 4,21 ton/m³, ou seja, 53,77% da densidade do aço. Já para os briquetes produzidos em alumínio naval a densidade média ficou em 1,766 ton/m³, ou seja, 63,07% da densidade do alumínio naval que é de 2,8 ton/m³.

Tabela 3 – Densidade dos Briquetes

BRIQUETE DE AÇO	VOLUME (mm³)	MASSA (kg)	DENSIDADE (kg/m³)
amostra 1	89.225	0,375	4.203
amostra 2	95.363	0,405	4.246
amostra 3	93.507	0,395	4.224
amostra 4	98.932	0,415	4.152
amostra 5	91.009	0,385	4.230
		MÉDIA	4.211
BRIQUETE DE ALUMÍNIO			
amostra 1	78.518	0,140	1.783
amostra 2	87.440	0,155	1.772
amostra 3	83.157	0,145	1.743
		MÉDIA	1.766

Fonte: O Autor (2013).

Após os testes do equipamento e obtenção de amostras foi elaborado o Quadro 7 acrescentando os resultados obtidos em cada requisito de projeto.

Quadro 7 – Resultados Obtidos

Clas.	Requisitos de Projeto	Objetivos	Metas	Resultados Obtidos
1º	Custo de fabricação	Minimizar o custo de fabricação e de componentes necessários	R\$ 30.000,00 para matéria prima, componentes e tratamento térmico e R\$ 15.000,00 para fabricação	97,21% do valor estabelecido.
2º	Desembarçador de fitas	Desenvolver sistema que possibilite processar cavaco em fita e embarçador	Criar sistema que desembarce, separe ou triture os materiais.	Bom desempenho, desembarçando e triturando as fitas longas.
3º	% movimentos automáticos	Equipamento 100% automatizado	Material entra de um lado e sai briquete	100% dos movimentos automatizados.
4º	kg/h material processado	Máquina produtiva	Produzir entre 40 e 60 kg/hora de briquete	Não foi possível obter esta informação.

Quadro 5 (continuação) – Resultados Obtidos

Clas.	Requisitos de Projeto	Objetivos	Metas	Resultados Obtidos
5º	Atender NR-12	Fabricar máquina segura	Máquina atenda as exigências da norma regulamentadora NR-12	Não foi fabricado e instalado as proteções físicas para atender este requisito.
6º	Baixo consumo de energia	Desenvolver equipamento que seja de baixo consumo de energia elétrica	Tenha potência instalada de no máximo 10 KW	Potência instalada de 8 KW.
7º	Bomba de fluido	Extrair o fluido do equipamento	Instalar bomba d'água para facilitar a movimentação do fluido	Criado alojamento e instalado bomba de palhetas, podendo direcionar o fluido diretamente para a máquina de usinagem
8º	Tempo de garantia	Prazo de garantia de 12 meses para defeito de fabricação	Produzir equipamento resistente e não sofra desgaste prematuro. Utilizar componentes duráveis	Todos os componentes em contato com o cavaco sob pressão foram temperados para aumentar a resistência.
9º	Decibéis máximo	Construir equipamento silencioso	Equipamento em operação não ultrapace 80 decibéis	Não foi medido o ruído apresentado.
10º	Possuir boa aparência	Desenvolver equipamento como boa aparência	Fabricar equipamento com qualidade, com cantos arredondados e com boa pintura	Não foi concluída a montagem.
11º	Tempo necessário para lubrificar	Facilidade para lubrificar o equipamento	Pontos de lubrificação identificados e acessíveis	Necessário lubrificar apenas os dois mancais do triturador.
12º	Componentes padronizados	Utilizar componentes padrão de mercado	Utilizar o máximo possível de componentes padronizados	Apenas a unidade hidráulica é sob-encomenda.
13º	Altura de trabalho	Altura de alimentação ergonômica	Fabricar equipamento com altura de alimentação entre 700 e 1100 mm de altura	1.200mm de altura para alimentação manual, permitido pela NR-12.
14º	Area necessária instalação	Utilizar mínimo espaço físico	Minimizar os espaços e fabricar equipamento compacto	1,6 m ² de área necessária para instalação.

5 CONCLUSÃO

A origem deste trabalho surgiu da necessidade da empresa TRDI em desenvolver produtos que possam ser produzidos e comercializados em série, com intuito de tornar parte de seu parque fabril destinado a fabricação seriada de produtos. Diante desta necessidade a TRDI realizou uma pesquisa de mercado e verificou a viabilidade de desenvolver um equipamento designado a reciclagem de cavaco de usinagem, denominado birquetadeira.

Diante desta necessidade surgiu o trabalho de desenvolvimento do produto. Adotando a teoria do Processo de Desenvolvimento de Produtos - PDP foi possível montar um plano de trabalho, dividido em nove etapas, para desenvolver o equipamento. Este trabalho teve início na tomada de informações, seguindo pelo uso do método de Desdobramento da Função da Qualidade – QFD até que se obtivesse o modelamento 3D de todo o projeto do equipamento. A etapa final deste desenvolvimento foi os testes e obtenção dos briquetes.

Durante os testes do equipamento foi possível avaliar o funcionamento do triturador que apresentou boa eficiência no desembaraço e trituração das fitas, bem como no auxílio da condução do cavaco pelo funil de entrada. Com as amostras obtidas nos testes foi possível avaliar parte dos parâmetros calculados no desenvolvimento deste trabalho. As amostras em aço obtiveram densidade média de 4,211 ton/m³, ou seja, 53,65% da densidade do aço. Este resultado ficou cerca de 5% acima do obtido na tomada de informações. Esta alteração se deve ao fato de o dispositivo não apresentar uma boa rigidez na compactação durante os primeiros ensaios e também uma possível alteração no volume inicial do cavaco.

Devido a atual situação da TRDI não foi possível concluir a fabricação do equipamento, restando adquirir e instalar a unidade hidráulica, os componentes de automação e também as proteções físicas necessárias para atender a NR-12. Devido a isto não foi possível medir os tempos de ciclo e conseqüentemente a produção média, mas como a densidade do briquete ficou superior ao valor considerando nos cálculos, ao instalar a unidade hidráulica de acordo com o diagrama apresentado no Apêndice A, possivelmente atenderá o requisito.

Com a montagem parcial do equipamento e os testes realizados pode-se constatar que grande parte dos requisitos de projeto foram alcançados, até mesmo o custo de fabricação previsto. Com a baixa potência instalada, o produto torna-se de baixo consumo de energia e conseqüentemente baixo custo operacional, se comparado aos equipamentos existentes no mercado.

Um diferencial no equipamento desenvolvido é o triturador desembaraçador de fitas que teve bom desempenho nos testes, permitindo que o equipamento tenha rendimento também com cavaco em fitas. Isto evita que o equipamento pare de produzir por acúmulo de fitas na entrada do compactador. Este item, além de importante no processo, será um argumento significativo para garantir a comercialização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Francisco José; **Estudo e Escolha de Metodologia para o Projeto Conceitual**. Revista de Ciência e Tecnologia N° 16, 2000.

ATLAS – MANUAIS DE LEGISLAÇÃO ATLAS; **Segurança e Medicina do Trabalho**. 67ª ed. São Paulo: Atlas, 2011.

BERNARD, S. C.; **Quality Function Deployment**. American Supplier Institute (ASI). 1992

CARVALHO, E. A.; BRINCK, V.; **Briquetagem**. Centro de Tecnologia Mineral: Ministério da Ciência e Tecnologia. Rio de Janeiro, 2004.

CASAROTTO FILHO, N.; FÁVERO, J. S.; CASTRO, J. E. E. **Gerência de projetos – Engenharia Simultânea**. 1ª ed. São Paulo: Atlas, 1999.

CONEMAG, Briquetadeiras. Briquetadeiras para Cavacos. Catálogo Técnico. Disponível em: <<http://www.prensasconemag.com.br/conemag/index.php/pt/home/7-briquetadeiras-metais/86-bmx-especificacoes.html>>. Acesso em: 02/08/2012.

EUROSTEQ, **Máquinas Operatrizes**. Disponível em: <<http://www.eurostec.com.br/Produtos/Briqueteira/Compactacao-de-Cavaco/07-1/127>> . Acesso em: 31/09/2012.

FABRICIO, M. M. **Projeto simultâneo na construção de edifícios**. 2002. 350 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 2002.

FGV, **Consolidação das Leis do Trabalho. A era Vargas** Disponível em <<http://www.cpdoc.fgv.br/producao/dossies/AEraVargas1/anos37-45/DireitosSociaisTrabalhistas/CLT>>. Acesso em 02 set. 2012.

FORCELLINI, Fernando A.; PENSO, Cintia C.; **Aplicação de Metodologias de Projeto de Produtos Industriais no Processo de Desenvolvimento de Produtos na Indústria de Alimentos**. In: IV Congresso Brasileiro de Gestão e Desenvolvimento de Produtos. Gramado, RS, 2006.

FORCELLINI, Fernando A.; **Introdução ao Desenvolvimento Sistemático de Produtos**. Apostila (Disciplina de Projeto Conceitual) – Pós Graduação e Graduação de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2002.

GURGEL, F. do A. **Administração do produto**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

HUMMEL, Recyclingtechnik. Disponível em: < <http://www2.hammel.de/en/Products/Screening-Technology/MMS-150.html> >. Acessado em 28/02/2013.

HAUSER, J. R.; CLAUSING, D.; **The House of Quality**. The Harvard Business Review, nº 3 1998.

HUSTON, Larry; SAKKAB, Nabil. **Conectar e Desenvolver como Funciona o Novo Modelo de Inovação da Procter & Gamble**. Harvard Business Review; São Paulo, 2006.

JOSSBERGER, A.; **Brikettieren von Gusspänen**. Giesserei. Alemanha, 2007.

LANNER – **Prensa Compactadora: Briquetador**. Catálogo Técnico. Disponível em: < <http://lanner.de/web/index.php?id=71>>. Acessado em 02/10/2012.

LINHARES, J. C.; **Uma Abordagem Computacional Baseada na Descrição de Funções de Peças para Projeto Preliminar de Produto**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2005.

MAQUINAS E METAIS. **XI Inventário de MM**. Editora Aranda. Ano 48, número 551. Dezembro de 2011.

MELLO, Willyams Bezerra; **Proposta de um Método aberto de Projeto de Produto – Três Alternativas de Criação**. Tese (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil e Urbana, 2011.

METSO MINERALES – **Agregando Valor em Reciclagem**. Catálogo Técnico. Disponível em: < http://www.metso.com/corporation/home_eng.nsf>. Acesso em: 14/09/2012.

METALBRIK – **Briquetagem de Metais por Pressão**. Catálogo Técnico. Disponível em: < http://www.di-piu.com/metalbrik_uk.html>. Acesso em: 12/08/2012.

MUNDIN, Ana P. F.; **Desenvolvimento de Produtos e Educação Corporativa**. Gestão e Produção. Editora Atlas, 2002.

NORTON, Robert L.; **Projeto de Máquinas: Uma Abordagem Integrada**. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K.; **Projeto na Engenharia: Fundamentos do Desenvolvimento Eficaz de Produtos. Métodos e aplicações**. Tradução da 6ª ed. Alemã. São Paulo, SP: Edgard Blucher, 2005.

POLYTECHNIK; Hocker. **Prensa de Briquetagem de Metal HSS**. Alemanha. Disponível em: < <http://www.hoecker-polytechnik.de/produkte/brikettierpressen/metallhaltige-materialien/brikstar-m.html>>. Acesso: 22/08/2012.

QUIRINO, W. F.; **Utilização energética de resíduos vegetais**. Laboratório de Produtos Florestais. LPF/IBAMA. Brasília, 2003.

QUIRINO, W. F.; BRITO, J. O.; **Características e Índice de Combustão de Briquetes de Carvão Vegetal**. Brasília DF. Laboratório de Produtos Florestais - IBAMA, 2001.

REZENDE, R. C.; **Projeto de Engenharia: Uma Aproximação Sistemática**. Apostila Projeto de Máquinas Agrícolas. Viçosa, MG, 2005.

ROZENFELD, Henrique; **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma Referência para a Melhoria do Processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

RUF, Brikettieranlagen; **Briquetting Systems**. Germany. Disponível em: <<http://www.brikettieren.de/index.php?id=63>>. Acesso: 21/08/2012.

SANTOS, A. S.; SANCHES, A. M.; **Sistematização do Projeto Informacional para o Desenvolvimento de um Sistema de Pasteurização de Leite Humano**. In: 4º Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais. Ponta Grossa PR, 2008.

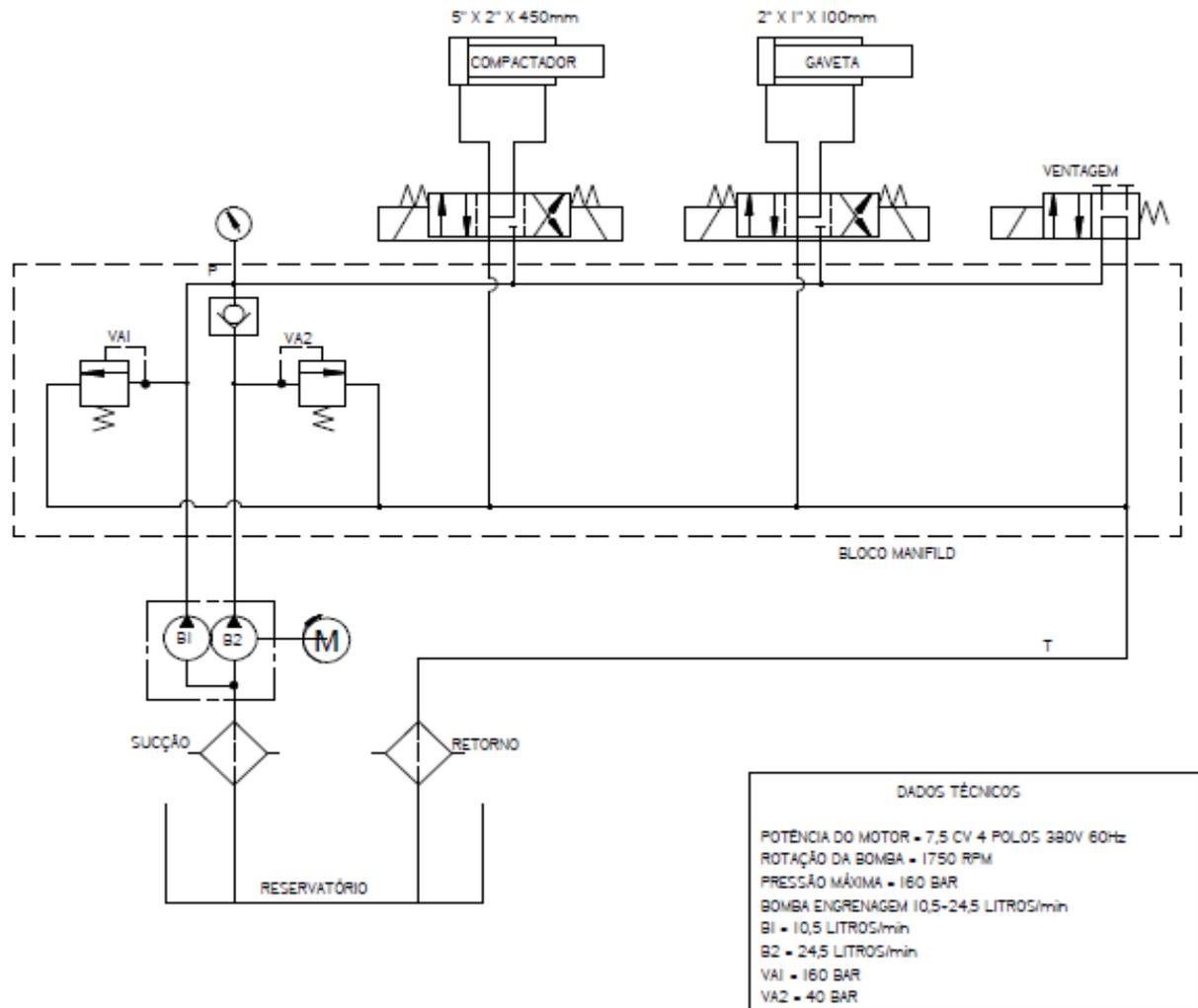
SCALICE, R. K.; **Desenvolvimento de Uma Família de Produtos Modulares para o Cultivo e Beneficiamento de Mexilhões**. Tese (Doutorado) – Universidade federal de Santa Catarina, Programa de Pós Graduação em engenharia de Produção, 2003.

SHINGLEY, Joseph Edward; MISCHKE, Charles R; BUDYNAS, Richard G.; **Projeto de Engenharia Mecânica**. 7ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

TECNOBRIQ. **Prensas Briquetadeiras Hidráulicas**. Catálogo Técnico; Joinvile, Santa Catarina. Disponível em: <http://www.tecnobriq.com.br/pages/ptbr/briquetadeiras.htm>. Acesso: 20/09/2012.

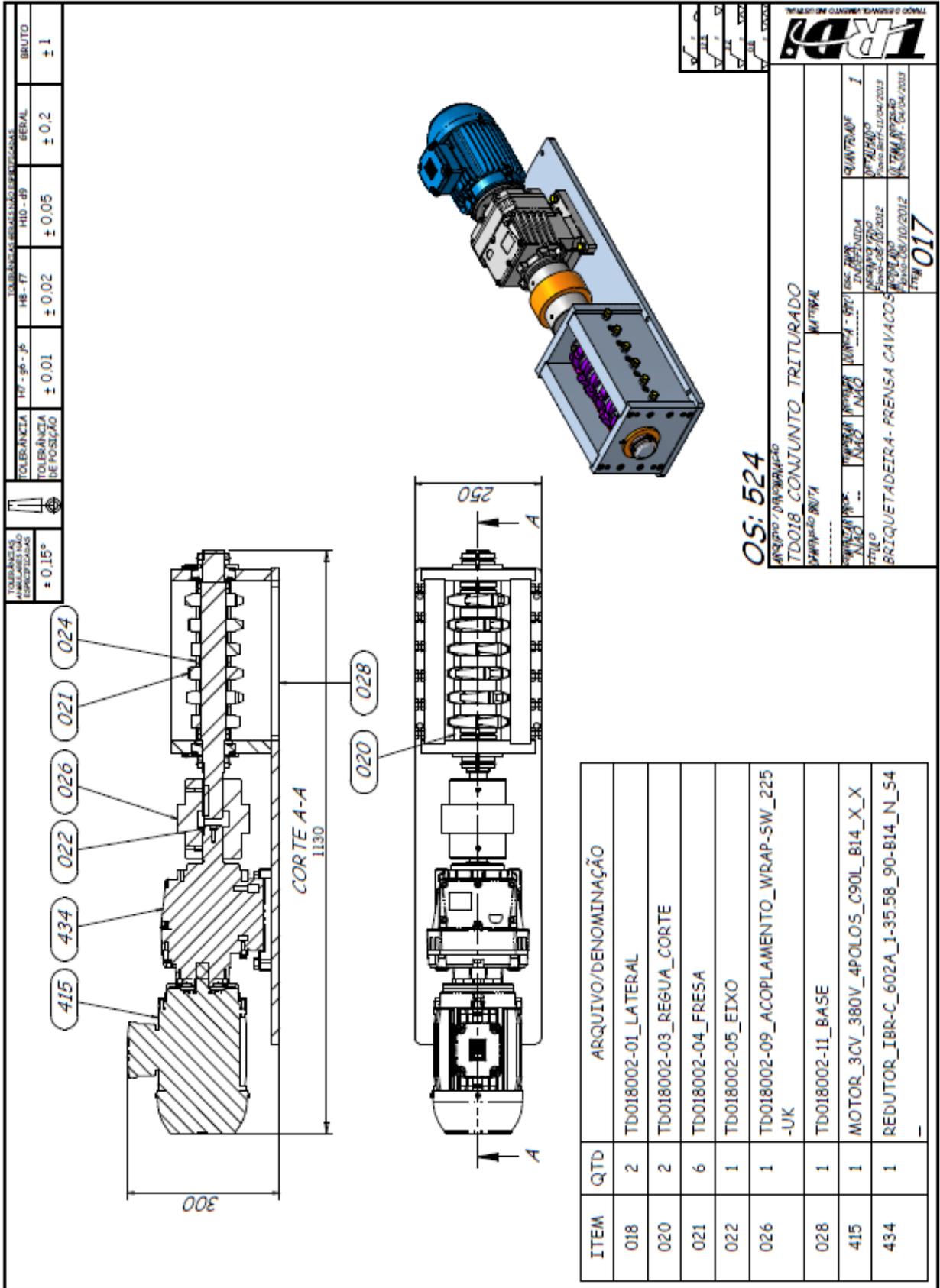
WECK, M.; BISPINK, T. e PYRA, M.; **Analyzing the dynamics performance of high precision machine**. Tutorial, ITP, Aachen, 1991.

APENDICE A – Diagrama hidráulico



Fonte: O Autor (2013).

APENDICE D – Detalhamento Conjunto Triturador



Fonte: O Autor (2013).

ANEXO A – Catálogo do Redutor

602A						
n_2 (RPM)	i	P_{Mot} (cv)	M_{2M} (Nm)	$f.s.$	FR (N)	FA (N)
470,9	3,61	12,5	178,9	0,9	2800	560
401,9	4,23	12,5	209,7	1,0	2800	560
339,3	5,01	12,5	248,3	1,0	2800	560
280,1	6,07	10	240,7	1,1	2800	560
249,6	6,81	12,5	337,6	1,0	3000	600
213,6	7,96	10	315,6	1,2	3000	600
179,9	9,45	10	374,7	1,1	3200	640
148,7	11,43	7,5	339,9	1,2	3200	640
119,6	14,21	7,5	422,6	0,9	3800	760
102,3	16,62	7,5	494,3	1,0	3800	760
84,6	20,1	5	398,5	1,3	4000	840
69,1	24,61	5	487,9	1,0	4200	890
68,1	24,98	4	396,2	1,0	4200	890
57,8	29,41	4	466,5	0,9	4200	890
47,8	35,58	3	423,3	1,2	4200	890
42,0	40,5	2	321,2	1,0	4200	890
38,4	44,23	2	350,8	1,1	5800	1160
34,7	49	2	388,6	0,9	5800	1160
27,9	60,9	1,5	362,2	1,1	5800	1160

LEGENDAS

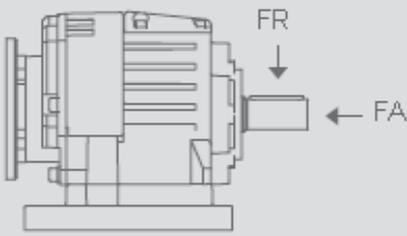
n_2 - Rotação no eixo de saída do redutor para entrada com 1700 RPM.

i - Redução nominal do redutor.

P_{Mot} - Potência máxima de entrada considerando motor de 1700 RPM.

M_{2M} - Torque de saída para a potência de entrada P_{Mot} .

$f.s.$ - Fator de serviço, considerando a potência P_{Mot} .



FR - Força radial máxima admissível no eixo de saída

FA - Força axial máxima admissível no eixo de saída

O rendimento dinâmico é de 96% para todas as reduções.

FATOR DE SERVIÇO		Operação (hs por dia)		
Número de partidas/hora	Uso	< 2h	2 - 10h	> 10h
<10	Carga Uniforme	0,9	1	1,25
	Choques Moderados	1	1,25	1,5
	Choques Fortes	1,25	1,5	1,75
>10	Carga Uniforme	1	1,25	1,5
	Choques Moderados	1,25	1,5	1,75
	Choques Fortes	1,5	1,75	2

Fonte: IBR Redutores (2013).

ANEXO B – Distância de Segurança

Parte do corpo	Ilustração	Abertura	Distância de segurança s_r		
			fenda	quadrado	circular
Ponta do dedo		$e \leq 4$	≥ 2	≥ 2	≥ 2
		$4 < e \leq 6$	≥ 10	≥ 5	≥ 5
Dedo até articulação com a mão		$6 < e \leq 8$	≥ 20	≥ 15	≥ 5
		$8 < e \leq 10$	≥ 80	≥ 25	≥ 20
		$10 < e \leq 12$	≥ 100	≥ 80	≥ 80
		$12 < e \leq 20$	≥ 120	≥ 120	≥ 120
		$20 < e \leq 30$	$\geq 850^{1)}$	≥ 120	≥ 120
Braço até junção com o ombro		$30 < e \leq 40$	≥ 850	≥ 200	≥ 120
		$40 < e \leq 120$	≥ 850	≥ 850	≥ 850

1) Se o comprimento da abertura em forma de fenda é ≤ 65 mm, o polegar atuará como um limitador e a distância de segurança poderá ser reduzida para 200 mm.

Fonte: Atlas (2011).