

**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROJETO E PROCESSOS DE**  
**FABRICAÇÃO - MESTRADO PROFISSIONAL**

**Cristiano Vargas Macedo**

**DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO PARA MUNICIAMENTO**  
**AUTOMÁTICO DE CARREGADORES PARA PISTOLA**

Passo Fundo

2017

**Cristiano Vargas Macedo**

**DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO PARA MUNICIAMENTO  
AUTOMÁTICO DE CARREGADORES PARA PISTOLA**

Orientador: Prof. Dr. Márcio Walber

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto de Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Passo Fundo

2017

Cristiano Vargas Macedo

**DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO PARA MUNICIAMENTO  
AUTOMÁTICO DE CARREGADORES PARA PISTOLA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto de Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Data de aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/ 2017.

Os componentes da Banca examinadora abaixo aprovaram a Dissertação:

Professor Doutor Márcio Walber

Orientador

Professor Doutor Patric Daniel Neis

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Professor Doutor Agenor Dias de Meira Junior

Universidade de Passo Fundo

Professor Doutor José Antônio Portella

Universidade de Passo Fundo

*À minha esposa Jaqueline, pelo amor, apoio e  
motivação em todos os momentos, sendo essencial  
para a conclusão deste trabalho.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que contribuíram para realizar a minha pesquisa, tanto no momento de incentivo quanto no de colaboração. Em especial, meus sinceros agradecimentos:

À Universidade de Passo Fundo, pela oportunidade de aprendizado e aperfeiçoamento profissional oferecendo sua excelente estrutura para realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Márcio Walber, meu orientador, pela abrangência do horizonte de pesquisa, pelo incentivo e atenção para fechamento de cada etapa.

Á banca examinadora, pelas discussões e sugestões que serviram para o crescimento e aprendizado, ajudando a qualificar este trabalho.

Aos professores e colegas do PPGPPF.

À empresa Taurus S.A. por ter financiado todo o projeto e automação do processo existente.

À minha esposa e eterna namorada Jaqueline, minha parceira de todos os momentos.

Aos meus filhos Francisco e Valentina, que me suprem de energia para continuar minha caminhada.

*Minha energia é o desafio, minha motivação é o impossível, e é por isso que eu preciso ser, à força e a esmo, inabalável. (Augusto Branco)*

## RESUMO

Realizar o municionamento automático de carregadores para pistolas é essencial, visto que todas as pistolas produzidas têm seus carregadores municionados para passarem por teste de tiro, onde se tem a necessidade de desenvolver um projeto modular de um equipamento nacional e de baixo custo de fabricação para municionamento de carregadores que possibilite um menor tempo e maior facilidade para municionamento nas linhas de teste de tiro, eliminando o municionamento manual. Nesse contexto, para a elaboração da concepção do equipamento foi utilizada uma metodologia de projeto que é composta por quatro fases: especificação do projeto, projeto conceitual, anteprojeto e projeto detalhado, utilizadas de forma sequencial, tendo grande importância na organização e elaboração do projeto e dimensionamento funcional do equipamento. Buscou-se o desenvolvimento de um equipamento de fabricação nacional, flexível e robusto, com capacidade para realizar o municionamento de diferentes calibres de munições, sendo .380 ACP, 9mm luger, .40 S&W e .45 ACP, com a possibilidade de realizar a programação da quantidade de munições por carregador tanto unifilar como bifilar, possuir um número relativamente pequeno de componentes, além de possibilitar a utilização de seu conceito nas diferentes indústrias de armas que produzem pistolas, clubes de tiro e linhas de tiro para prática com uma redução de até 60% no tempo de municionamento, garantindo a eliminação de riscos ergonômicos.

Palavras-chave: Municionamento automático de carregadores para pistolas. Metodologia de projeto. Projeto modular. Indústrias de armas.

## **ABSTRACT**

Carrying out the automatic loading of magazines is essential, since all pistols produced have their magazines loaded to pass a shooting test, where it is necessary to develop a modular design, the national manufacturing and low cost of a loader equipment that allow a shorter time and greater ease in loading magazines, eliminating manual loading. In this context, a project methodology was used to elaborate the design of the equipment, which is composed of four phases: project specification, conceptual design, preliminary design and detailed design, used sequentially, having great importance in the organization and elaboration of the project and functional design of the equipment. We sought to develop a flexible and robust national manufacturing equipment capable of loading different calibres of ammunition, being .380 ACP, 9mm luger, .40 S & W and .45 ACP, with the possibility of performing the quantity of ammunition per loader, whether single stack or double stack, has a relatively small number of components, and allows the use of its concept in the different arms industries that produce pistols, shooting ranges clubs for practice with a reduction of up to 60% in the loading magazine time, guaranteeing the elimination of ergonomic risks

Keywords: Automatic magazine loaders for pistols. Project methodology. Modular design. Industries of arms.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Influência percentual sobre o custo do produto .....	6
Figura 2 - Metodologias de projeto e seus autores .....	7
Figura 3 - Evolução do processo de desenvolvimento de produto em suas quatro fases .....	9
Figura 4 - Etapas para a elaboração da lista de requisitos .....	11
Figura 5 - Linha mestra com características principais .....	11
Figura 6 - Etapas de trabalho para a fase de concepção .....	13
Figura 7 - Representação da função global do sistema .....	14
Figura 8 - Combinação de soluções.....	16
Figura 9 - Matriz para verificação de compatibilidade.....	18
Figura 10 - Determinação dos fatores de ponderação .....	19
Figura 11 - Escala de valores.....	19
Figura 12 - Lista de avaliação completa.....	20
Figura 13 - Etapas de trabalho principais no anteprojeto .....	22
Figura 14 - Fase do anteprojeto iniciando pela continuação do desenvolvimento de versões anteriores .....	23
Figura 15 - Lista de verificação.....	24
Figura 16 - Lista de verificação para avaliação do anteprojeto.....	26
Figura 17 - Fases de detalhamento .....	28
Figura 18 - Automação .....	30
Figura 19 - Pirâmide de automação – Níveis de controle industrial .....	31
Figura 20 - Esquema de manipuladores de peças montados com atuadores pneumáticos.....	34
Figura 21 - CLP modelo S7-1200 da Siemens .....	36
Figura 22 - IHM Siemens modelo KP300.....	37
Figura 23 - Exemplos de <i>Poka Yoke</i> .....	38
Figura 24 - Exemplos de soluções para mecanismos .....	39

Figura 25 - Pistola PT840 calibre .40 S&W .....	42
Figura 26 - Diferença entre carregadores monofilar e bifilar e seus componentes .....	43
Figura 27 - Capacidade dos carregadores da PT840 – 11, 15 e 16 munições .....	43
Figura 28 - Componentes da munição .....	44
Figura 29 - Municiador manual .....	45
Figura 30 - Municiador automático .....	46
Figura 31 - Municiador automático utilizando robô.....	46
Figura 32 - Linha mestra do projeto do equipamento para municiar carregadores de pistola .	50
Figura 33 - Função global do projeto da máquina de municiação com a participação do homem .....	53
Figura 34 - Estrutura de funções .....	54
Figura 35 - Árvore de requisitos.....	61
Figura 36 - Concepção da variante Lv3 .....	64
Figura 37 - Bacia vibratória.....	66
Figura 38 - Detalhamento do mecanismo de municiação .....	66
Figura 39 - Calhas de orientação na bacia vibratória .....	67
Figura 40 - Índice de redução de ruído em função da frequência (linha sólida) e a curva de referência correspondente (linha pontilhada) para chapa de acrílico de 15 mm .....	67
Figura 41 - Projeto de suporte para carregadores .....	68
Figura 42 - Esquema do sistema pneumático .....	70
Figura 43 - Unidade de manutenção ou conservação .....	71
Figura 44 - Válvulas pneumáticas .....	71
Figura 45 - Válvula redutora de vazão com retorno livre.....	72
Figura 46 - Atuador pneumático ou cilindro pneumático .....	72
Figura 47 - Concepção final do equipamento para municiação de carregadores para pistola .....	74
Figura 48 - (A) diversos tipos de munição a frente dos operadore para realizar o municiação manual e (B) sistema <i>poka-yoke</i> para orientação da munição e calibre correto na bacia vibratória. ....	78

Figura 49 - Fases do projeto e proporção de tempo utilizada em cada fase .....	79
Figura 50 - Municiamento manual de carregadores para pistola .....	80
Figura 51 - Equipamento para municiamento de carregadores para pistola.....	81
Figura 52 - Comparativo entre o tempo de municiamento manual e automático.....	82

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Graus de automação Graus de automação.....	31
Tabela 2 - Lista de requisitos do projeto .....	51
Tabela 3 – Abstração .....	52
Tabela 4 - Lista de concepções alternativas .....	55
Tabela 5 - Combinação dos princípios de solução .....	57
Tabela 6 - Lista de concepções com alternativas .....	58
Tabela 7 - Lista de seleção com quatorze combinações .....	60
Tabela 8 - Critérios de avaliação da solução .....	62
Tabela 9 - Avaliação das duas variantes Lv3 e Lv10 .....	63
Tabela 10 - Avaliação do Anteprojeto.....	73
Tabela 11 - Características do equipamento para municiamento de carregadores para pistola .....	75

## LISTA DE ABREVIATURAS

2D	Duas dimensões
3D	Três dimensões
AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
CLP	Comando lógico programável
DA	Dupla Ação
EUA	Estados Unidos da América
IEA	<i>International Ergonomics Association</i>
IHM	Interface Homem Máquina
LER	Lesão por esforço repetitivo
MEF	Método de elementos finitos
MTPS	Ministério do Trabalho e Previdência Social
NR12	Norma Regulamentadora 12 (segurança no trabalho em máquinas e equipamentos)
NR17	Norma Regulamentadora 17 (ergonomia)
OIT	Organização Internacional do Trabalho
PIB	Produto Interno Bruto
PMSC	Polícia Militar de Santa Catarina
SA	Simples Ação
SAE	<i>Society of Automotive Engineers – USA</i>
SIPRI	<i>Stockholm International Peace Research Institute</i>
SMED	<i>Single Minute Exchange of Die</i>
UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

Bar	Unidade de Pressão
I/O	entrada/saída – ou <i>input/output</i>
mm	milímetro
N	Newton (força)
W	Watt (Potência)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	JUSTIFICATIVAS E MOTIVAÇÕES .....	2
1.2	OBJETIVOS.....	2
1.2.1	Objetivo geral .....	2
1.2.2	Objetivos específicos e delimitação do trabalho .....	2
1.3	METODOLOGIA DE PESQUISA .....	3
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	3
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
2.1	MÉTODOS PARA PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS.....	5
2.2	DETALHAMENTO DO MÉTODO PARA PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS ..	9
2.2.1	Primeira fase: Especificação do Projeto .....	9
2.2.2	Segunda fase: Projeto Conceitual .....	12
2.2.3	Terceira fase: Projeto Preliminar ou Anteprojeto.....	20
2.2.4	Quarta fase: Detalhamento do Projeto.....	27
2.3	CONTROLE DA QUALIDADE INTEGRADO.....	29
2.4	COMANDOS PNEUMÁTICOS, SEUS COMPONENTES E DEFINIÇÕES .....	32
2.4.1	Características técnicas dos sistemas pneumáticos .....	32
2.4.2	Aplicação da pneumática na automação de processos .....	33
2.5	CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS (CLP) E INTERFACE HOMEM MÁQUINA (IHM)	35
2.6	<i>POKA YOKE</i> .....	37
2.7	MECANISMOS .....	39
2.8	PISTOLA.....	42
2.8.1	Carregador .....	42
2.9	MUNIÇÕES .....	44
2.10	TIPOS DE MUNICIADORES .....	44
2.11	ERGONOMIA .....	47
<b>3</b>	<b>PROJETO CONCEITUAL PARA EQUIPAMENTO DE MUNICIAMENTO .....</b>	<b>49</b>
3.1	FASE 1: ESPECIFICAÇÃO DO PROJETO .....	49
3.2	FASE 2: PROJETO CONCEITUAL.....	51
3.3	FASE 3: PROJETO PRELIMINAR OU ANTEPROJETO.....	64
3.3.1	Sistema pneumático.....	69
3.3.2	Sistema de comando .....	72
3.3.3	Avaliação da concepção do anteprojeto .....	73
3.4	PROJETO DETALHADO.....	73
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>76</b>
4.1	RESULTADOS NA APLICAÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DE PROJETO	76
4.2	RESULTADOS NO PRODUTO FINAL, NOS PROCESSOS DE MUNICIAMENTO DE CARREGADORES E NA ERGONOMIA DOS OPERADORES/MUNICIADORES .....	80
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>84</b>

5.1	ATENDIMENTO DOS OBJETIVOS .....	84
5.2	CONTRIBUIÇÃO.....	85
5.3	TRABALHOS FUTUROS .....	86
<b>REFERÊNCIAS .....</b>		<b>87</b>
APÊNDICE A – DESENHO DOS CARREGADORES A SEREM MUNICIADOS NO EQUIPAMENTO .....		91
APÊNDICE B – CALIBRES DE MUNIÇÕES QUE PODERÃO SER EMPREGADAS NO EQUIPAMENTO PARA MUNICIAMENTO E SUAS DIMENSÕES .....		93
APÊNDICE C – PROJETO MECÂNICO DO EQUIPAMENTO PARA MUNICIAMENTO AUTOMÁTICO DE CARREGADORES .....		95
APÊNDICE D – PROJETO ELETRÔNICO E PNEUMÁTICO DO EQUIPAMENTO PARA MUNICIAMENTO AUTOMÁTICO DE CARREGADORES .....		96
APÊNDICE E – PROGRAMAÇÃO LADDER DO EQUIPAMENTO PARA MUNICIAMENTO AUTOMÁTICO DE CARREGADORES .....		97
APÊNDICE F – ESTIMATIVA DE CUSTOS DO EQUIPAMENTO PARA MUNICIAMENTO AUTOMÁTICO DE CARREGADORES .....		98

## 1 INTRODUÇÃO

Os revólveres e as pistolas são consideradas armas de pequeno porte. Estes tipos de armas podem ser usadas para caça, defesa pessoal, guerra, forças de segurança e para prática de esportes. As armas são projetadas para disparar um projétil em função da pressão exercida através da queima de pólvora, sendo que o projétil é guiado pelo cano da arma.

As munições ou cartuchos para armas de fogo são constituídas da carga de pólvora, do projétil, da espoleta e do estojo. Existem diversos calibres de munição ou cartuchos, com diversos formatos, tipos de projétil e cargas, visando as diversas aplicações das armas de fogo.

Segunda a Revista Exame (2016) a indústria bélica pesquisa, desenvolve, fabrica e comercializa armas, munições, tecnologia, equipamentos e instalações militares. Anualmente cerca de 1,5 trilhão de dólares são investidos nas áreas militares em todo o mundo (2,7% do PIB mundial), sendo que o mercado encontra-se em declínio desde 1990, quando os gastos militares eram de 4% do PIB mundial.

O número de países exportadores de pelo menos 100 milhões de dólares em armas de pequeno porte anualmente aumentou de 12 para 14 países. A lista de exportadores foi liderada pelos EUA, seguido pela Itália, Alemanha, Brasil, Áustria, Suíça, Israel, Rússia, Coreia do Sul, Bélgica, China, Turquia, Espanha e República Checa.

Já o relatório do projeto de pesquisa independente com sede na Suíça *Small Arms Survey* (2015), estima que exista em torno de 875 milhões de armas de pequeno porte em circulação no mundo, produzidas pelas 1.134 empresas em 98 países que fabricam armas de pequeno calibre. Já o *Stockholm International Peace Research Institute – SIPRI* (2017) relatou que o volume de exportações de armas de pequeno porte no período entre 2010 e 2015 foi 16% maior do que entre 2005 e 2009.

Diante do constante crescimento do mercado de armas de fogo de pequeno porte e da acirrada concorrência entre as empresas, fazem-se necessários investimentos por parte das indústrias bélicas, para que estas se adaptem às novas demandas de mercado com maiores exigências de qualidade, produtividade, eficiência, segurança, normas regulamentadoras cada vez mais rigorosas e bem-estar dos funcionários para buscar a redução dos custos de fabricação.

Atualmente o municionamento dos carregadores das pistolas é realizado manualmente, onde cada pistola é fornecida com três carregadores em média, cada um com capacidade de

até 18 tiros. Todas as pistolas e seus respectivos carregadores são testados 100% através do disparo das armas (teste de tiro). O processo de municiamento dos carregadores não atende à NR17, dada pela Portaria MTPS n.º 3.751 de 23 de novembro de 1990, que se refere à ergonomia e visa estabelecer parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores.

## **1.1 Justificativas e Motivações**

Todo o avanço tecnológico ligado ao produto demanda avanços tecnológicos ligados à manufatura dos mesmos, sendo necessário realizar tarefas com maior eficiência e precisão, porém sempre buscando a preservação da integridade física do indivíduo que a executa, mesmo em tarefas em que a ação humana seja difícil, perigosa, desagradável ou repetitiva. Outro motivador é a busca pela redução de custos em função do ganho de produtividade no municiamento de carregadores para pistolas.

No curto prazo, a automação levanta problemas sociais como desemprego, custo de reconversão e treinamento de pessoal, porém no que se refere ao meio fabril, as empresas buscam na automação a sobrevivência no mercado através do aumento de produtividade, principalmente em trabalhos árduos e realizados de forma ininterrupta, possibilitando a garantia da qualidade, assegurando à empresa maior competitividade ante a concorrência.

## **1.2 Objetivos**

O objetivo geral e os objetivos específicos desta dissertação estão apresentados a seguir.

### **1.2.1 Objetivo geral**

Desenvolver um equipamento para municiamento automático de carregadores para pistola, nacional e com baixo custo, quando comparado aos importados.

### **1.2.2 Objetivos específicos e delimitação do trabalho**

Este trabalho tem os seguintes objetivos específicos:

- a) Aplicar uma metodologia de projeto adequada para obter a melhor concepção construtiva da máquina para municiamento de carregadores;
- b) Realizar o dimensionamento funcional da máquina de municiamento de carregadores;
- c) Construir um equipamento para eliminar o municiamento manual de carregadores.

### **1.3 Metodologia de pesquisa**

O desenvolvimento do equipamento para municiamento automático de carregadores para pistola foi concebido utilizando a metodologia proposta por Pahl et al. (2005) para projetos de engenharia, sendo esta metodologia de pesquisa formada por quatro fases: especificação de projeto, projeto conceitual, anteprojeto e projeto detalhado.

Na fase de projeto foram utilizadas ferramentas de projeto que auxiliaram na tomada de decisões, onde a revisão bibliográfica foi apoiada em trabalhos similares que suportaram a criação da lista de requisitos. Posteriormente foi elaborada a lista de concepções alternativas e as análises quantitativas e qualitativas das soluções das diferentes subfunções que cada parte do equipamento deve realizar, com o objetivo de escolher a melhor concepção final para o equipamento.

A concepção final foi modelada tridimensionalmente e após foi realizado o detalhamento funcional, apoiado na revisão bibliográfica e catálogos de fabricantes, onde finalmente foi realizada a análise crítica da concepção final do equipamento para construção do mesmo.

### **1.4 Estrutura do trabalho**

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos, conforme segue:

- a) O primeiro capítulo é constituído da introdução da pesquisa, justificativas, motivações, bem como objetivo geral e específico, metodologia de pesquisa, assim como a estruturação do trabalho;
- b) O capítulo dois inicia com a apresentação sobre o referencial teórico dos conceitos de projeto conceitual na engenharia e metodologia para desenvolvimento de projeto de equipamentos. Também há um referencial teórico sobre pistolas e seus componentes, diferenciando os tipos de carregadores, os tipos de munição

aplicados para pistolas e municionadores manuais e automáticos existentes no mercado. Conceitos sobre controle de qualidade, automação, comandos pneumáticos, CLP, IHM, *poka yoke*, alimentadores vibratórios e ergonomia são expostos para apoiar no desenvolvimento do trabalho;

- c) O terceiro capítulo apresenta o desenvolvimento do trabalho, o qual está subdividido de acordo com a metodologia de projeto adotada, ou seja, em quatro fases: especificação do projeto, projeto conceitual, anteprojeto, projeto detalhado;
- d) O capítulo quatro apresenta a discussão dos resultados obtidos no desenvolvimento do trabalho;
- e) O quinto capítulo é reservado às considerações finais, bem como às sugestões de futuros trabalhos em função dos resultados obtidos após a construção do equipamento para municionamento automático dos carregadores para as pistolas.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A pesquisa é voltada ao desenvolvimento de um equipamento para municiamento automático de carregadores para pistola, sendo assim um projeto mecânico e por consequência existem diferentes metodologias de projeto propostas por autores distintos. Também será apresentada a fundamentação teórica sobre os principais conceitos referente ao projeto de desenvolvimento de produto adotado. Como o trabalho é voltado ao municiamento de carregadores para o produto pistola, a revisão contempla uma rápida apresentação dos principais componentes que compõem a pistola e seus carregadores, tipos de munições, além de muniçadores existentes no mercado.

### **2.1 Métodos para Projeto e Desenvolvimento de Produtos**

Muitas empresas não possuem uma metodologia para nortear projetos, sendo assim informações importantes para o desenvolvimento do projeto acabam sendo perdidas ao longo do desenvolvimento, tornando oneroso o processo de desenvolvimento de seus produtos, criando barreiras e paradigmas que desviam da melhor solução em função da adoção de preconceitos e ideias formadas, sendo que as ideias e soluções não convencionais podem ser as melhores e mais econômicas através do emprego de novas tecnologias, materiais e processos.

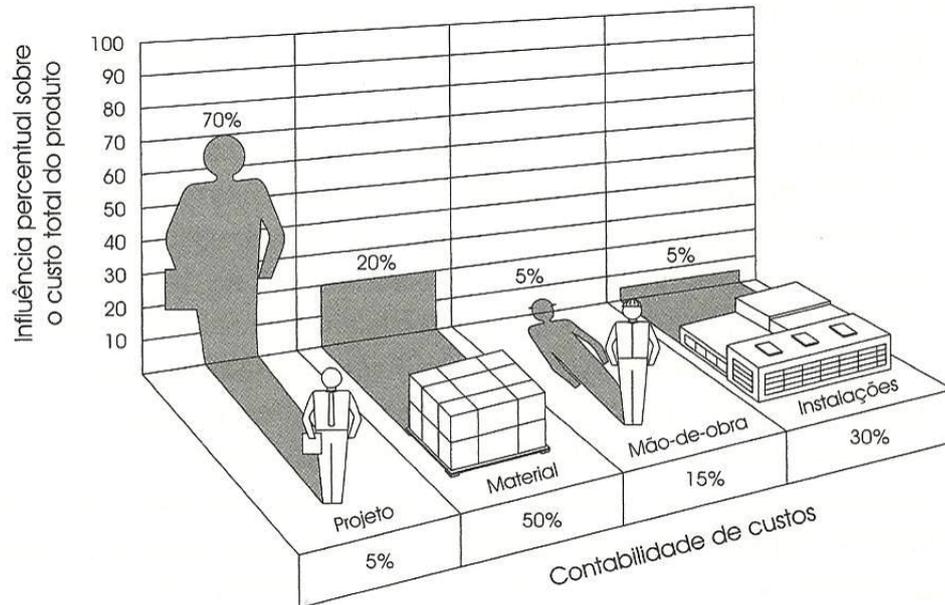
Os métodos de projeto e desenvolvimento de produtos têm a função de despertar as habilidades individuais do projetista, agilizar o desenvolvimento de projetos como um todo, facilitando a busca por soluções, promovendo o planejamento e o controle do trabalho em equipe em um processo integrado e multidisciplinar de geração de um produto, norteando o desenvolvimento de maneira possível de ser ensinada e aprendida (PAHL et al., 2005).

Para entender a influência da fase de projeto em um desenvolvimento Back et al. (2008) comentam que mudanças no início do desenvolvimento do projeto custam muito pouco e aumentam à medida que o processo avança. Na Figura 1 pode ser observado o reflexo dos custos do produto em relação a mudanças realizadas em cada etapa no processo de desenvolvimento.

Produtos bem projetados e de bom desempenho (funcionalidade) podem dominar o mercado de preços mais altos, resultando em maiores lucros para a companhia. Já processos e

sistemas bem projetados resultam em menor custo de manufatura e qualidade superior, aumentando a produtividade e lucros (SUH, 1990).

Figura 1 - Influência percentual sobre o custo do produto



Fonte: Back et al., 2008

A engenharia de desenvolvimento de produto é responsável pelo processo de projeto, que pode ser definido segundo Welch & Dixon (1992:11) como:

Uma transformação entre diferentes estados de informação ou conhecimento (...) é, portanto, uma série de transformações que resolvem um problema de projeto ao passar de um estado inicial conhecido de conhecimento para um estado final desejado de conhecimento.

Na Figura 2 estão relacionadas as metodologias de projeto de maior utilização e seus autores, que apresentam metodologias para desenvolvimento de produto com foco em design, onde se utiliza muito a criatividade, outros com foco em custos e mercado, enquanto que algumas são indicadas exclusivamente para o projeto de sistemas técnicos mecânicos como é o caso do método proposto por Pahl et al. (2005), que foi a metodologia escolhida para nortear o desenvolvimento do equipamento para municiamento automático de carregadores para pistola.

Figura 2 - Metodologias de projeto e seus autores

Pahl et al. (2005)	Krishnan e Ulrich (2001)	Kaminski (2000)	Crawford (2000)	Kotler (1998)	Fiod (1993)	Clark e Fujimoto (1991)	Nadim & Novak (1987)	Bonsiepe (1984)
Especificação de projeto	Desenvolvimento do conceito	Especificação da necessidade	Identificação de oportunidades	Geração de idéias	Planejamento	Conceito	Ciência e tecnologia	Problematização
Projeto conceitual	Projeto da cadeia de suprimentos	Estudo de viabilidade	Geração de conceito	Triagem de idéias	Concepção	Planejamento de produto	Planejamento	Análise
Anteprojetos	Desenvolvimento do produto	Projeto básico	Avaliação de projeto	Desenvolvimento e teste	Projeto Preliminar	Engenharia do produto	História	Definição do problema
Projeto detalhado	Teste e validação de desempenho	Projeto executivo	Desenvolvimento técnico	Estratégia de marketing	Projeto detalhado	Projeto do processo	Sociologia	Anteprojetos
	Lançamento	Planejamento de produção	Lançamento	Análise comercial		Produção piloto	Estética	Avaliação
		Execução		Desenvolvimento			Psicologia	Realização
				Teste de mercado				Análise final
				Comercialização				

Fonte: Adaptado de Pahl et al., 2005

Segundo Pahl et al. (2005) a metodologia de projetos possibilita:

- Criação de procedimentos orientados por problemas, sendo que poderá ser aplicado em qualquer atividade de projeto, independentemente da especialidade;
- Incentivar invenções e conhecimentos;
- Ser compatível com conceitos, métodos e conhecimento de outras disciplinas.
- Não gerar soluções somente por acaso;
- Permitir fácil transferência das soluções de tarefas semelhantes;
- Ser apropriada para ser utilizada no computador;
- Ser possível de ser ensinada e aprendida;
- Facilitar o planejamento e o controle do trabalho;
- Ser a orientação e a diretriz para os gerentes de projeto de equipes de desenvolvimento.

Já Mello (2011) afirma que a metodologia proposta por Pahl et al. (2005) é influenciada diretamente pela capacidade criativa do projetista, que possui um sistema de projeto auxiliado pelo computador durante a fase de projeto conceitual.

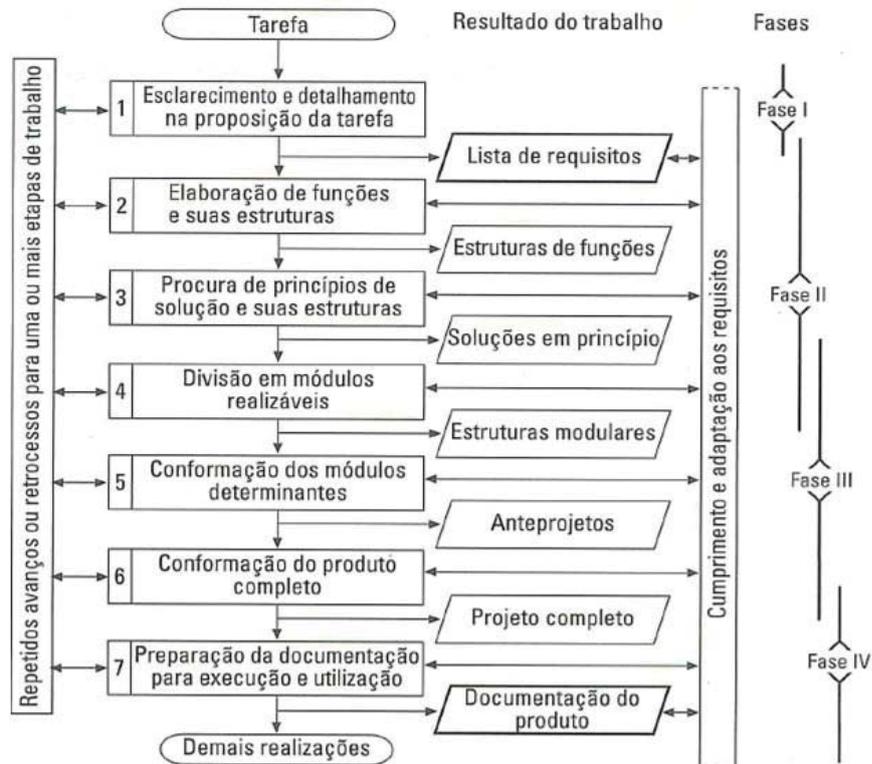
Outro ponto importante a ser considerado é que tanto os produtos ou sistemas técnicos não operam isoladamente, fazendo parte de um sistema principal e para o mesmo cumprir sua função, necessita ser operado por pessoas. Assim o operador influencia no funcionamento do equipamento durante suas intervenções (operação, correção e monitoramento), experimentando sinais que os conduzem a novas ações que possibilitam efeitos da finalidade do sistema técnico (PAHL et al., 2005).

Durante a concepção do equipamento o projetista necessita utilizar sua capacidade técnica/intelectual e todo o seu conhecimento, deixando de lado sua experiência pessoal e criativa, pois na metodologia proposta por Pahl et al. (2005) a abordagem torna-se bem mais técnica. As abordagens são vinculadas diretamente às características do projeto de produtos na engenharia, sendo que chama muita a atenção o fato de a fase de concepção do projeto ser detalhada, com representação dos fluxos de projeto. Contudo é primordial que o projetista possua dois tipos de conhecimento: conhecimento das soluções técnicas e conhecimento do processo de projeto (MELLO, 2011).

Por sua vez, Almeida (2000) chama a atenção para as questões desfavoráveis da metodologia proposta por Pahl et al. (2005), onde não ocorre a abordagem do mercado ou leva em consideração as questões ligadas à gestão e às estratégias.

O processo de planejamento e de projeto proposto por Pahl et al. (2005) parte do planejamento e do esclarecimento da formulação da tarefa, passando pela identificação das funções necessárias e das funções preliminares, constituição das estruturas modulares com subconjuntos, chegando a documentação completa para o produto, desdobrando o processo de desenvolvimento e de projeto nas quatro fases principais: especificação do projeto, projeto conceitual, anteprojeto e projeto detalhado. Na Figura 3 pode ser observada a evolução do processo de desenvolvimento de produto em suas quatro fases.

Figura 3 - Evolução do processo de desenvolvimento de produto em suas quatro fases



Fonte: Pahl et al., 2005

## 2.2 Detalhamento do Método para Projeto e Desenvolvimento de Produtos

A seguir será detalhado o método para projeto e desenvolvimento de produto e suas quatro fases: especificação do projeto, projeto conceitual, projeto preliminar e detalhamento do projeto.

### 2.2.1 Primeira fase: Especificação do Projeto

A especificação do projeto é a base para desenvolvimento do produto, que consiste na classificação das necessidades. Na primeira fase se deve planejar e esclarecer nos detalhes condicionantes existentes e sua relevância, de modo que o resultado seja a elaboração de uma lista de requisitos, a qual serve de base para a segunda fase.

A definição da tarefa tem o objetivo de fixar as funções requeridas, as grandezas de entrada e saída, bem como todas as perturbações externas ao problema. Reúne o maior número de informações possíveis, as quais serão úteis na elaboração da lista de requisitos

básicos classificados como obrigatórios e desejáveis, onde o objetivo é definir a função requerida, além das grandezas de entrada e saída e as perturbações externas ao problema que resultarão na elaboração detalhada das especificações de projeto.

A lista de requisitos é realizada em dois estágios, onde no primeiro estágio são definidos e documentados os requisitos óbvios. Já no segundo estágio os requisitos são complementados e detalhados. Posteriormente os requisitos assim determinados podem então ser desdobrados em necessidades e vontades.

Para Pahl et al. (2005), os requisitos devem ser especificados por indicações numéricas. Na Figura 4 é possível observar as principais etapas a serem seguidas a fim de elaborar a lista de requisitos, levando em conta as seguintes recomendações:

a) Colecionar requisitos:

- Examinar o pedido do cliente ou a documentação da empresa quanto a requisitos técnicos;
- Com base na linha mestra (Figura 5), com a lista das características principais, definir e complementar requisitos com indicações quantitativas e qualitativas;
- Com o auxílio da técnica do cenário, considerar todas as situações durante o ciclo de vida do produto e derivar os requisitos resultantes;
- Especificar melhor por meio dos seguintes questionamentos:
  - Qual finalidade a solução precisa?
  - Quais atributos ela precisa ter?
  - Quais atributos ela não deve ter?
- Praticar a aquisição de informações adicionais;
- Destacar claramente as necessidades e vontades;
- Classificar as vontades como de alta, média e baixa relevância.

b) Ordenar os requisitos de forma clara:

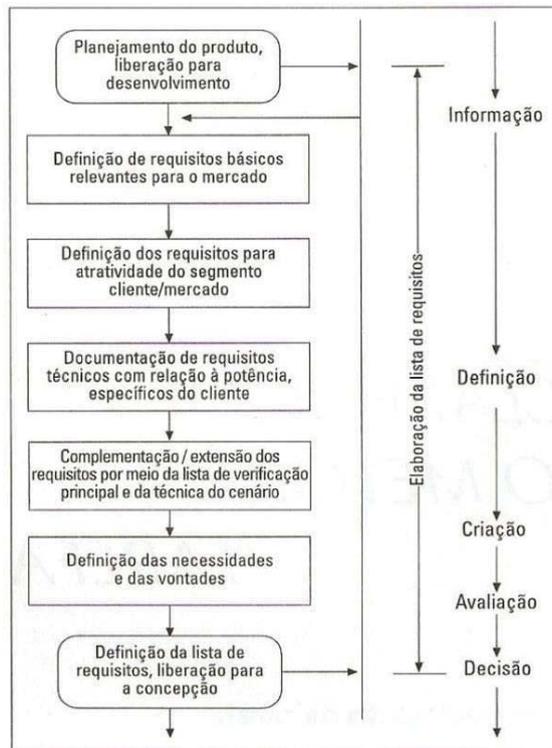
- Antepor a tarefa principal e os dados característicos principais;
- Desdobrar por subsistemas identificáveis (também pré-sistemas, pós-sistemas, ou sistemas confinantes), grupos de funções, subconjuntos construtivos ou características principais da linha mestra.

c) Elaborar a lista de requisitos e enviar aos setores envolvidos.

d) Examinar as objeções e suplementações e incorporar à lista de requisitos.

Dessa forma, se a tarefa estiver suficientemente esclarecida e os participantes concordarem que as exigências técnicas e econômicas poderão ser atendidas, o projeto poderá iniciar após a definição da lista de requisitos e a liberação para a concepção.

Figura 4 - Etapas para a elaboração da lista de requisitos



Fonte: Pahl et al., 2005, p.102

Figura 5 - Linha mestra com características principais

Característica principal	Exemplos
Geometria	Tamanho, altura, largura, comprimento, diâmetro, demanda de espaço, quantidade, disposição, conexão, supressão e ampliação
Cinemática	Tipo de movimento, direção do movimento, velocidade, aceleração
Forças	Magnitude da força, direção da força, frequência da força, peso, carregamento, deformação, rigidez, propriedades elásticas, estabilidade, ressonância
Energia	Potência, eficiência, perdas por atrito, ventilação, variáveis de estado, como pressão, temperatura, humidade, aquecimento, resfriamento, energia de abastecimento, armazenamento, capacidade, conversão de energia
Matéria	Propriedades físicas e químicas do produto de entrada e saída, material auxiliar, substâncias prescritas (lei de alimentos e semelhantes), fluxo de material e transporte
Sinal	Sinais de entrada e saída, tipo de mostrador, aparelhos para produção e monitoramento, forma do sinal
Segurança	Princípios de segurança diretos, sistemas protetores, segurança industrial, segurança no trabalho, segurança ambiental
Ergonomia	Relação homem-máquina: operação, tipos de operação, disposição clara, iluminação, desenho
Produção	Limitações do local da produção, máxima medida fabricável, processo produtivo preferido, meios de produção, qualidade possível e tolerâncias
Controle de qualidade	Possibilidades de teste e medição, prescrições especiais (TUV, ASME, DIN, ISO, especificações AD)
Montagem	Prescrições especiais de montagem, montagem, embutimento, montagem do canteiro de obras, bases de equipamentos
Transporte	Limitações através de guinchos, bitola ferroviária, vias de transporte por tamanho e peso, tipo e restrições do transporte
Operação	Baixo ruído, taxa de desgaste, aplicação e domínio de utilização, condições de uso (atmosfera sulfurosa, trópicos)
Manutenção	Livre de revisão ou número e intervalo de tempo entre revisões, inspeção, troca, conserto, pintura, lavagem
Reciclagem	Reaproveitamento, reprocessamento, disposição final, armazenamento
Custos	Máximos custos de fabricação, custo de ferramentas, investimento, amortização
Prazo	Fim do desenvolvimento, plano em rede para etapas intermediárias, prazo de entrega

Fonte: Pahl et al., 2005, p.105

## 2.2.2 Segunda fase: Projeto Conceitual

O principal objetivo da segunda fase é buscar soluções para os problemas, além da elaboração da estrutura da função do equipamento, sendo que em muitos casos um projeto só pode ser avaliado quando assume sua forma final para só então ser validado através dos materiais empregados e da integração dos recursos tecnológicos, assim se obtém uma solução passível de avaliação.

A apresentação de uma solução preliminar pode ser através de um diagrama de blocos, um diagrama com circuitos, um fluxograma ou um desenho, pois o trabalho de projeto subsequente não compensará erros gerados no princípio da solução (PAHL et al., 2005).

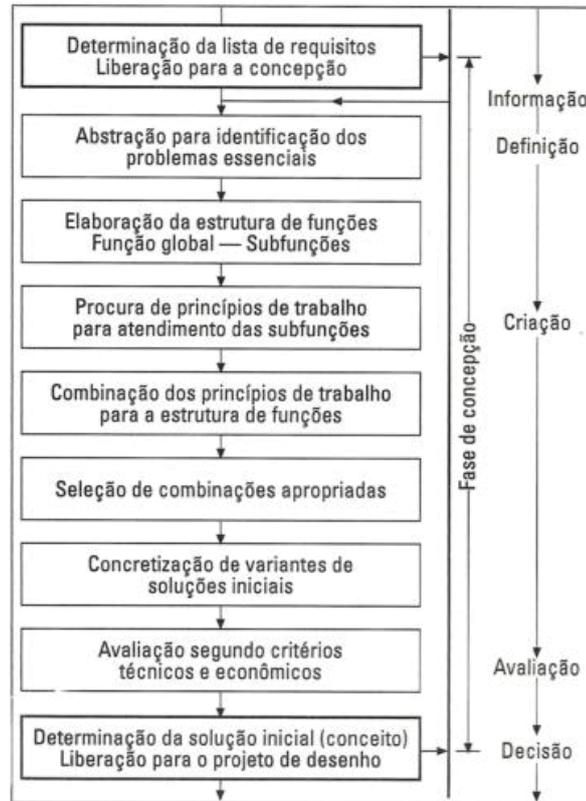
Para a determinação da concepção do equipamento é preciso um desdobramento de todas as estruturas funcionais mediante uma lista de soluções para cada subfunção, porém com o mesmo objetivo funcional. As concepções alternativas devem garantir o funcionamento de uma parte da estrutura do equipamento, sendo que podem existir diferentes meios de fazê-lo. Esses meios devem formar uma lista de concepções alternativas, as quais necessitam estarem embasados em bibliografias, catálogos de fabricantes, equipamentos semelhantes e o viés intuitivo. As soluções elaboradas devem ser avaliadas e as que não satisfazem as exigências da lista de requisitos são eliminadas.

Por sua vez as soluções restantes são avaliadas através de um método baseado em critérios técnicos, ecológicos, econômicos e de segurança como: funcionalidade, produtividade, riscos, custo, entre outros fatores, que dependerão de cada tipo de produto e de cada empresa, para só então iniciar o desenvolvimento do conceito.

Segundo Pahl et al. (2005) o projeto conceitual exige a aplicação do conhecimento e da inteligência, sendo que esta deve ser sistematizada, visando a aplicação do computador para que seja possível a integração com as demais fases do projeto do produto, bem como a integração do processo global de projeto com as demais fases de produção de um produto.

A fase de projeto conceitual deve ser sistematizada, organizada e sequenciada, sendo assim é possível libertá-la da exigência da genialidade humana, possibilitando com isso a utilização de sistema computacional integrado. Na Figura 6, são apresentadas as etapas de trabalho para a fase de concepção, após serem esclarecidos os problemas através da lista de requisitos.

Figura 6 - Etapas de trabalho para a fase de concepção



Fonte: Pahl et al., 2005, p.112

Visto que os problemas essenciais são identificados, que as estruturas funcionais encontram-se estabelecidas e dispondo dos princípios de soluções apropriados, o caminho de uma solução básica é traçado através da elaboração de uma solução conceitual. Tendo o problema central formulado, é possível indicar uma solução global. O detalhamento da função global corresponde ao passo de estabelecimento da estrutura de funções (PAHL et al., 2005).

Deve-se descrever de forma sucinta a função global do sistema, sendo esta feita a partir das especificações de projeto obtidas. Na função global, tem-se a declaração da função do sistema, sem qualquer detalhe que trate diretamente de soluções ou como tais soluções serão obtidas.

Para Pahl et al. (2005), uma função pode ser entendida como uma relação entre entrada e saída do sistema técnico com o propósito de realizar uma determinada tarefa. Para Back et al. (2008), a função global é definida como sendo uma relação entre causa e efeito das grandezas de entrada e saída.

Sendo assim, nessa etapa é preciso estabelecer relações entre os sistemas, ou seja, é preciso especificar as interfaces com sistemas técnicos, interface com o meio ambiente e com

o usuário. Na Figura 7, pode ser observado um exemplo clássico para a função global, destacando-se claramente as entradas e saídas do sistema (PAHL et al., 2005).

Figura 7 - Representação da função global do sistema



Fonte: Adaptado de Pahl et al., 2005, p.120

Dessa forma, identificada a função global do sistema, é necessário o desdobramento da função global em subfunções, sendo que muitos pesquisadores denominam de funções elementares do sistema. Cabe ressaltar que, dependendo da complexidade da tarefa a ser solucionada, a função global resultante também será mais ou menos complexa.

Sendo assim, então, entende-se por complexidade o grau de transparência das relações entre entrada e saída, a multiestratificação dos processos físicos necessários, bem como o número final de subconjuntos e peças avulsas envolvidas (PAHL et al., 2005). Em inúmeros casos, a função global pode ser imediatamente desdobrada em subfunções reconhecíveis, às quais corresponderão a subtarefas dentro da tarefa global. Nesse caso, a relação das subfunções na função global frequentemente está sujeita a um regime forçado, uma vez que determinadas subfunções necessitam estar satisfeitas antes que outras possam ser apropriadamente ativadas.

Segundo Pahl et al. (2005), uma função global pode ser desdobrada em subfunções de menor complexidade. A interligação das subfunções resulta na estrutura de funções, a qual representa a função global do sistema. Na interligação das funções, formula-se por meio de funções específicas da tarefa, sendo o objetivo principal dessa etapa:

- A simplificação do desdobramento das funções global para a subsequente busca de soluções;
- A interligação destas subfunções numa estrutura de função simples e não ambígua.

Pahl et al. (2005) ressaltam também que em casos de projetos inovadores, nos quais as subfunções são geralmente desconhecidas, bem como as suas interligações, a busca e a constituição de uma estrutura de funções otimizada fazem parte de subetapas mais importantes da etapa de concepção. No caso de projetos adaptativos, a estrutura da construção

com os seus subconjuntos e elementos específicos é amplamente conhecida. Sendo assim, a estrutura de funções pode ser elaborada por meio de análise do produto cujo desenvolvimento se pretende continuar, sendo que tal estrutura pode ser alterada de acordo com os requisitos especiais da lista de requisitos, por variação, acréscimo ou eliminação de subfunções específicas e alterações das interligações.

Cabe ressaltar ainda que em sistemas técnicos não há funções mais importantes e menos importantes, todas as funções são importantes, pelo fato de serem todas necessárias, funções que não são necessárias ou são supérfluas devem ser eliminadas (PAHL et al., 2005).

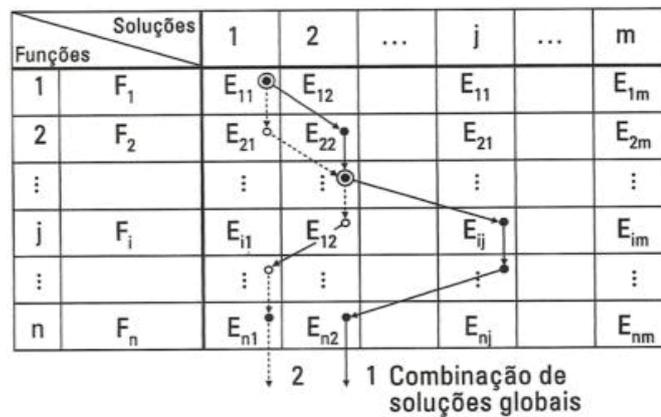
Especificadas as subfunções, é preciso que sejam encontrados princípios de funcionamento que posteriormente serão combinados na estrutura de funcionamento, a qual, suficientemente materializada, tornará identificável a solução básica (princípio de solução). Então, para atender à função, o princípio de funcionamento inclui o necessário efeito físico, bem como as suas características geométricas e materiais.

Em muitas tarefas não é necessária a busca de um novo efeito físico, pois a problemática está no encorporamento e com frequência fica complicado separar mentalmente o efeito físico das características geométricas e materiais, por isso, geralmente, busca-se por princípios de funcionamento que incluam o efeito físico e as necessárias características geométricas e materiais. (PAHL et al., 2005). Tais ideias preliminares sobre o tipo de encorporamento da estrutura de funcionamento normalmente são representadas por um esboço do princípio ou, no caso de representarem a solução básica pela estrutura da construção, por um esboço manual aproximado em escala.

Enfim, essa etapa deverá conduzir à busca de variantes de soluções. Um campo de soluções pode ser formado por variação tanto dos efeitos físicos, como também das características geométricas e materiais. Para atendimento de uma subfunção, podem estar ativos diversos efeitos físicos em um ou mais portadores da função. (PAHL et al., 2005).

Dessa forma, a busca por princípios de funcionamento estende-se além dos métodos propostos, ou seja, muitas vezes é preciso análise de sistemas naturais e familiares, pesquisas bibliográficas, bem como método intuitivo. Importante ressaltar que para uma subfunção geralmente surgem inúmeras soluções, sendo então necessária a organização de tais informações, a fim de facilitar a busca de soluções. A Figura 8 demonstra um modelo básico do esquema organizador.

Figura 8 - Combinação de soluções



Fonte: Pahl et al., 2005, p.73

Para Pahl et al. (2005), a busca de princípios de funcionamento para subfunções pode ser dada pelas seguintes recomendações:

- Dar prioridade às funções principais, as quais são determinantes na função global e para as quais ainda não há um princípio de solução.
- Derivar critérios classificadores e as correspondentes características de inter-relações perceptíveis do fluxo de energia ou sinal.
- No caso do princípio de funcionamento ser desconhecido, obtê-lo do efeito físico, critério classificador, por exemplo, tipo de energia. No caso do efeito físico estar definido, buscar e variar características geométricas e materiais (geometria de funcionamento, movimento de funcionamento, material).
- Anotar e analisar soluções, mesmo as obtidas intuitivamente e, sobretudo, quais os critérios classificadores que são determinantes para os princípios de funcionamento, em seguida desmembrar estes princípios por novos parâmetros, eventualmente restringindo ou generalizando.
- Registrar propriedades importantes e já reconhecidas dos princípios de funcionamento.

Para satisfazer a função global, é preciso que soluções globais sejam elaboradas a partir dos princípios de trabalho. Para realizar tais escolhas, utiliza-se um método classificador, onde na primeira coluna são inseridas as subfunções a serem satisfeitas e nas linhas correspondentes os princípios de funcionamento encontrados.

Ao utilizar esse esquema, ao menos um princípio de solução terá que ser escolhido para cada subfunção, sendo que essas subsoluções são interligadas em uma função global. O

grande problema desse método combinatório é a decisão sobre quais soluções são compatíveis entre si e totalmente isentas de colisões, ou seja, soluções efetivamente combináveis. Dessa forma, o campo de soluções teóricas necessita ser restringido em um campo de soluções realizáveis na prática (PAHL et al., 2005). Na figura 9, é possível identificar o método de combinação, o qual gera as subsoluções.

Para Pahl et al. (2005), a identificação de subsoluções compatíveis é facilitada quando:

- As subfunções são dispostas de acordo com a sequência em que ocorrem na estrutura da função eventualmente separadas por fluxo de energia, material ou informação.
- Os princípios de solução são convenientemente ordenados com a ajuda de parâmetros de colunas adicionais, por exemplo, o tipo de energia.
- Os princípios de solução não são indicados apenas por palavras, sendo também indicados por esboços conceituais.
- As propriedades e características mais importantes dos princípios de solução também foram registrados.

Em suma, somente se combina o que for compatível, bem como as soluções que satisfaçam as exigências da lista de requisitos e das quais se espera um volume de trabalho aceitável. Vale lembrar que a verificação da compatibilidade também é facilitada pela elaboração de esquemas ordenadores, ou seja, se duas subfunções a serem interligadas, como, por exemplo, “transformar energia” e “variar componente da energia mecânica”, forem inseridas entre os títulos das colunas e os títulos das linhas de uma matriz, e registrando as suas características em células apropriadas, a compatibilidade das subsoluções poderá ser verificada com maior facilidade, ou seja, faz com que o exame não fique apenas restrito na mente do projetista.

De acordo com Pahl et al. (2005), a combinação pode ainda ser realizada com o auxílio de métodos matemáticos, sendo que esse método não está restrito apenas para sistemas técnicos, podendo ser utilizado no desenvolvimento de sistemas gerenciais e em outras áreas.

Sendo assim, então, com a continuação do desenvolvimento do produto, as variantes de solução apontadas necessitam ser mais concretas antes da solução final, na qual serão aplicados critérios de avaliação mais detalhados e na medida do possível quantificáveis. Essa avaliação geralmente envolve a atribuição de valores técnicos, ecológicos, econômicos e de segurança. Geralmente quando se trata de sistemas técnicos, a análise de valor e a avaliação

técnica e econômica são baseadas em Kesselring e na diretriz da VDI 2225 (PAHL ET AL., 2005).

Figura 9 - Matriz para verificação de compatibilidade

Mudar energia		Motor elétrico	Bobina	Espiral bimetálica em água quente	Pistão hidráulico oscilante	...
		1	2	3	4	...
Mecanismo de quatro articulações	A	Quando A é capaz de girar	Movimento lento	Sim	Ligação auxiliar por alavancas apenas no movimento lento do pistão	...
Transmissão de engrenagem paralela	B	Sim	Baixa rotação somente com elementos extra (roda livre, etc). Difícil especialmente para inversão do sentido rotação	Dependendo do ângulo de giro são suficientes segmentos de engrenagens	Movimento oscilante com cremalheira só com movimento lento do pistão	...
Transmissão de cruz de malta	C	Sim no acionamento cruz de malta normal considerar solavanco	Veja B2	Sim Quando o ângulo de giro for pequeno, alavanca com bloco deslizante	Alavanca com bloco deslizante, somente com movimento lento do pistão	...
Transmissão por rodas de atrito	D	Sim	Veja B2	Grandes forças por causa do torque em movimento lento, posicionamento impreciso	Veja D3	...
...	...	...	...	...	...	...

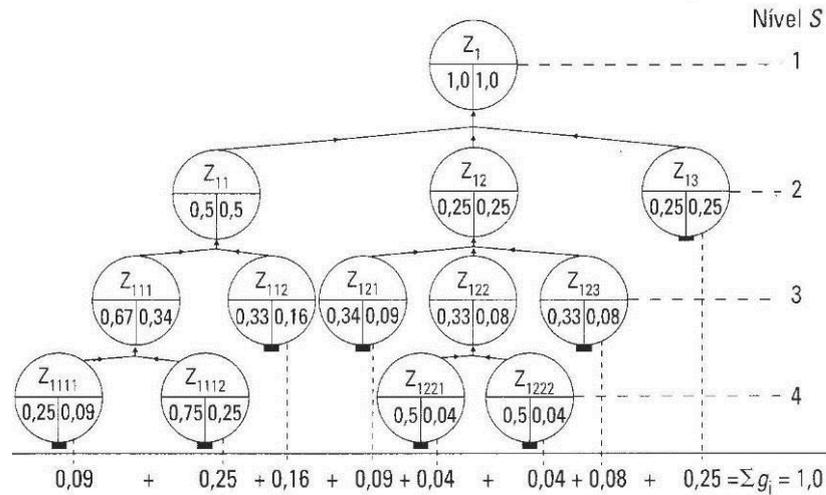
Muito difícil (com grande esforço) de ser satisfeita (não prosseguir com seu desenvolvimento)  
 Somente possível de ser satisfeita sob determinadas condições (reservar)

Fonte: Pahl et al., 2005, p.74

Para formular critérios de avaliação, torna-se necessário identificar a sua importância relativa (peso) para o valor global da solução, para que critérios irrelevantes possam ser eliminados antes de iniciar a avaliação propriamente dita. Sendo assim, os critérios de avaliação extraídos a partir da lista de requisitos são denominados de fatores de ponderação ou peso, que serão levados em conta na avaliação. Um fator de ponderação é um número real e positivo, o qual expressa a contribuição relativa de um critério de avaliação (PAHL ET AL., 2005)

Então, na análise de valores pondera-se com fatores entre 0 e 1 ou 0 e 100, destacando que a soma dos fatores de todos os critérios de avaliação deve ser igual a 1 ou 100. Visando a ponderação, pode-se elaborar uma árvore de metas, conforme se pode verificar na Figura 10.

Figura 10 - Determinação dos fatores de ponderação



Fonte: Pahl et al., 2005, p.79

Após estabelecer critérios de avaliação e definir sua relevância, na etapa subsequente de avaliação das variantes, os parâmetros conhecidos ou determinados analiticamente são correlacionados com esses critérios. Tais parâmetros podem ser quantificáveis, sendo que se isso não for possível, pode-se realizar asserções verbais. Na Figura 11, é possível observar o procedimento para a atribuição de valores, obedecendo a VDI 2225.

Figura 11 - Escala de valores

ESCALA DE VALORES			
Pt.	Análise de valor útil Significado	Pt.	Diretriz VDI 2225 Significado
0	Solução absolutamente não utilizável	0	insatisfatória
1	Solução muito deficiente	1	solução ainda sustentável
2	Solução fraca		
3	Solução sustentável		
4	Solução suficiente	2	suficiente
5	Solução satisfatória		
6	Solução boa com poucas falhas	3	boa
7	Solução boa		
8	Solução muito boa		
9	Solução excedendo os requisitos	4	muito boa (ideal)
10	Solução ideal		

Fonte: Pahl et al., 2005, p.80

É possível verificar que o valor do benefício utiliza-se de uma banda ampla de 0 a 10 pontos. A VDI 2225 utiliza uma banda menor, de 0 a 4 pontos, sendo que a banda de 0 a 10

pontos comprova que um sistema decimal baseado em porcentagens facilita a correlação e subsequente avaliação. No caso da banda de 0 a 4 pontos, realiza-se uma avaliação grosseira, pelo motivo de muitas vezes o conhecimento ser precário ou pelas próprias características das variantes.

Sendo assim então, para realizar a atribuição dos pontos é preciso que o avaliador conheça pelo menos o domínio da avaliação. Nesse caso é muito útil preparar um esquema de avaliação, no qual os parâmetros dos critérios de avaliação, indicados verbalmente ou numericamente, são atribuídos de forma escalonada às ideias de valor, por atribuição de pontos.

Apurados os valores, esses serão posteriormente lançados na lista de avaliação. Na Figura 12, visualiza-se um exemplo prático com a ponderação e os respectivos valores.

Figura 12 - Lista de avaliação completa

Nr.	Critérios de avaliação		Parâmetros		Variante $V_1$ (p.ex. $M_1$ )			Variante $V_2$ (p.ex. $M_2$ )		
	Fator		Unidade	carac- terística $e_{11}$	valor $w_{11}$	valor ponderado $wg_{11}$	carac- terística $e_{21}$	valor $w_{12}$	valor ponderado $wg_{12}$	
1	baixo consumo de combustível	0,3	consumo de combustível	g/kWh	240	8	2,4	300	5	1,5
2	construção leve	0,15	potência específica	kg/kW	1,7	9	1,35	2,7	4	0,6
3	fácil fabricação	0,1	simplicidade das peças fundidas	—	complicado	2	0,2	médio	5	0,5
4	elevado tempo de vida	0,2	tempo de vida	quilometragem	80.000	4	0,8	150.000	7	1,4
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
$i$		$g_i$			$e_{i1}$	$w_{i1}$	$wg_{i1}$	$e_{i2}$	$w_{i2}$	$wg_{i2}$
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
$n$		$g_n$			$e_{n1}$	$w_{n1}$	$wg_{n1}$	$e_{n2}$	$w_{n2}$	$wg_{n2}$
		$\sum_{i=1}^n g_i = 1$				$Gw_1$ $W_1$	$Gw_{g1}$ $Wg_1$		$Gw_2$ $W_2$	$Gw_{g2}$ $Wg_2$

Fonte: Pahl et al., 2005, p.81

### 2.2.3 Terceira fase: Projeto Preliminar ou Anteprojeto

Só a partir da escolha da melhor solução por critérios pré-definidos que se inicia a terceira fase de projeto preliminar ou anteprojeto.

Nessa fase ocorre a definição dos materiais, dimensões, processos de manufatura e exame da compatibilidade espacial e complementação das funções auxiliares. Os projetos

normalmente são modelados utilizando *softwares* de modelamento 3D, permitindo a simulação de diferentes configurações, podendo realizar o exame de compatibilidade espacial.

Na realização do projeto preliminar é necessário que um protótipo seja testado com o intuito de fazer uma análise técnica e econômica, avaliando os pontos fracos e o processo de manufatura (BACK et al., 2008).

Pahl et al. (2005) afirmam que partindo de idéias qualitativas, o projeto preliminar ou anteprojecto é a definição básica e quantitativa da solução. O projeto preliminar determina de forma clara e completa a estrutura de um produto obedecendo a critérios técnicos e econômicos.

Entende-se por projeto preliminar ou anteprojecto a parte do projeto de um produto técnico que, partindo da estrutura de funcionamento ou da solução básica, constrói de maneira clara e completa a estrutura do produto, segundo critérios técnicos e econômicos, sendo que a consequência do anteprojecto é a definição da configuração da solução (PAHL et al., 2005). Nessa fase, busca-se satisfazer uma determinada função com a forma dos componentes, materiais apropriados e layouts.

Para Pahl et al. (2005), nessa etapa o projetista inicia com a concepção selecionada e dá prosseguimento sob vários processos, a fim de transformar em um layout definitivo do produto proposto, sendo que o mesmo deverá de qualquer forma satisfazer todos os requisitos técnicos e econômicos do projeto em questão. Na figura 13 constam as principais etapas de trabalho no anteprojecto.

Enfim, essa fase inicia-se com um conjunto de soluções úteis para o problema em questão, e finda com uma solução otimizada e simplificada para o produto, sendo que para isso desenvolvem-se alguns processos tais como: seleção da melhor solução, formulação de modelos de análise, análise de sensibilidade e compatibilidade de todas as variáveis, otimização de parâmetros de projeto, testes e simplificação de projeto, considerando ainda que é uma fase que envolve sistemas CAD e CAE.

Em muitas situações, para obter resultados satisfatórios, são necessários vários projetos básicos ou subprojetos básicos, os quais tornem possível a configuração final do objeto. Dessa forma, para uma etapa decisória, o projeto básico completo deverá estar definido e, portanto, elaborado a ponto de viabilizar a avaliação da função, durabilidade, possibilidades de produção e montagem, características de uso e custeio e somente então poderá se pensar no detalhamento dos subsídios para a produção (PAHL et al., 2005).

O processo de anteprojeto é muito complexo, pois inúmeras atividades necessitam ser desenvolvidas em conjunto, bem como algumas etapas de trabalho necessitam ser repetidas em um nível de informação mais elevado e deve-se considerar ainda que os acréscimos e as modificações influenciem zonas já configuradas.

Figura 13 - Etapas de trabalho principais no anteprojeto



Fonte: Pahl et al., 2005, p.152

Cabe ressaltar que em cada etapa não é preciso definir métodos especiais, sendo algumas dicas a seguir importantes.

- A representação das condicionantes espaciais e da configuração é realizada com o auxílio de modelo digitalizado correspondente, necessariamente como modelo 3D.
- A função e o tipo de produto necessitam ser transparentes.
- Para comprovar a compatibilidade espacial na estrutura e para montagem, a posição e o volume necessários ao produto necessitam ser perceptíveis por

intermédio das dimensões características, tais como dimensões principais e semelhantes.

- O esboço da configuração terá que migrar para a configuração definitiva sem que haja necessidade de nova geração.

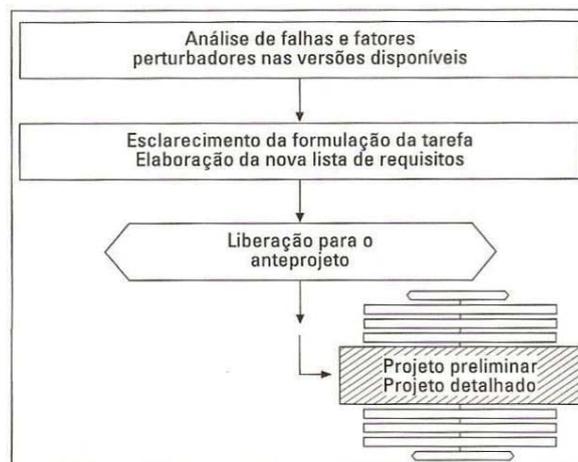
Quando tais exigências estiverem satisfeitas, a representação pode ser simplificada, divergindo das normas do desenho, pois a representação do objeto de acordo com as normas do desenho é inútil, pois só aumentaria o trabalho de geração requerido (PAHL et al., 2005).

Ao executar o anteprojecto, inúmeros detalhes necessitam ser esclarecidos, definidos e também otimizados, ou seja, quanto mais se aprofunda na configuração dos detalhes, tanto mais ficará explícito se a solução básica adotada foi corretamente selecionada.

Se no anteprojecto for constatado falhas, ou se tal requisito não pode ser satisfeito, o melhor a se fazer é verificar o procedimento da fase conceitual, pois mesmo uma configuração cuidadosa não pode melhorar significativamente uma solução básica desvantajosa, sendo isso válido também para os respectivos princípios de funcionamento das subfunções (PAHL et al., 2005).

Mantendo então a estrutura de funcionamento e o arranjo básico, procura-se solucionar esses subproblemas, realizando uma revisão das etapas de trabalho, seguindo um processo iterativo. Com frequência não é desenvolvido um produto inteiramente novo, porém com base em novos requisitos e experiências, ele é apenas aperfeiçoado (PAHL et al., 2005). Na Figura 14, é possível visualizar o reinício do processo a partir das variáveis causadoras de falhas.

Figura 14 - Fase do anteprojecto iniciando pela continuação do desenvolvimento de versões anteriores



Dependendo do resultado da formulação da tarefa agora esclarecida, é muito importante definir se é necessária nova estrutura de funcionamento, no sentido de uma nova solução básica, ou em que proporção é necessário intervir na estrutura existente. Com relação ao anteprojeto, pode-se afirmar que um procedimento flexível com muitas malhas de repetição e mudança frequente do plano de contemplação é tipicamente necessário (PAHL et al., 2005).

Na Figura 15, é apresentada a lista de verificação para avaliação do anteprojeto, sendo que com base em cada característica, é possível assim avaliar se o princípio de funcionamento selecionado satisfaz a função.

Segundo Pahl et al. (2005), a lista de verificação proposta é consistente, seguindo uma cadeia lógica de raciocínios, sendo assim lembrada facilmente, o que permite aproveitá-la de forma gradativa no subconsciente. Cabe ressaltar ainda que existem regras para realizar a configuração, sendo que o não cumprimento dessas conduz a erros, prejuízos e até acidentes. O anteprojeto também deve seguir regras básicas de configuração, sendo que em combinação com a lista de verificação apresentada na Figura 15 e métodos de identificação de erros, também determinam decisivamente as etapas de seleção e avaliação.

Figura 15 - Lista de verificação

Característica principal	Exemplos
Função	A função prevista é satisfeita? Quais funções auxiliares são necessárias?
Princípio de trabalho	Os princípios de trabalho selecionados oferecem o efeito desejado, grau de eficiência e vantagem? Quais distúrbios devem ser esperados?
Dimensionamento	A forma e dimensões selecionadas garantem, com o material previsto e com (projeto) antecipado tempo de vida útil e sob as cargas de serviço, ter suficiente durabilidade? Deformações admissíveis? Suficiente estabilidade? Suficiente independência de ressonância? Dilatação desacompanhada de distúrbios? Resistências à corrosão e ao desgaste aceitáveis?
Segurança	Foram considerados os fatores que influenciam a segurança dos componentes, da função, da operação e do meio ambiente?
Ergonomia	Foram observadas as relações homem-máquina? Foram respeitados solicitação, exigência e cansaço? Foi atendido o requisito de uma boa forma (estética)?
Produção	Foram considerados critérios de produção com respeito à tecnologia e à economia?
Controle	Os controles necessários são possíveis durante e após a fabricação ou em uma outra data e como tais estão especificados?
Montagem	Todos os processos de montagem internos ou externos à fábrica podem ser executados de modo simples e na ordem certa?
Transporte	Foram verificados e considerados as condições e riscos de transporte internos e externos à fábrica?
Operação	Foram consideradas em dose suficiente todas as ocorrências que surgem durante operação ou utilização como p.ex.: ruído, trepidações, manuseio?
Manutenção	São exequíveis e verificáveis de modo seguro, as providências necessárias para manutenção, inspeção e conserto?
Reciclagem	É possível reaproveitamento ou reprocessamento?
Custos	Foram obedecidos os limites de custo prefixados? Vão surgir despesas operacionais ou incidentais adicionais?
Prazos	Os prazos podem ser cumpridos? Há possibilidades de projetar a forma visando a melhora da situação no tocante aos prazos?

Fonte: Pahl et al., 2005, p.156

As regras básicas, segundo Pahl et al. (2005), são: claras, simples e seguras, sendo que se orientam pelos objetivos gerais, em que devem ser observados:

- Atendimento da função técnica;
- Viabilidade econômica;
- Segurança para os usuários e o meio ambiente.

Deve ser levado em conta ainda que as exigências de clareza, simplicidade e segurança são fundamentais, sendo que constituem pressupostos importantes para o sucesso da solução.

A consideração de clareza é importante para compreender de forma segura efeito e comportamento, sendo que em inúmeras ocasiões poupa tempo e análises desnecessárias. A simplicidade garante a viabilidade econômica, pois quanto maior a quantidade de elementos “simples”, os processos envolvidos para a fabricação desses componentes também são simples, portanto o custo é muito menor, sendo também obtidos de forma mais rápida.

Quando se trata de segurança, deve-se levar em conta durabilidade, confiabilidade e inexistência de acidentes, e de forma importante também a questão ambiental. Portanto, a observação das regras básicas, permite antecipar uma probabilidade elevada de realização, pois com ela são abordados e interligados o atendimento da função, a economia e a segurança. Sem essa interligação, dificilmente se poderia obter uma solução considerada satisfatória (PAHL ET AL., 2005).

De forma distinta, como abordado no projeto conceitual, e pela conformidade com a crescente materialização, os critérios de avaliação na fase de configuração necessitam se referir a objetivos e características mais concretas (PAHL et al., 2005). Na Fase de configuração sempre se avaliam em separado as características técnicas para a valoração técnica e as características econômicas para a valoração econômica, sendo essa calculada com o auxílio dos custos de fabricação, os quais são confrontados comparativamente em um diagrama.

Segundo Pahl et al. (2005), a valoração econômica só pode ser realizada qualitativamente; no entanto, os custos, na etapa de configuração, basicamente devem se aproximar do real. De modo inicial são elaborados os critérios de avaliação, sendo esses obtidos da seguinte forma:

- a. Requisitos da lista de requisitos
  - Desejável superação dos requisitos mínimos (até que ponto foram ultrapassados);

- Expectativas (satisfeitas – não satisfeitas, quão bem satisfeitas).
- b. Características técnicas (até que ponto está presente o modo pelo qual foram satisfeitas).

O grau de integridade dos critérios de avaliação é testado pelas principais características da lista de verificação indicadas na Figura 16 e ajustadas ao grau de concretização alcançado.

Figura 16 - Lista de verificação para avaliação do anteprojeto

Característica principal	Exemplos
Função	Atendimento por meio de um princípio de funcionamento
Princípio de funcionamento escolhido	Uniformidade, estanqueidade, alto grau de eficiência, resiste a falhas, não ocorrência de perdas
Configuração	Escala, demanda de volume, peso, arranjo, posição, adequação
Especificação	Aproveitabilidade, durabilidade, deformabilidade, capacidade de deformação, tempo de ciclo de vida ou de uso, desgaste, resistência a impactos, estabilidade, ressonância
Segurança	Tecnologia de segurança direta, segurança do trabalho, defesa do meio ambiente
Ergonomia	Relação homem-máquina, desgaste no trabalho, operação, critérios estéticos, configuração
Produção	Usinagem isenta de risco, rápida desmontagem, tratamento térmico, evitar acabamento superficial, tolerâncias (desde que não incluídas nos custos de fabricação)
Controle	Adesão às características de qualidade, adequado para testes
Montagem	Não ambígua, simples, confortável, ajustável, expansível
Transporte	Interno e externo à empresa, modo de expedição, embalagem apropriada
Uso	Manuseio, comportamento em serviço, características anticorrosivas, consumo de bens de produção
Manutenção	Monitoramento, inspeção, conserto, substituição
Reciclagem	Desmontagem, recondicionamento, reaproveitamento
Custo	Considerado separadamente por meio da valorização econômica
Prazo	Características críticas para o seqüenciamento e o prazo

Fonte: Pahl et al., 2005, p.262

As primeiras características principais se relacionam essencialmente com a função técnica atendida pelo princípio de trabalho, com a configuração selecionada, bem como os parâmetros da especificação, como escolha prévia de material (PAHL et al., 2005).

Para cada característica principal, deve ser considerado pelo menos um critério de avaliação importante, sendo eventualmente necessária a elaboração de diversos critérios para

cada um dos grupos. Cabe ressaltar que uma característica principal somente poderá ser omitida se as respectivas propriedades estiverem ausentes, ou são as mesmas para todas as variantes. A fase de avaliação é importante, pois se consegue identificar os pontos fracos, principalmente quando se trata da configuração definitiva. A busca de falhas e pontos fracos, quando detectados, permite a subsequente correção, pois são integrantes principais da avaliação final.

No caso de somente um projeto ser executado, o significado da avaliação não consiste em apenas selecionar, sendo necessário julgar o projeto atual, de acordo com os critérios concretos relacionados aos requisitos, com o objetivo de identificar e corrigir eventuais pontos fracos, sendo o procedimento dividido nas seguintes etapas:

- Reconhecimento dos critérios de avaliação;
- Avaliação das características com relação ao cumprimento dos critérios de avaliação;
- Determinação da valoração global;
- Busca de pontos fracos.

Para os pontos fracos detectados, formula-se uma proposta de melhoria e critérios já reconhecidos como relevantes devem ser assumidos. As características almejadas geralmente são avaliadas de acordo com a VDI 2225, em relação a uma solução ideal fictícia com base em uma escala grosseira de 0 a 4 pontos, sendo que muitas vezes uma avaliação de maior esforço não se apresenta compensadora.

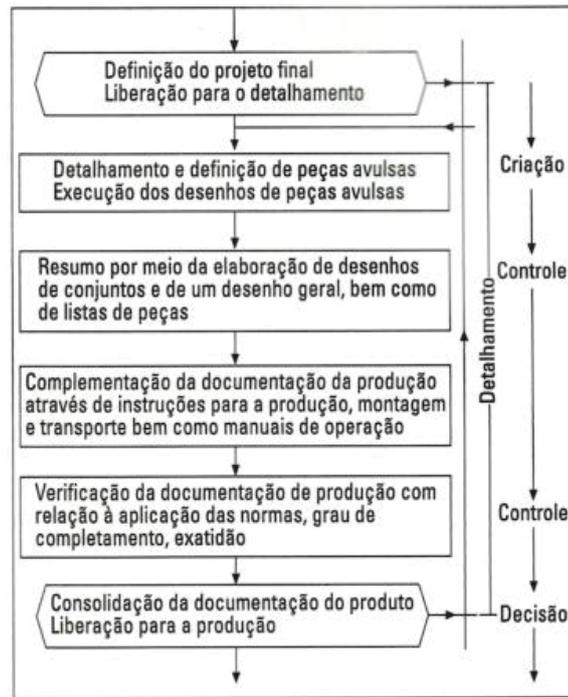
#### **2.2.4 Quarta fase: Detalhamento do Projeto**

O resultado do detalhamento do projeto é a definição da tecnologia de produção através da elaboração da documentação para a manufatura, apresentando detalhamento para cada um dos componentes, conjuntos e lista de materiais para a fabricação do produto. Há o objetivo técnico de fornecer os desenhos para a produção com prescrições de forma, dimensão e acabamento superficial de todos os componentes, bem como especificação e lista de materiais, detalhando as operações de fabricação, onde a segurança funcional e os custos do produto são fortemente influenciados.

Conclui-se a quarta fase com o detalhamento e liberação da documentação para a produção.

Para Pahl et al. (2005), o detalhamento é a parte que complementa a estrutura de construção de um produto técnico por meio de prescrições definitivas sobre a forma, dimensionamento e acabamento superficial de todas as peças, definição de todos os materiais, verificação das possibilidades de produção, bem como dos custos definitivos. Dessa forma se criam subsídios gráficos obrigatórios, além de outros, para a concretização material. Na Figura 17, visualiza-se as fases de detalhamento.

Figura 17 - Fases de detalhamento



Fonte: Pahl et al., 2005, p.282

O resultado do detalhamento é a definição da tecnologia de produção da solução. Assim, nessa fase é realizada a configuração do produto com a definição definitiva da microgeometria. Portanto, são determinadas em detalhes as operações para fabricação (PAHL et al., 2005). O Projeto detalhado finaliza o projeto preliminar e são elaborados os documentos finais do projeto na forma de desenhos, os quais possibilitam a realização física das soluções. Também se faz o uso de uma série de normas e procedimentos padrões, de acordo com a empresa onde o projeto será executado.

Nessa fase as formas, dimensões, propriedades da superfície de todas as partes individuais são definidas, materiais são especificados e as viabilidades técnicas e econômicas passam por um processo de reavaliação.

Todos os desenhos bem como documentos necessários para a produção devem estar prontos. As duas principais atividades dessa etapa consistem na otimização dos princípios e otimização dos layouts.

### **2.3 Controle da qualidade integrado**

O custo da qualidade é o gasto de permitir a manufatura de defeitos em função do gasto para encontrar e retrabalhar produtos defeituosos. Mesmo realizando controles estatísticos no processo ou inspeções por amostragem, ocorrem instabilidades no processo de manufatura, ocorrendo a produção de produtos defeituosos.

Conforme J. T. Black (2012) de forma flexível normalmente significa que a empresa projetou e construiu seu próprio equipamento de manufatura e entende que sistemas de manufatura de células interligadas são a chave para a competitividade tecnológica e a produção just-in-time, sendo que o segredo real é inspecionar para prevenir a ocorrência de um defeito através da checagem automática, que forma a base para a automação, que muitas vezes é confundida com a automação.

A automação é definida por J. T. Black (2012) como sendo:

O controle automático para a eliminação de defeitos, sendo o equipamento capaz de detectar quando algo deu errado no processo ou quando algo está mudando e eventualmente levará a falhas em atingir a especificação do produto, prevenindo defeitos.

A Figura 18 demonstra o controle autônomo de defeitos e quantidades a serem produzidas em um processo com o conceito de automação implantado, tendo a finalidade de reduzir custos mantendo o respeito aos funcionários.

Outro conceito de automação industrial pode ser definido como a conversão da atividade manual do homem para automática dentro de um processo de fabricação (PEREIRA, 1995).

A automação é tratada por Groover (2001) como uma grande área que busca integrar a mecânica, a eletrônica e as tecnologias computacionais no sentido de colaborar com o processo de fabricação. Ainda conforme Groover o sistema produtivo, pode ser dividido em

duas partes para facilitar o controle: automação do processo de manufatura e informatização de amparo ao sistema de manufatura.

Figura 18 - Automação



Fonte: J. T. Black (2001)

Conforme Black (1998), a automação é dividida em categorias, de acordo com o nível de atividades efetuadas pela máquina, quanto maior o número de atividades humanas efetuadas por uma máquina maior será o seu grau de automação, conforme ilustrado na Tabela 1.

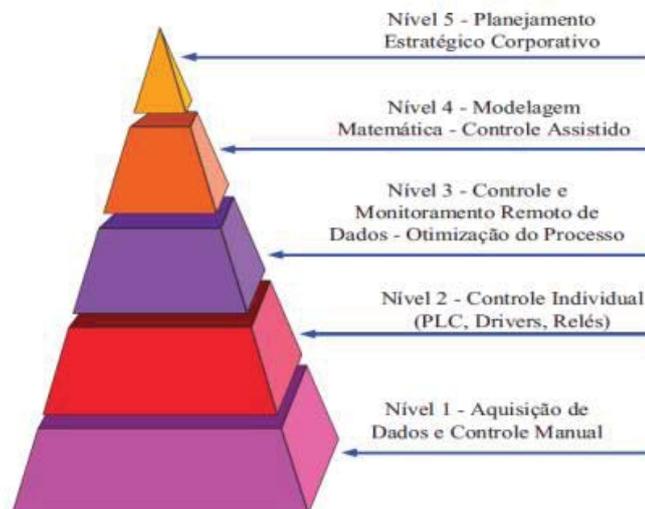
Tabela 1 - Graus de automação Graus de automação

Graus de automação	Atributo humano substituído
A(0)	Nenhum: alavanca, chave de fenda, roldana, cunha;
A(1)	Energia: músculos substituídos;
A(2)	Destreza: auto-alimentação;
A(3)	Diligência: sem realimentação;
A(4)	Julgamento: Realimentação posicional;
A(5)	Avaliação: controle adaptativo, análise dedutiva, realimentação do processo;
A(6)	Aprendizado: pela experiência;
A(7)	Raciocínio: apresentam intuição; relaciona causas e efeitos;
A(8)	Criatividade: realiza projetos sem auxílio;
A(9)	Dominância: super máquinas que comandam outras.

Fonte: Adaptado de Black (1998)

Já Fialho (2008) caracteriza a automação em duas partes, que são: automatismos e automação. Automatismos são os recursos, máquinas e ferramentas de trabalho, com condições de minimizar ou anular o trabalho realizado pelo homem num processo de produção. A automação não é apenas a troca do homem no processo de produção, mas sim um modo de assegurar produtividade, rendimento, garantia da qualidade do produto e, principalmente, a redução dos custos do processo. Webb (1992) apresenta a Pirâmide de Automação, identificando os níveis de controle industrial, conforme Figura 19.

Figura 19 - Pirâmide de automação – Níveis de controle industrial



Fonte: Webb (1982)

## **2.4 Comandos pneumáticos, seus componentes e definições**

A pneumática é definida como sendo o conjunto de todas as aplicações que utilizam a energia armazenada e transmitida pelo ar comprimido.

A utilização de sistemas pneumáticos na automação industrial se dá em função da facilidade de se integrar à eletrônica e à informática, sendo os sistemas eletropneumáticos comandados por IHM ou CLP.

O campo de aplicação da pneumática é muito amplo e pode ser mais bem compreendido quando consideramos suas vantagens (o ar é constantemente renovado, energia armazenável e transportável, grande velocidade dos atuadores, o ar não causa problemas ao ambiente, possibilidade de integração com sistemas de automação e controle, durabilidade, segurança e facilidade de operação) e limitações (força máxima de trabalho, ruído e deslocamento não uniforme quando forças são variáveis) do uso do ar como meio de armazenamento e transmissão de energia, em conjunto com forças, velocidades, potências e precisão obtida com seus sistemas de atuação. Também devem ser consideradas suas características técnicas e qualidade dos componentes de transmissão e processamento de sinais pneumáticos, elétricos e eletrônicos, associados aos atuadores para constituírem os sistemas de comando e automação.

### **2.4.1 Características técnicas dos sistemas pneumáticos**

As velocidades usuais nos atuadores lineares são da ordem de 30 a 1500mm/s, sendo que para velocidades menores que 100mm/s devem ser usados cilindros hidropneumáticos para se obter melhor uniformidade no deslocamento com forças variáveis.

As forças usuais obtidas nos atuadores pneumáticos são limitadas pelas máximas pressões e diâmetros disponíveis (30.000 N máximo valor usual), sendo que os custos para obtenção do ar comprimido crescem com o aumento da pressão de trabalho, limitando a aplicação industrial para até 12 bar na saída do compressor e de 6 a 8 bar no suprimento da válvula que alimenta o atuador, utilizando cilindro com no máximo 250mm de diâmetro.

As potências típicas estão na faixa de 0,01 a 25 kW. Em operações de fixação ou bloqueio, em que a atuação se dá com velocidade nula, a pneumática tem seu lado mais vantajoso, pois a força ou momento de parada pode ocorrer em grandes intervalos de tempo

sem problemas de superaquecimento ou dissipação de potência, sem a necessidade de criação de sistemas de segurança contra sobrecarga.

Na faixa de forças da ordem de até 3000 N, associadas a algum deslocamento com velocidades baixas é necessário avaliar se os atuadores elétricos não possuem vantagem sobre os pneumáticos.

Quanto a precisão de posicionamento dos atuadores associados a servoválvulas pneumáticas, sensores e controladores eletrônicos economicamente viáveis é possível atingir a repetibilidade de 0,01mm em cursos da ordem de 100 a 2000 mm, com velocidades de até 10m/s, conforme revista alemã O+P (*Olhydraulik und Pneumatik*, 2015), porém fabricantes como a Festo (2017), informa que sua linha atende até 0,2mm de repetibilidade.

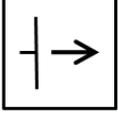
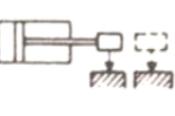
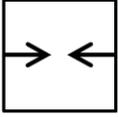
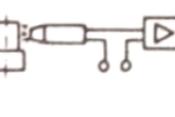
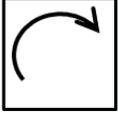
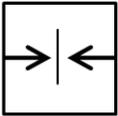
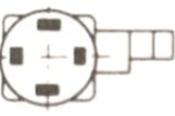
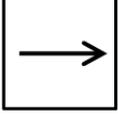
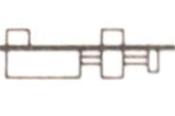
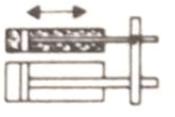
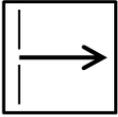
#### **2.4.2 Aplicação da pneumática na automação de processos**

As aplicações dos sistemas pneumáticos na automação industrial abrangem praticamente todas as atividades industriais conhecidas e segundo Bollmann (1997) desde os simples mecanismos para substituir a realização de tarefas manuais repetitivas, melhorando a produtividade do processo e a qualidade do produto, até os sistemas de manipulação e robôs nas células flexíveis tem encontrado boas soluções na pneumática.

A transição do trabalho manual para a produção plenamente automatizada ocorre através da automatização utilizando sistemas pneumáticos através da mecanização de tarefas manuais, sendo as sequências de tarefas integráveis a controladores eletrônicos (UNIDO, 1993).

Os dispositivos pneumáticos podem executar várias tarefas isoladas ou combinadas, como alimentar, posicionar, fixar, expulsar, separar, girar, contar, dosar, elevar, fixar, embutir, entre tantos outros, conforme Figura 20.

Figura 20 - Esquema de manipuladores de peças montados com atuadores pneumáticos

FUNÇÃO	SÍMBOLO	EXEMPLO DE PRINCÍPIO	ELEMENTO DA FUNÇÃO	VALORES DA FUNÇÃO
Armazenar			Multivibrador	Frequencia com cilindros de Ø12mm de êmbolo
Empilhar			Cilindros de dupla e simples ação	1 a 100 peças/minuto
Alimentar			Cilindros de dupla e simples ação	1 a 100 peças/minuto, velocidade de avanço 0,6m/min
Detectar posição			Sensor por contato e reflexão, além de barreira de ar	Até 15mm
Girar e bascular			Cilindro giratório	Intervalo de 0° a 180°
Sujeitar e fixar			Cilindro de dupla e simples ação, dispositivo de fixação e pinças	1 a 1000 mm e 10 a 25000 N
Transportar (movimento giratório)			Mesa giratória	Deslocamentos de 15°, 30°, 45°, 60°, 90° e 120°
Transportar (movimento linear)			Cilindro de simples e dupla ação	Deslocamento de 0 a 250mm e espessura de até 2 mm
Usinar			Unidades de avanço hidropneumático	Velocidade de avanço de 30 a 6000 mm/min
Expulsar (sopro)			Expulsor por impulso, cilindro de dupla e simples ação	Até 480 impulsos/min, 1 a 100 peças/min

Fonte: Adaptado pelo autor de Bollmann (1997)

## 2.5 Controladores lógicos programáveis (CLP) e interface homem máquina (IHM)

Automatizar um sistema tornou-se muito mais viável à medida que a eletrônica avançou e passou a dispor de circuitos capazes de realizar funções lógicas e aritméticas com os sinais de entrada e gerar respectivos sinais de saída. Com este avanço, o controlador, os sensores e os atuadores passaram a funcionar em conjunto, transformando o processo em um sistema automatizado, onde o próprio controlador toma decisões em função da situação dos sensores e aciona os atuadores (MEDEIROS et al., 2012; MAFRA et al., 2012).

Conforme Bollmann (1997), os CLP e os IHM são largamente utilizados na automação de equipamentos e/ou de processos em indústrias e/ou residências com a finalidade de supervisão, controle e interação, sendo que o componente realiza o processamento do sinal dos comandos binários, implementando as funções lógicas que interligam os sinais dos comandos binários, implementando as funções lógicas que interligam os sinais de entrada vindos dos elementos de sinal, com os sinais de saída que ocasionarão os elementos de comando e de trabalho, conforme exigências do projeto.

A função do CLP em um equipamento é de iniciar, executar o *firmware*, realizar a leitura dos sinais elétricos de entrada proveniente de sensores, executar o código com a lógica e o *software* desenvolvidos para a aplicação desejada na unidade de processamento do CLP o qual consiste em memória e processador. Então os dados processados são endereçados e encaminhados às saídas. Por fim ocorre o ciclo de varredura, que nada mais é que voltar a verificar os sinais de entrada e assim por diante até concretizar o novo ciclo, ressaltando que este ciclo ou *loop* é infinito, a não ser que haja interrupção a partir do usuário (ANTONELI, 2006).

O CLP é basicamente um computador que executa funções previamente programadas e salvas em sua memória. A função do CLP na automação consiste basicamente em dar um cérebro para um corpo mecânico e dali então dar vida para aquela máquina, dessa forma através da programação criada, o sistema irá executar todas as tarefas projetadas e inseridas na sua programação, fazendo assim com que o CLP tenha diversas aplicações, porém sempre com o mesmo objetivo (GEORGINI, 2009).

Fisicamente o CLP (conforme Figura 21), modelo S7-1200 da Siemens possui Fonte+CPU+I/O Digital+Rede em um único pacote, ainda é possível adicionar módulos de expansão ao CLP compacto. Os CLP's compactos são muito utilizados em máquinas de pequeno porte como elevadores, unidades hidráulicas e até mesmo para automação residencial

para realizar funções de temporização, contagem, comparação e diversas outras funções (SIEMENS, 2017).

Figura 21 - CLP modelo S7-1200 da Siemens



Fonte: Siemens (2017)

Dessa forma, para que as atividades sejam mais dinâmicas e a interação mais abrangente, sendo possível instalar uma IHM junto com o CLP sendo possível visualizar todos pontos de comandados do equipamento e qual status de cada um.

O IHM é uma tela que pode ser *touch* ou não, mas que vai possibilitar qualquer ser humano interagir com as funções e tarefas das máquinas através de qualquer tela que mostre janelas, ícones, informações fáceis de ser compreendidas e executadas, essas telas são as nossas IHM. Sabendo que o CLP é o responsável por transmitir as informações até o local a ser comandado, onde uma programação específica para essa tarefa será projetada e inserida na memória do CLP e toda vez que apertar determinado botão o CLP irá rodar/processar a programação *ladder* específica para aquela ação.

O diagrama *ladder* desenvolvido para o equipamento para municiamento automático de carregadores para pistola está no Apêndice E.

A simbologia na linguagem de programação *ladder* segue a padrões e normas internacionais, apesar de há uma pequena variação em alguns símbolos dentre os diferentes fabricantes, por isso não serão detalhados neste trabalho.

O IHM foi desenvolvido com o intuito de facilitar o acesso do usuário, ou seja, do homem diretamente com a máquina e de acordo com a Siemens (2017):

Estas interfaces abstraem o código de máquina que geralmente está em baixo nível, para um formato mais compreensível aos usuários traduzindo-o em forma de elementos gráficos e textuais e proporcionam uma solução que se adapta as necessidades específicas de visualização e apresentam um desempenho otimizado e funcional. Com diferentes tamanhos, telas *touch* e teclas de configuração adicionais, permitindo seleccionar o mais adequado, consoante as aplicações e espaço disponível no local de utilização.

Com o IHM (conforme Figura 22) é criada uma ponte entre homem-máquina, onde o primeiro pode inter relacionar-se com o segundo, que por sua vez recebe comandos que serão interpretados pela central de processamento resultando em um novo sinal de controle na saída.

Figura 22 - IHM Siemens modelo KP300



Fonte: Siemens (2017)

## 2.6 *Poka Yoke*

Muitas empresas ainda desenvolvem um amplo programa de controle de qualidade baseando em muitas inspeções, entretanto tudo o que inspeções podem fazer é achar defeitos e não prevení-los. *Poka Yoke* é uma técnica consagrada utilizada em diversas áreas, sendo que a técnica surgiu no Japão na década de 60 e foi idealizada por Shigeo Shingo (1988), que liderava a área industrial na Toyota.

Segundo Vidor e Saurin (2010), a utilização de *Poka Yokes* tem o objetivo de prevenir defeitos através da implantação de métodos, dispositivos, mecanismos ou procedimentos para

preservar a segurança das operações, prevenindo a ocorrência de defeitos, pois há como premissa que as falhas humanas são inevitáveis

Na Figura 23 estão alguns exemplos de *Poka Yoke*, além de sua função.

Figura 23 - Exemplos de *Poka Yoke*

	POKA YOKE DE CONTROLE	Utilizado para selecionar, identificar ou corrigir uma falha ou erro após um processamento
	POKA YOKE DE ADVERTÊNCIA	Utilizado para evitar a utilização ou processamento devido a existência de uma falha, ativando sinais luminosos ou sonoros para aviso
	POKA YOKE DE POSICIONAMENTO	Utilizado para permitir a realização da operação quando o produto ou ferramenta está posicionado corretamente
	POKA YOKE DE CONTATO	Usado para garantir a operação apenas após o contato por sensores que indicam a condição adequada para operação
	POKA YOKE DE CONTAGEM	Utilizado para contagem de produtos processados para garantir a conformidade do produto ou processo
	POKA YOKE DE COMPARAÇÃO	Utilizado para possibilitar a comparação de grandezas físicas, onde a continuidade da operação é interrompida quando há anormalidades.

Fonte: Adaptado pelo autor de Vidor e Saurin (2010)

Uma constatação realizada no estudo de Hinckley (2007) é de que o problema causado por erros humanos necessita de classificação pelo tipo de erro. De fato, diferentes tipos de erros humanos implicam em medidas preventivas com diferentes ênfases. Os *Poka Yokes* são fortemente indicados para detectar erros que ocorrem durante atividades rotineiras, em comportamentos automatizados dos operadores. Nessas situações os operadores não estão com a atenção focada na tarefa e, por definição, os *Poka Yokes* funcionam independentemente da atenção do operador (SAURIN et al., 2007).

## 2.7 Mecanismos

Equipamentos podem ser dotados de mecanismos que servem para carregar, descarregar, transferir, transportar, separar, dosar automaticamente peças para melhorar e eficiência e produtividade sem intervenção humana por certo período. Alguns exemplos de mecanismos podem ser vistos na Figura 24.

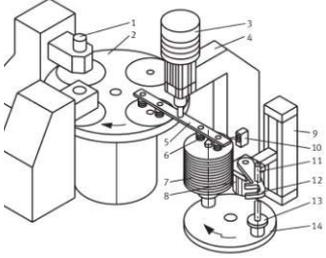
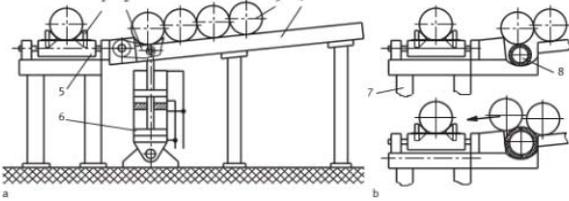
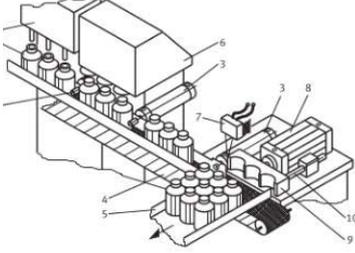
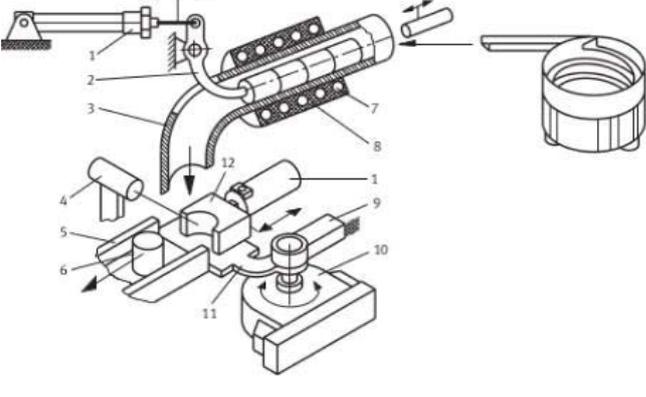
Figura 24 - Exemplos de soluções para mecanismos

	<p>Os armazenamentos são um complemento útil ao sistema de fluxo de material para fazer o desacoplamento das estações de trabalho ou máquinas. Também serve para aumentar a capacidade através de vários magazines paralelamente. Níveis para enchimento devem ser monitorados através de sensores, sendo os magazines ativados por meio de acionamentos pneumáticos de múltiplas posições (A) ou mesas giratórias pneumáticas (B).</p>
	<p>Os depósitos intermediários possuem a função de compensar a diferença dos ciclos das estações de trabalho, o depósito intermediário recebe material da esteira transportadora, fazendo armazenamento temporário e carregamento do equipamento através dos atuadores pneumáticos.</p>
	<p>Sensores são utilizados para orientar as peças posicionadas nos transportadores, a presença de cilindros de parada que executam o bloqueio das peças transportadas nos trechos de acúmulo. É possível abrir a passagem para deslocar uma ou várias peças por vez.</p>

Figura 24 - Exemplos de soluções para mecanismos (continuação)

	<p>Mecanismo para carga e descarga de peças cilíndricas, onde um elemento em formato V tem a função de recolher a peça da calha de entrada para realizar a carga e fixação da peça no equipamento. Após processada a peça cai na bandeja e é conduzida até a calha de saída para a unidade de armazenamento.</p>
	<p>Através de calhas as peças são transportadas de forma ordenada até a máquina. A geometria diferenciada do segmento de alimentação tornou possível realizar a operação com apenas um atuador. O movimento de descida compassado possibilita orientar as peças de forma que cheguem na posição correta na área de trabalho.</p>
	<p>Mecanismo utilizado para alimentar eixos de forma automática, onde o tamanho do carregador pode se adaptar ao comprimento das peças. Na saída do carregador há uma alavanca basculante para evitar o acúmulo de peças.</p>
	<p>Mecanismo para alimentar uma peça de cada vez, onde as peças avançam até que topam e permanecem nesta posição até que a placa basculante suba e separe a peça, que em seguida desliza até a rampa, ficando bloqueada as peças seguintes. A operação de separação é realizada por acionamento pneumático.</p>
	<p>Este mecanismo realiza a condição de controle e alimentação das peças, garantido através do avanço das mesmas através do acionamento do atuador pneumático</p>

Figura 24 - Exemplos de soluções para mecanismos (continuação)

	<p>O recolhimento e a alimentação das peças são realizados pelo braço giratório duplo, com o qual as duas operações podem ser efetuadas simultaneamente.</p>
	<p>Mecanismo com mesa inclinada onde as peças são bloqueadas pela alavanca distribuidora, que se encarrega de elevar a peça que poderá ser liberada para que a mesma chegue até o transportador.</p>
	<p>Este mecanismo é utilizado para mudar a direção das peças sobre esteiras de transporte. O empurrador avança ao receber o sinal do detector quando o grupo de três unidades está completo.</p>
	<p>Através de um alimentador vibratório as peças são orientadas e alimentadas no tubo de aquecimento, onde no momento em que a peça é alimentada a anterior sai e cai sobre o dispositivo localizador. Uma vez na posição mede-se a temperatura e se a mesma não está na temperatura correta, o atuador pneumático descarta a peça através da esteira. Se a temperatura está correta a arma é transferida até a máquina.</p>

Fonte: Adaptado pelo autor de Norton (2010)

Utilizando os conceitos dos mecanismos demonstrados na Figura 24, pode-se definir um projeto específico que garanta o municiamento automático em carregadores de diferentes geometrias e capacidades, através do projeto conceitual para atendimento das características funcionais pelo equipamento.

## 2.8 Pistola

As pistolas são classificadas por calibre, possuem diferentes capacidades de munição (depende da capacidade do carregador), podem utilizar munições diferentes, com o objetivo de aumentar o poder de impacto, perfuração ou dano interno no alvo. Geralmente as pistolas são semi-automáticas, onde disparam um projétil a cada compressão no gatilho pelo atirador, sendo que aproveitam a força expansiva dos gases, apenas para sua alimentação, recolocando outro cartucho na câmara, pronto para o disparo seguinte.

Na Figura 25 podem ser vistos os principais componentes de uma pistola.

Figura 25 - Pistola PT840 calibre .40 S&W



Fonte: Adaptado de Taurus, 2016

### 2.8.1 Carregador

O material utilizado na fabricação dos carregadores é o aço SAE 1020 e o acabamento superficial pode ser a oxidação negra ou o teflon.

Os carregadores para pistolas Taurus são basicamente de dois tipos, conforme Figura 26:

- Carregador monofilar – fabricado a partir de tubo de aço, onde os cartuchos ficam alinhados e assim possuem menor autonomia de tiro.

- Carregador bifilar – fabricado a partir de chapa estampada e soldada, devido a disposição assumida pelos cartuchos praticamente duplica a autonomia de tiro da arma.

Na Figura 26 também pode ser observado os componentes do conjunto carregador.

Figura 26 - Diferença entre carregadores monofilar e bifilar e seus componentes



Fonte: Adaptado de Taurus, 2016

Existem carregadores com diferentes capacidades para munição, porém cada modelo de pistola tem seu projeto de carregador específico.

No caso da pistola PT840 calibre .40 S&W da Taurus, os carregadores são do modelo bifilar com três diferentes capacidades de munição: 11, 15 e 16 munições, conforme Figura 27.

Figura 27 - Capacidade dos carregadores da PT840 – 11, 15 e 16 munições



Fonte: Adaptado de Taurus, 2016

Os desenhos dos diferentes carregadores que poderão ser municiados e seus respectivos calibres estão no Apêndice A.

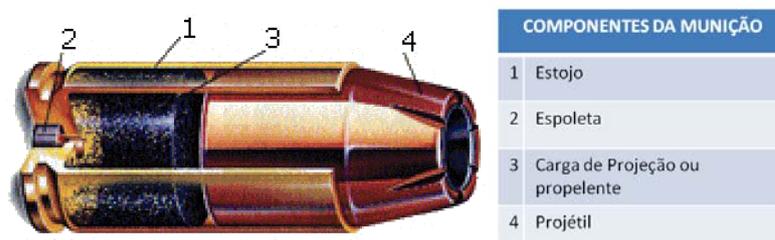
## 2.9 Munições

Existem vários tipos e aplicações para as munições, sendo que o foco será nas munições para pistola com alma do cano raiado e com percussão central.

Na Figura 28 pode ser observada uma munição e todos os seus componentes. O estojo é o tubo metálico oco que tem a função de unir mecanicamente todos os componentes da munição, tem formato apropriado para que a arma possa realizar suas diversas operações além do disparo. O estojo possui em seu interior a carga de projeção ou propelente e na boca do estojo é alojado o projétil, sendo que na sua base está alojado o elemento de iniciação que é a espoleta, nesta mesma extremidade possui uma aba chamada de culote.

O projétil é uma massa, em geral de liga de chumbo, que é arremessada à frente quando da detonação da espoleta e consequente queima do propelente. É a única parte do cartucho que passa pelo cano da arma e atinge o alvo.

Figura 28 - Componentes da munição



Fonte: Adaptado da Apostila Balística Forense da PMSC (2011)

Os desenhos das diferentes munições que poderão ser utilizadas no equipamento para muniamento de carregadores e seus respectivos calibres estão no Apêndice B.

## 2.10 Tipos de Municiadores

No mercado existem equipamentos para muniamento manuais e automáticos, onde os municiadores manuais, mesmo facilitando o muniamento, dependem da ação repetitiva do homem.

Os municionadores manuais para pistola são em polímero, normalmente ambidestros, servem para facilitar o municionamento em carregadores de pistolas, aumentando a velocidade de municionamento, servindo para os calibres .380, 9mm, .40 e .45. O municionador manual reduz o desgaste na borda de alimentação do carregador prolongando sua vida útil e elimina o desconforto e dor nos dedos do atirador causado pelo municionamento convencional. Na Figura 29 pode ser observada a posição para municionamento manual.

Figura 29 - Municionador manual



Fonte: Adaptado de *uplula magazine loader* (2016)

Também existem equipamentos que são fabricados pela empresa Primatic (2017) de Israel para municionamento de carregadores automáticos, porém específicos para carregadores de fuzil e para munição calibre 5.56. A quantidade de munição e a quantidade de carregadores podem ser ajustadas através do IHM do equipamento, que possui um sistema vibratório que posiciona a munição no sistema de municionamento, que por sua vez realiza o movimento de alimentação da munição no carregador, conforme Figura 30.

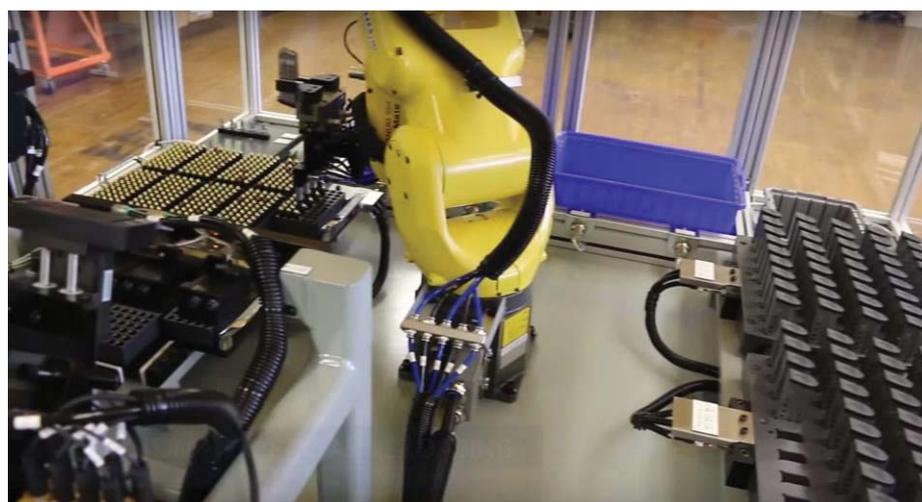
Figura 30 - Municiador automático



Fonte: Adaptado pelo autor de Primatic (2017)

Já os equipamentos para munição fabricados pela empresa JHRobotics (2017) dos EUA utilizam robôs para manipulação da munição e carregadores, integrados através de IHM e sistemas de fixação e pega pneumáticos, onde o robô simula o movimento realizado pela mão humana para realizar o munição, o equipamento é demonstrado na Figura 31.

Figura 31 - Municiador automático utilizando robô



Fonte: Adaptado pelo autor de JHRobotics (2017)

## 2.11 Ergonomia

Durante as últimas décadas, em quase todos os ramos do setor de produção e serviços tem sido feito um grande esforço para melhorar a qualidade e produtividade. Sendo que este processo de reestruturação mostrou que qualidade e produtividade estão ligadas às condições de trabalho.

Com este critério, a OIT aborda os diferentes grupos de conhecimentos e experiências, orientados em direção às características e às capacidades do operador que tem como objetivo o uso ótimo do recurso chamado trabalho humano, fazendo o trabalho mais ergonômico ou mais humano (OIT, 1997).

A IEA (2017), em agosto de 2006, adotou que:

A ergonomia (ou fatores humanos) é uma disciplina científica relacionada ao entendimento das interações entre os seres humanos e outros elementos ou sistemas, e à aplicação de teorias, princípios, dados métodos a projetos a fim de otimizar o bem estar humano e o desempenho global do sistema.

Segundo a *UNESCO* (2016) o enfoque global de ergonomia inclui o desenho das condições de trabalho determinadas por uma quantidade cada vez maior de processamento de informação e uma organização de trabalho em contínua evolução, sendo um enfoque interdisciplinar de investigadores e médicos buscando uma concepção moderna da saúde e da segurança no trabalho.

As Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho, também conhecidas como NRs, regulamentam e fornecem orientações sobre procedimentos obrigatórios relacionados à medicina e segurança no trabalho no Brasil. Como anexos da Consolidação das Leis do Trabalho, são de observância obrigatória por todas as empresas. A NR17 (2016) refere-se à ergonomia e visa estabelecer parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar um máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente.

Por sua vez, a palavra ergonomia deriva do grego *ergon*, que quer dizer trabalho e *nomos*, que significa norma. Trata-se de uma disciplina orientada para uma abordagem sistêmica de todos os aspectos da atividade humana (LUTTMANN et al., 2000).

Para darem conta da amplitude dessa dimensão e poderem intervir nas atividades do trabalho é preciso que os engenheiros tenham uma abordagem holística, tanto em seus aspectos físicos e cognitivos, como sociais, organizacionais e ambientais.

O ser humano é sumamente adaptável, porém sua capacidade de adaptação não é infinita, pois existem intervalos de condições ótimas para qualquer atividade. Uma das tarefas da ergonomia consiste em definir quais são estes intervalos e explorar os efeitos não desejados que serão produzidos, em caso de superar os limites. É evidente que as vantagens da ergonomia podem refletir-se de muitas maneiras diferentes: na produtividade e na qualidade, na segurança e na saúde, na confiabilidade e na satisfação com o trabalho e no desenvolvimento pessoal.

O objetivo básico da ergonomia é buscar a eficiência em qualquer atividade realizada com um propósito, eficiência no sentido de obter o resultado desejado sem desperdiçar recursos, sem erros e sem danos da pessoa envolvida. É garantir que o local de trabalho esteja em harmonia com as atividades que o trabalhador realiza.

Notou-se que existem diversas soluções para realização do municiação de carregadores para pistola, sendo estes manuais ou automáticos, com diferentes custos para municiar diferentes calibres de munição, cabendo ao engenheiro projetar produtos eficientes e seguros. Por esse motivo, pesquisas votadas às aplicações em produtos de engenharia buscam auxiliar os engenheiros em tomadas de decisões cada vez mais assertivas. Outro aspecto relevante da revisão bibliográfica é o fato de inúmeras empresas ao redor do mundo utilizarem equipamentos para municiação com diferentes configurações e capacidades. Portanto, o desenvolvimento de um equipamento capaz de realizar municiação em carregadores unifilares e bifilares, em diversos calibres é uma iniciativa inovadora, que pode trazer inúmeras vantagens competitivas para as empresas que buscam elaborar produtos mais eficientes e inovadores a fim de reduzir custos.

Uma metodologia de projeto deve auxiliar o engenheiro na elaboração, organização e nas tomadas de decisões durante toda a fase de projeto e, independentemente da metodologia adotada, ela é elaborada de forma sistemática por meio de fases.

### **3 PROJETO CONCEITUAL PARA EQUIPAMENTO DE MUNICIAMENTO**

O foco apresentado neste trabalho é voltado à metodologia para projeto e desenvolvimento de um equipamento para municiação de carregadores para pistola, que possui aplicação específica, sem fim comercial. Portanto questões ligadas ao mercado ou ao design do equipamento não são relevantes e por isso não serão abordadas neste trabalho.

A metodologia proposta por Pahl et al. (2005) foi utilizada para projeto e desenvolvimento deste trabalho e é dividida em quatro fases, sendo que este capítulo também foi assim dividido, buscando ênfase nos aspectos técnicos aplicados a cada uma das quatro fases, indicando especificamente a entrega de cada uma destas fases, onde a primeira fase está voltada à especificação do projeto, classificando cada uma das necessidades, tendo como entrega da primeira fase a lista de requisitos.

A partir da lista de requisitos teve início a segunda fase através da pesquisa e integração de recursos tecnológicos para mitigação de problemas, consequente desdobramento de todas as estruturas funcionais e da lista de soluções para cada subfunção do equipamento, com a finalidade de garantir o funcionamento da máquina. Assim a terceira fase tem início com o projeto preliminar para concepção da máquina para municiação de carregadores através da definição dos materiais, dimensões, acionamentos e funções auxiliares obedecendo a critérios técnicos e econômicos, através de detalhamento em 3D, assim facilitando o detalhamento de todo o projeto correspondente a quarta fase, encerrando com a construção do equipamento.

#### **3.1 Fase 1: Especificação do Projeto**

Como atividade inicial da especificação do projeto, foi elaborada a linha mestra (o que é essencial ao projeto), sendo por meio do atendimento de suas condicionantes que se podem cumprir os objetivos. A Figura 32 ilustra a linha mestra, baseada nas principais características encontradas em equipamentos semelhantes e nesta aplicação específica. Para cada uma de suas condicionantes, foram extraídos os requisitos para o projeto.

Figura 32 - Linha mestra do projeto do equipamento para municiar carregadores de pistola



Fonte: Autor, 2016

A lista de requisitos é a entrega da primeira fase e foi baseada na referência bibliográfica e na linha mestra, como pode ser visto na Tabela 2. A lista serve de referência durante todo o desenvolvimento, pois nela constam as principais características que o equipamento deve possuir, onde na primeira coluna estão os condicionantes da linha mestra, na segunda coluna encontra-se a classificação das características do produto analisadas em duas categorias: desejado (representado pela letra D) ou exigido (representado pela letra E), na terceira coluna está a lista de requisitos e a última coluna indica o responsável pela definição.

Tabela 2 - Lista de requisitos do projeto

Data: 24/03/2016		<b>Lista de Requisitos para Equipamento de Municciamento Automático para carregadores de pistolas</b>	Folha 1 Página 1
<b>LINHA MESTRA</b>	<b>D/E</b>	<b>REQUISITOS</b>	<b>RESPONSÁVEL</b>
<b>Tipos de Carregadores</b>	E	Realizar o municciamento em carregadores com diferentes comprimentos (capacidades de munição)	Cristiano
	D	Realizar o municciamento em carregadores de diversos calibres	Cristiano
	E	Realizar municciamento em carregador unifilar e bifilar	Cristiano
<b>Munição</b>	E	Realizar a orientação da munição	Cristiano
	E	Capacidade de armazenar no mínimo 2000 munições	Cristiano
	D	Realizar municciamento de diversos calibres de munição	Cristiano
<b>Produção e Montagem</b>	D	Utilizar pequena quantidade de peças	Cristiano
	D	Utilizar peças de pequenas dimensões	Cristiano
	D	Ser um equipamento modular	Cristiano
	E	Garantir projeto de componentes intercambiáveis, eliminando ajustes durante montagem	Cristiano
	D	Utilizar peças e processos de fabricação simples	Cristiano
<b>Ergonomia</b>	E	Atendimento durante a operação da NR17	Cristiano
<b>Manutenção</b>	D	Fácil acesso para manutenções	Cristiano
	D	Utilizar peças que possam ser facilmente repostas	Cristiano
<b>Controle</b>	E	Controlar quantidade de munições por carregador	Cristiano
	E	Controlar a quantidade de carregadores	Cristiano
<b>Segurança</b>	E	Atender aos requisitos da NR12	Cristiano
	E	Garantir segurança aos usuários	Cristiano
<b>Custo</b>	E	Buscar o menor custo que equipamentos importados similares	Cristiano

Fonte: Autor, 2016

### 3.2 Fase 2: Projeto Conceitual

Após esclarecimento do problema através da lista de requisitos previamente definida, a fase 2, buscou decidir se as informações estavam claras para realização da tarefa de projeto conceitual e assim estabelecer as principais características funcionais do equipamento.

Para buscar a solução preliminar foi preciso verificar se caminhos inovadores e práticos que possibilitam solução para os problemas são passíveis de implementação, além de

buscar a eliminação de idéias fixas e convencionais foi utilizada a abstração. A abstração busca a elaboração da estrutura de função através do conhecimento do geral e do principal, chegando ao ponto principal do problema.

Segundo Pahl et al. (2005), se a abstração for realizada de forma correta, a função global e as condicionantes principais que caracterizam a problemática são identificáveis, sem fixar um tipo particular de solução, sendo composta por cinco passos, conforme segue:

- 1° passo: deve-se suprimir vontades mentalmente;
- 2° passo: deve-se destacar apenas requisitos que afetam as funções principais;
- 3° passo: deve-se converter requisitos quantitativos em qualitativos;
- 4° passo: deve-se ampliar o que foi percebido;
- 5° passo: deve-se formular o problema de forma neutra relacionado diretamente com a solução.

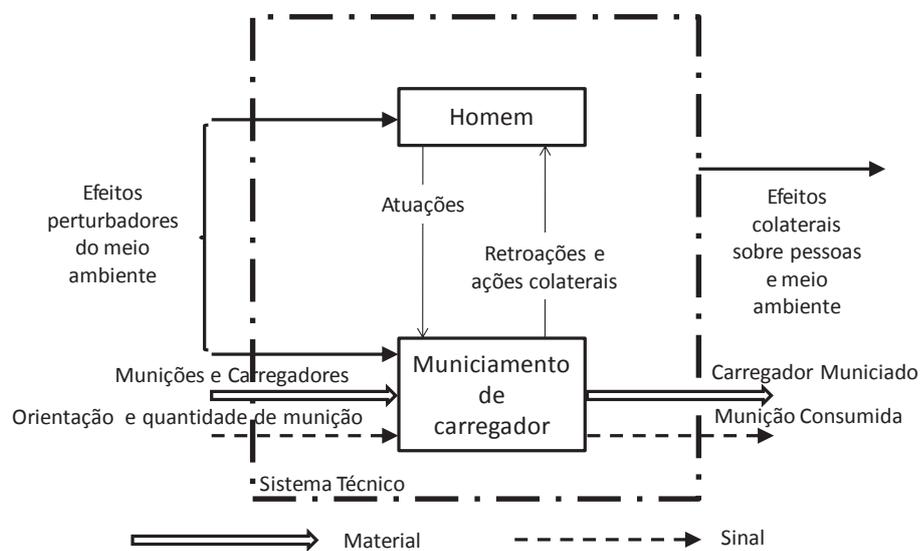
O processo de abstração está representado na Tabela 3.

Tabela 3 – Abstração

<p>Resultado da 1ª e 2ª etapas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar municiamento de carregadores bifilares;</li> <li>• Realizar o municiamento de carregadores monofilares;</li> <li>• Ter um curso para municiamento de carregadores com até 30 tiros;</li> <li>• Capacidade de municiar apenas uma munição;</li> <li>• Capacidade de municiar o carregador cheio;</li> <li>• Carregar no mínimo 2000 munições no equipamento;</li> <li>• Atendimento a norma NR12 (segurança no trabalho de máquinas e equipamentos);</li> <li>• Atendimento a norma NR17 (ergonomia);</li> <li>• Ter rigidez estrutural;</li> <li>• Projeto simples e modular;</li> <li>• Garantir projeto de componentes intercambiáveis, eliminando ajustes durante montagem.</li> </ul>
<p>Resultado da 3ª etapa</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diferentes tipos de carregadores;</li> <li>• Diferentes tamanhos carregadores;</li> <li>• Projeto de equipamento modular atendendo as normas de segurança e ergonomia;</li> <li>• Precisão no controle do número de munições.</li> </ul>
<p>Resultado da 4ª etapa</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formas diferentes de carregadores;</li> <li>• Atendimento as normas regulamentadoras para projeto modular de equipamento;</li> <li>• Precisão funcional.</li> </ul>
<p>Resultado da 5ª etapa</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Garantir municiamento automático e ajustável de munições em carregadores de diferentes geometrias e capacidades através da construção de um equipamento preciso e modular que atenda à legislação quanto a normas regulamentadoras para construção e operação.</li> </ul>

A elaboração de estrutura de função global foi realizada com foco nas principais funções do equipamento, com base na abstração, sendo as variáveis de entrada a munição e o carregador, o sinal de controle referente a orientação das munições e a quantidade de munições por carregador. Já a função principal será o municiação dos carregadores. A variável de saída será o carregador municiado, já o sinal de saída será a munição consumida, onde na Figura 33 pode ser observada a função global do projeto, incluindo a participação do homem.

Figura 33 - Função global do projeto da máquina de municiação com a participação do homem



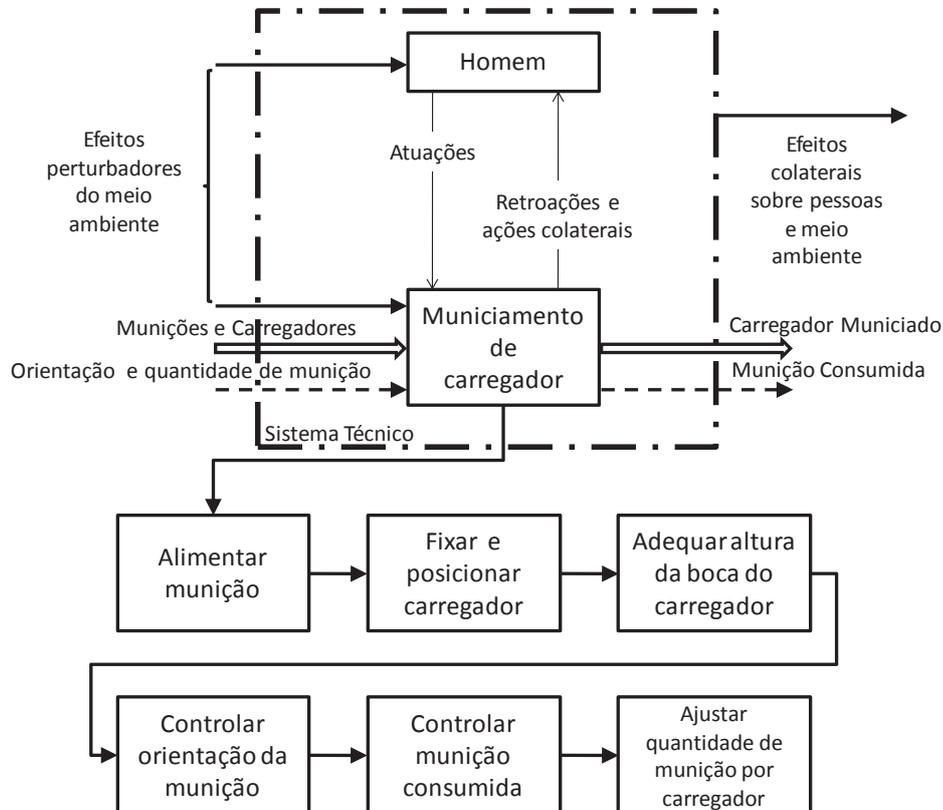
Fonte: Autor, 2016

Para a realização de uma lista de conceitos possíveis é necessário que a função principal seja desdobrada em subfunções primárias e secundárias, onde foram definidas, conforme Figura 34, seis subfunções ou operações básicas para garantir o correto funcionamento do equipamento, conforme definido na lista de requisitos:

- Alimentar munição;
- Fixar e posicionar carregador;
- Adequar altura da boca do carregador;
- Controlar orientação da munição;
- Controlar munição consumida;
- Ajustar quantidade de munição por carregador.

Esse desdobramento foi definido e será considerado para os diferentes tipos de munições e carregadores que serão municados.

Figura 34 - Estrutura de funções



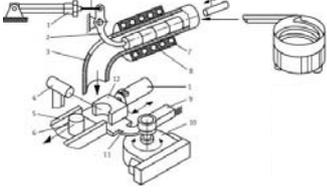
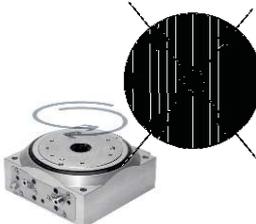
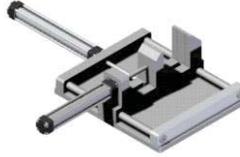
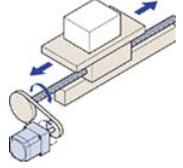
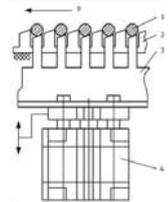
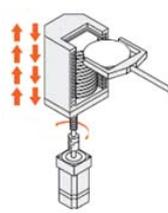
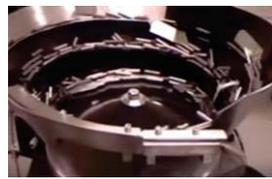
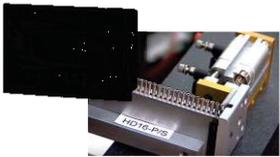
Fonte: Autor, 2016

Com a finalidade de atender a função global do sistema/equipamento foi necessário a busca de soluções compatíveis entre todas as subfunções estimadas.

Conforme indicado por Pahl et al. (2005), para estrutura de funções simplificada é útil conceber mentalmente uma primeira estrutura de funcionamento ou solução preliminar sem prefixar o tipo de solução, assim posteriormente iniciou a pesquisa de pelo menos duas opções de solução para o problema, as quais deverão funcionar para o cumprimento da tarefa.

Na Tabela 4 estão listadas as seis subfunções e as opções consideradas como possíveis soluções, que devem ser compatíveis, pois é um critério importante da metodologia de projeto para garantir o melhor funcionamento do equipamento para municamento automático de carregadores para pistola.

Tabela 4 - Lista de concepções alternativas

		CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS		
FUNÇÃO/ COMPONENTE		SOLUÇÃO		
		A	B	C
1	Alimentar munição	 Manipulador	 Mecanismo de alimentação	 robô
2	Fixar e posicionar carregador	 Mesa rotativa indexada	 Fixação pneumática e posicionador pneumático	 Servo motor/fuso de esfera e relação por correia
3	Adequar altura da boca do carregador	 Manipulador para encaixar os carregadores	 Ajuste por servo motor	
4	Controlar orientação da munição	 Câmera/sensor + descarte por sopro	 Orientação através de réguas nas painéis vibratórias	
5	Controlar munição consumida	 IHM + sensor	 Software + sensor	
6	Ajustar quantidade de munição por carregador	 IHM + dosador pneumático	 Software + dosador pneumático	

Na sequência será explanado sobre cada uma das soluções propostas para cada subfunção, conforme segue:

- **Alimentar munição:** foram encontradas três opções para alimentação da munição, sendo o manipulador eletropneumático, bacia vibratória ou um robô, baseando-se no *benchmarking* realizado através dos equipamentos existentes no mercado;

- Fixar e posicionar carregador: também surgiram três opções para solução, sendo uma das opções uma mesa rotativa pneumática com seis posições de parada a cada 60°, a segunda opção foi uma mesa para fixação e posicionamento através de cilindros pneumáticos e a terceira opção foi o desenvolvimento de um posicionador acionado por servomotor e fuso de esfera com transmissão por correia;

- **Adequar altura da boca do carregador:** utilizar um manipulador para encaixar os carregadores que irá compensar a diferença de comprimento, além do deslocamento lateral dos carregadores, devido a sua capacidade de munições ou um posicionador acionado por servomotor e fuso de esfera com transmissão por correia;

- **Controlar orientação da munição:** como primeira opção pode ser utilizado uma câmera para detecção se a munição está na posição correta. Caso a munição não esteja na posição correta é emitido um sinal para um pressostato que libera um sopro que realizará o descarte da munição que esta fora da posição correta para alimentação no carregador, outra possível solução é a orientação de munições através de régua adaptadas na panela vibratória para posicionar a munição para alimentação no carregador;

- **Controlar munição consumida:** pode ser utilizado um sensor detectivo que envia um sinal para um IHM (interface homem máquina) com CLP (controlador lógico programável) incorporado, que deve ser programado para esta aplicação, sendo outra opção de solução o controle através de um computador com software desenvolvido especificamente para a aplicação de contagem de munições através do recebimento do sinal advindo de um sensor detectivo.

- **Ajustar quantidade de munição por carregador:** também podemos utilizar o IHM com CLP incorporado para programar a inclusão de um campo para o operador informar a quantidade de munições que deverão ser muniçadas em cada carregador, onde um dosador composto por um cilindro pneumático é acionado quando a quantidade de munições ajustadas no CLP é atingida. Outra opção é a utilização de um computador com software desenvolvido especificamente para a aplicação, com o mesmo princípio de programação do CLP.

Após definidas as possíveis soluções para cada uma das subfunções, as mesmas foram combinadas para a busca pela solução para a função global do equipamento para municiamento automático de carregadores para pistola, onde o maior desafio foi a identificação da compatibilidade entre as soluções a serem interligadas, isento de interferências e colisões entre os sistemas mecânicos e eletrônicos. Outro ponto importante levado em consideração foi quanto à seleção de possíveis soluções considerando aspectos mais vantajosos do ponto de vista técnico e econômico, sendo que as combinações das soluções relacionadas com as concepções alternativas foram tabuladas na Tabela 5.

Tabela 5 - Combinação dos princípios de solução

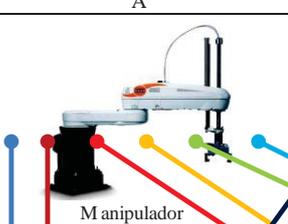
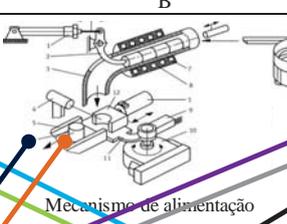
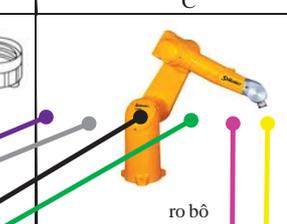
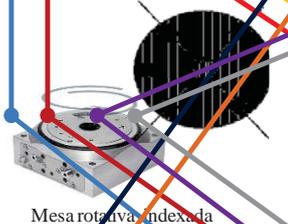
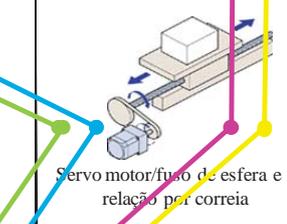
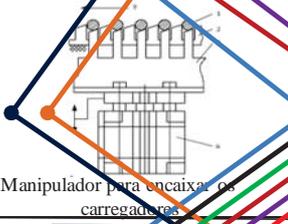
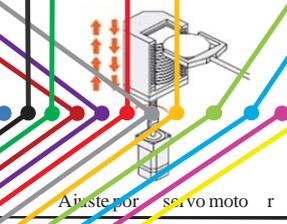
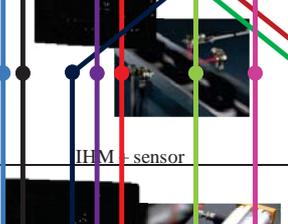
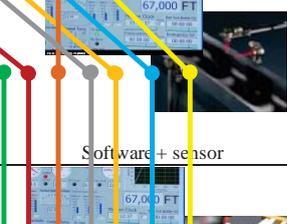
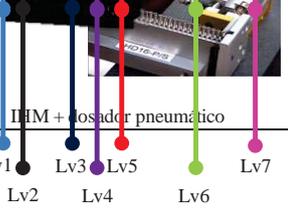
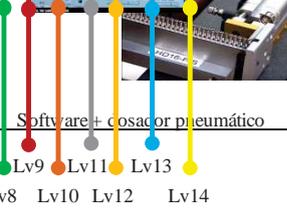
COMBINAÇÕES DE SOLUÇÃO	CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS					
	1A	2A	3B	4A	5A	6A
Lv1	1A	2A	3B	4A	5A	6A
Lv2	1C	2B	3B	4A	5A	6A
Lv3	1B		3A	4B	5A	6A
Lv4	1C	2A	3B	4A	5A	6A
Lv5	1A	2B	3B	4A	5A	6A
Lv6	1A	2C	3B	4A	5A	6A
Lv7	1C	2C	3B	4A	5A	6A
Lv8	1C	2B	3B	4A	5B	6B
Lv9	1A	2A	3B	4A	5B	6B
Lv10	1B		3A	4B	5B	6B
Lv11	1C	2A	3B	4A	5B	6B
Lv12	1A	2B	3B	4A	5B	6B
Lv13	1A	2C	3B	4A	5B	6B
Lv14	1C	2C	3B	4A	5B	6B

Fonte: Autor, 2016

Algumas possíveis soluções foram otimizadas, pois certas soluções combinadas viabilizam a solução para duas subfunções, como é o caso da bacia vibratória que pode alimentar e controlar a orientação da munição, sendo uma solução mais eficiente e com menor custo para instalação e operação.

Através de quatorze combinações de soluções possíveis, com alguma apresentando concepções semelhantes que visam a solução para execução da função proposta pelo equipamento, que é realizar o municiamento de carregadores para pistola, sendo as mesmas combinações expostas na Tabela 6.

Tabela 6 - Lista de concepções com alternativas

		CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS		
FUNÇÃO/ COMPONENTE		SOLUÇÃO		
		A	B	C
1	Alimentar munição	 Manipulador	 Mecanismo de alimentação	 robô
2	Fixar e posicionar carregador	 Mesa rotativa indexada	 Fixação pneumática e posicionador pneumático	 Servo motor/fuso de esfera e relação por correia
3	Adequar altura da boca do carregador	 Manipulador para encaixar os carregadores	 Ajuste por servo motor	
4	Controlar orientação da munição	 Câmera/sensor e descarte por sopro	 Orientação através de régua nas painéis vibratórias	
5	Controlar munição consumida	 IHM + sensor	 Software + sensor	
6	Ajustar quantidade de munição por carragador	 IHM + dosador pneumático	 Software + dosador pneumático	

● Lv1   
 ● Lv2   
 ● Lv3   
 ● Lv4   
 ● Lv5   
 ● Lv6   
 ● Lv7   
 ● Lv8   
 ● Lv9   
 ● Lv10   
 ● Lv11   
 ● Lv12   
 ● Lv13   
 ● Lv14

Fonte: Autor, 2016

Para eliminar as soluções não realizáveis na prática foi necessário buscar uma estrutura vantajosa através da escolha das concepções alternativas de cada subfunção que combinadas viabilizam a construção do equipamento para municiamento, estando compilada na lista de seleção qualitativa das variantes da combinação da solução na Tabela 7.

O número de variantes de solução global é elevado, sendo assim, as concepções menos importantes foram descartadas através da lista de seleção (Tabela 7), que é uma análise crítica, portanto qualitativa das variantes.

A lista de seleção da Tabela 7 serve para auxiliar no descarte das soluções que não atenderem aos critérios essenciais da função global ou a algum critério específico. O sinal positivo (+) indica que o desenvolvimento pode continuar, pois a solução atendeu ao requisito, já o sinal negativo (-) indica que a solução não é eficaz, sendo necessário eliminar a mesma.

Assim apenas duas soluções atenderam aos requisitos listados, apresentando sinal positivo quanto aos critérios de avaliação adotados na Tabela 7, sendo que as duas soluções se diferenciam pelo sistema de controle, sendo que a solução Lv3 utiliza o IHM e a solução Lv10 utiliza um software específico para controle geral do equipamento.

A avaliação numérica para comparação entre as duas soluções (Lv3 e Lv10) propostas não pode se basear em aspectos pontuais específicos como custo, ergonomia ou meio ambiente, sendo as mesmas avaliadas através de uma análise numérica técnico-econômica de acordo com a diretriz VDI2225. Os critérios e pesos adotados são suposições e estão baseados, principalmente, na lista de requisitos do projeto e em requisitos intuitivos.

Para definir a melhor concepção entre a solução Lv3 e a solução Lv10 é necessário vincular um peso para cada característica desejada, onde o peso deve ser maior para aqueles atributos com maior relevância para a concepção final do equipamento.

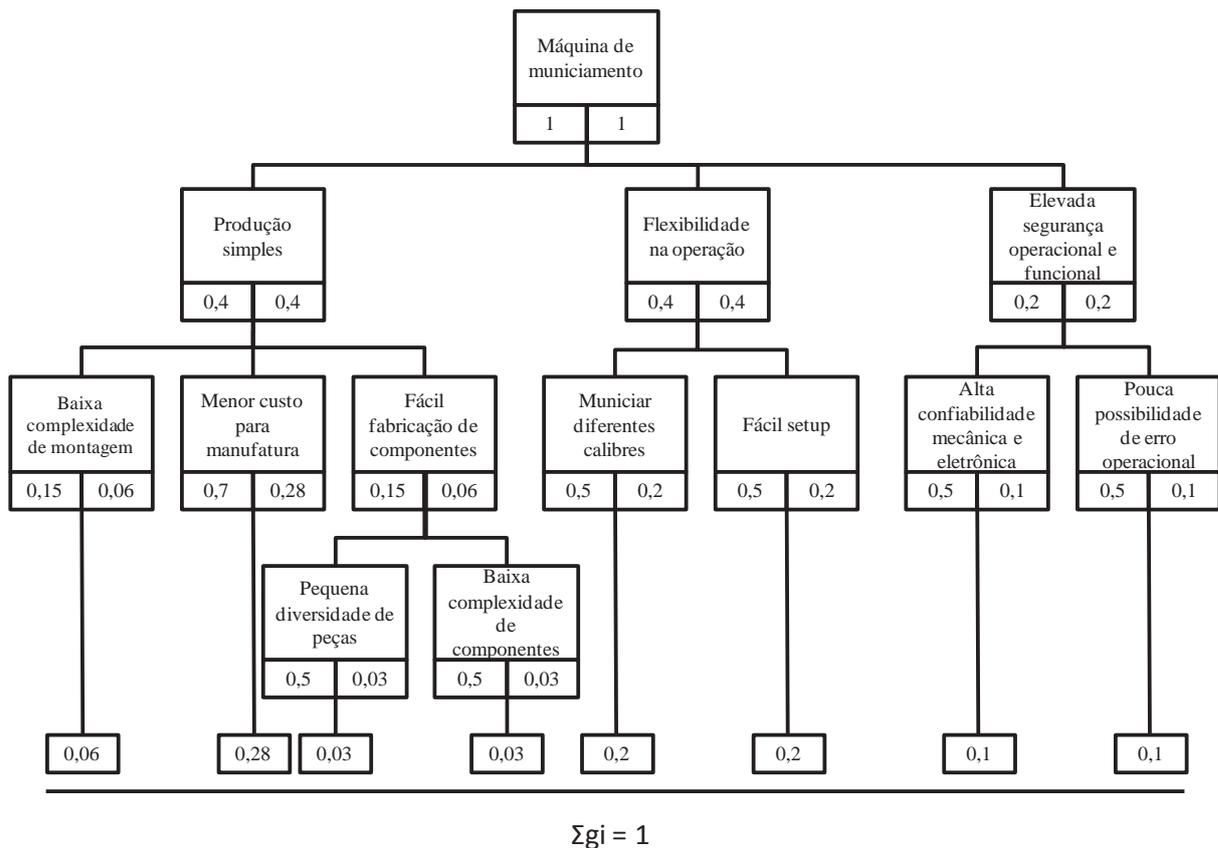
Tabela 7 - Lista de seleção com quatorze combinações

Lista de Seleção das Variantes de Solução					Folha 1/ Pág. 1	
Projeto: Equipamento para municiação automática de carregadores para pistolas						
LV variantes da solução	Simbologia dos critérios de avaliação				Decidir	
	(+) Sim				Simbologia:	
	(-) Não				(+) Continuar desenvolvimento	
	(?) Faltam informações				(-) Eliminar solução	
	(!) Verificar lista de requisitos				(?) Reavaliar solução	
	Atende a lista de requisitos				(!) Verificar lista de requisitos	
	Flexibilidade nos testes					
	Realizáveis em Princípio					
	Tem funcionalidade					
	Observações/Sugestões/ Justificativas/Impacto				Decisão	
Lv1	+	+	+	-	Sensor apenas detectivo quanto a orientação da munição	-
Lv2	-	-	+	-	Custo elevado similar a equipamentos importados em função do robô, além do elevado tempo de ajuste. Sistema pneumático para posicionador/fixar com pouca precisão e flexibilidade. Sensor apenas detectivo quanto a orientação da munição	-
<b>Lv3</b>	+	+	+	+		+
Lv4	-	+	+	-	Custo elevado similar a equipamentos importados em função do robô, além do elevado tempo de ajuste. Sensor apenas detectivo quanto a orientação da munição	-
Lv5	-	-	+	-	Sistema pneumático para posicionador/fixar com pouca precisão e flexibilidade. Sensor apenas detectivo quanto a orientação da munição	-
Lv6	+	+	+	-	Sensor apenas detectivo quanto a orientação da munição	-
Lv7	+	+	+	-	Custo elevado similar a equipamentos importados em função do robô. Sensor apenas detectivo quanto a orientação da munição	-
Lv8	-	-	+	-	Custo elevado similar a equipamentos importados em função do robô, além do elevado tempo de ajuste. Sistema pneumático para posicionador/fixar com pouca precisão e flexibilidade. Sensor apenas detectivo quanto a orientação da munição	-
Lv9	+	+	+	-	Sensor apenas detectivo quanto a orientação da munição	-
<b>Lv10</b>	+	+	+	+		+
Lv11	-	+	+	-	Custo elevado similar a equipamentos importados em função do robô, além do elevado tempo de ajuste. Sensor apenas detectivo quanto a orientação da munição	-
Lv12	-	-	+	-	Sistema pneumático para posicionador/fixar com pouca precisão e flexibilidade. Sensor apenas detectivo quanto a orientação da munição	-
Lv13	+	+	+	-	Sensor apenas detectivo quanto a orientação da munição	-
Lv14	-	+	+	-	Custo elevado similar a equipamentos importados em função do robô, além do elevado tempo de ajuste. Sensor apenas detectivo quanto a orientação da munição	-

Fonte: Autor, 2016

Seguindo a metodologia proposta por Pahl et al. (2005), a soma final de cada peso deve ser igual a 1, sendo oito os objetivos mais relevantes do projeto: pequena diversidade de peças, baixa complexidade dos componentes, baixa complexidade de montagem, menor custo para manufatura, possibilidade de municiar diferentes calibres, fácil setup, alta confiabilidade mecânica/eletrônica, pouca possibilidade de erros operacionais (conforme Figura 35).

Figura 35 - Árvore de requisitos



Fonte: Autor, 2017

Cada um dos oito objetivos mais relevantes do equipamento possui um peso para concepção do equipamento, sendo que as concepções devem ser avaliadas quantitativamente. Porém é necessário relacionar critérios qualitativos e quantitativos. Essa relação pode ser realizada por dois métodos distintos: a análise de pontos ou as diretrizes da VDI2225. A Tabela 8 demonstra os critérios de avaliação adotados para quantificar a funcionalidade teórica dos oito objetivos mais relevantes do equipamento.

A funcionalidade foi avaliada através de cada variante para cada um dos oito objetivos ilustrados na Figura 35, onde a avaliação foi baseada na Tabela 8, utilizando como referência

as diretrizes de valores adotados pelas diretrizes da VDI2225, onde cada escala de valores varia de zero (0) a quatro (4) pontos, sendo zero (0) o valor mínimo e insatisfatório e quatro (4) o valor máximo, um valor ótimo.

Tabela 8 - Critérios de avaliação da solução

Escala de valores		Magnitude dos parâmetros							
Análise de valor Pontos	VDI 2225 Pontos	Baixa complexidade de montagem	Menor custo para manufatura	Pequena diversidade de peças	Baixa complexidade de componentes	Municar diferentes calibres	Fácil Setup	Alta confiabilidade mecânica e eletrônica	Pouca possibilidade de erro operacional
0	0	Muito Alta	Muito Alto	Péssima	Muito Alta	Muito Ruim	Muito Ruim	Muito Ruim	Muito Alta
1									
2	1	Alta	Alto	Ruim	Alta	Ruim	Ruim	Ruim	Alta
3									
4	2	Regular	Regular	Regular	Regular	Regula	Regula	Regula	Regular
5									
6	3	Baixa	Baixo	Boa	Baixa	Boa	Boa	Boa	Baixa
7									
8	4	Muito Baixa	Muito Baixo	Muito Boa	Muito Baixa	Muito Boa	Muito Boa	Muito Boa	Muito Baixa
9									
10									

Fonte: Autor, 2017

A Tabela 9 apresenta a avaliação da solução global, utilizando a Equação 1 e a ponderação global, utilizando a Equação 2, apresentando também a análise quantitativa das duas variantes (solução Lv3 e a solução Lv10), através da adoção dos pesos conforme Figura 35 e as notas da Tabela 8.

$$Gw_j = \sum_{i=1}^n w g_{ij} \quad (1)$$

$$Gwg_j = \sum_{i=1}^i g^i . w_{ij} \quad (2)$$

Tabela 9 - Avaliação das duas variantes Lv3 e Lv10

Critérios de avaliação			Parâmetro		Variante 3			Variante 10		
Nr.	Características	Fator	Nome	-	Propriedad e (ei3)	Valor (Wi3)	Valor ponderado (wg3)	Propriedade (ei10)	Valor (Wi10)	Valor ponderado (wg10)
1	Baixa complexidade de montagem	0,06	Facilidade para montagem	-	Baixa	3	0,18	Baixa	3	0,18
2	Menor custo para manufatura	0,28	Custo de produção	-	Baixo	3	0,84	Regular	2	0,56
3	Pequena diversidade de peças	0,03	Diversidade de componentes	-	Boa	3	0,09	Boa	3	0,09
4	Baixa complexidade de componentes	0,03	Facilidade de fabricação	-	Baixa	3	0,09	Regular	2	0,06
5	Municar diferentes calibres	0,2	Flexibilidade	-	Boa	3	0,6	Boa	3	0,6
6	Fácil Setup	0,2	Setup simples	-	Boa	3	0,6	Boa	3	0,6
7	Alta confiabilidade mecânica e eletrônica	0,1	Segurança mecânica e eletrônica esperadas	-	Muito Boa	4	0,4	Regular	2	0,2
8	Pouca possibilidade de erro operacional	0,1	Possibilidade de erros operacionais	-	Baixa	3	0,3	Regular	2	0,2
	$\sum gi =$	1				$G_{W3} = 25$	$G_{Wg3} = 3,1$		$G_{W10} = 20$	$G_{Wg10} = 2,49$

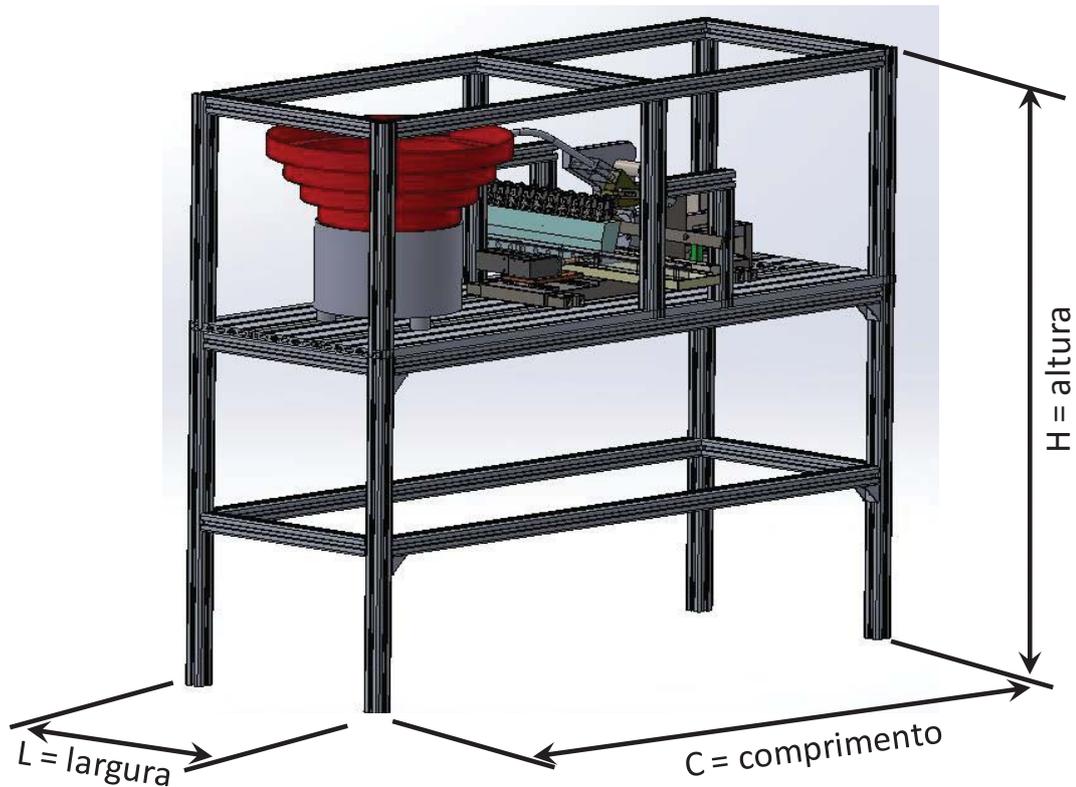
Fonte: Autor,2017

Através da compilação dos dados numéricos na Tabela 9 chega-se à conclusão de que a concepção da variante três melhor satisfaz as características desejadas como solução para o projeto, sendo que a concepção da variante dez, quando comparada com a concepção da variante três apresenta as seguintes desvantagens:

- Maior custo;
- Maior complexidade;
- Menor confiabilidade;
- Maior possibilidade de erro.

Assim o equipamento utilizará a solução Lv3 (conforme Figura 36), sendo que o IHM será a interface de controle e comunicação entre o equipamento e o operador.

Figura 36 - Concepção da variante Lv3



Fonte: Autor, 2016

### 3.3 Fase 3: Projeto Preliminar ou Anteprojeto

Na terceira fase correspondente ao anteprojeto, a concepção da variante correspondente a solução Lv3 deve ser completamente detalhada a partir das funções principais e auxiliares devendo chegar à solução global, utilizando modelamento tridimensional do equipamento, simulando diferentes concepções que auxiliaram na visualização do projeto como um todo, permitindo a realização de uma solução menos complexa, por consequência com menor custo e com o menor número de componentes.

Para iniciar o detalhamento da concepção do equipamento para municiamento de carregadores para pistola devem ser apontados quais os itens da lista de requisitos são determinantes para a concepção final do projeto do equipamento. Através da lista de requisitos, os itens determinantes para o atendimento de todas as funções desejadas são:

- Produção simples – Optar por peças de pequenas dimensões com a finalidade de facilitar a fabricação e manuseio dos componentes, que podem ser fabricados e/ou encontrados facilmente em indústrias metalúrgicas e/ou através de catálogos por serem materiais padronizados (o custo é significativamente menor do que componentes especiais), buscando redução de custo para não inviabilizar a construção do equipamento;
- Flexibilidade na operação - possibilitando o municionamento de diferentes calibres de munição e que o setup seja fácil de ser realizado;
- Elevada segurança funcional e operacional – utilizando equipamentos que garantam alta confiabilidade mecânica e eletrônica, além de um sistema integrado que atenda as normas regulamentadoras de ergonomia (NR-17) e de segurança (NR-12) visando a segurança do trabalhador durante a manutenção e operação do equipamento.

As dimensões básicas do equipamento foram determinadas, conforme Apêndice C, onde pode ser observada a solução mecânica para o equipamento, levando em conta a lista de requisitos. As medidas referentes a largura, altura e comprimento do equipamento estão baseadas em máquinas semelhantes utilizadas para realizar o municionamento de carregadores, conforme consta na revisão bibliográfica.

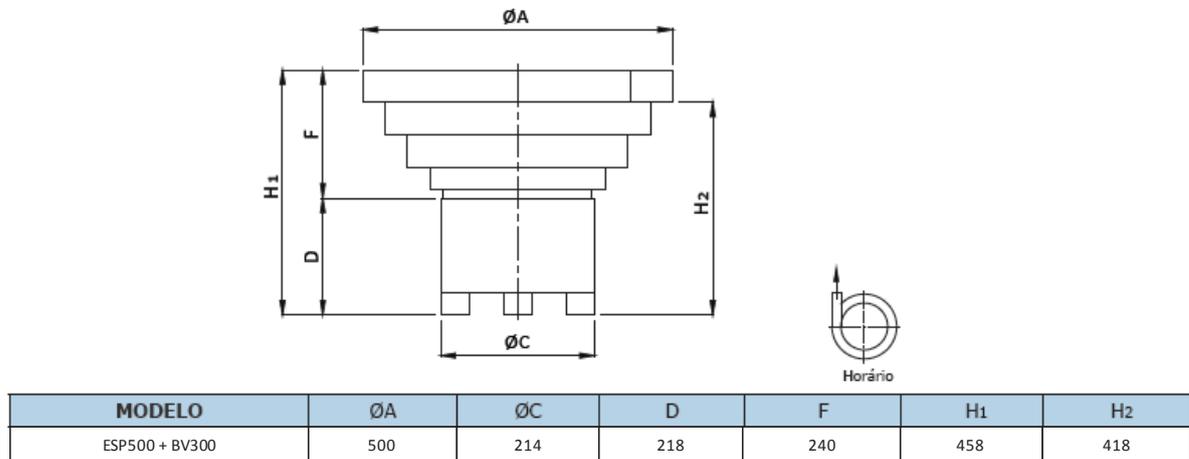
A modularização foi priorizada, além de garantir a intercambiabilidade de componentes eliminando ajustes na montagem do equipamento, muito em função da baixa complexidade das peças utilizadas no projeto, além da adoção de poucas peças para construção do equipamento.

O ponto de partida para o projeto foi a definição da bacia vibratória, onde o fator custo definiu o fornecedor (da marca Autec), onde a mesma deveria comportar no mínimo 2.000 munições, além de realizar a orientação da munição em sentido horário em função do mecanismo de municionamento, que deslocará os carregadores da direita para a esquerda (referencia ao ponto de operação). A bacia vibratória selecionada foi a do modelo ESP500 + BV300, conforme Figura 37.

A altura para operação foi estipulada em 1.100 mm (local de carregamento do suporte do carregador), que leva em conta o conforto do operador para realizar a carga e descarga dos carregadores e baseia-se na NR-17, como mecanismo de municionamento de carregadores (Figura 38) tem altura menor que a bacia vibratória (450 mm de altura), sendo a altura do

equipamento (H) estipulada em 1.300 mm, possuindo uma abertura superior sobre a bacia vibratória para carregamento de munições durante a operação do equipamento.

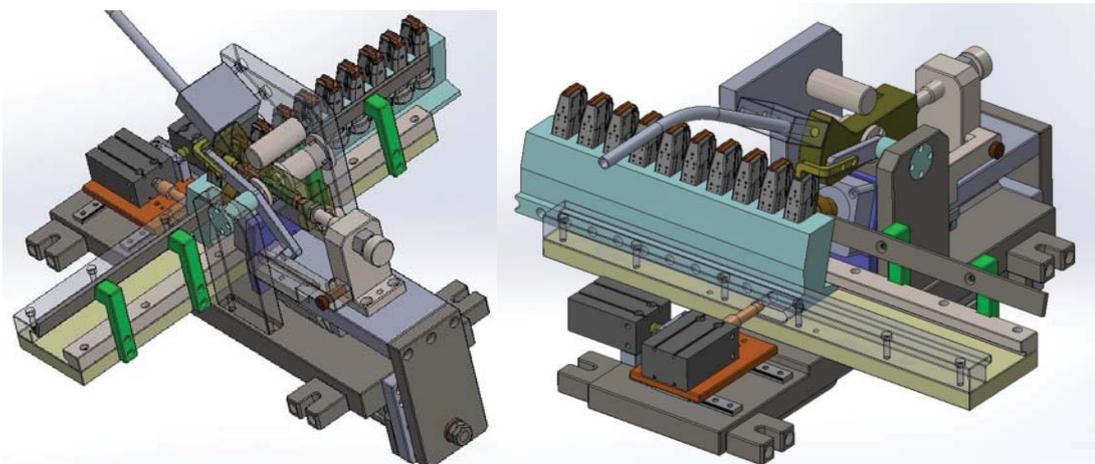
Figura 37 - Bacia vibratória



Fonte: Adaptado pelo autor de Autec, 2017

O comprimento (C) de 1.500 mm está relacionado com o diâmetro da bacia vibratória (Ø500 mm) e do mecanismo para municionamento, já a largura (L) máxima de 540 mm está também relacionada ao diâmetro da bacia vibratória (Ø500 mm). Questões intuitivas de projeto também foram utilizadas na determinação das medidas, como na estrutura modular em perfil de alumínio 40 x 40 mm comercial, conforme Figura 36.

Figura 38 - Detalhamento do mecanismo de municionamento



Fonte: Autor, 2016

Outra função importante da bacia vibratória é garantir a orientação da munição a fim de garantir o correto municionamento da mesma no carregador, por isso a bacias vibratória possuem um sistema de calhas ou réguas (Figura 39) que orientam a munição utilizando como referência o culote da munição.

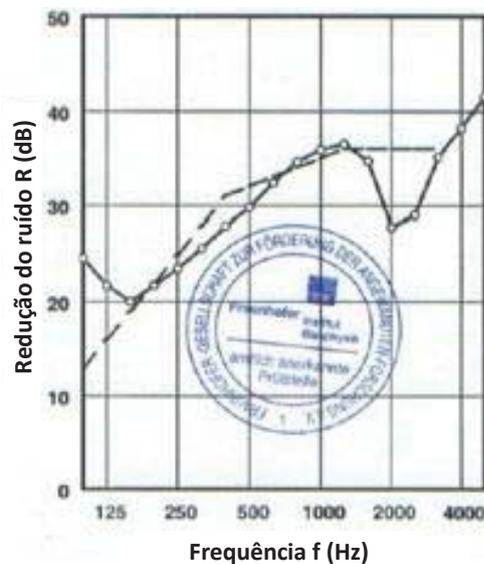
Figura 39 - Calhas de orientação na bacia vibratória



Fonte: Adaptado pelo autor, 2017

A área da bacia vibratória ficou enclausurada por chapas de acrílico com espessura de 15 mm, a fim de reduzir o ruído produzido pela movimentação da munição no interior da bacia vibratória. É possível observar na Figura 40 o índice de redução de ruído em função da frequência ao utilizar a chapa de 15 mm de espessura, certificado pelo instituto *Fraunhofer Institut Bauphysik* de acordo com a norma DIN EN 20 140-3, garantindo o nível de ruído de 82 dB com o equipamento em funcionamento, menor que o especificado na NR-15 que é de no máximo 85 dB (para período contínuo de 8hs de exposição).

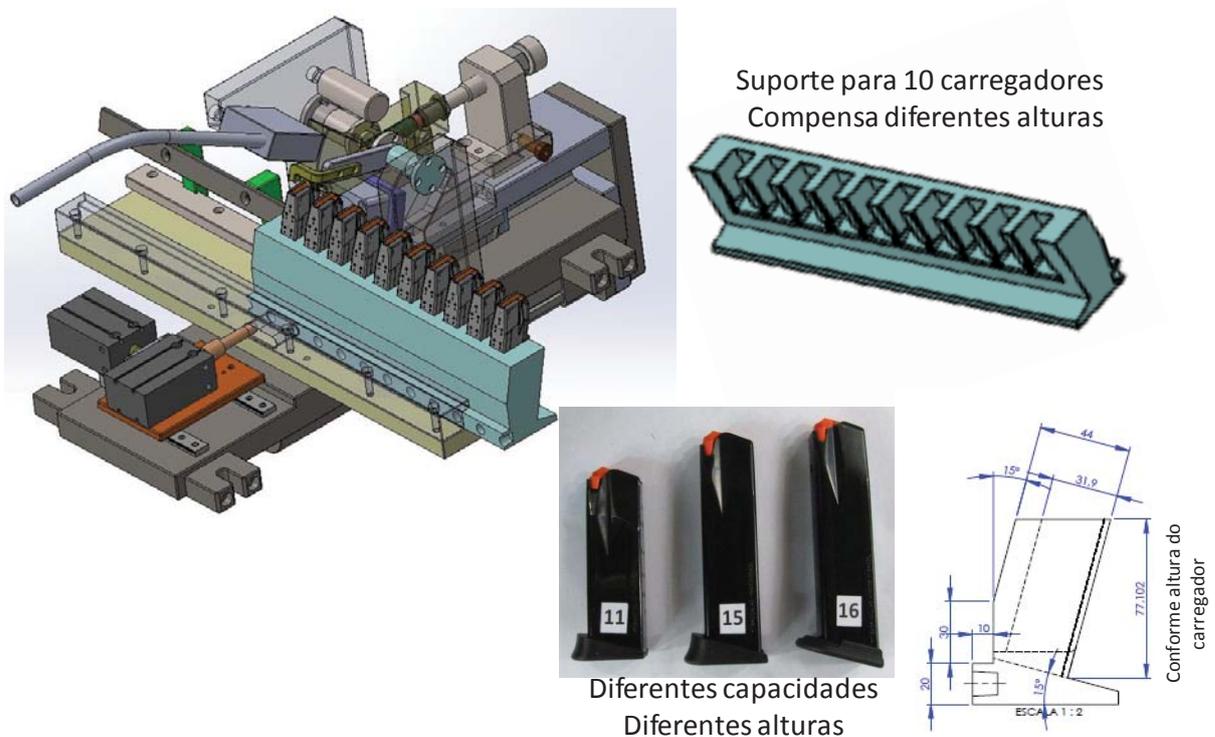
Figura 40 - Índice de redução de ruído em função da frequência (linha sólida) e a curva de referência correspondente (linha pontilhada) para chapa de acrílico de 15 mm



Fonte: Instituto *Fraunhofer Institut Bauphysik*, adaptado pelo autor (2017)

Para realizar o municiamento de carregadores com diferentes capacidades e calibres, foi projetado o suporte com capacidade para 10 carregadores, que compensa as diferentes alturas (detalhamento no Apêndice C), capacidades e larguras dos carregadores modelo unifilar e bifilar, conforme Figura 41 (detalhamento no Apêndice B). Cada modelo de carregador necessita de um suporte específico, que foi construído em alumínio para reduzir peso (em torno de 1,2 Kg), quando somado ao peso do carregador municiado com munição .45 ACP (0,218 Kg) teremos um peso total de 3,38 Kg para o conjunto, dentro do especificado pela empresa Taurus<sup>1</sup> para manipulação de carga.

Figura 41 - Projeto de suporte para carregadores



Fonte: Autor, 2017

Assim o equipamento é composto por três funções principais: a alimentação do suporte que fixa os carregadores (compensa diferentes alturas, calibres e espessuras de carregadores), orientação da munição (através da bacia vibratória) e alimentação da quantidade correta de munição em cada carregador (através da bacia vibratória, IHM e sensor

<sup>1</sup> A Taurus tem como norma interna para movimentação de carga manual pelos operários de no máximo 3,5 Kg (para regime de 8hs diárias)

detectivo para contagem de peças). Os três portadores de função principal estão de acordo com a lista de requisitos, possuem baixo custo, são facilmente encontrados no mercado, além de possuir fácil integração e, caso necessário, substituição em função de futuras manutenções.

O equipamento foi concebido para garantir o atendimento da lista de requisitos, sendo que as funções auxiliares precisam garantir o funcionamento do equipamento e viabilidade do projeto quanto a custo e flexibilidade, pois são estes os fatores que mais influenciam na escolha de concepção final. A busca pela utilização de componentes existentes no mercado, além da padronização dos mesmos visando o ganho pela aquisição em escala e consequente redução de custo garante maior facilidade para fabricação e montagem, além da redução de custo em função da concepção modular para o projeto.

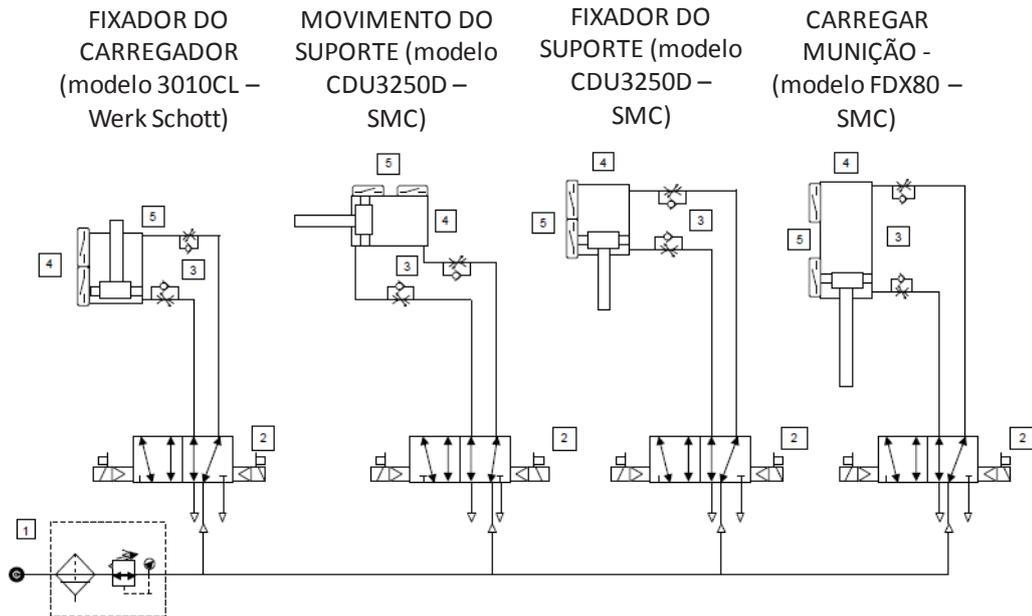
A lista de requisitos deve ser considerada a fim de garantir a funcionalidade do equipamento e por consequência a geometria deve ser garantida conforme o que foi estabelecido no projeto, onde a estrutura foi repartida em módulos como sugere Pahl et al. (2005), pois um sistema modular sempre apresentará uma vantagem técnica e econômica em relação a um projeto específico.

### **3.3.1 Sistema pneumático**

O sistema pneumático pode ser considerado um sistema vital para o funcionamento do equipamento conforme especificado em projeto, pois o mesmo irá garantir os movimentos necessários para execução do municiamento dos carregadores.

De acordo com Fialho (2003), um projeto para sistema pneumático tem a função de representar a sequência de movimentos de que o projeto necessita para funcionamento. Com a utilização de diversos componentes e configurações de sistemas pneumáticos foram analisados, porém o custo, a confiabilidade e a fácil substituição (caso necessária manutenção) foram fatores que nortearam a escolha. Assim o sistema pneumático definido para o equipamento de municiamento está representado na Figura 42 e seu detalhamento pode ser observado no Apêndice D.

Figura 42 - Esquema do sistema pneumático



Fonte: Autor, 2017

Os componentes do sistema pneumático da Figura 42 são fabricados pela SMC (apenas o cilindro fixador do carregador é fabricado pela Werk Schott), sendo que todos os componentes estão detalhados a seguir:

- **Unidade de manutenção ou conservação (Figura 43):** é a combinação de aparelhos para regular pressão, filtro separador e lubrificador. O filtro separador libera o ar comprimido que passa livre de todas as impurezas, inclusive água condensada, pois o ar comprimido entrará em rotação no filtro e passará por fendas condutoras, realizando a separação de corpos líquidos indesejáveis pela força centrífuga. Onde o material condensado deve ser drenado para que o mesmo não seja arrastado pela corrente de ar para o equipamento. O regulador de pressão deve manter constante a pressão de trabalho independente da oscilação da pressão da rede. A indicação da pressão de trabalho é feita mediante a um manômetro. O lubrificador para ar comprimido tem a tarefa de manter os elementos pneumáticos lubrificados a fim de reduzir o desgaste e proteger os equipamentos contra a corrosão.

Figura 43 - Unidade de manutenção ou conservação



Fonte: Adaptado pelo autor de SMC, 2017

• Válvulas pneumáticas (Figura 44): são elementos de comando que regulam pressão, vazão e direção do ar comprimido. Podem ser do tipo direcional, reguladora de fluxo, de bloqueio, de pressão ou combinada. No caso do equipamento para municionamento foi utilizada a válvula pneumática direcional cinco vias, duas posições de comando, com acionamento combinado por solenóide e válvula de pré-comando, por acréscimo e/ou decréscimo de pressão, que comandará cada um dos quatro cilindros do equipamento.

Figura 44 - Válvulas pneumáticas



Fonte: Adaptado pelo autor de SMC, 2017

• Válvula redutora de vazão com retorno livre (Figura 45) – a válvula possui restrição variável com caminho livre em um dos sentidos do escoamento, já no sentido oposto há uma restrição ajustável e serão utilizadas em todas as entradas e saídas dos quatro cilindros do equipamento para municionamento, totalizando oito válvulas redutoras de vazão.

Figura 45 - Válvula redutora de vazão com retorno livre



Fonte: Adaptado pelo autor de SMC, 2017

- Atuador pneumático ou cilindro pneumático (Figura 46) – A força do ar movimentava o pistão do cilindro de dupla ação em duas direções, onde será produzida força no avanço e retorno. Foram utilizados dois cilindros da SMC modelo CDU32-50D para movimento e fixação do suporte dos carregadores, um cilindro da SMC modelo FDX80 para realizar o movimento para municiamento e um cilindro da Werk Schott modelo 3010CL para realizar a fixação do carregador durante o municiamento.

Figura 46 - Atuador pneumático ou cilindro pneumático



Fonte: Adaptado pelo autor de SMC, 2017

### 3.3.2 Sistema de comando

Para a construção do sistema de comando, utiliza-se um CLP modelo Siemens S7-1214C que possui a função de controlar o sistema recebendo os dados das posições dos sensores, realizando a supervisão da posição de cada mecanismo, sendo capaz de se comunicar com o IHM modelo Siemens KP300, onde são inseridos dados como quantidade de munição por carregador, contador de carregadores municiados e quantidade de munição utilizada.

O Apêndice D mostra o esquema de funcionamento do sistema de comando, além do sistema pneumático e ambas as listas de materiais.

### 3.3.3 Avaliação da concepção do anteprojeto

Para realizar a avaliação entre a concepção final e a concepção definida no início da quarta fase empregou-se a mesma técnica utilizada para avaliação das variantes de concepção, comparando a variante Lv3 e a concepção final do projeto, que pode ser vista na Tabela 10.

Essa avaliação tem o objetivo de reconhecer os critérios de avaliação, julgar as características em relação ao cumprimento dos critérios de avaliação, determinar a valoração global e buscar os pontos fracos.

Tabela 10 - Avaliação do Anteprojeto

Critérios de avaliação			Parâmetro		Projeto Ideal			Projeto concebido (Variante 3)		
Nr.	Características	Fator	Nome	-	Propriedad e (ei3)	Valor (Wi3)	Valor ponderado (wg3)	Propriedade (ei3)	Valor (Wi3)	Valor ponderado (wg3)
1	Baixa complexidade de montagem	0,06	Facilidade para montagem	-	Baixa	3	0,18	Baixa	3	0,18
2	Menor custo para manufatura	0,28	Custo de produção	-	Baixo	3	0,84	Baixo	3	0,84
3	Pequena diversidade de peças	0,03	Diversidade de componentes	-	Boa	3	0,09	Boa	3	0,09
4	Baixa complexidade de componentes	0,03	Facilidade de fabricação	-	Baixa	3	0,09	Baixa	3	0,09
5	Municar diferentes calibres	0,2	Flexibilidade	-	Boa	3	0,6	Muito Ruim	1	0,2
6	Fácil Setup	0,2	Setup simples	-	Boa	3	0,6	Regular	2	0,4
7	Alta confiabilidade mecânica e eletrônica	0,1	Segurança mecânica e eletrônica esperadas	-	Muito Boa	4	0,4	Muito Boa	4	0,4
8	Pouca possibilidade de erro operacional	0,1	Possibilidade de erros operacionais	-	Baixa	3	0,3	Baixa	3	0,3
	$\Sigma g_i =$	1				$G_{w3} = 25$	$G_{wg3} = 3,1$		$G_{w10} = 22$	$G_{wg10} = 2,5$

Fonte: Autor, 2017

### 3.4 Projeto detalhado

O resultado do detalhamento é a definição da tecnologia de produção da solução. Assim, nesta fase foi realizada a configuração do produto com a definição do projeto de cada componente, sendo determinado em detalhes a fabricação conforme sugerido conforme metodologia de projeto de Pahl et al. (2005).

Conforme mostra a Figura 47, o projeto foi executado utilizando software de modelamento 3D, onde o sistema de controle pneumático (Figura 47, item 1) foi fixado na parte inferior da máquina para facilitar o acesso durante manutenções no equipamento, o mesmo cuidado foi tomado para instalação do painel elétrico (Figura 47, item 2) do

equipamento. Já o painel de controle com IHM (Figura 47, item 3) foi instalado na parte frontal do equipamento do equipamento, próximo a área de alimentação do suporte para carregadores (Figura 47, item 4) pelo operador, sempre respeitando a condição ergonômica do mesmo (conforme indica a NR-17).

Figura 47 - Concepção final do equipamento para municiamento de carregadores para pistola



Fonte: Autor, 2017

O detalhamento do projeto ocorreu através da elaboração dos documentos finais do projeto na forma de desenhos, os quais possibilitam a realização física das soluções. Também se faz o uso de uma série de normas e procedimentos padrões, de acordo com a empresa onde o projeto será executado. Todos os desenhos bem como documentos necessários para a produção foram executados a partir do desenho dos componentes, em cada uma das empresas definidas para construção de cada componente, sempre como premissa para definição da empresa fornecedora do material a segurança funcional e o menor custo.

O resultado do detalhamento do projeto foi a definição da tecnologia de produção através da elaboração da documentação para a manufatura, assim todo o projeto detalhado para cada um dos componentes, que está no Apêndice C, além dos desenhos de conjunto e lista de materiais para a fabricação do produto. Nos desenhos para a produção há a especificação de forma, dimensão, material, tratamento térmico e acabamento superficial de todos os componentes, bem como especificação e lista de materiais de mercado, onde a segurança funcional e os custos do produto foram fortemente influenciados.

A quarta fase foi concluída através do detalhamento e liberação da documentação para a produção do equipamento, onde as principais características da concepção final do

equipamento para munição de carregadores para pistola podem ser observada na Tabela 11.

Tabela 11 - Características do equipamento para munição de carregadores para pistola

<b>Características</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
Capacidade máxima do carregador	18	tiros
Largura máxima do carregador	26	mm
Comprimento máximo do carregador	210	mm
Comprimento mínimo do carregador	80	mm
Quantidade de carregadores por ciclo	10	un
Maiores dimensões da máquina	1700 x 1600 x 700	mm
Quantidade de munições (máximo – ref. .45 ACP)	2500	un
Calibres para munição	.40 S&W 9mm luger .380 auto .45 ACP	-
Tensão	220	V
Peso da máquina	≅ 340	Kg

Fonte: Autor, 2017

A análise de custo estimado do equipamento encontra-se no apêndice F.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Os resultados obtidos através do desenvolvimento do capítulo 3 são discutidos em dois tópicos, sendo que o primeiro retrata a utilização da metodologia proposta por Pahl et al. (2005), que embasou de maneira eficaz todo o desenvolvimento do equipamento para municiamento de carregadores para pistola, viabilizando o projeto a fim de atender os requisitos estabelecidos no início do projeto através das quatro fases: especificação do projeto, projeto conceitual, projeto preliminar e detalhamento do projeto. Já o segundo tópico analisa os resultados ao se utilizar o equipamento para municiamento, quando comparado com os processos manuais de municiamento de carregadores. O municiamento dos carregadores é executado na área de testes das armas e carregadores, que são nas linhas de linha de tiro.

### **4.1 Resultados na aplicação de uma metodologia de desenvolvimento de projeto**

A fase de especificação de projeto foi essencial para classificação das necessidades, servindo de base para o desenvolvimento do produto. O resultado da primeira fase foi a definição da lista de requisitos classificados como obrigatórios e desejáveis por uma equipe multifuncional composta por profissionais das áreas de processo (engenheiro de processo), produto (engenheiro de produto), manufatura (operador que realiza o municiamento de carregadores de pistola e supervisor da área das linhas de tiro/ municiamento) e da manutenção (mecânico e eletrônico).

Foi possível o atendimento da lista de requisitos na totalidade, que foi elaborada a partir da linha mestra minimizando erros de projeto em função do esquecimento de algum requisito, auxiliando na organização do projeto de forma que os objetivos desejados fossem tratados para viabilizar o equipamento para municiamento de carregadores para pistola. Sendo através do projeto de um equipamento preciso e modular para realizar o municiamento automático de diversos calibres de munições em carregadores de diferentes geometrias e capacidades, que atenda a legislação quanto às normas regulamentadoras para construção e operação.

Já a segunda fase referente ao projeto conceitual buscou soluções para os problemas, além da elaboração da estrutura da função do equipamento, sendo que a solução preliminar foi apresentada através de uma lista de seleção das variantes de solução para cada subfunção com

o mesmo objetivo funcional, porém apresentando diferentes concepções alternativas (em alguns casos as soluções eram muito semelhantes).

Foram eliminadas doze variantes não promissoras através da utilização da lista de seleção das variantes de solução, adotando alguns critérios decisivos na realização do projeto, as duas mais promissoras (Lv3 e Lv10) foram avaliadas segundo critérios quantitativos e qualitativos, onde nesta fase o custo de aplicação teve um fator de grande importância na escolha final da concepção.

Os critérios e pesos adotados foram suposições e estavam baseados na lista de requisitos do projeto e em requisitos intuitivos. Para definir a melhor concepção entre a solução Lv3 e a solução Lv10 foi necessário vincular um peso para cada característica desejada, onde o peso maior foi aplicado para aqueles atributos com maior relevância para a concepção final do equipamento (pequena diversidade de peças, baixa complexidade dos componentes, baixa complexidade de montagem, menor custo para manufatura, possibilidade de municar diferentes calibres, fácil setup, alta confiabilidade mecânica/eletrônica, pouca possibilidade de erros operacionais).

Assim foi adotada a solução Lv3 para o equipamento de municamento, pois a solução Lv10, quando comparada com a concepção da variante três, apresentou as seguintes desvantagens: maior custo, maior complexidade, menor confiabilidade e maior possibilidade de erro operacional.

A lista de requisitos também auxiliou para garantir a identificação de uma solução para realização do municamento correto das munições no carregador (tanto calibre correto, quanto posição da munição correta no carregador), pois com o municamento manual o operador tem a sua disposição vários tipos de munição e calibres (Figura 48 A), existindo ocorrências de munições no calibre errado e na posição errada no carregador. Já o municamento realizado pelo equipamento garante que somente a munição correta consiga ser movimentada pela bacia vibratória e sua frequência de vibração específica para cada calibre até as calhas de orientação, sendo considerado um sistema *Poka Yoke*, que garante tanto o calibre quanto a orientação correta da munição durante o municamento no carregador (Figura 48 B).

Na terceira fase correspondente ao anteprojeto, a solução Lv3 foi detalhada através de modelamento 3D para facilitar na visualização do projeto, o que permitiu a realização de uma solução menos complexa, por consequência com menor custo e com o menor número de

componentes. As dimensões básicas do equipamento foram determinadas, onde pode ser observada a solução mecânica para o equipamento, levando em conta a lista de requisitos.

Figura 48 - (A) diversos tipos de munição a frente dos operadores para realizar o municionamento manual e (B) sistema *poka-yoke* para orientação da munição e calibre correto na bacia vibratória.



Fonte: Autor, 2017

Assim o equipamento foi composto por três funções principais: a alimentação do suporte que fixa os carregadores (compensa diferentes alturas, calibres e espessuras de carregadores), orientação da munição (através da bacia vibratória) e alimentação da quantidade correta de munição em cada carregador, além da contagem de munição consumida e número de carregadores municionados (através da bacia vibratória, IHM e sensor indutivo para contagem de peças). Os três portadores de função principal estão de acordo com a lista de requisitos, possuem baixo custo, são facilmente encontrados no mercado, além de possuir fácil integração e, caso necessário, substituição em função de futuras manutenções.

A utilização da bacia vibratória permitiu uma alternativa simples e modular para garantir o armazenamento de no mínimo 2.000 munições no equipamento de municionamento e com a alternativa de isolar a área da bacia vibratória com acrílico de 15mm para redução de ruído e adequação do projeto a fim de garantir o atendimento à NR-12 (segurança no trabalho em máquinas e equipamentos) e à NR-17 (ergonomia), garantindo a segurança dos operadores e usuários.

Porém, um ponto negativo foi a necessidade de cada modelo de carregador necessitar de suporte específico para compensar as diferenças de altura e espessura de cada carregador, aumentando o custo do equipamento.

Outros requisitos desejados também não foram atendidos de maneira satisfatória devido a algumas limitações de projeto, como a realização do municionamento em carregadores de diversos calibres sem realizar um *set-up*. O *set-up* que consome em torno de 35 minutos,

sendo que segundo a metodologia *SMED* criada por Shingo (1985), o objetivo de qualquer *set-up* deve ser de no máximo 9 minutos, ou seja, de um dígito de minuto.

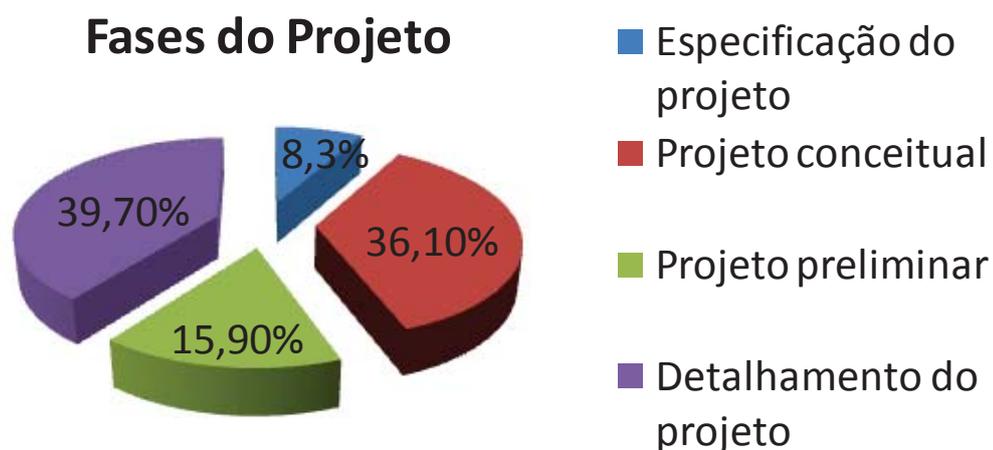
Os pontos negativos não foram relevantes quanto ao ponto de afetar o desempenho do equipamento, principalmente quando comparados aos benefícios proporcionados pelo novo projeto, viabilizando o desenvolvimento do equipamento para municiamento de carregadores para pistola.

Por fim, o detalhamento do projeto complementou a estrutura de construção de um produto técnico por meio de dimensionamento e acabamento superficial de todas as peças, definição de todos os materiais, verificação das possibilidades de produção, bem como dos custos definitivos, sendo o resultado do detalhamento a definição da tecnologia de produção da solução. O Projeto detalhado finaliza o projeto preliminar e são elaborados os documentos finais do projeto na forma de desenhos, de normas e procedimentos padrões, de acordo com a empresa onde o projeto será executado.

Concluiu-se a quarta fase com o detalhamento e liberação da documentação para a produção do equipamento.

A Figura 49 apresenta o tempo proporcional para desenvolvimento do equipamento para municiamento de carregadores em cada uma das quatro fases de desenvolvimento do projeto, com maior tempo investido na fase de detalhamento do projeto e no projeto conceitual.

Figura 49 - Fases do projeto e proporção de tempo utilizada em cada fase



Fonte: Autor, 2017

#### 4.2 Resultados no produto final, nos processos de municiamento de carregadores e na ergonomia dos operadores/municiadores

Um dos resultados na utilização dos métodos e técnicas de projeto foi a padronização dos módulos funcionais do equipamento, pois o mesmo projeto pode ser utilizado como base para construção de equipamentos para municiamento de carregadores para pistola de outros calibres e para carregadores de outras armas, como fuzis em calibres 5.56 x 45 mm e 7.62 x 51mm. Assim o projeto desenvolvido mostrou-se eficaz, pois com um número relativamente pequeno de componentes é capaz de realizar municiamento de carregadores com diferentes formatos e munições de diferentes calibres, pois alguns módulos são multifuncionais.

Para executar o municiamento manual de carregadores de pistolas demanda dos trabalhadores eficiência, precisão e repetição de movimentos, não privilegiando, nem preservando a integridade física do indivíduo que a executa, sendo esta tarefa difícil, desagradável e repetitiva para o ser humano, conforme Figura 50.

Figura 50 - Municiamento manual de carregadores para pistola



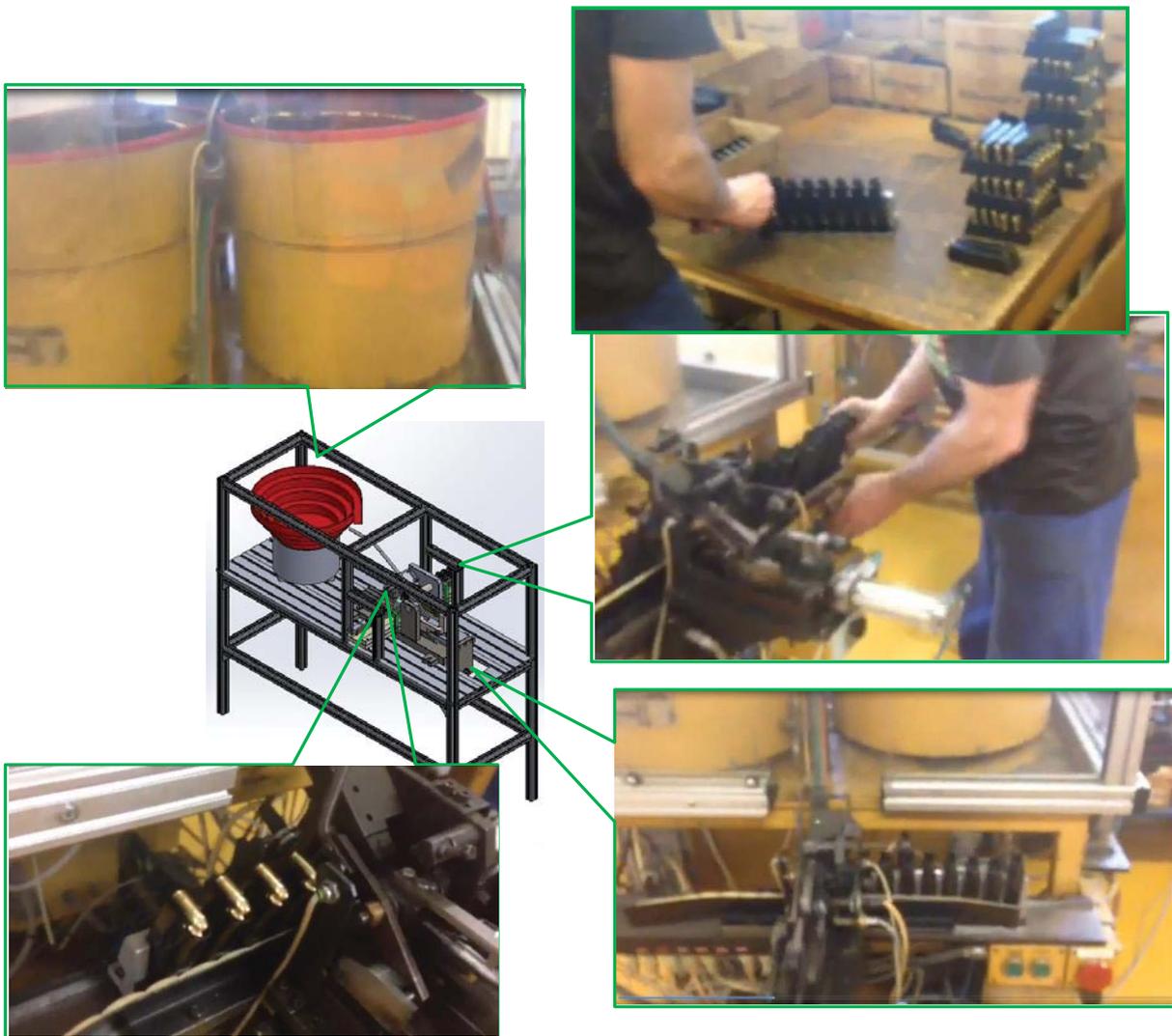
Fonte: Autor, 2017

Atualmente na fábrica da Taurus em São Leopoldo são produzidas 4.000 armas por dia (pistolas, revólveres, submetralhadoras e fuzis), onde 2.500 armas são pistolas. Cada pistola é fornecida com dois carregadores em média, totalizando 5.000 carregadores que devem ser municiados completamente por dia, pois todas as armas e carregadores são testados através do

tiro. Totalizando 85.000 municionamentos em média por dia que são realizados por oito trabalhadores.

O desenvolvimento do equipamento para municionamento, conforme mostra a Figura 51, busca a valorização da saúde dos trabalhadores da área de municionamento da empresa Taurus em São Leopoldo, através da eliminação da dor e da exaustão do ser humano, perda na produtividade e diminuição da qualidade, que são algumas das métricas para os custos e benefícios do trabalho humano realizado.

Figura 51 - Equipamento para municionamento de carregadores para pistola

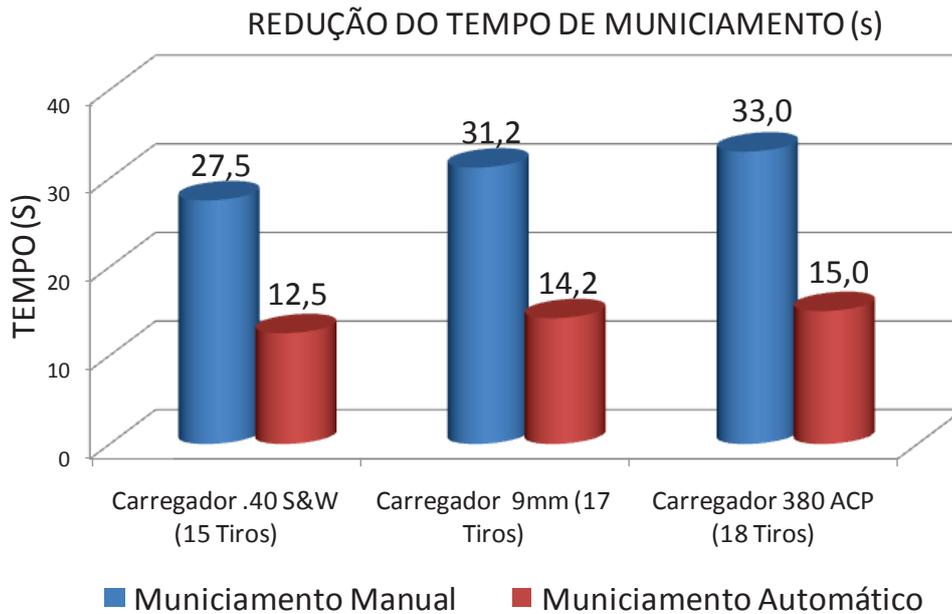


Fonte: Autor, 2017

O equipamento para municionamento reduziu em torno de 45% do tempo de municionamento, quando comparado com o municionamento manual dos carregadores. Na Figura

52 pode ser avaliada a redução de tempo no municionamento de diferentes calibres em carregadores com diferentes capacidades, necessitando assim apenas três trabalhadores, sendo um por turno para realizar o municionamento automático dos carregadores. Representando uma redução de custo anual de R\$ 560.000,00 por ano.

Figura 52 - Comparativo entre o tempo de municionamento manual e automático



Fonte: Autor, 2017

Durante a execução de qualquer atividade, o mais importante deve ser a preservação do indivíduo envolvido através da utilização de aspectos tecnológicos, que devem servir o ser humano e não o contrário. Os avanços tecnológicos proporcionaram maior flexibilidade para permitir a adaptação de máquinas e equipamentos ao trabalhador, adaptação esta que a cada dia se torna mais necessária, pois o rendimento do ser humano limita o rendimento de qualquer sistema produtivo. Portanto a ergonomia, como adaptação da tecnologia às necessidades do trabalhador, é cada vez mais necessária e viável devido aos avanços tecnológicos.

O avanço da tecnologia relacionada à automação gera problemas sociais como desemprego, reconversão e treinamento de pessoal, porém no que se refere ao meio fabril, as empresas buscam na automação a sobrevivência no mercado através do aumento de produtividade, principalmente em trabalhos árduos e realizados de forma ininterrupta. A substituição da mão-de-obra humana pela automação possibilita a obtenção de uma qualidade

uniforme, não necessitando proporcionar condições ambientais específicas ao trabalhador, assegurando à empresa maior competitividade ante a concorrência.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo aborda a conclusão do trabalho sobre os seguintes aspectos: atendimento aos objetivos, contribuição e propostas futuras para pesquisas.

### 5.1 Atendimento dos objetivos

O objetivo geral de projetar uma máquina de municiação de carregadores para pistola foi alcançado. O projeto concebido é capaz de realizar o municiação de diferentes munições em carregadores para pistolas de diferentes modelos e capacidades, com uma configuração básica e modular, aplicando uma metodologia de projeto adequada para obter melhor concepção construtiva, resultando em um baixo custo para fabricação do equipamento, quando comparamos com equipamentos importados.

Sem a aplicação de uma metodologia de projeto adequada, o risco de um aumento no custo para desenvolvimento do equipamento devido a sua complexidade e consequente aumento do tempo de desenvolvimento ficou evidente.

A modularização foi um aspecto importante para que a concepção final fosse flexível, já que alguns elementos da máquina são responsáveis pela realização do municiação de diferentes quantidades de munição e calibres. Sendo essencial o desenvolvimento de concepções modulares, pois a aplicação desse método significou menores custos e melhor aproveitamento de materiais.

Adotar uma metodologia para projetos de engenharia é uma prática cada vez mais difundida entre engenheiros. Existem inúmeras metodologias para projeto de engenharia que buscam organizar e sequenciar as tarefas durante o desenvolvimento de projeto de novos produtos, demandando ao engenheiro responsável decidir qual a metodologia a ser adotada.

De modo geral, todos os objetivos foram alcançados obtendo como resultado final deste trabalho o projeto completo do equipamento para municiação de carregadores para pistola, com todos os seus componentes para realizar a função estrutural, de acionamento e de controle do equipamento.

Outro ponto importante abordado refere-se à preocupação com o profissional que executa a função de municiação manual nos carregadores para pistola na empresa Taurus em São Leopoldo. A medicina do trabalho estabelece demandas e limitações, tanto quanto a carga, como postural através de estudos médico-científicos, cujo objetivo é definir condições

que minimizem a probabilidade do trabalhador desenvolver doenças profissionais. Já a ergonomia estabelece as causas das doenças profissionais, desenvolvendo correções através de estudos científicos buscando alternativas nos postos de trabalho, reduzindo a fadiga e exaustão do trabalhador, buscando aumentar a produtividade.

O trabalhador humano é flexível e adaptável, porém as diferenças individuais podem ser grandes, como a constituição física e a força de cada um. Em vista desta situação pode parecer que a solução seria proporcionar um ambiente flexível, onde cada trabalhador adequasse o ambiente ao seu aspecto físico. Porém a forma mais eficiente, nem sempre pode ser levada à prática e em consequência, o trabalhador pode continuar fazendo uma tarefa de forma inadequada ou inaceitável durante anos.

Gradativamente há o objetivo de substituir o esforço muscular humano por equipamentos automáticos, como consequência a função do operador também será modificada, passando a realizar funções de controle e inspeção, diminuindo a frequência de doenças profissionais e acidentes.

A realização de um projeto para construção de um equipamento para municiamento de carregadores para pistola foi concebida para substituir parcialmente o trabalho humano na cena de ação, fazendo com que a produção seja resultado da velocidade das máquinas, transformando o operador em controlador do processo, retirando a incômoda função de manipulador direto da munição e dos carregadores.

O maior tempo investido nas fases de projeto proporcionou maior assertividade no decorrer do desenvolvimento, aumentando a confiabilidade e diminuindo o tempo gasto com retrabalhos durante a produção do equipamento ou problemas que poderiam acontecer já durante o uso do equipamento na área de municiamento, onde a ocorrência de um problema acarreta a custos elevados. No entanto, esse maior tempo destinado ao planejamento e concepção não acrescentaram no tempo total de desenvolvimento, assim a metodologia de projeto adotada contribuiu para um projeto mais rápido e de maior qualidade.

## **5.2 Contribuição**

A principal contribuição deste trabalho foi a concepção de um equipamento para municiamento de carregadores para pistola de fabricação nacional com menor custo, eliminando o risco de doenças profissionais (LER).

O equipamento pode realizar o municionamento de diferentes capacidades de carregadores e calibres, além de controlar e estipular a quantidade de munição por carregador.

Existe um grande potencial de utilização do equipamento nas academias de polícia, nos clubes de tiro e nas empresas fabricantes de armas e munições.

Comprovou-se a eficácia de uma metodologia de projeto aplicada, pois com ela foi possível organizar o processo de projeto, buscando soluções através de critérios pré-estabelecidos, alcançando ao final do projeto o atendimento aos objetivos iniciais.

### 5.3 Trabalhos futuros

Na sequência, apresentam-se sugestões para trabalhos futuros.

- Projetar uma máquina compacta a ser utilizada por clubes de tiro para realizarem o municionamento dos carregadores das armas dos atiradores de maneira automática;
- Trabalhar em redução do tempo de *set-up* quando há necessidade de mudança de calibre;
- Aplicação de métodos e ferramentas para a seleção de materiais durante as fases de projeto do produto, com o objetivo de realizar a escolha racional dos materiais, explorando suas propriedades para o atendimento dos objetivos e requisitos do projeto visando a redução de custos;
- Aplicação das ferramentas DFMEA (*Design Failure Mode and Effects Analysis*) e PFMEA (*Process Failure Mode and Effects Analysis*), elaborando diretrizes e regras para a melhoria de projetos de produto e processo, com o objetivo de evitar problemas durante o processo de fabricação do equipamento;

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. F. Estudo e escolha de metodologia para o projeto conceitual. In: **Revista de Ciências e Tecnologia**. Piracicaba, v. 8, nº 16, pp. 31-42, 2000.
- ANTONELLI, Pedro Luis. **Introdução aos controladores lógico programáveis (CLPS)**. Goiás: UFG, 2006.
- ASHBY, M. F. **Seleção de materiais no projeto mecânico**. Tradução Arlete Simille. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- ASIMOV, M. **Introdução ao Projeto de Engenharia**. Mestre Jou, São Paulo, 1968.
- AUTEC RS, Bacia Vibratória. Disponível em: <<http://www.autecrs.com.br/>> Acesso: Fevereiro, 2017
- BACK, N. [et al]. **Projeto integrado de produtos: Planejamento, concepção e modelagem**. Barueri, SP: Manole, 2008.
- BALDWIN, C. Y.; CLARK, K. B. **Design Rules: The Power of Modularity**. Massachusetts Institute of Technology, v. 1, Cambridge MA, 2000.
- BARANOV, G. G.. **Curso de la teoria de macanismos y maquinas**. Moscou: Mir, 1975
- BAXTER M. R. **Projeto de produto: guia prático para o desenvolvimento de novos produtos**. Tradução Itiro Iida – 2 ed. São Paulo, SP: Blucher, 2000.
- BLACK, J. T. **Materials and Processes in Manufacturing**. DeGarmo`s, 11<sup>th</sup> edition, 2012.
- BOGUE, R. Design for manufacture and assembly: background, capabilities and applications. **Journal Assembly Automation**, v. 32, Number 2 – Emerald Group Publishing Limited, 2012.
- BOOTHROYD, G. [et al]. **Product Design for Manufacture and Assembly**. Taylor & Francis Group. Second edition, revised and expanded, 2002.
- BRALLA, J. G. **Design for manufacturability handbook** . Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. McGraw-Hill. 2nd edition, 1999.
- CAP PMSC JÚNIOR, R. A., 2ºTEN PMSC COMELLI, F. **Apostila Balística Forense**. 2011
- CASTILHO, Danielle. **Automação e controle - Interface Home Máquina - IHM**. Rio Grande do Norte: UFERSA.

CHANG, T. R. [et al]. A systematic approach for green design in modular product development. Springer Verlag London. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**. March, 2013.

CROSBY, P. B. **Qualidade é investimento: a arte de garantir a qualidade**. Rio de Janeiro: José Olímpio S.A., 1999.

DEMING, W. E. **Qualidade: a revolução da administração**. Rio de Janeiro: Marques Saraiva S.A., 1990.

EDWARDS, K. L. Towards more strategic product design for manufacture and assembly: priorities for concurrent engineering. **School of Computing & Technology**, University of Derby. Elsevier Science Ltd: Materials and Design. May, 2002.

FESTO, Pneumática. Disponível em: <[https://www.festo.com/cat/pt-br\\_br/products](https://www.festo.com/cat/pt-br_br/products)> Acesso: Janeiro, 2017

FIALHO, A. B. **Automação Pneumática – Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos**. 6º Edição, Editora Éricas. São Paulo, 2009

GEORGINI, Marcelo. **Automação aplicada - descrição e implementação de sistemas sequenciais com CLPs**. 9ª edição. Editora Érica. 2009.

HINCKLEY, C. M. **Combining mistake-proofing and Jidoka to achieve world class quality in clinical chemistry**. General Paper. Springer-Verlag, v.12 p. 223-230, mar. 2007.

IEA – International Ergonomics Association. Disponível em: < [www.iea.cc](http://www.iea.cc) > Acesso: Dezembro, 2016

IFIB - Instituto Fraunhofer Institut Bauphysik, Disponível em: <[www.ibp.fraunhofer.de/](http://www.ibp.fraunhofer.de/)> Acesso: Fevereiro, 2017

ILO - International Labour Organization, **Encyclopaedia of Occupational Health and Safety at Work**, 4<sup>th</sup> edition - Ergonomics, chapter 29, Geneva, 1997.

KHAN, Z. Design for assembly. **Journal Assembly Automation**, v. 28, Number 3 – Emerald Group Publishing Limited, 2008.

LUTTMANN, A.; JÄGER, M.; LAURIG, W. *Electromyographical indication of muscular fatigue in occupational field studies*. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v.25, p.645-660, 2000.

MEDEIROS, J. J.; MAFRA, A. M. **Curso de Controladores Lógico Programáveis**. 2012. Disponível em: 2012. Último acesso em: 10 abril. 2013.

MIGUEL, P. A. C. Modularity in product development: a literature review towards a research agenda. **Product: Management & Development**, v. 3, nº 2, December, 2005.

MITAL, A. [et al]. **Product development: a structure approach to consumer product development, design and manufacture.** Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. 1st Edition. Elsevier: 2008.

MOLLOY, O. [et al]. **Design for Manufacturing and Assembly: concepts, architectures and implementation.** Originally published by Chapman & Hall. Springer Science and Business Media Dordrecht, 1st edition, 1998.

MOREIRA, I. S. **Técnicas de Comando Pneumático,** SENAI-SP, São Paulo, SP, Brasil, 1991

NEGRI, V. J. **Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos para Automação e Controle: Parte II – Sistemas Pneumáticos para Automação.** LASHIP/EMC/UFSC, Florianópolis, 2001.

NORTON, Robert L. **Cinemática e dinâmica dos mecanismos.** Porto Alegre: AMGH, 2010

NR12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos. Disponível em: < <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR12/NR12atualizada2015.pdf>> Acesso: Janeiro, 2017.

NR17 – Ergonomia. Disponível em: < <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR12/NR12atualizada2015.pdf>> Acesso: outubro, 2016.

PAHL, Gerhard; BEITZ, Wolfgang; FELDHUSEN, Jörg; GROTE, H.Karl. **Projeto na Engenharia.** São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

QUINTELLA, H. M. **Automação na Produção e Mudança Organizacional: Modelos de Análise e o Caso do Brasil.** ENEGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Niterói, 1998.

Revista Exame. Disponível em: < <http://exame.abril.com.br/mundo/os-20-paises-com-os-maiores-gastos-militares-do-mundo/>> Acesso: Janeiro, 2017

Revista O+P. Disponível em: <<http://www.en.vereinigte-fachverlage.info/oil-hydraulics-and-pneumatics-engineering-hydraulics.html>> Acesso: Janeiro, 2017

ROZENFELD, H. [et al]. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma Referência para a Melhoria do Processo.** São Paulo: Editora Saraiva, 2006.

SAURIN, T. A., JACQUES, J., HENRIQSON, E., JÚNIOR, G. C. **Análise de uma barreira de classificação contra acidentes em produtos e processos.** XXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Anais... Foz do Iguaçu: ENEGEP, 2007.

SEIDEL V. P.; FIXSON S. K. Adopting Design Thinking in Novice Multidisciplinary Teams: The Applications and Limits of Design Methods and Reflexive Practices. **Journal of Product Innovation Management**, v. 30 – December, 2013.

SEIXAS FILHO, C. **A Automação nos Anos 2000 – Uma Análise das Novas Fronteiras da Automação.** CONAI - Congresso Nacional de Automação Industrial. São Paulo, 2000.

SELEME R.; DE PAULA A. **Projeto de produto: Planejamento, desenvolvimento e gestão.** Série gestão comercial – 1 ed. Curitiba, PR: Ibpex, 2013.

SHINGO, S. **A Revolution in Manufacturing: The SMED System.** Productivity Press. Cambridge, MA, 1985.

SHINGO, S. **Zero quality control: source inspection and the poka-yoke system.** Cambridge, MA: Productivity Press, 1988.

SIEMENS, Automação e controle. Disponível em: <<http://w3.siemens.com.br/automation/br/pt/automacao-e-controle/automacao-industrial/simatic-plc/s7-cm/s7-1200/pages/default.aspx>> Acesso: Outubro, 2016

SIEMENS, Automação. Disponível em: <<http://www.siemens.com.br/automation/br/pt/micro-automation-sets/ihtm/pages/ihtm.aspx>> Acesso: Fevereiro, 2017

SMC, Pneumática. Disponível em: <[WWW.smcbr.com.br](http://WWW.smcbr.com.br)> Acesso: Janeiro, 2017

SIPRI, *Stockholm International Peace Research Institute.* Disponível em: <[www.sipri.org](http://www.sipri.org)> Acesso: Maio, 2017

SUH, N. P. **The Principles of Design.** Nova Iorque: Oxford University Press. 1990.

ULLMAN, D. G. **The Mechanical Design Process.** 3rd ed, Mc Graw-Hill, 2003.

UNESCO – United Nations Educational Scientific and Cultural Organization. Disponível em: [http://www.unevoc.unesco.org/fileadmin/user\\_upload/pubs/AB5\\_HealthSafety.pdf](http://www.unevoc.unesco.org/fileadmin/user_upload/pubs/AB5_HealthSafety.pdf) Acesso: Novembro, 2016,

VDI 2221. **Systematic Approach to the Design of Technical Systems and Products.** Translation of German edition: Verein Deutscher Ingenieure, 1987.

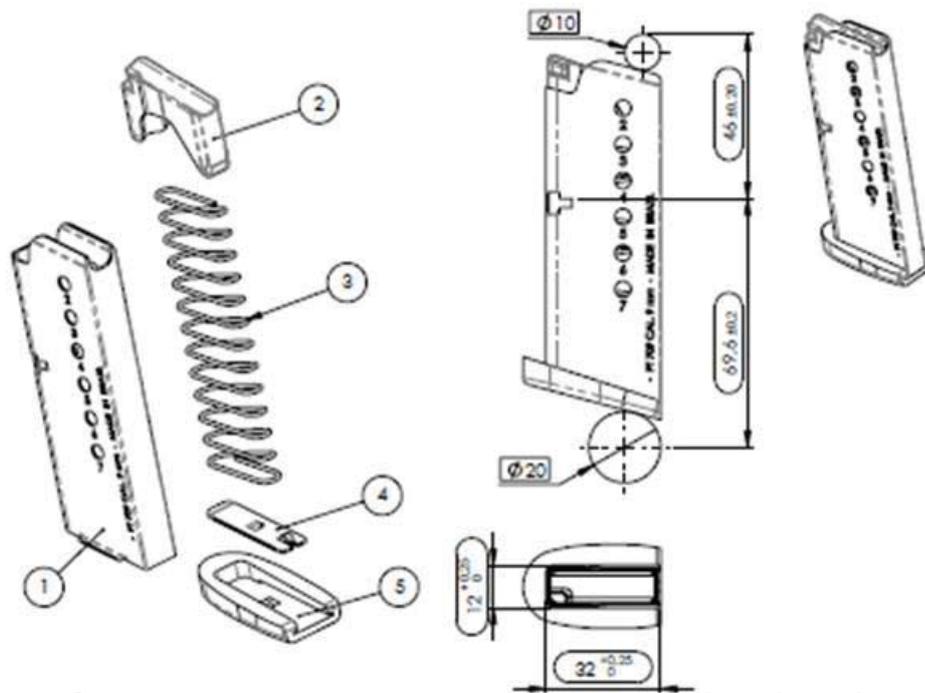
VIDOR, G., SAURIN, T. A. **Conceitos e características de sistemas Poka Yokes: uma revisão de literatura.** REVISTA ELETRÔNICA PRODUÇÃO ONLINE. Porto Alegre, 2010

WELCH, R.V. & DIXON, J.R. **Representing function, behavior and structure during conceptual design.** Proceedings of the 3th International Conference on Design Theory and Methodology, New York, USA, ASME, pp. 11-18, 1992.

WU D. D. [et al]. A Risk Analysis Model in Concurrent Engineering Product Development. **Risk Analysis**, v. 30, Number 9, September 2010.

## APÊNDICE A – Desenho dos carregadores a serem municiados no equipamento

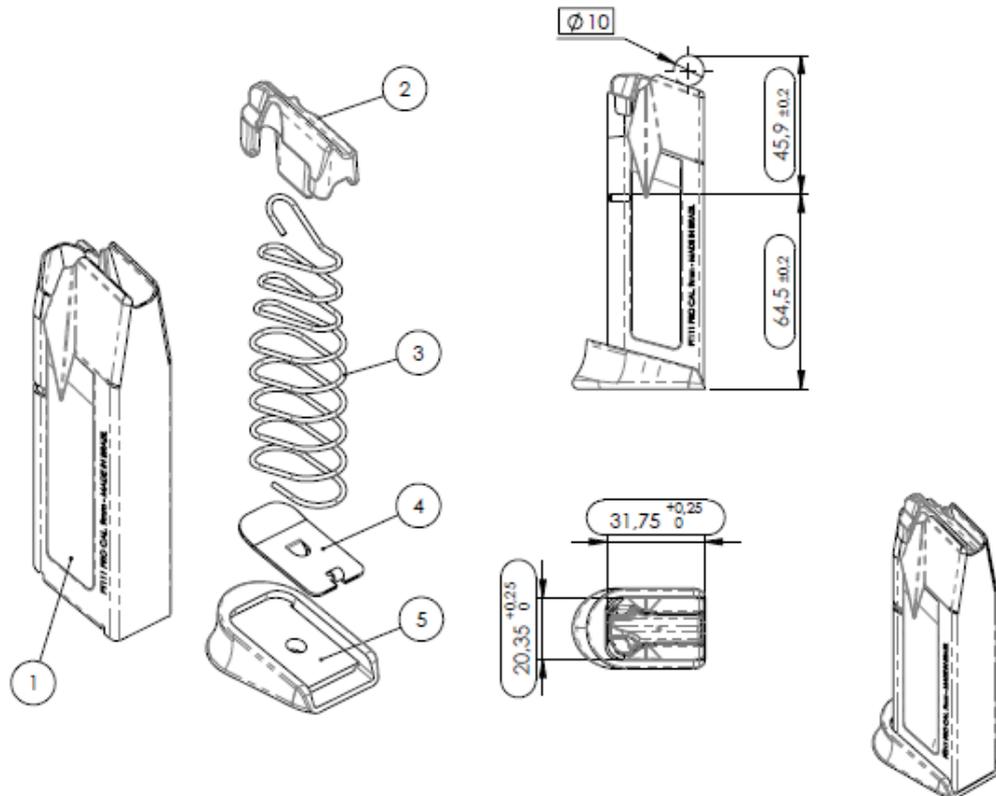
Figura A. 1 – Desenho do carregador modelo unifilar e suas respectivas cargas para municiamento manual



Nº DO ITEM	DENOMINAÇÃO	QTD.	
		2001 5320/	20019568/
1	CORPO DO CARREGADOR - OXIDADO	1	-
	CORPO DO CARREGADOR - PTFE	-	1
2	TRANSPORTADOR 9 TIROS	1	1
3	MOLA DO CARREGADOR	1	1
4	CHAPA DA MOLA DO CARREGADOR	1	1
5	FUNDO DO CARREGADOR	1	1

	PRIMEIRA MUNIÇÃO	SÉTIMA MUNIÇÃO
CARGA PARA MUNICIAR .380 E 9MM	3.1 Kg	3.9 Kg
CARGA PARA MUNICIAR .40 E .45	2.9 Kg	3.6 Kg

Figura A. 2 – Desenho do carregador modelo bifilar e suas respectivas cargas para municiação manual



Nº DO ITEM	DENOMINAÇÃO	QTD.
1	CORPO DO CARREGADOR - OXIDADO	1
2	TRANSPORTADOR	1
3	MOLA DO CARREGADOR	1
4	CHAPA DA MOLA DO CARREGADOR	1
5	FUNDO DO CARREGADOR	1

	PRIMEIRA MUNIÇÃO	12° MUNIÇÃO
CARGA PARA MUNICIAR .380 E 9MM	3.1 Kg	4.4 Kg
CARGA PARA MUNICIAR .40 E .45	2.9 Kg	4.1 Kg

Fonte: Autor, 2017

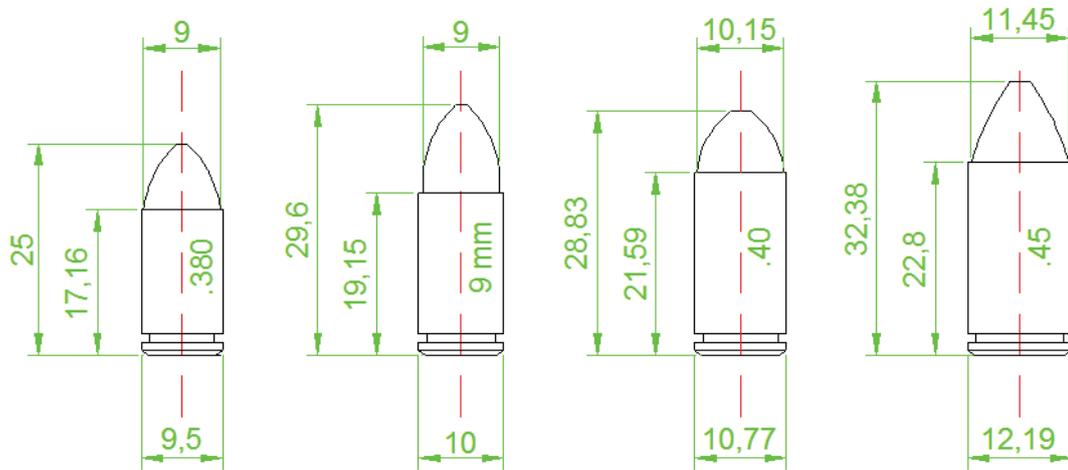
## APÊNDICE B – Calibres de munições que poderão ser empregadas no equipamento para municiação e suas dimensões

Tabela B. 1 – Informações sobre calibres, projéteis e balística das munições que poderão ser utilizadas para municiação no equipamento

Projétil			Balística		
Tipo	Cód.	Peso (gr)	V (m/s)	E joule	Provetete cm
<b>.380 Auto</b>					
Expansivo Ponta Oca +P Gold	EXPO	85	330	300	9,5
<b>.38 SPL</b>					
Expansivo Ponta Oca +P+ Gold	EXPO	125	310	389	10,2 V
<b>.40 S&amp;W</b>					
Expansivo Ponta Oca Gold	EXPO	155	364	665	10,2
<b>.45 Auto</b>					
Expansivo Ponta Oca +P Gold	EXPO	185	345	712	12,7
<b>9mm Luger</b>					
Expansivo Ponta Oca +P+ Gold	EXPO	115	405	610	10,2

Fonte: Autor, 2017

Figura B. 1 – Desenho das munições a serem utilizadas no equipamento para municionamento



Fonte: Autor, 2017

**APÊNDICE C** – Projeto mecânico do equipamento para municiamento automático de carregadores

**APÊNDICE D** – Projeto eletrônico e pneumático do equipamento para  
municiação automática de carregadores

**APÊNDICE E** – Programação *Ladder* do equipamento para municiamento automático de carregadores

## APÊNDICE F – Estimativa de custos do equipamento para municiamento automático de carregadores

Tabela F. 2 - Estimativa de Custos do equipamento para municiamento nacional

<b>Equipamento para Municiamento</b>	
Descrição	Custo (R\$)
Estrutura e Proteções	R\$ 12.880,00
Bacia Vibratória	R\$ 9.260,00
Painel de Controle	R\$ 22.430,00
Painel Elétrico	R\$ 16.800,00
Mecanismo de Municiamento	R\$ 31.200,00
Sistema Pneumático	R\$ 8.360,00
Miscelaneas (porca, parafuso, pino...)	R\$ 440,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 101.370,00</b>

Fonte: Autor, 2017