



**FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC  
ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO E CONTROLE**

**JOÃO DA COSTA BRITTO NETO**

**SISTEMA AUTOMÁTICO DE PARAFUSAMENTO DE  
PEÇAS AUTOMOTIVAS**

Salvador  
Julho de 2014

**JOÃO DA COSTA BRITTO NETO**

**SISTEMA AUTOMÁTICO DE PARAFUSAMENTO DE PEÇAS AUTOMOTIVAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Especialização em Automação e Controle da Faculdade de Tecnologia SENAI-CIMATEC como parte dos requisitos para a obtenção do título de Especialista em Automação e Controle.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Msc. Juliana Teixeira Pains Oliveira

Salvador  
Julho de 2014

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

B862s Britto Neto, João da Costa

Sistema automático de parafusamento de peças automotivas / João da Costa Britto Neto.  
– Salvador, 2014.

73 f. : il. color.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> MSc. Juliana Teixeira Pains Oliveira.

Monografia (Especialização em Automação, Controle e Robótica) – Programa de Pós-Graduação, Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, Salvador, 2014.

Inclui referências.

1. Automação de processo. 2. Torqueamento. 3. Parafusamento. 4. Automotiva I.  
Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC. II. Oliveira, Juliana Teixeira Pains. III. Título.

CDD 629.8

**JOÃO DA COSTA BRITTO NETO**

**SISTEMA AUTOMÁTICO DE PARAFUSAMENTO DE PEÇAS  
AUTOMOTIVAS**

Projeto Final de Curso aprovado com nota 9,0 (nove) como requisito de Especialista em Automação e Controle, tendo sido julgado pela Banca Examinadora formada pelos Professores:

---

**Msc. Juliana Teixeira Pains Oliveira - Orientadora**  
**Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC**

---

**Msc. Rodrigo Luz Santos - Professor**  
**Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC**

---

**Dr. Armando Sá Ribeiro Júnior - Professor**  
**Universidade Federal da Bahia - UFBA**

Salvador, 11 de julho de 2014.

Este trabalho é dedicado às crianças adultas que, quando pequenas, sonharam em se tornar cientistas.

# **AGRADECIMENTOS**

Os agradecimentos principais são direcionados à equipe do Senai que proporcionou o desenvolvimento do presente trabalho, em especial Herman e Juliana pelo suporte direto, e aos colegas pelo apoio no desenvolvimento do projeto.

Agradecimentos especiais são dedicados à equipe do cliente, em especial Claudemir, Germano e Gilberto pelo solicitude nos esclarecimentos demandados.

# RESUMO

Operações de aplicação de torque em parafusos são umas das principais atividades de montagem na indústria automotiva. O desenvolvimento de sistemas que possibilitem a automação de processo de torquemento é desejável no sentido de reduzir custos com mão de obra, aumentar a segurança, melhorar os problemas de ergonomia e garantir a qualidade da operação.

O presente trabalho visa à elaboração de um sistema automático de torquemento de parafusos do conjunto de freio do eixo traseiro de um veículo urbano. Os parafusos se localizam no conjunto de tal forma que seu acesso é dificultado em função da existência de partes móveis. O sistema consiste em localizar o acesso aos parafusos, alinhar as partes, inserir a ferramenta no acesso, manipular a ferramenta, encaixá-la nos parafusos, que já se encontram pré-rosqueados, e aplicar o torque prescrito em uma ordem pré-determinada.

Para tal desenvolvimento foi utilizada a metodologia de desenvolvimento de produtos proposto por Back (2008). Foram utilizadas ferramentas como a matriz QFD (*Quality Function Deployment*) para identificação dos requisitos do cliente e do projeto e matriz morfológica para determinar as soluções a serem usadas.

Uma proposta de solução para a automatização do processo de torquemento será apresentada. O trabalho final consiste no memorial descritivo do projeto contendo o modelo CAD 3D com *layout* e desenho esquemático da solução proposta, a lista de equipamentos utilizados com respectivos fornecedores e com estimativas de preços, o princípio de funcionamento do sistema e a lógica utilizada.

**Palavras-chaves:** automação. torquemento. parafusamento. automotiva.

# ABSTRACT

Operations of applying torque in screws is one of the core assembly activities in the automotive industry. The development of systems that allow the automation of tightening process is desirable to reduce labor costs, increase security, improve ergonomic problems and ensure the quality of the operation.

This paper presents the development of an automatic tightener of screws of the brake set on the rear axle of an urban vehicle. The screws are located in such a way that access is difficult because of the presence of moving parts. The system purpose is to locate the access to the screws, align the parts, put the tool in the access, manipulate the tool, fit it on the screws, which are pre-threaded, and apply the torque prescribed in a predetermined order.

To such development, a product development methodology proposed by [Back \(2008\)](#) was used. Tools such as QFD matrix for identifying customer and design requirements and morphological matrix were used to determine the solutions to be used.

A proposed solution for automating the tightening process will be presented. The final work is a descriptive memorandum of the project containing the 3D CAD model with layout and schematic drawing of the proposed solution, the list of equipment used with their suppliers and estimated price, the operating principle of the system and the logic used.

**Key-words:** automation. tightening. screwing. automotive.

# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Apertadeira elétrica para uso fixada, série QST . . . . .	16
Figura 2 – Eixo estacionário de parafusamento com alimentação automática, série SA . . . . .	17
Figura 3 – Sistema de parafusamento com alimentação automática assistido por robô (6DOF) . . . . .	17
Figura 4 – Robô cartesiano para parafusamento . . . . .	18
Figura 5 – Robô SCARA para com sistema de parafusamento . . . . .	19
Figura 6 – Sistema de alimentação de parafusos ZEB. (WEBER-ZEB, 2013) . . . . .	20
Figura 7 – Funcionamento de um CLP . . . . .	21
Figura 8 – Esquema ilustrativo de um <i>Grafcet</i> . . . . .	22
Figura 9 – Sequências simultânea e divergente . . . . .	23
Figura 10 – Sensor chave de fim de curso . . . . .	24
Figura 11 – Sensor magnético . . . . .	24
Figura 12 – Sensor ultra-sônico . . . . .	24
Figura 13 – Sensor indutivo . . . . .	24
Figura 14 – Sensor capacitivo . . . . .	25
Figura 15 – Sensor óptico de reflexão difusa . . . . .	25
Figura 16 – Detalhe construtivo de um potenciômetro . . . . .	26
Figura 17 – Componentes do LVDT . . . . .	26
Figura 18 – Componentes do <i>enconder</i> óptico . . . . .	27
Figura 19 – Fatores determinantes da competitividade da indústria . . . . .	28
Figura 20 – Efeitos das diferentes fases do ciclo de vida sobre o custo do produto . . . . .	29
Figura 21 – Influências sobre o custo do produto, devido às decisões tomadas, referentes ao projeto, ao material, à mão-de-obra e às instalações . . . . .	30
Figura 22 – Macrofases e fases do desenvolvimento de produto . . . . .	30
Figura 23 – Forma e principais elementos da casa da qualidade . . . . .	32
Figura 24 – Preenchimento do 'telhado' da casa da qualidade . . . . .	33
Figura 25 – Formulação global do sistema técnico . . . . .	34
Figura 26 – Desdobramento da função global em funções mais simples . . . . .	34
Figura 27 – Matriz morfológica e a combinação de princípios de solução . . . . .	35
Figura 28 – Planejamento do projeto . . . . .	37
Figura 29 – Desenho representativo do eixo salientando o freio a tambor . . . . .	38
Figura 30 – Desenho representativo do freio a tambor representando os parafusos . . . . .	38
Figura 31 – Esquemático da localização dos parafusos e do cubo no novo conjunto do freio a tambor . . . . .	39

Figura 32 – Ordem das operações de pré-torque e torque dos parafusos de fixação . . . . .	39
Figura 33 – Eixo traseiro com presença de furos transversais de referência . . . . .	39
Figura 34 – Matriz QFD do projeto . . . . .	46
Figura 35 – Estrutura funcional do problema . . . . .	49
Figura 36 – Estrutura funcional global simplificada do problema . . . . .	49
Figura 37 – Matriz morfológica da solução global . . . . .	50
Figura 38 – Matriz morfológica da solução global com soluções escolhidas . . . . .	52
Figura 39 – Matriz morfológica do manipulador dedicado . . . . .	52
Figura 40 – Matriz morfológica do manipulador dedicado com soluções escolhidas . . . . .	53
Figura 41 – <i>Layout</i> da solução . . . . .	54
Figura 42 – Mesa suporte do eixo com pinagem de referencia . . . . .	55
Figura 43 – Prensa para fixação e referenciamento do eixo . . . . .	55
Figura 44 – Lógica da solução, em linguagem textual SCF, Parte I . . . . .	57
Figura 45 – Lógica da solução, em linguagem textual SCF, Parte II . . . . .	58
Figura 46 – Lógica da segurança, em linguagem textual SCF . . . . .	59
Figura 47 – Recebimento do eixo na célula automatizada . . . . .	59
Figura 48 – Fixação do eixo . . . . .	60
Figura 49 – Localização dos furos de acesso no freio . . . . .	60
Figura 50 – Torqueamento de um dos parafusos . . . . .	61
Figura 51 – Liberação do eixo . . . . .	61
Figura 52 – Saída do eixo da célula . . . . .	62
Figura 53 – Visão geral da célula automatizada . . . . .	64
Figura 54 – Visão geral do sistema de referenciamento e fixação do eixo . . . . .	65
Figura 55 – Sistema de referenciamento e fixação do eixo . . . . .	65
Figura 56 – Visão geral do dispositivo manipulador da ferramenta . . . . .	66
Figura 57 – Sensor óptico localizando o furo . . . . .	66
Figura 58 – Ferramenta acoplada no furo do obstáculo . . . . .	67
Figura 59 – Ferramenta encaixada no parafuso, aplicando do torque . . . . .	67

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fornecedores à serem utilizados . . . . .	40
Tabela 2 – Requisitos do cliente e seus respectivos pesos . . . . .	40
Tabela 3 – Requisitos do projeto e suas tendências desejadas . . . . .	41
Tabela 4 – Requisitos do projeto classificados . . . . .	47
Tabela 5 – Especificações do projeto . . . . .	48
Tabela 6 – Principais equipamentos utilizados pelo dispositivo manipulador proposto .	62
Tabela 7 – Demais equipamentos presentes na célula automatizada . . . . .	63

# LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CLP	Controlador Lógico Programável
DAC	<i>Design &amp; Assembly Concepts, Inc</i>
DOF	<i>Degrees Of Freedom</i>
DTI	<i>Design Tool Inc</i>
IHM	Interface Homem Máquina
ISI	Instituto Senai de Inovação
LVDT	<i>Linear Variable Differential Transformer</i>
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
PMI	<i>Project Management Institute</i>
PRODIP	Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos
QFD	<i>Quality Function Deployment</i>
RFID	<i>Radio-Frequency IDentification</i>
SCARA	<i>Selective Compliance Assembly Robot Arm</i>
SFC	<i>Sequential Function Chart</i>

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1	JUSTIFICATIVA	13
1.2	PROPOSTA DE TRABALHO	14
<b>2</b>	<b>AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL</b>	<b>16</b>
2.1	APERTADEIRAS E PARAFUSADEIRAS	16
2.2	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL	20
2.3	SEQUENCIAMENTO GRÁFICO DE FUNÇÕES	21
2.4	SENSORES INDUSTRIAIS	22
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA DE PROJETO DE PRODUTO</b>	<b>28</b>
3.1	DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS	28
3.2	ESTRUTURA DO PROJETO	29
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO PROJETO</b>	<b>36</b>
4.1	PLANEJAMENTO DO PROJETO	36
4.2	PROJETO INFORMACIONAL	36
4.2.1	Descrição do Problema	37
4.2.2	Matriz QFD	40
4.3	PROJETO CONCEITUAL	48
4.3.1	Estrutura Funcional	48
4.3.2	Matriz Morfológica	49
4.4	PROJETO PRELIMINAR	53
4.4.1	Layout da Solução	53
4.4.2	Lógica da Solução	55
4.4.3	Equipamentos	62
4.4.4	Desenhos Esquemáticos da Solução	64
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>68</b>
5.1	CONTRIBUIÇÕES	68
5.2	PRÓXIMAS ETAPAS DO PROJETO	68
5.3	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	69
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>70</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Segundo [Nevins e Whitney \(1980\)](#), a inserção e torqueamento de parafusos é uma das doze operações de montagem mais comuns. Na indústria automotiva, essa operação, juntamente com a de soldagem, é utilizada em larga escala.

Normalmente, a operação de inserção e torqueamento é uma atividade intensiva de mão-de-obra. Manualmente, um operador necessita posicionar o parafuso, inserir e garantir o alinhamento do eixo do parafuso com o eixo do furo e finalmente aplicar o torque necessário para realizar a fixação das peças ([PITIPONG; PORNJIT; WATCHARIN, 2010](#)).

Pesquisas acadêmicas sobre a automação do processo de parafusamento exploram a questão de controle de manipuladores, identificação de furos e padrões, detecção de falha e garantia de alinhamento e correta inserção de parafusos nos furos. A pesquisa de [Paulos e Canny \(1993\)](#) e [Paulos e Canny \(1994\)](#) exploram a questão de detecção de furos utilizando sensor óptico de reflexão difusa para inserção de pinos em furos. O trabalho de [Lara, Althoefer e Seneviratne \(1998\)](#) introduz um sistema robótico automatizado de inserção e parafusamento de parafusos em furos não rosqueados baseado em visão computacional.

Os trabalhos de [Klingajay, Seneviratne e Althoefer \(2002\)](#), [Klingajay e Giannoccaro \(2003\)](#), [Klingajay, Seneviratne e Althoefer \(2003\)](#) e [Klingajay e Mitranon \(2008\)](#) abordam a questão da identificação de parâmetros do processo de parafusamento auto-perfurante, baseado na gráfico de torque por profundidade de perfuração do processo. Para isso, métodos matemáticos não-lineares são utilizados.

Os trabalhos de [Choe et al. \(2009\)](#) e [Mo et al. \(2010\)](#) tratam do uso de robôs na construção civil, capazes de identificar e localizar furos para inserção de parafusos em estruturas, utilizando sensores *laser*, sistema de visão e técnicas de tratamento de imagem. A pesquisa de [Pitipong, Pornjit e Watcharin \(2010\)](#) propõe um sistema robótico com quatro graus de liberdade capaz de inserir parafusos em furos, verificando seu alinhamento, utilizando para isso sistema de visão.

O trabalho de [Matsuno, Huang e Fukuda \(2013\)](#) aborda a questão da detecção de falha na operação de inserção e aplicação de torque realizada por um braço manipulador robótico, utilizando dados de torques e forças de reação no parafuso.

Comercialmente, soluções de apertadeiras que registram os torques aplicados e sistemas que são capazes de inserir e torquear o elemento a ser parafusado estão disponíveis no mercado e serão melhor explicados na seção 2.1.

Dentro desse contexto, uma indústria de autopeças, responsável pela montagem dos

conjuntos de eixos e suspensões automotivos, solicitou que o Senai Cimatec desenvolvesse propostas de soluções de automação em suas etapas produtivas de forma a eliminar os 'gargalos' existentes em sua produção. A automação do sistema de torqueamento, um dos 'gargalos' identificados, visa reduzir custos, aumentar a segurança, produtividade e confiabilidade do processo.

## 1.2 PROPOSTA DE TRABALHO

O projeto tem por objetivo o desenvolvimento de uma solução que visa realizar uma operação de parafusamento de forma automática do freio a tambor do eixo traseiro de um veículo urbano. O freio a tambor a ser parafusado no eixo apresenta quatro parafusos localizados no fundo da peça e tendo na sua frente uma placa circular, o cubo de montagem da roda, que representa um obstáculo aos parafusos. Entretanto, o obstáculo apresenta furos que permitem o acesso aos parafusos.

Atualmente o processo de parafusamento é feito utilizando uma apertadeira fixada em um dispositivo manipulado por um operador. Com a configuração das peças citadas, há a possibilidade de ocasionar erros de montagem e torqueamento, e atraso da produção por ser feita de forma manual.

Dentre os objetivos específicos do projeto, podemos citar:

- Estudar as soluções comerciais existentes;
- Construir a matriz QFD ou Casa da Qualidade, que visa determinar quais são os principais requisitos que o produto deve ter baseado no desempenho desejado pelo cliente;
- Construção da matriz morfológica, estabelecendo as possíveis soluções para o problema estabelecido;
- Definir a solução a ser utilizada e validar com o cliente baseado nas matrizes QFD e morfológica;
- Definir o *layout* da solução, existência de atuadores, sensores e estrutura da solução;
- Definir a lógica da solução, de que forma o equipamento irá operar e qual a sequência de operações;
- Definir lista de equipamentos utilizados, com especificações, fornecedores e estimativa de preços;
- Desenvolver o desenho geral da solução, integrando os elementos anteriormente estabelecidos, com estruturas definidas;
- Elaborar o memorial descritivo da solução.

O presente trabalho está organizado em cinco capítulos, sendo no primeiro realizada a introdução com justificativa e a proposta de trabalho. O segundo capítulo será dedicado à automação industrial, com as soluções comerciais existentes dos sistemas de parafusamento e a fundamentação teórica do CLP, lógica *Grafcet* e sensores industriais. O terceiro capítulo será dedicado à fundamentação teórica da metodologia de projeto de produto aplicado no presente trabalho, explicando sua importância e estrutura. O quarto capítulo será a aplicação da metodologia explicada no terceiro capítulo e o desenvolvimento da solução requisitada pelo cliente. O quinto e último capítulo será dedicado à conclusão do trabalho, explicitando suas contribuições, sugestões para trabalhos futuros e próximas etapas do presente trabalho.

## 2 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

### 2.1 APERTADEIRAS E PARAFUSADEIRAS

Entre as soluções comerciais encontradas que visam a automação do processo de parafusamento na indústria automotiva, verificou-se que uma variedade de equipamentos e possibilidades estão disponíveis.

Pode-se classificar as soluções em dois grupos: i) Processos autônomos que apenas aplicam torques em parafusos que já estejam no local de fixação. ii) Processos que realizam tanto o encaixe do parafuso quanto a aplicação do torque necessário.

As soluções que apenas aplicam torques são sistemas que visam o encaixe de apertadeiras no parafuso de forma automática. As apertadeiras para uso fixada, como os modelos ETX ou QST (Figura 1) da [ATLAS-COPCO](#) ou os modelos da série especial E55 da [STANLEY](#) e série QE para uso fixada da [INGERSOLL-RAND](#), uma vez acionadas, são capazes de aplicarem o torque necessário no parafuso.



Figura 1: Apertadeira elétrica para uso fixada, série QST, ([ATLAS-COPCO, 2013](#))

Os equipamentos que realizam o encaixe do parafuso e aplicam o torque possuem um sistema de alimentação automática dos parafusos e são disponibilizados por empresas como [WEBER](#), [VISUMATIC](#), [DIXON](#), [DEPRAG](#) e [DTI](#).

Os equipamentos, descritos em [Weber-Catálogo \(2013\)](#) (Figura 2), [Visumatic-Catálogo \(2013\)](#), [Dixon-Catálogo \(2012\)](#), [Deprag-Catálogo \(2011\)](#) e [DTI-Catálogo \(2013\)](#), são capazes de trabalhar com aplicações das mais diversas, como na indústria eletrônica, com parafusos de pequenas dimensões e baixos valores de torques envolvidos, à indústria automobilística, com parafusos maiores e altos valores de torques.



Figura 2: Eixo estacionário de parafusamento com alimentação automática, série SA, ([WEBER-CATÁLOGO, 2013](#))

Ambas as soluções podem ser integradas com braços robóticos de seis graus de liberdade, fornecendo sistemas flexíveis que se adaptam facilmente às mudanças do produto, como apresentado por [Weber-RSF \(2013\)](#) (Figura 3) e [DAC \(2010\)](#).



Figura 3: Sistema de parafusamento com alimentação automática assistido por robô (6DOF), ([WEBER-RSF, 2013](#))

Pode-se também construir soluções dedicadas, ou robôs cartesianos para cada aplicação específica. Esses dispositivos dedicados tendem a ser elementos de construção e operação mais simples que os braços robóticos de seis graus de liberdade, entretanto, eles acabam perdendo em flexibilidade quanto a mudança do produto ou processo, de acordo com [Weber \(2013\)](#). Essas soluções tendem a apresentar deslocamentos das ferramentas em eixos cartesianos determinados

como os apresentados por [Weber-SBM \(2013\)](#), [Deprag-Aplicação \(2008\)](#) (Figura 4) e [Dixon-Célula \(2014\)](#). Outra possibilidade são os robôs SCARA, que apresentam um volume de trabalho cilíndrico, como apresentado por [Visumatic-MBC \(2013\)](#) (Figura 5).



Figura 4: Robô cartesiano para parafusamento, ([DEPRAG-APLICAÇÃO, 2008](#))



Figura 5: Robô SCARA para com sistema de parafusamento, (VISUMATIC-MBC, 2013)

Ressalta-se que os fabricantes que oferecem parafusadeiras com alimentação automática, em geral, têm seus próprios sistemas de realimentação do elemento a ser rosqueado, como os sistemas de mesa vibratória helicoidal da [Weber-ZEB \(2013\)](#) (Figura 6) e [Dixon-Alimentação \(2014\)](#), e o sistema de transporte por degrau da [Weber-ZEB \(2013\)](#).



Figura 6: Sistema de alimentação de parafusos ZEB. (WEBER-ZEB, 2013)

## 2.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

O Controlador Lógico Programável (CLP) é um dispositivo físico, eletrônico, capaz de armazenar em sua memória interna sequências de instruções em lógica binária. O CLP é capaz de conectar-se com outros dispositivos externos o que permite o envio e/ou recebimento de variáveis de entrada e saída (ROSÁRIO, 2006).

O CLP tem por princípio de funcionamento a execução, dentro da CPU, de um programa que realiza periodicamente ações de leitura das variáveis de entrada, em conjunto com a execução de uma lógica de programação desenvolvida pelo usuário, destinado ao controle e monitoramento de tarefas específicas, sendo capaz de realizar intervenções nas variáveis de saída, conforme Figura 7 (ROSÁRIO, 2006).

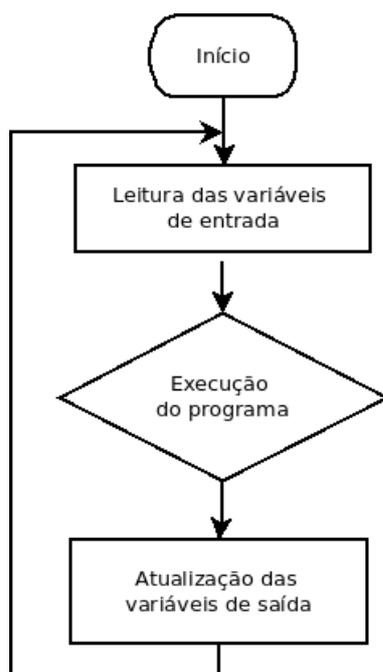


Figura 7: Funcionamento de um CLP, (ROSÁRIO, 2006)

Segundo Rosário (2006), o CLP industrial possui a seguinte arquitetura básica :

1. Unidade Central de Processamento (CPU, *central processing unit*), integrada pelo processador, sistema de memória e circuitos internos.
2. Fonte de alimentação, responsável por energizar a CPU e os módulos de entrada e saída.
3. Módulos de entrada e saída, ou E/S (*input/outup* ou I/O), responsáveis pelo envio ou recebimento de sinais, que podem ser discretos (digitais) ou analógicos.
4. Base, responsável por proporcionar conexão mecânica e elétrica entre o demais elementos do CLP. No barramento de comunicação presente entre esses elementos, estão presentes sinais de dados, endereço, controle e tensão de alimentação.

A programação do CLP pode ser feita seguindo a norma IEC61131-3 , podendo ser dividida em dois grupos, a linguagem gráfica e a linguagem textual (JOHN; TIEGELKAMP, 2010). As linguagem gráficas incluem o diagrama *ladder*, o diagrama de blocos funcionais e a sequência gráfica de funções (SFC, *Sequential Function Chart*). Já as linguagens textuais englobam a lista de instruções e o texto estruturado.

## 2.3 SEQUENCIAMENTO GRÁFICO DE FUNÇÕES

O sequenciamento gráfico de funções ou SFC surgiu na França em 1975 sob o nome de *Grafcet* e estão submetidas à Norma IEC60848 (IEC, 2002). Esse modelo de representação

gráfica do comando de sistemas automatizados é constituídos basicamente por um conjunto de ações, transições e ligações orientadas, conforme pode ser observado na Figura 8 (ROSÁRIO, 2006).

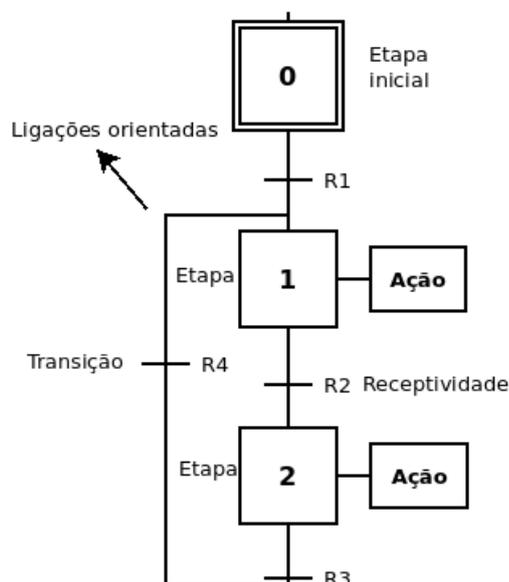


Figura 8: Esquema ilustrativo de um *Grafcet*, (ROSÁRIO, 2006)

Ainda segundo Rosário (2006), no modelo *Grafcet*, uma etapa representa um instante onde as variáveis de entrada e saída estão invariáveis, ou seja, representa um estado do sistema. Ela é representada por um quadrado referenciado numericamente, ao qual está associada uma ou mais ações. As ações de cada etapa podem ser descritas de forma literal ou simbólica no interior do retângulo associado.

Transições são funções lógicas que controlam a evolução entre as etapas. Para cada transição está associada uma receptividade, que vem a ser a condição lógica que permite distinguir as informações disponíveis que propiciem a evolução da lógica do programa. Ela é representada por um traço perpendicular aos arcos orientados e indica uma possível transição do *Grafcet* para a etapa seguinte.

As ligações orientadas indicam o caminho de evolução de estado do *Grafcet*. São representadas por linhas que possuem orientação de cima para baixo. Quando o sentido for inverso, é necessário incluir uma seta. Podem ser classificadas em ligação sequencial, conforme Figura 8, sequência simultânea ou sequência divergente, conforme Figura 9.

## 2.4 SENSORES INDUSTRIAIS

Sensores podem ser definidos como transdutores que alteram suas características físicas internas devido a um fenômeno físico externo (ROSÁRIO, 2006). De acordo com ISA (2009), o

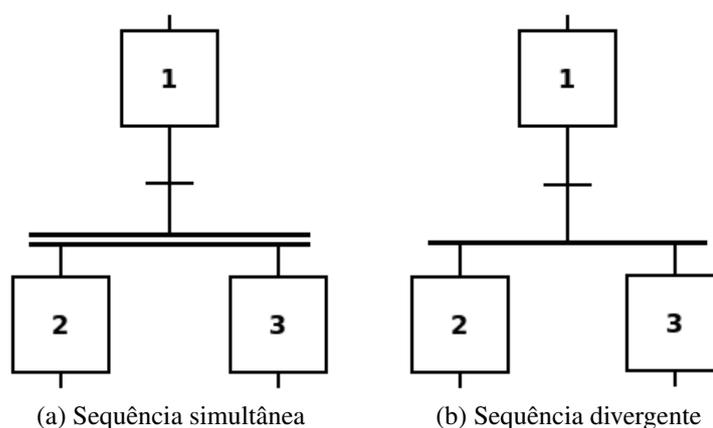


Figura 9: Sequências simultânea e divergente, adaptado de (PRUDENTE, 2007)

sensor é um instrumento que quando estimulado por uma variável de processo, que assume um estado predeterminado e inteligível, gera um sinal de saída indicando essa variável de processo.

Sensores não são capazes de funcionar por si só. Eles são sempre parte um sistema maior que pode incorporar outros detectores, condicionadores de sinal, processadores de sinal, dispositivo de memória e atuadores (FRADEN, 2004). Na automação industrial, os elementos sensores são as entradas dos controladores lógicos programáveis industriais (ROSÁRIO, 2006).

Entre as classes de sensores existentes, os sensores de proximidade e presença serão os mais explorados no presente trabalho. Elementos digitais (*on/off*) são largamente utilizados em processos automatizados para detectar a presença ou ausência de um objeto. Os mais empregados na automação de máquinas e equipamentos industriais são os sensores do tipo chave mecânica de fim de curso, capacitivo, indutivo, óptico, magnéticos e ultra-sônicos (ROSÁRIO, 2006).

As chaves de fim de curso são chaves eletromecânicas convencionais que apresentam duas formas gerais de operação, normal aberta e normal fechada. São utilizadas para detectar o fim de movimento de um dispositivo, Figura 10. Os sensores magnéticos, como o da Figura 11, são compostos por um contato feito de material magnético que é acionado na presença de um campo magnético externo. O sensor ultra-sônico, como o mostrado na Figura 12, é semelhante a um sonar, mas é utilizado como sensor de proximidade. Ele emite uma onda de alta frequência, inaudível para o ser humano, e mede o tempo gasto entre a emissão e o retorno utilizando cristais com efeitos piezoelétricos (ROSÁRIO, 2006).

Os sensores indutivos apresentam princípio de funcionamento semelhante ao de um indutor. O sensor indutivo é formado por um indutor de núcleo aberto. Quando não há peça metálica a ser detectada, o campo magnético passa pelo ar com baixa intensidade. Na presença de uma peça metálica, o campo magnético passa pela peça e sua intensidade aumenta. Dessa forma, os sensores indutivos como o da Figura 13 são utilizados para detectar peças metálicas (ROSÁRIO, 2006). Os sensores indutivos apresentam como características a ausência de peças móveis, a atuação sem contato físico, são totalmente vedados, possuem grande repetibilidade e



Figura 10: Sensor chave de fim de curso (SIEMENS, 2014b)



Figura 11: Sensor magnético (WEG, 2014)



Figura 12: Sensor ultra-sônico (ALLEN-BRADLEY, 2014)

substituem com vantagens as chaves fim de curso (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).



Figura 13: Sensor indutivo (IFM, 2014b)

Os sensores capacitivos apresentam princípio de funcionamento semelhante ao de um capacitor. No sensor capacitivo, como da Figura 14, o material dielétrico é o ar, apresentando constante dielétrica igual a um. Na presença de um material com constante dielétrica maior que um, a capacitância detectada aumenta. Dessa forma os sensores capacitivos são utilizados para detectar presença de uma ampla gama de materiais (ROSÁRIO, 2006).

Os sensores ópticos são formados por um emissor e por um receptor de luz. O emissor de luz óptico pode ser um LED, uma lâmpada ou mesmo um laser. O receptor é um componente fotossensível. Os sensores ópticos podem atuar de três formas, segundo Rosário (2006):

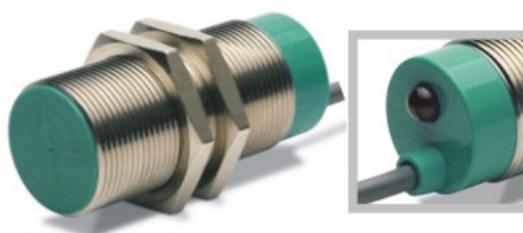


Figura 14: Sensor capacitivo (WEG, 2014)

- por reflexão: onde a luz é refletida no objeto e o sensor é acionado. Também conhecido como sensor de reflexão difusa, como o da Figura 15.
- por barreira: o objeto bloqueia a passagem da luz, acionando o sensor. Normalmente o emissor e receptor estão no mesmo invólucro e há presença de um elemento reflexivo.
- por emissão-recepção: o emissor e receptor estão montados separadamente. Quando um objeto bloqueia a passagem da luz, o sensor é acionado.



Figura 15: Sensor óptico de reflexão difusa (IFM, 2014c)

Os sensores ópticos são capazes de detectar vários tipos de objetos, exceto os transparentes ou escuros no caso de operar por reflexão.

Outra classe de sensores utilizadas no presente trabalho é para medição de posição. Eles são requisitados em sistemas de controle realimentadas de posição e velocidade. Entre os sensores para medida de posição estão o potenciômetro, o sensor de deslocamento linear e o *encoder*.

Segundo Rosário (2006), um potenciômetro é um sensor analógico que trabalha como divisor de tensão, que fornece uma informação de posição absoluta, apresenta baixo custo, pode apresentar alterações de temperatura e variações no uso e não podem ser utilizados em ambientes com umidade ou poeira. Os potenciômetros são capazes de transformar uma variável mecânica, angular ou rotacional, em uma tensão elétrica. Ainda segundo Thomazini e Albuquerque (2005) o potenciômetro apresentam três contatos. Dois deles conectam aos fins do resistor, apresentando resistência fixa entre eles. O terceiro contato é conectado a um posicionador que é movido ao

longo do resistor e a resistência entre ele e cada uma das outras duas conexões varia, conforme Figura 16.

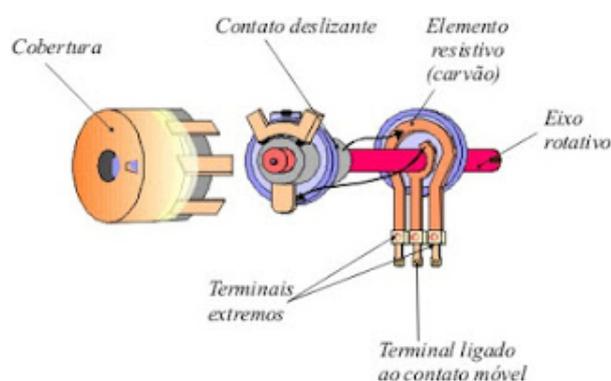


Figura 16: Detalhe construtivo de um potenciômetro (PERINI, 2012)

O sensor de deslocamento linear (LVDT - *linear variable differential transformer*) é um sensor para medida de deslocamento linear. Ele consiste de um núcleo magnético que se move no interior de um cilindro. A carcaça do cilindro contém um núcleo primário, que apresenta movimento livre, e dois núcleos secundários que detectam a magnitude do deslocamento, conforme Figura 17, sendo considerado um sensor muito preciso. Os transformadores rotativos são sensores similares ao LVDT, em que a variável medida é um deslocamento angular (ROSÁRIO, 2006).

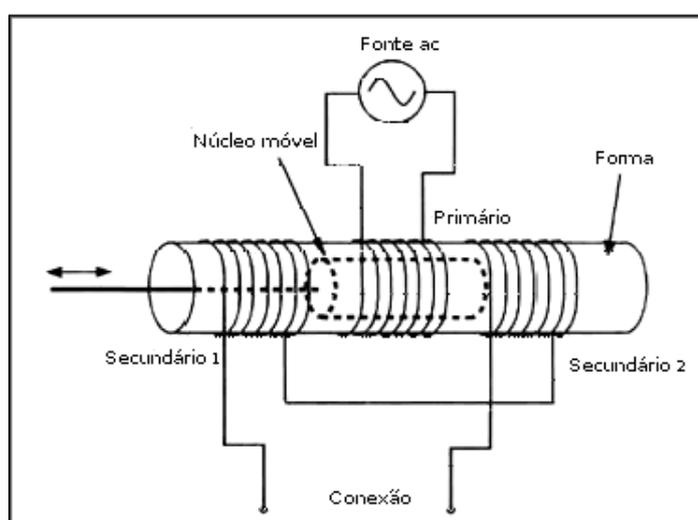


Figura 17: Componentes do LVDT, adaptado de (NI, 2014a)

*Enconders* ópticos são sensores digitais bastante utilizados para fornecer a realimentação de posição em atuadores. São compostos por disco de vidro ou plástico que giram entre um fonte de luz e um par de fotodetectores, conforme indicado na Figura 18. Dessa forma, o disco é codificado com setores alternados de transparência e opacidade, gerando pulsos de luz (ROSÁRIO, 2006). Os *enconders* podem ser classificados em incrementais ou absolutos. Os incrementais são capazes de gerar pulsos e realizar a contagem do avanço e a determinação

da direção. Os absolutos possuem um único sistema de codificação associado a cada posição angular, dessa forma não é necessário inicializar a posição, como nos incrementais, sendo assim mais complexos e caros (ROSÁRIO, 2006).

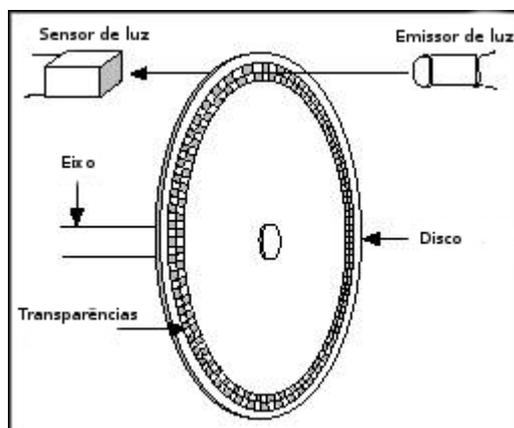


Figura 18: Componentes do *encoder* óptico, adaptado de (NI, 2014b)

# 3 METODOLOGIA DE PROJETO DE PRODUTO

## 3.1 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Segundo [Coutinho, Ferraz et al. \(1994\)](#), o desempenho competitivo de uma organização é correlacionado por uma série de fatores, subdivididos em: interno à empresa; de natureza estrutural, relacionado ao setor industrial; e de natureza sistêmica, como mostrado na Figura 19.

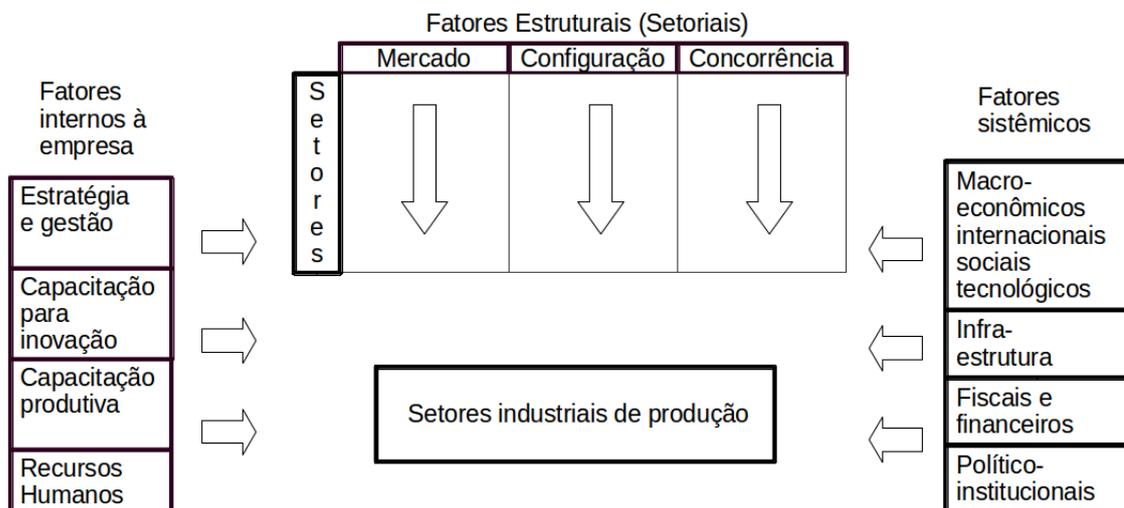


Figura 19: Fatores determinantes da competitividade da indústria. Adaptado de ([COUTINHO; FERRAZ et al., 1994](#))

Os fatores internos à organização são os que estão sob seu controle e por meio das quais ela procura se distinguir de seus competidores.

Os fatores estruturais são aqueles que, mesmo não estando diretamente sob controle da organização, estão em parte em sua área de influência e caracterizam o ambiente competitivo que ela enfrenta diretamente.

Os fatores sistêmicos são externos à área de influência da empresa, como fatores macro-econômicos, político-institucionais, regulatórios, infra-estruturais e sociais.

Segundo [Back \(2008\)](#), em uma empresa produtora de bens ou produtos, o que importa é a qualidade dos mesmos, ainda que esse seja um conceito bem amplo, isto é, a qualidade deve estar integrada ao produto durante todo o ciclo de vida. O ponto de partida é o projeto do produto,

onde devem ser considerados os aspectos de qualidade, desde a primeira etapa de identificação das necessidades até o descarte.

Ainda segundo [Back \(2008\)](#), atualmente estão superadas as visões econômicas tradicionais que definiam a competitividade como uma questão de preços, custos e taxas de câmbio. A competitividade atualmente está baseada na capacidade da empresa de gerar produtos de qualidade em curto espaço de tempo e com baixo custo de desenvolvimento ([WOMACK; JONES, 2004](#)).

A Figura 20 ressalta as fases iniciais do projeto do produto. Percebe-se que decisões tomadas no início do ciclo de vida do produto até o projeto detalhado são capazes de comprometer os custos do mesmo. Como apresentado por [Barton, Love e Taylor \(2001\)](#), as decisões do projeto determinam 70% ou mais dos custos do produto.

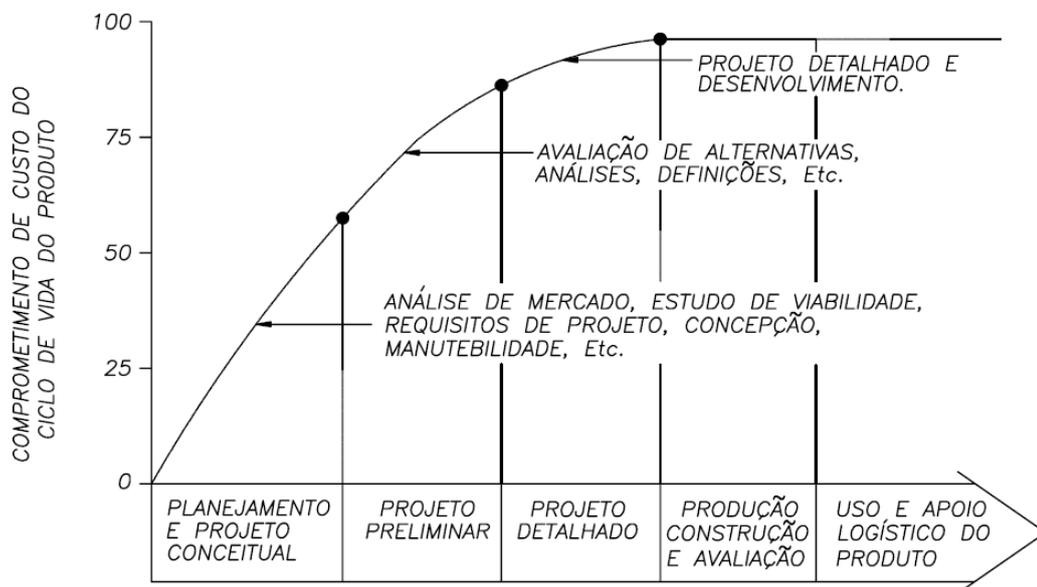


Figura 20: Efeitos das diferentes fases do ciclo de vida sobre o custo do produto ([Downey, 1969](#) apud [BACK, 2008](#), p. 15)

Ainda sob o ponto de vista do custo, a Figura 21 mostra que o custo do projeto representa 5% do custo total, entretanto as decisões tomadas nessa etapa tem influência em 70% do custo total.

Desta forma, verifica-se a importância do projeto do produto para obtenção de produtos com qualidade e que possa garantir a competitividade da organização.

## 3.2 ESTRUTURA DO PROJETO

Geralmente o projeto de um novo produto é dividido em várias etapas a fim de facilitar o gerenciamento e estabelecimento de vínculos entre as operações da organização. As fases do projetos, quando agrupadas formam o ciclo de vida do projeto ([PMI, 2004](#)).

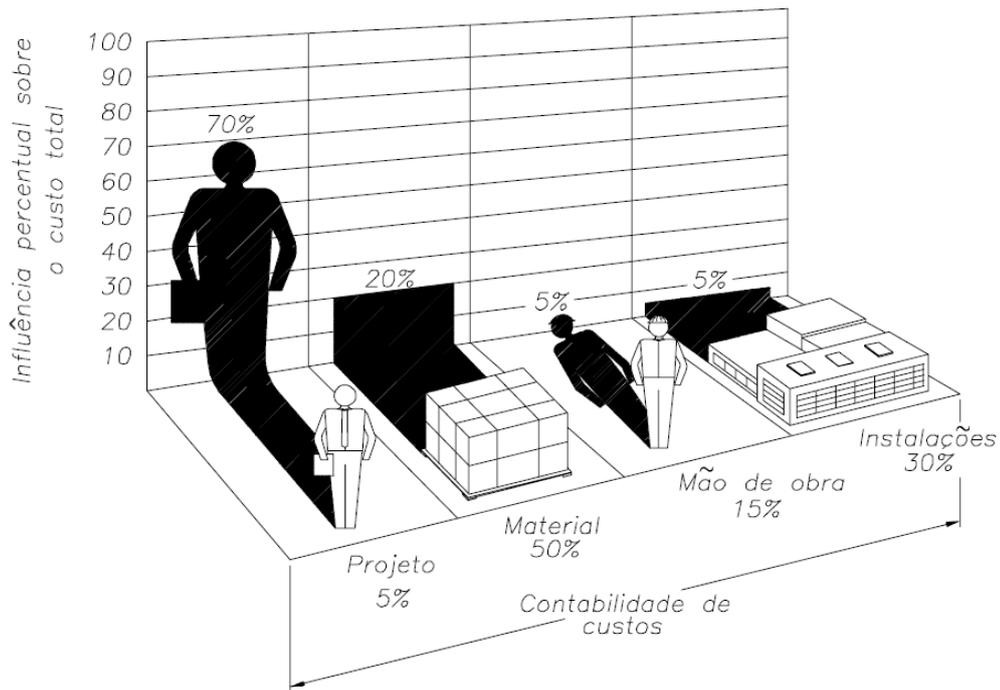


Figura 21: Influências sobre o custo do produto, devido às decisões tomadas, referentes ao projeto, ao material, à mão-de-obra e às instalações (Smith; Reinertsen, 1991 apud BACK, 2008, p. 15)

Ainda de acordo com Romano (2003), as fases de um projeto são caracterizadas por apresentarem saídas ou resultados especificados, seguindo uma progressão linear, desde o planejamento do projeto, passando pela execução e encerramento do mesmo.

O Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos (PRODIP) descrito por Back (2008) e mais detalhadamente por Romano (2003), descreve a elaboração do desenvolvimento do produto em três macro-fases compostas de oito fases, conforme mostrado na Figura 22.

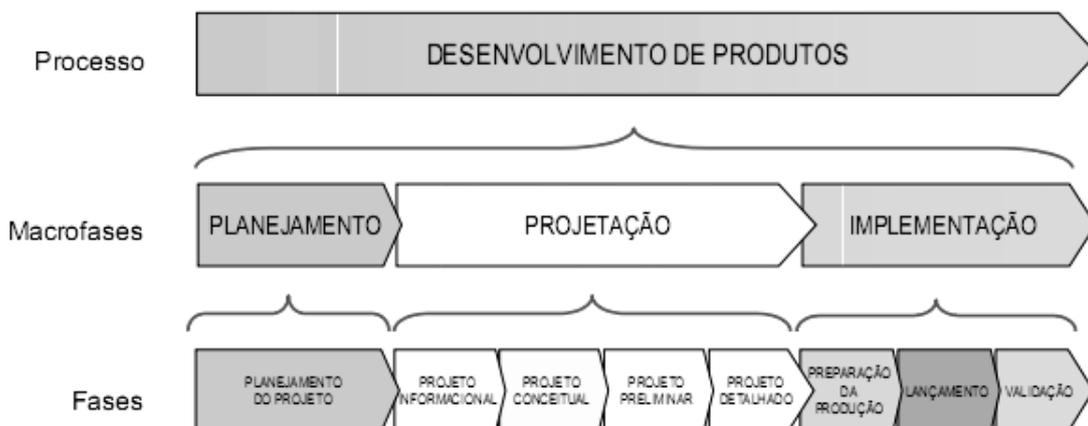


Figura 22: Macrofases e fases do desenvolvimento de produto. Adaptado de (ROMANO, 2003)

A primeira fase, o planejamento do projeto, envolve a elaboração do plano do projeto

do produto. Nessa etapa formaliza-se a existência do projeto, estabelecem-se os envolvidos, justifica-se sua realização, descreve-se o que será desenvolvido e avaliam-se os riscos existentes (BACK, 2008).

A segunda fase, o projeto informacional, destina-se à definição das especificações de projeto do produto. Para isso, primeiramente são identificadas as necessidades dos clientes ou usuários. Com esses dados são levantados os requisitos do cliente e na sequência os requisitos de projeto do produto, considerando diferentes atributos: funcionais, ergonômicos, de segurança, de confiabilidade, de modularidade, estéticos e legais, entre outros (BACK, 2008).

Uma ferramenta descrita por Back (2008) e que permite relacionar e priorizar os requisitos do produto com os requisitos do cliente é o método QFD (*Quality Function Deployment*). O método, apresentado por Akao (1990 apud BACK, 2008, p. 212) nos fins dos anos 1960 é fundamentado na preocupação de que os produtos devem ser projetados para refletir os desejos, gostos e expectativas do cliente.

No método QFD completo tem-se o desdobramento de quatro matrizes. Segundo AUT-University (2007), as quatro matrizes são:

- Planejamento do produto: Também conhecida como casa da qualidade, é a fase onde documenta-se os requisitos do cliente, oportunidades competitivas e medidas do produto. Muitas das organizações geralmente realizam somente essa etapa do processo.
- *Design* do produto: Essa etapa requer equipes criativas e inovadoras. Conceitos de produtos são criadas nessa etapa e parte da especificação é documentada.
- Planejamento do processo: Nesta etapa o processo de manufatura é destrinchado e os parâmetros do processo são documentados.
- Controle do processo: Nesta etapa são levantados indicadores para monitorar o processo de produção, o calendário de manutenção e treinamento de operadores. Também são levantados os riscos do processo de produção e como evitá-los.

No presente trabalho, conforme sugerido por Back (2008), será adotada a matriz casa da qualidade, mostrada na Figura 23. A segunda matriz será substituída por outra ferramenta, a matriz morfológica. Como a etapa de produção não faz parte do presente trabalho, as últimas duas matrizes não serão abordadas.

A forma de preenchimento da matriz casa da qualidade pode ser vista em detalhes em (BACK, 2008). Entretanto, a Figura 24 exemplifica como é feito o preenchimento do 'telhado' da casa da qualidade, onde são correlacionados os requisitos do projeto, uma vez que esse item tende a ser o menos intuitivo de ser preenchido. Na figura 24, temos que os requisitos 1 e 4 têm um forte relacionamento positivo e os requisitos 3 e 6 se relacionam negativamente.

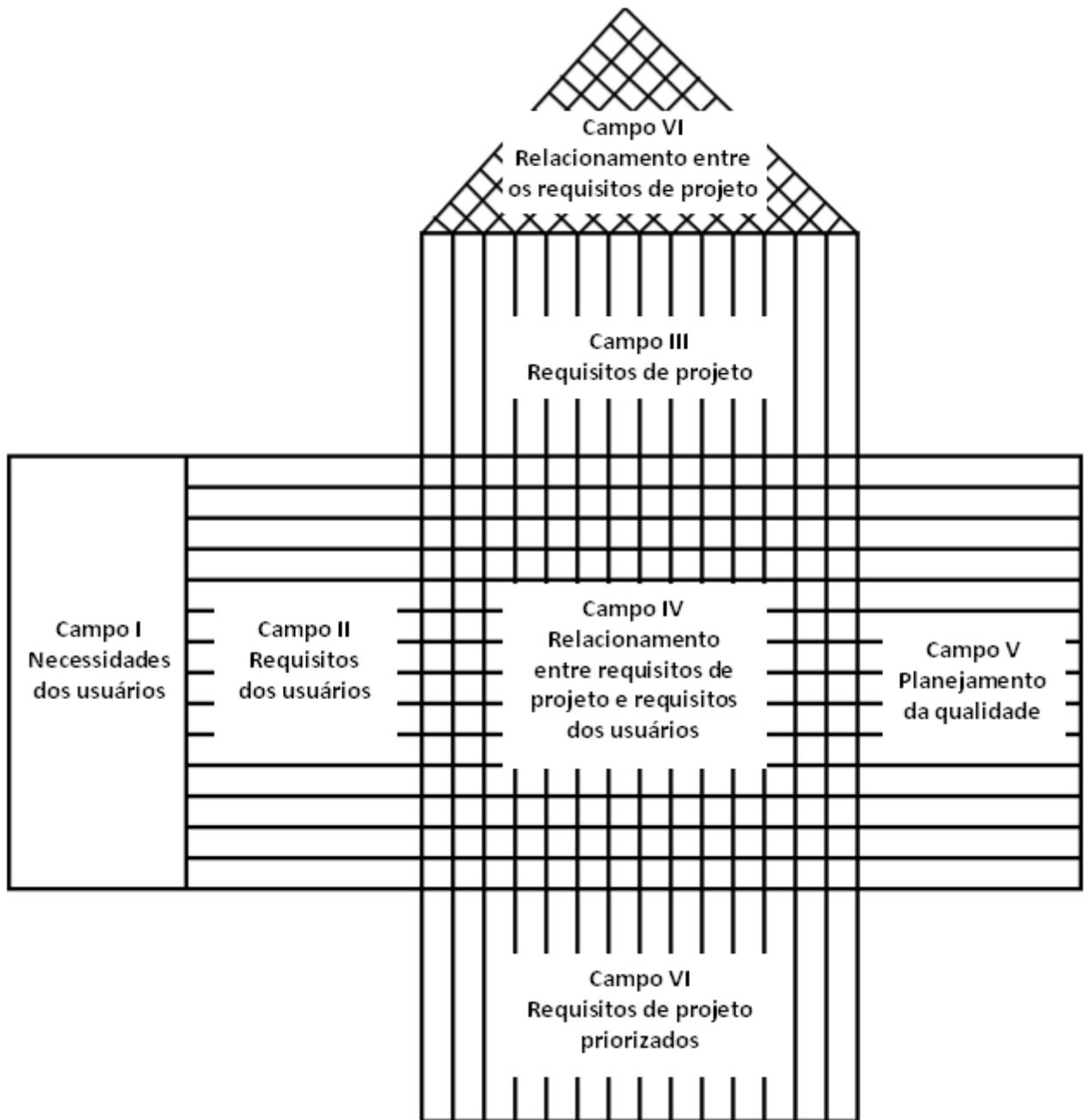


Figura 23: Forma e principais elementos da casa da qualidade (BACK, 2008)

Dos requisitos do projeto, estabelecem-se as especificações de projeto, ou seja, os objetivos que a o produto deve atender. As especificações de projeto orientarão o desenvolvimento de todo o processo de concepção.

A terceira fase descrita, o projeto conceitual, destina-se ao desenvolvimento da concepção do produto. Para isso, estabelece-se primeiramente a estrutura funcional do produto através da definição de sua função global e de suas subfunções. Determinadas as funções a serem realizadas pelo produto, parte-se para as estruturas funcionais alternativas, visando selecionar a mais adequada. Com a estrutura funcional escolhida, são desenvolvidas concepções alternativas (BACK, 2008).

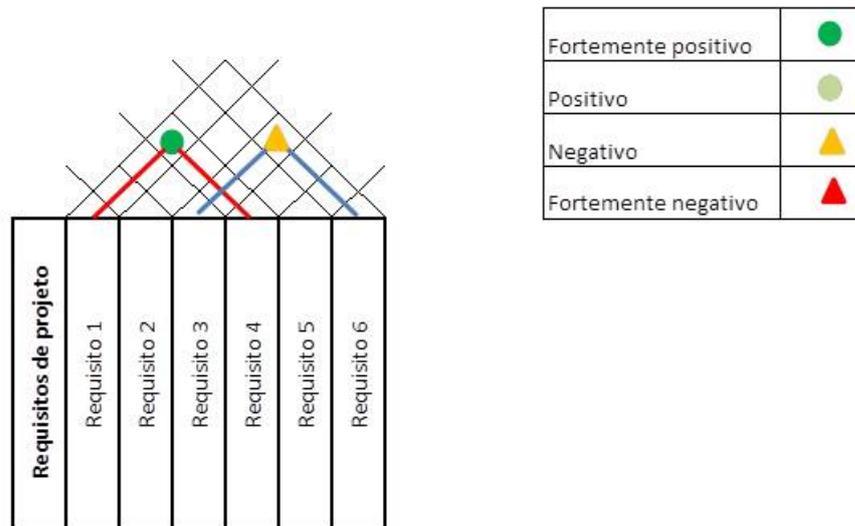


Figura 24: Preenchimento do 'telhado' da casa da qualidade

Uma vez desenvolvida a concepção do produto, pode-se estabelecer o contato com eventuais fornecedores para desenvolvimento do projeto preliminar e detalhado das subfunções especificadas na estrutura funcional, e é realizado um estudo inicial de segurança da concepção escolhida.

Segundo [Back \(2008\)](#), estabelece-se a estrutura funcional do produto definindo primeiramente sua função global, de forma condensada e abstrata, sem apontar como o problema será resolvido, quais são as entradas e saídas dessa função (de energia, material e sinal) e como ela se relacionará com outros elementos vizinhos, conforme mostrado na [Figura 25](#). Na sequência, a função global é expandida nas suas funções parciais, que podem ser recursivamente decompostas de forma a simplificar o entendimento e apresentar um princípio de solução facilmente identificado, conforme [Figura 26](#).

Uma das ferramentas mostrada por [Back \(2008\)](#) e utilizada no presente trabalho é a matriz morfológica. O método consiste na listagem de múltiplos princípios de soluções para cada subfunção a ser realizada pelo produto e consequente escolha de uma solução para cada subfunção, de tal forma que ao agregar todas essas soluções tenha-se a concepção de um produto, conforme [Figura 27](#).

A quarta fase do desenvolvimento de produto, o projeto preliminar, visa estabelecer o *layout* do produto final e determinar a viabilidade técnica e econômica do mesmo. Essa etapa consiste na análise das especificações de projeto quanto às dimensões, materiais, posição, segurança; definição dos componentes de terceiros que serão utilizados (desenvolvidos e/ou comprados por fornecedores); revisão das patentes e considerações legais e de segurança; definição das dimensões dos principais componentes; plano de fabricação e teste do protótipo e sua estrutura preliminar ([BACK, 2008](#)).

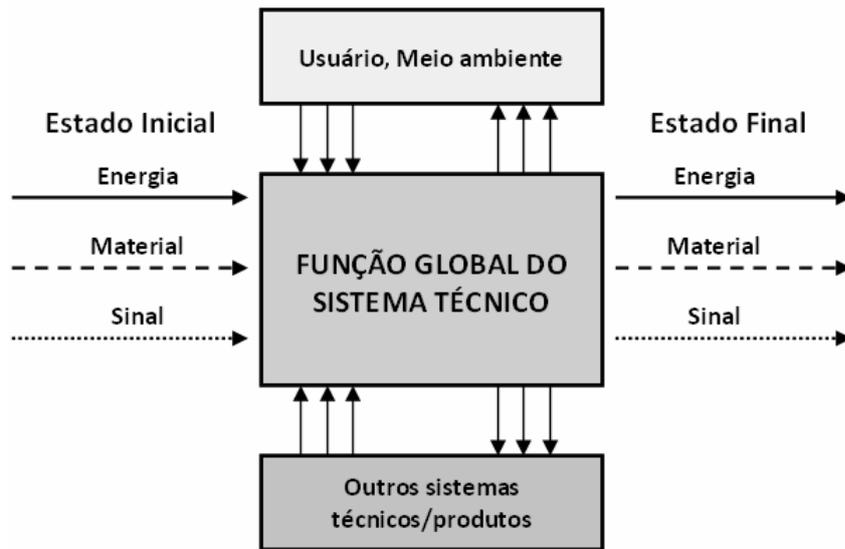


Figura 25: Formulação global do sistema técnico. Adaptado de (BACK, 2008)

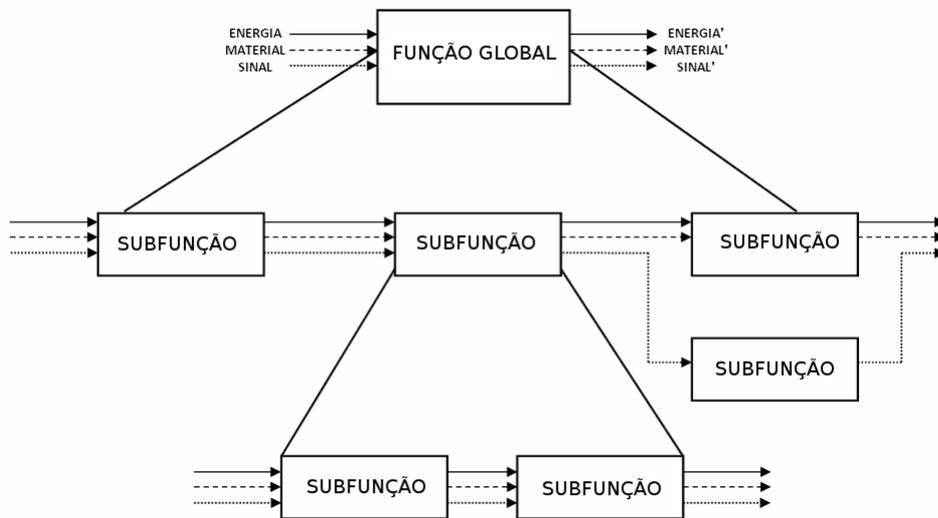


Figura 26: Desdobramento da função global em funções mais simples. Adaptado de (PAHL et al., 2005)

Para o desenvolvimento do projeto preliminar uma ferramenta importante a ser utilizada é um programa de computador CAD (*Computer Aided Design*) que visa facilitar o desenvolvimento dos desenhos técnicos e a concepção do *layout* do produto em 3D. Na presente trabalho, será utilizado o programa de computador *SolidWorks* da fabricante Dassault Systèmes (DASSAULT, 2014).

Vale ressaltar que o presente trabalho visa o desenvolvimento de uma máquina automática de parafusamento até parte da fase do projeto preliminar.

A quinta fase citada, o projeto detalhado, visa aprovar o protótipo testado, finalizar as especificações dos componentes, detalhar o plano de manufatura e preparar a solicitação de investimentos (BACK, 2008).

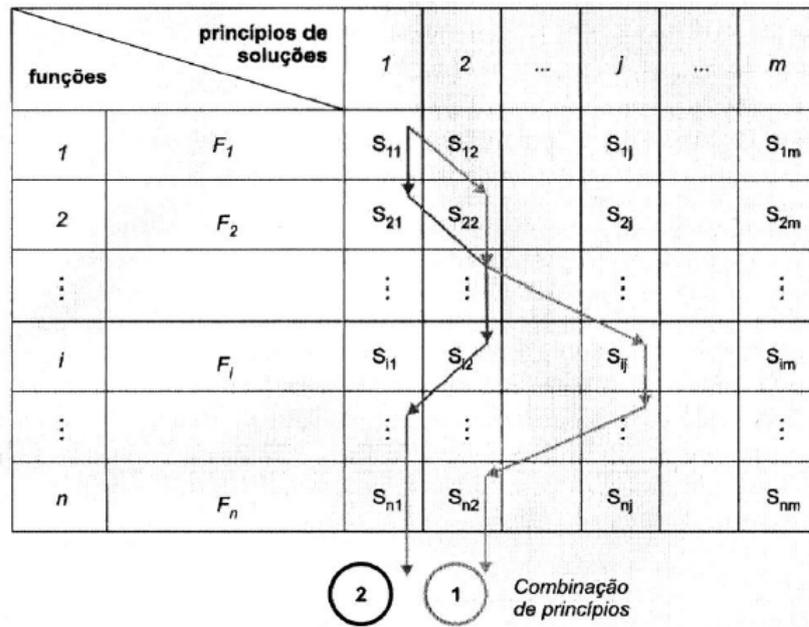


Figura 27: Matriz morfológica e a combinação de princípios de solução. (ROZENFELD, 2006)

A sexta fase descrita é a preparação da produção. Esta fase trata da preparação da produção do produto e da implementação do planejamento de *marketing*. Nela, inicia-se a macrofase da implementação do lote inicial, com a produção do lote piloto (BACK, 2008).

A fase seguinte é o lançamento do produto, na qual é feito a produção do lote inicial, sua aprovação e o lançamento do produto no mercado. A comercialização do lote inicial é acompanhada pela área de pós-venda e as análises financeira e econômica são encerradas (BACK, 2008).

A última fase, a validação do produto, trata da validação do produto junto aos usuários e à auditoria e da validação do projeto junto ao cliente direto. Nesta etapa é realizada as lições aprendidas e o projeto é encerrado (BACK, 2008).

# 4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

## 4.1 PLANEJAMENTO DO PROJETO

Visitas ao cliente externo foram realizadas para declarar o escopo do projeto, que ficou determinado como "proposta de solução para automatização da etapa de parafusamento do conjunto de freio a tambor no eixo traseiro veicular".

Como a proposta do trabalho consiste em propor uma solução de automação de uma etapa produtiva, nem todas as etapas previstas no desenvolvimento de produto foram considerada. O projeto foi desenvolvido até parte da etapa preliminar, ou seja, determinação do *layout* em CAD, estudo econômico, definição dos componentes e da lógica da solução. Não foram realizados o plano de fabricação, teste ou construção do protótipo, assim como as etapas de projeto detalhado, preparação da produção, lançamento e validação do produto

A metodologia recomenda que o desenvolvimento de produto seja realizado em equipe multidisciplinar. Entretanto, devido a natureza da presente monografia que visa avaliar o trabalho individual do aluno, tal desenvolvimento de produto foi realizado de forma individual pelo autor. Outro ponto a ser salientado é que não foi realizada uma análise completa do ciclo de vida do produto nem foram identificados os clientes internos e intermediários envolvidos. Os dados do presente trabalho foram levantados diretamente com o cliente externo, ou seja, o cliente final para o qual a solução se aplica. Isso se deu pois a solução foi desenvolvida visando solucionar uma especificidade da linha de produção desse cliente externo.

O planejamento das atividades foi realizado utilizando a ferramenta *MS Project*, permitindo a determinação da duração e os recursos necessários em cada umas das atividades do projeto. As etapas vislumbradas foram: Coleta de material e informação, planejamento, estudo de soluções existentes, levantamento de requisitos do cliente/ matriz QFD, determinação da matriz morfológica, escolha das soluções à serem usadas, definição do *layout* e da lógica da solução, seleção de equipamentos utilizados, desenho geral da solução e escrita do memorial descritivo, conforme a Figura 28.

## 4.2 PROJETO INFORMACIONAL

Definido a estrutura do projeto e as pessoas envolvidas, foram realizados levantamentos de campo com o objetivo de coletar informações do processo assim como compreender as necessidades e especificações do cliente externo visando a confecção da matriz casa da qualidade (QFD). Tal matriz visa ser um guia para definir quais requisitos do projeto devem ser priorizados e quais serão suas especificações.

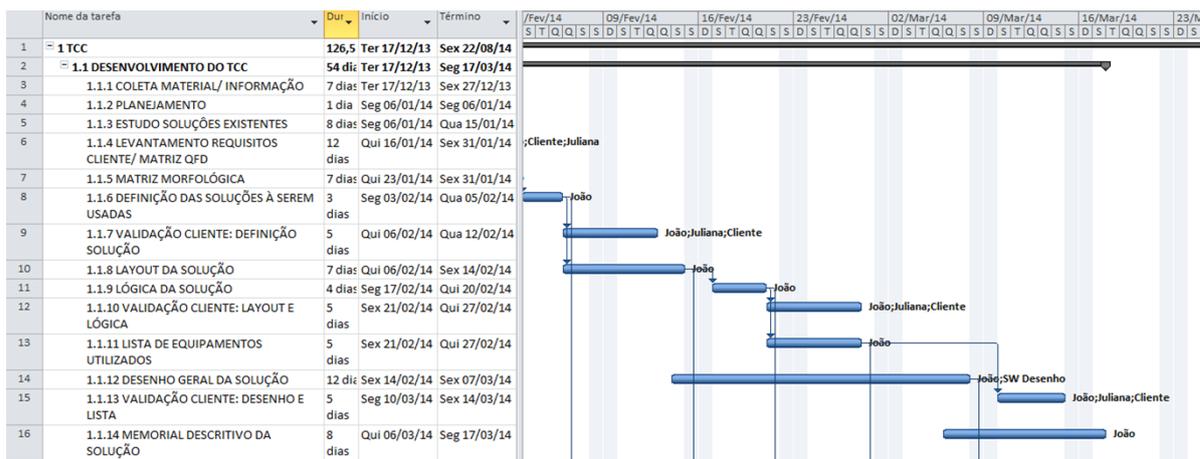


Figura 28: Planejamento do projeto

### 4.2.1 Descrição do Problema

O presente trabalho visa propor uma solução de automação de um processo de parafusamento do conjunto de freio do eixo traseiro de veículo urbano, feito por uma empresa de autopeças localizada em Camaçari/BA, que doravante será denominada como cliente. A empresa de autopeças não é responsável pelo desenvolvimento das peças, sendo essas criadas pela empresa montadora de veículos. Desta forma, visando cumprir os requisitos de sigilo e confidencialidade que nosso cliente tem com a empresa montadora, não serão citados nomes das empresas, de veículos ou plataformas, ou mesmo expostas fotos das peças e da linha produtiva neste presente trabalho.

Atualmente, o processo de parafusamento do conjunto de freio a tambor ao eixo traseiro dos veículos é realizado com apertadeiras Atlas Copco. A versão antiga de um dos veículos, que ainda se encontra em produção, permite que os quatro parafusos que realizam essa fixação sejam torquoados simultaneamente. Para isso, um dispositivo móvel que apresenta quatro apertadeiras fixadas é manuseada por operador para realizar a atividade de torqueamento. Isso é possível devido ao *design* das peças, que permite a acessibilidade simultânea aos quatro parafusos que ficam localizados na parte traseira do freio.

O veículo foi modernizado e o novo modelo não permite a acessibilidade simultânea aos quatro parafusos de fixação descritos, conforme mostrados na Figuras 29 e 30. Isso ocorreu devido a alteração do *design* do freio a tambor e do eixo traseiro. Para esse novo veículo, o acesso aos parafusos de fixação dos dois componentes passaram da parte traseira do freio, onde era permitido o livre acesso aos quatro parafusos de forma simultânea, para a parte interna do freio a tambor, onde tal acessibilidade não é permitida.

Na parte frontal do freio a tambor se encontra o cubo da roda, tornando-se um obstáculo ao acesso simultâneo aos quatro parafusos que se encontram na parte interna do freio a tambor. O cubo, onde é montada a roda do carro, apresenta liberdade de movimentação angular, permitindo o acesso aos parafusos localizados na parte posterior através de dois furos presentes no cubo.

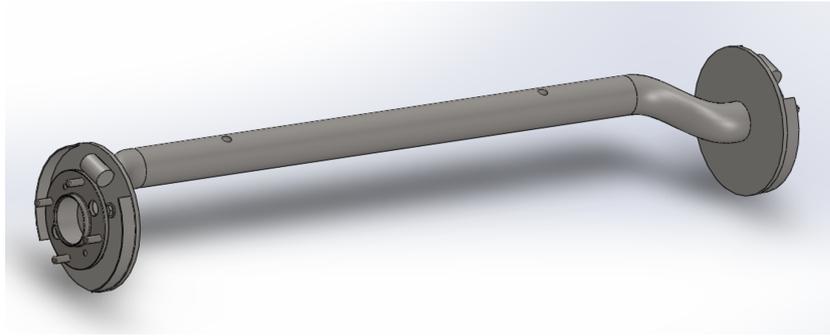


Figura 29: Desenho representativo do eixo salientando o freio a tambor

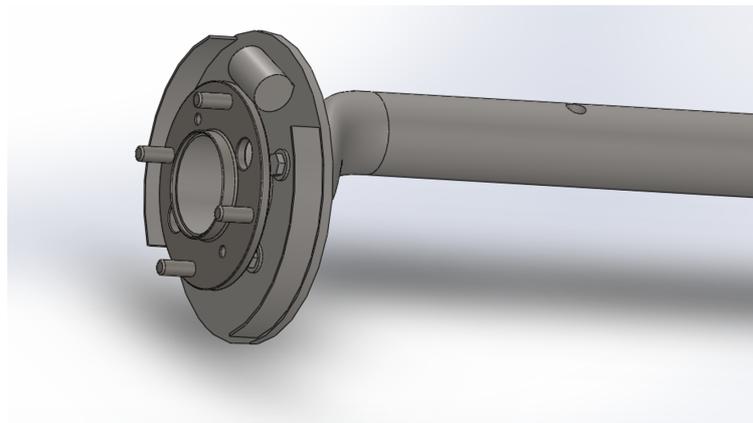


Figura 30: Desenho representativo do freio a tambor representando os parafusos

É preciso manipular o cubo para alinhar os furos do mesmo com os locais onde se localizam os parafusos, conforme Figura 31. Ressalta-se que ambas as configurações de eixos, tanto da versão antiga quanto na nova, são produzidas na mesma linha de produção.

Devido à configuração das peças do veículo do presente trabalho, a operação de parafusamento descrita permite apenas a aplicação de torque em um parafuso de cada vez. Os dois furos do cubo não permitem o alinhamento com dois dos parafusos.

A operação consiste em uma etapa de pré-torque dos quatro parafusos (cerca de 5Nm), seguidas de operação de aplicação do torque (cerca de 70Nm), seguindo uma ordem pré definida conforme Figura 32. O conjunto do freio e eixo já será fornecido com os parafusos encaixados no devido local, ficando o equipamento a ser desenvolvido responsável pela aplicação dos torques. O eixo apresenta dois furos transversais perpendiculares ao mesmo que podem ser utilizados para referenciar todo o conjunto do freio a tambor, conforme Figura 33.

Outro ponto salientado pelo cliente é a necessidade de trabalhar com equipamentos de fornecedores específicos, como mostrado na Tabela 1. Esses equipamentos já são utilizados pelo cliente atualmente e o seu uso seria de fácil implementação, além de respeitar contratos já estabelecidos. Dessa forma, tais fornecedores a serem utilizados formam as restrições do projeto.

Destaca-se que a restrição de trabalhar com os citados fornecedores não representa uma obrigação de utilizar seus respectivos equipamentos. Por exemplo, caso seja vislumbrado uma

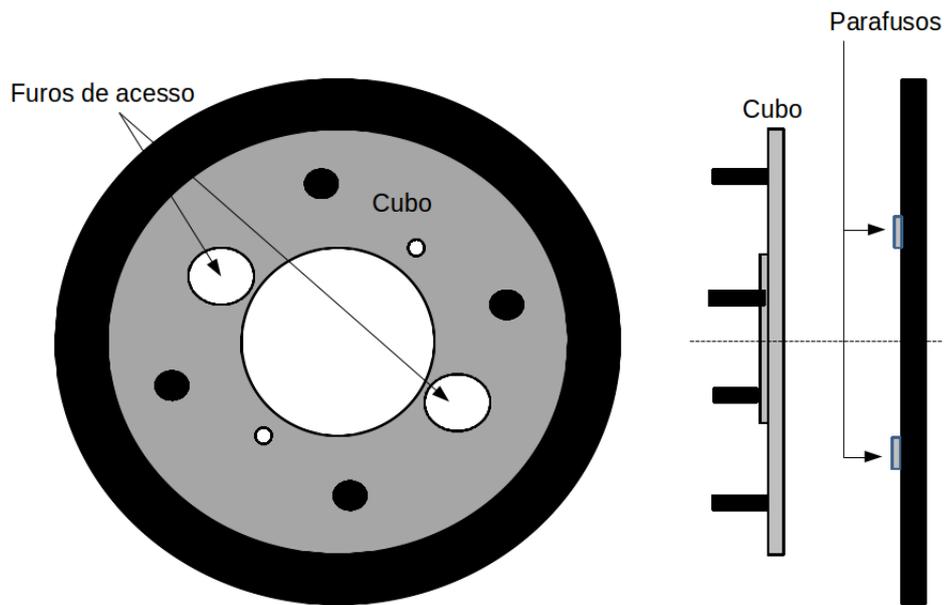


Figura 31: Esquemático da localização dos parafusos e do cubo no novo conjunto do freio a tambor

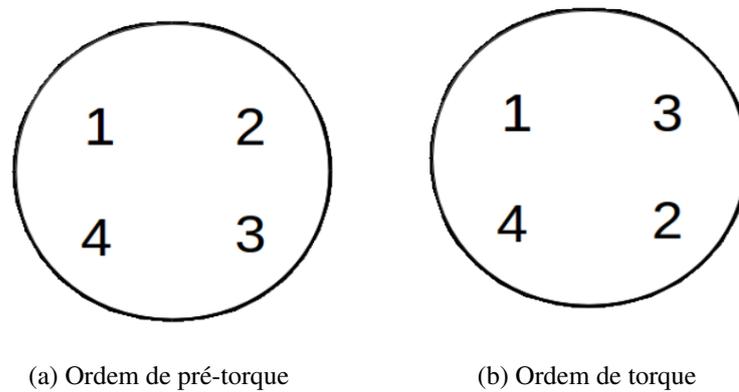


Figura 32: Ordem das operações de pré-torque e torque dos parafusos de fixação

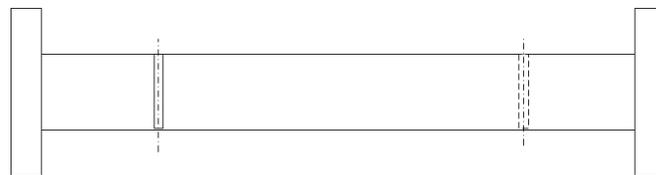


Figura 33: Eixo traseiro com presença de furos transversais de referência

solução que utilize um braço robótico, ele deverá ser da ABB. Isso não implica que a solução à ser proposta tenha que necessariamente utilizar um braço robótico.

Tabela 1: Fornecedores à serem utilizados

<b>Equipamento</b>	<b>Fornecedor</b>
Apertadeira	Atlas Copco
CLP	Siemens
Robô	ABB

Nesse contexto, o presente trabalho visa propor uma solução de automação da etapa de parafusamento do conjunto de freio a tambor no eixo traseiro do novo veículo, com o objetivo de eliminar o 'gargalo' produtivo ocasionado pela alteração do *design* descrito.

#### 4.2.2 Matriz QFD

Para confecção da matriz da Casa da Qualidade (QFD), foram levantados juntamente com a empresa durante visita, sua necessidade e seus requisitos.

A necessidade levantada é o "Desenvolvimento de sistema de parafusamento do conjunto de freio do eixo traseiro do veículo urbano".

Os requisitos do clientes foram sugeridos pelo autor do trabalho bem como seus pesos. O cliente avaliou e validou os dados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Requisitos do cliente e seus respectivos pesos

<b>Requisitos cliente</b>	<b>Pesos</b>
Produtividade	5
Segurança	5
Repetibilidade	5
Fornecedores padrões	5
Qualidade de operação	5
Ergonomia	4
Menor custo	4
Facilidade de manutenção	4

De posse dos requisitos do cliente, foram levantados os requisitos do projeto pelo autor, suas tendências desejadas com sinais + e -, indicando respectivamente quanto maior melhor e quanto menor melhor, e unidades, conforme Tabela 3.

Tabela 3: Requisitos do projeto e suas tendências desejadas

<b>Requisitos do projeto</b>	<b>Tendência desejada</b>	<b>Unidade</b>
Número de peças	-	n
Custo dos componentes	-	R\$
Custo da operação	-	R\$
Máxima dimensão dos componentes	-	m
Número de peças móveis	-	n
Porcentagem das peças padronizadas	+	%
Peso total	-	Kg
Número de acionamentos	-	n
Número de dispositivos de segurança	+	n
Precisão do torque	+	%
Precisão do referenciamento das peças	+	%
Precisão do encaixe da ferramenta no parafuso	+	%
Duração máxima do processo	-	s
Frequência de manutenção	-	semanas
Consumo de energia	-	KWh
Área utilizada	-	m <sup>2</sup>

Na sequência estabelece-se o relacionamento mútuo entre os requisitos do projeto, também chamado de telhado da casa da qualidade, conforme apresentado na figura 34. Intui-se que a número de peças e o custo dos componentes tendem a ter um influência negativa com os requisitos de precisão, uma vez que uma menor quantidade de componentes e utilizando os mais baratos, que tendem a ter menor qualidade, podem tornar o sistema menos robusto e preciso. Outras relações negativas podem ser verificadas, entretanto temos um maior número de relacionamentos positivos entre os requisitos do projeto. Por exemplo, o custo da operação tende a cair com o aumento das precisões do sistema descrito, uma vez que aumenta a eficiência do processo. Outra análise feita é o aumento da velocidade do processo, a redução do número de operações, da frequência de manutenção e do consumo de energia gerados pela redução do número de peças móveis. Verifica-se também que o aumento da porcentagem de peças padronizadas, que tendem a ter maior qualidade, pode gerar o aumento das precisões citadas nos requisitos do projeto.

Em seguida, os requisitos do projeto foram relacionados com os requisitos do cliente, através de notas que variam de 0 a 5 indicando, respectivamente, de nenhum relacionamento à um forte relacionamento. Baseando-se em boas práticas observadas e na experiência prévia do autor chegou-se nos valores apresentados na Figura 34.

Desta forma, temos que o requisito do cliente de produtividade aparentemente não é influenciada pela área utilizada pelo equipamento. Já o baixo número de peças pode implicar em alta velocidade e produtividade ou baixa robustez e muitas falhas afetando a produtividade. O pequeno tamanho dos componentes e baixo peso pode tanto indicar um processo que consome menos energia e é mais rápido afetando positivamente a produtividade como pode implicar em um processo menos preciso e robusto. Em relação aos dispositivos de segurança, o equipamento pode apresentar alta produtividade mesmo com poucos dispositivos de segurança, mas caso eles não sejam suficientes e haja um desconformidade, a produtividade seria prejudicada. O consumo de energia aparentemente não interfere na produtividade.

Ainda referente ao requisito produtividade, em relação ao custo dos componentes, geralmente componentes mais caros tendem a ser mais confiáveis, robustos e precisos, afetando positivamente a produtividade. O custo da operação mais alto pode indicar uma operação precisa, mais robusta ou rápida, melhorando a produtividade, ou um menor custo da operação pode indicar em um processo mais eficiente, também influenciando positivamente a produtividade. O menor número de peças móveis assim como o menor número de operações podem indicar um processo mais rápido o que tende a aumentar a produtividade. Uma maior porcentagem de peças padronizadas tende a implicar em maior robustez, precisão e confiabilidade do sistema afetando positivamente a produtividade. Já no caso da precisão do torque, do referenciamento das peças e do encaixe da ferramenta no parafuso, quanta mais alta a precisão, maior será a eficiência do sistema, implicando em alta produtividade. Referente a velocidade do processo, quanto mais rápido maior será a produtividade.

Sobre o requisito do cliente por segurança, temos que o custo da operação aparenta ter baixa relação com a segurança, ela pode indicar um baixo consumo de energia e maior segurança, ou maior velocidade e maior risco. A frequência de manutenção também aparentar ter baixa relação com a segurança. Já o menor número de peças pode implicar em menor complexidade do sistema e menos falhas, interferindo positivamente na segurança. Em relação ao tamanho dos componentes, os menores tendem a ser menos inseguros em caso de falha. Já em relação às peças padronizadas, elas tendem a ser mais robustas e seguras. Em relação à precisão do torque, do referenciamento das peças e do encaixe da ferramenta no parafuso, quanto maior a precisão, maior a garantia de correto funcionamento do sistema implicando em equipamento mais seguro.

Ainda sobre o requisito de segurança, temos que um maior consumo de energia pode afetar a segurança do processo devido ao aumento dos riscos envolvidos. Com relação a área utilizada, quanto maior a área, maior a distância entre os acessos do equipamento e as partes perigosas, aumentando a segurança. Já para os números de peças móveis e de operações, quanto maiores eles forem, mais complexos tende a ser o equipamento e com maiores áreas de restrição ao acesso de pessoas, tendo maior influência na segurança. Referente ao peso, quanto mais pesado o equipamento, maior o risco à segurança em caso de falha.

Referente ao requisito do cliente por repetibilidade, os requisitos de tamanho dos com-

ponentes, peso total, consumo de energia e área utilizada não aparentam ter relação com a repetibilidade do processo. Já o menor número de peças e o baixo custo da operação podem tanto implicar em uma menor complexidade do processo apresentando poucos desvios logo maior repetibilidade quanto uma menor robustez afetando negativamente esse quesito. Em relação ao custo dos componentes, os mais baratos tendem a ser menos precisos e robustos, influenciando negativamente a repetibilidade do processo. Já o número de peças móveis em alta quantidade e a alta velocidade do processo podem implicar uma maior possibilidade de ocorrência de erros afetando a repetibilidade. Para o número de dispositivos de segurança, temos que quanto maior a quantidade, menores as chances de ocorrer um desvio de funcionamento, o que afetaria a repetibilidade.

Ainda no quesito repetibilidade, uma baixa precisão do torque implicaria em peças com índices distintos de fixação, o que afetaria a repetibilidade do sistema, entretanto esse quesito é mais relacionado à apertadeira. Para a frequência de manutenção, quanto menor esse valor, menor os ajustes e verificações no equipamento, o que pode afetar a repetibilidade. Já as peças padronizadas tendem a ser mais uniformes, robustas e com maior qualidade, influenciando a repetibilidade. Quanto ao número de operações, um alto valor implicaria em maior possibilidade de desvio afetando a repetibilidade. Para a precisão do referenciamento das peças e do encaixe da ferramenta, baixa precisão desses itens poderia implicar em mau funcionamento do sistema e baixa repetibilidade.

Referente ao requisito do cliente por ergonomia, percebe-se que o custo dos componentes, o custo da operação e a precisão do torque tendem a ter pouca relação. O número de operações não aparenta ter muita relação com a ergonomia pois o equipamento tem funcionamento automático. A mesma relação tem o consumo de energia, que poderia se relacionar caso o alto gasto energético implicasse em maior risco à manutenção e logo em menor ergonomia. Já os requisitos de número de peças, tamanho dos componentes e número de peças móveis caso tenham baixos valores tendem a incrementar a ergonomia durante eventual manuseio e manutenção. Já as peças padronizadas tendem a ter uma maior facilidade de manutenção e logo de ergonomia.

Ainda referente à ergonomia, percebe-se que a baixa precisão de referenciamento das peças e do encaixe da ferramenta no parafuso, podem gerar retrabalho que afetariam a ergonomia. Sobre a velocidade do processo, quanto mais rápido ele for, menor tende a ser a reação do operador em caso de mau funcionamento, afetando a ergonomia. Para a área utilizada, quanto maior a área destinada ao aparelho, mais fácil tende a ser a manutenção do mesmo. Como o dispositivo será automático, o peso do equipamento tende a ter maior influência na ergonomia durante a manutenção.

Para o requisito do cliente por fornecedores padrões, percebe-se que o tamanho dos componentes e o peso total não aparentam ter relação com os fornecedores de origem dos equipamentos. Já o número de peças móveis aparenta ter pouca relação, pois o menor número de peças móveis podem ou não implicar em um menor número de fornecedores padrões. Uma

baixa relação com esse requisito do cliente apresenta o consumo de energia e a área utilizada. Já o número de peças, o número de operações e o número de dispositivos de segurança, quanto maior seus valores, maior o número de fornecedores serão necessários.

Ainda sobre os requisitos de fornecedores, temos que para o custo dos componentes e custo da operação, fornecedores padrões tendem a ter preços mais altos por componentes mais uniformes, robustos e eficientes. O mesmo raciocínio vale para a precisão do referenciamento das peças, do encaixe da ferramenta no parafuso e a velocidade do processo, com esses valores sendo influenciados por componentes precisos e de alta qualidade. Para a precisão do torque, como ela é responsabilidade da apertadeira, é fortemente influenciado pelo fornecedor da ferramenta. Para a frequência de manutenção, fornecedores padrões tendem a ter componentes mais robustos.

Referente ao requisito do cliente por qualidade de operação, percebe-se que o número de peças, o consumo de energia e a área utilizada não aparentam ter relação com o requisito do cliente citado. O custo da operação não implica necessariamente na qualidade da mesma, alto custo pode ser relacionado com etapas desnecessárias que não agregam em qualidade. O mesmo vale para o tamanho dos componentes e o peso total do equipamento. Já o custo dos componentes aparentam ter maior influência, uma vez que os mais caros tendem a ter maior qualidade e robustez sendo necessários para garantir a qualidade do processo. Para o número de peças móveis e de operações, percebe-se que quanto menor seus valores, mais simples e confiáveis são as etapas do processo, influenciando na qualidade do mesmo. Para baixa frequência de manutenção, pode-se ocasionar na não verificação de mau funcionamento do sistema, afetando esse requisito do cliente.

Ainda sobre a qualidade da operação, tem-se que peças padronizadas são necessariamente mais confiáveis e garantem uma operação de maior qualidade. Em relação ao número de dispositivos de segurança, quanto maior esse valor, maior a garantia de correto funcionamento do sistema implicando em maior qualidade da operação. Sobre a precisão do torque, do referenciamento das peças e do encaixe da ferramenta no parafuso, percebe-se que elas têm grande influência sobre a qualidade da operação. Já a velocidade do processo pode ocasionar em perda de qualidade caso a alta velocidade não seja corretamente controlada.

Para o requisito do cliente do menor custo, percebe-se que a porcentagem de peças padronizadas tem certa influência pois tais peças tendem a ser mais caras uma vez que apresentam maior qualidade. O peso total também influencia uma vez que menor o peso das peças implica em menor necessidade de material, logo em menor custo. A precisão do torque, do referenciamento das peças e do encaixe da ferramenta no parafuso tendem a ser garantidos por equipamentos de maior qualidade normalmente mais caros, entretanto apresentam menos falhas o que baratearia o custo do processo. Já o menor número de peças, de peças móveis, de dispositivos de segurança e de operações implicam em menor custo do equipamento. O custo dos componentes e da operação tem influência direta no custo total. O tamanho dos componentes também tem influência no custo do equipamento, com componentes menores tendendo a ser mais baratos.

Ainda para o menor custo, para maior velocidade do processo tende-se a necessitar de equipamentos mais rápidos e robustos, que tendem a ser mais caros. Para a frequência de manutenção, temos que sistemas robustos e eficientes podem implicar em manutenções mais esparsas, o que implicaria em baixo custo de operação do equipamento. O baixo consumo de energia implica diretamente na redução do custo de operação do dispositivo. Já a área utilizada tem influência indireta no custo visto que uma maior área utilizada implicaria na redução da área disponível para outros equipamentos produtivos.

O último requisito do cliente analisado é a facilidade de manutenção. O custo da operação aparenta ter pouca influência na facilidade de manutenção, uma vez que operação cara pode implicar em grande número de equipamentos o que dificultaria a manutenção ou pode implicar em processo mais robusto o que facilitaria a manutenção. O mesmo raciocínio vale para o número de dispositivos de segurança. Um maior número desse item pode indicar um maior número de peças o que dificultaria a manutenção, como pode significar um equipamento mais robusto o que diminuiria a necessidade de manutenção. Já o custo dos componentes apresenta uma maior influência na facilidade de manutenção, pois equipamentos mais caros geralmente são mais robustos. Em relação à precisão do torque, uma apertadeira mais precisa pode indicar uma ferramenta mais robusta, com menor necessidade de manutenção. Já a precisão do referenciamento das peças, do encaixe da ferramenta no parafuso e a velocidade do processo podem implicar em equipamentos mais complexos visando atingir tais requisitos, o que pode implicar na dificuldade de manutenção. Em relação ao consumo de energia, percebe-se que menor gasto energético pode significar equipamentos mais seguros e com peças menores, o que facilitaria a manutenção.

Ainda sobre a facilidade de manutenção, percebe-se que o menor número de peças totais e móveis no equipamento, o reduzido tamanho e menor peso das mesmas tenderiam a facilitar a manutenção da máquina. Da mesma forma o menor número de operações pode implicar em equipamentos mais simples com menor número de peças, o que também facilitaria a manutenção. Já a maior presença de peças padronizadas tende a facilitar tal atividade pois peças padronizadas são em geral de fácil reposição e intercambiáveis. Com relação à frequência de manutenção, a menor necessidade de fazê-la pode implicar em um sistema mais robusto, o que facilitaria a manutenção. Por fim, uma maior área disponível para o equipamento facilitaria o manuseio de peças pelo operador, facilitando a manutenção.

Uma vez definida a relação entre os requisitos, realiza-se uma soma ponderada de cada requisito do projeto, visando identificar quais são os mais importantes. Isso é feito utilizando-se o peso de cada requisito do cliente e realizando-se o produto deste com a relação equivalente e somando-se ao resultado final. Na Figura 34, percebe-se no quadro "valor estimado do grau de importância (soma ponderada)" a nota que cada requisito do projeto obteve, e no quadro "classificação por ordem de prioridade" a ordem dos mesmos. Os requisitos de projeto que devem ser priorizados estão presentes na Tabela 4.

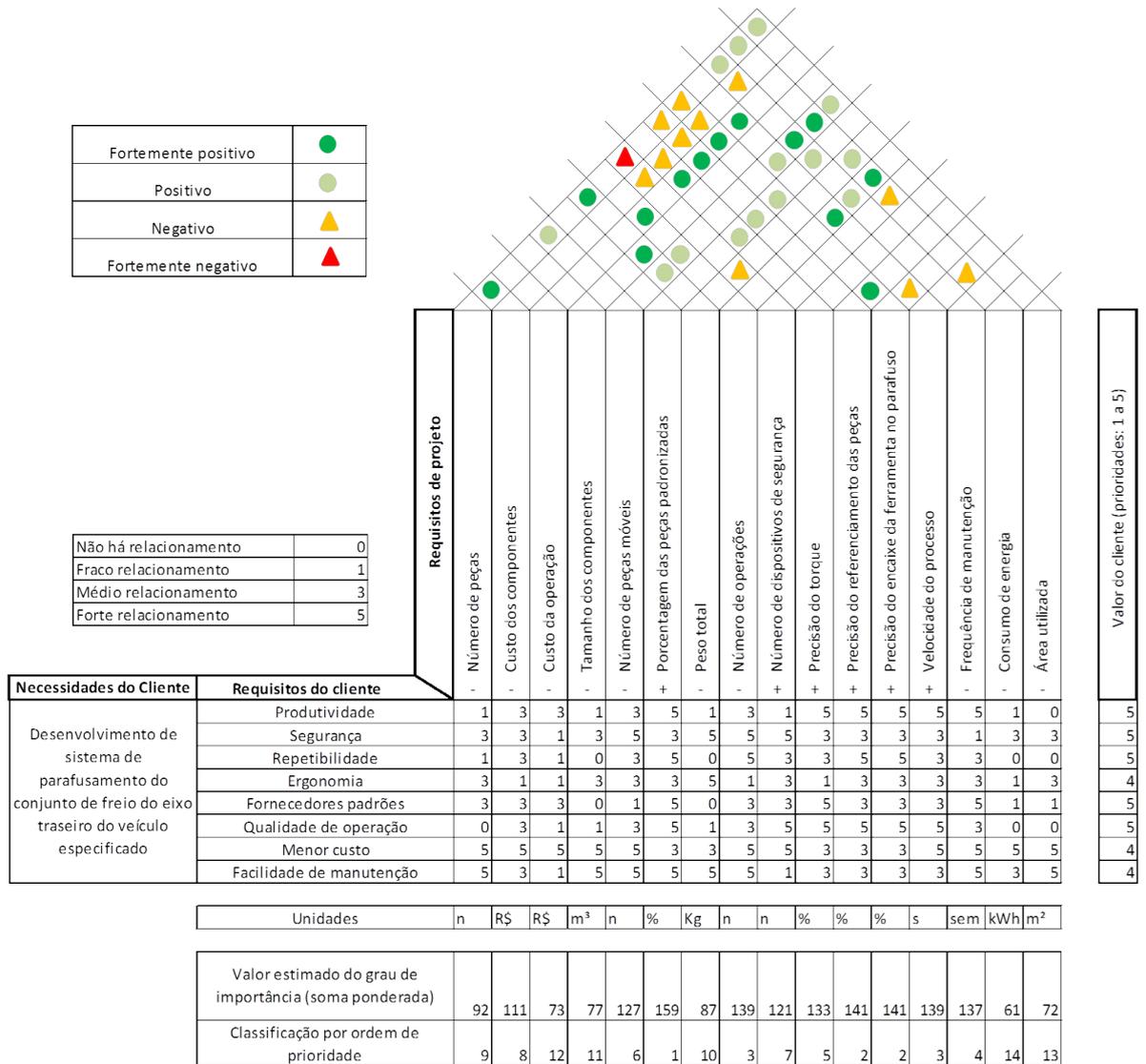


Figura 34: Matriz QFD do projeto

Tabela 4: Requisitos do projeto classificados

<b>Requisitos do projeto</b>	<b>Classificação</b>
Porcentagem das peças padronizadas	1º
Precisão do referenciamento das peças	2º
Precisão do encaixe da ferramenta no parafuso	2º
Velocidade do processo	3º
Número de operações	3º
Frequência de manutenção	4º
Precisão do torque	5º
Número de peças móveis	6º
Número de dispositivos de segurança	7º
Custo dos componentes	8º
Número de peças	9º
Peso total	10º
Tamanho dos componentes	11º
Custo da operação	12º
Área utilizada	13º
Consumo de energia	14º

Após obter a lista classificada dos requisitos do projeto, foram selecionados os sete primeiros de forma arbitrária pelo autor e definiu-se as especificações que estes requisitos devem atender. Esta escolha se deu pois os primeiros requisitos classificados são os mais importantes para o projeto e serão levados em consideração, em detrimento dos demais. Dessa forma, a primeira especificação, porcentagem das peças padronizadas foi escolhido em 70%, a partir das boas práticas observadas. As especificações de precisão do torque, do referenciamento das peças e do encaixe da ferramenta no parafuso foram estabelecidas em 99%, pois o cliente não aceita taxas de acertos menores que esse valor. A quarta especificação, velocidade do processo, foi estabelecido em 57 segundos por definição do cliente.

A especificação do número de operações foi estabelecido em 20, ou seja, a quantidade de acionamentos que devem ser realizados pelo equipamento e esse valor foi estipulado através da análise do problema. A frequência de manutenção foi estipulada para ser realizada a cada 24 semanas, baseado em boas práticas observadas. Pode-se estipular a necessidade de manutenção preventiva sincronizada com a manutenção da linha onde se encontrará o equipamento.

Dessa forma, a Tabela 5 resume as especificações estabelecidas, suas unidades, formas de medição e observações.

Tabela 5: Especificações do projeto

<b>Especificação</b>	<b>Unidade</b>	<b>Sensor</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Observação</b>
Porcentagem das peças padronizadas	%	Estatística	70	Priorizar componentes de fabricantes já utilizados pelo cliente
Precisão do referenciamento das peças	%	Estatística	99	Capacidade de referenciar as peças para correta operação do dispositivo
Precisão do encaixe da ferramenta no parafuso	%	Estatística	99	Função principal do dispositivo a ser desenvolvido
Velocidade do processo	s	Cronômetro	57	Tempo entre recebimento da peça e entrega para próxima operação
Número de operações	n	Contagem	20	Reduzir ao máximo o número de operações necessárias
Frequência de manutenção	Semanas	Calendário	24	Reduzir a necessidade de manutenção. Sincronizar com a manutenção preventiva realizada na linha
Precisão do torque	%	Estatística	99	Dependente da ferramenta

## 4.3 PROJETO CONCEITUAL

### 4.3.1 Estrutura Funcional

Com as informações contidas no projeto informacional, foi possível determinar a estrutura funcional global do problema a ser resolvido assim como a estrutura funcional desmembrada simplificada, conforme descrito nas Figuras 35 e 36.

Desta forma, o dispositivo a ser proposto deve ser capaz de receber o conjunto de freio a tambor já encaixado no eixo traseiro e com os parafusos pré-rosqueados, identificar o tipo de eixo, fixar e referenciar as peças, localizar os furos de acesso do obstáculo, alinhar as partes, inserir a ferramenta no furo de acesso, manipulá-la e encaixá-la nos parafusos, aplicar os torques pré-estabelecidos em uma ordem pré-determinada, retirar a ferramenta, e liberar as peças torquadas para a próxima operação.

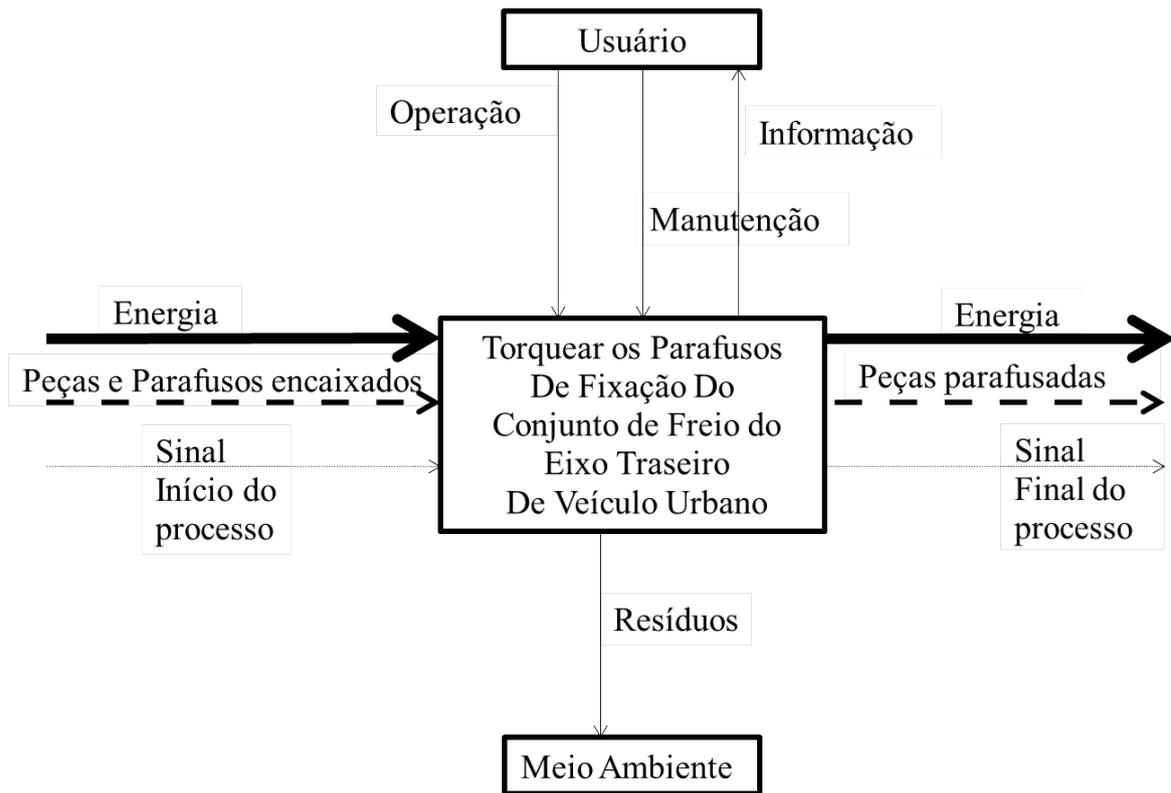


Figura 35: Estrutura funcional do problema

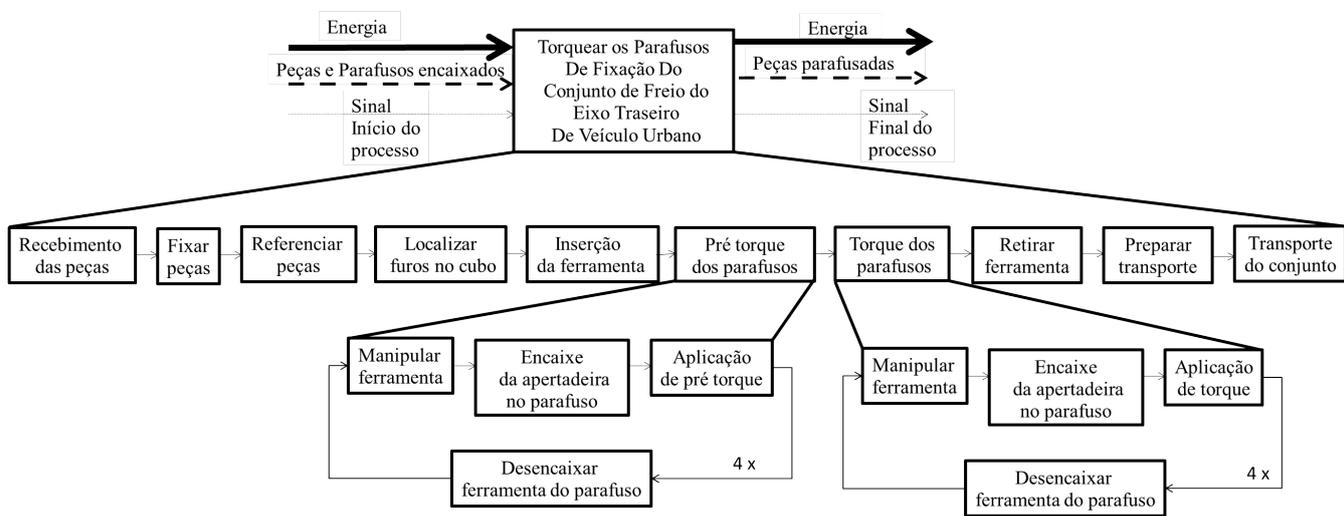


Figura 36: Estrutura funcional global simplificada do problema

### 4.3.2 Matriz Morfológica

Uma vez definida qual a função global e as subfunções a serem atendidas, foi estabelecido uma matriz morfológica com possíveis soluções para cada uma das subfunções. Lembrando que algumas das propostas de solução de cada subfunção podem ser utilizadas conjuntamente. A matriz morfológica da solução global desenvolvida pode ser observada na Figura 37.

Função	Subfunção	Soluções					
Referenciar Peças	Fixar Eixo	Pinos na Peças	Presilha	Prensa			
	Referenciar Eixo	Pinos na Peças					
	Presença peça (aciona dispositivo)	Indutivo	Fim de curso	Capacitivo	Óptico	RFID	
Localizar furos no obstáculo	Sensores	Capacitivo	Indutivo	Óptico	Visão	Fim de curso	Mecânico (Pinos)
Aplicar Torque	Número de apertadeiras	1	2				
	Manipulador	Dedicado	Scara	6DOF			
	Controle Torque	CLP (junto com ferramenta)					
Segurança	Isolamento	Grade	Cortina de luz				
	Alarme	Sonoro	Visual				

Figura 37: Matriz morfológica da solução global

Para a matriz morfológica da solução global, foi escolhido o método de fixar e referenciar as peças através de pinagens, uma vez que o eixo apresenta orifícios para fixação e referência. Foi escolhida também a prensa pneumática para fixar o eixo, método já utilizado atualmente na linha de produção. Para identificar a presença do eixo no dispositivo, vários métodos podem ser utilizados. Um sensor indutivo é capaz de identificar a presença do eixo no dispositivo. O RFID, já utilizado atualmente, permite identificar se o eixo passante pelo dispositivo é o correto para essa operação.

Para a localização do furo do obstáculo, foi escolhido um sensor óptico, especificamente um de reflexão difusa. Tal escolha foi baseada nos trabalhos de [Paulos e Canny \(1993\)](#) e [Paulos e Canny \(1994\)](#), onde os autores apresentam um método de localizar um furo através da identificação da posição de pelo menos três pontos deste furo utilizando a queda ou subida de borda de um sensor óptico de reflexão difusa. Para o presente trabalho, tal método pode ser utilizado de forma semelhante. Identificando a queda de borda do início do furo e registrando sua posição, e realizando a mesma operação para o final do furo, pode-se localizar o centro do mesmo, uma vez que o furo apresenta uma distância fixa do centro da peça.

A quantidade de apertadeira utilizada é de uma ferramenta por conjunto de freio, uma vez que não há alinhamento entre os dois furos presentes no cubo e dois dos parafusos que

serão torqueados. Logo, utilizar mais de uma apertadeira não permitiria maior produtividade no processo, apenas aumentaria o custo da solução.

O manipulador da ferramenta escolhido foi um dispositivo dedicado. Essa escolha foi baseada nas informações coletadas em (WEBER, 2005), (CAMILLO, 2011) e (WEBER, 2013), que indicam que sistemas cartesianos dedicados são mais baratos, rápidos e simples em comparação com robôs com múltiplos graus de liberdade. Essas características, alinhadas com o fato dos parafusos apresentarem-se todos em uma única face e com o longo tempo previsto de manter tal configuração do *layout* das peças (visto que é uma nova configuração), implicam que a escolha de uma célula dedicada seja a melhor opção frente a robôs com múltiplos grau de liberdade.

Para o controle e registro do torque aplicado em cada parafuso, as ferramentas Atlas-Copco atualmente utilizadas pelo cliente já apresentam tal funcionalidade através de um CLP dedicado. Dessa forma, como essa subfunção já se encontra aplicada no processo do cliente, não será alterada.

Para o requisito segurança, foi seguida a norma NR12, (MTE, 2010), que regula a questão da segurança no trabalho em máquinas e equipamentos. A norma estabelece, entre outros, os sistemas de segurança que devem estar presentes em máquinas e equipamentos, como cortinas de luz, alarmes sonoros e barreiras físicas.

Dessa forma foram escolhidas tanto uma barreira física, seja uma grade metálica ou placas de acrílico para isolar o perímetro do equipamento, quanto uma cortina de luz, para detectar a entrada de objetos ou pessoas durante a operação do equipamento. A cortina de luz tem princípio de funcionamento semelhante ao de um sensor óptico de emissão-recepção, conforme descrito no capítulo 2.4. Sobre os alarmes utilizados, tanto a opção sonora quanto visual foram escolhidas visando garantir a segurança dos funcionários e do equipamento. Os equipamentos de segurança podem se comunicar diretamente com o CLP que operará o equipamento, devido ao baixo número de portas necessárias do CLP, mas podem se comunicar com um controlador dedicado à segurança.

Desta forma, a matriz morfológica apresentando as soluções escolhidas é mostrada na Figura 38.

Função	Subfunção	Soluções					
Referenciar Peças	Fixar Eixo	Pinos na Peças	Presilha	Prensa			
	Referenciar Eixo	Pinos na Peças					
	Presença peça (aciona dispositivo)	Indutivo	Fim de curso	Capacitivo	Óptico	RFID	
Localizar furos no obstáculo	Sensores	Capacitivo	Indutivo	Óptico	Visão	Fim de curso	Mecânico (Pinos)
Aplicar Torque	Número de apertadeiras	1	2				
	Manipulador	Dedicado	Scara	6DOF			
	Controle Torque	CLP (junto com ferramenta)					
Segurança	Isolamento	Grade	Cortina de luz				
	Alarme	Sonoro	Visual				

Figura 38: Matriz morfológica da solução global com soluções escolhidas

Conforme verificado na Figura 38, foi escolhido o manipulador dedicado para manipular a ferramenta. Dessa forma realizou-se uma matriz morfológica desse equipamento para determinar sua configuração, conforme Figura 39.

Função	Subfunção	Soluções		
Manipulador Dedicado	Movimento Face	Circular	Cartesiano	
	Acionamento Atuador da Face	Motor Elétrico	Pneumático	
	Acionamento Atuador de Avanço	Motor Elétrico	Pneumático	
	Mov. do obstáculo (cubo)	Ferramenta	Dispositivo dedicado	

Figura 39: Matriz morfológica do manipulador dedicado

Para o movimento da face foi escolhido um movimento circular, visto que essa opção atenderia aos requisitos de projeto de reduzir o número de operações e a quantidade de partes

móveis, uma vez que essa opção apresenta um só grau de liberdade, logo um atuador, em relação à opção cartesiana, que apresenta dois graus de liberdade, necessitando dois atuadores.

Para os acionamentos dos atuadores tanto da face quanto do avanço da ferramenta foram escolhidos motores elétricos, visando obter uma uniformização e maior precisão do controle do movimento em relação à opção pneumática.

Para a manipulação do obstáculo foi optado por utilizar a própria apertadeira, como já é feito atualmente na linha de produção do cliente, ao invés de desenvolver um dispositivo exclusivamente para esse fim. Dessa forma visa atender os requisitos do projeto, como o de reduzir o número de peças e de peças móveis, aumentar a velocidade do sistema e reduzir o custo da operação.

Dessa forma, temos as soluções escolhidas para integrar o manipulador dedicado, conforme Figura 40.

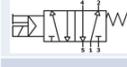
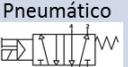
Função	Subfunção	Soluções		
Manipulador Dedicado	Movimento Face	Circular 	Cartesiano 	
	Acionamento Atuador da Face	Motor Elétrico 	Pneumático 	
	Acionamento Atuador de Avanço	Motor Elétrico 	Pneumático 	
	Mov. do obstáculo (cubo)	Ferramenta 	Dispositivo dedicado	

Figura 40: Matriz morfológica do manipulador dedicado com soluções escolhidas

## 4.4 PROJETO PRELIMINAR

### 4.4.1 Layout da Solução

Com as soluções definidas, uma versão preliminar do dispositivo é apresentada na Figura 41. Nela, a apertadeira se localiza fixada em uma mesa de movimentação linear, acionada por um servomotor. A apertadeira e a mesa ficam fixadas em uma estrutura girante, onde se localiza também o sensor óptico. Essa estrutura girante é acionada por outro servomotor. O eixo da estrutura girante encontra-se alinhado com o centro do freio a tambor. A distância entre o eixo da apertadeira e do sensor óptico do eixo da estrutura girante é o mesmo entre a centro do freio a disco ao centro dos furos e dos parafusos, como indicado na Figura 31.

Ambos os motores podem ser acoplados com *enconders* para referência precisa da localização e velocidade dos dispositivos acionados. Os motores são acionados por *drives* de acionamento, estes por sua vez acionados pelo CLP, que é alimentado com os sinais do sensor

óptico e pelos *enconders*. Os dispositivos de comando podem se localizar em uma cabine, juntamente com uma interface homem-máquina, botões de acionamento e de emergência, etc. Todo o dispositivo se encontrará isolado por uma grade, ficando os locais de entrada e saída das peças, protegidos por barreiras de luz, que verificarão a presença inadvertida de algum indivíduo durante a operação do equipamento.

Reforçando que como o eixo traseiro apresenta dois conjuntos de freio a tambor, uma em cada extremidade do eixo, o equipamento final terá dois dispositivos presentes na Figura 41. Uma versão mais detalhada do desenho da solução se encontra presente na Seção 4.4.4.

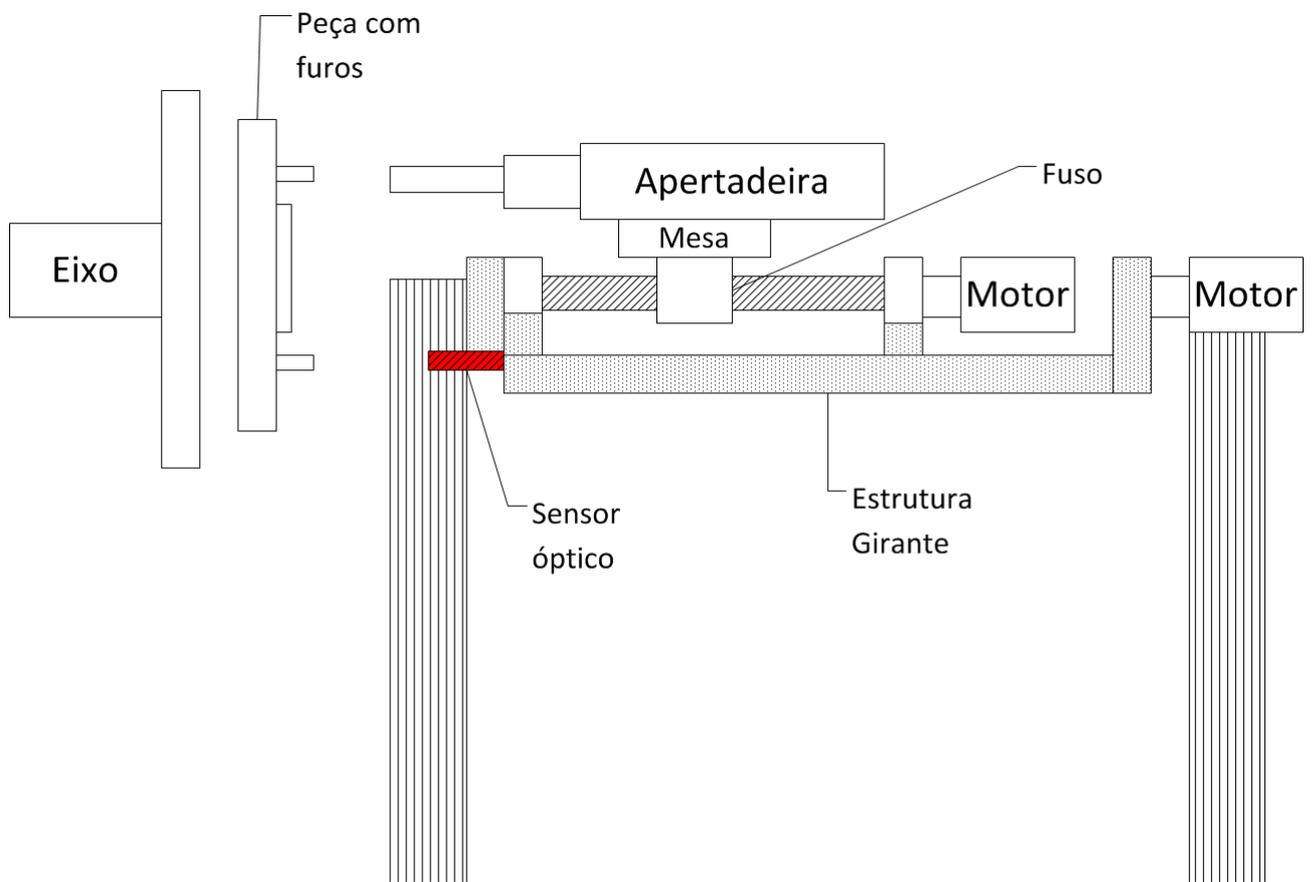


Figura 41: *Layout* da solução

Referente ao sistema de fixação e referenciamento do eixo, uma possibilidade é a utilização de pinos na mesa onde o eixo é alocado, conforme Figura 42. Nessa possibilidade, o eixo deve ser posto na mesa de tal forma que a pinagem presente na mesa seja encaixada nos furos do eixo. Essa solução garantiria que o eixo esteja sempre na mesma posição em relação à mesa, entretanto essa solução implicaria na mudança das mesas suportes presentes atualmente na linha de produção do cliente.

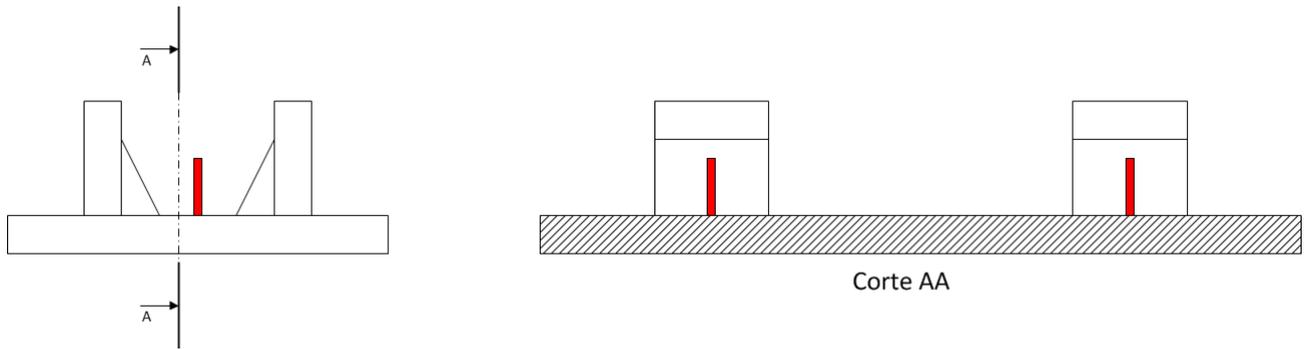


Figura 42: Mesa suporte do eixo com pinagem de referencia

Dessa forma, a alternativa escolhida para fixação e referenciamento é o de alocar a pinagem na prensa pneumática, de tal forma que ao ser acionada, a prensa seja capaz de encaixar os pinos presentes nela no furo do eixo, conforme Figura 43, garantindo assim a fixação e referenciamento do eixo. A prensa poderia se deslocar na horizontal no sentido do eixo de tal forma a alinhar com o furo do eixo. Um sensor óptico, utilizando técnica semelhante para localizar os furos no cubo da roda descrito na seção 4.3.2, é utilizado para identificar a localização do furo do eixo.

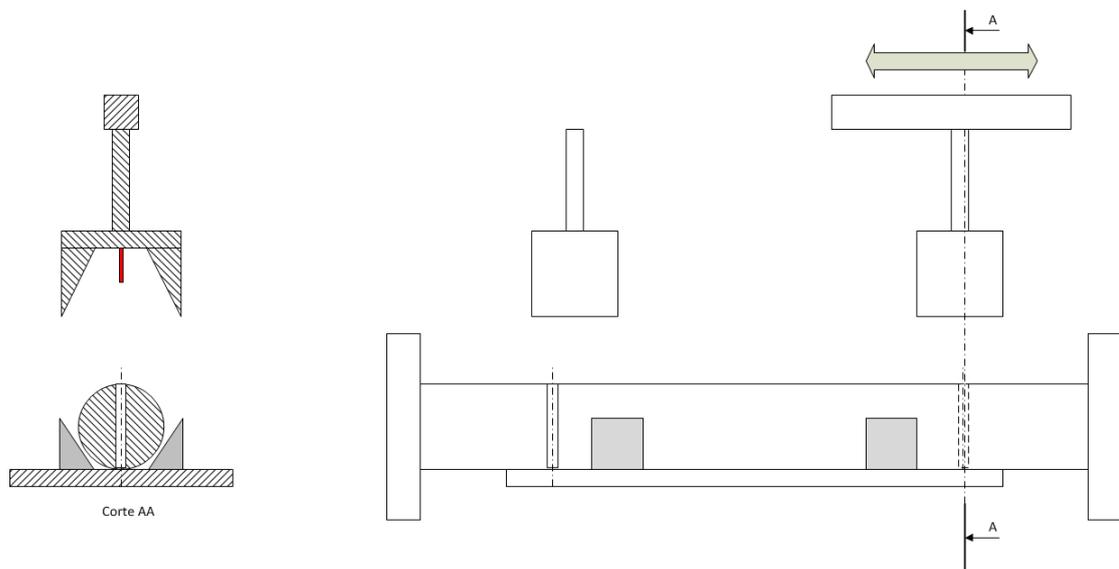


Figura 43: Prensa para fixação e referenciamento do eixo

#### 4.4.2 Lógica da Solução

Uma vez definida as soluções utilizadas e o *layout* da solução, a lógica a ser utilizada segue apresentada em forma textual no formato SCF (*Sequential Function Chart*) nas Figuras 44, 45 e 46 e na sequência de Figuras 47, 48, 49, 50, 51 e 52 que explicita a lógica da solução.

De forma geral, a lógica do equipamento é: o dispositivo, uma vez acionado, fica no aguardo da entrada do eixo traseiro com o freio a tambor, conforme Figura 47. A peça uma vez

presente e identificada como sendo a correta para operação, tem sua mesa de suporte fixada. O cilindro pneumático, juntamente com um sensor óptico por reflexão percorre o eixo visando identificar o furo de referência. Uma vez identificado o furo, os cilindros pneumáticos são acionados, fixam e referenciam o eixo com ajuda de pinagens, conforme Figura 48. Uma vez as peças fixadas e referenciadas, é dado o início da operação de localização do furo de acesso, conforme Figura 49, utilizando para isso um sensor óptico com técnica semelhante ao descrito em (PAULOS; CANNY, 1993) e (PAULOS; CANNY, 1994).

Dessa forma, para essa operação é acionado o atuador que realiza o movimento de giro da ferramenta e do sensor óptico, que se encontram alinhados com o eixo traseiro. Com o movimento angular do sensor óptico acionado, o furo do obstáculo, o cubo, é detectado pelo sensor através de uma queda de borda. Uma vez acionado o sensor, é salva a localização angular do início do furo feito por um *encoder* já presente no próprio motor. O movimento angular continua até a localização do final do furo de forma semelhante. Após essa etapa, é calculada pelo CLP a posição angular do centro do furo.

Uma vez a posição angular do centro do furo localizada, o CLP aciona o motor responsável pelo movimento de giro (através de uma *driver*) que posiciona a apertadeira para alinhá-la com o furo. Na sequência, o motor que movimenta a mesa onde se localiza a ferramenta é acionado para que a ponta da ferramenta se encaixe no furo. Uma vez ocorrido esse acoplamento, o CLP aciona o motor que atua no movimento de giro, para alinhar a ferramenta com o primeiro parafuso a ser realizado o pré-torque, conforme Figura 50. A mesa é acionada para que ocorra o encaixe da ferramenta com o parafuso e a apertadeira é acionada para aplicar o torque pré-estabelecido.

Uma vez o valor do torque confirmado pelo CLP da ferramenta, a mesa recolhe a apertadeira para a posição intermediária onde a mesma se encontra acoplada com o furo do obstáculo. Nessa posição, o CLP determina o posicionamento da ferramenta no parafuso subsequente, visando realizar as quatro operações de pré-torque e quatro operações de torque mostradas na Figura 32.

Com a finalização das operações de torque, a mesa onde se encontra a apertadeira é acionada pelo CLP para que recue e desacople a ferramenta do furo, deixando a peça liberada, conforme Figura 51. Na sequência, os atuadores pneumáticos responsáveis pela fixação do eixo traseiro são desativados para liberar a peça e em seguida é acionada a esteira que transporta o eixo para a próxima operação, ficando o dispositivo no aguardo do próximo eixo, conforme Figura 52.

Em paralelo a todas essas operações, o sistema de segurança composto pelas cortinas de luz e o botão de emergência monitorará eventual mau uso do sistema. Em caso de acionamento de qualquer um desses dispositivos, os atuadores são desativados e o dispositivo aguarda uma decisão do operador e o reconhecimento dos alarmes e intertravamentos emitidos pelos dispositivos de segurança. Caso o operador avalie que o dispositivo possa reiniciar a operação em

que estava, é acionado o botão que leva o dispositivo ao estado anterior ao da parada. Caso seja avaliado que é necessário reiniciar o dispositivo, através do comando específico, o dispositivo retorna ao estado inicial de espera por peça.

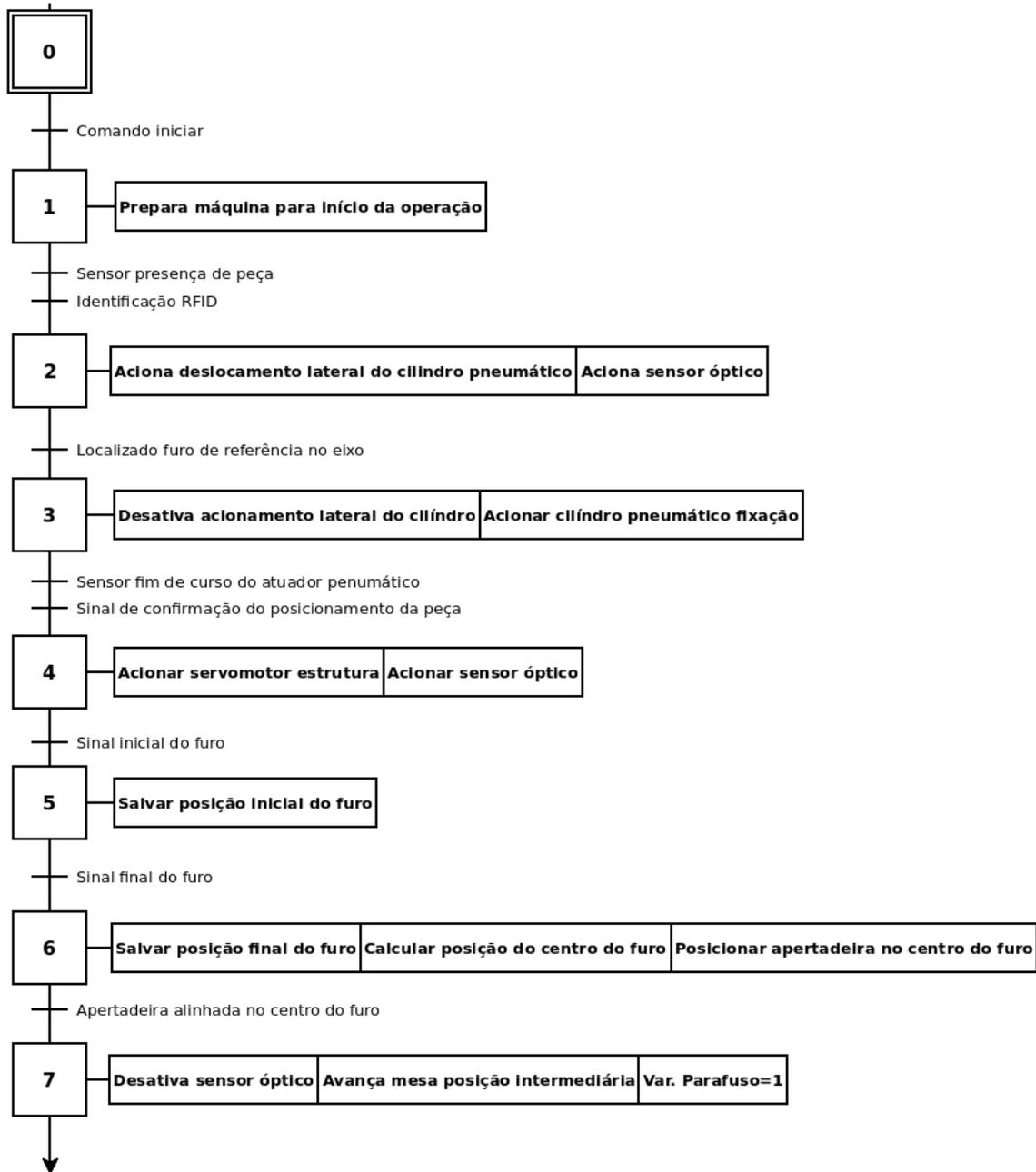


Figura 44: Lógica da solução, em linguagem textual SCF, Parte I

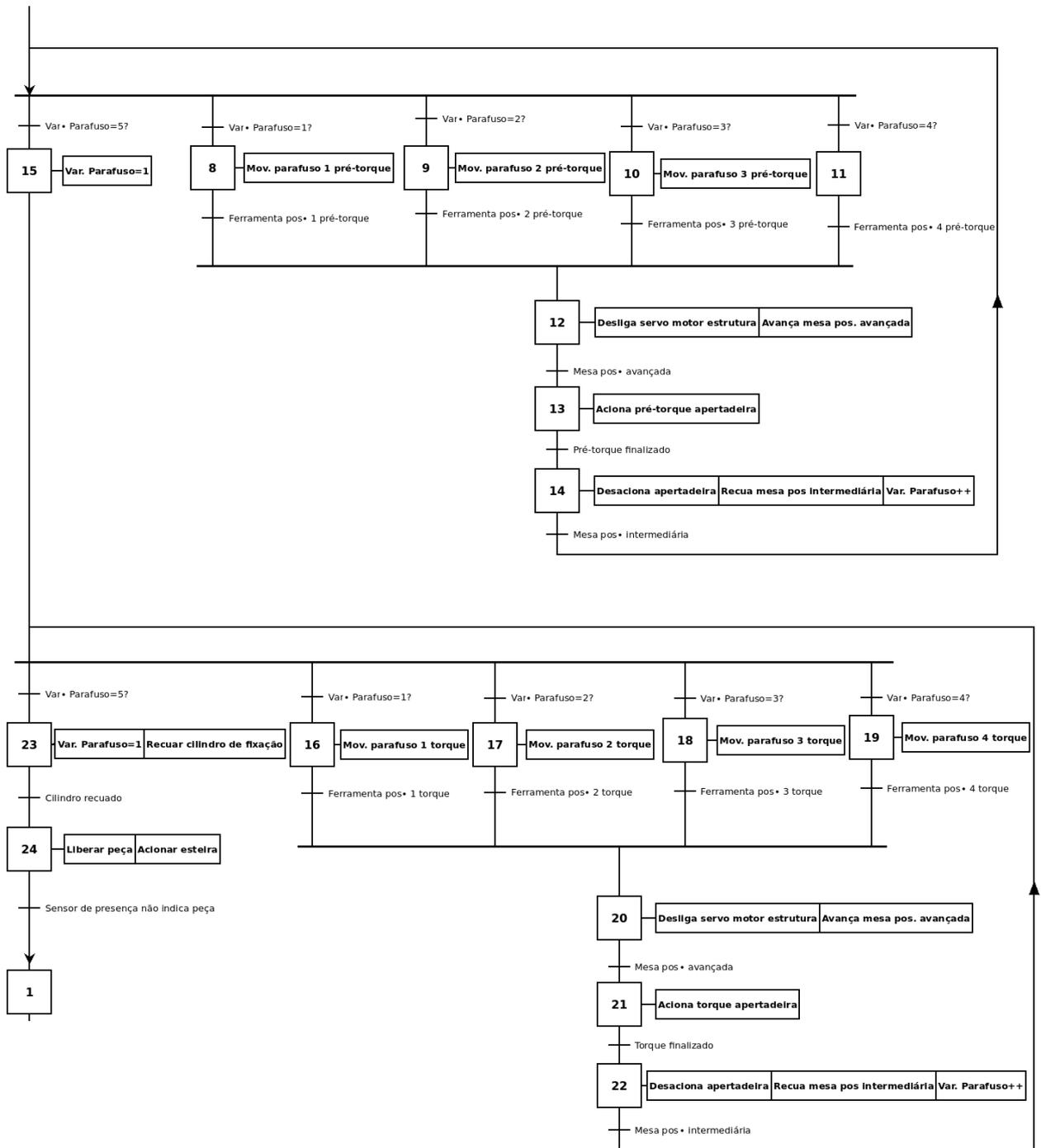


Figura 45: Lógica da solução, em linguagem textual SCF, Parte II

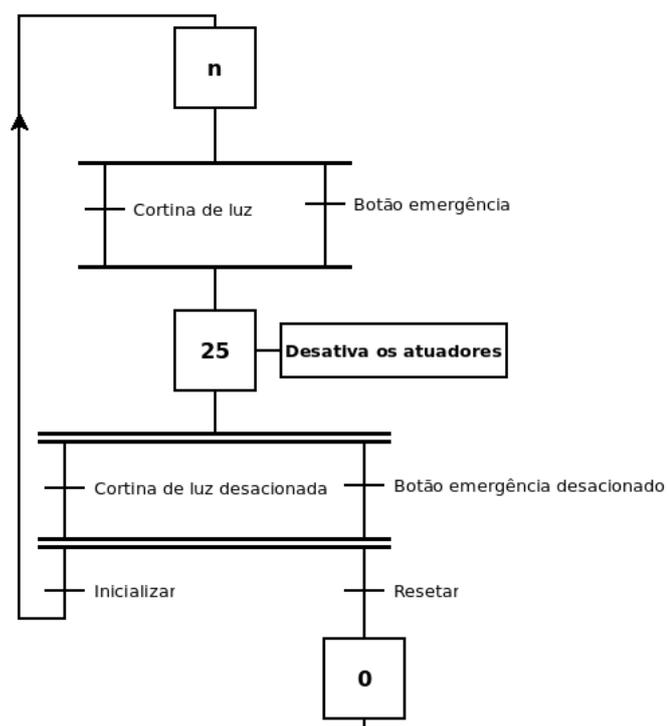


Figura 46: Lógica da segurança, em linguagem textual SCF

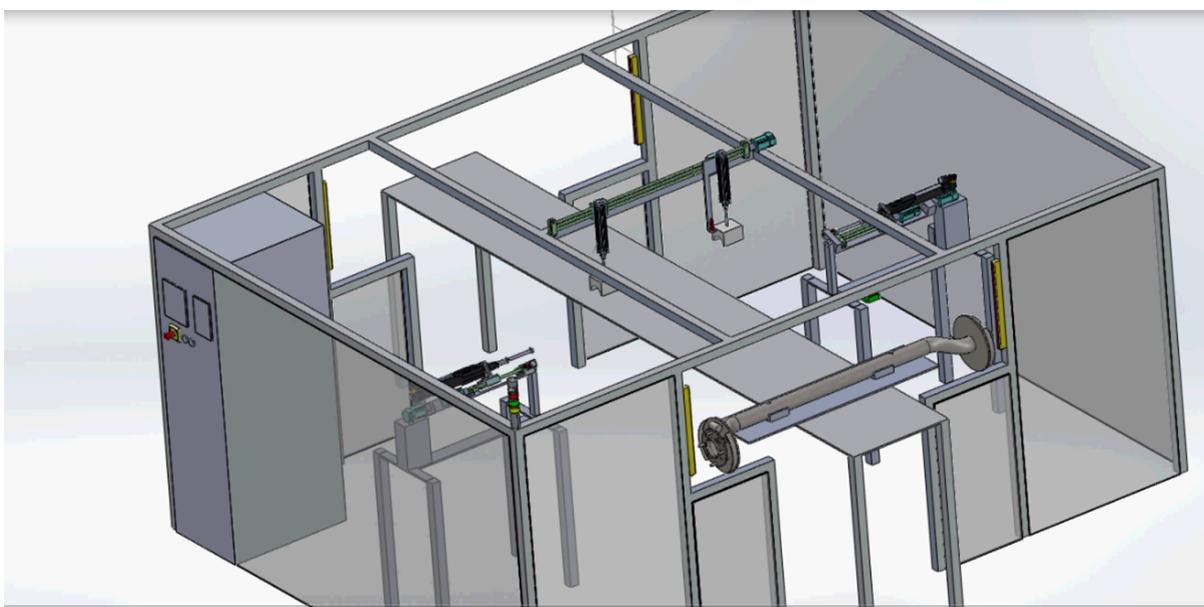


Figura 47: Recebimento do eixo na célula automatizada

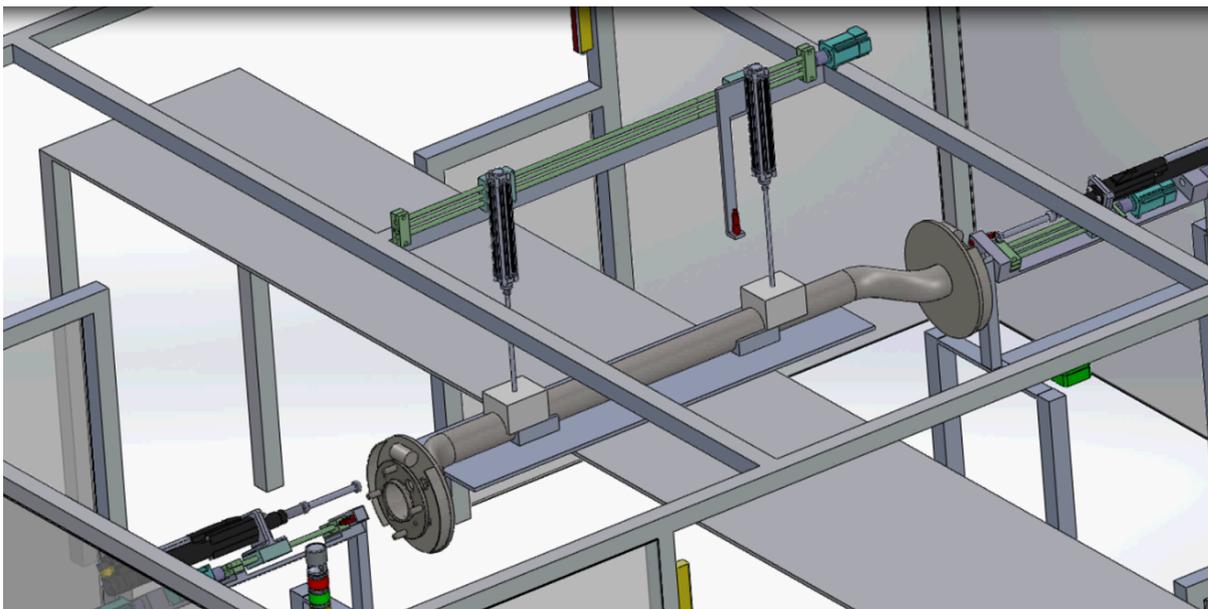


Figura 48: Fixação do eixo

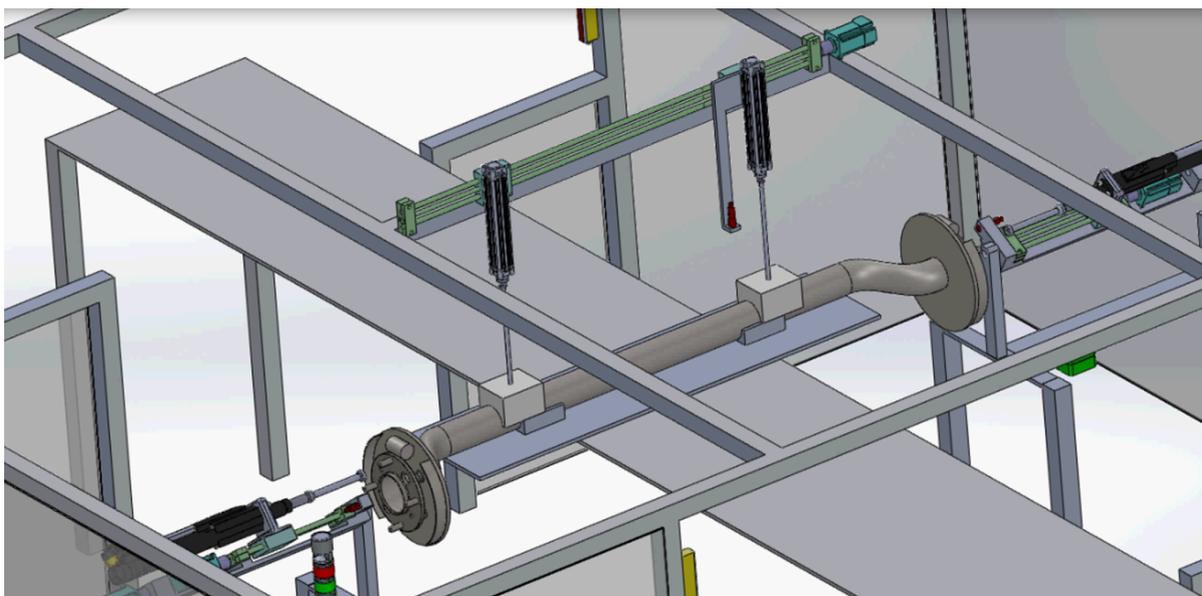


Figura 49: Localização dos furos de acesso no freio

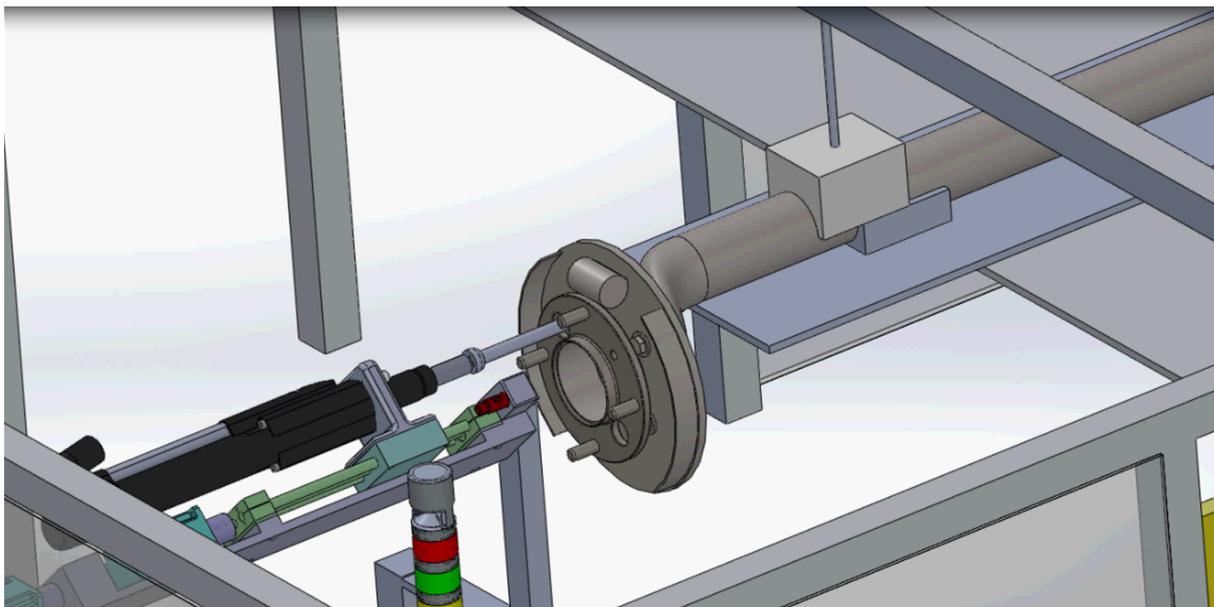


Figura 50: Torqueamento de um dos parafusos

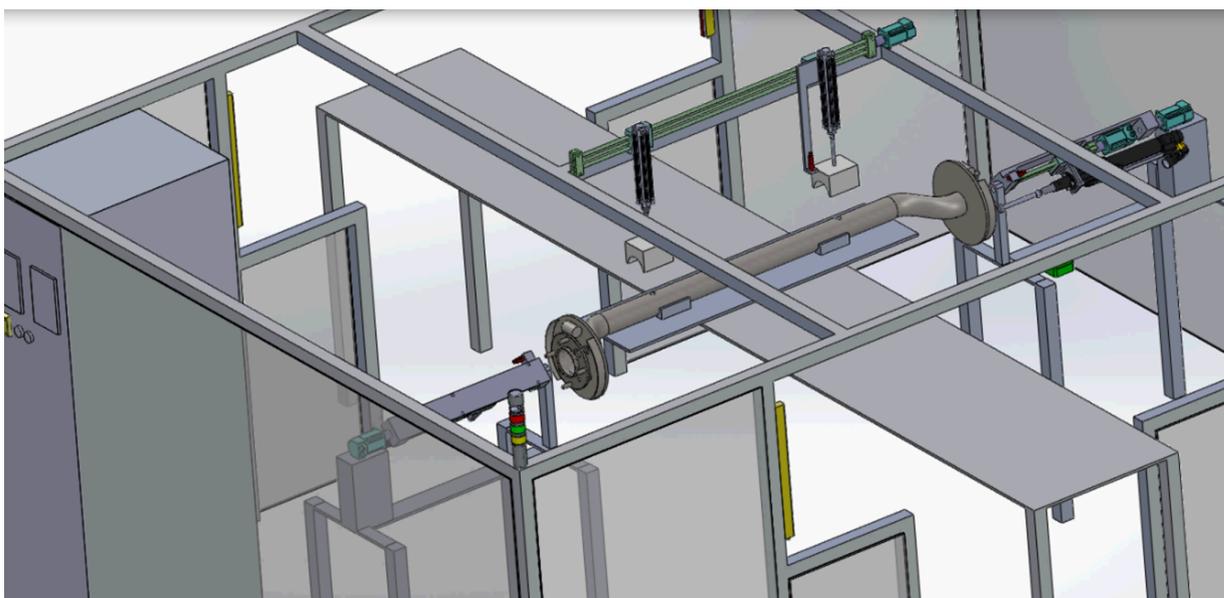


Figura 51: Liberação do eixo

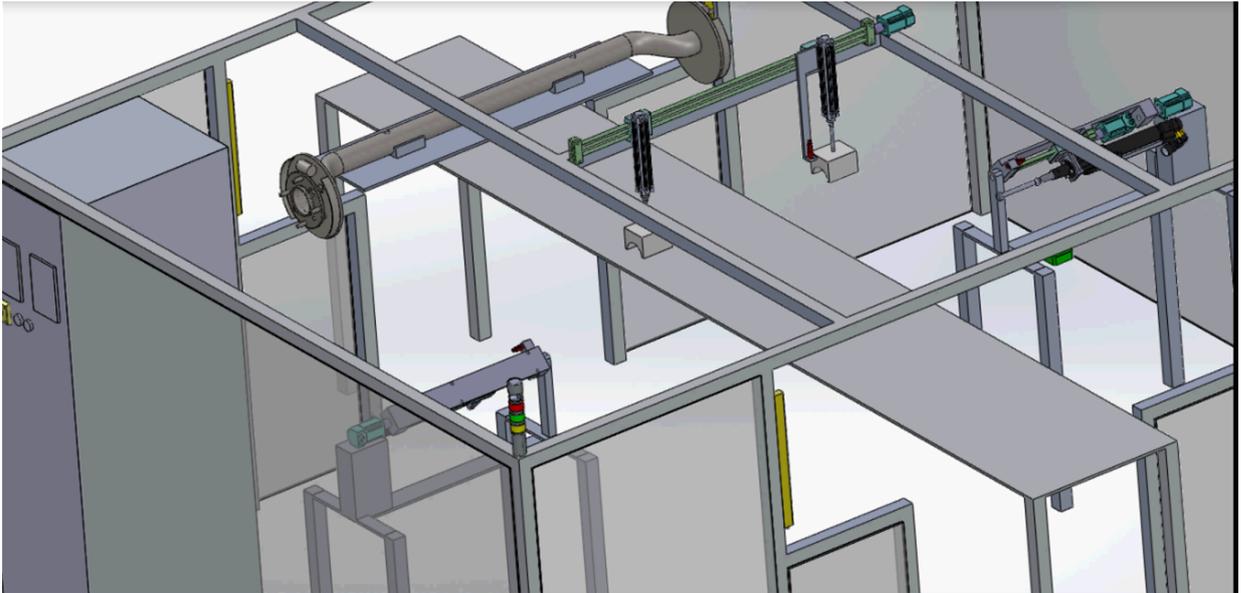


Figura 52: Saída do eixo da célula

#### 4.4.3 Equipamentos

Os principais equipamentos utilizados pelo dispositivo mostrados na Figura 41 estão presentes na Tabela 6. Vale ressaltar que elementos como cabos, conectores, suportes, entre outros não foram orçados no presente trabalho por se tratar do projeto preliminar.

Tabela 6: Principais equipamentos utilizados pelo dispositivo manipulador proposto

Equipamento	Quantidade	Exemplo de modelo / fabricante	Custo estimado (R\$ /unidade)
Apertadeira	1	QST50-150CT / Atlas-Copco	30.000,00
Mesa linear	1	SHTS-20-AWM / Igus	1.600,00
Servomotor	2	1FK7 / Siemens	5.200,00
<i>Servodrive</i>	2	Sinamics S110 / Siemens	3.200,00
CLP	1	S7 1200 / Siemens	900,00
Sensor óptico	1	OGH700 / IFM	1.000,00

A apertadeira proposta, da linha QST da [ATLAS-COPCO](#), é a mesma presente atualmente na linha de produção do cliente. O modelo proposto é capaz de gerar os torques necessários tanto na etapa de pré-torque quanto de torque. A mesa linear proposta, da [IGUS](#), apresenta curso de 300mm, capacidade de carga de 700N, suficiente para suportar o peso da apertadeira de cerca de 8Kg. Ressalta-se que outros fornecedores, como Festo, Parker, Bosh Rexroth, apresentam produtos semelhantes.

Foram escolhidos servomotores e *servodrive* da Siemens visando atender a um padrão, sendo que o CLP utilizado deve ser um modelo Siemens conforme solicitação do cliente. Dessa

forma, baseado em (TURNAU et al., 2013) que visa realizar um controle de posição preciso e em tempo real utilizando *hardware* Siemens, foi escolhido o servomotor 1FK7 da SIEMENS e o *servodrive* Sinamics S110 também da SIEMENS. Já para o CLP foi escolhido o modelo Simatic S7-1200 da SIEMENS, que controlará o processo de parafusamento e o sistema de segurança.

O sensor óptico OGH700 da IFM é um medidor de distância óptico de reflexão difusa a laser. Ele permite determinar com precisão a presença ou não de um material a determinada distância.

Com as informações na Tabela 6, temos que a construção de um protótipo do dispositivo manipulador custará cerca de R\$ 50.300,00, sobretudo devido ao preço da apertadeira.

Os demais equipamentos utilizados, presentes na célula automatizada como um todo, são apresentados na Tabela 7. Ressalta-se que elementos como cabos, conectores, suportes, entre outros não foram orçados no presente trabalho por se tratar de um projeto preliminar.

Tabela 7: Demais equipamentos presentes na célula automatizada

Equipamento	Quantidade	Exemplo de modelo / fabricante	Custo estimado (R\$ /unidade)
Cortina de luz	2	OY073S / IFM	4.400,00
Pistões pneumáticos	2	DSBC / Festo	500,00
Sensor indutivo	1	IA0004 / IFM	400,00
Alarme luminoso e sonoro	2	TL50 / Banner	500,00
RFID	1	ANT820 / IFM	3.500,00
Botão emergência	1	XB5AT42 / Schneider	100,00
Sensor óptico	1	OGH700 / IFM	1.000,00
Mesa linear	1	SHTS-20-AWM / Igus	1.600,00
Servomotor	1	1FK7 / Siemens	5.200,00
<i>Servodrive</i>	1	Sinamics S110 / Siemens	3.200,00

A cortina de luz selecionada, o modelo OY073S da IFM tem um campo de proteção de 460mm, resolução de 50mm e alcance de até 12m, sendo suficiente para a aplicação proposta. O sensor indutivo para determinar a presença da peça, o modelo IA0004 da IFM tem um alcance de 10mm. A antena captora de RFID ANT820 da IFM detecta ondas UHF e tem capacidade de detecção de até 5m, sendo suficiente para a aplicação proposta. O botão de emergência selecionado é o modelo XB5AT42 da SCHNEIDER. Os pistões pneumáticos para fixação foram escolhidos da FESTO, o alarme luminoso e sonoro da BANNER. A mesa linear da IGUS, o servomotor e *servodrive* da SIEMENS para movimentar o pistão pneumático serão os mesmos do manipulador dedicado. Esses equipamentos são sugestões do projeto preliminar e podem ser trocados para a construção do protótipo e/ou produto final.

Com os dados apresentados nessa subseção, temos que a construção de uma célula automatizada, com dois dispositivos manipuladores, custará cerca de R\$125.500,00

#### 4.4.4 Desenhos Esquemáticos da Solução

Como não foi possível obter os desenhos técnicos das peças e seus detalhes dimensionais, devido ao contrato de confidencialidade entre o cliente e a montadora, os desenhos apresentados foram feitos com dimensões estimadas das peças, baseada nas visitas feitas na linha de produção. Dessa forma, detalhes dimensionais não serão representados no projeto preliminar.

Na Figura 53 temos uma visão geral da célula automatizada. Nela, percebe-se a presença dos dispositivos de segurança, tais como os alarmes luminosos no topo do equipamento, as cortinas de luz na entrada e saída da célula, bem como a presença de grade ou placas acrílicas isolando os dispositivos. Percebe-se a presença de um painel para armazenamento dos dispositivos eletrônicos e de controle, tais como CLP, *servodrive*, IHM, botões de acionamento e emergência. Nota-se a presença dos cilindros pneumáticos e o sensor óptico capazes de deslocar ao longo do eixo para referenciar e fixar o mesmo. Percebe-se também os dois dispositivos que manipularão as apertadeiras, uma em cada extremidade do eixo.

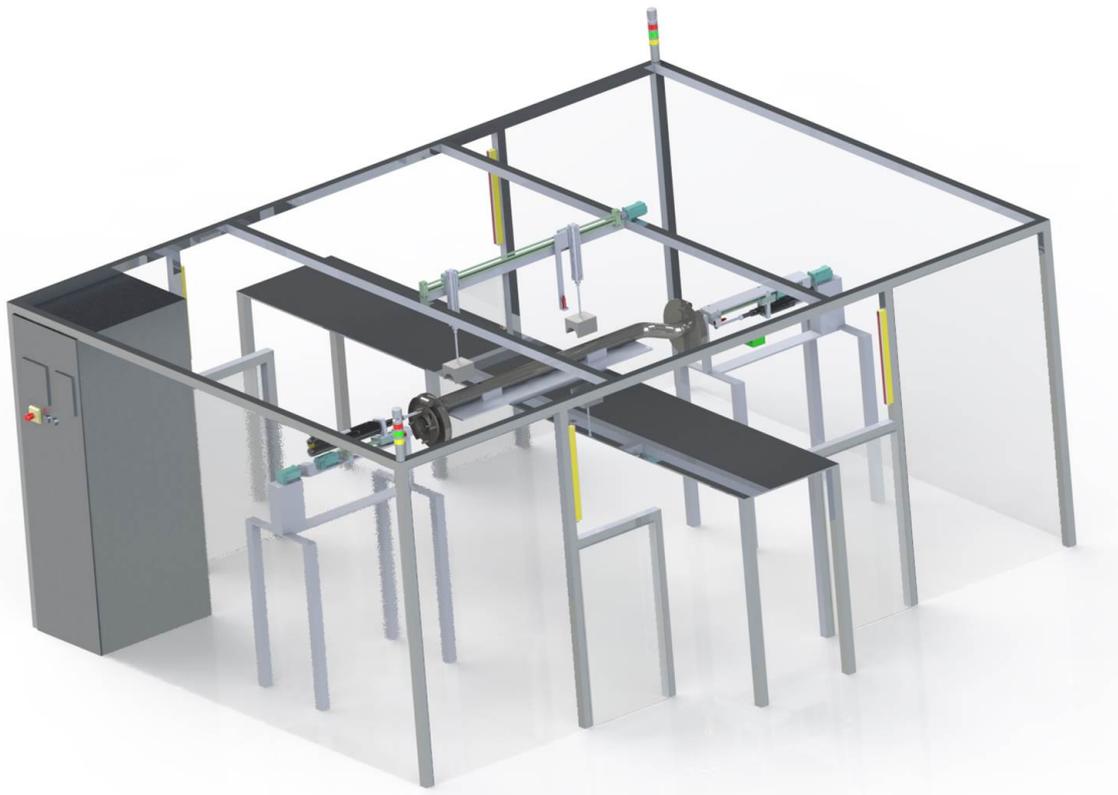


Figura 53: Visão geral da célula automatizada

Nas Figuras 54 e 55, tem-se um maior detalhamento do sistema de fixação e referenciamento do eixo, com os pistões pneumáticos fixados em mesa de deslocamento linear ao longo

do eixo, os pinos para referenciar o eixo e o sensor óptico para localizar o furo.

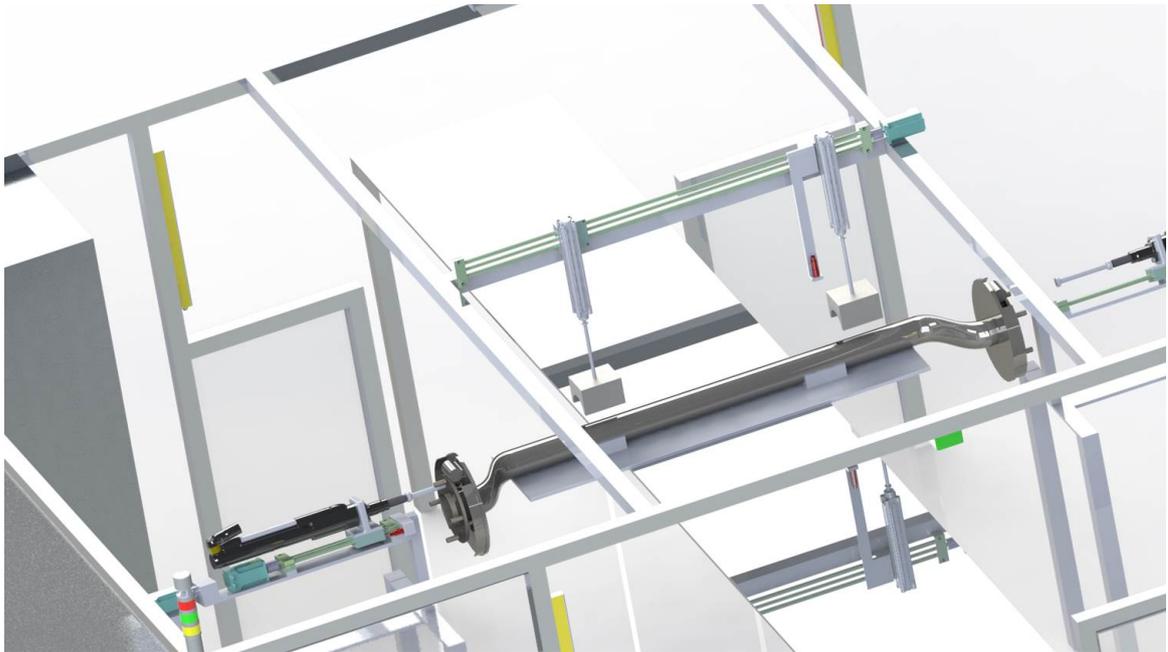


Figura 54: Visão geral do sistema de referenciamento e fixação do eixo



Figura 55: Sistema de referenciamento e fixação do eixo

Na Figura 56 tem-se uma visão geral do dispositivo manipulador da ferramenta, com seus dois servomotores de acionamento, um para realizar o movimento de giro da estrutura e outro para controlar o avanço da ferramenta na mesa linear.

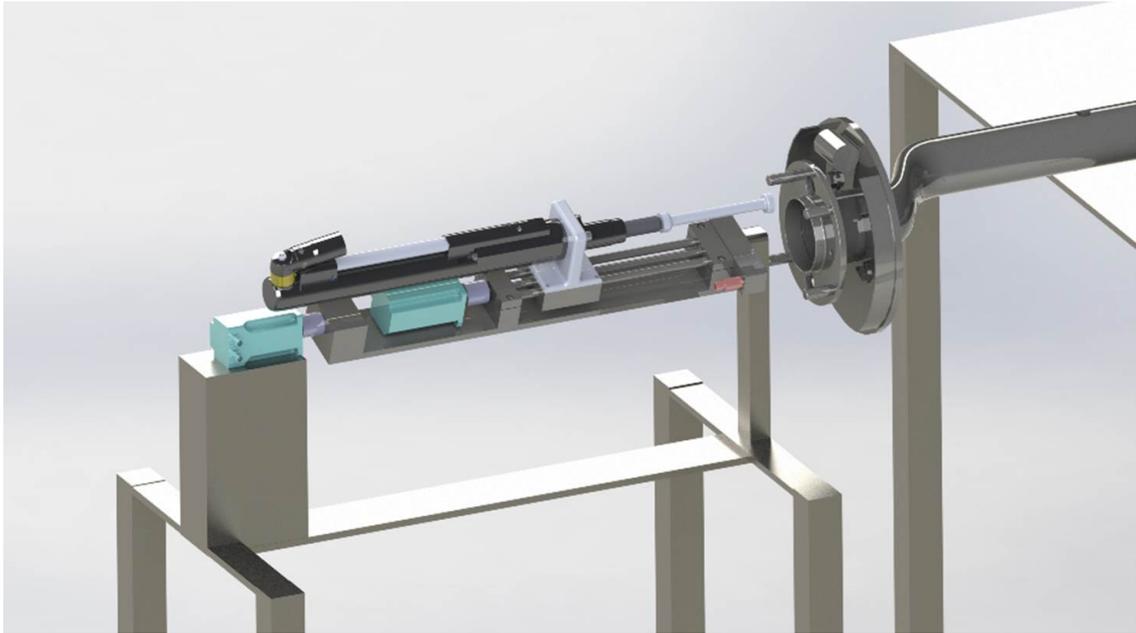


Figura 56: Visão geral do dispositivo manipulador da ferramenta

Na figura 57 percebe-se que através do movimento de giro, o sensor óptico detecta a presença do furo de acesso aos parafusos. Na figura 58 tem-se que a ferramenta realizou o encaixe no furo do obstáculo e na figura 59 percebe-se que a ferramenta foi alinhada e encaixada com o parafuso para aplicação do torque pela apertadeira.

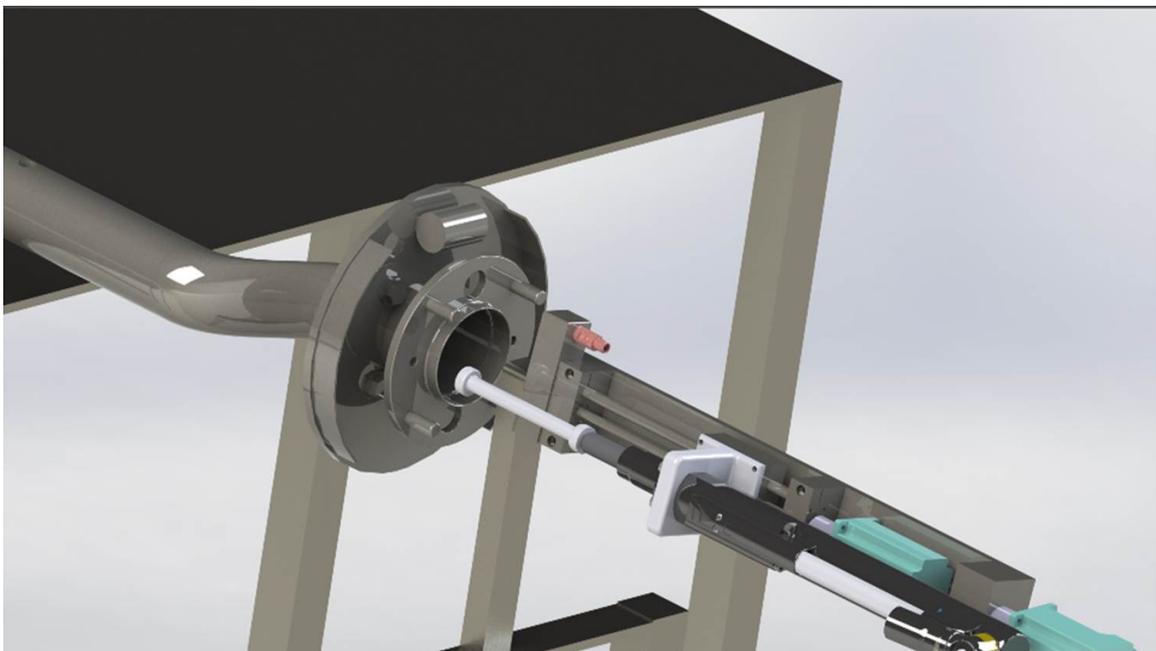


Figura 57: Sensor óptico localizando o furo



Figura 58: Ferramenta acoplada no furo do obstáculo

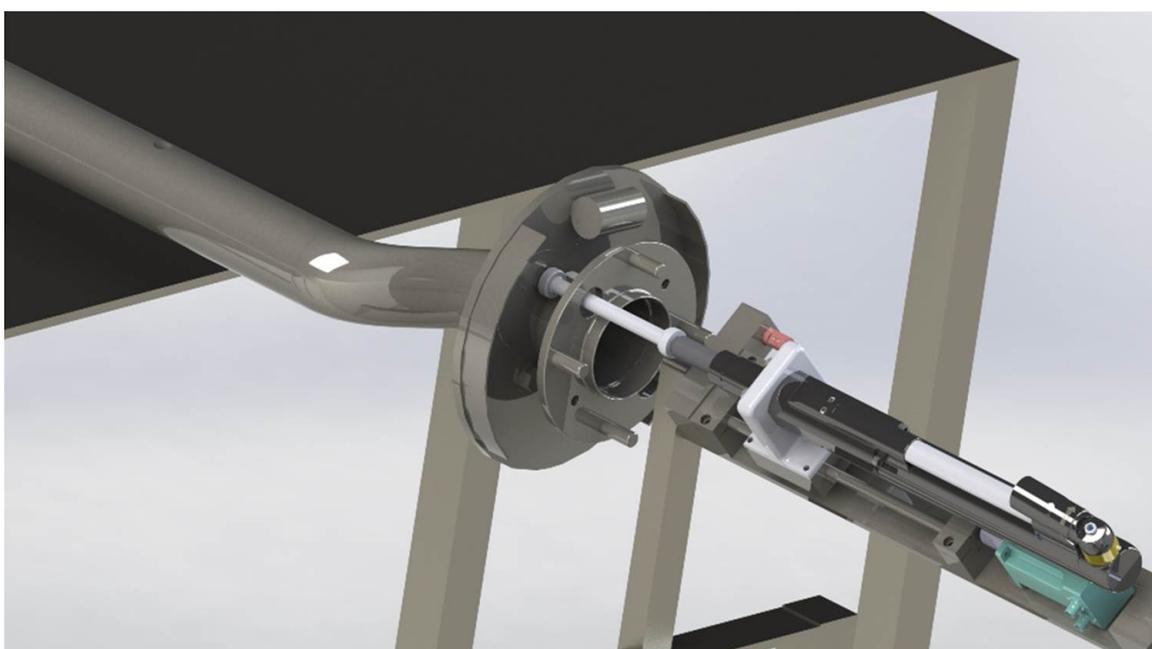


Figura 59: Ferramenta encaixada no parafuso, aplicando do torque

# 5 CONCLUSÕES

## 5.1 CONTRIBUIÇÕES

Com a demanda de uma empresa de autopeças pela proposta de automatização da etapa de parafusamento de conjunto de freio a tambor no eixo traseiro veicular, foi realizado um estudo no mercado visando identificar quais as soluções existentes comercialmente. Também foi realizado um estudo na metodologia de desenvolvimento de novos produtos, especialmente o proposto por Back (2008) e Romano (2003), e suas ferramentas utilizadas, como as matrizes QFD e morfológica. Realizou-se também um breve estudo sobre automação industrial, funcionamento de CLP, suas linguagens de programação, em especial a SFC, e sobre sensores industriais.

Na sequência, foi realizada as etapas da metodologia de novos produtos, especialmente o projeto informacional, descrevendo o problema e levantando os requisitos do cliente e do projeto através da matriz QFD. Em seguida, foi realizada o projeto conceitual, levantando-se a estrutura funcional do processo de parafusamento e utilizando a matriz morfológica para propor soluções para cada sub-função desse processo.

Após a realização da projeto conceitual, foi realizado o projeto preliminar, que consistiu em determinar o *layout* da solução proposta, sua lógica de operação, os equipamentos utilizados, com modelo, fabricante e estimativa de preços, e o desenho da solução. Concluiu-se que o custo com material para a construção de um primeiro protótipo para validação do conceito está estimado em R\$50.300,00 e de toda a célula automatizada está estimado em R\$125.500,00.

## 5.2 PRÓXIMAS ETAPAS DO PROJETO

Com o protótipo construído e validado pelo Senai Cimatec para prova de conceito, a própria instituição pode realizar a etapa do projeto detalhado, ou seja, revisar a lista de materiais, detalhar a construção do equipamento, tanto da parte mecânica quanto da parte elétrica e de controle. Estabelece-se quem serão os fornecedores de cada material, e sugere-se a contratação de uma empresa terceira, sob supervisão do Senai Cimatec, responsável pela construção, instalação e assistência técnica do equipamento final na linha de montagem do cliente.

Outra etapa importante a ser realizada é a proteção intelectual do dispositivo projetado. Será necessário verificar os conceitos, peças e lógica de funcionamento passíveis de proteção através de um estudo de anterioridade. Definido os quesitos a serem protegido, é preciso redigir a carta patente e submetê-la ao Instituto Nacional da Propriedade Intelectual, visando proteger a propriedade intelectual gerada com o projeto.

Vale ressaltar que para o bom desenvolvimento futuro do projeto, recomenda-se que se

negocie um termo de confidencialidade e sigilo entre o Senai Cimatec, o cliente e a montadora, para que assim o Senai Cimatec tenha acesso ao desenho detalhado das peças e possa receber amostras das mesmas para estabelecer uma bancada de teste no próprio Senai Cimatec, visando agilizar a etapa de construção e validação do protótipo.

### 5.3 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Entre as possibilidades de aperfeiçoamento do presente trabalho, pode-se citar o desenvolvimento de uma solução utilizando os equipamentos com alimentação automática dos elementos à serem rosqueados, conforme descrito na seção 2.1. Tais equipamentos, mesmo que não sejam de interesse do cliente, pode aumentar a produtividade de linhas de produção que utilizam sistemas de parafusamento.

Outra possibilidade para o projeto é a adaptação dessa ferramenta para eixos de outros veículos da mesma montadora. Caso a mudança do *layout* apresentada na seção 4.2 seja adotada em outros veículos da montadora, o dispositivo desenvolvido é capaz de rapidamente ser adaptado para realizar a operação de parafusamento descrita.

Há ainda a possibilidade de desenvolvimento da solução utilizando sistema de visão para identificação de furos, conforme a literatura mais recente descrita na seção 1.1. Dessa forma, o equipamento pode atuar de forma mais adaptável e eficiente, uma vez que não necessitaria de movimentação de peças para localizar os furos.

Uma outra sugestão de trabalho futuro é o desenvolvimento de manipuladores mais flexíveis e que dependessem menos da fixação e referenciamento das peças, como por exemplo o uso de braço robótico, como também vem sendo descrito na literatura descrita na seção 1.1.

# REFERÊNCIAS

- ALLEN-BRADLEY. *Sensores*: Site. 2014. Disponível em: <<http://ab.rockwellautomation.com/pt/Sensors-Switches/Ultrasonic-Sensors>>. Acesso em: 23/04/2014. Citado na página 24.
- ATLAS-COPCO. *Apertadeiras*: Site. 2013. Disponível em: <<http://www.atlascopco.com.br/brbr/products/navigationbyproduct/ProductGroup.aspx?id=1401353>>. Acesso em: 10/01/2014. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 62.
- AUT-UNIVERSITY. *Quality Function Deployment*. 2007. Disponível em: <<http://www.ciri.org.nz/downloads/Quality%20Function%20Deployment.pdf>>. Acesso em: 24/04/2014. Citado na página 31.
- BACK, N. *Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem*. [S.l.]: Manole, 2008. Citado 11 vezes nas páginas 6, 7, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35 e 68.
- BANNER. *TL50*: Site. 2014. Disponível em: <<http://www.bannerengineering.com/pt-BR/products/sub/504>>. Acesso em: 16/03/2014. Citado na página 63.
- BARTON, J.; LOVE, D. M.; TAYLOR, G. Design determines 70% of cost? a review of implications for design evaluation. *Journal of Engineering Design*, Taylor & Francis, v. 12, n. 1, p. 47–58, 2001. Citado na página 29.
- CAMILLO, J. Automated screwdriving: What's new. *Assembly Magazine*, jan. 2011. Disponível em: <<http://www.assemblymag.com/articles/88523-automated-screwdriving-what-s-new>>. Acesso em: 14/01/2013. Citado na página 51.
- CHOE, Y. et al. Vision-based estimation of bolt-hole location using circular hough transform. In: IEEE. *ICCAS-SICE, 2009*. [S.l.], 2009. p. 4821–4826. Citado na página 13.
- COUTINHO, L. G.; FERRAZ, J. C. et al. *Estudo da competitividade da indústria brasileira*. [S.l.]: MCT, 1994. Citado na página 28.
- DAC: Site. 2010. Disponível em: <<http://www.dac-us.com/assembly/assembly.html>>. Acesso em: 09/01/2014. Citado na página 17.
- DASSAULT: Site. 2014. Disponível em: <<http://www.solidworksbrasil.com.br/>>. Acesso em: 25/01/2014. Citado na página 34.
- DEPRAG: Site. 2014. Disponível em: <<http://www.deprag.com/en/home.html>>. Acesso em: 14/01/2014. Citado na página 16.
- DEPRAG-APLICAÇÃO: Site. 2008. Disponível em: <<http://www.deprag.com/download/prospekt-pdf/D3380en.pdf>>. Acesso em: 14/01/2014. Citado na página 18.
- DEPRAG-CATÁLOGO: Site. 2011. Disponível em: <<http://www.deprag.com/download/prospekt-pdf/D3310en.pdf>>. Acesso em: 14/01/2014. Citado na página 16.
- DIXON: Site. 2014. Disponível em: <<http://www.dixonautomatic.com/>>. Acesso em: 08/01/2014. Citado na página 16.

- DIXON-ALIMENTAÇÃO: Site. 2014. Disponível em: <[http://www.dixonautomatic.com/vibratory\\_feed\\_systems.php](http://www.dixonautomatic.com/vibratory_feed_systems.php)>. Acesso em: 13/01/2014. Citado na página 19.
- DIXON-CATÁLOGO: Site. 2012. Disponível em: <<http://www.dixonautomatic.com/pdf/SD2000.pdf>>. Acesso em: 08/01/2014. Citado na página 16.
- DIXON-CÉLULA: Site. 2014. Disponível em: <[http://www.dixonautomatic.com/screwdriving\\_cells.php](http://www.dixonautomatic.com/screwdriving_cells.php)>. Acesso em: 13/01/2014. Citado na página 18.
- DTI: Site. 2014. Disponível em: <<http://www.designtoolinc.com/>>. Acesso em: 08/01/2014. Citado na página 16.
- DTI-CATÁLOGO: Site. 2013. Disponível em: <<http://www.designtoolinc.com/pdf/DTI%205000%20Brochure.pdf>>. Acesso em: 08/01/2014. Citado na página 16.
- FESTO. *DSBC*: Site. 2014. Disponível em: <[https://www.festo.com/cat/pt-br\\_br/products\\_PP\\_ISO6431VDMA](https://www.festo.com/cat/pt-br_br/products_PP_ISO6431VDMA)>. Acesso em: 16/03/2014. Citado na página 63.
- FRADEN, J. *Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications*. [S.l.]: Springer, 2004. Citado na página 23.
- IEC. *IEC 60848 ed2.0. GRAFCET specification language for sequential function charts*. [S.l.]: International Electrotechnical Commission, 2002. Citado na página 21.
- IFM. *ANT820*: Site. 2014. Disponível em: <<http://www.ifm.com/products/br/ds/ANT820.htm>>. Acesso em: 16/03/2014. Citado na página 63.
- IFM. *IA0004*: Site. 2014. Disponível em: <<http://www.ifm.com/products/br/ds/IA0004.htm>>. Acesso em: 16/03/2014. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 63.
- IFM. *OGH700*: Site. 2014. Disponível em: <<http://www.ifm.com/products/br/ds/OGH700.htm>>. Acesso em: 16/03/2014. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 63.
- IFM. *OY073S*: Site. 2014. Disponível em: <<http://www.ifm.com/products/br/ds/OY073S.htm>>. Acesso em: 16/03/2014. Citado na página 63.
- IGUS. *Mesa linear*: Site. 2009. Disponível em: <[http://www.igus.com.br/\\_Product\\_Files/Download/pdf/SHT\\_flyer\\_BRAS.pdf](http://www.igus.com.br/_Product_Files/Download/pdf/SHT_flyer_BRAS.pdf)>. Acesso em: 16/03/2014. Citado 2 vezes nas páginas 62 e 63.
- INGERSOLL-RAND. *Apertadeiras*: Site. 2014. Disponível em: <<http://www.ingersollrandproducts.com/am-en/products/tools/fastening/dc-electric-fastening-systems/qe-series-fixtured-tools>>. Acesso em: 24/04/2014. Citado na página 16.
- ISA. *ISA5.1, Instrumentation Symbols and Identification*. 2009. Disponível em: <<https://www.isa.org/isa5-1/>>. Acesso em: 23/04/2014. Citado na página 22.
- JOHN, K.-H.; TIEGELKAMP, M. *IEC 61131-3: programming industrial automation systems: concepts and programming languages, requirements for programming systems, decision-making aids*. [S.l.]: Springer, 2010. Citado na página 21.
- KLINGAJAY, M.; GIANNOCARO, N. Comparison between least square & newton raphson for estimation parameters of an autonomous threaded fastenings. In: IEEE. *Industrial Technology, 2003 IEEE International Conference on*. [S.l.], 2003. v. 1, p. 163–168. Citado na página 13.

KLINGAJAY, M.; MITRANON, S. The optimization of an autonomous real-time process using curve fitting signature signal. In: IEEE. *Robotics, Automation and Mechatronics, 2008 IEEE Conference on*. [S.l.], 2008. p. 655–660. Citado na página 13.

KLINGAJAY, M.; SENEVIRATNE, L. D.; ALTHOEFER, K. Parameter estimation during automated screw insertions. In: IEEE. *Industrial Technology, 2002. IEEE ICIT'02. 2002 IEEE International Conference on*. [S.l.], 2002. v. 2, p. 1019–1024. Citado na página 13.

KLINGAJAY, M.; SENEVIRATNE, L. D.; ALTHOEFER, K. Identification of threaded fastening parameters using the newton raphson method. In: IEEE. *Intelligent Robots and Systems, 2003.(IROS 2003). Proceedings. 2003 IEEE/RSJ International Conference on*. [S.l.], 2003. v. 2, p. 2055–2060. Citado na página 13.

LARA, B.; ALTHOEFER, K.; SENEVIRATNE, L. D. Automated robot-based screw insertion system. In: IEEE. *Industrial Electronics Society, 1998. IECON'98. Proceedings of the 24th Annual Conference of the IEEE*. [S.l.], 1998. v. 4, p. 2440–2445. Citado na página 13.

MATSUNO, T.; HUANG, J.; FUKUDA, T. Fault detection algorithm for external thread fastening by robotic manipulator using linear support vector machine classifier. In: IEEE. *Robotics and Automation (ICRA), 2013 IEEE International Conference on*. [S.l.], 2013. p. 3443–3450. Citado na página 13.

MO, Y.-H. et al. Bolting robot assistance system using image processing. In: IEEE. *Control Automation and Systems (ICCAS), 2010 International Conference on*. [S.l.], 2010. p. 2342–2345. Citado na página 13.

MTE, M. d. T. e. E. *NR-12 - Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos*. 2010. Disponível em: <[http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C812D350AC6F801357BCD39D2456A-NR-12%20\(atualizada%202011\)%20II.pdf](http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C812D350AC6F801357BCD39D2456A-NR-12%20(atualizada%202011)%20II.pdf)>. Acesso em: 05/02/2014. Citado na página 51.

NEVINS, J.; WHITNEY, D. Assembly research. *Automatica*, Elsevier, v. 16, n. 6, p. 595–613, 1980. Citado na página 13.

NI. *Measuring Position and Displacement with LVDTs*. 2014. Disponível em: <<http://www.ni.com/white-paper/3638/en/>>. Acesso em: 23/04/2014. Citado na página 26.

NI. *Medições com encoders de quadratura: Guia prático*. 2014. Disponível em: <<http://www.ni.com/white-paper/7109/pt/>>. Acesso em: 23/04/2014. Citado na página 27.

PAHL, G. et al. Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações. tradução para português de hans werner. 2005. Citado na página 34.

PAULOS, E.; CANNY, J. Accurate insertion strategies using simple optical sensors. In: IEEE. *Robotics and Automation, 1994. Proceedings., 1994 IEEE International Conference on*. [S.l.], 1994. p. 1656–1662. Citado 3 vezes nas páginas 13, 50 e 56.

PAULOS, E.; CANNY, J. F. Informed peg-in-hole insertion using optical sensors. In: INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICS AND PHOTONICS. *Optical Tools for Manufacturing and Advanced Automation*. [S.l.], 1993. p. 346–355. Citado 3 vezes nas páginas 13, 50 e 56.

- PERINI, A. *CURSO DE ELETRÔNICA*. 2012. Disponível em: <[http://eletronicanoel.blogspot.com.br/2012\\_04\\_01\\_archive.html](http://eletronicanoel.blogspot.com.br/2012_04_01_archive.html)>. Acesso em: 23/04/2014. Citado na página 26.
- PITIPONG, S.; PORNJIT, P.; WATCHARIN, P. An automated four-dof robot screw fastening using visual servo. In: IEEE. *System Integration (SII), 2010 IEEE/SICE International Symposium on*. [S.l.], 2010. p. 379–383. Citado na página 13.
- PMI. *Um Guia do Conjunto de Conhecimentos do Gerenciamento de Projetos, PMBOK*. [S.l.]: Project Management Institute, 2004. Citado na página 29.
- PRUDENTE, F. *Automação industrial: Plc, teoria e aplicações*. Rio de Janeiro: LTC, 2007. Citado na página 23.
- ROMANO, L. N. e. a. *Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas*. Doutorado em Engenharia Mecânica, 2003. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 68.
- ROSÁRIO, J. M. *Princípios de mecatrônica*. [S.l.]: Pearson Prentice Hall, 2006. Citado 8 vezes nas páginas 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26 e 27.
- ROZENFELD, H. *Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo*. [S.l.]: Saraiva, 2006. Citado na página 35.
- SCHNEIDER. *XB5AT42*: Site. 2014. Disponível em: <<http://www.schneider-electric.com>>. Acesso em: 15/05/2014. Citado na página 63.
- SIEMENS. *1FK7*: Site. 2014. Disponível em: <<http://www.automation.siemens.com/mcms/mc-solutions/en/motors/motion-control-motors/simotics-s-servomotors/simotics-s-1fk7/pages/simotics-s-1fk7.aspx>>. Acesso em: 16/03/2014. Citado na página 63.
- SIEMENS. *Chave fim de curso*: Site. 2014. Disponível em: <<http://www.industry.siemens.com.br/automation/br/pt/seguranca-de-maquinas/fim-de-curso/3se5/Pages/3se5.aspx>>. Acesso em: 24/04/2014. Citado na página 24.
- SIEMENS. *Simatic S7-1200*: Site. 2014. Disponível em: <<http://www.automation.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/simatic-s7-controller/s7-1200/pages/default.aspx>>. Acesso em: 16/03/2014. Citado na página 63.
- SIEMENS. *Sinamics S110*: Site. 2014. Disponível em: <<http://www.automation.siemens.com/mcms/mc-solutions/en/converters/low-voltage-converters/sinamics-s/positioning-motor/pages/sinamics-s110.aspx>>. Acesso em: 16/03/2014. Citado na página 63.
- STANLEY. *Apertadeiras*: Site. 2014. Disponível em: <<http://www.stanleyengineeredfastening.com/brands/stanley-assembly-technologies/products/engineered-systems/fixtured-tools>>. Acesso em: 24/04/2014. Citado na página 16.
- THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. d. *Sensores industriais—fundamentos e aplicações*. São Paulo, v. 3, 2005. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.
- TURNAU, A. et al. The real-time network control of the inverted pendulum system based on siemens hardware\*. 2013. Citado na página 63.
- VISUMATIC: Site. 2013. Disponível em: <<http://www.visumatic.com/>>. Acesso em: 08/01/2014. Citado na página 16.

- VISUMATIC-CATÁLOGO: Site. 2013. Disponível em: <[http://www.visumatic.com/pdf-/visumatic\\_catalog.pdf](http://www.visumatic.com/pdf-/visumatic_catalog.pdf)>. Acesso em: 08/01/2014. Citado na página 16.
- VISUMATIC-MBC: Site. 2013. Disponível em: <[http://www.visumatic.com/mb/mb\\_viper\\_mbc-.html](http://www.visumatic.com/mb/mb_viper_mbc-.html)>. Acesso em: 13/01/2014. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 19.
- WEBER: Site. 2013. Disponível em: <<http://www.weber-online.com/en/home.html>>. Acesso em: 08/01/2014. Citado na página 16.
- WEBER, A. Robotic screwdriving. *Assembly Magazine*, out. 2005. Disponível em: <<http://www.assemblymag.com/articles/84182>>. Acesso em: 14/01/2013. Citado na página 51.
- WEBER, A. Robots are ready for reshoring: Robotic screwdriving offers a flexible alternative to offshore production. *Assembly Magazine*, fev. 2013. Disponível em: <<http://www-.assemblymag.com/articles/90908>>. Acesso em: 14/01/2013. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 51.
- WEBER-CATÁLOGO: Site. 2013. Disponível em: <[http://www.weber-online.com/fileadmin-/documents/GB\\_SA\\_0710\\_web.pdf](http://www.weber-online.com/fileadmin-/documents/GB_SA_0710_web.pdf)>. Acesso em: 08/01/2014. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.
- WEBER-RSF: Site. 2013. Disponível em: <<http://www.weber-online.com/en/products/system-solutions/rsf.html>>. Acesso em: 08/01/2014. Citado na página 17.
- WEBER-SBM: Site. 2013. Disponível em: <<http://www.weber-online.com/en/products/system-solutions/sbm.html>>. Acesso em: 13/01/2014. Citado na página 18.
- WEBER-ZEB: Site. 2013. Disponível em: <<http://www.weber-online.com/en/products/feeding-systems/feed-unit-zeb.html>>. Acesso em: 13/01/2014. Citado 3 vezes nas páginas 8, 19 e 20.
- WEG. *Sensores*: Site. 2014. Disponível em: <<http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos-/Controls/Sensores-Industriais>>. Acesso em: 23/04/2014. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.
- WOMACK, J. P.; JONES, D. T. *A máquina que mudou o mundo*. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2004. Citado na página 29.