



**FACULDADE HORIZONTINA**

**RENAN CARLOS WEBER**

**DESENVOLVIMENTO DE UM ACUMULADOR DE ENERGIA PARA  
FACILITAR O MANUSEIO DE UMA EMBALAGEM LOGÍSTICA**

**HORIZONTINA - RS**

**2016**

**FACULDADE HORIZONTINA**  
**Curso de Engenharia Mecânica**

**RENAN CARLOS WEBER**

**DESENVOLVIMENTO DE UM ACUMULADOR DE ENERGIA PARA  
FACILITAR O MANUSEIO DE UMA EMBALAGEM LOGÍSTICA**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Rafael Luciano Dalcin, Mestre.

**HORIZONTINA-RS**

**2016**



**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:**

**“Desenvolvimento de um acumulador de energia para facilitar o manuseio de uma  
embalagem logística”**

**Elaborado por:**

**Renan Carlos Weber**

**Aprovado em: 30/11/2016  
Pela Comissão Examinadora**

---

**Mestre. Rafael Luciano Dalcin  
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

---

**Mestre. Luis Carlos Wachholz  
FAHOR – Faculdade Horizontina**

---

**Mestre. Cristiano Rosa dos Santos  
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**HORIZONTINA- RS  
2016**

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esse trabalho aos meus pais, minha irmã e minha namorada, que me apoiaram em todas as decisões da minha vida, inclusive na realização desse trabalho.

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço a Deus, pelo dom da vida e por sempre traçar meu caminho da melhor forma possível.

Aos professores da FAHOR, pelo conhecimento proporcionado e em especial ao professor Rafael Luciano Dalcin que orientou meu trabalho, estando sempre presente me auxiliando durante todo o desenvolvimento.

Aos meus pais Valdir e Janete, minha irmã Débora e minha namorada Adriane pelo apoio proporcionado durante toda minha vida, tornando possível a elaboração desse trabalho.

A empresa, devido a oportunidade de realizar esse trabalho.

A todas as pessoas envolvidas no projeto baja Sinuelo, por contribuírem para o meu crescimento profissional e pessoal.

“Arrisque-se! Toda vida é um risco. O homem que vai mais longe é geralmente aquele que está disposto a fazer e a ousar. O barco da segurança nunca vai muito além da margem”.

Dale Carnegie

## RESUMO

Diante do atual cenário competitivo nas indústrias, as mesmas devem estar preparadas quanto aos efeitos do trabalho na saúde dos seus colaboradores, de forma a garantir o desempenho da atividade desejada com eficiência. Nessa situação, a ergonomia exerce um papel fundamental, e disponibiliza padrões ergonômicos para as mais diversas atividades exercidas no trabalho. O problema em questão, é apresentado em uma embalagem de transporte logístico que necessita ajustes a cada carregamento, principalmente no momento de inclinar e/ou elevar manualmente as barras laterais, devido as barras ter massa acima do recomendado pelos padrões ergonômicos. Diante de tal situação, surgiu a necessidade de desenvolver um dispositivo armazenador de energia para tornar suave a inclinação das barras da embalagem e auxiliar na elevação das mesmas. Além disso, o objetivo é que o projeto seja simples e adequado aos padrões ergonômicos. No decorrer do trabalho é apresentado um embasamento teórico sobre embalagens logísticas, seus tipos, funções e aplicações, além de padrões ergonômicos aplicáveis, de forma a possuir informações necessárias para o projeto do dispositivo. De forma a obter melhores resultados, faz-se uso de metodologias de projeto de produto, aplicando ferramentas, como o Diagrama de Mudge e a Casa da Qualidade que visam obter as reais necessidades dos clientes. O dispositivo fabricado tem como peça principal uma mola helicoidal de tração que armazena energia ao inclinar as barras e dissipa a energia ao elevar as barras, bem como auxilia na manipulação da embalagem. O mecanismo é composto por chapas metálicas, com concepção simples, compacta e de baixo custo. Através do desenvolvimento do acumulador de energia para facilitar o manuseio da embalagem logística, foi possível diminuir o esforço manual exercido pelo operador em 86%, obtendo assim, total satisfação ao cliente devido a adequação aos padrões ergonômicos.

**Palavras-chave:** Ergonomia. Armazenador de energia. Projeto de produto.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Embalagem de logística externa RR2912206: (a) Aberta; (b) Fechada..	17
Figura 2 - Processo de desenvolvimento do produto.	29
Figura 3 - Tópicos orientativos para avaliação e aprovação de fase.....	34
Figura 4 - Tarefas e processos envolvidos na análise funcional do produto.....	35
Figura 5 - Tipos de modelos usados no projeto de produtos .....	38
Figura 6 - Diagrama de Mudge .....	43
Figura 7 - Matriz QFD (Casa da qualidade).....	44
Figura 8 - Função global do dispositivo armazenador de energia .....	48
Figura 9 - Estrutura funcional simplificada.....	49
Figura 10 - Estrutura funcional .....	49
Figura 11 - Concepção alternativa 01 – Uso de mola helicoidal de tração.....	53
Figura 12 - Concepção alternativa 02 – Uso de mola a gás.....	54
Figura 13 - Esboço da concepção final do projeto.....	55
Figura 14 - Vistas do esboço: (a) Lateral; (b) Frontal; (c) Posterior.....	56
Figura 15 - Composição do dispositivo.....	57
Figura 16 - Funcionamento do dispositivo .....	58
Figura 17 - Embalagem RR2912206: (a) Dimensões; (b) Embalagem fechada; (c) Decomposição de forças.....	59
Figura 18 - Mola de tração selecionada para aplicação no dispositivo de amortecimento.....	61
Figura 19 - Mola de tração utilizada para aplicação no dispositivo de amortecimento.....	61
Figura 20 - Primeiro protótipo de sistema de amortecimento da embalagem RR2912206: (a) Dispositivo sem tampa de fechamento; (b) Embalagem aberta; (b) Embalagem fechada.....	62
Figura 21 - Dispositivo finalizado: (a) Vista frontal; (b) Vista lateral com embalagem aberta; (c) Vista lateral com embalagem fechada; (d) Embalagem aberta; (e) Embalagem fechada...	63

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Ciclo de vida do produto.....	39
Quadro 2: Planilha de priorização de ideias.....	40
Quadro 3: Requisitos dos clientes .....	41
Quadro 4: Requisitos do projeto.....	42
Quadro 5: Classificação dos requisitos dos clientes em ordem de importância.....	43
Quadro 6: Terço superior.....	45
Quadro 7: Terço médio.....	46
Quadro 8: Terço inferior.....	46
Quadro 9: Descrição das funções .....	50
Quadro 10: Matriz morfologia do dispositivo acumulador de energia.....	51
Quadro 11: Princípios de soluções.....	52
Quadro 12: Matriz de decisão.....	55

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
1.1 TEMA.....	16
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	16
1.3 O PROBLEMA DA PESQUISA.....	16
1.4 JUSTIFICATIVA. ....	17
1.5 OBJETIVO GERAL.....	17
1.6 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	18
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>19</b>
2.1 EMBALAGENS.....	19
<b>2.1.1 Conceitos de Embalagem.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.2 Sistema de Embalagem.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1.3 Tipos de materiais utilizados na fabricação de embalagens.....</b>	<b>21</b>
2.2 QUALIFICAÇÃO DAS EMBALAGENS.....	22
<b>2.2.1 Classificação de embalagem.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.2 Funções das embalagens.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.3 Embalagem industrial.....</b>	<b>23</b>
2.3 ERGONOMIA.....	23
<b>2.3.1 Fatores de riscos ergonômicos.....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.2 Movimentação manual de carga.....</b>	<b>25</b>
<b>2.3.3 Posturas adotadas e esforço físico.....</b>	<b>26</b>
2.4 MOMENTO TORSOR.....	27
2.5 MOLAS.....	27
<b>2.5.1 Molas Helicoidais de Extensão.....</b>	<b>28</b>
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>29</b>
3.1 PROJETO INFORMACIONAL.....	30
<b>3.1.1 Pesquisar informações sobre o tema do Projeto.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1.2 Identificar necessidades dos clientes .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1.3 Estabelecer os requisitos dos clientes.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1.4 Definir os requisitos do projeto.....</b>	<b>32</b>
<b>3.1.5 Hierarquizar os requisitos do projeto.....</b>	<b>32</b>
<b>3.1.6 Estabelecer as especificações do projeto.....</b>	<b>33</b>

3.1.7 Avaliar e aprovar fase.....	33
3.2 PROJETO CONCEITUAL.....	33
3.2.1 Verificar o escopo do problema.....	34
3.2.2 Estabelecer a estrutura funcional.....	35
3.2.3 Pesquisar por princípios de solução.....	35
3.2.4 Combinar princípios de solução.....	36
3.2.5 Selecionar combinações.....	36
3.2.6 Evoluir em variantes de concepção.....	36
3.2.7 Avaliar e aprovar fase.....	37
3.3 CONSTRUÇÃO E TESTE DO PROTÓTIPO.....	37
3.4 COLETA DE DADOS PARA DIMENCIONAR O ARMAZENADOR DE ENERGIA.....	38
<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>39</b>
4.1 PROJETO INFORMACIONAL.....	39
4.1.1 Pesquisa de informações sobre o tema do projeto.....	39
4.1.2 Identificação das necessidades dos clientes.....	40
4.1.3 Estabelecimento dos requisitos dos clientes.....	41
4.1.4 Definição dos requisitos do projeto.....	42
4.1.5 Hierarquização dos requisitos do projeto.....	42
4.1.6 Estabelecimento das especificações do projeto.....	45
4.1.7 Avaliação e aprovação da fase.....	46
4.2 PROJETO CONCEITUAL.....	47
4.2.1 Verificação do escopo do problema.....	47
4.2.2 Estabelecimento da estrutura funcional.....	48
4.2.3 Pesquisa dos princípios de solução.....	50
4.2.4 Combinação dos princípios de solução.....	50
4.2.5 Seleção das combinações.....	54
4.2.6 Evoluir em variantes de concepção.....	55
4.2.7 Componentes de conjunto.....	57
4.2.8 Avaliação e aprovação da fase.....	58
4.3 DECOMPOSIÇÃO DE FORÇAS.....	59
4.3.1 Momento torsor.....	60
4.3.2 Força aplicada sobre a mola.....	60

<b>4.3.3 Cálculo da constante da mola.....</b>	<b>61</b>
4.4 DEFINIÇÃO DA MOLA.....	61
4.5 CONSTRUÇÃO E TESTE DO PROTÓTIPO.....	62
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>64</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente a atuação da ergonomia nas indústrias não está inclusa somente durante o projeto de sistemas e equipamentos, mas inicia-se desde a definição até a implementação do mesmo. Todavia não se deve esquecer de realizar estudos a fim de continuamente melhorar as condições de trabalho já existentes. Quando se trabalha na melhoria das condições de trabalho já existentes, busca-se diminuir os esforços e/ou movimentos repetitivos dos operadores. O uso da ergonomia pode trazer maiores gastos, por outro lado, representa uma economia para a empresa evitando problemas futuros relacionados à saúde do trabalhador (IIDA, 2005).

O trabalho foi desenvolvido por uma empresa terceirizada, que presta serviço a empresa de grande porte. Este estudo foi elaborado com a finalidade de analisar e aprimorar as condições de trabalho ao inclinar as barras laterais da embalagem RR2912206, devido a mesma não atender aos padrões ergonômicos recomendados pela engenharia de segurança da empresa.

A embalagem é utilizada para transporte de blindagens de colheitadeiras que são itens cruciais para a estética do equipamento, necessitando de um cuidado especial durante a logística do mesmo. Da mesma forma, a embalagem necessita de materiais que não danifiquem as peças transportadas, sendo composta por uma estrutura metálica tubular rígida, com as dimensões de 2900 mm de comprimento, 1200 mm de largura e 2000 mm de altura, possuindo suportes macios dimensionados para comportar as peças transportadas. Nas duas laterais de menor comprimento, contém barras tubulares verticais para proteção dos itens acondicionados e empilhamento de embalagens, sendo necessária a utilização de tubos metálicos estruturais.

Com o intuito de otimizar a logística de transporte, a empresa faz uso de um sistema de dobramento das barras verticais, que reduzem consideravelmente a altura das embalagens, permitindo a locomoção de maior quantidade de embalagens no retorno do caminhão ao fornecedor da peça. A operação de inclinação e elevação das barras é realizada manualmente por diversos operadores da fábrica. A engenharia da empresa constatou que a força exercida para a realização dessa tarefa excedia o recomendado pelos padrões ergonômicos da empresa.

O objetivo principal desse trabalho é o desenvolvimento de um dispositivo que seja capaz de absorver o excesso de cargas atualmente exercida pelos operadores, sendo, contudo, um sistema simples, confiável, com durabilidade compatível a da embalagem, de baixo custo, de fácil manutenção e operação. Para aumentar as chances de sucesso do projeto, faz-se uso

da metodologia de projeto de produto (PDP), que se conforma ao desenvolvimento de produtos deste gênero.

## 1.1 TEMA

O tema deste trabalho caracteriza-se em desenvolver um dispositivo capaz de absorver o excesso de carga atualmente exercida pelo operador no momento de inclinação das barras da embalagem de transporte RR2912206.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Para obter conhecimento sobre o assunto, será realizado um estudo sobre embalagens e logística, para compreender as limitações da mesma, e em seguida será verificada a questão da ergonomia, para compreender o problema em questão. Entendendo o contexto, procuram-se soluções, mecanismos que atendem as expectativas, bem como os acumuladores de energia mecânica disponíveis.

Com a finalidade do desenvolvimento de um dispositivo acumulador de energia mecânica, estudam-se os mecanismos aplicáveis a situação, os diversos tipos de atuadores mecânicos, calcula-se o atuador que melhor atende as expectativas. Além do mais, neste trabalho, é aplicada a metodologia de projeto de produto, com o intuito de aumentar as chances de sucesso do projeto.

## 1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

Uma empresa do ramo metal-mecânico desenvolve a embalagem RR2912206, Figuras 1(a, b). Essa embalagem tem grandes dimensões e massa, e em função disso pode causar problema ergonômico exorbitante ao operador, pois este está sujeito a elevar uma massa de 53,2 kg abaixo do nível da cintura, sendo que a engenharia de segurança da empresa permite até a massa de 12 kg abaixo do limite da cintura e 23 kg quando no nível da cintura. Na Figura 1(a) podemos visualizar a embalagem aberta, nessa posição as peças são inseridas na embalagem para transporte, já na Figura 1(b) a embalagens encontra-se fechada, possibilitando transportar mais embalagens vazias.

Em função desses fatores, surgiu a necessidade de desenvolver um dispositivo capaz de absorver o excesso de carga atualmente exercida pelo operador no momento de inclinação das barras da embalagem de transporte. Portanto, com este trabalho busca-se projetar e

fabricar um acumulador de energia para facilitar o manuseio de uma embalagem logística, utilizando a metodologia de projeto de produto.

Figura 1 – Embalagem de logística externa RR2912206: (a) Aberta; (b) Fechada.



O desenvolvimento do acumulador de energia para o manuseio da embalagem logística irá facilitar o manuseio e auxiliar ergonomicamente o operador?

#### 1.4 JUSTIFICATIVA

Considerando o problema de pesquisa, este estudo justifica-se pelo fato de contribuir com a empresa no que se refere aos riscos ergonômicos nos ajustes da embalagem de estudo. Além disso, visa oferecer a empresa a implementação de uma melhoria no seu processo produtivo adequando a embalagem ao ambiente de trabalho ao operador.

Destaca-se ainda, a possibilidade de aplicar os conceitos referentes a projeto de produto e ergonomia, com o intuito de apresentar melhorias no objeto de estudo, elevando os níveis de produtividade, segurança, qualidade e satisfação dos colaboradores. Diante disso, o estudo oportuniza obter maior conhecimento no dimensionamento de novos produtos, além do estudo de ergonomia que está cada vez mais presente nas indústrias metal-mecânicas.

#### 1.5 OBJETIVO GERAL

Em razão das exigências impostas pela competitividade do mercado, que preza pela qualidade e baixo custo, este trabalho tem por objetivo projetar e fabricar um dispositivo capaz de absorver o excesso de carga exercido pelo operador no momento de inclinação das barras da embalagem de transporte. O intuito principal é que seja um sistema simples, confiável, com durabilidade compatível ao da embalagem, de baixo custo, de fácil manutenção e operação.

## 1.6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir o acumulador de energia mecânica a ser utilizado;
- Cálculo de dimensionamento do acumulador de energia;
- Fabricação do dispositivo, testes e validação;
- Utilização da metodologia de projeto de produto para a realização do projeto.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Tendo por base pesquisas bibliográficas, esse capítulo apresenta alguns conceitos importantes relacionados ao aperfeiçoamento do produto, bem como a definição de embalagens e a movimentação dos materiais.

### 2.1 EMBALAGENS

Conforme Pedelhes (2005), o desenvolvimento da embalagem acompanhou o desenvolvimento humano, tornando-se fundamental na vida das pessoas e, principalmente, das atividades de qualquer empresa. As embalagens estiveram presentes desde a necessidade inicial de armazenar água e alimentos em algum recipiente, visando a sobrevivência própria, até a divulgação e uso comercial das embalagens.

De acordo com Brasil e Campos (2007), as embalagens são importantes nas mais diversas áreas, mas principalmente na logística, onde influenciam diretamente no custo e na produtividade de sistemas logísticos. Facilidade de manuseio, divulgação do produto e proteção contra avarias são as principais funções da embalagem.

Um gerente da área logística interna é responsável por administrar a utilização adequada das embalagens de seus produtos, porém poucas empresas as tratam como um ganho potencial na indústria. A velocidade, a precisão e a eficiência de separação dos pedidos, estão diretamente influenciadas pela embalagem (BRASIL; CAMPOS, 2007).

#### 2.1.1 Conceitos de embalagem

Embalagens podem ter as mais variadas definições, de acordo com as áreas de cada empresa. Moura e Banzato *apud* Romano (1996) caracterizam embalagem para cada área da empresa:

- Marketing: a embalagem identifica e atrai a atenção, com o intuito de vender o produto;
- Distribuição física: é um meio de proteger o produto durante a movimentação, armazenagem e transporte;
- Vendas: apresenta aspectos semelhantes aos do marketing, onde a sua principal finalidade é atrair o cliente e vender o produto;
- Finanças: A embalagem deve proteger e distribuir os produtos ao menor custo

possível, além de promover as vendas visando a lucratividade;

- Compras: a partir de um entendimento entre as áreas de produção e marketing a embalagem é acertada, para que haja vendas a um custo mais baixo possível;

- Design: a embalagem pode ser definida como meio proteção da mercadoria, para que chegue ao consumidor final em ótimas condições, garantindo o seu estado de conservação e apresentação no momento do uso;

- Engenharia logística: Sendo caracterizada como uma forma de proteger produtos durante a movimentação, transporte e armazenagem a embalagem é idêntica à sua distribuição física;

- Jurídica: é o composto de tecnologias, métodos e práticas utilizadas na organização das mercadorias. O objetivo é criar as melhores condições para o transporte, armazenagem, distribuição, venda e consumo de mercadorias. Assegurando da melhor forma que a entrega de um produto seja com menor custo possível, porém sem perder a segurança e a confiabilidade de que o produto chegue em boas condições ao destino final. Ainda se leva em conta que a embalagem é um meio de informar características do produto, por exemplo, o grau de perigo;

- Fornecedores: embalagem é o elemento que protege, acondiciona e vende. A embalagem de um produto é vista como a “fachada”, onde todos identificam o conteúdo através dela, então, embalar não é somente cobrir o conteúdo, mas também é responsável por dosar e transportar o produto ao consumidor.

- Produção: A preparação das mercadorias para a distribuição ocorre através da embalagem, podem ser inclusas a limpeza, secagem, empacotamento, marcação e preservação. É capaz ainda de ser adicionado meios de amortecimento, reforços externos para condições adversas do tempo e para a identificação do conteúdo.

- Engenharia de produto: exige conhecimentos de logística, resistência dos materiais, movimentação e elevação, fabricação, mercado, pois é uma integração entre sabedoria e conhecimento.

- Garantia da qualidade: a embalagem é um elemento que faz com que o produto chegue ao consumidor sem ter sofrido perda de qualidade ou avaria, independente dos locais e distâncias percorridas.

Após definido os conceitos de embalagem, é possível entender os sistemas de embalagem, apresentados a seguir.

### 2.1.2 Sistema de embalagem

Segundo Moura e Banzato *apud* Romano (1996), o complexo de embalagens é tudo que está relacionado a suas operações e materiais utilizados para a movimentação das mesmas do ponto de saída até o seu destino, incluindo materiais e veículos utilizados no carregamento e descarregamento. Ainda pode-se afirmar que a produção de uma embalagem está relacionada a um conjunto de atividades, nas quais se destacam:

- A matéria-prima;
- Operações de conformação de material em embalagem;
- Os procedimentos onde a embalagem é preenchida, quantificada, inspecionada a qualidade e fechada;
- A distribuição, envolvendo estocagem, movimentação e transporte;
- O esvaziamento da embalagem através do consumo do produto;
- A disposição, reutilização ou reciclagem da embalagem.

### 2.1.3 Tipos de materiais utilizados na fabricação de embalagens

Para o sucesso de um projeto é fundamental conhecer as suas propriedades e características, para assim adequar da melhor maneira o produto a embalagem. Os principais materiais utilizados são: papel, vidro, metal e plástico. Conforme Godinho (2004) as principais características dos materiais utilizados são:

- Papel: Por definição, é uma folha seca e fina, composta de pequenas fibras de celulose, conquistando assim o posto de material econômico e versátil.
- Metal: O alumínio, aço revestido em cromo e aços inoxidáveis são os principais materiais utilizados na fabricação de embalagens. O alumínio por ser mais leve que o aço reduz custos de transporte, sendo assim utilizado em maior escala. Já o aço revestido com estanho possui uma resistência mecânica maior, sendo possível assim ser dobrado e estampado. Também por permitir a esterilização é muito utilizado na indústria alimentícia;
- Vidro: Tem como vantagem aos demais materiais ser transparente e com alta resistência química. É frágil quando se aplica um esforço acima de suas capacidades de escoamento e deixa a luz passar por sua estrutura, porém absorve os raios ultravioletas.
- Plástico: São materiais moldáveis e classificados de duas maneiras. Os

termoplásticos, que são amolecidos pelo aquecimento e endurecidos por resfriamento, e os termofixos, que pela ação do calor tornam-se cada vez mais infusíveis, isto é, tenazes.

## 2.2 QUALIFICAÇÃO DAS EMBALAGENS

Na avaliação das embalagens é exibido o estudo bibliográfico das classificações de embalagem, de suas funções bem como embalagem industrial e seus custos.

### 2.2.1 Classificação de embalagem

Conforme Pedelhes (2005) o conceito de embalagem varia conforme o foco que está sendo analisado. Por exemplo, na área de distribuição o intuito da embalagem é proteger o produto. Enquanto que na área de marketing o principal objetivo da embalagem é atrair os clientes.

A classificação das embalagens segundo Pedelhes (2005) é referenciada de acordo com a sua função, podendo esta ser primária, secundária, terciária, quaternária e de quinto nível.

- Primária: é a embalagem que está em contato direto com o produto.
- Secundária: é aquela que protege a embalagem primária.
- Terciária: São como caixas de madeira, papelão ou plásticas.
- Quaternária: São embalagens que proporcionam uma melhor movimentação e armazenagem do produto.
- Quinária: são embalagens especiais para envio a longas distâncias.

Para Bowershox e Closs *apud* Pedelhes (2005), as embalagens são classificadas em apenas dois tipos, as com ênfase em marketing e as industriais com foco na logística do material.

### 2.2.2 Funções das embalagens

Em conformidade com Pedelhes (2005), a proteção, contenção e a comunicação são as principais funções da embalagem. A proteção permite o manuseio do produto sem que ocorram danos a ele. As embalagens estão expostas aos mais variados riscos como temperatura, pressão, vibração, compressão, oxidação, perfuração, esmagamento entre outros. De tal modo é estabelecido um grau de proteção para o produto conforme a função de contenção, aplicando também a comunicação (PEDELHES, 2005).

A contenção é um meio de não permitir o produto vazar de sua embalagem. Esta função também requer um grau de eficiência de acordo com o produto.

Para Filho (2010) atualmente o projeto de uma embalagem é algo complexo, que envolve além dos engenheiros, designers, setor de marketing e logística. Não tendo mais apenas as funções básicas de conter proteger os produtos durante movimentações, transportes e comercializações como em tempos passados. O grande aumento na competitividade nos negócios fez que com as embalagens se tornassem um fator de influência na decisão de compra.

### **2.2.3 Embalagem industrial**

Para Carvalho (2008) embalagens industriais distinguem-se das demais pelo fato de serem utilizadas em mais de uma indústria, atendendo os requisitos solicitados por estas. Antes de se iniciar o projeto é preciso conhecer estes requisitos, para assim adequar a embalagem aos diferentes processos de expedição, recebimento e volume de produção. Estas informações auxiliam na hora de projetar a embalagem, mantendo assim qualidade, segurança e quantidade a ser produzida.

Para Carvalho (2008) está se tornando comum o fato de as empresas adotarem padronizações de embalagens. Isso ocorre, pois, esta padronização traz vantagens a vários departamentos da organização. Na área de produção, os desenhos dos leiautes são desenvolvidos com facilidade, o que proporciona a redução de espaços ocupados nos postos de trabalho. No almoxarifado, permite a armazenagem de diferentes produtos em um mesmo ambiente, reduz o tempo de descarga de caminhões e movimentações internas, melhorando assim, o uso de equipamentos de movimentação. Já no departamento de qualidade, permite um melhor acondicionamento do material, garantindo melhor qualidade. Na área de compras, permite agilidade na negociação de preços de produtos, pois o preço da embalagem já é conhecido. Na área de transporte, facilita a negociação de fretes, ajuda na questão de consolidação de cargas e escolha de veículos para realizar a coleta.

## **2.3 ERGONOMIA**

Conforme Abrantes (2004), a palavra ergonomia surgiu de termos gregos *ergon*, que significa trabalho e *nomos* que significa regras, leis naturais. A definição etimológica é estudo das leis do trabalho.

A Associação Internacional de Ergonomia – IEA (2000) especifica ergonomia como uma disciplina científica voltada ao entendimento entre as relações dos seres humanos com os outros elementos ou sistemas, a aplicação de métodos e projetos a fim de melhorar o bem-estar humano e o desempenho global do conjunto.

Segundo Wisner (1987), a ergonomia pode contribuir para melhorar a satisfação e o bem-estar do trabalhador, segurança, integridade física e mental, melhor qualidade no trabalho, menores custos e danos à saúde e melhor qualidade de vida aos trabalhadores. A aplicação de princípios ergonômicos beneficia tanto o empregado, como o empregador. A empresa que adotar práticas ergonômicas tende a usufruir de um melhor rendimento nas operações e redução no número de trabalhadores afastados, devido aos problemas de saúde provocados por condições não ergonômicas.

Para Iida (2005), a ergonomia é o conjunto de sabedorias a respeito do desempenho do ser humano em suas atividades com o objetivo de realizar tarefas, aos instrumentos, às máquinas e aos sistemas de produção.

A ergonomia é o estudo da adaptação do trabalho ao homem. O trabalho aqui tem uma concepção bastante ampla, abrangendo máquinas e toda situação em que ocorre o relacionamento entre o homem e uma atividade de trabalho (IIDA, 2005).

Conforme Dul e Weerdmeester (2004), as condições de trabalho podem ser aprimoradas através do estudo da ergonomia, solucionando assim muitos problemas decorrentes da falta de segurança, conforto e eficiência no trabalho. Quando consideradas adequadamente as capacidades e fraquezas humanas, podem-se evitar inúmeros acidentes ocupacionais, sintetizando a ocorrência de incapacitações ao trabalho.

### **2.3.1 Fatores de riscos ergonômicos**

Os fatores de riscos ergonômicos são muitas vezes interligados e confundidos com os fatores de risco físicos, dos quais não se podem separar. São na maioria decorrentes da organização e da gestão das situações de trabalho. Assim, nesta categoria aos quais os trabalhadores se encontram, podem-se identificar como fatores de risco ergonômico, posturas

adotadas, esforço físico, manipulação de cargas, movimentos repetitivos e atividades monótonas (CRPG, 2016).

Osha (1990) aponta fatores de risco ergonômicos como sendo situações de um trabalho, processo ou operação que contribuem para o risco de desenvolvimento de traumas cumulativos.

Trabalhando em situações de risco iminente, não obrigatoriamente prevem que o operador irá sofrer de um problema de saúde voltado a sua exposição ao fator de risco. Um fator de risco é uma condição que aumenta a chance de desenvolver um distúrbio relacionado ao trabalho. Desta maneira a exposição deve ser reduzida ou totalmente evitada, em busca de um ambiente saudável e seguro (GILKINSON, 2007).

### **2.3.2 Movimentação manual de cargas**

O manuseio de cargas (levantamento, deslocação e transporte) é responsável pela maioria dos problemas de coluna que se verificam nos indivíduos, o que afeta fundamentalmente os trabalhadores (CRPG, 2016).

Segundo Abrantes (2004), as lombalgias (dor na região lombar) e as dorsalgias (dor na região dorsal) são as principais consequências de condições não ergonômicas nos locais de trabalho, pois muitos problemas decorrem da utilização biomecânica incorreta da máquina humana e do desconhecimento da coluna vertebral.

De acordo Dul e Weerdmeester (2004), para impedir problemas de saúde ocupacionais que esta atividade pode originar, analisam-se os seguintes aspectos: o processo produtivo (manual ou mecânico), a organização do trabalho (projeto do trabalho, frequência dos levantamentos), o posto de trabalho (posição do peso em relação ao corpo), o tipo de carga (forma, peso, pegas), acessórios de levantamento, e o método de trabalho (individual ou coletivo).

De acordo com Dul e Weerdmeester (2004) para as atividades de levantamento de cargas, são citadas as seguintes recomendações:

- Manter a carga mais próxima possível do corpo (distância da projeção horizontal entre mão e tornozelo com cerca de 25 cm);
- A carga deve ser colocada sobre uma bancada de aproximadamente 75 cm de altura, antes do início do levantamento;
- Deslocamento vertical da carga não deve exceder a 25 cm;

- A carga deve ser segurada com as duas mãos;
- Possibilitar a escolha da postura para o levantamento da carga;
- Não deve haver torção do tronco durante o levantamento.

A equação de NIOSH estabelece um valor de referência de 23 kg, que corresponde à capacidade de levantamento no plano, respeitando as regras acima. Sendo a carga aceitável para 99% dos homens e 75% das mulheres sem provocar qualquer dano físico, em operações repetitivas (IIDA, 2005).

De acordo com a NR17, no que se refere ao levantamento, transporte e descarga individual de materiais, sendo este manual ou mecânico, não deverá ser exigido do trabalhador transportar pesos que comprometam a sua saúde ou segurança, sendo este esforço compatível com a sua força (BRASIL, 2001).

### **2.3.3 Posturas adotadas e esforço físico**

A postura nos postos de trabalho é um fator importante relacionado à ergonomia nas empresas. Pois quando o trabalhador é submetido a determinadas situações posturais em sua jornada de trabalho, somada a outras variáveis, após certo período, poderá ser improdutivo (ABRANTES, 2004).

A adoção de posturas laborais rígidas, associadas a esforço físico com contrações musculares estáticas de longa duração e a esforço muscular, apresenta consequências graves para a saúde dos colaboradores, a médio e longo prazo. Desta associação resulta o aparecimento de sintomas como inflamações articulares, degeneração crônica das articulações, dores musculares e vários problemas ao nível dos discos intervertebrais, destacando-se as lesões musculoesqueléticas (CRPG, 2016).

O corpo humano assume três principais posturas: as posições deitada, sentada e em pé (IIDA, 2002). A postura mais adequada ao trabalhador de acordo com Brasil (2001) é aquela que ele escolhe livremente e que pode ser mudada com o passar do tempo. Os postos de trabalho devem permitir a mudança de postura, principalmente entre sentada e em pé. O tempo de manutenção de uma postura deve ser o mais breve possível, pois seus efeitos nocivos ou não, será em função do tempo durante o qual esta postura será mantida.

Kroemer e Grandjean (2004) considera que para ter as condições corretas do tronco, braços e pernas, estas devem estar em posturas naturais. Para ter-se um trabalho eficiente, é

imprescindível a adaptação do local de trabalho às medidas do corpo humano. Para tanto, utiliza-se as medidas antropométricas.

## 2.4 MOMENTO TORSOR

Silva (2016) comenta que quando um corpo está sujeito à ação de forças resultantes não nulas, o mesmo pode adquirir tanto movimento de rotação quanto de translação, isso ocorrendo ao mesmo tempo. Deste modo, é possível definir o momento de uma força como uma grandeza associada ao fato de uma força fazer com que um objeto gire.

Após definido o momento de uma força em relação a um pólo, sendo o produto da força (em módulo, ou seja, é considerado valor positivo independentemente do sentido de rota pela distância entre o polo e o ponto no qual a força é aplicada) (SILVA, 2016).

O módulo pode ser definido pela Equação 1:

$$M = F.d \quad (1)$$

F: newton (N);

d: metro (m);

M: newton x metro (N.m).

Conforme mostrado na Equação 1, quanto maior a distância de aplicação da força, maior o momento torsor.

## 2.5 MOLAS

De acordo com Juvinal e Marshek (2013) as molas são elementos elásticos que exercem forças, ou torques, e absorvem energia, sendo geralmente armazenada e posteriormente liberada. As molas são habitualmente fabricadas de metal de diversas ligas. Materiais compostos modernos estão sendo introduzidos em algumas aplicações, devido a requerem a redução de massa das molas.

A constante elástica da mola, Equação 2, é geralmente representada por k, onde:

$$k = F_{el}/\Delta X \quad (2)$$

k = Constante elástica da mola;

F<sub>el</sub> = Força elástica;

ΔX = Variação do deslocamento.

Para calcular a força elástica da mola, Equação 3, basta multiplicarmos a constante elástica pelo deslocamento ocorrido.

$$F_{el} = k \cdot \Delta X \quad (3)$$

### **2.5.1 Molas helicoidais de extensão**

Em geral, molas de extensão diferenciam-se das molas de tração, devido a estas não possuir ponto de “sobrecarga parada”, ou seja, necessitam de um batente externo para limitar a extensão da mola, caso contrário, a mesma pode perder as propriedades elásticas ou até romper (JUVINALL; MARSHEK, 2013).

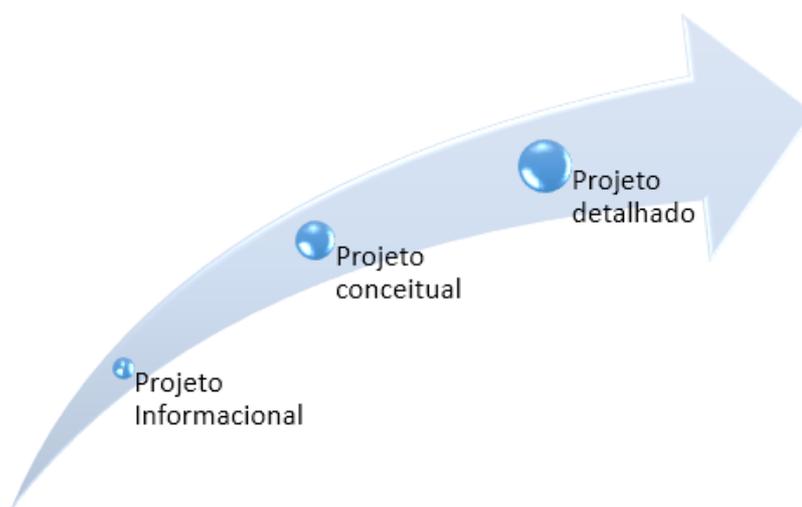
### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo, serão levantados os métodos e técnicas estudados e executados para o desenvolvimento da concepção de um acumulador de energia para viabilizar a operação de uma embalagem logística, bem como para a elaboração desse trabalho.

Para elaborar este trabalho utilizou-se uma metodologia de projeto de produto, onde o escopo é definido com métodos e técnicas de acordo com o desenvolvimento do projeto. Entre os métodos se destaca o exploratório, que segundo Jung (2004) é um tipo de pesquisa que tem por objetivo a descoberta de teorias e práticas que modificarão as concepções existentes, a obtenção de alternativas principalmente para inovações tecnológicas.

A metodologia do desenvolvimento do produto aplicada neste estudo prevê a sua divisão em três fases principais: Projeto Informacional, Projeto Conceitual e Projeto Detalhado, de acordo com a Figura 2.

Figura 2 - Processo de desenvolvimento do produto.



Fonte: Adaptado de Amaral (2006).

Logo em seguida descrevem-se as duas primeiras fases que serão utilizadas nesta monografia: O projeto detalhado não será compartilhado neste trabalho, devido a motivos de sigilo da empresa.

### 3.1 PROJETO INFORMACIONAL

Segundo Fonseca (2000), as especificações de projeto são obtidas a partir das informações de entrada no projeto informacional. Essas informações servirão de guia nas fases posteriores do projeto, então a sua obtenção implica diretamente no sucesso do mesmo.

Seguindo essa mesma linha de pensamento Amaral (2006) reforça a importância de se obter informações verdadeiras, pois a definição incorreta de informações iniciais ou uma decisão errônea de certos aspectos do problema poderá causar uma série de decisões inadequadas, que fará surgir uma solução para um problema diferente daquele que se apresenta de fato. Assim sendo apresentando-se uma solução de um problema definido erroneamente resultará na perda de quase todos os recursos investidos. Essas informações refletem diretamente nas características e necessidades do produto final.

Nesta fase do projeto o processo de especificação é contemplado. Segundo Roozberg e Eekels *apud* Mantovani (2001), existem duas funções que compõem esse projeto, sendo a primeira delas responsável por direcionar o processo de geração de soluções e a outra fornecer critérios de avaliação, onde juntamente com estas funções temos as suas propriedades que são impostas para o cumprimento da mesma:

- Validade: cada objetivo deve ser válido, isto pode ser observado através da compreensão do valor do atributo, os projetistas devem ter uma clara compreensão da medida em que a meta é alcançada;
- Completeza: enquadramento de objetivos válidos em todas as áreas de relevância do problema;
- Operacionalidade: dos objetivos, ou seja, possibilidade de geração de critérios e avaliações quantitativas;
- Não redundância: evitar que determinado aspecto ou propriedade seja observado mais de uma vez;
- Concisão: resumido número de objetivos na especificação, facilitando análises;
- Praticabilidade: objetivos capazes de serem testados, pois mesmo em objetivos operacionais a previsão de certas propriedades pode ser tão difícil quanto o teste é, praticamente, impossível.

Para a obtenção de um projeto informacional coerente devemos seguir as etapas mostradas a seguir (AMARAL, 2006).

### **3.1.1 Pesquisar informações sobre o tema do projeto**

Com o problema já determinado, a fase seguinte é indicar o ciclo de vida do produto e delimitar, para cada fase desse ciclo, os consumidores envolvidos com o produto e projeto. Assim, com o conhecimento destes fatos e dos clientes envolvidos, parte-se para a identificação de suas necessidades, estas, por sua vez tratadas, estabelecem as exigências dos clientes (AMARAL 2006).

Nessa fase inclusive são obtidas as informações técnicas sobre o tema do projeto, pois são de grande relevância em várias etapas, desde a identificação de necessidades, passando pela elaboração do questionário aos consumidores, até a definição final das especificações do projeto, no momento em que for necessário a fixação de metas quantitativas e a sua avaliação, estes fatores são de real importância para o bom andamento do projeto (MANTOVANI, 2011).

### **3.1.2 Identificar necessidades dos clientes**

Nesta operação, primeiramente busca-se levantar as exigências dos consumidores de cada fase do ciclo de vida do produto. Estas exigências podem ser obtidas com o uso de listas de verificação ou mesmo pela observação direta, entrevistas ou utilizando quando outro método de comunicação com os consumidores (AMARAL, 2006).

Em conformidade com Back (2008), as entrevistas estruturadas são mais eficazes, principalmente se forem aplicadas individualmente. Sendo que estas não deixam espaço para respostas parciais ou de alguma forma influenciadas por outro entrevistado. O número ideal de entrevistas para a maior exatidão da pesquisa, é de 20 a 30 consumidores, dependendo muito do tipo de produto a ser projetado.

### **3.1.3 Estabelecer os requisitos dos clientes**

Com as necessidades já obtidas, é pertinente que elas sejam agrupadas e classificadas, juntando-as com aquelas já detectadas na Declaração do Escopo do Produto. O agrupamento é realizado levando em conta as fases do ciclo de vida e a afinidade, esta que pode ser obtida por um diagrama de afinidades, uma vez que feito possibilita eliminar aquelas necessidades pouco pertinentes para o projeto (AMARAL, 2006).

Mantovani (2011) comenta que as necessidades levantadas devem ser distribuídas ao longo do ciclo de vida do produto, com o interesse de detectar facilmente as mais redundantes.

Conforme Back (2008), para efetuação dessas necessidades pode-se utilizar propriedades da qualidade do produto, ou seja, estas podem ser classificadas como qualitativas ou quantitativas; obrigatórias ou preferenciais; do ciclo de vida ou específicas.

Fonseca (2000) delimita recomendações quanto à configuração e disposição dos requisitos dos consumidores. Sendo a primeira: frase curta composta pelos verbos ser, estar ou ter, seguidas de um ou mais substantivos e a segunda como, frase curta composta por um verbo que não seja ser, estar ou ter mais um substantivo.

### **3.1.4 Definir os requisitos do projeto**

Conforme Amaral (2006), a aquisição dos requisitos do projeto se estabelece na primeira decisão física do produto que está sendo projetado, e também para se alcançar uma comunicação correta durante o desenvolvimento do produto, é de suma importância que as informações que irão caracterizar o produto estejam de acordo com a linguagem técnica de engenharia, onde através de um quadro se relaciona essas características, de acordo com a sua natureza e função.

### **3.1.5 Hierarquizar os requisitos do projeto**

A atividade seguinte, está com os requisitos do projeto já definidos é a classificação dos mesmos, isto é, procurasse identificar a prioridade que se deve dar no desenvolvimento do projeto, a busca de soluções que atendem a uma condição sem a perda de outras, quando for de efeitos contrários (BACK, 2008).

De acordo com Mantovani (2011), nesta etapa é imprescindível a utilização de duas ferramentas, Diagrama de Mudge e QFD (*Quality Function Deployment* - Desdobramento da Função Qualidade), no qual o diagrama de Mudge compara os requisitos do consumidor entre si. Já o QFD, complementa o diagrama e é uma ferramenta que possibilita o cruzamento de requisitos de cliente e projeto, apresentando assim as características mensuráveis, as quais constituem os requisitos de qualidade do projeto.

### **3.1.6 Estabelecer as especificações do projeto**

Neste momento os requisitos do projeto devem ser abordados de forma mais detalhada para que sejam explícitos aos diferentes usuários. Na etapa anterior, os requisitos foram descritos de forma sucinta. Além do mais, para cada requisito do projeto devem ser mencionadas as grandezas mensuráveis e métodos a verificar se a solução a ser criada atenderá a esta condição, assim como verificar a ocorrência de prováveis efeitos contrários ou riscos decorrentes da busca de solução, para executar a respectiva especificação (BACK, 2008).

Conforme Mantovani (2011), a função principal deste passo é aplicar o quadro de especificações de projeto aos requisitos do mesmo. Este quadro também é responsável por associar a cada requisito mais três informações, sendo estas: a meta a ser atingida expressa quantitativamente, a forma de avaliação da meta estipulada a fim a avaliar o seu desempenho e os aspectos que devem ser evitados durante a implementação do requisito.

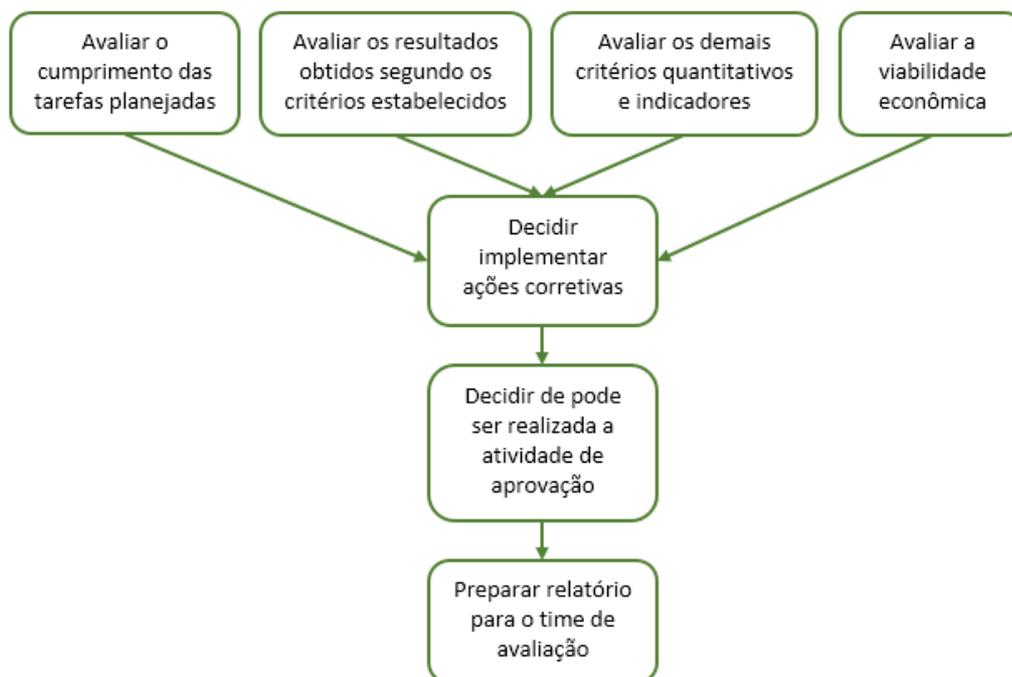
### **3.1.7 Avaliar e aprovar fase**

Fugir de resultados elaborados de maneira incorreta e evitar retrabalhos é fundamental para o sucesso do desenvolvimento do projeto, desta maneira Amaral (2006) aconselha que no final de cada fase do desenvolvimento do projeto, deve-se realizar uma revisão e aprovação formal dos produtos. Para tal fim adota-se um termo em inglês *gate*, que ao ser traduzido tem o significado de portão. Que nada mais é do que a passagem de um passo para outro.

## **3.2 PROJETO CONCEITUAL**

O projeto conceitual é o momento mais importante no decorrer do projeto do produto, isso porque as decisões tomadas nesta fase influenciam profundamente nos resultados das fases subsequentes do projeto. É a partir de uma necessidade determinada e esclarecida que é gerada uma concepção para que o produto tenha a capacidade de melhor atender essa necessidade, está por sua vez, está sujeita a limitações de recursos e restrições do projeto, para que no final deste passo possa se obter a concepção do produto (FORCELLINI, 2002). A Figura 3 auxilia na compreensão desse processo.

Figura 3 - Tópicos orientativos para avaliação e aprovação de fase.



Fonte: Adaptado de Amaral (2006).

### 3.2.1 Verificar o escopo do problema

Na primeira etapa do projeto teórico procura-se realizar um estudo compreensivo do problema num plano subjetivo, de forma a abrir caminho para melhores soluções. Deter-se no que é essencial previne que as experiências, preconceitos e convenções limitem a solução do problema do projeto (AMARAL, 2006). Essa generalização faz com que formulação global e a compreensão das restrições essenciais tornem-se explícitas e sem a consideração prévia de uma solução (FORCELLINI, 2002).

Mantovani (2011) menciona que para se chegar ao cerne da tarefa deve-se conhecer a origem do problema. Para isso deve-se indagar:

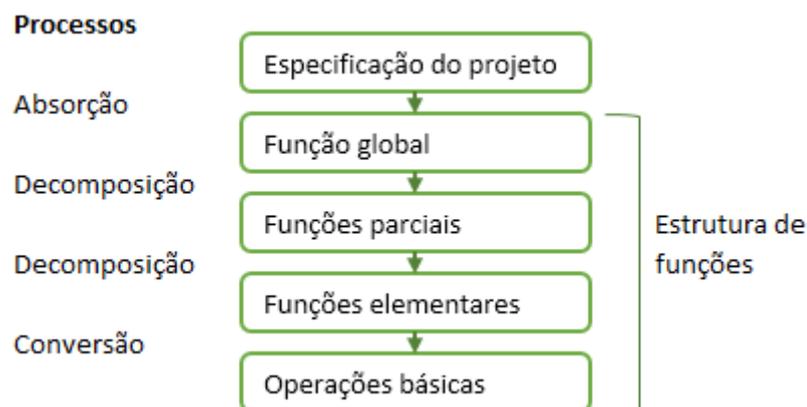
- Aperfeiçoar as funções técnicas do produto;
- Reduzir peso ou espaço;
- Reduzir custos;
- Diminuir prazos de entrega ou;

- Melhorar métodos de produção.

### 3.2.2 Estabelecer a estrutura funcional

Nessa etapa, a caracterização do problema é realizada ainda de forma abstrata, através das funções que o produto deve realizar, independentemente de qualquer solução particular. O ponto de partida é a abstração feita na etapa anterior, que possibilita o estabelecimento criterioso da função geral do sistema, e a solução, ao final da etapa, é a estrutura de funções elementares, caso se trabalhe com funções de baixa perplexidade ou padronizadas. A Figura 4 ilustra o processo com maior clareza.

Figura 4 - Tarefas e processos envolvidos na análise funcional do produto.



Fonte: Adaptado de Amaral (2006).

Essa divisão tem como eminente objetivo gerar estruturas funcionais alternativas, que visam descomplicar a busca de princípios de solução. No caso do desenvolvimento de variantes de produtos existentes, a derivação de estrutura funcional pode ser feita através da avaliação de produtos existentes (FORCELLINI, 2002).

### 3.2.3 Pesquisar por princípios de solução

Nessa etapa, inicia-se a transformação do imaterial em material, da função a forma. Para cada uma das funções da estrutura funcional determinadas anteriormente podem ser dados um ou mais princípios de solução (AMARAL, 2006).

Seguindo essa mesma linha, Mantovani (2011) aconselha o uso da matriz morfológica para realizar a seleção dos dados obtidos, que fica denominado método de busca discursivo. O autor também indica a utilização do método de busca convencional, que se caracteriza por serem buscas em catálogos e patentes já existentes.

### **3.2.4 Combinar princípios de solução**

Com as ideias de solução para cada uma das etapas que compõem a estrutura funcional do produto já pré-determinadas, o próximo passo é a combinação das mesmas para formar a melhor combinação de todas as opções (AMARAL, 2006).

Conforme Amaral (2006), para se atingir essas definições usa-se a ferramenta chamada de Matriz Morfológica, onde as funções da matriz funcional juntamente com as possibilidades de solução são relacionadas simultaneamente, assim se obtendo as mais variáveis configurações com diferentes princípios. Desse modo deve se ter cuidado com restrições, as quais devem estar devidamente impostas em função da compatibilidade física e geométrica entre as opções.

### **3.2.5 Selecionar combinações**

Uma vez que temos diversas soluções, é preciso adotar uma que atenda o maior número de requisitos, para isso Back (2008) indica que se adote a triagem das concepções, critérios generalizados e qualitativos em número reduzido, para separar as concepções realmente viáveis. Critério estes que devem estar claramente definidos, independentes e redigidos positivamente aplicáveis a todas as concepções e que avaliam um único atributo de qualidade.

Portanto para chegar a essa definição, indica-se utilizar a matriz de decisão. Esse método também é conhecido como Método de Pugh, onde as alternativas e os critérios de avaliação são colocados na primeira linha e primeira coluna, respectivamente. Portanto se referência uma concepção e as outras serão avaliadas em relação à referência. No final obteremos valores numéricos, positivos e negativos, os quais mostrarão o melhor caminho a se seguir (AMARAL, 2006).

### **3.2.6 Evoluir em variantes de concepção**

Essa etapa é um refinamento da atividade anterior, na qual são apontados e analisados aspectos críticos do produto, observados no ciclo de vida dele. De maneira geral deve se detalhar um modelo de produto para ser possível analisar custos, massas e dimensões totais aproximadas, a exequibilidade deve ser mantida tanto quanto as circunstâncias permitam. Características que podem ser elaboradas através da linguagem gráfica, isto é, em desenhos esquemáticos ou esboços (AMARAL, 2006).

### **3.2.7 Avaliar e aprovar fase**

Em conformidade com Amaral (2006), essa etapa é similar à respectiva etapa do projeto informacional, a diferença é que agora se fala em especificações físicas, onde é possível julgar mais precisamente a concepção desejada, para isso adotam-se os seguintes argumentos:

- Existe alguma limitação tecnologia?
- Possui viabilidade econômica?
- As especificações de custo estão sendo atendidas?
- A segurança e as funções operacionais são conhecidas?

## **3.3 CONSTRUÇÃO E TESTE DO PROTÓTIPO**

Segundo Baxter (2000), ao atingir uma solução para a configuração de um produto, se faz necessário conferir se essa solução atende aos objetivos propostos. Para tanto, é necessário construir e testar o produto. É muito importante a construção do protótipo para o desenvolvimento do produto. A grande maioria dos designers têm por hábito construir protótipos a cada estágio do projeto, de forma a demonstrar a comprimento do estágio. No entanto, se esses protótipos não forem essenciais, pode ser uma perda de tempo.

Diversos modelos do produto das mais variadas formas podem ser construídos de acordo com o seu objetivo. Se o objetivo é estudar a forma global do produto é possível construir um modelo bastante simples, usando materiais como papelão, argila, gesso, espuma ou madeira. Sendo geralmente chamados de maquete, devido a possuírem materiais diferentes do produto final. Geralmente os protótipos são construídos com o mesmo material do produto, também possuindo as demais funções do mesmo, para assim possibilitar demais testes do produto. Na Figura 5 é apresentada uma classificação dos demais tipos de modelos (BAXTER, 2000).

O desenvolvimento do protótipo será idêntico ao modelo de fabricação, sendo considerado “Protótipo de produção” devido a fazer-se necessário testar e validar o dimensional e funcional do protótipo antes do lançamento do produto.

Figura 5 - Tipos de modelos usados no projeto de produtos.

Representação estrutural	Representações estrutural e funcional	Representação funcional
<b>Modelo de apresentação</b> Forma física e aparência (mas não a função)		<b>Protótipo experimental</b> Funções principais (mas não tamanho e forma)
<b>Modelo de forma</b> Tamanho físico e forma (mas não função nem aparência)		<b>Protótipo de teste</b> Funções específicas (mas não tamanho e forma)
	<b>Protótipo de pré-produção</b> Modelo completo de um produto para fabricação (tamanho, forma e função)	
	<b>Protótipo de produção</b> Materiais e processos iguais aos da produção industrial	

Fonte: Adaptado de Baxter (2000).

### 3.4 COLETA DE DADOS PARA DIMENSIONAR O ARMAZENADOR DE ENERGIA

Na coleta de dados foram obtidas informações referentes a massa e as dimensões da embalagem, sua utilidade, preferencias, assim como suas limitações perante a função. Sendo necessário realizar um estudo referente a padrões ergonômicos aplicáveis, afim de possuir o conhecimento necessário para adequá-la ao ambiente de trabalho.

A embalagem RR2912206 tem grandes dimensões e massa, apresenta problema ergonômico exorbitante, ao qual o operador está sujeito a elevar uma massa de 53,2 kg ou 521,89 N (medidos por uma célula de carga digital de modelo CBR 1046) quando abaixo do nível da cintura, sendo que a engenharia de segurança da empresa permite até a massa de 12 kg (117,82 N) abaixo do limite da cintura e 23 kg (225,83 N) quando no nível da cintura. O ponto de operação fica de 35 a 160 cm do solo.

A equação de NIOSH estabelece como 23 kg (225,83N) um valor de referência que corresponde à capacidade de levantamento no plano, a partir de uma altura de 75 cm do solo, com um deslocamento vertical de 25 cm, segurando a carga a 25cm do corpo. Sendo a carga

aceitável para 99% dos homens e 75% das mulheres sem provocar qualquer dano físico, em operações repetitivas (IIDA, 2005).

Possuindo o conhecimento de que a massa total a ser absorvida pelo dispositivo é de no mínimo 41,2 kg (404,17 N), é possível a realização de cálculos para dimensionamento do conjunto.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Serão relatados nesse capítulo os resultados obtidos através da aplicação da metodologia de projeto de produto. Sendo possível a análise mais aprofundada dos requisitos do cliente e a obtenção de resultados mais consistentes e precisos.

### 4.1 PROJETO INFORMACIONAL

#### 4.1.1 Pesquisa de informações sobre o tema do projeto

Como primeira tarefa do projeto informacional temos a determinação do ciclo de vida do produto, como também os clientes do projeto em questão. O ciclo de vida foi relatado no Quadro 1, onde relaciona as fases do produto com os tipos de clientes.

Quadro 1 – Ciclo de vida do produto.

FASES DO CICLO DE VIDA	CLIENTES		
	INTERNOS	INTERMEDIÁRIOS	EXTERNOS
PROJETO	Departamento de Engenharia		
TESTES	Departamento de Engenharia		
PRODUÇÃO	Manufatura		
COMERCIALIZAÇÃO	Departamento de Vendas		
UTILIZAÇÃO			Empresa de grande porte do ramo metal mecânico
DESCARTE		Empresa especializada no descarte de metais	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram atribuídas cinco fases para a constatação do ciclo de vida, de modo em que conforme a metodologia, foram relacionados três tipos de clientes subdivididos em internos, intermediários e externos.

O departamento interno de engenharia da empresa Ivan e Costa - ME aparece como o primeiro e segundo cliente do projeto, sendo responsáveis pelo desenvolvimento virtual do protótipo e posteriormente por testes e validação do produto.

Ao possuir a aprovação do cliente, o produto será produzido pela manufatura interna da empresa, juntamente com o departamento de engenharia para acompanhar e realizar

possíveis ajustes. Com o produto finalizado, o departamento de venda irá encaminhar a comercialização do produto ao cliente.

O descarte do produto será por conta do cliente, que já conta com serviços terceirizados de uma empresa especializada no descarte de metais.

#### 4.1.2 Identificação das necessidades dos clientes

Com o intuito de identificar as necessidades do cliente, de início foram realizadas reuniões técnicas com as pessoas envolvidas da empresa de grande porte, na qual foi apresentado o problema, as limitações do processo e a expectativa sobre o novo produto. Ao obter as necessidades do cliente, o novo desafio foi apresentado ao departamento de engenharia e manufatura da empresa, que por sua vez realizou seções de *Brainstorm* para encontrar possíveis soluções ao problema, passando essas idéias a uma planilha de priorização, a qual pode ser vista no Quadro 2.

Quadro 2 – Planilha de priorização de ideias.

IDÉIAS	PRÓS	CONTRAS	CLAS.
Redução de massa das barras	Diminuir os esforços ao levantar as barras	Comprometimento da estruturação da embalagem	4
Repartir as barras laterais em duas partes	Diminuir os esforços ao levantar as barras	Perda de estabilidade da barra, com amarramento em apenas um ponto	3
Utilização de acumulador de energia com mola helicoidal	Diminuir os esforços ao levantar as barras, suavizar a inclinação da barra	Incremento de materiais na embalagem	1
Utilização de acumulador de energia com mola a gás	Diminuir os esforços ao levantar as barras, suavizar a inclinação da barra	Alto custo	2
Içar com a talha	Eliminação dos esforços manuais	Manipulação depende do processo de manufatura do local	4
Instalação de atuador pneumático	Eliminação dos esforços manuais	Alto custo, manutenção	4
Remover o sistema de dobramento das barras.	Eliminação do problema ergonômico	Incremento de custos no processo logístico	5
Remover as barras laterais	Eliminação do problema ergonômico	Não possibilita o empilhamento de embalagens no pátio	5
Utilização de catraca para elevar as barras laterais	Diminuir os esforços ao levantar as barras	Alto custo, processo lento	4

Fonte: Elaborado pelo autor.

As ideias listadas no Quadro 2 foram priorizadas de acordo com seus prós e contras, chegando a conclusão de que a utilização de um acumulador de energia, seja por mola helicoidal de tração ou por mola a gás seriam as soluções que melhor atendem as necessidades do cliente.

### 4.1.3 Estabelecimento dos requisitos dos clientes

Para compreensão dos requisitos de cada cliente, foi elaborado o Quadro 3, o qual os identifica separadamente. Desta forma facilita o trabalho de cada tipo de cliente, possuindo clareza do objetivo a ser seguido, e o que impacta.

Quadro 3 - Requisitos dos clientes.

CLIENTES	REQUISITOS
PROJETO	Projeto simples
	Fácil manutenção e ajustes
TESTES	Produtos de qualidade
	Constante funcionalidade
PRODUÇÃO	Fácil fabricação
COMERCIALIZAÇÃO	Baixo custo
	Não oferecer riscos de acidente ao operador
UTILIZAÇÃO	Adequar a embalagem a padrões ergonômicos
	Durabilidade compatível a da embalagem
	Peças de reposição
	Não dificultar a manipulação de itens
DESCARTE	Material reciclável

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 4.1.4 Definição dos requisitos do projeto

Como mostrado no item 4.1.3, os requisitos dos clientes já foram estabelecidos, então partiu-se para o uso do quadro sugerido na metodologia por Amaral (2006), que possibilitou com maior precisão a definição dos requisitos dos clientes.

Este tópico constitui-se uma importante fase para o projeto, pois aqui, faz-se o julgamento dos requisitos do projeto, desta forma alguns requisitos foram desconsiderados por não serem realmente necessários ou por estarem compreendidos por outro requisito que os englobou, e também outros requisitos que foram agregados nesta etapa.

Conforme a metodologia seguida neste trabalho, foram definidos alguns pré-requisitos, no total de 18 requisitos e realizou-se uma seleção e definição daqueles que realmente serão necessários para os passos posteriores, conforme demonstrados no Quadro 4.

Quadro 4 - Requisitos do projeto.

Atributos gerais	Básicos	Funcionamento	Capacidade de exercer a força suficiente
			Ser compatível com a embalagem
		Ergonômico	Fácil acesso na embalagem
		Econômico	Baixo custo
			Simplicidade de manutenção
			Vida útil compatível a embalagem
		Segurança	Enclausuramento de partes móveis
	Legal	Atender as normas aplicáveis	
	Impacto ambiental	Nenhum impacto ambiental	
	Confiabilidade	Inclinação das barras suavemente	
Ciclo de vida	Fabricação	Construção simples	
	Montagem	Projeto simples	
	Usabilidade	Simple de ajustar	
Atributos específicos	Materiais	Geométricos	Pequenas dimensões
		Material, cor, peso	Cor padrão das embalagens de logística
			Ser composto por materiais metálicos
			Peso máximo do dispositivo 10 kg
Controle	Ajustes para controlar a força exercida		

Fonte: Adaptado de Amaral (2006).

#### 4.1.5 Hierarquização dos requisitos do projeto

Neste tópico, usou-se o Diagrama de Mudge para a hierarquização dos requisitos dos clientes, onde realizou-se uma comparação de todos os requisitos com eles mesmos, e definiu-se uma pontuação para cada requisito, desta forma temos o requisito que mais pontuou como aquele que é o mais importante, sendo assim, esses requisitos que foram pontuados como mais importantes deverão ter atenção especial, e neste deverá ser focado a maior parte do tempo e recursos para satisfazê-lo. Para mensurar a importância de cada requisito utilizou-se os números 1, 3 e 5, onde em cada comparação realizada utilizou-se do pensamento lógico e racional sobre qual item teria um valor maior em comparação com o outro comparado, e aplicou-se o número 5 para o requisito que era de extrema importância em relação ao outro comparado, o número 3 para quando o requisito fosse medianamente mais importante e por fim o número 1 quando o item fosse um pouco mais importante que o item comparado. Portanto, a Figura 6 apresenta o Diagrama de Mudge.

Figura 6 - Diagrama de Mudge.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Soma	%	VC
A	A1	C3	D3	A3	F3	G3	H5	I1	J3	K1	A3	7	4%	2
	B	C3	D3	E1	F1	G5	H3	I1	J1	B1	B3	4	2%	1
		C	D1	C3	C1	G3	H3	I1	C3	K1	C3	16	10%	4
			D	D5	D3	G3	H3	D3	D1	D1	D5	25	15%	7
				E	F3	G5	H5	I3	J5	K3	L1	1	1%	1
					F	G3	H3	F1	J1	K1	F1	9	5%	2
						G	H1	G5	G1	G1	G5	34	20%	9
							H	H5	H1	H3	H5	37	22%	10
								I	I1	I1	I3	11	7%	3
									J	K1	J3	13	8%	4
										K	K3	10	6%	3
											L	1	1%	1
												168	100%	

5	Muito mais importante
3	Mediamente mais importante
1	Pouco mais importante

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na sequência no Quadro 5, podemos visualizar de uma maneira melhor os requisitos que foram apontados anteriormente, com seu respectivo grau de importância.

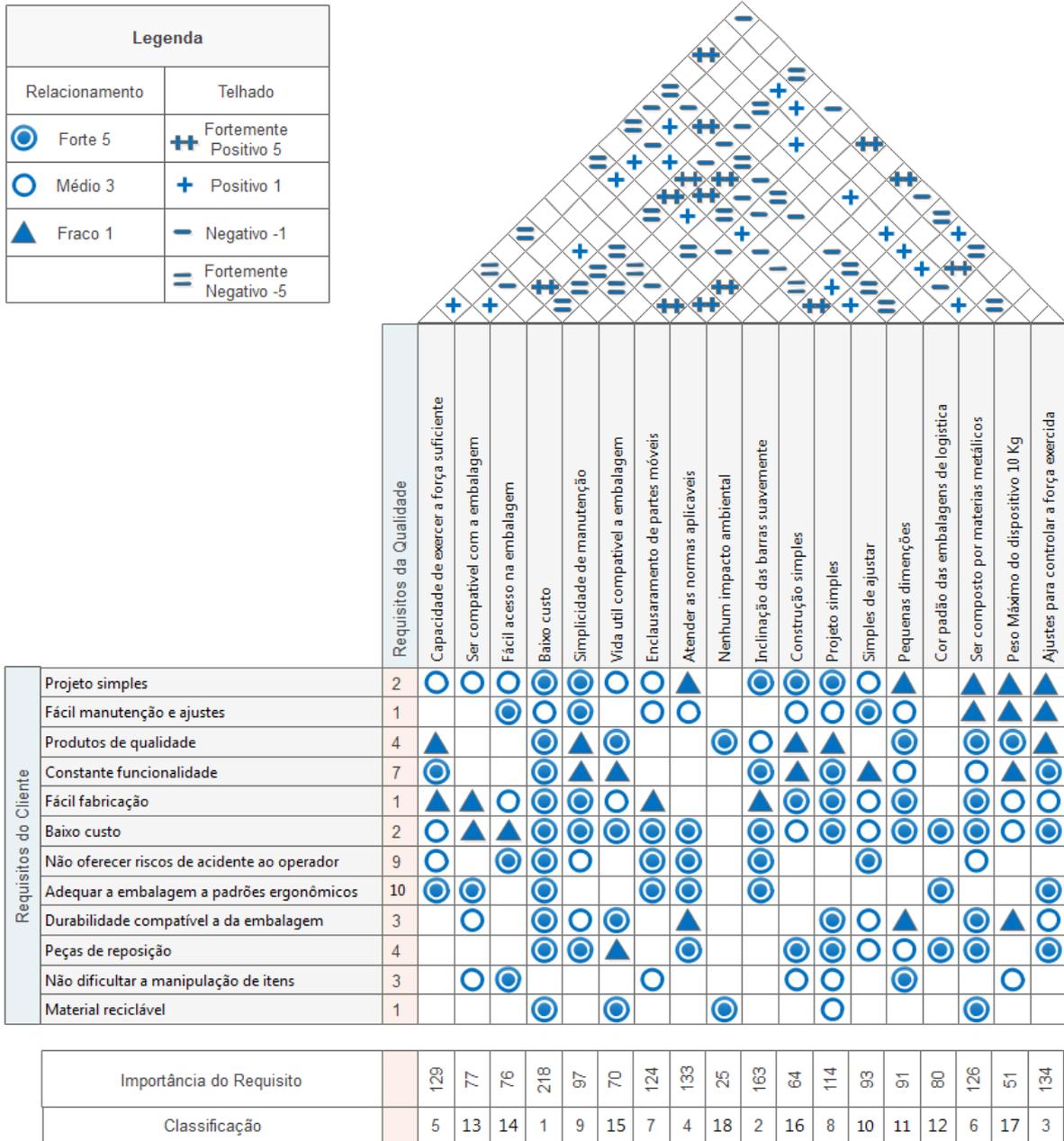
Quadro 5 - Classificação dos requisitos dos clientes em ordem de importância.

IMPORTÂNCIA		
1	H	Adequar a embalagem RR2912206 a padrões ergonômicos
2	G	Não oferecer riscos de acidente ao operador
3	D	Constante funcionalidade
4	C	Produtos de qualidade
5	J	Peças de reposição
6	I	Durabilidade compatível a da embalagem
7	K	Ser instalado em local que não dificulte a manipulação de itens
8	F	Baixo custo
9	A	Projeto simples
10	B	Fácil manutenção e ajustes
11	E	Fácil fabricação
12	L	Material reciclável

Fonte: Elaborado pelo autor.

A seguir, na Figura 7, está demonstrada a aplicação da matriz da qualidade, que costuma ser usada para refinar de forma mais abrangente os requisitos, e estabelecer com maior certeza os requisitos do projeto que devem ser priorizados no momento da execução.

Figura 7 – Matriz QFD (Casa da qualidade).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nessa etapa a aplicou-se ferramenta QFD, ou casa da qualidade, como é mais conhecida pelo meio empresarial. Esta ferramenta possibilitou o refinamento dos requisitos de projeto e desta forma proporcionou um grau maior de certeza, através da racionalização dos requisitos de projeto principais que deverão ter maior ênfase durante as fases seguintes do projeto, assegurando desta forma que os recursos e tempo sejam mais bem empenhados naquilo que realmente importa, deixando de lado desta forma os quesitos que não são tão essenciais ou muito importantes, possibilitando para a equipe de projeto manter o foco em

todos os requisitos de forma mais equilibrada e proporcionando um vislumbre do projeto como um todo para atender as expectativas do cliente.

#### 4.1.6 Estabelecimento das especificações do projeto

Conforme finalizado as etapas anteriores, iniciou-se a última etapa do projeto onde foram feitas as definições necessárias para a concepção do produto. Esta etapa baseou-se na imposição de metas para desta forma mensurar os resultados dos quais se deseja obter, compilando assim as possíveis complicações que devem ser evitadas.

O Quadro 6 representa de forma sucinta os requisitos de projeto que deverão ser trabalhados de forma mais séria, para que não haja posteriormente o comprometimento no desenvolvimento da concepção do projeto. Na sequência estão o Quadros 7 e 8, nos quais visualiza-se as outras especificações que estão descritas de acordo com seu grau de relevância.

Quadro 6 - Terço superior.

Nº	REQUISITO	VALOR META	FORMA DE AVALIAÇÃO	ASPECTOS INDESEJADOS
1	Baixo custo	> R\$ 200,00	Orçamento do produto	Redução da qualidade
2	Inclinação das barras suavemente	< 3 segundos	Testes de campo	Não inclinar totalmente
3	Ajustes para controlar a força exercida	Realizar manualmente	Testes de campo	Incremento de custo em materiais
4	Atender as normas aplicáveis	100%	Análise do projeto	Incremento de custo e diminuir simplicidade do projeto
5	Capacidade de exercer a força suficiente	100%	Momento tursor da barra da embalagem	Não adequação a padrões ergonômicos
6	Ser composto por matérias metálicos	100%	Análise do projeto	Peso elevado

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 7 - Terço médio.

Nº	REQUISITO	VALOR META	FORMA DE AVALIAÇÃO	ASPECTOS INDESEJADOS
7	Enclausuramento de partes móveis	100%	Análise do Projeto	Riscos de acidente
8	Projeto simples	90%	Análise do Projeto	Incremento do custo
9	Simplicidade de manutenção	85%	Testes de Campo	Incremento do custo de manutenção
10	Simples de ajustar	Realizar manualmente	Testes de Campo	Reduzir opções de regulagem
11	Pequenas dimensões	Não interferir na função da embalagem	Análise do Projeto	Incremento do custo e complexidade
12	Cor padrão das embalagens de logística	Cor “Amarelo” Padrão da embalagem	Inspeção	Dispositivo e embalagem possuírem cores diferentes

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 8 - Terço inferior.

Nº	REQUISITO	VALOR META	FORMA DE AVALIAÇÃO	ASPECTOS INDESEJADOS
13	Ser compatível com a embalagem	100%	Análise do projeto	Incremento do custo em materiais
14	Fácil acesso na embalagem	Acesso frontal e nas laterais	Testes de Campo	Dificultar ajustes e manutenção
15	Vida útil compatível a embalagem	100%	Testes de Campo	Incremento de custo em materiais e processo
16	Construção simples	90%	Análise do processo de fabricação e projeto	Redução da Qualidade e Design
17	Peso Máximo do dispositivo 10 kg	10 kg	Pesagem do produto	Redução da Qualidade
18	Nenhum impacto ambiental	Materiais Recicláveis	Inspeção de Segurança	Incremento de custo em Materiais

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.1.7 Avaliação e aprovação da fase

Todo o trabalho realizado até aqui seguiu à risca o que a metodologia propõe. Alguns quesitos demonstraram ser muito mais representativos em relação a outros o que é normal acontecer nestas fases de projeto, onde o estudo busca priorizar o que o projeto final deve contemplar.

Após a aplicação de todas as ferramentas e os objetivos estarem refinados, observou-se que os resultados contemplam as necessidades previamente estabelecidas pelo cliente,

que foram anteriormente compiladas através de uma pesquisa de campo realizada. Desta forma observa-se que todas as variáveis até o presente momento foram bem analisadas pelas ferramentas utilizadas, e que há fortes indícios de que o projeto está seguindo o rumo que era esperado, tendo este já provado ser confiável para seguir em seu desenvolvimento nas etapas seguintes.

## 4.2 PROJETO CONCEITUAL

Neste momento a segunda etapa do projeto irá desenvolver e definir as soluções conceituais necessárias para começar a dar forma no produto como um todo, seguindo ainda a metodologia já mencionada anteriormente, que continuará sendo aplicada, como poderá ser visto nas subfases descritas a seguir.

### 4.2.1 Verificação do escopo do problema

Para um armazenamento de energia mecânica de alta performance precisamos demonstrar as principais características que o mesmo deve conter. A ferramenta de QFD, juntamente com o diagrama de Mudge, demonstram dados claros e diretos, deixando assim de lado os preconceitos e preferências pessoais.

Para a obtenção do escopo principal, relaciona-se os requisitos mais importantes, podendo assim minimizar os requisitos menos importantes. No entanto é necessário considerar cada um deles, mesmo não tendo alto grau de importância podem deixar o dispositivo fora do especificado. Abaixo estão listados os requisitos de maior importância para a realização desse projeto:

- Baixo custo;
- Inclinação das barras suavemente;
- Ajustes para controlar a força exercida;
- Atender as normas aplicáveis;
- Capacidade de exercer a força suficiente;
- Ser composto por materiais metálicos.

Segundo o que é recomendado por Pahl e Beitz (1996), o próximo passo é realizar a transformação das informações de caráter quantitativo e qualitativo, para que através dessa análise possa-se chegar a aquilo que representa a essência do projeto. Onde:

- Ajustes para proporcionar suave inclinação das barras;
- Capacidade de exercer a força suficiente atendendo as normas aplicáveis;
- Dispositivo de baixo custo sendo composto por materiais metálicos.

A fim de proporcionar que seja possível tornar mais fácil a formulação do problema do projeto em questão, sem apontar qualquer tipo de soluções para o mesmo, realizou-se uma redução ainda mais refinada dos requisitos, deixando-os mais reduzidos e diretos para facilitar a formulação do problema do projeto.

Dispositivo de baixo custo composto por materiais metálicos, possuindo força e regulagens suficientes para garantir a inclinação das barras suavemente atendendo assim as normas aplicáveis.

#### 4.2.2 Estabelecimento da estrutura funcional

Em consequência da metodologia aplicada e tendo em mente uma melhor compreensão das funções básicas e fundamentais que esta unidade de armazenamento possui, criou-se o fluxograma da função global do sistema, onde será demonstrado de maneira simples e objetiva das principais funções que o produto que foi idealizado até o presente momento deverá satisfazer, conforme a Figura 8 demonstra essas funções.

Figura 8 - Função global do dispositivo armazenador de energia.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tendo a função global já desenvolvida, pode-se fazer o desdobramento da mesma, e desta forma elaborou-se a estrutura funcional simplificada, na qual começou-se a observar as funções mais específicas que este projeto em particular tem como fundamentais, essas

funções são compostas por 6 funções específicas imprescindíveis para as futuras concepções. Conforme a Figura 9, é possível analisar de uma forma mais coesa e concisa essa estrutura.

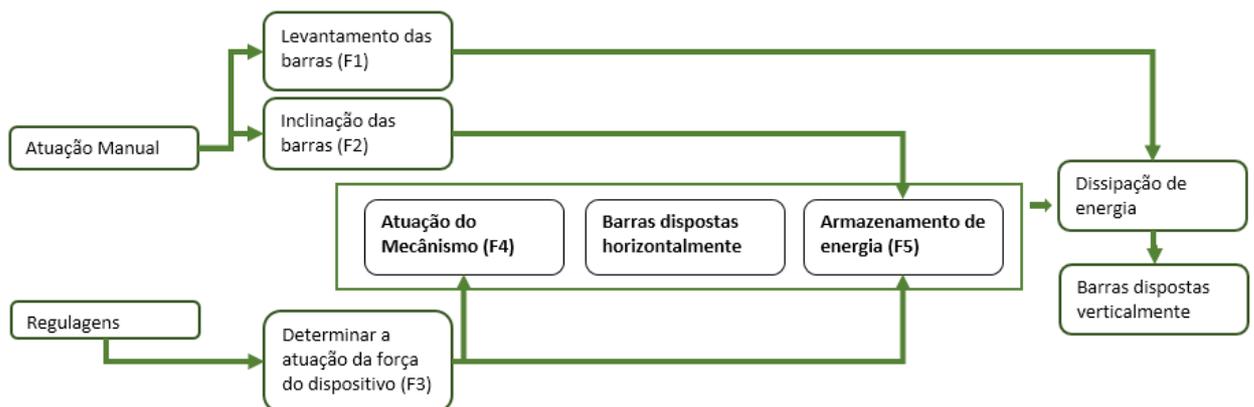
Figura 9 - Estrutura funcional simplificada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo Amaral (2006), para se obter uma futura concepção é preciso definir, de forma genérica, de que forma cada função irá se manifestar no sistema como um todo, sendo assim, toda função em particular será relacionada com as outras em uma sequência ordenada de execução pré-definida, não esquecendo de descrever as entradas e saídas de cada função do sistema, ou seja, relatar as entradas de energias e regulagens nos subsistemas que compõem o produto, bem como por consequência as energias que serão dissipadas para fora do sistema que compõem o produto. Desta forma, relatando a atuação manual e regulagens que irão compor o produto, bem como o caminho que a energia e a sequência de eventos irá percorrer pelo projeto, estruturou-se o diagrama funcional da Figura 10.

Figura 10 - Estrutura funcional.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No Quadro 9, é possível observar que estão citadas as 5 funções que compreendem o produto em si, bem como a descrição do que cada função irá desempenhar, seguido das entradas e saídas de regulagens e energias que atuarão no sistema para termos desta forma a

completa noção sobre cada função básica do produto e eventuais problemas que podem ocorrer.

Quadro 9 - Descrição das funções.

<b>FUNÇÃO</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>ENTRADAS</b>	<b>SAÍDAS</b>
F1 - Levantamento das Barras	Levantar as barras do dispositivo	Manipulação Manual e dissipação de energia do acumulador	Barras no sentido vertical
F2 - Inclinação das Barras	Inclinar as barras do dispositivo	Manipulação Manual e concentração de energia	Barras no sentido horizontal
F3 - Determinar a atuação da força do dispositivo	Ajustar o equipamento a padrões ergonômicos	Ajuste mecânico do acumulador de energia	Variação da concentração de força do dispositivo
F4 - Atuação do Mecanismo	Transformação do movimento da inclinação das barras no movimento desejado	Movimento proveniente da inclinação das barras	Movimento útil para armazenar energia no acumulador
F5 - Armazenamento de energia	Energia da força peso das barras absorvida pelo acumulador	Força peso das barras laterais da embalagem	Energia armazenada para o levantamento das barras

Fonte: Elaborado pelo autor.

### **4.2.3 Pesquisa dos princípios de solução**

Nesta etapa, o foco foi em dar forma ao projeto, sendo que para cada função definidas nas etapas anteriores designamos formas físicas que cada uma destas funções poderá ter, considerando a função que deve desempenhar, sendo que para cada função foi necessário designar três opções de aplicação desta função, ou seja, três possíveis formas que o componente irá ter.

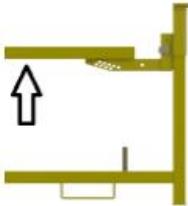
Foi sugerido conforme o Quadro 10, itens ou soluções possíveis que existem no mercado ou que foram observadas em outros projetos ou então idealizadas pelo projetista para cumprir de melhor forma possível a função para qual serão designados. O método da aplicação da matriz morfológica é um método de busca convencional em todas as criações existentes, e foi recomendado pela metodologia.

### **4.2.4 Combinação dos princípios de solução**

Após compilar a matriz morfológica, utilizou-se as alternativas colocadas na matriz e partiu-se para esta fase que visa atender a função global do projeto. Seguindo a metodologia

definiu-se as combinações mais apropriadas para atender as expectativas do cliente e projeto, reunindo aquilo que mais se assemelha ao objetivo principal e compreende os requisitos necessários para o projeto, começando a dar forma ao produto. Para tanto, o Quadro 11 foi desenvolvido nesse sentido, onde o mesmo apresenta 2 combinações potenciais para alcançar as expectativas impostas do projeto.

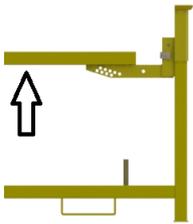
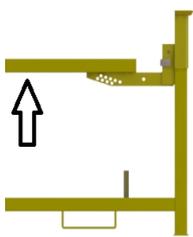
Quadro 10 - Matriz morfologia do dispositivo acumulador de energia.

Funções	Matriz Morfológica		
	1	2	3
F1 - Levantamento das Barras	 Atuação manual	 Içamento	 Atuador pneumático
F2 - Inclinação das Barras	 Atuação manual	 Manivela	 Atuador pneumático
F3 - Determinar a atuação da força do dispositivo	 Furo oblongo	 Furação alternada	 Barra roscada
F4 - Atuação do Mecânismo	 Mola helicoidal enclausurada	 Mola a gás	 Mola helicoidal
F5 - Armazenamento de energia	 Mola helicoidal de tração	 Mola helicoidal compressão	 Mola a gás

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesta etapa foi realizado um confronto entre cada princípio apresentado em particular com as informações sobre as especificações do projeto, sendo que houve divergências entre informações referentes a durabilidade, resistência, custos e dimensões. Analisou-se e houve algumas dessas alternativas que estavam colocadas na matriz morfológica que foram eliminadas, por causa que estas tinham alguma discordância com aquilo que foi especificado e definido como mais importante na descrição do projeto informacional.

Quadro 11 - Princípios de soluções.

Funções		F1 - Levantamento das Barras	F2 - Inclinação das Barras	F3 - Determinar a atuação da força do dispositivo	F4 - Atuação do Mecanismo	F5 - Armazenamento de energia
Matriz Morfológica	1	 Atuação manual	 Atuação manual	 Furação alternada	 Mola a gás	 Mola a gás
	2	 Atuação manual	 Atuação manual	 Furação alternada	 Mola helicoidal enc.	 Mola helicoidal tração

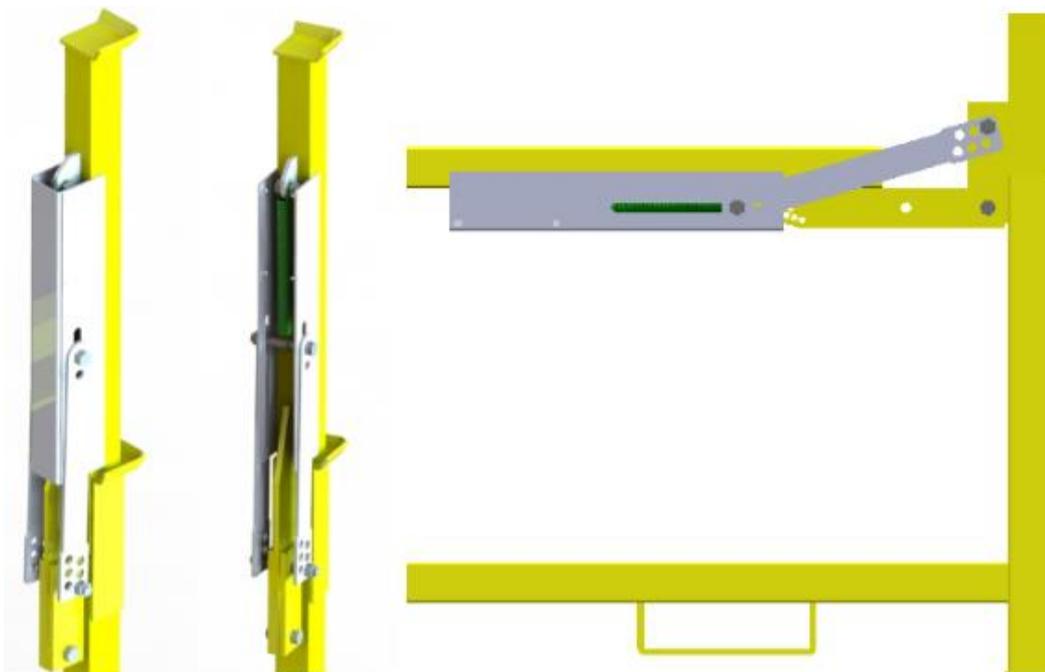
Fonte: Elaborado pelo autor.

Contudo, após várias análises utilizando do pensamento lógico sobre aquilo que melhor se adequaria ao que foi especificado e definido até aqui, chegou-se a 2 alternativas diferentes de como este produto será, dando um vislumbre de como será a concepção final do mesmo, resultantes das várias combinações possíveis que foram analisadas anteriormente.

Estas duas concepções geradas são os dois projetos que mais tem chance de contemplar os requisitos necessários para o projeto, e também que possuem a maior chance de estarem aptos a serem escolhidos como o projeto final.

A primeira concepção mostrada na Figura 11, utiliza uma mola helicoidal de tração como armazenador de energia, sendo enclausurada por chapas metálicas para a segurança do operador. O mecanismo atua de uma forma constante, quando se inclinam as barras, as hastes metálicas tracionam a mola, que por sua vez ameniza o peso das barras e armazena energia para levanta-las novamente.

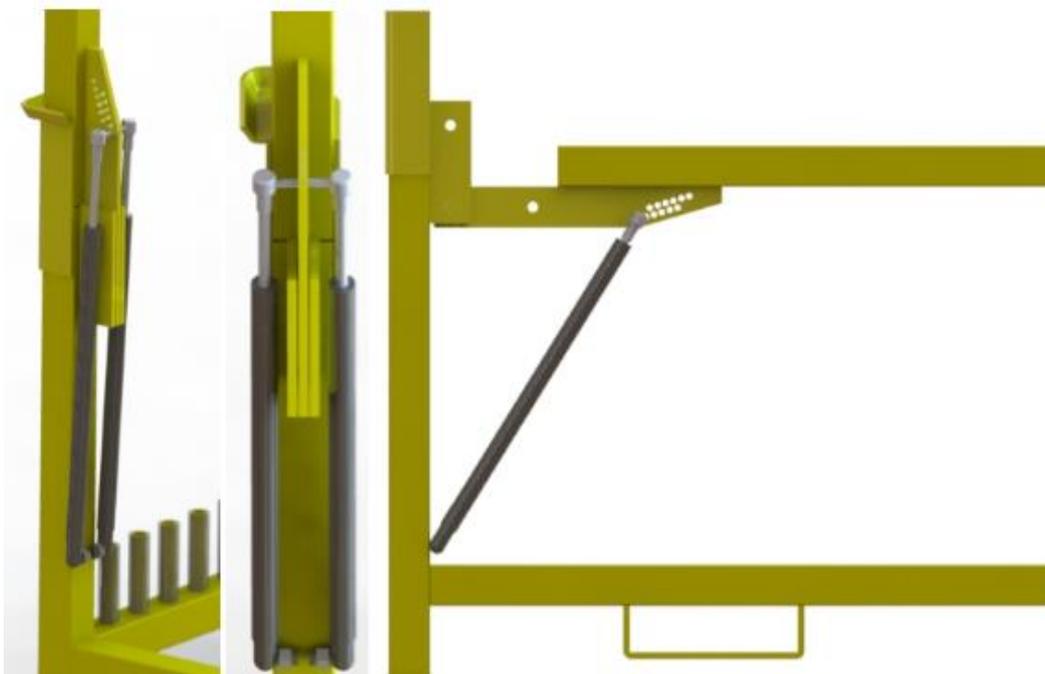
Figura 11 - Concepção alternativa 1 – Uso de mola helicoidal de tração.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A segunda concepção apresentada na Figura 12, utiliza molas a gás para armazenar energia, não necessitando de enclausuramento devido a não oferecer riscos de acidentes, possui ótima absorção de impactos e um mecanismo simples.

Figura 12 - Concepção alternativa 2 – Uso de mola a gás.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2.5 Seleção das combinações

Nesta etapa temos as duas alternativas mencionadas anteriormente, então partiu-se para a definição de qual delas seria mais satisfatória, pois ambas possuem características fortes para contemplar o projeto, para poder definir com precisão qual dos dois mais se encaixa naquilo que está nos requisitos do projeto, utilizou-se a matriz de decisão.

Utilizou-se este método, pois o mesmo proporciona uma comparação entre as concepções de forma clara, direta e objetiva, para tal ela permite relacionarmos os requisitos do cliente, bem como a importância de cada um dos requisitos. Desta forma a concepção 1 venceu a concepção 2, pois a mesma apresentou as melhores características no sentido de atender os requisitos do cliente, de modo que, podemos entender melhor essa avaliação ao ver o Quadro 12.

Quadro 12 - Matriz de decisão.

REQUISITOS DO CLIENTE	VC	CONCEPÇÕES			
		1		2	
Projeto simples	2	0	0	1	2
Fácil manutenção e ajustes	1	0	0	0	0
Produtos de qualidade	4	0	0	0	0
Constante funcionalidade	7	0	0	0	0
Fácil fabricação	1	0	0	0	0
Baixo custo	2	0	0	-1	-2
Não oferecer riscos de acidente ao operador	9	0	0	0	0
Adequar a embalagem a padrões ergonômicos	10	0	0	0	0
Durabilidade compatível a da embalagem	3	0	0	-1	-3
Peças de reposição	4	0	0	0	0
Não dificultar a manipulação de itens	3	0	0	0	0
Material reciclável	1	0	0	-1	-1
<b>PESO DA CONCEPÇÃO</b>		<b>0</b>		<b>-4</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2.6 Evoluir em variantes de concepção

Seguindo as etapas propostas pela metodologia adotada, chega-se a concepção final do projeto, a qual é demonstrada na Figura 13.

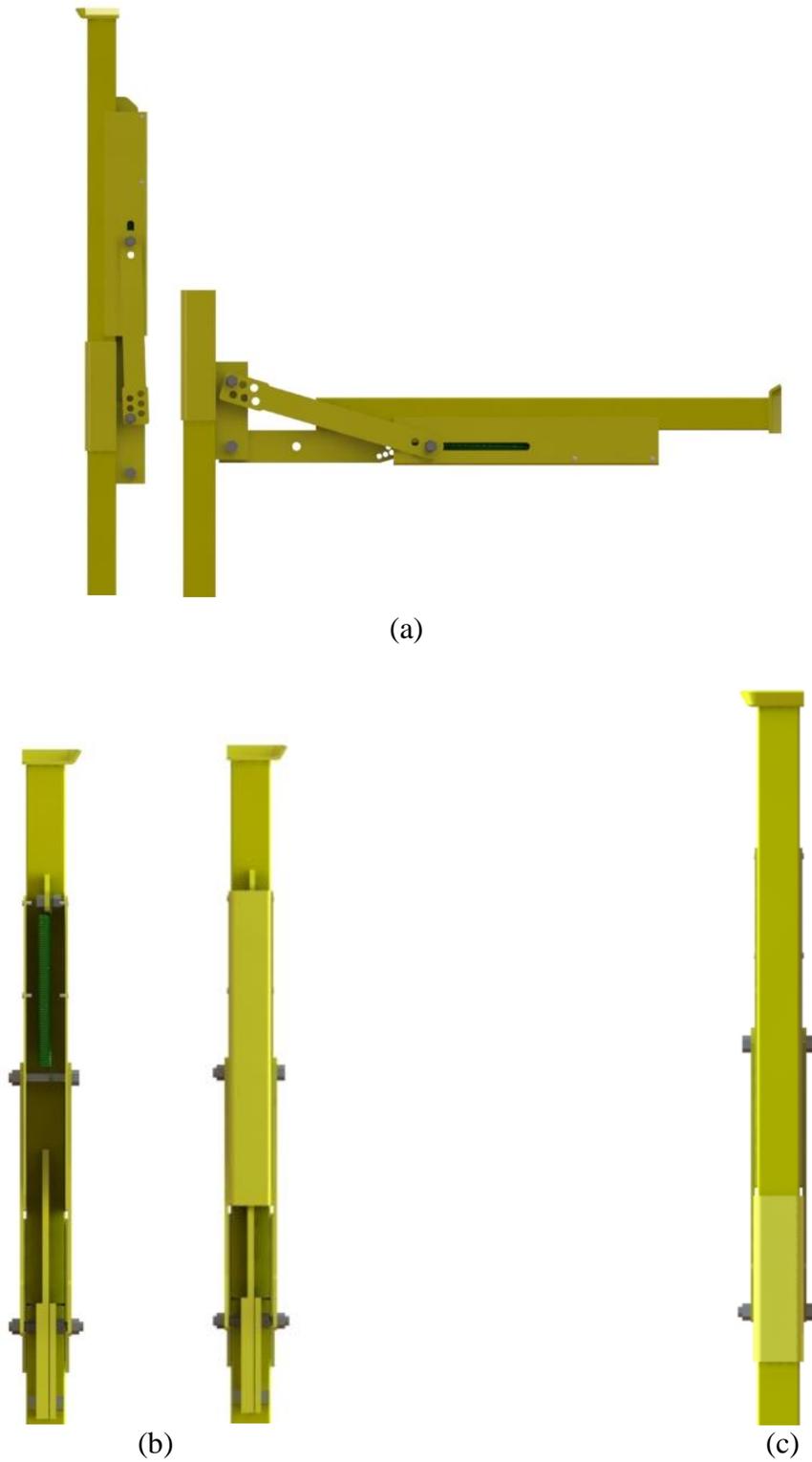
Figura 13 - Esboço da concepção final do projeto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No esboço das Figuras 14(a-c) é apresentado as principais vistas, e destacado os pontos importantes que estão relacionados as funções e requisitos do dispositivo.

Figura 14 – Vistas do esboço: (a) Lateral; (b) Frontal; (c) Posterior.

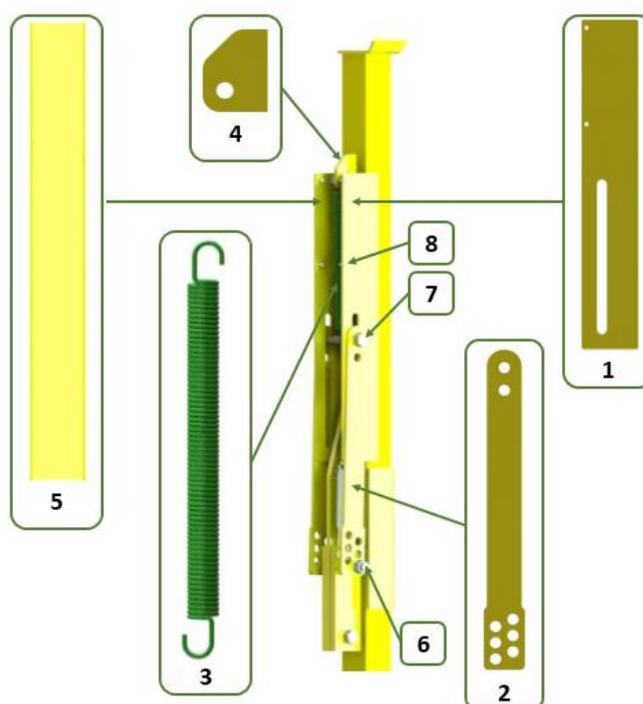


Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2.7 Componentes do conjunto

A Figura 15 apresenta os componentes do dispositivo, os quais são especificados, a seguir.

Figura 15 - Composição do dispositivo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As duas chapas metálicas laterais (1) contêm furos oblongos que direcionam a barra (2) a fim de tracionar a mola, além disso proporcionam o enclausuramento da mola.

O componente (2) tem por função tracionar a mola quanto a barra é flexionada, é composta de material metálico e conta com regulagens para alterar o tencionamento da mola.

A mola helicoidal de tração (3) objetiva o armazenamento de energia, é a peça principal do conjunto tornando suave a inclinação das barras e auxiliando (dissipando energia) no levantamento das mesmas.

A chapa metálica (4) é soldada a estrutura da embalagem, a mola helicoidal é fixada na furação da chapa que acompanha o movimento da barra lateral.

O enclausuramento frontal da mola (5) é composto por uma chapa metálica fixada as laterais (1) por quatro rebites de alumínio (8).

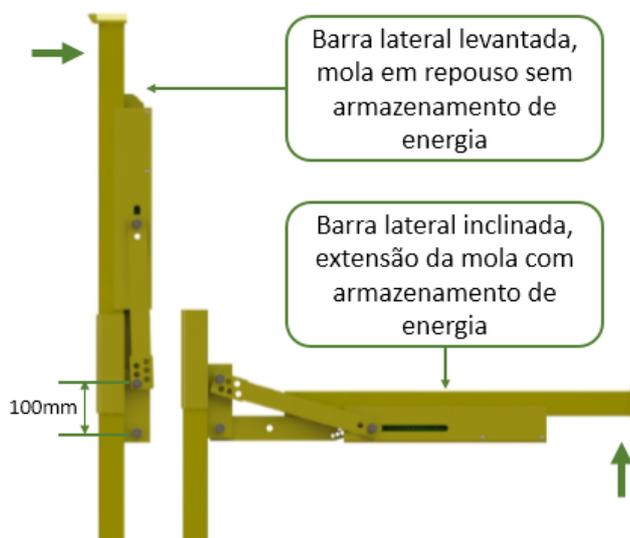
O parafuso (6) proporciona a rotação da chapa (2) ao flexionar as barras laterais, cuidados devem ser tomados quanto ao posicionamento do mesmo, pois altera o tencionamento da mola.

O parafuso (7) conecta as barras (2) com a mola helicoidal (3) sendo direcionado pelos furos oblongos da chapa (1).

Funcionamento do dispositivo: Ao flexionar a barra lateral da embalagem, a chapa (2) traciona a mola helicoidal (3) que por sua vez reage com uma força contrária tornando suave a inclinação da barra. Ao levantar a barra a mola dissipa a energia armazenada, tracionando a chapa (2) que está ligada a estrutura da embalagem, que por sua vez auxilia no levantamento das barras laterais.

Ao modelar o esboço do conjunto foram definidos alguns valores como base para posteriores cálculos de dimensionamento da mola. Definiu-se que a distância entre o parafuso (6) e o ponto de giro da embalagem será de 100 mm, obtendo o deslocamento da mola em 100 mm quando inclinada a barra em 90° (Figura 16).

Figura 16 - Funcionamento do dispositivo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2.8 Avaliação e aprovação da fase

O projeto conta com um princípio de funcionamento simples, sendo composto por chapas metálicas cortadas em processo de corte laser, a fim de diminuir custos de fabricação e montagem do conjunto, além disso, durante a execução do projeto foi pensado no processo

de manutenção o qual foi simplificado ao máximo para assim atender as necessidades do cliente.

Através de simulações computacionais, feitas através do software Solid Works 2015, foi possível prever algumas possíveis falhas, mesmo antes da fabricação do conjunto, tendo a possibilidade de redesenhar e simular novamente, aumentando consideravelmente as chances de sucesso do projeto.

O dispositivo foi desenhado de forma a enclausurar a área de risco do mesmo, contudo focou-se em um sistema simples e de baixo custo que seja removível para facilitar a manutenção do dispositivo.

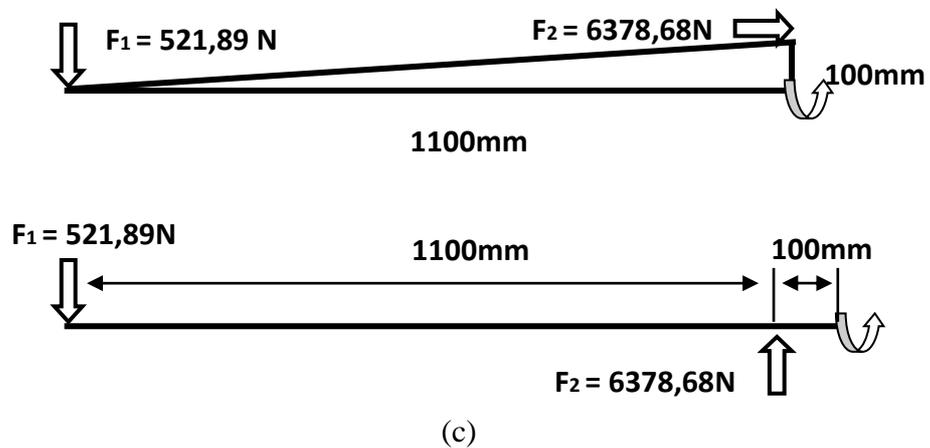
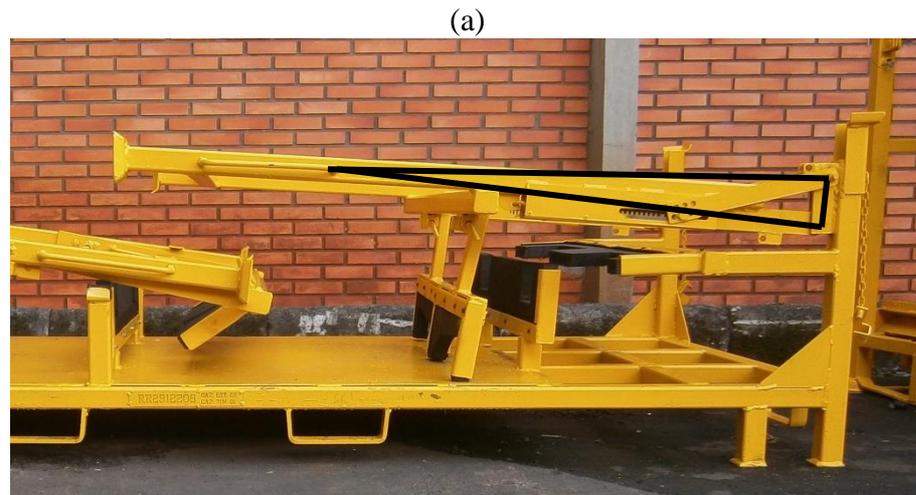
Tendo como base as informações e demais resultados citados anteriormente, a fase de projeto conceitual é aprovada, visto que a concepção obtida corresponde com as expectativas impostas a ela.

#### 4.3 DECOMPOSIÇÃO DE FORÇAS

Com as informações dimensionais, mostrado nas Figuras 17(a-c), é possível decompor as forças no sistema, a fim de encontrar a constante elástica da mola, informação essencial para seu correto dimensionamento.

Figura 17 – Embalagem RR2912206: (a) Dimensões; (b) Embalagem fechada; (c) Decomposição de forças.





#### 4.3.1 Momento torsor

O momento torsor ( $M$ ) em  $N/m$ , Equação 4, se refere a multiplicação da força ( $F_1$ ) pela distância ( $d$ ) em metros.

$$M = F_1 \cdot d \quad (4)$$

$$M = 521,89N \cdot 1,1m$$

$$M = 574,1N/m$$

#### 4.3.2 Força aplicada sobre a mola

Com as distâncias e momento torsor, foi calculado a força exercida sobre a mola ( $F_2$ ), Equação 5.

$$F_2 = M / d \quad (5)$$

$$F_2 = 574,1N/m / 0,1m$$

$$F2 = 5.741N$$

### 4.3.3 Cálculo da constante da mola

O cálculo da constante da elástica da mola ( $k$ ) em N/mm, Equação 6, foi obtido através da multiplicação variação de comprimento da mola ( $\Delta X$ ) em metros, e da força elástica ( $F_{el}$ ) desempenhada pela mesma.

$$\begin{aligned} F_{el} &= k \cdot \Delta X \\ F_{el} &= F2 \\ F2 &= k \cdot \Delta X \\ k &= F2 / \Delta X \\ k &= 5.741N / 100mm \\ k &= 57,41 N/mm \end{aligned} \quad (6)$$

### 4.4 DEFINIÇÃO DA MOLA

Após determinar a constante de rigidez de 57,41 N/mm tendo conhecimento do deslocamento da mola de 100mm, foi encontrado no catálogo da empresa Spring Store (fornecedor da empresa), uma mola que atende as especificações desejadas.

Figura 18 – Mola de tração selecionada para aplicação no dispositivo de amortecimento.

Select.	Price	TSS Part#	Outer Diameter (mm.)	Inner Diameter (mm.)	Length Inside Hook (mm.)	Rate (N./mm.)	Initial Tension (N.)	Sugg. Max. Deflection (mm.)	Sugg. Max. Load (N.)	Wire Dia. (mm.)	Total Coils	Material	Hook Type	Finish
<input type="checkbox"/>	\$27.30	PE6170-34930-17.175-HD-146.1-MH-BO-MM	34.925	20.5486	231.307	51.83754316	475.9597112	95.444	1378.948696	7.1882	17.175	HD-Hard Drawn	MH	BO

Fonte: Adaptado de Spring Store, 2016.

Figura 19 – Mola de tração utilizada para aplicação no dispositivo de amortecimento.



$\varnothing$  arrame = 8mm

$\varnothing$  ext. mola = 38,1mm

Comprimento inicial = 280mm

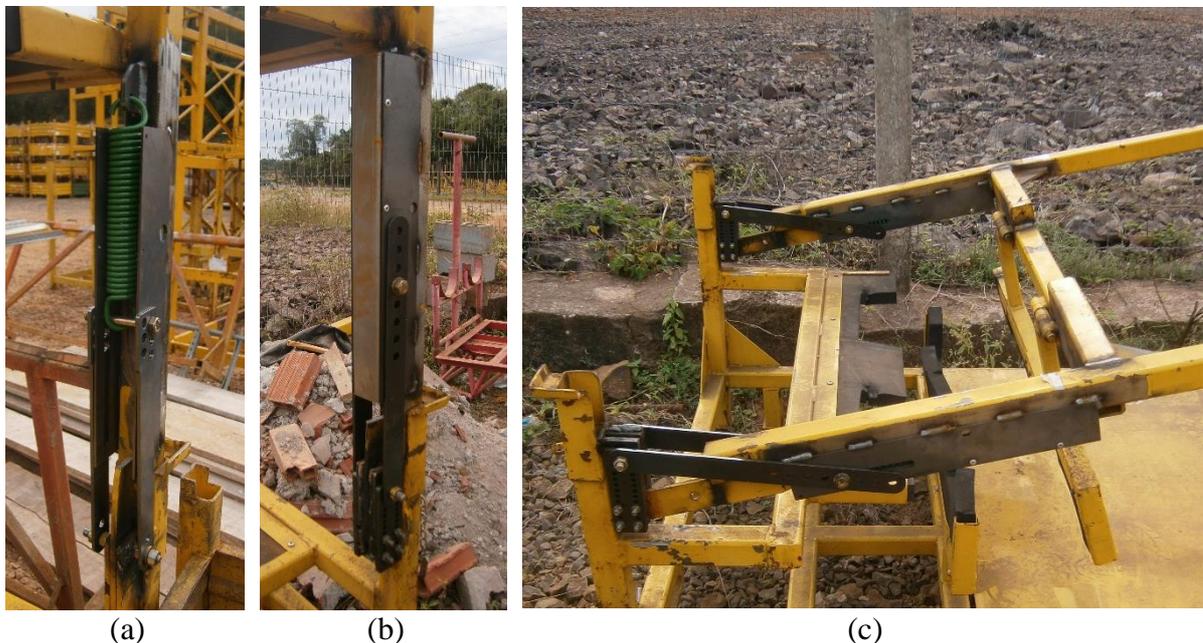
#### 4.5 CONSTRUÇÃO E TESTE DO PROTÓTIPO

Após todos os materiais serem especificados, a modelagem 3D foi retrabalhada para dar início da produção. Após isso, realizou-se a compra de materiais para a montagem do primeiro protótipo de produção. As Figuras 20(a, b, c), ilustram o primeiro modelo fabricado.

Com o protótipo montado foi possível fazer a medição da força necessária para levantar as barras laterais (medidos por uma célula de carga digital de modelo CBR 1046), obtendo ao resultado da força máxima aplicada de 7,32kgf (71,81N), estando dentro dos padrões exigidos pelo cliente.

Durante a primeira apresentação do protótipo ao cliente, obteve-se a aceitação do conceito, devido a sua simplicidade, não deixando a desejar a função exercida tendo capacidade de exercer a força suficiente e oferecendo ajustes para tensionamento da mola, atendendo as normas de segurança aplicáveis.

Figura 20 – Primeiro protótipo de sistema de amortecimento da embalagem RR2912206: (a) Dispositivo sem tampa de fechamento; (b) Embalagem aberta; (b) Embalagem fechada.



Possuindo a aceitação do cliente, trabalha-se em algumas melhorias do dispositivo, afim de simplifica-lo ainda mais, reduzindo custos de fabricação. As Figuras 21 (a-e) apresentam o dispositivo finalizado já em operação.

Figura 21 – Dispositivo finalizado: (a) Vista frontal; (b) Vista lateral com embalagem aberta; (c) Vista lateral com embalagem fechada; (d) Embalagem aberta; (e) Embalagem fechada.



(a)

(b)

(c)



(d)



(e)

## CONCLUSÕES

Através da combinação de princípios de solução proposta pela metodologia, opta-se pela utilização do conceito da mola de tração, devido ao baixo custo e durabilidade. A mola utilizada foi dimensionada para suportar a carga proposta, tomando cuidado para que a mesma não ultrapasse seu limite elástico.

O mecanismo desenvolvido, demonstra uma concepção simples e de fácil manufatura, apresentando funcionamento constante, sem possuir qualquer deformação. A utilização de chapas metálicas de baixa liga facilita ainda mais o processo de fabricação além diminuir custos e possuir maior confiabilidade devido a capacidade de absorver energia, em frente a alguns polímeros.

O dispositivo apresenta uma forma compacta a fim de não dificultar a manipulação de itens na embalagem, no entanto toma-se cuidado para não adicionar complexidade ao conjunto. Mantendo o processo de manutenção e ajustes de forma simples, com boa acessibilidade e peças de reposição de baixo custo.

Após a fabricação do primeiro protótipo, foram realizadas medições através de célula de carga para mensurar a eficiência do dispositivo, no qual os esforços realizados manualmente foram drasticamente reduzidos, passando de 53,2 kg para 7,32 kg.

Com o objetivo de redução de custos, algumas modificações foram realizadas após a fabricação do primeiro protótipo, diminuiu-se a dimensão de algumas chapas que não afetam a funcionalidade do mesmo, utilização de rebites ao invés de parafusos para enclausuramento de partes móveis, além do desenvolvimento de ferramentas para agilizar o processo de montagem.

Durante o percorrer do trabalho, dificuldades foram percebidas, sendo na obtenção do conceito de mecanismo a ser utilizado, bem como sua geometria e pontos de fixação. Encontrar comercialmente a mola de tração por um valor acessível também foi bastante desafiador, devido à ampla extensão e alta constante de rigidez requerida.

Destaca-se também que o conhecimento adquirido pelo acadêmico na área de projeto de produto, além do dimensionamento de armazenadores de energia, adquirido durante a elaboração deste trabalho tendo grande contribuição para a formação pessoal e profissional do acadêmico.

Por fim, espera-se que o dispositivo esboçado possa servir de subsidio para várias empresas congêneres, ou demais pessoas interessadas. Podendo servir de base ao dimensionamento de acumuladores de energia para utilização em embalagens de logística, que por sua vez apresentam várias oportunidades de melhoria relacionadas a ergonomia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SILVA, D. C. M. D. **Momento de uma força.** *Brasil Escola.* Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/fisica/momento-uma-forca.htm>>. Acesso em: 07 out. 2016.
- MANTOVANI, C. A. **Metodologia de Projeto de Produto.** Apostila. Horizontina: Faculdade Horizontina, 2011.
- PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering Design: A Systematic Approach.** Berlim, 1996.
- FONSECA, A. J. H. **Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional.** Tese de doutorado. Florianópolis, 2000.
- AMARAL, D. C. **Gestão de desenvolvimento do produto.** São Paulo: Saraiva, 2006.
- BACK, N. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem.** Barueri, SP: Manole, 2008.
- JUNG, C. G. **Metodologia para pesquisa e desenvolvimento – Aplicada a novas tecnologias.** Rio de Janeiro: Axcel Books, 2004.
- FORCELLINI F. A. **Desenvolvimento de Produtos e sua importância para a competitividade.** Florianópolis, 2002. Apostila (Disciplina de Projeto Conceitual) Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.
- CARVALHO M. A. **Engenharia de Embalagem.** São Paulo: Novatec Editora Ltda, 2008.
- FILHO, E. R. **Projeto de Produto.** Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2010.
- JUVINAL, C. R.; MARSHEK, M. K. **Fundamentos do Projeto de Componentes de Maquinas.** 2.ed. trad. e rev. técnica Fernando Ribeiro da Silva: Rio de Janeiro. LTC, 2013.
- BAXTER, M. **Projeto de produto guia prático para o design de novos produtos.** 2.ed. Tradução por Itiro Iida. São Paulo: Blucher, 2000.
- PEDELHES, G. J. **Embalagens: Funções e Valores na Logística.** Disponível em: <[http://www.gelog.ufsc.br/joomla/attachments/053\\_2006-1%20-%20Embalagem%20-%20Fun%C3%A7%C3%B5es%20e%20Valores%20na%20Log%C3%ADstica.pdf](http://www.gelog.ufsc.br/joomla/attachments/053_2006-1%20-%20Embalagem%20-%20Fun%C3%A7%C3%B5es%20e%20Valores%20na%20Log%C3%ADstica.pdf)>. Acesso em: 24 set. 2016.
- ROMANO, L. N. **Metodologia de projeto para embalagem.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1996.
- ABRANTES, A. F. **Atualidades em ergonomia- Logística, Movimentação de materiais, Engenharia Industrial, Escritórios.** São Paulo: IMAM, 2004.

WISNER, A. **Por dentro do trabalho. Ergonomia: método e técnica.** São Paulo: FTD/Oboré, 1987.

IIDA, I. **Ergonomia – projeto e produção.** 2.ed. rev. e ampl. São Paulo: Edgar Blücher Ltda, 2005.

DUL, J.; WEERDMEESTER, B. **Ergonomia prática.** 2. ed. Tradução por Itiro Iida. São Paulo: Edgar Blücher, 2004.

CRPG - Centro de Reabilitação Profissional de Gaia. **Fatores de Risco Ergonômicos.** Disponível em: <<http://www.cprg.pt/empresas/recursos/kitergonomia/Paginas/factoresderisco.aspx>>. Acesso em: 13 set. 2016.

Occupational Safety and Health Administration (OSHA). **Ergonomics program management guidelines for meatpacking plants. OSHA 31223.** Departamento de trabalho, Washington, DC. 1990.

GILKINSON, P. **Ergonomic design guidelines for engineers.** 3 ed. Ohio, EUA, Humantech, 2007.

KROEMER, K. H. E.; GRANDJEAN, E. **Manual de ergonomia: adaptando o trabalho ao homem.** 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

BRASIL, C. V. de M.; CAMPOS, L. F. R. **Logística teia de relações.** Curitiba: Ibplex, 2007.

GODINHO, W. B. **Gestão de Materiais e Logística.** Curitiba: Ceninter, 2004.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. Secretaria de Inspeção do Trabalho. Departamento de Segurança e Saúde no Trabalho. Nota Técnica 060/2001. Assunto: NR 17 **Ergonomia – indicação de posturas a ser adotada na concepção de postos de trabalho.** Brasília, 2001.