



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**APLICAÇÃO DAS FASES DE OTIMIZAÇÃO E
DE HOMOLOGAÇÃO DO MODELO DE
REFERÊNCIA MECATRÔNICO A UM SISTEMA
DE CONTROLE AUTOMÁTICO DE ACESSO**

Por,
João Paulo Guimarães Trajano

Brasília, Março de 2013



**ENGENHARIA
MECATRÔNICA**
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**APLICAÇÃO DAS FASES DE OTIMIZAÇÃO E
DE HOMOLOGAÇÃO DO MODELO DE
REFERÊNCIA MECATRÔNICO A UM SISTEMA
DE CONTROLE AUTOMÁTICO DE ACESSO**

POR,

João Paulo Guimarães Trajano

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Banca Examinadora

Prof. Sanderson C. M. Barbalho, UnB/ FT (Orientador) _____

Prof. Andréa C. dos Santos, Unb/FT _____

Prof. Edson Paulo da Silva, UnB/ENM _____

Brasília, Março de 2013

FICHA CATALOGRÁFICA

TRAJANO, JOÃO PAULO GUIMARÃES

Aplicação das Fases de Otimização e de Homologação do Modelo de Referência Mecatrônico a um Sistema de Controle Automático de Acesso

[Distrito Federal] 2013

xxii, 94 pp, 297mm (FT/UnB, Engenheiro de Controle e Automação, 2012). Trabalho de Graduação – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

1. Sistemas de Controle de Acesso
2. Modelo de Referência Mecatrônico

3. Processo de Desenvolvimento de Produto

I. Mecatrônica/FT/UnB

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

TRAJANO, João Paulo Guimarães, (2013). Aplicação das Fases de Otimização e de Homologação do Modelo de Referência Mecatrônico a um Sistema de Controle Automático de Acesso. Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Publicação FT.TG-nº 11/2012, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 90p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: João Paulo Guimarães Trajano.

TÍTULO DO TRABALHO DE GRADUAÇÃO: Aplicação das Fases de Otimização e de Homologação do Modelo de Referência Mecatrônico a um Sistema de Controle Automático de Acesso.

GRAU: Engenheiro de Controle e Automação

ANO: 2012

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Trabalho de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desse Trabalho de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

João Paulo Guimarães Trajano
SHIS QI 27 Conjunto 18 Casa 19 – Lago Sul.
71675-180 Brasília – DF – Brasil.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Sanderson Barbalho, meu orientador, por toda a paciência e dedicação em me guiar no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Engenheiro Washington Póvoa, diretor da WP Inovações Tecnológicas, por abrir as portas e abraçar a aplicação do MRM, proporcionando o ambiente ideal para a realização da pesquisa.

Aos meus colegas de curso, em especial ao Hugo Akitaya, ao Lucas Fonseca, ao Hugo Caetano e ao Matheus Castro, por todas as centenas de horas de estudo compartilhadas, aliviando o peso da jornada universitária.

A toda a minha família, sem os quais eu certamente não teria chegado tão longe. Obrigado pelo apoio, torcida, incentivo e por sempre me proporcionar tudo o que precisei.

À minha namorada, Cássia, por todo o companheirismo, amor e motivação. Suas palavras foram fundamentais para que eu pudesse seguir em frente nos momentos de dúvida e fraqueza.

João Paulo Guimarães Trajano

RESUMO

Este Trabalho de Graduação apresenta uma intervenção nos processos produtivos de uma empresa local, especializada em sistemas automáticos de controle de acesso, visando obter melhor qualidade do produto, eficiência da produção e redução de custos. O método de pesquisa utilizado, caracterizado como pesquisa-ação, propõe soluções práticas para o problema analisado, ao inserir o pesquisador no objeto de pesquisa. São revisados os conceitos de mecatrônica, sistemas de controle de acesso e modelos de referência. O Modelo de Referência Mecatrônico foi escolhido por atender às especificidades do Processo de Desenvolvimento de Produtos suscitadas pela natureza da mecatrônica. São descritas, sucintamente, as fases que compõem tal modelo. Ao utilizar as melhores práticas consolidadas nas fases de Otimização e Homologação do modelo, sistematizam-se e organizam-se os procedimentos de manufatura da empresa, aumentando seus graus de repetibilidade. Os resultados alcançados são analisados segundo o aumento do nível médio de capacidade das atividades relativas à área de processos de Planejamento da Produção e Suprimentos.

Palavras-chave: sistemas de controle de acesso; modelo de referência mecatrônico; processo de desenvolvimento de produtos.

ABSTRACT

This Graduation Project presents an intervention in the production processes of a local company specialized in automatic access control systems. The purpose of the intervention was to achieve a product of better quality, efficiency in the production process and cost reduction. The research methodology used, characterized as research-action, proposes practical solutions for the problem under analysis, through the insertion of the researcher into the object of the research. Throughout the aforementioned project, the concepts of mechatronics, access control systems and reference models were reviewed. The Mechatronics Reference Model (MRM) was the model chosen, for it attends to the specificities of the Product Development Process raised by the nature of such technology. The phases of the MRM were briefly described in this project. Through the use of best consolidated practices in the Optimization and Approval phases of the MRM, the manufacturing procedures of the company were systematized and organized, resulting in the increase of its degrees of repeatability. The results accomplished were analyzed according to the increase in the average level of capability of the activities related to the area of Production and Supply processes.

Keywords: access control systems; mechatronics reference model; product development process.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 –INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.3 METODOLOGIA	3
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	4
CAPÍTULO 2 - REVISÃO TEÓRICA.....	5
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	5
2.2 MECATRÔNICA	5
2.2.1 O que é Mecatrônica?.....	5
2.2.2 Produtos Mecatrônicos	7
2.3 SISTEMAS DE CONTROLE DE ACESSO.....	9
2.4 MODELOS DE REFERÊNCIA PARA O PDP.....	13
2.4.1 Aspectos Gerais.....	13
2.4.2 O Modelo Unificado.....	13
2.5 MODELO DE REFERÊNCIA MECATRÔNICO	14
2.5.1 Estrutura do Modelo	14
2.5.2 Estratégia de Produtos.....	16
2.5.3 Portfólio de Produtos.....	16
2.5.4 Especificar o Produto	16
2.5.5 Planejar o Projeto.....	17
2.5.6 Concepção do Produto	17
2.5.7 Planejamento Técnico.....	18
2.5.8 Projeto do Produto	18
2.5.9 Otimização do Projeto.....	18
2.5.10 Homologação do Produto.....	19
2.5.11 Validação do Produto	19
2.5.12 Lançamento do Produto	20
2.5.13 Monitoramento do Produto.....	20
2.5.14 Aplicações do MRM	20
CAPÍTULO 3 - APLICAÇÃO DO MODELO DE REFERÊNCIA MECATRÔNICO.....	23
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	23
3.1.1 A Empresa	23
3.1.2 O Produto	23

3.2	APLICAÇÃO DE MELHORIAS RELACIONADAS À FASE DE OTIMIZAÇÃO DO MRM	27
3.2.1	Projetar Equipamentos de Suporte	28
3.2.2	Projetar Interface Homem-Máquina	28
3.2.3	Projeto do Sistema de Alimentação	31
3.2.4	Projetar Design e Carenagem	34
3.2.5	Analisar Riscos do Produto quanto às Especificações	35
3.2.6	Analisar Predição de Confiabilidade do Produto	39
3.2.7	Analisar Relação Sinal-Ruído	39
3.2.8	Realizar Análise por Elementos Finitos	40
3.2.9	Acompanhar e Desenvolver Fornecedores	41
3.2.10	Aquisição de Materiais e Componentes	42
3.2.11	Projetar Tolerâncias	43
3.2.12	Desenvolver e Testar Protótipos BETA	47
3.2.13	Testar Software Desenvolvido	48
3.2.14	Detalhar Análise <i>Make-or-Buy</i>	49
3.2.15	Refinar Posição de Mercado do Produto	51
3.2.16	Sistematizar Manufatura e Montagem	51
3.2.17	Detalhar Documentação de Aquisição	54
3.2.18	Detalhar Modelo de Custos do Produto	56
3.2.19	Verificar Resultados da Otimização do Projeto	57
3.2.20	Documentar Soluções Técnicas	58
3.2.21	Documentar e Registrar a Otimização do Projeto	59
3.3	APLICAÇÃO DE MELHORIAS RELACIONADAS À FASE DE HOMOLOGAÇÃO DO MRM	60
3.3.1	Projetar Embalagem	60
3.3.2	Revisar e Documentar Instalação e Configuração de Software	62
3.3.3	Revisar Documentação de Fabricação e Montagem Mecânica	64
3.3.4	Revisar e Documentar Fabricação e Montagem Eletrônica	69
3.3.5	Desenvolvimento de Recursos de Produção	74
3.3.6	Reduzir Custos de Manufatura e Montagem	75
3.3.7	Analisar Modos de Falha de Processo	77
3.3.8	Projeto do Controle de Qualidade do Processo Produtivo	79
3.3.9	Refinar Cadeia de Suprimentos e Documentação de Aquisição	80
3.3.10	Homologar Fornecedores	81
3.3.11	Receber e Instalar Recursos de Homologação	82
3.3.12	Fabricar, Montar e Testar Protótipo de Homologação	83

3.3.13	Testar Protótipo no Mercado	84
3.3.14	Verificar Qualidade da Homologação do Produto	85
3.3.15	Documentar e Registrar Homologação do Processo	86
3.4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	86
CAPÍTULO 4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS		93

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Diagrama Ilustrativo do Conceito de Mecatrônica (Fonte: http://multimechatronics.com/index.php , Acesso em 27/03/2013)	6
Figura 2.2. Fluxograma Ilustrativo do Processo Decisório de Sistemas de Controle de Acesso. (Fonte: próprio autor)	9
Figura 2.3. Visão Geral do Modelo Unificado. Fonte: ROZENFELD <i>et al.</i> (<i>op. cit.</i> , p. 44).	14
Figura 2.4. Representação da Estrutura do MRM. Fonte: RÊGO e DAMASCENO (<i>op. cit.</i> , p. 19).....	15
Figura 2.5. Fases do MRM. Fonte: BARBALHO (<i>op. cit.</i> , p.106)	15
Figura 3.1. Imagem do Quiosque de Entrada	24
Figura 3.2. Imagem da Cancela com Barreira Abaixada.....	25
Figura 3.3. Imagem da Cancela com Barreira Levantada.....	25
Figura 3.4. Tela de Pagamento de <i>Tickets</i> do programa WESTAC	26
Figura 3.5. Imagem do Quiosque de Saída	26
Figura 3.6. Fluxo de Atividades da Fase de Otimização (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 147 – Apêndice A).....	27
Figura 3.7. Etapas para Projetar Equipamentos de Suporte (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 149 – Apêndice A).....	28
Figura 3.8. Etapas para Projetar Interface Homem-Máquina (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 151 – Apêndice A).....	29
Figura 3.9. Tela de Cadastramento de Usuários do Sistema Gerente	30
Figura 3.10. Tela de Emissão de Relatórios do Sistema Gerente.....	31
Figura 3.11. Etapas para Projetar Sistema de Alimentação (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 154 – Apêndice A).....	31
Figura 3.12. Etapas para Projetar Design e Carenagem (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 156 – Apêndice A).....	34
Figura 3.13. Etapas para Analisar Riscos do Produto quanto às Especificações (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 158 – Apêndice A)	35
Figura 3.14. FTA de um do Sintoma “Não emite <i>ticket</i> válido na entrada”	36
Figura 3.15. Novo bocal (à direita) para redução do modo de falha “bocal não coleta”	38
Figura 3.16. Etapas para Analisar Predição de Confiabilidade do Produto (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 161 – Apêndice A)	39
Figura 3.17. Etapas para Analisar Relação Sinal-Ruído (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 163 – Apêndice A).....	40
Figura 3.18. Etapas para Realizar Análise por Elementos Finitos (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 166 – Apêndice A).....	40

Figura 3.19.Etapas para Acompanhar e Desenvolver Fornecedores (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 168 – Apêndice A)	41
Figura 3.20.Etapas para Adquirir Materiais e Componentes (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 170 – Apêndice A)	42
Figura 3.21.Etapas para Projetar Tolerâncias (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 172 – Apêndice A).....	43
Figura 3.22.Etapas para Desenvolver e Testar Protótipos BETA (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 173 – Apêndice A)	47
Figura 3.23.Etapas para Testar Software Desenvolvido (fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 177 – Apêndice A).....	48
Figura 3.24.Etapas para Detalhar Análise de <i>Make-or-Buy</i> (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 179 – Apêndice A)	49
Figura 3.25.Etapas para Refinar Posição de Mercado do Produto (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 178 – Apêndice A)	51
Figura 3.26.Etapas para Sistematizar Manufatura e Montagem (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 181 – Apêndice A)	52
Figura 3.27. Fluxograma da Sistematização da Manufatura e Montagem	53
Figura 3.28. Etapas para Detalhar Documentação de Aquisição (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 183 – Apêndice A)	55
Figura 3.29.Etapas para Detalhar Modelo de Custos do Produto (fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 185 – Apêndice A)	56
Figura 3.30.Etapas para Verificar Resultados da Otimização do Projeto (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 187 – Apêndice A).....	58
Figura 3.31.Etapas para Documentar Soluções Técnicas (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 188 – Apêndice A).....	59
Figura 3.32.Etapas para Documentar e Registrar a Otimização do Projeto (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 190 – Apêndice A)	59
Figura 3.33. Fluxo de Atividades da Fase de Homologação.....	60
Figura 3.34.Etapas para Projetar Embalagem (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 195 – Apêndice A).....	61
Figura 3.35.Etapas para Revisar e Documentar Instalação e Configuração de Software (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 197)	62
Figura 3.36.Etapas para Revisar Documentação de Fabricação e Montagem Mecânica (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 199)	64
Figura 3.37. Fluxograma da Fabricação dos Painéis de Acrílico (Fonte: Próprio autor).....	65
Figura 3.38. Fluxograma para Montagem do Painel Frontal de Saída (Fonte: Próprio autor)	66

Figura 3.39. Face Frontal do Painel de Acrílico de 5mm com Demarcação dos Furos Escareados	68
Figura 3.40. Montagem do Painel Frontal de Saída em Explosão	69
Figura 3.41. Etapas para Revisar e Documentar Fabricação e Montagem Eletrônica (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 201 – Apêndice A)	69
Figura 3.42. Fluxograma da Montagem de Placas Eletrônicas (Fonte: próprio autor).....	71
Figura 3.43. Esquema de Montagem de Componentes da Placa WP29	73
Figura 3.44. Fluxograma da Confeção dos Cabos (Fonte: Próprio autor)	73
Figura 3.45. Esquema Utilizado nos Conectores Serial do Sistema	74
Figura 3.46. Etapas para Desenvolver Recursos de Produção (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 204 – Apêndice A)	74
Figura 3.47. Gabarito para Furação da Caixa da WP 29	75
Figura 3.48. Etapas para Reduzir Custos de Manufatura e Montagem (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 206)	76
Figura 3.49. Etapas para Analisar Modos de Falha de Processo (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 209 – Apêndice A)	77
Figura 3.50. Etapas para Projetar Controle de Qualidade do Processo Produtivo (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 210)	79
Figura 3.51. Etapas para Refinar Cadeia de Suprimentos e Documentação de Aquisição (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 212)	80
Figura 3.52. Etapas para Homologar Fornecedores (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 214 – Apêndice A).....	82
Figura 3.53. Etapas para Receber e Instalar Recursos de Homologação (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 216 – Apêndice A).....	83
Figura 3.54. Etapas para Fabricar, Montar e Testar Protótipo de Homologação (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 218 – Apêndice A)	83
Figura 3.55. Etapas para Testar Protótipo no Mercado (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 220 – Apêndice A).....	84
Figura 3.56. Etapas para Verificar Qualidade da Homologação do Produto (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 222 – Apêndice A)	85
Figura 3.57. Etapas para Documentar e Registrar Homologação do Processo (Fonte: BARBALHO, <i>op. cit.</i> , p. 223 – Apêndice A)	86
Figura 3.58. Gráfico Demonstrativo dos Valores de Capabilidade Antes e Depois da Intervenção	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Quadro resumo dos graus de automação de SCA.....	10
Tabela 3.1. Parte da Definição do Cabeamento	33
Tabela 3.2. FMEA relativa ao sintoma “Não emite <i>ticket</i> válido na entrada”	37
Tabela 3.3. <i>Checklist</i> para Recebimento dos Gabinetes de Quiosques.....	42
Tabela 3.4. Valores Utilizados nos Cálculos de Tolerâncias.....	45
Tabela 3.5. Resultados Obtidos nos Cálculos de Tolerâncias	46
Tabela 3.6. Documentação de Aquisição de um dos Fornecedores	55
Tabela 3.7. Estrutura de Custos de um dos Subsistemas	57
Tabela 3.8. Lista de Materiais para Montagem da Placa WP29.....	72
Tabela 3.9. FMEA de Processos Antes de Intervenção.....	78
Tabela 3.10. FMEA de Processos Após a Intervenção.....	79
Tabela 3.11. Componentes “A” da classificação ABC	81
Tabela 3.12. Legenda para a Classificação das Atividades	87
Tabela 3.13. Classificação das Atividades de Otimização	88
Tabela 3.14. Classificação das Atividades de Homologação	89

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos Latinos

P	Força	[kgf]
M	Momento	[kgf·mm]
D	Diâmetro	[mm]
U	Interferência	[μm]
E	Módulo de elasticidade	[kgf/mm ²]
Q	Razão entre diâmetros	
B	Altura da Rugosidade	[μm]
ρ	Pressão	[kgf/mm ²]

Símbolos Gregos

Δ	Variação	
π	Razão entre perímetro e diâmetro da circunferência	
ν	Coeficiente de aderência	
η	Coeficiente de Poisson	
σ	Tensão de escoamento	[kgf/mm ²]

Subscritos

K	Mínimo
G	Máximo
tp	Tangencial
t	Torsor
c	Circunferência
i	Total ou Índice
in	Longitudinal
min	Mínimo
f	furo
e	eixo

Siglas

PDP	Processo de Desenvolvimento de Produtos
MRM	Modelo de Referência Mecatrônico
SCA	Sistema de Controle de Acesso

Siglas (cont.)

RFID	<i>Radio Frequency IDentification</i>
SINIAV	Sistema Nacional de Identificação Automática de Veículos
WBS	<i>Work Breakdown Structure</i>
DFMA	<i>Design for Manufacturing and Assembly</i>
GSE	<i>Ground Support Equipment</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
AC	<i>Alternating Current</i>
DC	<i>Direct Current</i>
TRIAC	<i>Triode for Alternating Current</i>
FTA	<i>Fault Tree Analysis</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
RPN	<i>Risk Priority Number</i>
BoM	<i>Bill of Materials</i>
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
MTTF	<i>Mean Time to Failure</i>
LASER	<i>Light Amplification Stimulated by Emission of Radiation</i>
HALT	<i>Highly Accelerated Life Testing</i>
HAST	<i>Highly Accelerated Stress Testing</i>
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
RAM	<i>Random Access Memory</i>
HD	<i>Hard Disk</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
PCI	<i>Peripheral Component Interconnect</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
UMC	<i>Unit Manufacturing Cost</i>
CEP	Controle Estatístico de Processos
NFC	<i>Near Field Communication</i>

CAPÍTULO 1 –INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

Nas últimas décadas, as empresas brasileiras, diante de um cenário cada vez mais competitivo interna e externamente, se depararam com a necessidade de modernização dos seus processos gerenciais. Esta postura, inspirada por casos de sucesso observados em outros países, objetiva melhorias de qualidade dos produtos aliadas a reduções de custos e aumento de produtividade, porém sem oferecer barreiras a inovações tecnológicas.

No caso de pequenas e médias empresas brasileiras baseadas em tecnologia, SILVA *et al.* (2007) demonstra que as atividades gerenciais, como as relacionadas à homologação e à documentação, são fatores críticos de sucesso para empresas baseadas em tecnologia. Assim, especial atenção deve ser dada a tais processos, uma vez que são cruciais para o desenvolvimento da empresa.

Em toda a bibliografia acerca de processos gerenciais, podem ser observadas diversas técnicas, ferramentas e metodologias que, ao serem aplicadas repetidamente em diversos casos de estudo com sucesso, foram consagradas como melhores práticas. Entretanto, para um mesmo processo, existem diversas metodologias que podem ser aplicadas, ao que apresenta-se a questão: qual a melhor técnica?

Esta resposta depende de cada caso em específico. De acordo com a área de atuação, mercado, estágio de maturidade, recursos disponíveis e diversos outros fatores, cada metodologia pode apresentar resultados mais adequados. Assim, por vários anos, empresas que desejassem passar por esta modernização eram obrigadas a contratar caros serviços de consultoria.

De forma natural, foram observadas sinergias entre algumas metodologias aplicadas em diferentes fases do Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) que, ao serem estudadas, foram consolidadas através do desenvolvimento de modelos de referências. Tais modelos apresentam diretrizes para a implementação das melhores práticas consolidando-as formalmente e guiando a estruturação gerencial.

No caso de grandes empresas e multinacionais, são desenvolvidos modelos de referência específicos às características próprias da empresa em suas matrizes que, então, são distribuídos às suas filiais. Tais empresas, devido ao grande montante de recursos disponíveis e suas proporções, têm os custos de desenvolvimento de modelos justificados.

Já no caso das pequenas empresas, a dinâmica imposta pelo mercado faz com que aspectos metodológicos e gerenciais caiam para segundo plano, uma vez que se focam

diretamente em soluções técnicas para seus produtos. Portanto, os custos de contratação, aliados à baixa prioridade associada aos processos gerenciais, inviabiliza a realização de consultorias. Assim, a melhor alternativa é buscar modelos de referência públicos que se enquadrem ao perfil da empresa.

Deste modo, a questão torna-se encontrar o modelo mais adequado. Dependendo das necessidades, alguns modelos podem ser demasiadamente genéricos e, apesar de serem aplicáveis em uma vasta gama de casos, não contemplarem especificidades importantes associadas à área de atuação da empresa. Neste sentido, ressalta-se a indústria de produtos mecatrônicos que, devido ao alto nível de integração entre áreas bastante distintas intrínseco a sua definição, possui necessidades organizacionais muito específicas.

Segundo BARBALHO (2006), a literatura apresenta alguns modelos adequados a esta situação. BUUR (1990) e BRADLEY *et al.* (2000) são voltados às necessidades específicas da mecatrônica, mas não vislumbram as características e dificuldades das pequenas e médias empresas brasileiras, enquanto ROZENFELD *et al.* (2006) atende esta última questão, mas pode ser demasiadamente genérico.

Assim, o Modelo de Referência Mecatrônico (MRM) apresentado por BARBALHO (*op. cit.*) foi criado para atender a ambos os requisitos. Modelos de referência e, em especial, o MRM serão discutidos com maior profundidade mais à frente.

1.2 OBJETIVOS

Tendo em vista o cenário apresentado, este trabalho objetiva aplicar um modelo de referência como ferramenta para a melhoria nos procedimentos de produção de um equipamento mecatrônico de controle de acesso em uma pequena empresa.

Tomando por base uma empresa da área de mecatrônica e especializada em sistemas de controle de acesso, serão aplicadas as melhores práticas previstas e estruturadas nas fases de Otimização e Homologação do Modelo de Referência Mecatrônico. Dentre as características destas fases, estão a otimização, a organização e a documentação dos procedimentos de produção.

Com isso, espera-se alcançar maiores índices de capacidade nas atividades da área de processos de “Planejamento da Produção e Suprimentos” da empresa. Isto é, melhorar a repetitividade dos procedimentos e, com isso, uma produção mais rápida, eficiente e com maior qualidade.

Este trabalho também visa analisar os resultados obtidos com a aplicação do modelo, avaliando e comparando os níveis de capacidade antes e depois da intervenção proposta.

1.3 METODOLOGIA

De acordo com MORESI (2003), a pesquisa pode ser classificada do ponto de vista da sua natureza, da forma de abordagem, das finalidades e dos meios de investigação.

- **Natureza:** *“Pesquisa Aplicada: objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais”* (MORESI, 2003, p. 8). Esta classificação é adequada ao presente trabalho uma vez que, através da intervenção, serão buscadas soluções de problemas de interesse local (a empresa).
- **Forma de Abordagem:** *“Pesquisa Qualitativa: considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números. [...] O processo e seu significado são os focos principais da abordagem”* (MORESI, 2003, p. 9). Apesar de, ao final do trabalho, serem buscados resultados quantificáveis, o nível de capacidade a ser mensurado é uma grandeza qualitativa, uma vez que envolve juízo de valor.
- **Finalidade:** *“Intervencionista: tem como principal objetivo interpor-se, interferir na realidade estudada, para modificá-la. Não se satisfaz, portanto, em apenas explicar. Distingue-se da pesquisa aplicada pelo compromisso de não somente propor resoluções de problemas, mas também de resolvê-los efetiva e participativamente”* (MORESI, 2003, p. 9). Além de propor as soluções aos problemas, como descrito no tópico da natureza, o trabalho destina-se à resolução dos mesmos através da aplicação.
- **Meio de Investigação:** *“Pesquisa-ação: é um tipo particular de pesquisa participante que supõe intervenção participativa na realidade”* (MORESI, 2003, p. 9), onde pesquisa participante é caracterizada como *“não se esgota na figura do pesquisador. Dela tomam parte pessoas implicadas no problema sob investigação, fazendo que a fronteira pesquisador/pesquisado [...] seja tênue”* (MORESI, 2003, p. 9). Esta classificação foi escolhida uma vez que o trabalho será desenvolvido em conjunto com o estágio supervisionado obrigatório, efetivamente sendo realizada no interior da empresa. Uma outra classificação do meio também é adequada: *“Pesquisa de campo: investigação empírica realizada no local onde ocorre ou ocorreu um fenômeno ou que dispõe de elementos para explicá-lo”* (MORESI, 2003, p. 9), já que todas as informações são encontradas no ambiente da empresa em questão.

Para a avaliação dos resultados, serão utilizadas as planilhas de diagnóstico de capacidade referentes às fases de Otimização e de Homologação do MRM. Estas planilhas encontram-se no “Anexo F – Diagnóstico de Capacidade” de BARBALHO (op. cit.).

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho encontra-se dividido em quatro capítulos.

No segundo capítulo, será realizada uma breve revisão teórica acerca dos assuntos abordados como mecatrônica, produtos mecatrônicos, sistemas de controle de acesso, modelos de referência e, principalmente, o Modelo de Referência Mecatrônico.

No terceiro capítulo, o caso em questão será aprofundado, iniciando com uma descrição mais aprofundada da empresa e o produto em foco. Em seguida, é documentada a aplicação das fases de Otimização e de Homologação do MRM. Por fim, são apresentados os resultados obtidos através da intervenção.

Por fim, no quarto e último capítulo, são realizadas as considerações finais acerca da elaboração do trabalho, resultados e trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO TEÓRICA

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo são brevemente explanados alguns conceitos fundamentais ao desenvolvimento do trabalho, como mecatrônica, produtos mecatrônicos e modelos de referência.

Em seguida, é sumarizado o Modelo Unificado (ROZENFELD *et al.*, 2006) que, ao consolidar diversas práticas, experiências, estudos de caso e metodologias desenvolvidas nos últimos anos por diversos pesquisadores, representa um bom ponto de partida no estudo de modelos de referência.

Por último, é apresentado o Modelo de Referência Mecatrônico desenvolvido por BARBALHO (*op. cit.*). Neste modelo, diversas características do Modelo Unificado são preservadas, porém é adaptado às especificidades da indústria mecatrônica. São também enumerados alguns casos de sucesso na aplicação do MRM

2.2 MECATRÔNICA

2.2.1 O que é Mecatrônica?

O termo “mecatrônica” foi cunhado inicialmente por Tetsuro Mori em 1969 (BROWN, 2008) para descrever os sistemas de controle eletrônicos que a companhia Yaskawa Electric Corp. produzia para equipamentos fabris mecânicos. No entanto, com o decorrer do tempo, esta palavra veio a significar muito mais que apenas a junção das palavras “mecânica” e “eletrônica”.

Por ser um conceito novo, se comparado a outras áreas da engenharia como a mecânica e a elétrica, não existe apenas uma definição para mecatrônica. Diversos autores já publicaram suas próprias versões do que vem a ser a mecatrônica. Em sua grande parte, no entanto, as definições concordam que as tecnologias mecatrônicas partem da integração entre diferentes áreas de estudo, como sistemas mecânicos, sistemas eletrônicos, computadores e sistemas de controle, como pode ser visto na Figura 2.1. Neste trabalho, alguns destes conceitos serão utilizados para exemplificação.

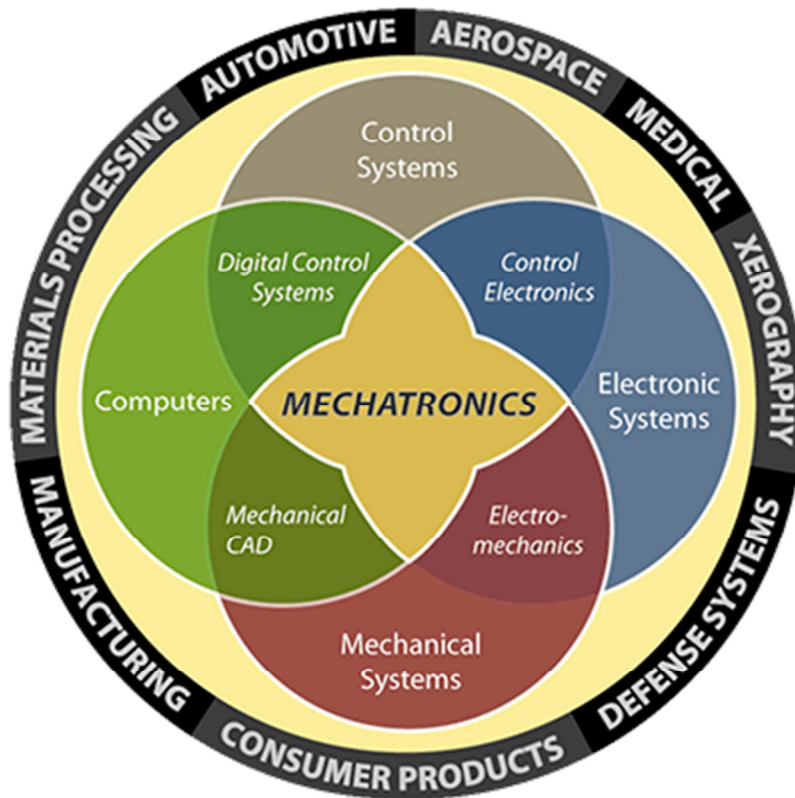


Figura 2.1. Diagrama Ilustrativo do Conceito de Mecatrônica (Fonte: <http://multimechatronics.com/index.php>, Acesso em 27/03/2013)

Ainda do mesmo site, o autor Kevin Craig define mecatrônica como:

“Mecatrônica é a integração sinérgica de sistemas físicos, eletrônica, controle e computadores através de todo o processo de desenvolvimento, desde as primeiras etapas de projeto, possibilitando tomadas de decisões complexas. Integração é o elemento chave no projeto mecatrônico, uma vez que a complexidade do sistema foi transferida do domínio mecânico para os domínios eletrônico e de software de computadores. Mecatrônica é um desenvolvimento de projeto evolucionário que exige integração horizontal entre diversas disciplinas de engenharia, bem como integração vertical entre projeto e manufatura. É a melhor prática de síntese dos engenheiros motivada pelas necessidades da indústria e dos seres humanos”. (tradução nossa)

Nota-se, nesta definição, principalmente, o enfoque que o autor dá ao momento em que a integração entre as diversas áreas é realizada: a mecatrônica não consiste apenas na junção de subsistemas de cada área ao final da fase de desenvolvimento, mas deve ser realizada desde o início do Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP). Entretanto, antes de chegar a esta definição tão concisa, cabe fazer algumas outras citações para observação das nuances e evolução histórica do termo.

Ainda no final do século passado, BUUR (1990) já apresentava um ponto de vista similar sobre a integração das diversas disciplinas:

“Mecatrônica é uma tecnologia que combina mecânica com eletrônica e tecnologia da informação para compor tanto uma integração funcional como uma integração espacial de componentes, módulos, produtos e sistemas.”
(BUUR, 1990, p.18).

A integração funcional complementa a definição apresentada anteriormente, enfatizando a necessidade de desenvolver as diversas tecnologias em conjunto para desempenhar as funções primárias do produto. Por outro lado, a integração espacial nem sempre é necessária, uma vez que existem produtos intrinsecamente mecatrônicos que, mesmo apresentando integração funcional, nem sempre apresentam conexões físicas entre seus componentes, ainda mais com o desenvolvimento de tecnologias sem fio após a data de publicação da referida citação.

Dada esta falha na definição, é pertinente apresentar outra que aborde este conceito de uma forma diferente:

“Mecatrônica é um campo interdisciplinar da engenharia que lida com o projeto de produtos cujas funções são realizadas por uma integração sinérgica entre componentes mecânicos, eletrônicos e elétricos conectados por uma arquitetura de controle.” (HISTAND e ALCIATORE, 2006, p. 11)

Aqui, são melhorados três aspectos em comparação à definição anterior. Em primeiro lugar, não é apresentada a necessidade de integração espacial. Em segundo, o termo “tecnologias” é substituído por “componentes”, possibilitando uma abrangência mais adequada. Ainda, são adicionados à definição os sistemas de controle que, atualmente, são considerados parte fundamental de sistemas mecatrônicos. Nota-se, também, a reescrita da integração funcional para sinérgica, como também foi apresentado na primeira definição.

Pode ser percebido, então, que a principal especificidade do PDP mecatrônico a ser contemplada pelos modelos de referência é o alto nível de integração necessário, englobando todos os seus aspectos.

2.2.2 Produtos Mecatrônicos

No entanto, definir mecatrônica sem definir seus produtos pode fazer com que o conceito seja visto como demasiadamente teórico. Assim, deve também ser definido o espectro que engloba tão diversificados produtos.

Segundo BROWN (*op. cit.*), estamos, atualmente, completamente cercados de produtos mecatrônicos e, dificilmente, passamos um dia sequer sem interagir com algum. Inclusive, o autor aponta que a grande maioria dos produtos outrora mecânicos está sendo reinventados

pela mecatrônica. Neste sentido, BERNARDI *et al.* (2002) aponta a dificuldade de uma definição universalmente válida, uma vez que há um enorme espectro de produtos diferentes que utilizam a mecatrônica. Assim, como defini-los? A resposta engloba três aspectos: as características intrínsecas que o produto deve cumprir, os sistemas que o compõem e as possíveis tipologias em que ele pode ser encaixado.

De acordo com BARBALHO (*op. cit.*, p. 20), um produto mecatrônico deve obedecer aos seguintes critérios:

- *“Integração de tecnologias mecânica, eletrônica e de software;*
- *As funções básicas do produto são providas pela interação entre as tecnologias que o compõem; e*
- *O produto pode ser entendido com um sistema de controle a malha aberta ou a malha fechada.”.*

Quanto à composição, BARBALHO (*op. cit.*) enumera as principais categorias de componentes:

- Sensores e instrumentação;
- Software de Processamento/Controle;
- Atuadores e *drives*;
- Projeto de Engenharia; e
- Sistema de Comunicação;

Já BARBALHO (*op. cit.*) *apud* RZEVSKI (2003) propõe as possíveis classificações segundo as características comportamentais dos sistemas:

- **Sistemas Mecatrônicos Automáticos:** os mais comuns. Manuseiam materiais e energia, comunicam-se com o ambiente e apresentam respostas pré-programadas a mudanças ambientais previstas;
- **Sistemas Mecatrônicos Inteligentes:** sistemas que se adaptam a mudanças ambientais, apresentando respostas que não foram pré-programadas; e
- **Redes Mecatrônicas Inteligentes:** são capazes de decidir seu próprio comportamento por meio de negociação entre os diversos sistemas mecatrônicos inteligentes que o compõem.

2.3 SISTEMAS DE CONTROLE DE ACESSO

Seguindo as tendências de mercado em favor da automação, diversas tarefas que, historicamente, vinham sendo realizadas por sistemas que dependiam basicamente da ação de pessoas, agora vêm sendo substituídas em favor de sistemas mais modernos, automáticos, geralmente mecatrônicos.

Uma das áreas em que esta transição teve, e ainda tem, efeito é a de sistemas de controle de acesso (SCA). Esta área possui duas subdivisões principais: sistemas de controle de acesso de pessoas e de veículos. Apesar de este trabalho focar-se em um produto aplicado à subdivisão de veículos, há também, no portfolio da empresa estudada, produtos da subdivisão de pessoas.

Os SCA podem ser modelados a partir de um conjunto porta-guardião. Na sua concepção, ambos eram controlados manualmente. Imagine uma guarita, cerca ou cancela de fazenda em que há um empregado para controlar a entrada e saída de veículos: o guardião é responsável por identificar o veículo, analisando sua permissão para passar, e, caso autorizado, opera o portão para a passagem do veículo.

A Figura 2.2 apresenta um fluxograma decisório que ilustra este cenário, tanto para os casos de entrada, quanto para os casos de saída de veículos.

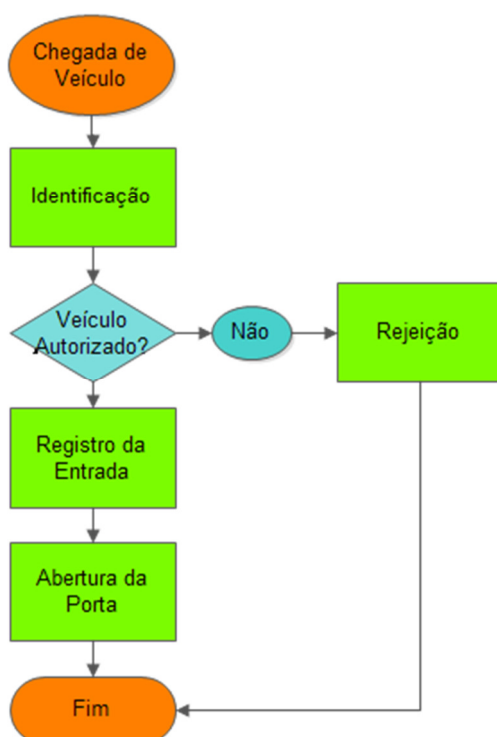


Figura 2.2. Fluxograma Ilustrativo do Processo Decisório de Sistemas de Controle de Acesso. (Fonte: próprio autor)

Mesmo que seja rudimentar, este modelo pode ser aplicado à maior parte dos SCA, até mesmo os mais modernos. A diferença está no grau de automação da porta e do guardião. Notavelmente, o primeiro estágio constitui na automação da operação da porta. Diversos estacionamentos urbanos estão neste patamar. Nele, a operação do portão é feita automaticamente através de um controle remoto ou um botão, por exemplo. Há casos em que a abertura e o fechamento são operados pelo guardião e outros em que apenas a abertura é operada e, através de sensoriamento para averiguar a passagem do veículo, o fechamento é automático.

O segundo patamar de automação consiste na automação do guardião. Através de cartões RFID ativos e passivos, identificação de placas e/ou emissão/leitura de código de barras, um veículo que chega ao sistema pode ser identificado automaticamente. A partir daí, um sistema de comunicação deverá verificar em um banco de dados a autorização de entrada ou saída do veículo e, então, registrar sua passagem e operar automaticamente a porta. No caso de veículo visitante com código de barras, ao entrar apenas registra-se a passagem e opera-se a porta. Ainda assim, há a possibilidade, dependendo do sistema, de existir uma *blacklist* de veículos a serem recusados, identificados através de um sistema automatizado de identificação de placas. Neste caso, o veículo visitante também deverá passar pela etapa de autorização pelo banco de dados.

Há, ainda, uma etapa extra no fluxograma que consiste no pagamento do serviço, quando pertinente. No caso de um estacionamento pago, por exemplo, os *tickets* só serão autorizados para saída no caso haja o pagamento prévio em algum ponto de atendimento, inserindo, assim, mais um agente ao sistema.

Devido a este agente extra, há ainda a possibilidade de um terceiro patamar de automação, o caixa. Caso o sistema esteja neste patamar, o cliente dirigir-se-á a um quiosque de autoatendimento ao invés dos caixas tradicionais, pagando seu *ticket* com, por exemplo, cartão de crédito e efetuando automaticamente a autorização de sua saída. Neste caso, o sistema opera de forma completamente automática, ou seja, sem nenhuma interação humana.

A Tabela 2.1 resume os diferentes estágios de automatização de SCA mencionados.

Tabela 2.1. Quadro resumo dos graus de automação de SCA

Grau de Automação	Automação do fluxo	Automação da identificação	Automação da cobrança
<i>Sem automação</i>			
<i>Primeiro</i>	X		
<i>Segundo</i>	X	X	
<i>Terceiro</i>	X	X	X

Apesar dos controles de estacionamento serem o foco deste trabalho, há várias outras aplicações de SCA veiculares automatizados. Uma aplicação muito comum é o sistema de cobrança de pedágios “Sem Parar” ou “Via Fácil” que eleva para o terceiro patamar o sistema de controle de pedágios que, tradicionalmente, está no primeiro patamar de automação.

Há ainda os sistemas de monitoramento que, apesar de terem objetivos e modelamento bastante distintos, compartilham diversas tecnologias em comum, em especial as de identificação. Um exemplo deste tipo de sistema é o Sistema Nacional de Identificação Automática de Veículos (SINIAV) que está em fase de espera de autorização para ser implementado em todo Brasil (<http://siniav.net/>, Acesso em: 27/03/2013). Através de um *chip* de RFID ativo, o governo brasileiro espera alcançar um melhor monitoramento do fluxo e localização de veículos no território possibilitando, por exemplo:

- Novas formas de controle de velocidade. Ao monitorar a posição ao invés da velocidade instantânea em pontos de controle, poderá ser evitado que motoristas transitem muito acima da velocidade permitida e freie somente no ponto de controle;
- Localização de criminosos ou carros roubados;
- Estatísticas sobre o tráfego; e
- Controle do tráfego em determinados locais e horários, identificando e multando automaticamente os infratores, como, por exemplo, ocorre no sistema de rodízio de carros de São Paulo.

Voltando aos SCA, pode-se observar que, dependendo do patamar de automação em que se encontra, constituem produtos intrinsecamente mecatrônicos. Como o sistema a ser analisado neste estudo encontra-se no segundo patamar, será averiguada a conformidade deste caso aos requisitos de classificação de produtos mecatrônicos levantados na seção anterior.

- **Integração de tecnologias mecânica, eletrônica e de *software*:** Desde sua concepção, os SCA apresentam esta integração. A tecnologia mecânica é representada pelo motor, rolamentos e mecanismos; a eletrônica pelos circuitos de controle e atuação; e a de *software* novamente nos sistemas de controle e no gerenciamento do banco de dados;
- **As funções básicas do produto são providas pela interação entre as tecnologias que o compõem:** A integração do item anterior ocorre de forma

sinérgica, pois as três tecnologias operam em conjunto para alcançar um único objetivo; e

- **O produto pode ser entendido com um sistema de controle a malha aberta ou a malha fechada:** O SCA pode ser representado por um sistema de controle a malha aberta, pois o sensoriamento presente no sistema guia o acionamento dos atuadores diretamente.

Já quanto aos componentes do sistema:

- **Sensores e instrumentação:** entre os sensores podemos citar os leitores das *tags* de RFID, o sensor de passagem de veículos e o leitor de código de barras;
- **Software de Processamento/Controle:** como já discutido, o sistema de gerenciamento de banco de dados e das placas de controle fazem parte desta categoria;
- **Atuadores e drives:** o principal atuador do sistema é o motor que opera a cancela, o qual, naturalmente, necessita do restante do seu conjunto de atuação;
- **Projeto de Engenharia:** como já mencionado, o projeto de engenharia do sistema contempla a integração sinérgica entre as disciplinas desde sua concepção. Esta solução mecatrônica é aplicada a um projeto originalmente muito simples que, em sua essência, é constituído apenas por uma porteira operada manualmente; e
- **Sistema de Comunicação:** como os diversos elementos do sistema estão fisicamente distribuídos, é intrínseco ao SCA um sistema de comunicação adequado. No caso do sistema estudado, são exigidos alguns protocolos específicos, uma vez que o sistema se comunica com computadores..

Assim, é confirmada a premissa de que os SCA são produtos mecatrônicos. Entre as três últimas classificações, a que mais se adequa é a de “Sistemas Automáticos de Controle”, uma vez que o SCA não apresenta nenhuma adaptabilidade inteligente.

2.4 MODELOS DE REFERÊNCIA PARA O PDP

2.4.1 Aspectos Gerais

BARBALHO (*op. cit.*) *apud* BARBALHO e ROZENFELD (2004), apresenta a seguinte definição de modelos:

“Um modelo é uma representação externa e explícita de parte da realidade, vista pela pessoa que desejar usá-lo para apoiar a execução de tarefas relacionadas com aquela parte da realidade, sejam operacionais ou gerenciais, sendo expresso em termos de algum formalismo (linguagem) definido por construtos de modelagem.” (BARBALHO, *op. cit.*, p.67)

RÊGO e DAMASCENO (2011) *apud* ROZENFELD *et al.* (*op. cit.*) apresenta uma distinção entre modelos genéricos, ou parciais, e modelos particulares. Enquanto aqueles são desenvolvidos para atender a um inteiro setor da indústria, estes consistem na adaptação de um determinado modelo genérico para a realidade específica da empresa em que será aplicado.

Modelos de Referência são “[...] *modelos parciais que podem ser usados como base para o desenvolvimento ou a avaliação de modelos particulares.*” (BARBALHO, *op. cit.*, p. 68). Na prática, eles se consistem em fontes consolidadas de conhecimento que, através da orientação na utilização das melhores práticas, conferem à organização uma melhor padronização na troca de informações, metodologias e processos da empresa, melhorando a eficiência e a qualidade. Deve-se observar, no entanto, que o modelo escolhido respeite as especificidades do produto e da organização em que é aplicado.

2.4.2 O Modelo Unificado

O Modelo Unificado proposto por ROZENFELD *et al.* (*op. cit.*) consiste em um modelo genérico voltado para todo o setor de manufatura de bens de consumo duráveis e de capital. Este modelo, como cumprimento da definição de modelo apresentada anteriormente, apresenta uma estrutura bem definida quanto ao seguimento de suas diversas fases.

Primeiramente, o modelo é dividido em três macro fases. A de Pré-desenvolvimento, relacionada com planejamento e estratégia, apresenta as fases de “Planejamento Estratégico de Produto” e “Planejamento do Projeto”. Em seguida, há a macro fase de desenvolvimento que, visando o projeto e produção do produto, engloba as fases de “Projeto Informacional”, “Projeto Conceitual”, “Projeto Detalhado”, “Preparação da Produção” e “Lançamento do Produto”. Por fim, a macro fase de Pós Desenvolvimento compreende as

fases de “Acompanhar Produto/Processo” e “Descontinuar Produto”, encerrando o ciclo de vida do produto.

Há ainda, em paralelo a todas estas fases, os processos de apoio de “Gerenciamento de Mudanças de Engenharia” e “Melhoria do Processo de Desenvolvimento de Produtos” que, dentre seus objetivos, constam a organização e a otimização de todo o PDP.

O esquema gráfico do Modelo Unificado pode ser visto na Figura 2.3.

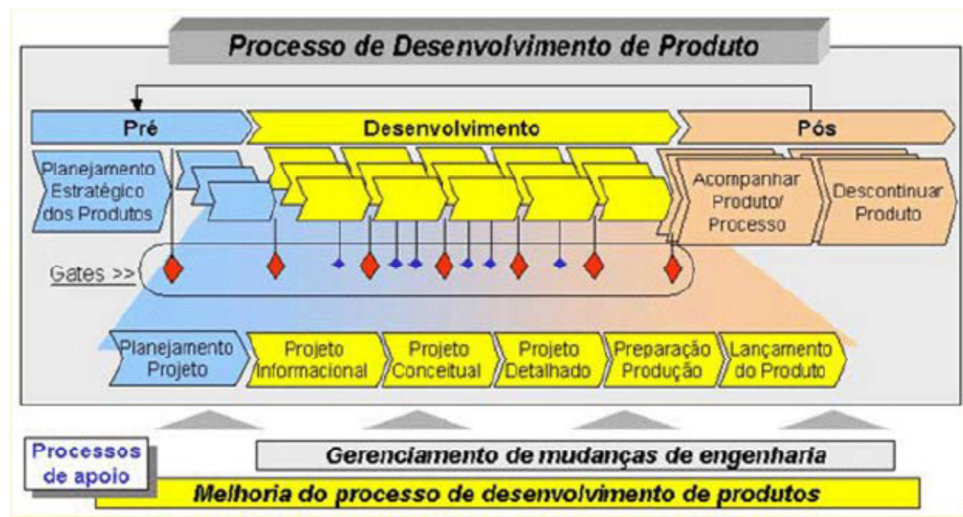


Figura 2.3. Visão Geral do Modelo Unificado. Fonte: ROZENFELD *et al.* (*op. cit.*, p. 44).

Ao final de cada fase, está previsto um *gate* decisório que avaliará a execução da fase quanto ao seu desempenho e resultados e, com base nisto, executar um estudo de viabilidade para decidir entre cancelar, congelar, redirecionar ou dar continuidade ao projeto em questão.

2.5 MODELO DE REFERÊNCIA MECATRÔNICO

2.5.1 Estrutura do Modelo

A estrutura do MRM apresenta diversas semelhanças em relação ao Modelo Unificado. Assim com este, ele é estruturado em “fases” organizadas cronologicamente que, através das “atividades” que as constituem, toma os “documentos” de entrada e transforma-os em “documentos” de saída. Cada atividade, por sua vez, pode ser descrita como uma sucessão de “tarefas” que servem de orientação na sua execução.

Assim como o Modelo Unificado, o MRM também apresenta *gates* decisórios entre as fases. Neste, no entanto, estes procedimentos estão estruturados como atividades dentro de cada uma das fases, em conjunto com sua respectiva atividade de documentação. Deste modo, possibilita-se a adaptação do *gate* e da documentação às características específicas da fase.

A Figura 2.4 apresenta um esquema da estrutura do MRM.

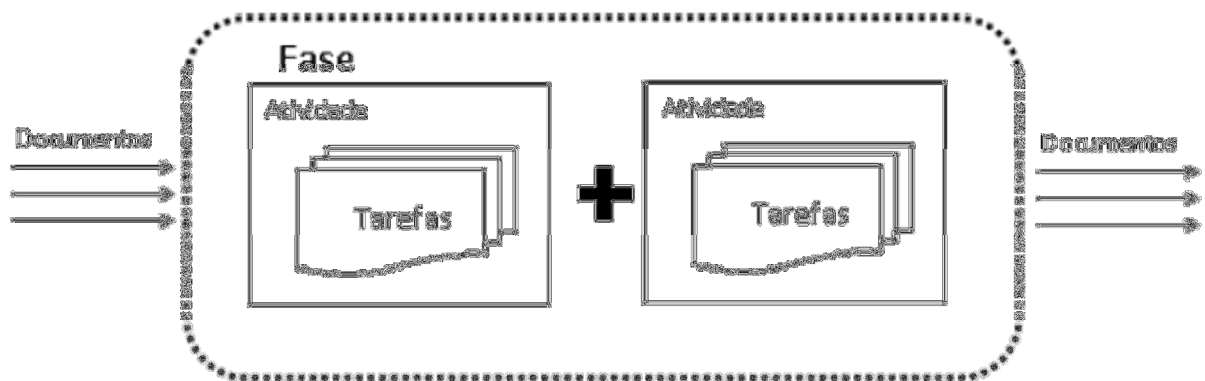


Figura 2.4. Representação da Estrutura do MRM. Fonte: RÊGO e DAMASCENO (*op. cit.*, p. 19)

A Figura 2.5 apresenta as fases do MRM que, pelo formato elíptico, evidencia a maior duração associada às fases centrais de desenvolvimento. Além disso, o formato de seta de cada fase traz o significado de paralelismo entre fases adjacentes.

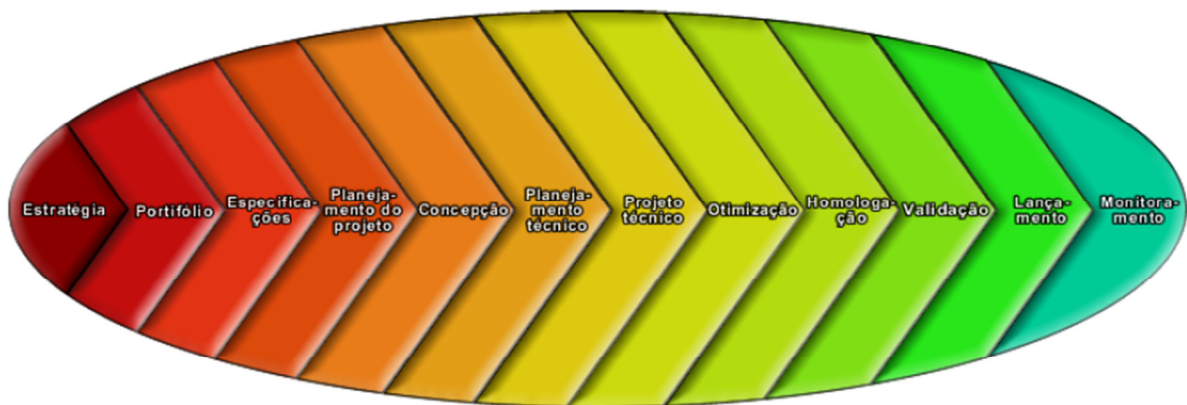


Figura 2.5. Fases do MRM. Fonte: BARBALHO (*op. cit.*, p.106)

A seguir, uma breve explicação de cada fase será apresentada sem muitos detalhes. No Capítulo 3 serão posteriormente desenvolvidas as fases de Otimização e Homologação até o nível de tarefas.

2.5.2 Estratégia de Produtos

Essa fase, que é de inteira responsabilidade da alta direção, está em constante andamento dentro das organizações e visa à definição de uma estratégia de produto para a empresa. A fim de atingir seu objetivo, essa fase realiza análise das linhas de produtos da empresa. A partir da qual, são identificadas as linhas às quais devem ser concedidas maior prioridade e aquelas cuja finalidade deverá ser o impulsionamento das primeiras.

A análise das linhas de produto consiste no levantamento e na comparação de fatores de mercado, vendas e custos, a fim de desenvolver metas estratégicas de sucesso para as linhas de produto da empresa. Esses fatores são encontrados no plano estratégico da empresa e em dados mercadológicos que contenham participação e crescimento do mercado. Embora as informações sobre o mercado possam ser extraídas de estudos setoriais realizados por sindicatos de classe e patronais, pesquisas de mercado que enfoquem linhas de produtos específicas encomendadas para investigar questões determinadas trarão maior probabilidade de sucesso na estratégia de produto a ser traçada pela empresa. A análise dos elementos supramencionados apontará as oportunidades e as ameaças mercadológicas da empresa e resultará em diretrizes e em uma análise comparativa das linhas de produto que servirão de base para as outras atividades dessa fase.

2.5.3 Portfólio de Produtos

Enquanto a fase de Estratégia ocupa-se da definição das linhas de produtos da empresa, esta fase toma uma única linha para, então, desenvolver o portfólio relacionado a ela. Através da análise dos resultados de uma determinada linha de produtos, esta fase propõe projetos de desenvolvimento que auxiliem no alinhamento do portfólio atual às decisões da fase de Estratégia de Produtos.

Através desta fase, são identificados os produtos potenciais que se adequem às diretrizes estabelecidas para a linha de produtos, seguido do levantamento de informações aos produtos concorrentes. De posse destas informações, analisa-se o portfólio atual da empresa para, então, redefini-lo e priorizá-lo.

2.5.4 Especificar o Produto

Através desta fase, levantam-se, com base nos requisitos de clientes, nos requisitos normativos do produto e em critérios de projeto escolhidos, as especificações do produto. É necessário realizar o levantamento neste ponto uma vez que servirá de base para definições de escopo, prazo e custos a serem realizadas na próxima fase.

Em um primeiro momento, identificam-se as necessidades dos clientes, analisando aquelas que são relativas ao produto. Através de pesquisa bibliográfica, identificam-se também os requisitos normativos. Com base nas necessidades, desenvolvem-se as métricas de qualidade do produto, que guiarão diversas atividades dos engenheiros em outras fases do PDP.

A equipe de projeto deve, então, definir em que nível deseja alcançar para cada uma das métricas de qualidade. Esta decisão deve basear-se nas especificações de produtos concorrentes e nas capacidades de manufatura da organização.

2.5.5 Planejar o Projeto

Com base nas especificações desenvolvidas, deve-se, então, dar seguimento com o plano de projeto para que a alta direção possa decidir as estratégias de alocação de recursos e o restante do PDP possa ser planejado, com suas estruturas de trabalho e cronogramas. Inicia-se a fase com o escopo do projeto, presente na declaração de trabalho, a partir do qual elabora-se a *work breakdown structure* (WBS) do projeto. A partir da WBS desenvolve-se o cronograma do projeto, o qual é o documento chave da gestão de projeto. O plano de projeto é essencial para definir e estruturar a alocação de recursos. Outra atividade crucial desta fase é o desenvolvimento da gestão de riscos a ser seguida pela equipe de projeto. Por fim, consolida-se o plano de projeto que é, então, submetido para aprovação da alta direção.

Apesar de ser desenvolvida plenamente somente no decorrer das fases seguintes, deve ser também iniciada a atividade de aquisição da infraestrutura necessária para o Processo de Desenvolvimento do Produto em questão.

2.5.6 Concepção do Produto

A fase de Concepção do Produto consiste na invenção ou proposição das soluções técnicas que permitirão ao produto cumprir o que foi definido na fase de Especificações. Por, possivelmente, envolver tecnologias ainda não disponíveis na companhia, a fase inicia-se com a aquisição dos recursos necessários. A partir daí, desenvolve-se uma primeira versão da árvore funcional do produto que servirá de guia para as próximas atividades e fases do PDP.

A equipe de engenharia deve, então, identificar alternativas de concepção para o produto, que serão submetidas a um processo de seleção. A partir daí, a concepção escolhida deverá ser modelada e sistematizada para que seja possível projetar e construir o primeiro protótipo do produto. Ao final da fase, as especificações do produto devem ser refinadas para refletir os resultados alcançados pelo protótipo aprovado.

2.5.7 Planejamento Técnico

Com o objetivo de planejar e organizar as demais fases de desenvolvimento do produto, esta fase é responsável por consolidar a arquitetura do produto. A partir deste ponto, especificam-se as interfaces entre as partes e componentes, bem como a especificação das variáveis de controle do produto. Antes de dar seguimento, devem-se revisar também as normas aplicáveis ao produto, uma vez que a concepção escolhida pode apresentar regulamentação diversa da prevista inicialmente.

De posse destas informações é possível, então, estruturar o produto segundo sua árvore. A seguir, devem ser identificados os tópicos da árvore que, por qualquer motivação, devam ser subcontratados. O restante deve ser, então, planejado e distribuído entre as diversas áreas técnicas da empresa.

2.5.8 Projeto do Produto

No decorrer desta fase, cada área técnica desenvolverá suas respectivas soluções para as funções primárias do produto, tomando cada parte individualmente. De forma a aplicar o conceito de integração horizontal explanado no desenvolvimento do tópico de mecatrônica, as atividades de projeto de cada área da engenharia (básica, sistema de controle, sistema de comunicação, eletrônica, microprocessamento e *software* de alto nível) devem estar inter-relacionadas, bem como a integração das novas tecnologias. Deve-se, também, acompanhar as parcerias de co-desenvolvimento para as porções do produto que foram subcontratadas. Esta etapa de projeto está atrelada à aquisição de produtos de prateleira para a confecção e teste de protótipos ALFA em um ciclo iterativo, até que os resultados desejados sejam alcançados.

2.5.9 Otimização do Projeto

Esta fase constitui a primeira porção do MRM que será aplicada no contexto deste trabalho. Ela apresenta três objetivos distintos: projetar funções secundárias, analisar o produto para fins de conformidade e qualidade e sistematizar a estrutura de aquisição e manufatura do produto, que consiste em um dos principais focos da intervenção.

O primeiro bloco de atividades é responsável pelo projeto do suporte, da interface, do sistema de alimentação e da carenagem do produto. A seguir, no bloco de análises, são vistos os riscos com relação às especificações do produto, bem como a predição de confiabilidade, a relação sinal-ruído e método dos elementos finitos. Iniciam-se, então, as atividades relacionadas ao acompanhamento dos fornecedores que culmina no desenvolvimento e teste do protótipo BETA e do *software* desenvolvido.

Após o sucesso destes testes, é detalhada a análise *make or buy*, antes de realizar a sistematização da manufatura e o detalhamento do modelo de custos e da documentação de aquisição. Em paralelo, é refinada a posição de mercado do produto.

2.5.10 Homologação do Produto

Uma vez que a configuração do produto foi consolidada na fase anterior, inicia-se esta fase com o projeto da embalagem. A seguir a sistematização da produção elaborada na fase de Otimização do Projeto deve ser detalhada e revisada em documentações específicas para a configuração e instalação do *software*, fabricação e montagem mecânica e montagem eletrônica.

A partir daí, aplicam-se metodologias como o *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA) para a redução dos custos de montagem, bem como a análise dos modos de falha de processo para a redução em número e gravidade das falhas decorrentes dos procedimentos de produção.

Em seguida, refina-se a cadeia de suprimentos da organização e homologam-se os fornecedores, seguindo para a preparação do sistema produtivo da empresa, já em seus moldes finais. Uma vez pronto, realiza-se a produção e teste do protótipo de homologação.

2.5.11 Validação do Produto

A fase de validação é responsável, principalmente, pelas etapas formais de registro e conclusão do projeto do produto. A fase é iniciada com a definição estratégica de mercado do produto que, ao ser reunida aos requisitos normativos, possibilita a análise de riscos do produto quanto às normas. Esta análise, por sua vez, motiva as modificações necessárias no produto para adequação normativa.

A seguir, o produto deve ser documentado segundo as normas aplicáveis, enquanto é realizada a aquisição, fabricação, montagem e instalação de todos os recursos necessários para finalizar o sistema produtivo em escala comercial. Uma vez pronto, fabrica-se e testa-se o lote piloto.

Para a finalização da fase e, conseqüentemente, da macro fase de desenvolvimento, o projeto é verificado e validado, possibilitando que o produto seja submetido aos testes aplicáveis de certificação, segundo cada norma específica. Ao longo desta fase, devem ser observadas as especificidades apresentadas pela legislação de cada produto.

2.5.12 Lançamento do Produto

Esta fase consiste na aplicação das decisões estratégicas de lançamento decorrentes do planejamento estratégico desenvolvido na primeira fase do MRM, assim como reforçadas na fase de portfólio e nas fases seguintes, conforme decisões nos *gates*. As áreas de concentração envolvidas nesta fase são mais ligadas à gestão, como *marketing*, logística, administração da produção e gestão de projetos.

A fase inicia-se com a execução conjunta das atividades de desenvolvimento do plano de *marketing*, planejamento da produção comercial, qualificação da assistência técnica, desenvolvimento da logística do produto e registro do produto junto aos órgãos oficiais competentes.

A seguir, consolida-se a configuração comercial do produto, bem como o produto no sistema de gestão da empresa. Finalmente, o produto é lançado no mercado, ao que se seguem as atividades de monitoramento do *ramp up* da produção, até que o volume de produção atinja os valores estabelecidos.

2.5.13 Monitoramento do Produto

Esta fase, que acompanha a produção até a descontinuação do produto, é responsável por gerenciar o desempenho do produto e da produção, propondo as devidas melhorias quando aplicáveis.

Ela se inicia com a realização, em paralelo, das atividades de monitoramento do desempenho de fabricação e montagem e de avaliação do desempenho mercadológico do produto. A partir daí, devem ser exploradas alternativas de mudanças no produto que são conectadas em *feedback* às fases de estratégia e portfólio de produto (no caso de grandes mudanças) e às fases de projeto e de homologação (caso sejam pequenas). Caso oportunidades de melhoria de produto ou de produção sejam identificadas, elas deverão ser analisadas segundo o custo/benefício decorrentes da sua implementação.

Uma vez aprovadas, as pequenas mudanças deverão ser gerenciadas e, uma vez concluídas, incorporadas nos arquivos de projeto e de produto.

2.5.14 Aplicações do MRM

A literatura já apresenta alguns casos de sucesso da aplicação do MRM em situações reais:

- BARBALHO (*op. cit.*) valida o MRM na própria tese em que é apresentado. Nesta obra, o autor documenta a aplicação de todas as fases do MRM em quatro

projetos de alto grau de complexidade: o retinógrafo digital ADS, o microscópio-CAN, o fotocoagulador i-MP e a câmera multiespectral.

- PAZELLI (2007) também apresenta um caso de sucesso na aplicação das fases de Especificações, Planejamento do Projeto, Concepção, Planejamento Técnico e Projeto de Produto no desenvolvimento de um sistema *Ground Support Equipment* (GSE), um sistema que também apresenta alta complexidade e é utilizado para a realização de testes de equipamentos de satélites.
- RÊGO e DAMASCENO (*op. cit.*) aplica as fases de Especificações, Planejamento do Projeto e Concepção no desenvolvimento de um protótipo de dispensadora automática de preservativos, obtendo, também, bons resultados.

CAPÍTULO 3 - APLICAÇÃO DO MODELO DE REFERÊNCIA MECATRÔNICO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Esta seção apresenta de forma sucinta a descrição da empresa em que o trabalho foi desenvolvido, bem como do produto estudado.

3.1.1 A Empresa

A WP Inovações Tecnológicas é uma empresa, fundada e sediada em Brasília, que atua no ramo de Sistemas de Controle Automático de Acesso desde 1995. Seu principal produto, o sistema de controle de estacionamentos, está presente em mais de 80 pontos em Brasília, Belo Horizonte e Goiânia, contando entre seus clientes grandes concessionárias de estacionamento, como AutoPark, e One Parking.

Apesar de tanto tempo no mercado, a empresa ainda é de pequeno porte, porém se encontra em plena expansão, com perspectiva a médio prazo de abrir escritórios em Goiânia e Belo Horizonte, locais onde já possui alguns clientes.

Sua descrição no site pode ser vista a seguir (<http://www.wp.com.br/sobre.html>):

“Criada em 1995, a WP Inovações Tecnológicas nasceu orientada para atender ao mercado de controle de acesso, especializando-se na automação de estacionamentos. Num esforço de software e hardware, sua engenharia integrou sistemas de alta qualidade, solidificando o seu nome no mercado com soluções inovadoras, robustas e funcionais.

Para tanto, a Empresa conta com uma equipe técnica, com larga experiência no seguimento de automação, liderada pelo engenheiro Washington Póvoa que, juntamente com o corpo técnico, desenvolve programas e equipamentos capazes de atender as necessidades específicas de cada cliente.”

3.1.2 O Produto

O portfólio da empresa é bastante diversificado, contando com sistemas de controle de acesso de pessoas (sistemas com catracas) e acessórios de suporte no controle de estacionamentos, como semáforos, contadores de vagas e *displays*. No entanto, o sistema composto por quiosques de entrada e saída e cancelas articuladas é seu principal produto e constitui o foco do desenvolvimento deste trabalho.

Este sistema é constituído de quatro partes principais:

- Quiosque de Entrada;
- Quiosque de Saída;
- Duas Cancelas; e
- Servidor/Software de Controle (WESTAC).

O quiosque de entrada é o ponto de primeiro contato do usuário final com o sistema. Ao detectar a aproximação, através de um sensor indutivo, de um veículo do sistema, a máquina reproduz um arquivo de áudio incitando-o a pressionar o botão ou apresentar a credencial (cartão RFID) no local indicado.

Após a autorização da credencial pelo WESTAC ou ao retirar o *ticket* impresso do bocal, uma outra gravação convida o cliente a prosseguir para o interior do estacionamento, levantando a barreira da cancela. Uma vez detectada a passagem do veículo, a cancela volta ao seu estado original baixo.

As figuras a seguir exibem o quiosque de entrada (

Figura 3.1) e a cancela com a barreira baixa (

Figura 3.2) e alta (

Figura 3.3)

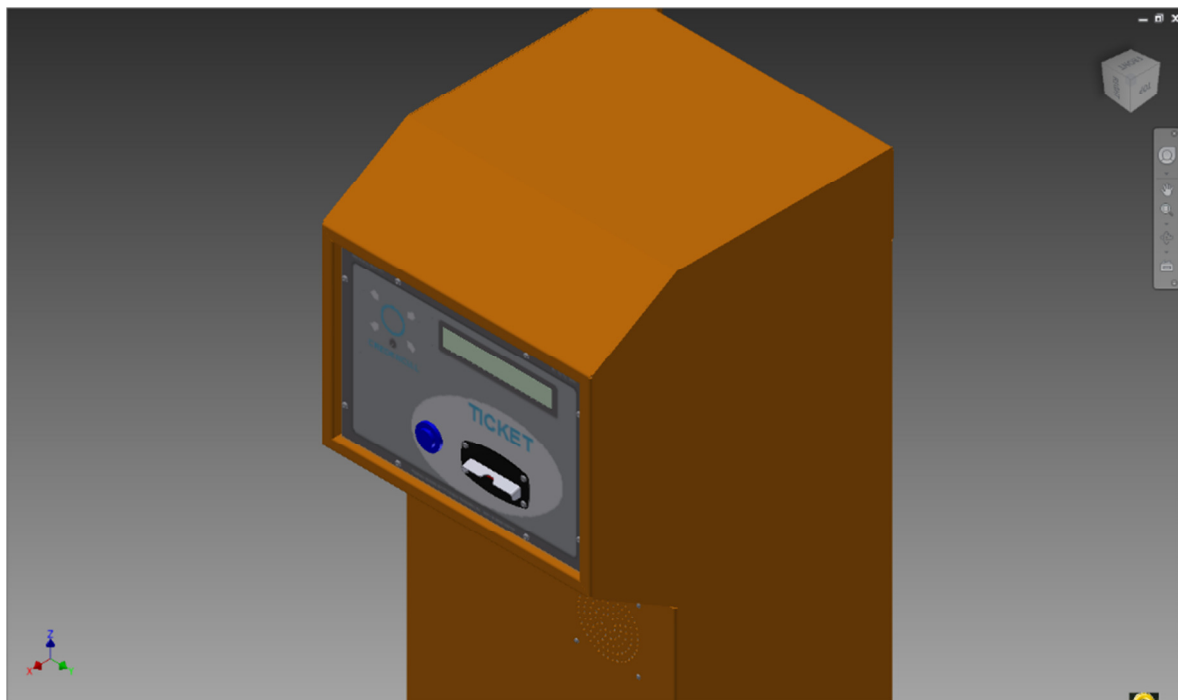


Figura 3.1. Imagem do Quiosque de Entrada

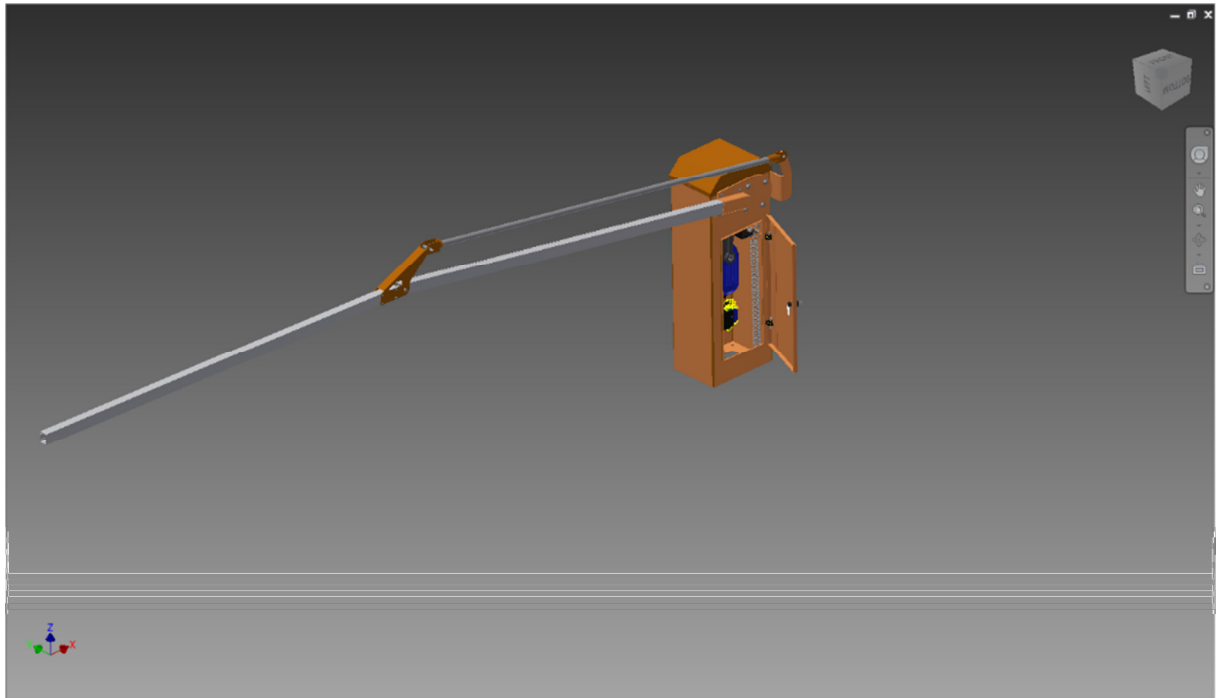


Figura 3.2. Imagem da Cancela com Barreira Abaixada

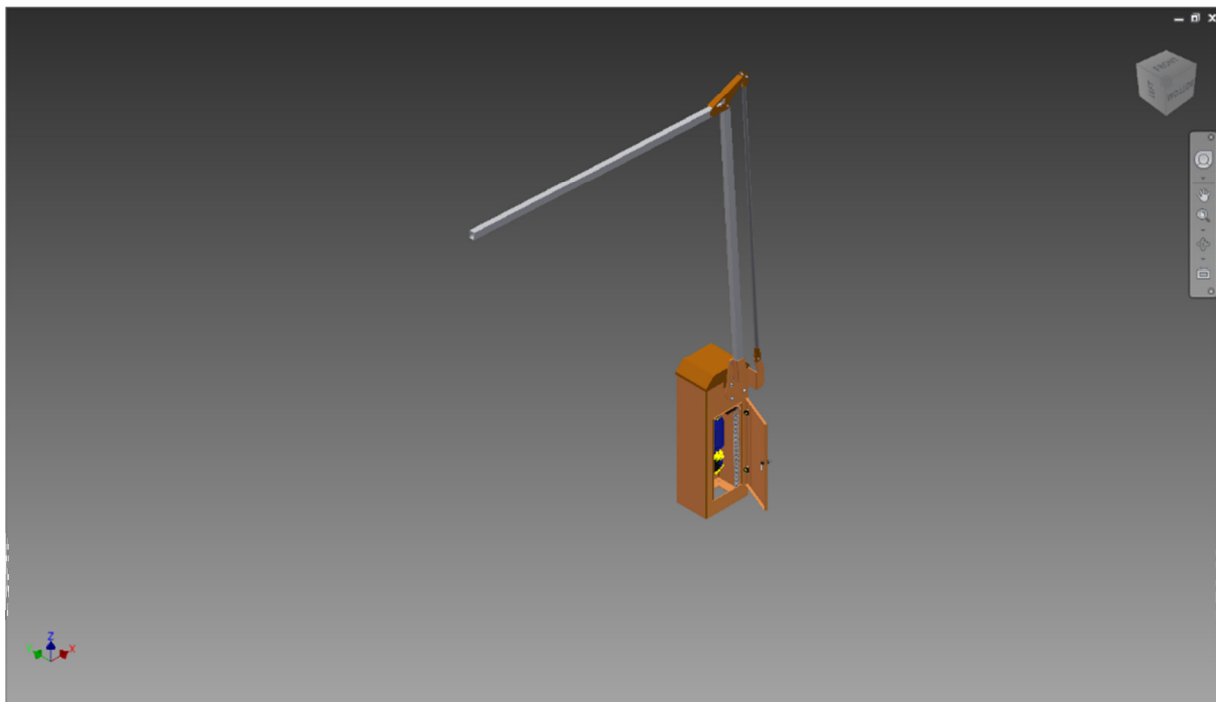


Figura 3.3. Imagem da Cancela com Barreira Levantada

Ao final de sua estadia no estabelecimento, o cliente portador de *ticket* deverá se encaminhar para uma estação de pagamento para sua liberação. A

Figura 3.4 mostra a tela do WESTAC para pagamento de *tickets* do ponto de vista do operador.

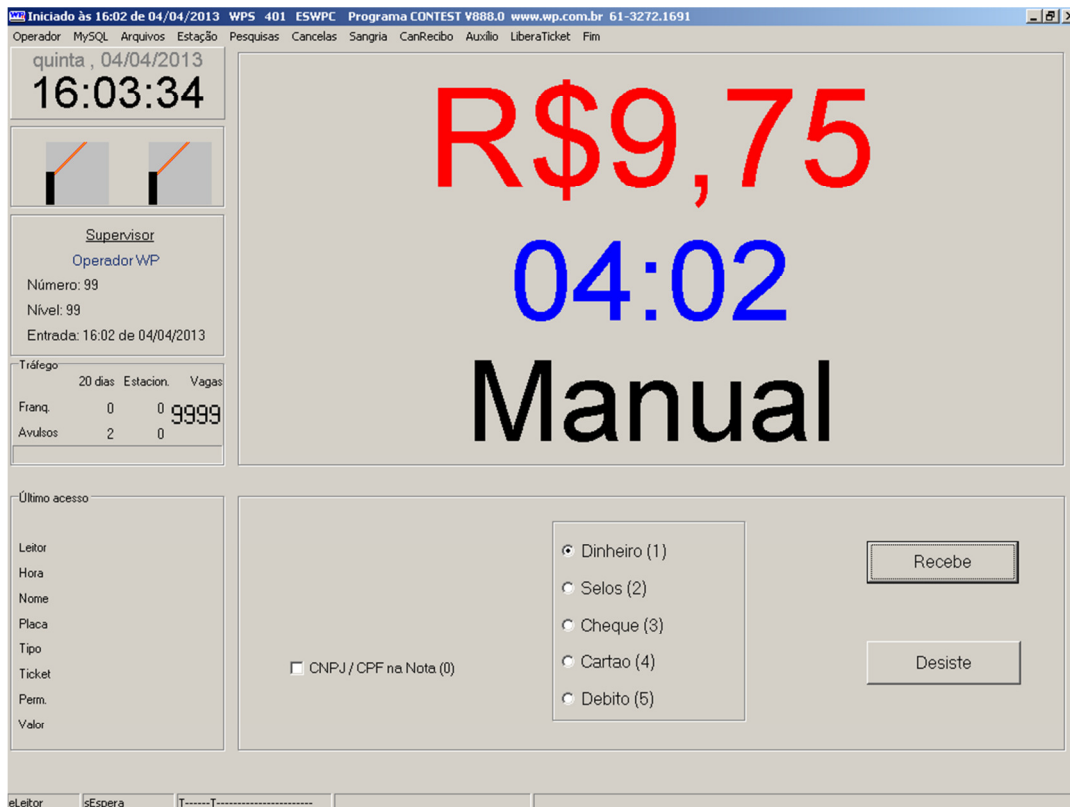


Figura 3.4. Tela de Pagamento de *Tickets* do programa WESTAC

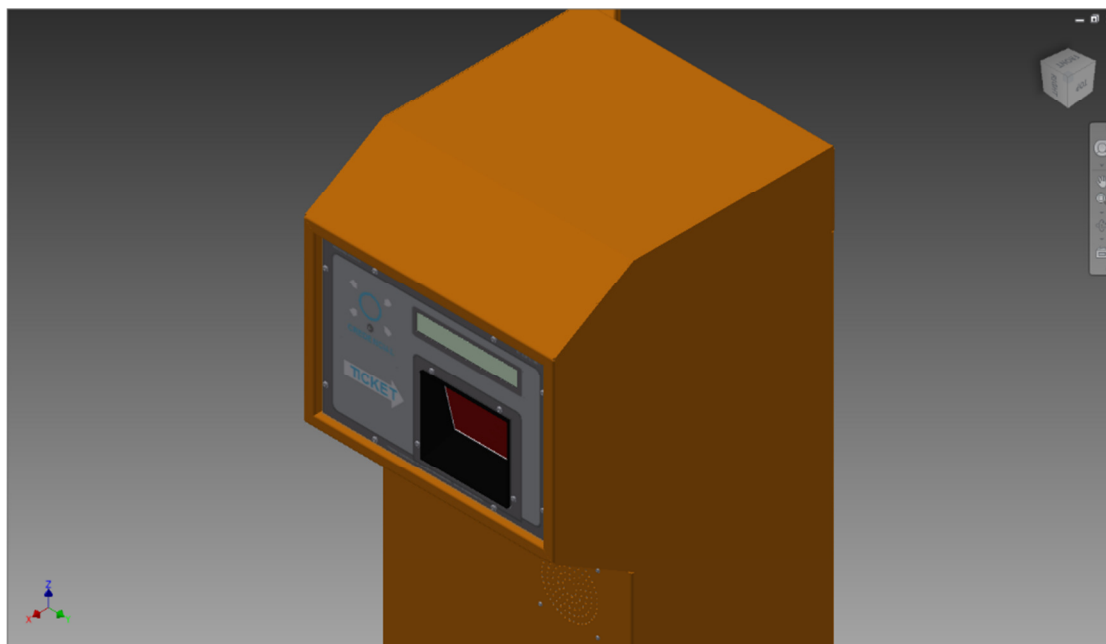


Figura 3.5. Imagem do Quiosque de Saída

Finalmente, o cliente dirige-se com seu veículo ao quiosque de saída (

Figura 3.5) que, detectando sua presença, solicita a apresentação do código de barras ao seu leitor ou a apresentação da credencial ao leitor de RFID. Mediante verificação frente

ao banco de dados, o usuário é liberado para sair do sistema, recebendo uma mensagem de despedida do quiosque.

3.2 APLICAÇÃO DE MELHORIAS RELACIONADAS À FASE DE OTIMIZAÇÃO DO MRM

A fase de otimização é a primeira fase do MRM em que as atividades da área de processos de projeto da produção e suprimentos, principal área deste trabalho, entram em foco, sistematizando a estrutura do produto.

BARBALHO (*op. cit.*) sugere algumas formas diversas de aplicação do modelo sendo, uma delas, a aplicação por áreas de processos, permitindo observar quais atividades se encaixam melhor para cada tipo de problema. Tal estrutura foi escolhida neste projeto por possibilitar um enfoque mais específico nas necessidades de melhoria em capacidade de processos.

Além de tratar do projeto das funções secundárias do produto, esta fase otimiza algumas características que geralmente são esperadas de um produto mecatrônico, com foco na melhoria de qualidade. A Figura 3.6 apresenta o fluxo de atividades da fase.

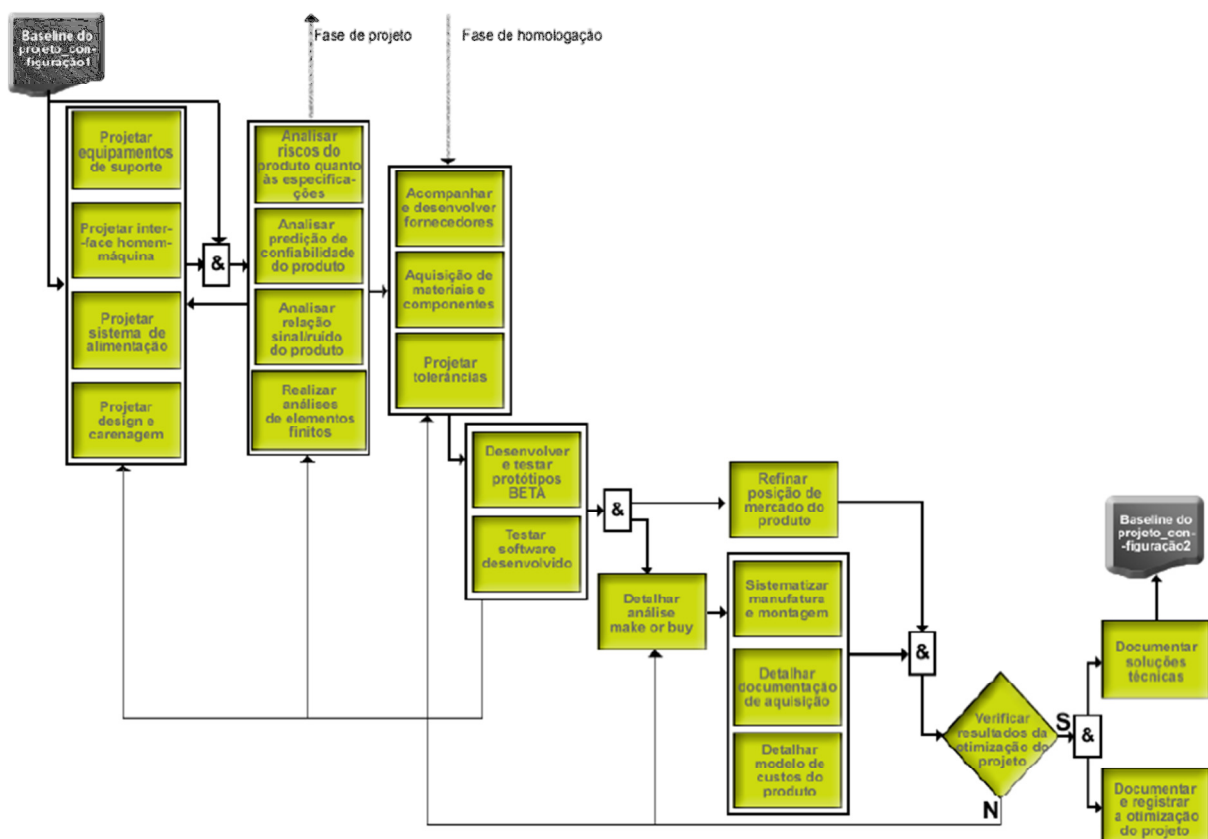


Figura 3.6. Fluxo de Atividades da Fase de Otimização (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 147 – Apêndice A)

A seguir será apresentada cada atividade em detalhe, assim como sua aplicação no caso do sistema de controle de acessos aqui apresentado.

3.2.1 Projetar Equipamentos de Suporte

A Figura 3.7 mostra o fluxo de tarefas da atividade.



Figura 3.7. Etapas para Projetar Equipamentos de Suporte (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 149 – Apêndice A)

O primeiro conjunto de atividades, o qual compreende as primeiras quatro aqui descritas, é responsável pelo desenvolvimento das características secundárias do produto.

Esta primeira atividade de projeção de equipamentos de suporte, no entanto, não se aplica ao presente caso de estudo por se tratar, basicamente, do projeto de mesas, racks, bases de sustentação e mecanismos similares necessários a uma enorme gama de produtos, mas não ao produto em questão.

3.2.2 Projetar Interface Homem-Máquina

A Figura 3.8 expõe as etapas para a execução da atividade.

A interface com o usuário é uma característica secundária extremamente importante para a maioria dos produtos mecatrônicos. A interface do SCA em questão com os clientes finais está presente em três pontos distintos. Num primeiro momento o usuário interage com o quiosque de entrada (Figura 3.1) do estacionamento, apresentando sua credencial ao sensor de RFID ou então apertando o botão para a emissão de um ticket de visitante.

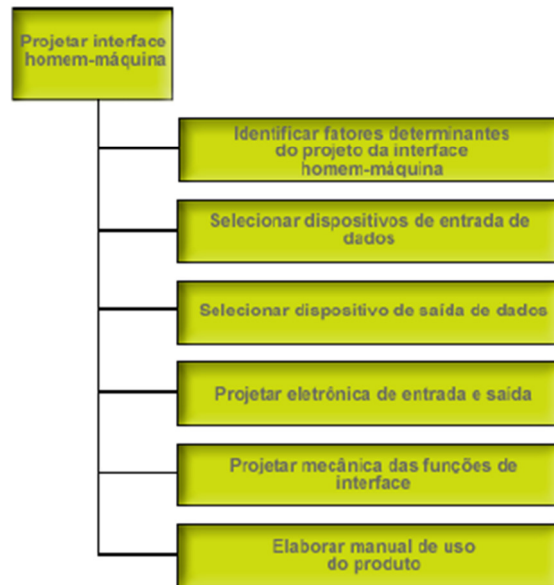


Figura 3.8. Etapas para Projetar Interface Homem-Máquina (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 151 – Apêndice A)

O mesmo usuário também interagirá, ao final de sua estadia, com o quiosque de saída (Figura 3.5) do estacionamento, novamente apresentando sua credencial ou o ticket obtido anteriormente, já pago ou liberado, ao leitor de código de barras. Ambos os quiosques apresentam, também, um sistema de som para uma interação mais humana, recebendo-o, orientando-o acerca da sua ação esperada e despedindo-se, bem como *buzzers* para identificar o input por parte do usuário. Há ainda pequenos displays de LCD fornecendo informações similares.

Há ainda outra categoria de usuário que pode, ou não, se envolver diretamente no processo normal de utilização do sistema: o operador do estacionamento. Através de um computador em que esteja rodando o software de monitoramento, tal usuário poderá consultar o banco de dados para observar o histórico de entradas e saídas, liberar tickets de visitantes, realizar o pagamento de tickets e, dependendo da versão do software instalada, controlar diretamente as cancelas.

O software utilizado pela empresa chama-se WESTAC e pode funcionar em dois modos diferentes, dependendo de como o *log in* é realizado no sistema: cobrança (Figura 3.4) e controle. Em geral, em um determinado sistema instalado, há uma máquina conectada em modo de controle que realiza a interface entre os controladores instalados nos quiosques e o banco de dados do sistema (MySQL). Já o modo de cobrança pode ser acessado por diversos computadores simultaneamente, algumas vezes na ordem das dezenas, para realizar a cobrança e autorização de tickets mediante pagamento.

Há ainda um último módulo de software, chamado gerente. Através dele, o gerente do estacionamento pode cadastrar credenciais RFID (Figura 3.9), extrair relatórios de

atividades (Figura 3.10) e alterar informações específicas, tais como horários permitidos de acesso para veículos específicos e a tabela de preços a ser utilizada pelos WESTAC em modo de cobrança.

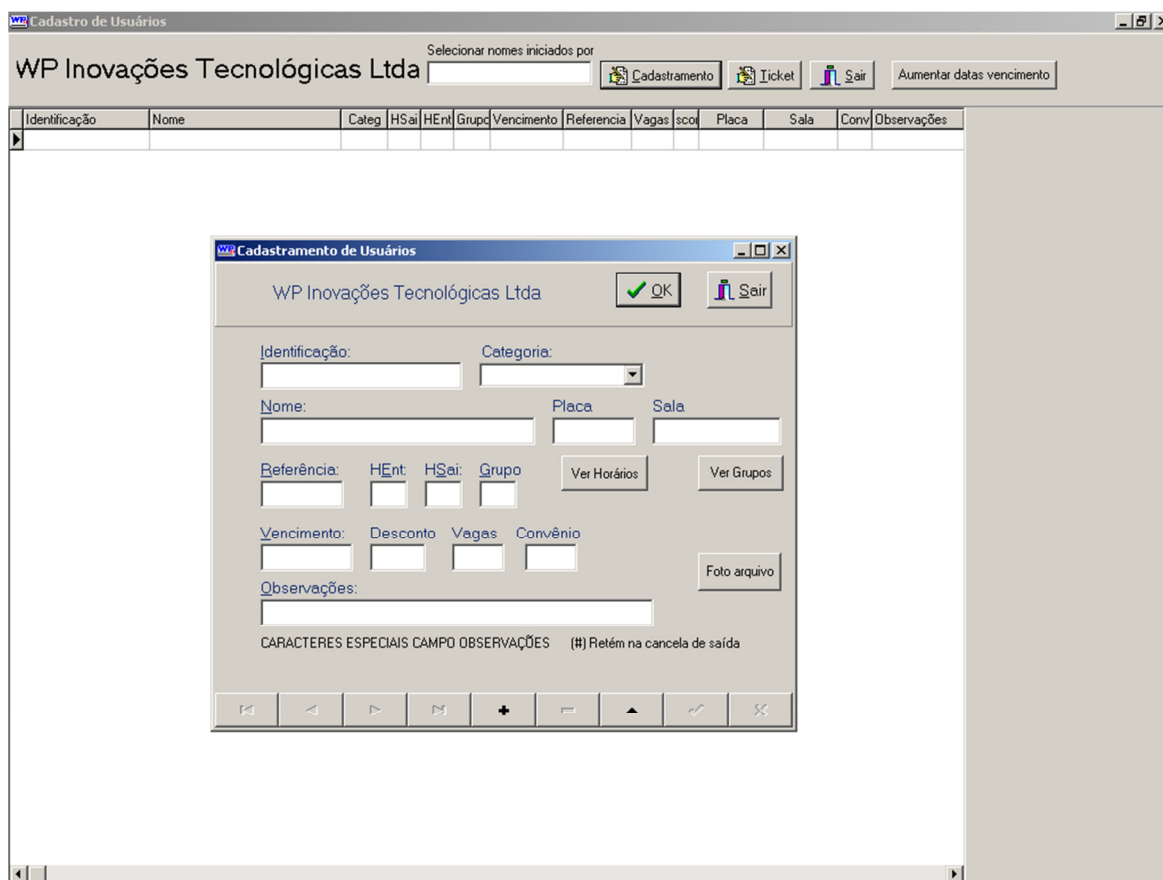


Figura 3.9. Tela de Cadastro de Usuários do Sistema Gerente

As interfaces presentes nos quiosques são simples o suficiente para que se possa considerar que não haverá risco de erro por parte do usuário a não ser que, ao sair, o motorista apresente o ticket na posição errada. Entretanto, não há nenhuma solução preventiva capaz de solucionar este risco sem altos gastos.

Já a interface por computador conta com os meios tradicionais de interface: monitor, teclado e mouse. A utilização dos programas é simples, mas necessita de um determinado grau de familiarização. No entanto, dado que há um treinamento dos funcionários antes que o sistema entre em funcionamento, este grau levemente maior de complexidade não chega a apresentar risco de mau funcionamento do SCA.

Lista de Ocorrências

Emitido por Operador WP em 04/04/2013 às 16:05:32

Lista de Ocorrências Todas de 01/01/2013 a 04/04/2013 (ordem Dia/Hora)

Data	Est	Oper	Placa	Ticket	Cat	Descrição	Perman	(R\$)	Sel
15/03/13 18:36:30	100	99			SI	Reinício V888.0 após 0h:0m			
15/03/13 18:36:55	100	99			SF	Finalização do programa			
15/03/13 18:37:15	100	99			OE	Operador WP			
15/03/13 18:37:15	100	99			SI	Reinício V888.0 após 0h:0m			
15/03/13 18:38:02	100	99			SF	Finalização do programa			
15/03/13 18:38:17	100	99			OE	Operador WP			
15/03/13 18:38:17	100	99			SI	Reinício V888.0 após 0h:0m			
15/03/13 18:39:23	100	99			SF	Finalização do programa			
15/03/13 18:39:35	100	99			OE	Operador WP			
15/03/13 18:39:35	100	99			SI	Reinício V888.0 após 0h:0m			
15/03/13 18:40:03	100	99			OE	Operador WP			
15/03/13 18:40:03	100	99			SI	Reinício V888.0 após 0h:0m			
15/03/13 18:41:00	100	99			OE	Operador WP			
15/03/13 18:41:00	100	99			SI	Reinício V888.0 após 0h:0m			
15/03/13 18:47:36	100	99			OE	Operador WP			
15/03/13 18:47:36	100	99			SI	Reinício V888.0 após 0h:6m			
15/03/13 18:48:04	100	99			OE	Operador WP			
15/03/13 18:48:04	100	99			SI	Reinício V888.0 após 0h:0m			
15/03/13 18:53:35	100	99			SF	Finalização do programa			
15/03/13 18:54:03	100	99			OE	Operador WP			
15/03/13 18:54:04	100	99			SI	Reinício V888.0 após 0h:1m			
15/03/13 18:54:27	100	99			SF	Finalização do programa			
15/03/13 18:54:38	100	99			OE	Operador WP			
15/03/13 18:54:39	100	99			SI	Reinício V888.0 após 0h:0m			
Ent 15/03/13 18:54:56	132	99	ASJFDKA		1 PA				
Sci 15/03/13 18:55:01	132	99	ASJFDKA		1 PA	(DN)	00h:00m	0,05	

Page 110 of 110

Figura 3.10. Tela de Emissão de Relatórios do Sistema Gerente

3.2.3 Projeto do Sistema de Alimentação

A Figura 3.11 guia as tarefas executadas nesta atividade.

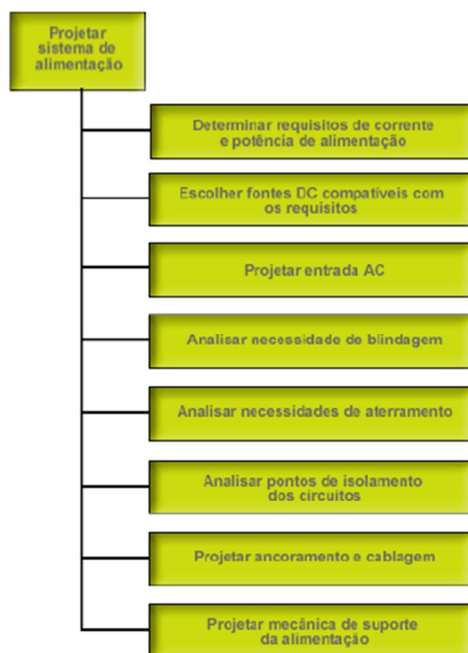


Figura 3.11. Etapas para Projetar Sistema de Alimentação (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 154 – Apêndice A)

Esta atividade é responsável por definir inteiramente a interface de transferência de energia entre a rede e o sistema, bem como todo o sistema de apoio aos componentes eletrônicos. Todos os aspectos como dissipadores, reguladores de tensão, circuitos de proteção contra transientes, suportes de cabos/placas e, inclusive, o próprio cabeamento deverão ser especificados.

Ao longo do tempo em que o produto foi projetado, os requisitos relacionados diretamente com o projeto das placas e seus circuitos foram todos previamente endereçados. Ao longo das nove placas de circuito impresso do sistema, podem ser encontrados todos os componentes de proteção indicados no MRM, como reguladores de tensão, fusíveis, supressores de transiente entre outros.

Seguindo as etapas descritas na atividade, são utilizadas nos quiosques uma fonte de 12V e 2A, para alimentação dos circuitos, e uma fonte de 24V e 2A, para as impressoras presentes nos quiosques de entrada. Para as cancelas, os transformadores e reguladores de tensão estão presentes nos próprios circuitos impressos, além de um supressor de transiente instalado em sua base. O papel do supressor nos quiosques é desempenhado por no-breaks instalados em seu interior.

A partir daí segue o projeto da entrada AC. A única parte do sistema que recebe tensão AC diretamente, com exceção das fontes DC, são as placas WP29, contidas nas cancelas. Para evitar que possíveis irregularidades no fornecimento de energia que não sejam eliminados pelos circuitos de proteção previstos no sistema interfiram com o funcionamento da placa, são utilizados desacopladores óticos para dar seguimento da tensão AC tratada na placa para o motor que comanda a cancela.

Como a tensão e a frequência utilizadas pelo motor da cancela são as de rede, não há a necessidade de submeter o sistema à blindagem. No entanto, é realizado aterramento em todas as máquinas, uma vez que, frequentemente, são instaladas em áreas externas sujeitas a intempéries. Todos os pontos vivos, por sua vez, são isolados do ambiente e das outras partes metálicas através de espaguete termo-retráteis.

Durante a elaboração da esquemática do sistema, foi projetado o cabeamento do sistema. Antes do início do trabalho, não havia regularidade na estipulação dos tamanhos dos cabos. Os cabos eram supridos pela equipe de montagem eletrônica seguindo pedidos diretos da equipe de montagem mecânica, a qual requisitava, caso a caso, os comprimentos dos cabos a serem utilizados. Após a intervenção, os cabos foram especificados e nomeados. Uma parte do trabalho de definição do cabeamento desenvolvido está ilustrado na Tabela 3.1. Para a montagem do sistema, é necessário utilizar um par de cada um dos cabos descritos na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Parte da Definição do Cabeamento

Nome	Terminal 1	Terminal 2	Tipo	Tam. [cm]	Conector 1	Conector 2
<i>flat 16</i>	display	wp43	flat 16	12	flat 16	flat 16
<i>flat 40</i>	wp43	wp30	flat 40	50	flat 40	flat 40
<i>rede wp33</i>	wp33	wp30	rede	20	rede	rede
<i>detector</i>	detector	wp30	conjunto 4 fios	30	ilhós simples	molex
<i>terra wp33</i>	wp33	wp30	simples	25	ilhós simples	ilhós simples
<i>energia wp33</i>	wp33	wp30	simples	25	ilhós simples	ilhós simples
<i>terra wp20</i>	wp20	wp30	simples	20	ilhós simples	ilhós simples
<i>alto falante</i>	alto falante	wp30	duplo	40	x	ilhós simples
<i>sp wp20</i>	wp20	wp30	simples	20	ilhós simples	ilhós simples
<i>fonte 12v</i>	fonte 12v	wp30	duplo	25	x	plug
<i>energia impressora</i>	wp20	impressora	duplo	50	ilhós simples	plug
<i>aterramento</i>	gabinete	wp20	simples	50	anel	ilhós simples
<i>energia wp30</i>	no-break	modulo wp30	conjunto 3 fios	80	tomada macho	x

O sistema mecânico de suporte sofreu apenas uma pequena modificação: as placas WP29 vinham sofrendo danificações frequentes devido ao surgimento de formigas que causavam curtos-circuitos entre os terminais dos TRIACs. Para evitar este problema, foram acopladas às caixas dos circuitos tampas de borracha que têm a abertura exata para a passagem dos fios, evitando, assim, a entrada de formigas.

Como as placas dos quiosques trabalham apenas com baixas tensões DC, não há problemas com insetos. Portanto, essas placas são apenas conectadas às chapas metálicas afixadas na estrutura através de espaçadores plásticos.

Para obter melhor organização e evitar que se movam ou se danifiquem, os cabos são afixados em pontos específicos do sistema através de braçadeiras plásticas atreladas a orifícios previamente planejados.

3.2.4 Projetar Design e Carenagem

A Figura 3.12 mostra as etapas para a execução da atividade.

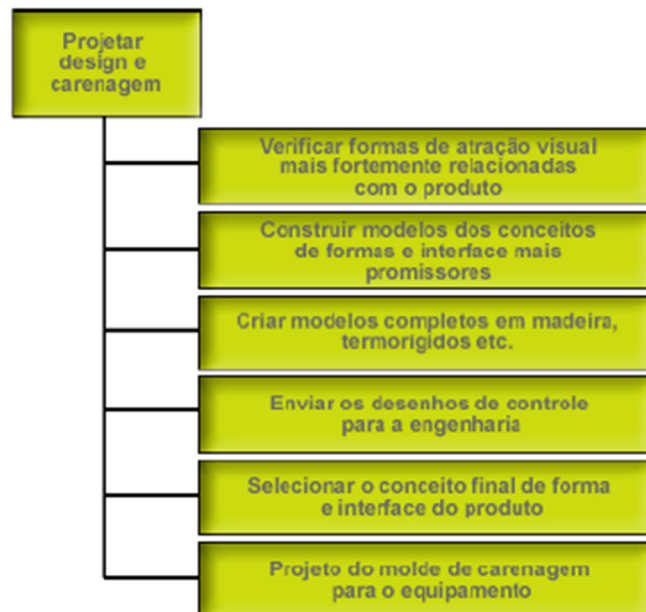


Figura 3.12. Etapas para Projetar Design e Carenagem (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 156 – Apêndice A)

O projeto elaborado nesta atividade serve não somente à estética, mas também à ergonomia. Algumas vezes o design pode até ser uma função primária do produto, podendo, inclusive, alterar especificações de requisitos primários.

No entanto, o presente projeto de carenagem do sistema é bem simples e funcional. Do ponto de vista da ergonomia, o projeto atende às especificações, pois, uma vez que já temos o painel que realiza a interface homem-máquina, basta localizá-lo em uma altura adequada ao acesso do interior dos veículos.

Há alguns anos, a empresa experimentou desenvolver um projeto de cancela em conjunto com uma graduanda em desenho industrial, de modo a conferir uma estética mais diferenciada e agradável. Entretanto, a experiência não foi considerada bem sucedida e foi rejeitada pela alta direção, uma vez que, apesar de cumprir com a proposta apresentada, não foi considerada viável por ser de difícil fabricação e apresentar um custo mais alto de produção.

Pode-se dizer que esta experiência de desenvolvimento de design não foi bem sucedida por falta de uma integração apropriada da designer à equipe de projeto. Desde então, por falta de pessoal qualificado para realizar novas tentativas, foi mantido o projeto inicial de carenagem para o sistema, mantendo-o funcional e o mais compacto possível.

3.2.5 Analisar Riscos do Produto quanto às Especificações

A ordem de execução das tarefas está explicitada na Figura 3.13.

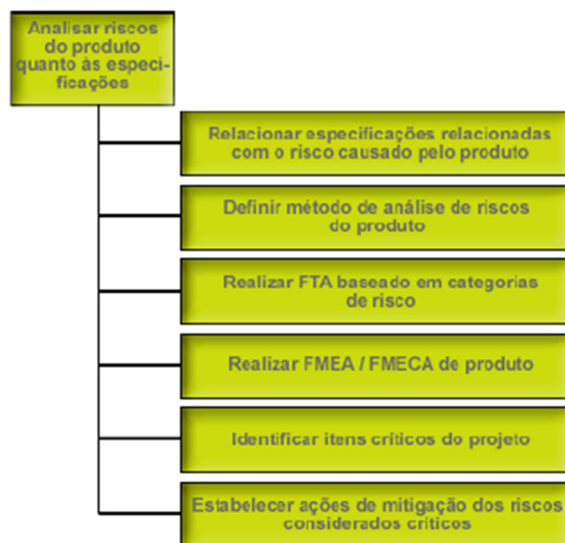


Figura 3.13. Etapas para Analisar Riscos do Produto quanto às Especificações (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 158 – Apêndice A)

O próximo grupo de atividades da fase de otimização, que inclui esta atividade e as três seguintes, pode ser entendido como um processo de melhora da robustez do produto.

O principal objetivo desta atividade é identificar os modos de falha mais críticos, seja por risco ao operador ou por perda de funcionalidades do produto, e minimizá-los.

Esta fase é muito importante para o PDP por ser pré-requisito para certificações de segurança e por potencialmente diminuir de modo significativo a insatisfação dos clientes decorrente das falhas. No presente trabalho, iniciou-se esta fase com a enumeração dos principais sintomas de falha do sistema, apresentados a seguir:

- Cancela trava em uma posição;
- Cancela funciona sem parar;
- Gabinetes dão choques elétricos;
- Quiosque de entrada não emite ticket;
- Quiosque de saída não lê ticket; e
- Cancela atinge pedestre.

Para cada um destes sintomas, aplicou-se o método de *fault tree analysis* (FTA) para identificar os modos de falha específicos de cada sintoma, seguindo as etapas descritas em VESELY (*s.d.*). Na Figura 3.14 é apresentada a árvore de falha para um dos sintomas descritos.

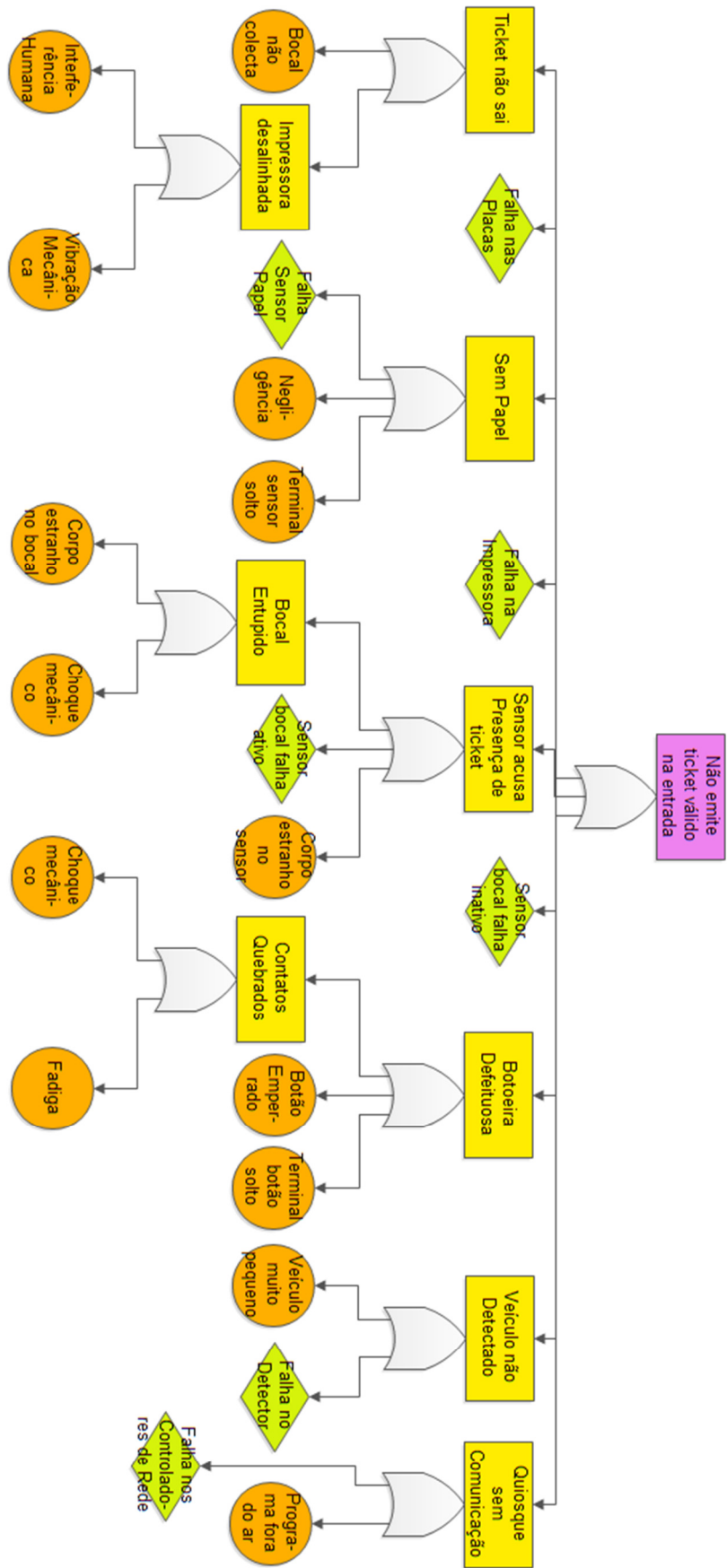


Figura 3.14. FTA de um do Sintoma “Não emite *ticket* válido na entrada”

Em seguida, realiza-se a *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) para cada FTA. Primeiramente, elencam-se os elementos básicos da árvore e decide-se, em uma escala de zero a dez, qual o grau de Severidade, Ocorrência e Detecção de cada modo de falha. Através da multiplicação destes valores são obtidos os *Risk Priority Numbers* (RPN) de cada modo de falha, que indica quais são os que necessitam de mais atenção para mitigação. Este procedimento segue as orientações descritas em http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos_port/pag_conhec/FMEAv2.html.

A Tabela 3.2 descreve a FMEA obtida para a FTA descrita anteriormente.

Tabela 3.2. FMEA relativa ao sintoma “Não emite *ticket* válido na entrada”

Modo de Falha	Severidade	Ocorrência	Detecção	RPN
<i>Falha na Impressora</i>	6	6	4	144
<i>Falha nas Placas</i>	8	2	6	96
<i>Veículo Muito Pequeno</i>	5	9	2	90
<i>Bocal não coleta</i>	6	7	2	84
<i>Interferência Humana</i>	3	4	5	60
<i>Falha nos Controladores de Rede</i>	6	5	2	60
<i>Sensor Bocal Falha Ativo</i>	5	2	5	50
<i>Falha no Detector de Veículos</i>	6	2	3	36
<i>Corpo Estranho no Sensor</i>	3	2	5	30
<i>Terminal do Botão Solto</i>	3	5	2	30
<i>Negligência do Operador</i>	3	8	1	24
<i>Sensor Bocal Falha Inativo</i>	5	2	2	20
<i>Choque Mecânico na Botoeira</i>	5	2	2	20
<i>Programa Fora do Ar</i>	4	5	1	20
<i>Falha no Sensor de Papel</i>	4	2	2	16
<i>Vibração Mecânica</i>	3	1	5	15
<i>Choque Mecânico no Bocal</i>	5	1	3	15
<i>Fadiga na Botoeira</i>	5	1	2	10
<i>Terminal do Sensor Solto</i>	3	1	3	9
<i>Corpo Estranho no Bocal</i>	4	1	1	4
<i>Botão Emperrado</i>	4	1	1	4

Com base em conhecimento prévio, decide-se um valor limite aceitável para os RPN das FMEAs. Tendo em vista que a escala varia de um a mil, os RPN apresentados são relativamente baixos. No entanto, é importante prestar atenção ao menos aos quatro primeiros itens, uma vez que seus valores estão bem acima dos outros obtidos.

Por ser comprada de terceiros, o projeto da impressora não pode ser alterado para mitigação dos modos de falha. Caso este elemento da FTA fosse desenvolvido posteriormente, seria obtida a quebra da guilhotina como principal modo de falha. Uma alternativa possível seria encontrar no mercado impressoras mais robustas. No entanto,

outras impressoras são ainda mais caras e, como este componente já representa uma grande porcentagem do custo da BoM, a direção decidiu por manter a solução atual.

Falhas nas placas, apesar de não ocorrerem com tanta frequência, são preocupantes pelo impacto que causam no sistema, geralmente representando uma falha total e causando grande insatisfação do cliente. No entanto, seu RPN pode ser reduzido se forem adotadas futuramente técnicas de projeto para facilitar o diagnóstico do problema, uma vez que, atualmente, deve-se testar placa a placa para encontrar a(s) defeituosa(s).

O detector de veículos desenvolvido internamente na WP não é capaz de identificar veículos muito pequenos, como motos de baixa cilindrada, por apresentar baixa sensibilidade. A severidade deste modo de falha não pode ser mitigado e, portanto, a única forma de reduzir seu RPN seria diminuir a ocorrência, aumentando a sensibilidade do sensor. Outras alternativas no mercado são muito caras e foram descartadas pela direção da empresa, no entanto estão sendo pesquisados modos para melhorar este sensor.

Finalmente temos o modo de falha “Bocal não coleta” que ocorre quando um *ticket* é impresso, mas por geometria não ideal, não atinge precisamente a fresta do bocal, que deve ser pequena para ser capaz de manter o *ticket* preso no bocal até que o cliente retire-o. Sua alta ocorrência pode ser mitigada através de um redesenho do bocal. Durante a execução deste trabalho o projeto do bocal foi revisto para este fim. A

Figura 3.15 apresenta um comparativo entre o bocal anterior e o novo.

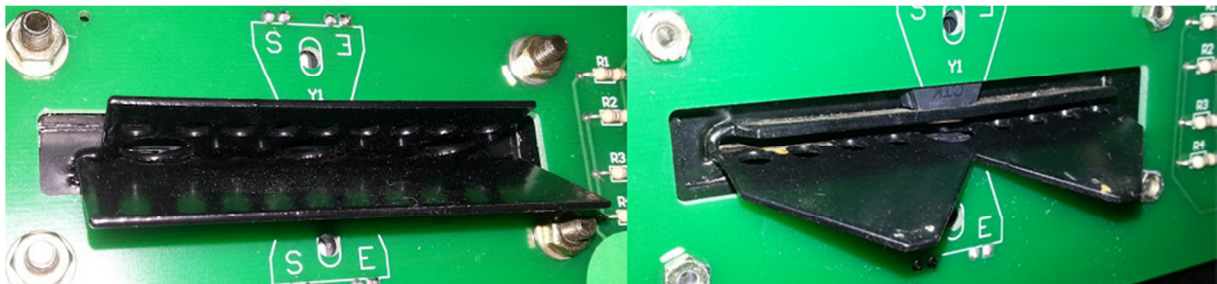


Figura 3.15. Novo bocal (à direita) para redução do modo de falha “bocal não coleta”

Apesar de ainda não haver resultados experimentais para comprovação, estima-se que a ocorrência seja reduzida de alta (valor 7) a pequena (valor 3), efetivamente mitigando o RPN de 84 a 36.

3.2.6 Analisar Predição de Confiabilidade do Produto

A Figura 3.16 ordena as etapas da atividade.



Figura 3.16. Etapas para Analisar Predição de Confiabilidade do Produto (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 161 – Apêndice A)

Enquanto a atividade anterior confronta a ocorrência de falhas de forma qualitativa, esta fase encara o problema através de ferramentas estatísticas quantitativas. Por meio de técnicas experimentais de vida acelerada, obtêm-se as taxas de falha por tempo. Através destas taxas, podem ser calculadas as probabilidades de falha do produto e, em seguida, o tempo médio entre falhas (*Mean Time Between Failures* – MTBF) e o tempo médio para falhar (*Mean Time to Failure* – MTTF), os quais são requisitos de projeto.

Apesar de ser de grande utilidade prática, a análise de confiabilidade demanda uma grande quantidade de tempo e trabalho para ser realizada, podendo até ser desenvolvida como um Trabalho de Graduação à parte. Ela será, portanto, ignorada neste trabalho e deixada como sugestão de continuação.

3.2.7 Analisar Relação Sinal-Ruído

As etapas de execução da atividade podem ser observadas na Figura 3.17.

Esta atividade é voltada a realizar alguns ajustes de projeto ao produto, de forma que, tendo já em mãos um protótipo ALFA já muito similar ao produto final, as respostas do produto durante seu uso real se aproximem ao máximo possível das especificações das métricas do produto elaboradas nas primeiras fases do MRM.

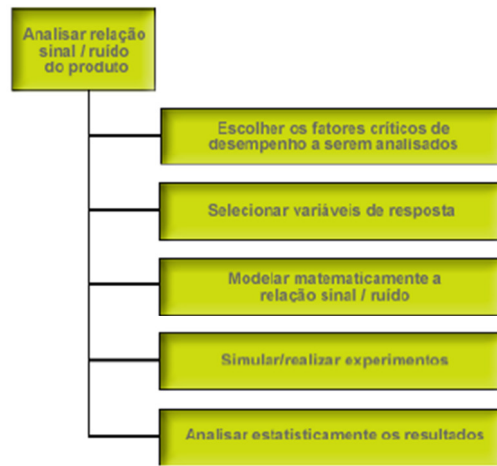


Figura 3.17. Etapas para Analisar Relação Sinal-Ruído (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 163 – Apêndice A)

Como o produto em questão não passou pelas outras fases do MRM, nem sequer por qualquer metodologia estruturada de PDP, não há documentação de requisitos de clientes, especificações, nem nenhum tipo de informação das fases precedentes à de projeto técnico. Portanto esta atividade fica impossibilitada de ser executada apropriadamente.

3.2.8 Realizar Análise por Elementos Finitos

A Figura 3.18 mostra as tarefas da atividade.

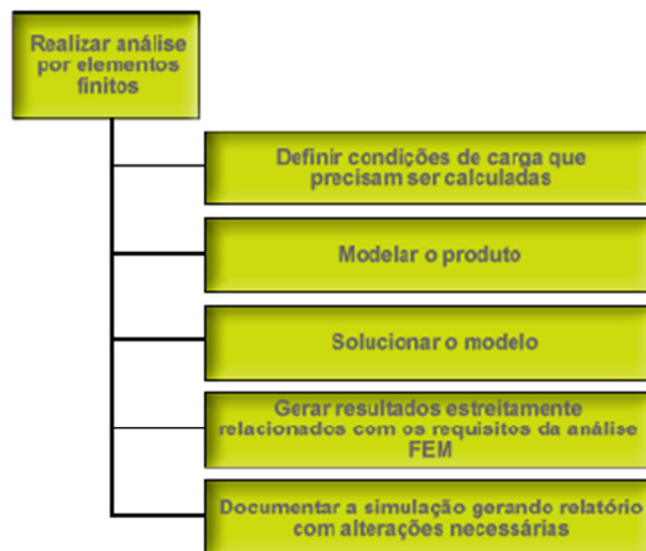


Figura 3.18. Etapas para Realizar Análise por Elementos Finitos (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 166 – Apêndice A)

Esta atividade prevê a realização de análises numéricas para averiguar as situações de cargas, temperaturas e vibrações a que o produto será submetido. Através desta atividade, pode-se obter, por exemplo, qual a carga máxima suportada por um determinado

componente do produto e os modos de vibração de uma peça a partir de sua geometria, de modo a evitar, nos respectivos casos, sobrecarga e ressonância.

A partir dos resultados da análise, pode-se decidir, então, se o atual projeto do produto está de acordo com as condições de uso ou se serão necessárias mudanças para que ele possa se adequar. Deve-se, ainda, ter em mente a necessidade de projetar os limites de carga com um determinado fator de segurança, de acordo com o risco para o usuário, caso aquela estrutura venha a falhar.

No caso do SCA em questão, não há nenhum componente que, sob as condições normais de uso, se aproxime dos seus limites estruturais, dispensando a necessidade da realização da análise por elementos finitos. No quesito vibrações, são utilizadas arruelas de pressão em conjunto com porcas travantes, para evitar que a movimentação natural do motor venha a afrouxar os outros componentes.

3.2.9 Acompanhar e Desenvolver Fornecedores

As tarefas da atividade são mostradas na Figura 3.19.

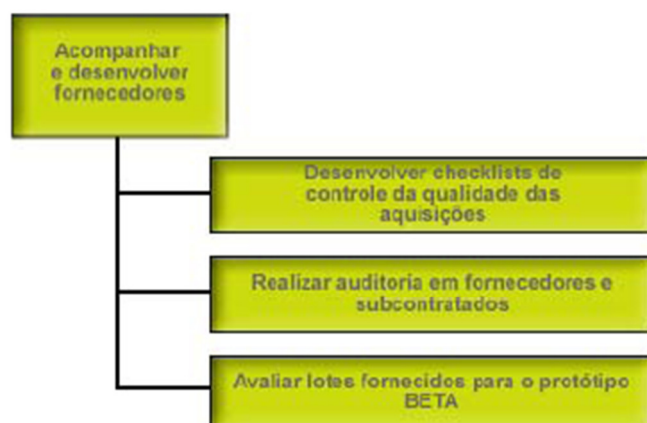


Figura 3.19. Etapas para Acompanhar e Desenvolver Fornecedores (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 168 – Apêndice A)

Esta atividade consiste, principalmente, na elaboração de uma *checklist* a ser utilizada pelo controle de qualidade da empresa no ato do recebimento de partes subcontratadas, com o objetivo de retornar ou corrigir possíveis problemas com tais peças antes que sejam incorporadas no processo de manufatura.

A documentação desta atividade também prevê uma etapa de auditoria nas empresas subcontratadas, a fim de averiguar possíveis requisitos de processo especificados no contrato. No entanto, como os requisitos por parte dos itens subcontratados não são muito restritos, não há necessidade de realização de auditoria.

A seguir, na Tabela 3.3, pode ser encontrada uma simples *checklist* elaborada para o recebimento dos gabinetes dos quiosques. A execução formal deste procedimento, outrora não realizada, é muito importante para o sistema produtivo, uma vez que já ocorreram casos em que uma parte do gabinete não estava soldada ao corpo, sendo esta falha percebida somente nos últimos estágios da montagem.

Tabela 3.3. *Checklist* para Recebimento dos Gabinetes de Quiosques

<i>Item</i>	OK
<i>Integridade da Peça</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Porta com Reforço</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Corte para Fechadura</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Dobradiças Montadas</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Cantoneira esquerda sem o penúltimo parafuso</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Cantoneira direita sem o ultimo parafuso</i>	<input type="checkbox"/>
<i>Parafuso para Aterramento da Carenagem</i>	<input type="checkbox"/>

3.2.10 Aquisição de Materiais e Componentes

A Figura 3.20 ordena as tarefas da atividade.



Figura 3.20. Etapas para Adquirir Materiais e Componentes (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 170 – Apêndice A)

Esta atividade visa a realizar o acompanhamento de fornecedores de materiais e componentes específicos que podem ser sensíveis ao funcionamento adequado do produto. Da mesma forma que ocorre com a atividade anterior, devem ser elaboradas *checklists* que serão utilizadas pelo departamento de controle de qualidade da empresa, para averiguar os materiais e componentes recebidos.

No presente caso de estudo, não há nenhum material ou componente cujas propriedades específicas apresentem variação no recebimento ou cujo mau funcionamento venha a perturbar demasiadamente o fluxo de montagem. Assim, decidiu-se por não realizar esta atividade no presente trabalho.

3.2.11 Projetar Tolerâncias

As etapas seguidas para a execução da atividade podem ser vistas na Figura 3.21.

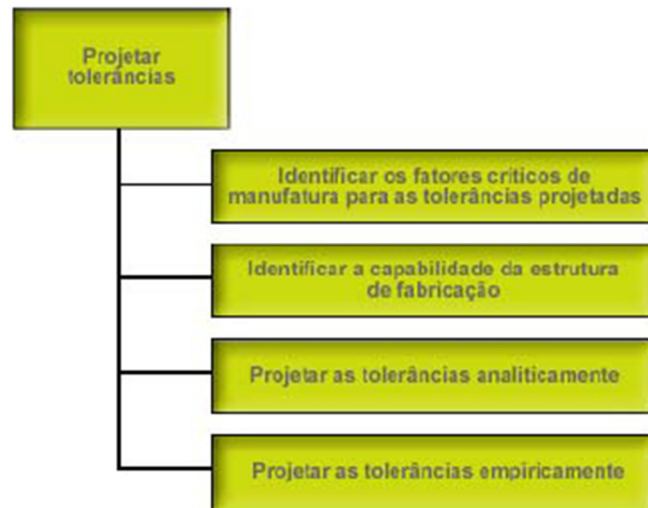


Figura 3.21. Etapas para Projetar Tolerâncias (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 172 – Apêndice A)

Com base nas análises de modos críticos de falha, sinal/ruído e elementos finitos obtidos anteriormente nesta fase, é possível ter uma ideia muito específica sobre quais são as características e dimensões mais críticas para o cumprimento das funções do produto. Para estas características, é necessário projetar as tolerâncias das dimensões para que não haja interferências nem folgas não planejadas.

A partir do grau de capacidade do processo de manufatura da empresa, deve-se estipular o pior caso para cada uma das tolerâncias analisadas e, após transformação em vetores, realizar uma simulação de Monte Carlo de modo a calcular a média e o desvio padrão das variáveis, obtendo, assim, as tolerâncias das interfaces analisadas.

No objeto deste estudo há apenas um local onde há a necessidade de uma atenção especial ao cumprimento das tolerâncias: o mecanismo das cancelas. Os encaixes entre os cubos e as chapas na manivela do redutor e no rotor são realizados por interferência e, portanto, devem ter dimensões precisas para que a montagem seja satisfatória.

No entanto, enquanto as chapas são cortadas a LASER, apresentando altíssima precisão, os cubos são fabricados um a um em uma estrutura de manufatura *job shop*, sendo dimensionados através do próprio encaixe, sem utilizar recursos e ferramentas de

precisão. Ainda assim, decidiu-se por caracterizar tais tolerâncias de modo que, no caso de haver a mudança de fornecedor para um mais especializado, as tolerâncias já estejam especificadas contratualmente.

A seguir são calculadas as tolerâncias de três ajustes por interferência: o primeiro é o ajuste entre o cubo da manivela do redutor com sua chapa; o segundo, o do cubo do rotor com a chapa interna; e o terceiro, o do cubo do rotor com a chapa externa. Os procedimentos seguidos foram retirados de AGOSTINHO (1977).

O procedimento consiste no cálculo das interferências mínima e máxima a que pode ser submetido o sistema e, em seguida, na escolha das faixas apropriadas das normas para os encaixes. A interferência mínima é a menor possível em que os elementos do encaixe não deslizarão em seu funcionamento normal. Já a máxima representa o ponto em que a tensão de escoamento é ultrapassada, saindo do regime elástico.

O procedimento se inicia com o cálculo dos esforços tangenciais a que o sistema é submetido.

$$P_{tp} = \frac{2M_t}{D_c} \quad (1)$$

Nesta equação (Eq. 1), P_{tp} , M_t e D_c representam, respectivamente, a força tangencial em kgf, o momento a que é submetido o sistema em kgf·mm e o diâmetro nominal da interferência em milímetros. O valor do momento pode ser calculado a partir dos valores de 1/3 hp a 1100/60 rpm, que são características do motor acoplado ao redutor. Pelos cálculos mecânicos, o momento no rotor será 1,38 vezes o momento da manivela do redutor.

Em seguida, calculam-se a força necessária para manter o ajuste e a pressão de contato equivalente seguindo as equações a seguir (Eq. 2 e 3), onde P_i , P_{in} , p_{min} , L e ν representam, respectivamente, a força necessária, o esforço longitudinal, a pressão mínima, o comprimento da interferência e o coeficiente de aderência.

$$P_i = \sqrt{P_{tp}^2 + P_{in}^2} \quad (2)$$

$$p_{min} = \frac{P_i}{\pi \cdot D_c \cdot \nu} \quad (3)$$

Os valores utilizados para os assentos foram, respectivamente, de 90, 126 e 70 milímetros. Os valores de potência foram de 0,5 cavalos com velocidade de 1100/60 rpm, devido ao redutor.

De posse destes dados, calcula-se a interferência mínima do ajuste, sendo que U_K , ΔU , η , E e Q representam, respectivamente, a interferência mínima, a perda de interferência por alisamento, o coeficiente de Poisson, o módulo de elasticidade e a razão

entre os diâmetros interno e externo do elemento. Os subscritos f e e associam o coeficiente ao furo ou ao eixo.

$$U_K = 10^3 \cdot (K_f + K_e) \cdot p_{mi_n} \cdot D_c + \Delta U \quad (4)$$

$$K_i = \frac{(\eta_i+1)+(\eta_i-1) \cdot Q_i^2}{\eta_i \cdot E_i \cdot (1-Q_i)^2} \quad (5)$$

Em que, para calcular-se ΔU , utiliza-se a diminuição da altura da rugosidade de cada elemento B . Por não se dispor da instrumentação necessária para realizar esta averiguação, assume-se que B equivale a 60% da rugosidade máxima H .

$$\Delta U = 2 \cdot (B_f + B_e) \quad (6)$$

Uma vez calculada U_K , deve-se calcular a interferência máxima U_G . Para isto são utilizadas as grandezas p_i , que representa a pressão do acoplamento atuante no elemento i , e σ_e , que equivale à tensão de escoamento do material.

$$p_i = \frac{1-Q_i^2}{1+Q_i^2} \times \sigma_{ei} \quad (7)$$

A equação de U_G equivale àquela de U_K utilizando, ao invés de p_{mi_n} , a maior pressão entre p_f e p_e .

Os valores utilizados para estes cálculos, bem como os resultados, podem ser encontrados a seguir (Tabela 3.4).

Tabela 3.4. Valores Utilizados nos Cálculos de Tolerâncias

D_{c_1}	40 milímetros	M_t	83000 kgf·mm
D_{c_2}	72 milímetros	D_{c_3}	72 milímetros
P_{in}	5000 kgf	ν	0,175
η	3	H	35 μ m
E	20000 kgf/mm ²	σ_e	21,5 kgf/mm ²
$D_{e_{i_1}}$	25 milímetros	$D_{f_{e_1}}$	70 milímetros
$D_{e_{i_2}}$	52,3 milímetros	$D_{f_{e_2}}$	135 milímetros
$D_{e_{i_3}}$	55,3 milímetros	$D_{f_{e_3}}$	140 milímetros

Pode-se observar, comparando os resultados das interferências calculadas, que não é possível comportar toda a carga transferida pelo motor para o sistema apenas utilizando o ajuste por interferência, pois o sistema estaria sujeito a grandes deformações plásticas,

reduzindo a aderência entre as peças. Isto se deve, principalmente, ao curto intervalo de contato entre os cubos e as chapas, causando grandes pressões mínimas. Assim, é necessário manter a forma de montagem anterior que utiliza dois pontos de solda, para manter os cubos conectados às placas sem deslize.

Tabela 3.5. Resultados Obtidos nos Cálculos de Tolerâncias

P_{tp_1}	4152 kgf	P_{i_1}	6500 kgf
P_{tp_2}	3183 kgf	P_{i_2}	5927 kgf
P_{tp_3}	3183 kgf	P_{i_3}	5927 kgf
$p_{mi_{n_1}}$	31,109 kgf/mm ²	K_{f_1}	$0,115 \cdot 10^{-3}$
$p_{mi_{n_2}}$	15,762 kgf/mm ²	K_{f_2}	$0,106 \cdot 10^{-3}$
$p_{mi_{n_3}}$	15,762 kgf/mm ²	K_{f_3}	$0,103 \cdot 10^{-3}$
Q_{f_1}	0,5714	Q_{e_1}	0,6250
Q_{f_2}	0,5333	Q_{e_2}	0,7264
Q_{f_3}	0,5143	Q_{e_3}	0,7686
K_{e_1}	$0,131 \cdot 10^{-3}$	ΔU	60µm
K_{e_2}	$0,178 \cdot 10^{-3}$	U_{K_1}	366µm
K_{e_3}	$0,210 \cdot 10^{-3}$	U_{K_2}	383µm
p_{f_1}	10,9 kgf/mm ²	U_{K_3}	415µm
p_{f_2}	11,98 kgf/mm ²	p_{e_1}	9,42 kgf/mm ²
p_{f_3}	12,5 kgf/mm ²	p_{e_2}	6,65 kgf/mm ²
U_{G_1}	167 µm	p_{e_3}	5,55 kgf/mm ²
U_{G_2}	306 µm	U_{G_3}	342 µm

Como não há a possibilidade de realizar as soldas internamente, deve-se fazer a montagem por interferência, com vistas a manter a posição das partes durante o transporte, e encaminhar as peças ao fornecedor que realizará a solda e devolverá as peças.

Com o objetivo de dividir a carga entre a interferência e a solda, podemos recalcular a interferência mínima e assumir o valor de um terço da pressão mínima, correspondendo a um terço da carga. Assim, os novos valores de U_k serão de 122, 127 e 139 micrômetros.

As tolerâncias de cada conjunto, obtidas pela diferença entre as interferências, correspondem a 45, 179 e 203 micrômetros, que deverão ser divididos entre cada uma das peças.

Tomando o sistema furo-base e observando as indicações presentes em AGOSTINHO (*op. cit.*), os ajustes serão 40H7z6, 72H9z9 e 72H9z9.

Apesar de terem sido incorporadas no desenho das peças, estas tolerâncias não são ainda executadas na produção por falta de recursos adequados.

3.2.12 Desenvolver e Testar Protótipos BETA

As tarefas da atividade podem ser observadas na Figura 3.22.

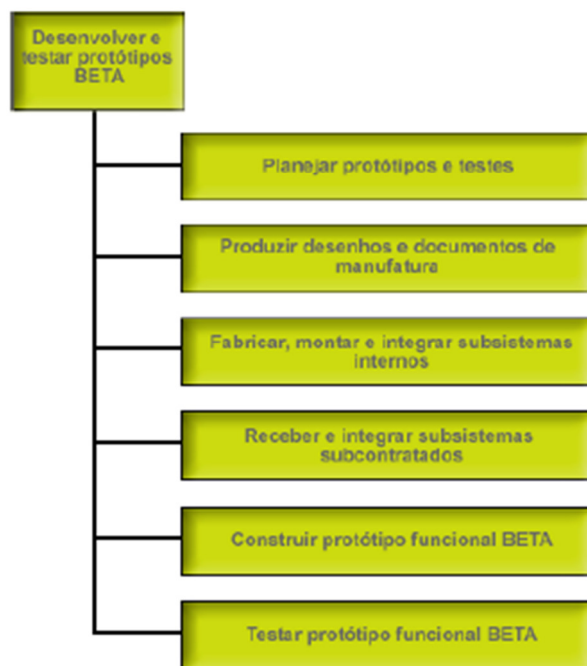


Figura 3.22. Etapas para Desenvolver e Testar Protótipos BETA (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 173 – Apêndice A)

Esta atividade de desenvolvimento de protótipo é realizada com o objetivo de verificar a validade e adequação das mudanças introduzidas no produto desde o protótipo ALFA.

Com este protótipo são realizados, também, os testes relacionados às atividades de análise de modos de falha, de modo a observar seu comportamento real. No MRM são sugeridas metodologias como testes de vida acelerada (*highly accelerated life testing – HALT*) e testes de stress acelerado (*highly accelerated stress testing – HAST*).

Como o produto em questão está sendo adequado ao MRM, mas já está em produção, a realização desta atividade não é necessária, levando ainda em conta que, nesta fase de otimização, não foram realizadas grandes modificações que pudessem afetar o funcionamento apropriado.

3.2.13 Testar Software Desenvolvido

Na Figura 3.23 podem ser vistas as tarefas executadas na atividade.

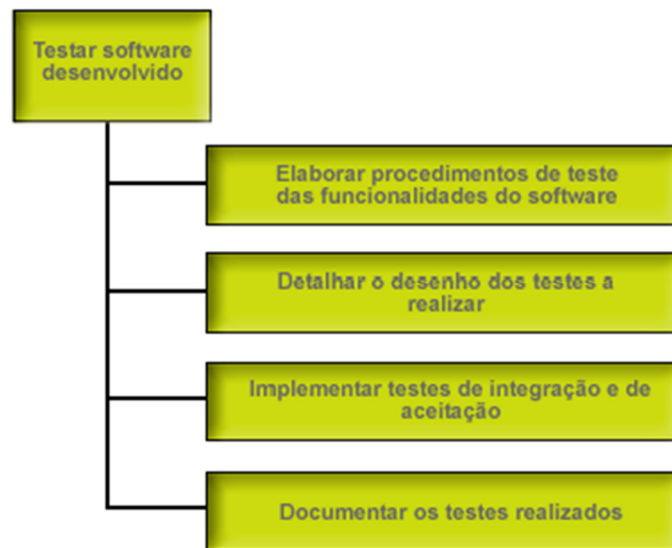


Figura 3.23. Etapas para Testar Software Desenvolvido (fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 177 – Apêndice A)

Esta atividade representa um equivalente à etapa anterior aplicada para software. Do mesmo modo como ocorre com as partes físicas do produto, os softwares desenvolvidos também precisam ser testados. O MRM enumera dois tipos de teste de software. O primeiro, chamado caixa branca, determina os efeitos da estrutura do programa e exercita diversos caminhos de execução em busca de *bugs*. Já o outro método, o de caixa preta, apenas observa se o programa desenvolvido atende aos requisitos dos clientes.

Os testes desenvolvidos ocorrem em três camadas consecutivas. Na primeira, testam-se as unidades mais básicas do software, seus elementos de construção, como rotinas e sub-rotinas. Já na segunda, testa-se a integração entre as diversas unidades. Por último, o teste de validação é realizado, de modo a verificar se o software atende aos requisitos de clientes.

Os ciclos previstos na atividade preveem a elaboração, detalhamento, implementação e documentação dos testes a serem realizados. Os dois primeiros itens foram executados em conjunto com a produção do código fonte. No entanto, o processo não foi documentado e suas informações foram perdidas. Assim, esta atividade não pode ser incluída no presente trabalho.

3.2.14 Detalhar Análise *Make-or-Buy*

A Figura 3.24 enuncia as etapas da atividade.



Figura 3.24. Etapas para Detalhar Análise de *Make-or-Buy* (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 179 – Apêndice A)

Esta atividade tem como objetivo analisar, item por item, quais serão os elementos do produto que deverão ser fabricados externamente e quais serão fabricados internamente. Esta análise consiste em um elenco dos custos relacionados com a fabricação da peça em questão, tais como mão de obra, materiais, tempos de máquina/depreciação e similares, e em sua comparação com um orçamento para a fabricação terceirizada, visando a reduzir os custos de manufatura.

No caso do sistema em questão, não há a possibilidade de internalizar a produção de nenhum dos itens que, atualmente, são terceirizados, devido aos altos custos da compra dos equipamentos e à falta de espaço físico para integrá-los à empresa.

Entretanto, a empresa faz a própria montagem das placas de circuito impresso e corta a LASER os painéis de acrílico. Caso a produção da empresa fosse maior, como na casa das centenas por ano, poderia ser analisada a possibilidade de terceirização da montagem de placas, por meio da automação do processo. No entanto, as empresas procuradas não aceitam pedidos tão pequenos devido ao alto custo do *set-up*.

Já no caso do corte das placas de acrílico, é possível fazer a análise para averiguar qual seria a opção mais vantajosa à empresa. A análise consiste em somar os custos de material direto, os custos de trabalho direto, o custo do tempo de máquina, a manutenção, o overhead variável e o custo de depreciação da máquina a LASER acrescida de juros. Deve-se considerar, também, algum percentual de perdas de material e improdutividade.

A seguir estão elencados os valores utilizados para os cálculos:

- Custos de Material → R\$26,79
 - Placa 5mm → R\$14,10
 - Placa 2mm → R\$7,40
 - ICMS → 6% sobre o valor
 - Frete → R\$4,00
- Custos de Trabalho → R\$2,00
 - Tempo de Trabalho → 3 minutos
 - Custo do Trabalho → R\$40,00/hora
- Custo do Tempo de Máquina → R\$0,80
 - Tempo de Utilização → 30 minutos
 - Preço do tubo LASER → R\$800,00
 - Vida Útil → 2000 horas
- Manutenção → R\$1,25
 - Custo → R\$300/ano
 - Produção → 240/ano
- Overhead Variável → R\$0,20
- Depreciação → R\$11,02
 - Preço → R\$9000,00
 - Vida Útil → 5 anos
 - Taxa de juros → 8%/ano
 - Produção → 240/ano
- Perdas → R\$2,88, correspondentes a 10% sobre Material e Trabalho

A fabricação interna dos painéis de acrílico partindo das placas custa à empresa R\$44,94, enquanto a terceirização custaria R\$80,00, totalizando uma redução de 44%. Portanto é mais vantajosa a fabricação interna. Além disso, a fabricação interna diminui o *leadtime* e as perdas por possíveis adaptações do projeto.

Por possuir o equipamento e sobras de materiais, a empresa também produz alguns espaçadores de acrílico que facilitam a montagem dos sistemas com rolamento nos braços das cancelas. Foram também adicionados, posteriormente, painéis traseiros aos quiosques

que oferecem benefícios estéticos e de segurança ao abrir a porta traseira. Estima-se que a fabricação dos espaçadores, seguindo os mesmos princípios, seja na faixa de R\$1,20, enquanto o preço dos painéis traseiros é igual ao dos painéis frontais.

3.2.15 Refinar Posição de Mercado do Produto

As etapas necessárias à execução da atividade podem ser encontradas na Figura 3.25.



Figura 3.25. Etapas para Refinar Posição de Mercado do Produto (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 178 – Apêndice A)

O propósito desta atividade é rever o produto em desenvolvimento e analisar se as características alcançadas se encaixam no perfil mercadológico e de linha de produtos da empresa. Isto se deve ao fato de que, ao longo das diversas iterações projeto-construção-teste, algumas métricas de qualidade definidas no início do PDP podem não ter sido alcançadas satisfatoriamente, podendo, inclusive, fazer com que o produto não seja mais atrativo para o mercado. Assim, ao final da atividade deve-se decidir entre congelar, descontinuar ou manter o projeto. Aqui são também revistos o plano inicial em conjunto com o portfólio, impactando diretamente no lançamento do produto.

Novamente, por levar em consideração que o sistema já está desenvolvido e sendo comercializado, esta atividade não se aplica ao estudo em questão e, portanto, será ignorada.

3.2.16 Sistematizar Manufatura e Montagem

As etapas para execução da atividade podem ser encontradas na Figura 3.26.

Nesta atividade a manufatura e a montagem são sistematizadas de modo a formalizar sua realização. Nas fases anteriores de projeto de protótipos, as atividades estavam mais concentradas em atingir os requisitos do que no próprio caminho realizado para a confecção do protótipo. Através desta atividade as práticas de sucesso são recuperadas e consolidadas, enquanto alternativas são buscadas e aprimoradas.

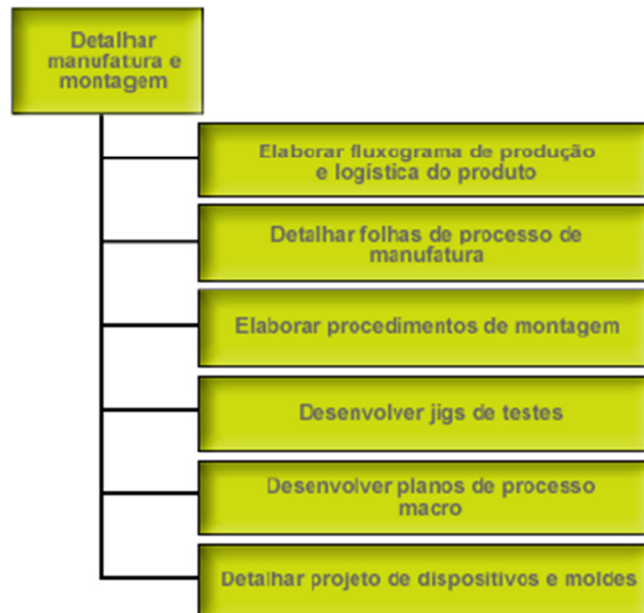


Figura 3.26. Etapas para Sistematizar Manufatura e Montagem (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 181 – Apêndice A)

Este procedimento ocorre em duas etapas. Na primeira deve-se fazer um detalhamento macro correspondente a uma visão gerencial dos processos de manufatura e montagem de cada parte do produto. Já no segundo, deverá ser detalhada cada operação envolvida.

Para fins deste trabalho, na atividade de sistematização de manufatura e montagem, é desenvolvido o fluxograma representativo da sistematização, seguindo as recomendações presentes no MRM e em SLACK (2009), correspondente à primeira etapa. Já a segunda etapa, mais detalhada, será retomada na próxima fase do MRM, onde atividades específicas para confecção e revisão dos documentos de montagem já estão previstas. Esta ação não prejudica o fluxo de atividades, porque, como representam os métodos atualmente utilizados na produção em andamento, não há necessidade de aprovação prévia dos esboços previstos nesta atividade. O fluxograma detalhado e explicado pode ser encontrado na Figura 3.27.

Através do fluxograma pode-se ter uma visão gerencial do processo produtivo. Em seguida, cada operação, representada por círculos, deverá ser finamente detalhada contendo informações como fluxogramas da submontagem, listas de materiais, listas de ferramentas, procedimentos, análises de custos entre outras específicas de cada caso.

O processo produtivo em questão tem início com a operação de aquisição, onde são enunciadas as listas de materiais consolidadas de todo o sistema, classificadas por fornecedor. Decidiu-se realizar esta separação como forma de facilitar o controle dos estoques e recebimentos, uma vez que simplifica a aplicação de possíveis *checklists* necessárias.

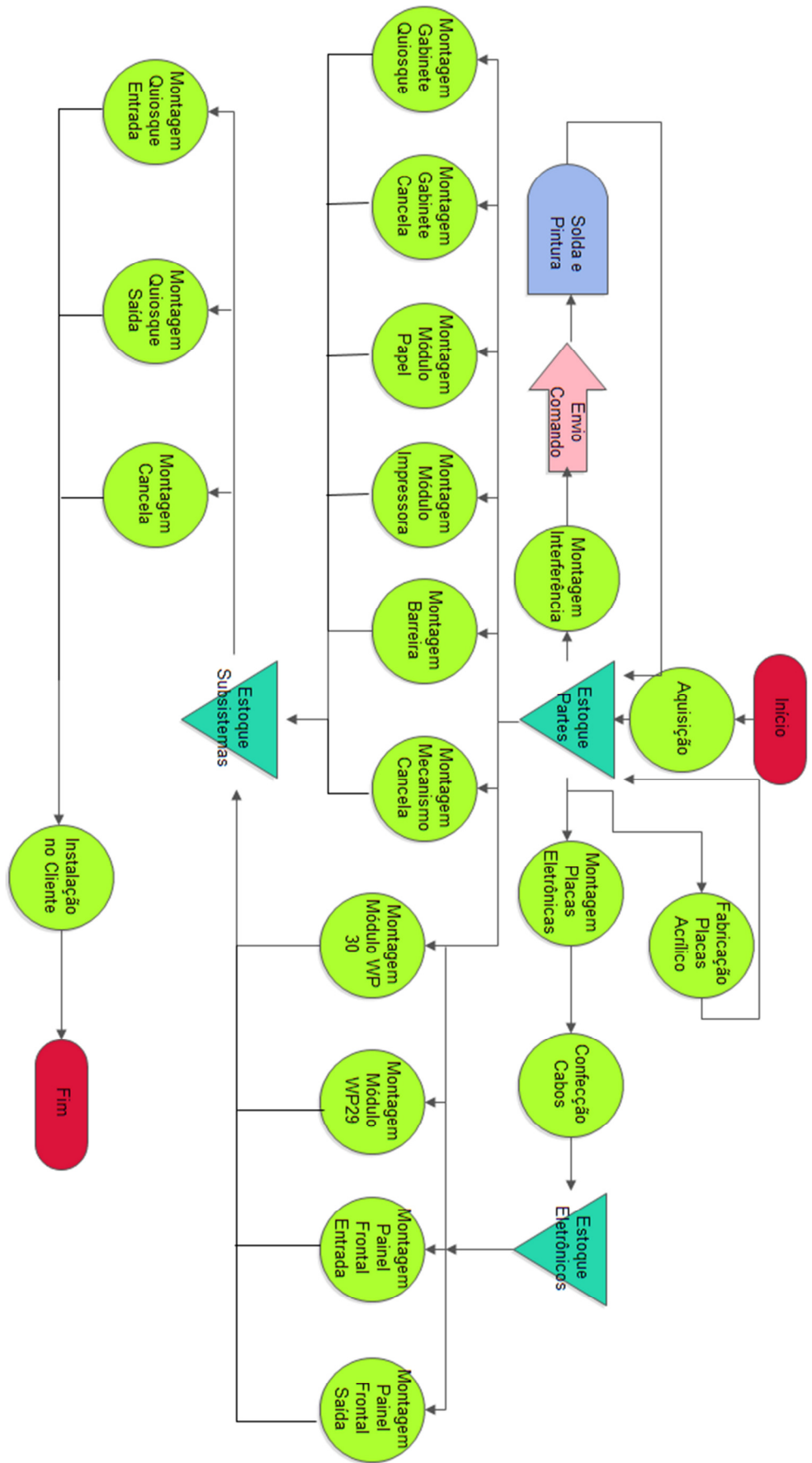


Figura 3.27. Fluxograma da Sistematização da Manufatura e Montagem

Os componentes recebidos e considerados conformes são, então, incorporados aos estoques de partes e componentes da empresa, onde permanecerão até que os estoques de subsistemas ou de eletrônicos estejam baixos.

Apesar de serem considerados componentes, os sistemas de chapas e cubos da manivela do redutor e do rotor, passam por um pequeno ciclo de montagem antes de retornarem ao respectivo estoque. Isto ocorre porque as chapas são obtidas de um fornecedor especializado enquanto os cubos são provenientes de outro fornecedor, devendo ser montados antes de enviados a uma terceira empresa para realização da solda e pintura eletrostática.

Em paralelo, são realizadas as montagens das placas eletrônicas e dos sistemas de cabeamento que, então, seguem para um estoque específico. Ainda em paralelo são fabricados os painéis de acrílico.

Em seguida são realizadas as operações de montagem de cada subsistema a partir do estoque de partes e componentes. Os subsistemas que incluem os módulos das placas e os painéis frontais recebem, também, componentes do estoque de componentes eletrônicos. Uma vez concluídos e devidamente testados, seguem para o estoque de subsistema.

Espera-se, então, o recebimento de pedidos pelo departamento de vendas para a realização das operações finais. Isto ocorre porque alguns subsistemas são também utilizados em outros produtos do portfólio da empresa. São então montados os quiosques e cancelas referentes ao pedido que seguirão para a instalação no cliente, que inclui também a disposição dos softwares necessários ao funcionamento do sistema nos computadores dos clientes.

3.2.17 Detalhar Documentação de Aquisição

As tarefas para a conclusão desta atividade estão ordenadas na Figura 3.28.

O objetivo final desta atividade é documentar as especificações de compra, de forma que o processo de aquisição possa ser feito inteiramente pelo setor de manufatura sem auxílio da equipe de projeto. Nela deverão estar contidos todos os componentes comprados que compõem o produto, mesmo insumos como soldas e adesivos. Só não deverão ser considerados materiais de consumo como produtos de limpeza e lubrificantes.

O nível de detalhamento de cada componente da documentação depende diretamente do nível de criticidade do componente em relação ao produto, obtido através da análise dos modos de falha e criticidade. Qualquer tratamento que possa alterar as propriedades do componente também deverá ser especificado como, por exemplo, têmperas.

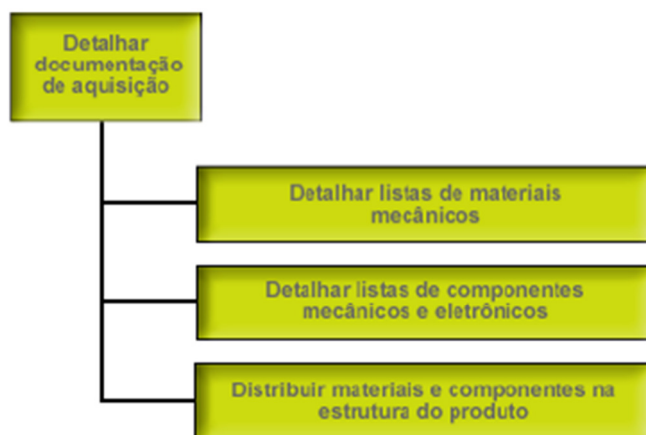


Figura 3.28. Etapas para Detalhar Documentação de Aquisição (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 183 – Apêndice A)

Ao final, os componentes deverão ser apresentados com suas respectivas quantidades. O somatório deverá ser feito por submontagens, caso a manufatura siga a estratégia de *Assembly to Order*, ou por produto nos outros casos.

No presente estudo, dada a finalidade desta documentação, decidiu-se por condensar as listas de aquisição por produto (um sistema completo) e por fornecedor. Na Tabela 3.6 a seguir, pode ser encontrada a lista de aquisição de um dos principais fornecedores, a Buzas, que realiza o corte a LASER de chapas de aço utilizadas nos mecanismos das cancelas.

Tabela 3.6. Documentação de Aquisição de um dos Fornecedores

Part Number	Quantidade	Preço Unitário [R\$]	Total [R\$]	Fornecedor
<i>CF Acionador Mesa 2013</i>	2	32,43	64,86	Buzas
<i>CF Biela 2013</i>	2	45	90	Buzas
<i>CF Red Ch Manivela 2013</i>	2	14,07	28,14	Buzas
<i>CF Rot Chapa Externa 2013</i>	2	26,61	53,22	Buzas
<i>CF Rot Chapa Interna 2013</i>	2	23,42	46,84	Buzas
<i>CF Rot Chapa Prolong 2013</i>	2	19	38	Buzas
<i>CM Suporte barreira articulada 2013</i>	2	20	40	Buzas
<i>CF Bar Art Ancora 2013</i>	2	18	36	Buzas

3.2.18 Detalhar Modelo de Custos do Produto

A Figura 3.29 mostra as tarefas executadas na atividade.

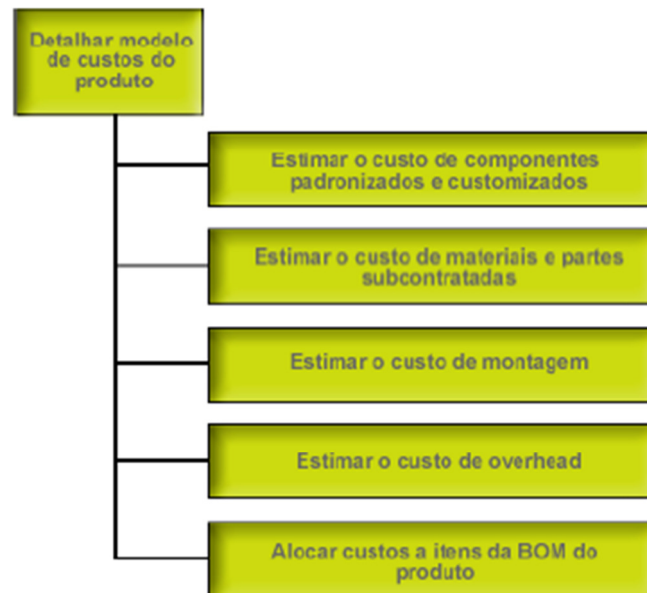


Figura 3.29. Etapas para Detalhar Modelo de Custos do Produto (fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 185 – Apêndice A)

Esta atividade produz um modelo de custos de produtos a fim de documentação para possibilitar a análise de viabilidade do produto pela alta direção. Nela, são computados, além dos custos diretos de materiais originários da *Bill of Materials*, todos os outros custos relacionados, mesmo que indiretamente, ao produto.

Por etapas, são computados:

- Custos dos componentes comprados;
- Custos de componentes fabricados, incluindo mão de obra, depreciação das ferramentas, perdas de produção, custos de manutenção, moldes e associados à sua produção;
- Custos de componentes subcontratados;
- Custos de montagem, novamente incluindo ferramentas, mão de obra, gabaritos, insumos e moldes; e
- Custo de *overhead*, que inclui todos os custos com atividades da empresa que não agregam valor diretamente ao produto. Eles incluem custos de suporte como transporte e infraestrutura, bem como custos indiretos, que englobam todos os outros custos da companhia. Uma vez computado o *overhead* total da companhia, parte dele deverá ser associada ao produto, de modo que seu custo

final seja representativo e, ainda, que todo o overhead seja alocado entre os produtos da empresa.

No caso do produto em questão, diversos *overheads* não estão disponíveis devido a falhas na contabilidade da empresa. Portanto, apesar de ser de extrema importância do ponto de vista de gestão de negócios, o overhead será descartado dos cálculos de custos do produto.

Os únicos componentes inteiramente fabricados na empresa são os painéis de acrílico, cujos custos já foram computados na seção de decisão *make or buy*, devendo somente ser propriamente consolidada. O restante dos custos de montagem foi calculado por submontagem, baseado em estimativas de tempo de montagem.

Na Tabela 3.7 pode ser encontrada a estrutura de custos de um dos subsistemas do quiosque de saída: o painel frontal. Deve-se levar em conta que grande parte dos valores foram estimados e, portanto, não são precisos. O preço da placa de circuito impresso foi calculado em separado, inclusive com seus custos de montagem. As depreciações dos equipamentos utilizados na montagem foram desprezadas por serem muito pequenas.

Tabela 3.7. Estrutura de Custos de um dos Subsistemas

3.9 QM Painel Saída 2013		Qtde.	P. Unit. [R\$]	P. Total [R\$]
3.9.1	QF Painel frontal saída 5mm	1	29,96	29,96
3.9.2	QF Adesivo Painel Saída 2013	1	15	15
3.9.3	QF Painel Acrílico Frontal Saída 2mm 2013	1	14,98	14,98
3.9.4	BC Parafuso M3x16 allen cônica	8	0,1	0,8
3.9.5	BC Arruela M3 lisa	8	0,05	0,4
3.9.6	BC Porca M3	20	0,1	2
3.9.7	QC Display LCD	1	20	20
3.9.8	WP43rev5	1	147,27	147,27
3.9.9	QF Moldura Leitor	1	20	20
3.9.10	BC Parafuso M4x20 allen	4	0,1	0,4
3.9.11	BC Arruela M4 Lisa	4	0,05	0,2
3.9.12	BC Porca M4	4	0,05	0,2
3.9.13	QC Leitor	1	800	800
Adicional	Mão de Obra	0,25	5,681818	1,420455
Adicional	Tinta Spray Preta	0,1	40	4
Total				1056,63

3.2.19 Verificar Resultados da Otimização do Projeto

As etapas da execução da atividade podem ser encontradas na Figura 3.30.



Figura 3.30. Etapas para Verificar Resultados da Otimização do Projeto (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 187 – Apêndice A)

Nesta atividade, após a realização de um *checklist* da realização adequada das atividades da fase, a viabilidade de comercialização do produto é avaliada pela alta direção, caracterizando um importante *gate* decisório do PDP. Após a conclusão da fase de otimização, a empresa já dispõe de um conjunto de informações bastante sólidas acerca do produto. Todas as informações técnicas e de custos do produto, passíveis a pequenas reduções, já foram consolidadas de forma que não há mais nada que possa afetar sua viabilidade.

De fato, este é o último momento previsto no MRM onde a alta direção decide entre continuar, congelar ou abortar o projeto, através de uma análise cuidadosa da matriz BCG.

Aqui, novamente, podemos considerar esta atividade fora do escopo deste trabalho, tendo em vista que o produto já está em fase de produção.

3.2.20 Documentar Soluções Técnicas

Na Figura 3.31 podem ser encontradas as tarefas da atividade.

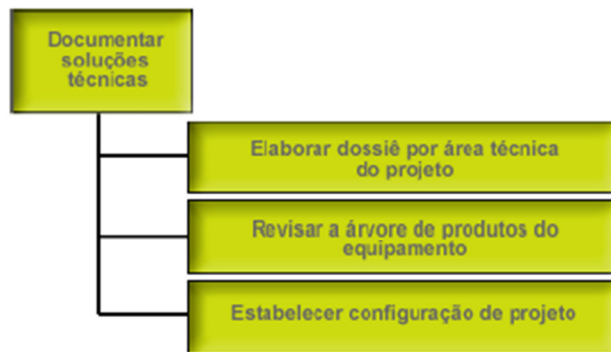


Figura 3.31. Etapas para Documentar Soluções Técnicas (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 188 – Apêndice A)

Nesta atividade é consolidado um novo *baseline* para o produto, considerando os experimentos com o protótipo BETA e as soluções encontradas. Na documentação devem ser contempladas as mudanças realizadas durante a fase na estrutura do produto, inclusive com adição das soluções para as funções secundárias.

Esta atividade é exatamente o escopo deste trabalho e, portanto, todas as informações referentes à fase podem ser encontradas ao longo do texto.

3.2.21 Documentar e Registrar a Otimização do Projeto

Na Figura 3.32 podem ser observadas as etapas da atividade.



Figura 3.32. Etapas para Documentar e Registrar a Otimização do Projeto (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 190 – Apêndice A)

A última atividade da fase é responsável por documentar os resultados e ferramentas gerenciais utilizadas na fase de otimização, de forma que avaliações de desempenho possam ser realizadas, melhores práticas incorporadas em futuros projetos e possibilidades de melhorias discutidas. A conclusão da fase também é inserida nos registros da empresa.

Esta atividade não pode ser realizada por falta de uma gestão de projetos apropriada, impossibilitando a coleta de fatores de desempenho.

3.3 APLICAÇÃO DE MELHORIAS RELACIONADAS À FASE DE HOMOLOGAÇÃO DO MRM

A fase de homologação tem como objetivo a revisão e refinamento dos processos de fabricação e de aquisição que foram esquematizados na fase de otimização. Por meio dessa fase, buscam-se alternativas para os processos, a fim de reduzir custos e modos de falha de processo. A Figura 3.33 ilustra o fluxo de atividades da fase.

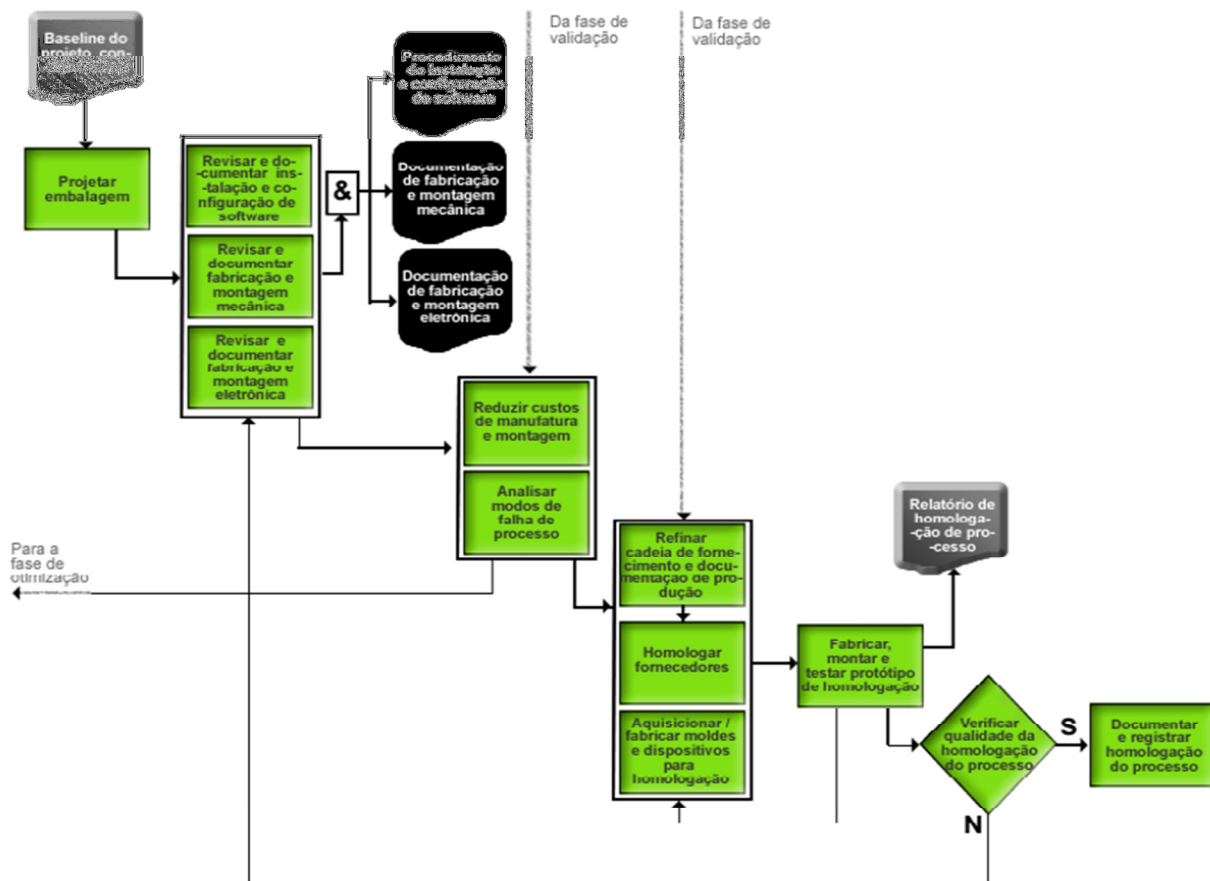


Figura 3.33. Fluxo de Atividades da Fase de Homologação

3.3.1 Projetar Embalagem

As tarefas para a execução da atividade podem ser vistas na Figura 3.34.

A embalagem do produto, apesar de pouco discutida na literatura de PDP, é um quesito importante para a comercialização do bem, pois, além de fornecer proteção, contribui para a alavancagem da posição de mercado do produto e constitui um veículo de informações sobre a mercadoria entre empresa e o consumidor final.



Figura 3.34. Etapas para Projetar Embalagem (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 195 – Apêndice A)

Esta atividade engloba planejamentos acerca do material, forma de descarte, questões legais, *design*, e proteção. Como ela trata, principalmente, de formas e de materiais, a metodologia assemelha-se àquela de projeto mecânico.

O primeiro aspecto a ser considerado é o canal de distribuição, pois este definirá o tempo em que o produto permanecerá estocado, quantos transportes o produto vai sofrer e esforços em geral a que a embalagem estará submetida. De posse dessas informações, levantam-se as especificações da embalagem, tendo em mente o *design* do produto, metodologia de embalagem, o tipo de produto e a sua normatização.

No caso de o produto ser apresentado ao cliente embalado, diferentemente do que ocorre com carros, é necessário preocupar-se com o *design* da embalagem, uma vez que esta pode ser um fator de compra determinante, dependendo do produto. Deve-se, portanto, elencar a ordem de prioridade entre *design*, operações de manufatura e logística para, então, prosseguir ao projeto da embalagem em si.

Também deve ser levado em conta o método pelo qual o produto deverá ser embalado e desembalado, confeccionando procedimentos detalhados da metodologia.

No caso do SCA, a embalagem não tem nenhuma necessidade de *design* nem utilidade como veículo de informação ao cliente, uma vez que o produto é desembalado diretamente pelos técnicos que realizam a instalação. Como o produto também não sofre grandes esforços, por não ser empilhado e ser transportado pela própria empresa, os requisitos de embalagem se restringem, predominantemente, à prevenção de riscos na carenagem.

Desse modo, a fim de evitar aumento de complexidade desnecessária no processo de manufatura, decidiu-se por manter a embalagem somente com plástico-bolha, como é feito atualmente.

3.3.2 Revisar e Documentar Instalação e Configuração de Software

A Figura 3.35 ilustra as tarefas da atividade.

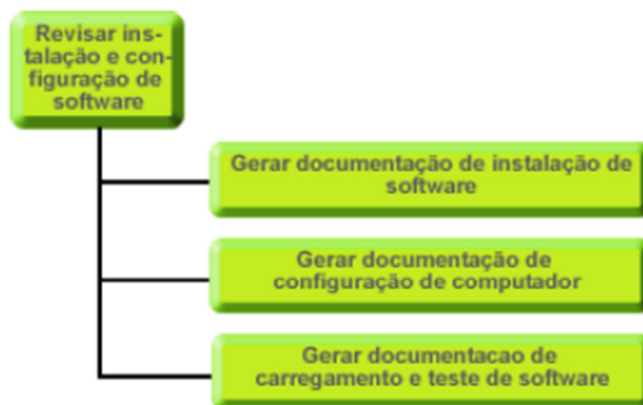


Figura 3.35. Etapas para Revisar e Documentar Instalação e Configuração de Software (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 197)

O procedimento de instalação especificado nesta atividade deve não somente tratar de software de alto nível a ser instalado nas dependências do cliente, como também do procedimento de gravação dos microcontroladores a ser realizado pelo pessoal de manufatura.

No caso de software de alto nível, os requisitos do computador deverão ser definidos em detalhes, assim como os requisitos de sistema operacional, de comunicação e periféricos. Deverá ser especificado, também, todo o procedimento de configuração do computador do cliente para a utilização adequada do sistema.

Por fim, documenta-se o procedimento em detalhes, de tal forma a permitir que até mesmo pessoal não especializado seja capaz de seguir as instruções com sucesso. As instruções de Instalação e Configuração podem ser encontradas a seguir.

O procedimento de gravação dos microcontroladores, descrito aqui, é, geralmente, realizado em lotes em paralelo com a montagem das placas de circuito impresso e, posteriormente, incorporados a estas.

O procedimento para gravação do software na ATMEL consiste na inserção do microcontrolador na gravadora, abertura do software de gravação Eltec no computador, escolha do arquivo referente à localização/placa desejada e gravação. Os seguintes arquivos estão disponíveis para gravação:

- WP39.hex, para a placa do detector
- WP25.hex, para o controlador da cancela, na placa WP28
- WP28-impressao.hex, para o controlador de impressora na WP28
- WP28-display.hex, para o controlador do display na WP28
- WP28-processador.hex para o processador principal da WP28

Para gravação do chip de voz, deve-se inserir o circuito integrado na placa de gravação, apertar o botão de gravação e rodar, através do computador, o arquivo de áudio desejado: saída ou entrada.

Os requisitos mínimos para o correto funcionamento do programa são extremamente baixos, devido à sua simplicidade. No entanto, para garantir um desempenho satisfatório, os computadores deverão cumprir os seguintes requisitos de sistema:

- Windows XP;
- Processador de 1,5 GHz;
- 1GB de memória RAM;
- 5GB de memória livre no HD;
- Mouse com *driver* respectivo; e
- Teclado com *driver* respectivo.

O procedimento de instalação se inicia com o *database* “MySQL”. Sua instalação é feita seguindo as configurações padrão do *wizard*. Em seguida, deve-se popular a *database* com as tabelas utilizadas pelos programas. No CD de instalação gerado pela equipe de projeto há um programa chamado “Tabelas MySQL” que, ao ser executado e selecionando a opção “TODOS”, cria as tabelas automaticamente.

Também a partir do CD, devem ser copiados os executáveis WESTAC para o diretório “C:\WP\Westac” em cada computador. A seguir, instalam-se os *drivers* de impressão a partir do CD de instalação do fabricante.

Uma vez instalado no sistema, deve-se realizar a configuração do software. Esta configuração é realizada associando valores apropriados nas tabelas da *database* criadas anteriormente, uma vez que elas são criadas com valores padrão. O programa gerente, rodando em um PC conectado à máquina servidor, suporta inúmeras configurações diferentes, entre elas as principais são:

- Textos de cabeçalho da impressora;
- Tipo de impressora utilizada;

- Configuração da porta utilizada;
- Tabelas de apreçamento do estacionamento;
- Local de backup da *database*;
- Configuração do uso de cartões RFID; e
- Associação entre as máquinas do sistema e classificação entre entrada ou saída.

Por ser um procedimento bastante complexo, é fornecido, em conjunto com o sistema, um treinamento para a correta utilização do software com a duração de quatro horas.

3.3.3 Revisar Documentação de Fabricação e Montagem Mecânica

As etapas de execução da atividade podem ser observadas na Figura 3.36.

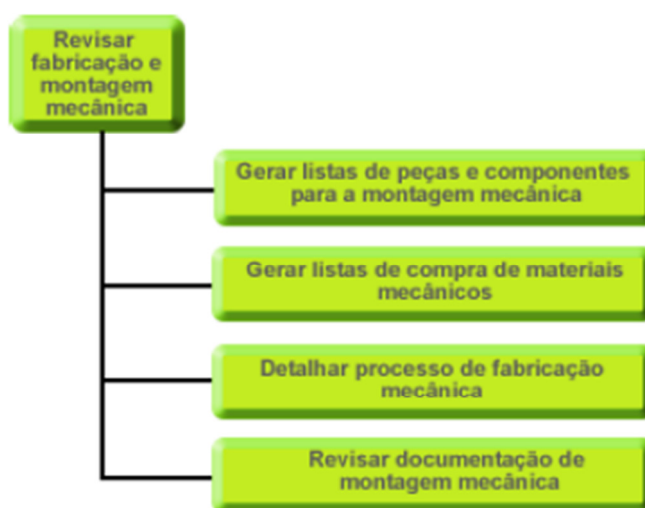


Figura 3.36. Etapas para Revisar Documentação de Fabricação e Montagem Mecânica
(Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 199)

A documentação gerada nesta atividade consiste no aprofundamento da documentação resultante da atividade de sistematização de manufatura da fase anterior. Ela deverá conter as especificações de aquisição, fabricação e montagem de cada componente mecânico do produto.

Para os componentes mecânicos fabricados, devem ser especificados os materiais utilizados, bem como os procedimentos detalhados de fabricação. Mesmo que a fabricação do componente seja terceirizada, pode ser necessária a especificação de fabricação. Aos componentes fabricados, são agregados os componentes de prateleira comprados, assim como os componentes comprados, porém customizados. Caso seja necessário, deverão ser especificados também procedimentos de testes de componentes mecânicos no ato de recebimento.

Nesta atividade estão previstas também vistas explodidas para cada submontagem, de modo a guiar o processo. Além disso, o detalhamento de montagem prevê o desenvolvimento de certas especificações, como a utilização de trava-rosca, lubrificantes e ajustes. Ao final dos procedimentos de submontagem, deverão ser realizados os testes apropriados para averiguação do funcionamento adequado do subsistema.

Por fim, nesta atividade deverão ser especificados os tempos padrão de cada procedimento de montagem e de fabricação. A cadeia de procedimentos deve, então, ser resumida em um esquema macro de processos, agregando os tempos por submontagem.

Para fins de exemplificação, são descritos a seguir os processos de fabricação de acrílicos e de montagem do painel frontal de saída.

Primeiramente, deve-se expandir o fluxograma da sistematização para a operação em questão. O fluxograma para a fabricação dos painéis de acrílico pode ser encontrado a seguir (

Figura 3.37).

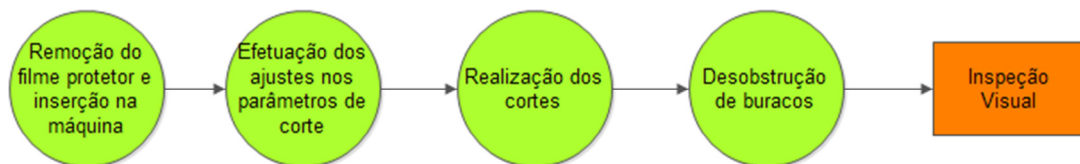


Figura 3.37. Fluxograma da Fabricação dos Painéis de Acrílico (Fonte: Próprio autor)

Elencam-se, então, os equipamentos necessários.

- Computador
- Máquina de corte a LASER
- Calibrador do bocal do LASER

Detalha-se, finalmente, a operação.

Após remover a película protetora, insere-se a placa a ser cortada na máquina, encostando-a nas extremidades da mesa de corte. Uma vez posicionada, deve-se calibrar a altura do bocal em relação à placa a ser cortada. Para isso, posiciona-se o calibrador entre o bocal e a placa de acrílico e ajusta-se (através da rosca) a altura de corte de modo que não haja nenhum espaço livre entre o calibrador e a lente de corte. A seguir, deve-se abrir o programa que controla a máquina e carregar o arquivo CAD relativo aos possíveis cortes. Eles são:

- Painel Frontal Entrada 2 mm e Painel Frontal Saída 2 mm para as placas de 2 mm
- Painel Traseiro Entrada e Painel Traseiro Saída para as placas de 3 mm

- Painel Frontal Entrada 5 mm e Painel Frontal Saída 5 mm para as placas de 5 mm

Deve-se garantir, então, que o bocal esteja na altura correta. Isto é realizado através do calibrador. Posicionando-o por cima da placa a ser cortada, o bocal do LASER deverá tocar o calibrador. A velocidade de corte deve ser ajustada, através da janela de propriedades, para os valores de 13 mm/s para a placa de 2mm, 9 mm/s para a placa de 3mm e 6mm/s para a placa de 5mm. Estes valores são relativos a potência de 70%, que não deverá ser alterada.

Realiza-se o corte e, com o auxílio de uma punção, desobstruem-se os buracos de onde porventura os pedaços de acrílico já cortados encontram-se presos.

Finalmente, realiza-se uma inspeção visual nas peças obtidas para verificar sua conformidade. Caso não seja conforme, a peça é descartada e o procedimento repetido.

Já para a montagem do Painel Frontal de Saída, segue-se o fluxograma descrito na Figura 3.38.

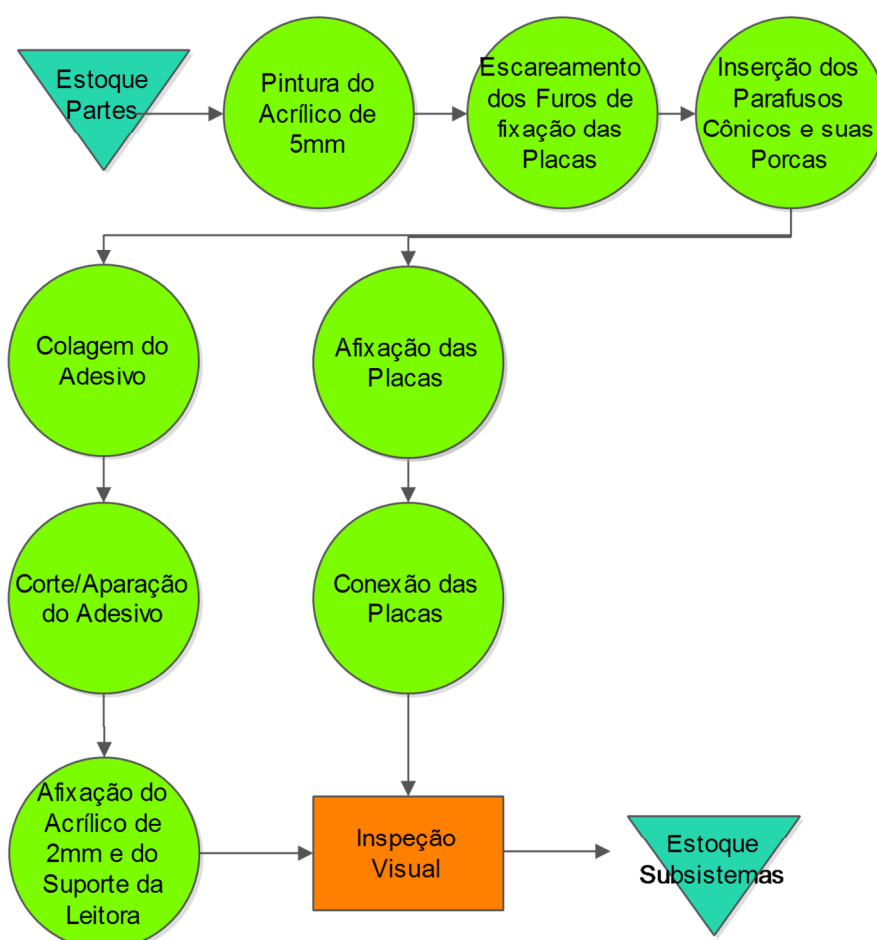


Figura 3.38. Fluxograma para Montagem do Painel Frontal de Saída (Fonte: Próprio autor)

Os equipamentos necessários para a execução desta operação são:

- Furadeira de mesa;
- Broca de escareamento;
- Óculos de proteção;
- Parafusos M3x20 (guia); e
- Estilete.

Após a retirada dos itens necessários do estoque, seguindo a BoM como na Tabela 3.7, inicia-se com a pintura do acrílico de 5mm. A pintura deverá ser realizada em duas demãos de tinta preta spray na face frontal do painel (

Figura 3.39). Uma vez concluída a pintura, deve-se verificar se a cobertura cobre uniformemente toda a superfície e, em caso negativo, aplicar uma nova demão. Ao fim do procedimento, é necessário desobstruir o bocal da lata de tinta apertando-o, enquanto se mantém a lata de cabeça para baixo, até que o jato de ar emitido seja transparente.

Segue-se, então, para o escareamento dos furos de fixação das placas. O escareamento deve ser executado na face frontal e apenas nos furos indicados na

Figura 3.39. Deve-se realizar uma calibração prévia na trava de escareamento da furadora de modo que a broca penetre apenas cerca de 2mm na peça (o suficiente para que a cabeça cônica do parafuso fique rente à superfície).

Em cada um dos furos escareados deve ser inserido um parafuso allen de cabeça cônica M3x16. No lado traseiro são inseridas arruelas M3 lisas e porcas M3. Os quatro furos relativos ao *display* de LCD (superior direita da

Figura 3.39) devem receber uma porca extra como espaçamento entre o *display* e o painel.

Para a colagem do adesivo, devem ser inseridos parafusos M3x20 nos furos externos pelo lado traseiro para servirem de guias para os furos do adesivo, de modo que os furos deste estejam alinhados com os furos do acrílico. Como alternativa para manter os parafusos guia durante o procedimento, utiliza-se como gabarito qualquer painel de acrílico já cortado acoplado pelo lado traseiro.

Com o auxílio de um estilete deve-se aparar as bordas do adesivo de modo que estas estejam rentes ao painel do acrílico. Ainda com o estilete deve-se realizar o corte, também rente ao painel, referente ao suporte do leitor de código de barras. Ao fim desta operação deve-se retornar os parafusos guia para o estoque.

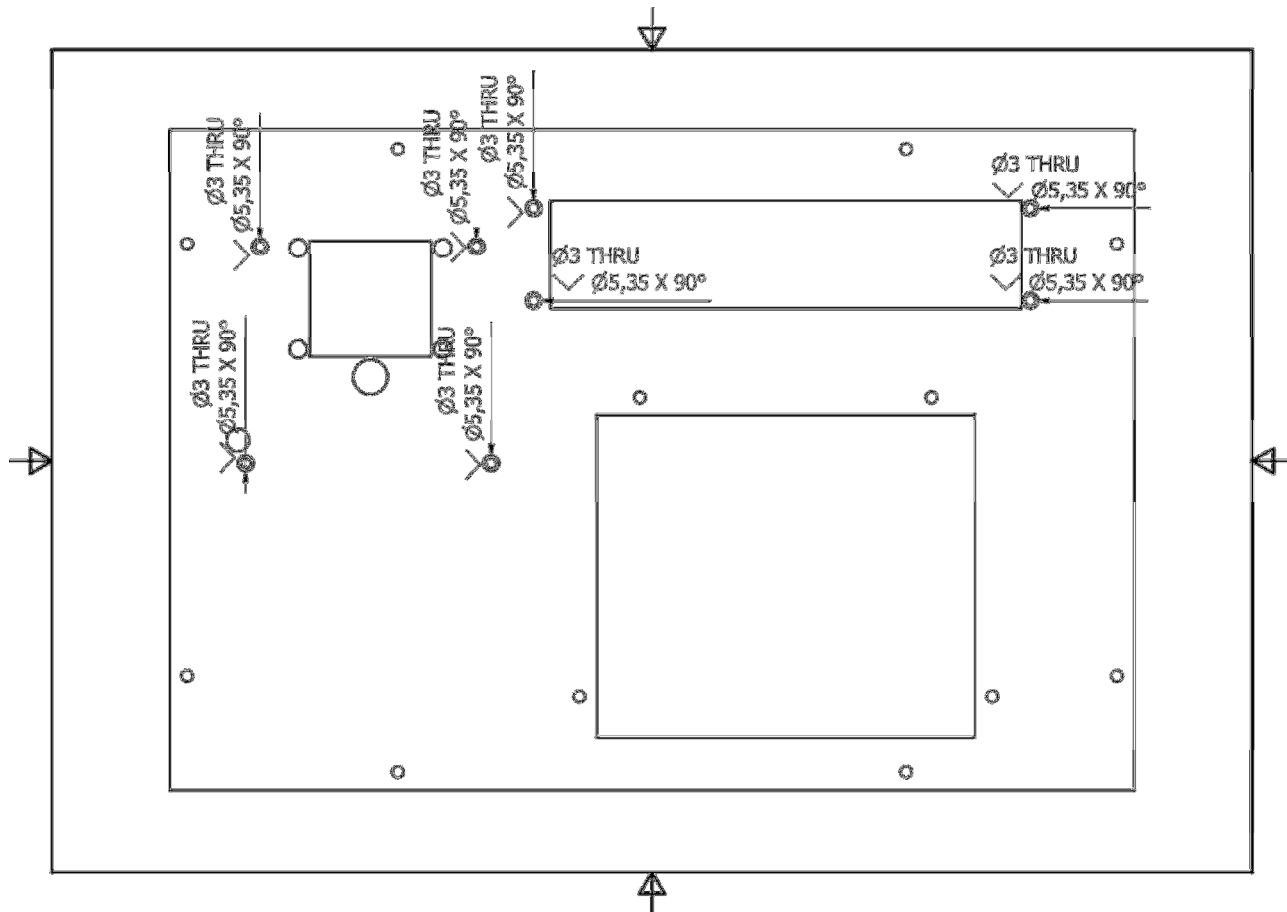


Figura 3.39. Face Frontal do Painel de Acrílico de 5mm com Demarcação dos Furos Escareados

Seguindo a explosão apresentada na

Figura 3.40, encaixa-se o painel de acrílico de 2 mm pela frente e o suporte do leitor por trás, afixando-os com parafusos allen M4x20 de cabeça panela, com respectivas arruelas e porcas M4.

Deve-se, então, afixar as placas em seus devidos lugares. Nesta operação é necessário prestar atenção para que o *display* de LCD, bem como o sensor de RFID, esteja voltado para o lado frontal do painel. Uma vez posicionados, são acopladas porcas M3 em cada um dos parafusos.

Uma vez posicionadas, as placas deverão ser conectadas através do cabo “*flat 16*”, tomando cuidado para que o cabo não fique retorcido.

Por fim, realiza-se uma inspeção visual para verificação de conformidade da peça que, então, segue para o estoque de subsistemas.

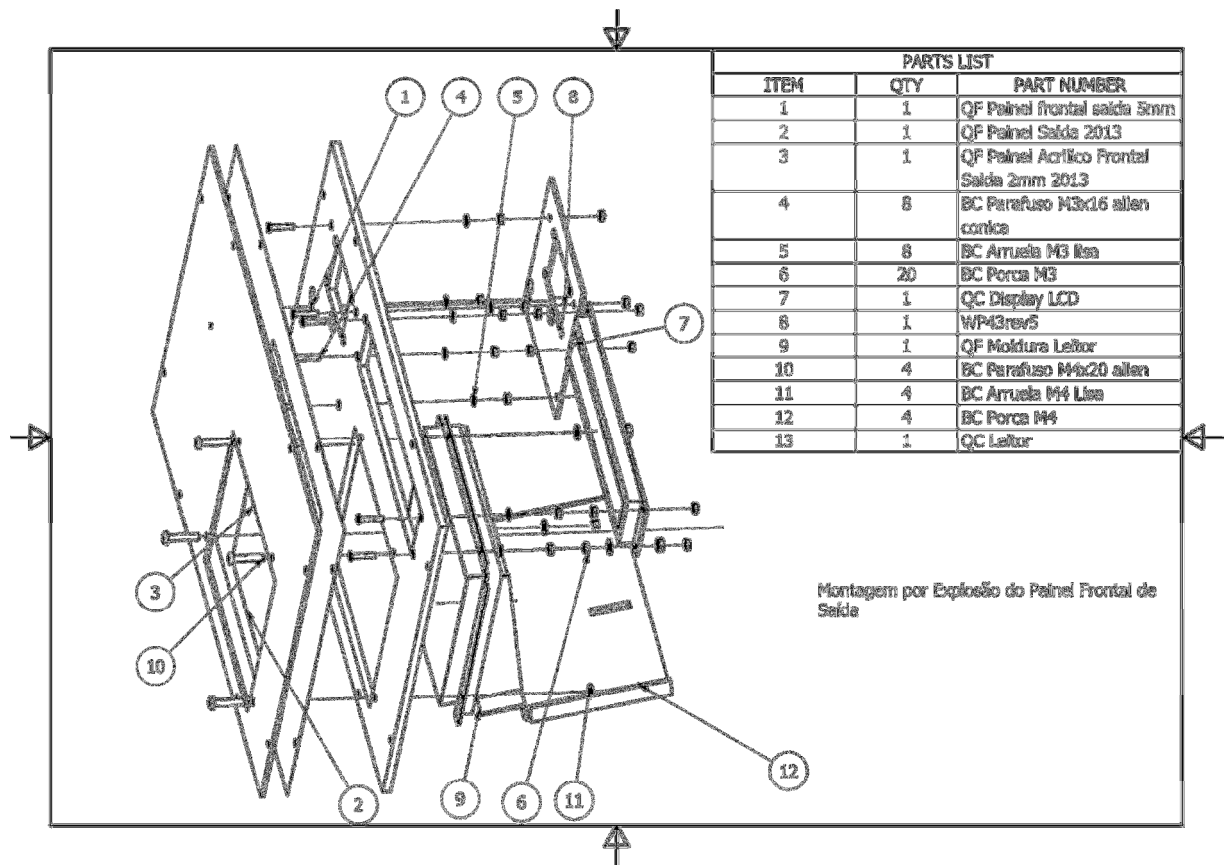


Figura 3.40. Montagem do Painel Frontal de Saída em Explosão

3.3.4 Revisar e Documentar Fabricação e Montagem Eletrônica

A Figura 3.41 ilustra as etapas da atividades.

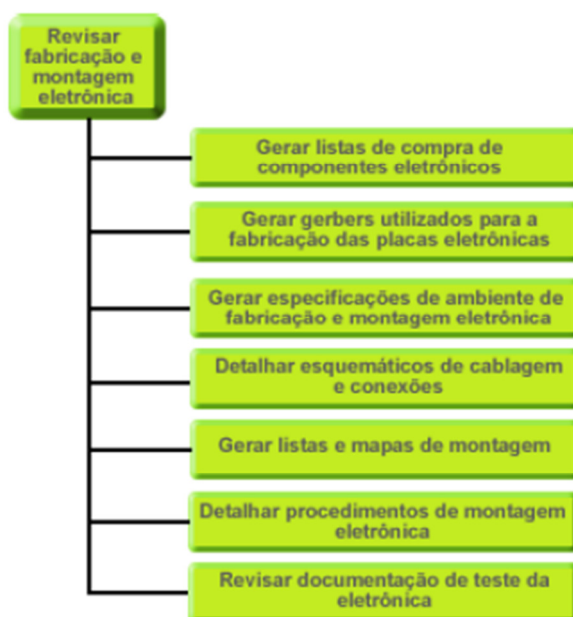


Figura 3.41. Etapas para Revisar e Documentar Fabricação e Montagem Eletrônica (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 201 – Apêndice A)

Os procedimentos desta atividade assemelham-se àqueles da documentação da atividade anterior. A presente atividade é, portanto, constituída por procedimentos equivalentes aplicados à montagem eletrônica.

Os componentes eletrônicos podem ser separados em duas grandes categorias. A primeira são as placas de circuito impresso, nas quais estão contidos circuitos como os de processamento, pré-processamento, geradores de clock e etc. Já a segunda categoria inclui sistemas de suporte eletro-eletrônicos, tais como cabos, conectores e conexões elétricas em geral.

O primeiro procedimento a ser adotado para elaboração desta documentação é a geração da lista de compra de materiais utilizados, incluindo suas quantidades específicas e fornecedores, nos casos de componentes que apresentem diferenças entre diversos fabricantes.

Em paralelo, os projetos das placas devem ser refinados, com detalhamento adequado para que possam ser encaminhados aos fabricantes terceirizados, uma vez que não é habitual que empresas mecatrônicas fabriquem suas próprias placas de circuito impresso. As placas recebidas devem estar em tal estágio que seja apenas necessária a montagem de componentes.

Mapas de montagem que relacionam cada componente com sua localização em cada placa PCI deverão ser fornecidos. No caso de montagem manual, deverão ser incluídos também a quantidade utilizada de cada componente em cada placa, de forma que o montador possa guiar-se por estes números para realizar a pré-formação de componentes na quantidade adequada para a montagem.

Quanto aos cabos, deverão ser especificados os conectores e as quantidades, bem como tipos de fios e suas cores. Outros procedimentos, como aplicação de isolamentos, aterramento e proteção, não são bem captados por desenhos esquemáticos e, portanto, deverão ser especificados caso a caso.

Por fim, devem ser testadas as placas fabricadas em conjunto com seus respectivos cabos. Este procedimento deverá também detalhar os equipamentos e valores-meta que deverão ser atingidos nos procedimentos de testes.

Como exemplificação da execução desta atividade, serão descritos os procedimentos de montagem de uma das placas, bem como a descrição da manufatura de um dos cabos utilizados no sistema. O fluxograma de operações para o caso de placas eletrônicas pode ser visto na Figura 3.42

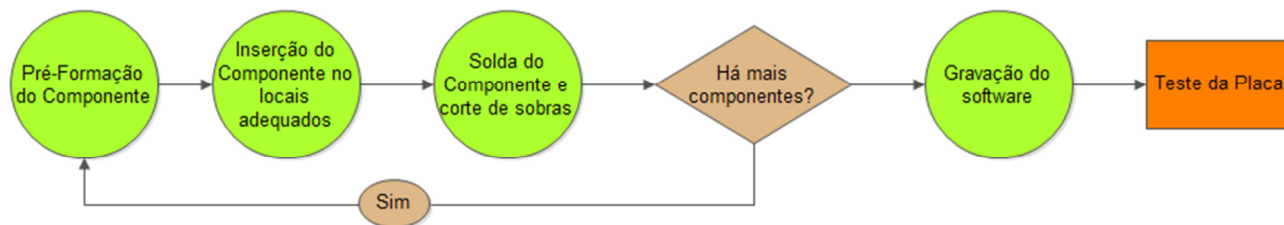


Figura 3.42. Fluxograma da Montagem de Placas Eletrônicas (Fonte: próprio autor)

Os equipamentos utilizados para a montagem de placas eletrônicas são:

- Ferro de Solda;
- Alicate de Corte;
- Alicate de Ponta;
- Sugador;
- Computador;
- Gravadora USB SmartProg2;
- Bancada de Testes;
- Luminária de Mesa; e
- Máscara de Proteção.

A lista de materiais da placa descrita como exemplo (WP 29) pode ser observada na Tabela 3.8.

Para cada componente presente na lista de materiais da placa em questão, deve-se pré-formar o componente, onde aplicável, de forma que seus *pods* estejam na distância adequada para o próximo passo: inserir o componente nos locais indicados. A seguir, soldam-se os componentes às placas e cortam-se os excessos. Caso haja alguma falha de solda visível, deve-se removê-la com o sugador e repetir sua execução. O posicionamento de cada componente pode ser visto de acordo com a serigrafia de cada placa (Figura 3.43).

Quando o último componente da lista for inserido, a placa estará praticamente pronta, faltando apenas a inserção dos circuitos integrados em seus respectivos soquetes, observando sua orientação.

Por fim, devem ser realizados os testes de funcionamento das placas. Para sua execução, as placas, uma a uma, devem ser conectadas na bancada de testes e, através do programa TesteWP do computador, rodar a rotina de teste adequada. A partir daí basta seguir as orientações dadas pelo programa no canto inferior direito da tela para averiguar o funcionamento adequado da placa. Caso não esteja funcionando corretamente, a placa

deve ser identificada e devidamente encaminhada para o departamento de projetos para posterior análise.

Tabela 3.8. Lista de Materiais para Montagem da Placa WP29

Item	Descrição	Quant.	Referências
1	Resistor 1k	2	R14,R15
2	Resistor 33r	2	R1,R2
3	Resistor 360r	4	R3,R4,R6,R7
4	Resistor 2K2	3	R5,R10,R11
5	Resistor 4k7	2	R16,R17
6	Resistor 680r	2	R8,R9
7	Resistor 470r	2	R12,R13
8	Capacitor eletrolítico 2200uF	1	C1
9	Capacitor multicamada	1	C4
10	Capacitor poliester 100nF HV	2	C2,C3
11	Porta fusível	1	F1
12	Chave contato momentâneo	1	S1,S2
13	Borne 2 pinos 90º	1	J1
14	Borne 3 pinos 90º	1	J2
15	Borne 4 pinos 90º	1	J4
16	Molex macho 2 pinos	1	J3
17	Molex macho 4 pinos	1	J7
18	Molex macho 3 pinos	1	J5
19	Trafo força	1	T1
20	Varistor 220v	1	RV1
21	Led 3mm verde	1	Alim
22	Led 3mm vermelho	4	Alto,Baixo,Sobe,Desce
23	Diodo 1N4001	3	D1,D2,D3
24	Diodo 1N4148	2	D4,D5
25	Regulador 7805	1	Q3
26	TRIAC BT139	2	Q1,Q2
27	C.I. 74HC04	1	U3
28	C.I. 74HC02	1	U4
29	C.I. MOC3063	2	U1,U2
30	Strap 3 pinos	1	220/110
31	Conector RJ45	1	J5
<i>Insumo</i>	Estanho	-	-

No caso dos cabos, parte de suas especificações já foi descrita na Tabela 3.1. No entanto, o procedimento de montagem, bem como a definição das conexões ainda não foi descrita. O fluxograma descritivo da operação pode ser visto a seguir (

Figura 3.44).

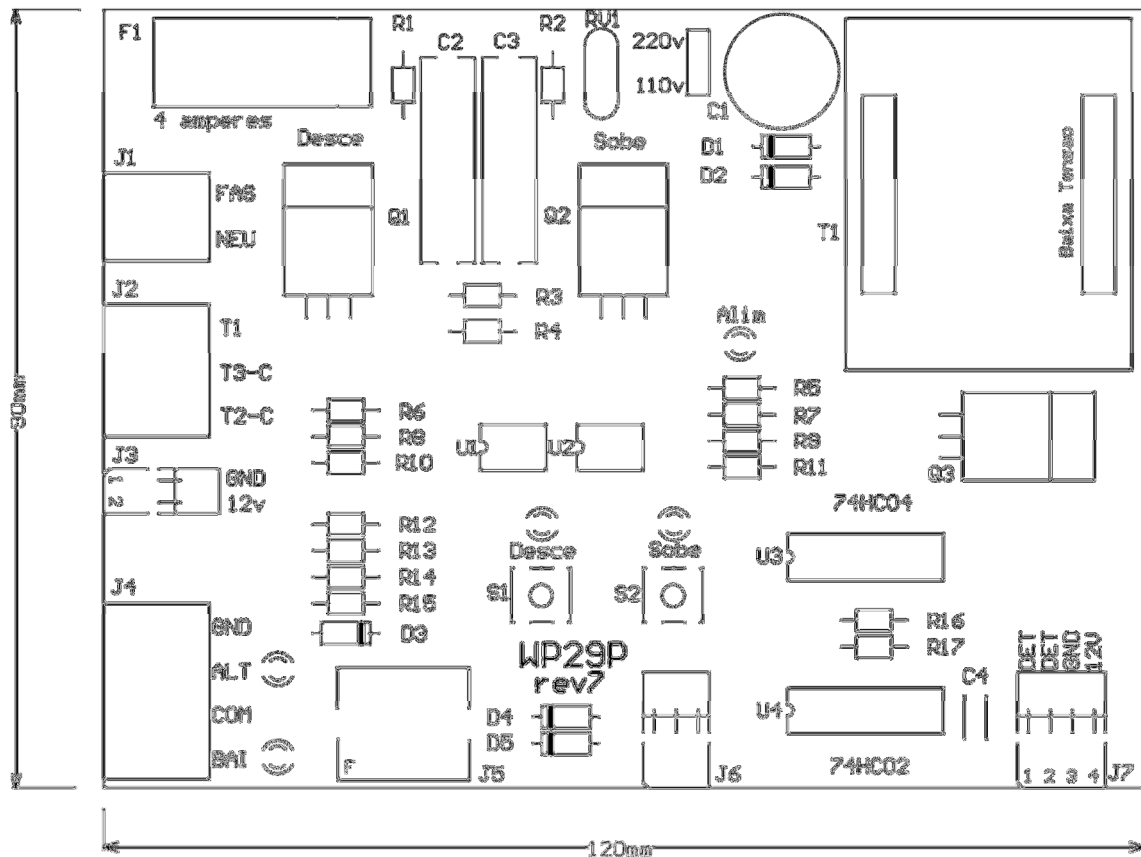


Figura 3.43. Esquema de Montagem de Componentes da Placa WP29



Figura 3.44. Fluxograma da Confeção dos Cabos (Fonte: Próprio autor)

Os equipamentos necessários à montagem dos cabos são:

- Decapador;
- Alicate de Corte;
- Crimpadores;
- Ferro de Solda; e
- Bancada de Testes.

Para cada um dos cabos a serem confeccionados, deve-se cortar o cabo no tamanho especificado, decapar cerca de um centímetro, aplicar uma fina camada de solda e crimpar o cabo utilizando os conectores indicados e os crimpadores adequados. Alguns cabos preveem a utilização de espaguetes termo-retráteis.

Como exemplo de especificação de conectores, a

Figura 3.45 mostra o esquema utilizado na preparação dos conectores serial utilizados no sistema.

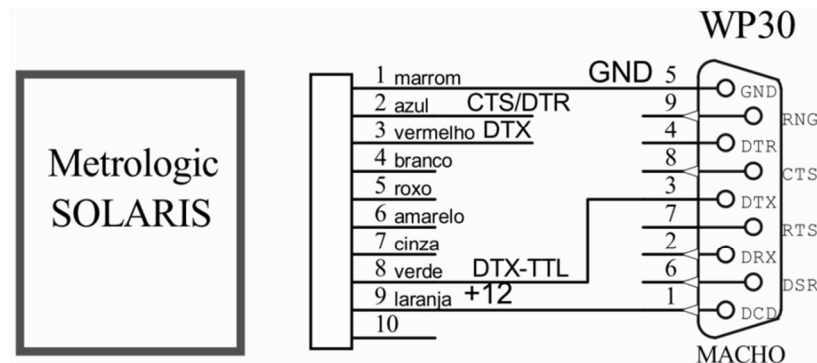


Figura 3.45. Esquema Utilizado nos Conectores Serial do Sistema

Por fim, utiliza-se a bancada de testes da mesma forma como na operação de montagem de placas eletrônicas. Conectando os cabos um a um e verificando seu funcionamento. Devido ao seu baixo custo, cabos não conformes são descartados.

3.3.5 Desenvolvimento de Recursos de Produção

A Figura 3.46 enuncia as etapas da atividade.

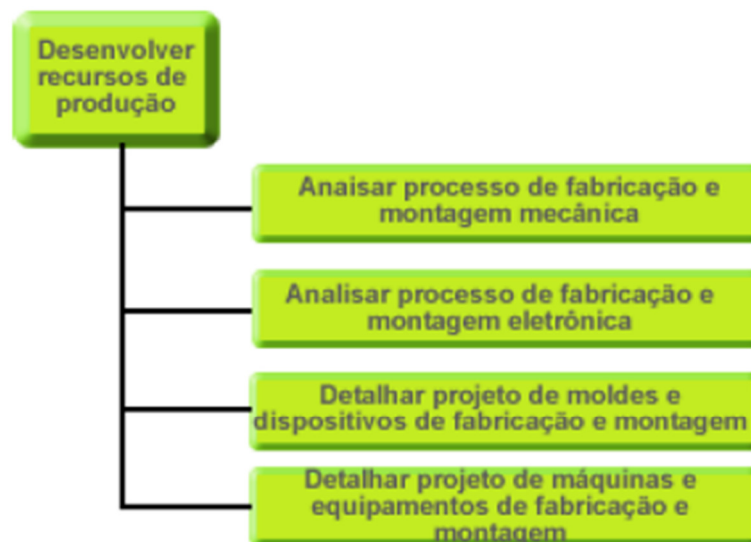


Figura 3.46. Etapas para Desenvolver Recursos de Produção (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 204 – Apêndice A)

Nesta atividade são desenvolvidos os moldes, os dispositivos, os gabaritos e os demais equipamentos de suporte que irão facilitar a produção para que ela seja escalada a nível comercial.

A partir das folhas de processo desenvolvidas nas atividades anteriores, pode ser caracterizado, de acordo com a estrutura de produção da empresa, o ferramental necessário à produção, uma vez que este já foi previsto anteriormente.

No caso do SCA em questão, são utilizados, na montagem, alguns gabaritos que servem de guia para furos nas peças e para manter as posições de determinados componentes mecânicos enquanto realizam-se ajustes por interferência na prensa. Um dos gabaritos utilizados pode ser visto na

Figura 3.47.

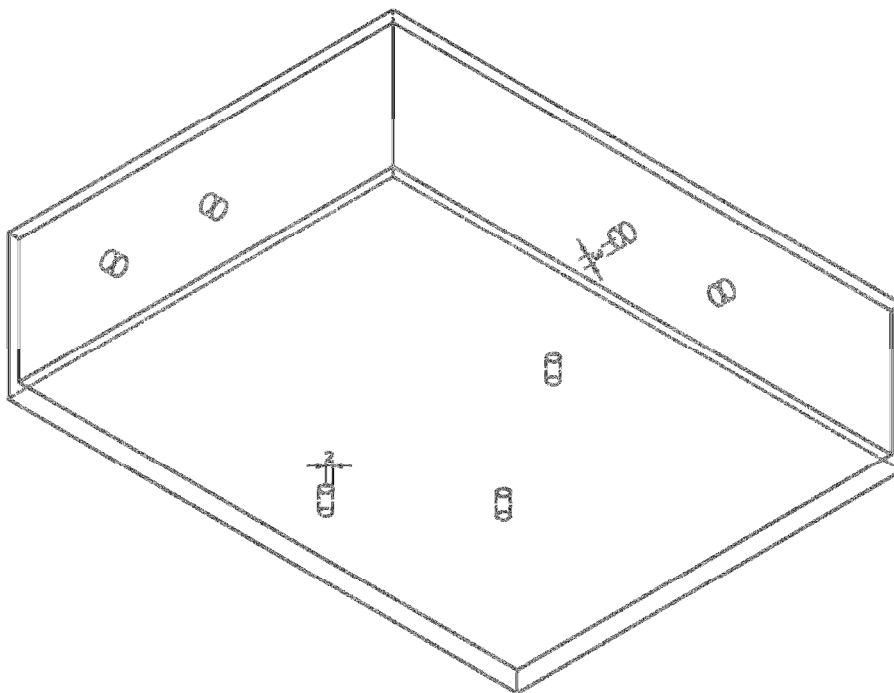


Figura 3.47. Gabarito para Furação da Caixa da WP 29

3.3.6 Reduzir Custos de Manufatura e Montagem

As tarefas da atividade são ilustradas na Figura 3.48.

Apesar da análise DFMA (*Design for Manufacturing and Assembly*) não ter sido contemplada nas atividades de projeto, como geralmente recomendado pela literatura especializada, há métodos para aplicação de DFMA mesmo após o detalhamento das documentações.

De posse da documentação dos procedimentos de montagem e da estrutura do produto, são recalculados os custos relacionados ao produto, como especificado na atividade de detalhamento de custos da fase anterior. Dele são extraídos os custos específicos relacionados à manufatura, montagem e overhead dos componentes, computando-os com base no custo unitário de manufatura – UMC, calculado tomando os custos incorridos em

um período e dividindo-os pelo número de unidades produzidas no período. A partir daí, cada custo é associado a um percentual do UMC.

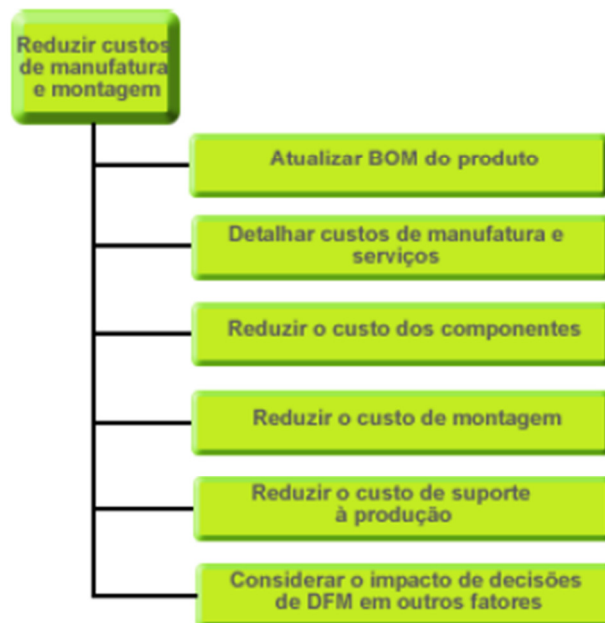


Figura 3.48. Etapas para Reduzir Custos de Manufatura e Montagem (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 206)

Feito isso, estabelecem-se ações para redução de custos. Iniciando com os componentes fabricados, seus custos podem ser reduzidos por meio da eliminação de etapas de manufatura e de usinagem que agregam pouco ou nenhum valor ao produto, devendo-se, contudo, tomar cautela com possíveis reduções de desempenho do produto. Também é possível reduzir custos, explorando-se as economias de escala na produção.

Quanto à montagem, as maiores reduções de custo provavelmente serão advindas da redução dos tempos de trabalho relacionados. Técnicas como o cálculo da eficiência de montagem podem ser úteis para a identificação de procedimentos que deverão ser melhorados. Uma vez identificados, melhorias podem ser sugeridas através de ações como o repasse de parte da montagem para o cliente final e a maximização da facilidade de montagem de componentes.

Já em respeito à redução dos custos de suporte, este objetivo pode ser alcançado através da redução da complexidade do sistema de produção introduzido. Técnicas que podem ser utilizadas para isto incluem o reaproveitamento de soluções aplicadas a outros produtos, modularização dos componentes, utilização dos mesmos fornecedores previamente contratados, redução do número de moldes e matrizes e etc. Além disso, podem ser aplicadas metodologias para redução dos modos de falha de processo, como *error proofing*.

Ao final da atividade, o impacto dos resultados nas outras etapas já executadas deverá ser avaliado e documentado, bem como a realização de alterações nos respectivos documentos.

Durante a execução deste trabalho, foram sugeridas e implementadas algumas novas metodologias de montagem que, ao maximizar a facilidade de sua execução, reduziram os tempos de montagem. Além disso, gabaritos foram aprimorados para que a montagem pudesse se aproximar mais de uma produção em série.

3.3.7 Analisar Modos de Falha de Processo

As tarefas da atividade podem ser observadas na Figura 3.49.

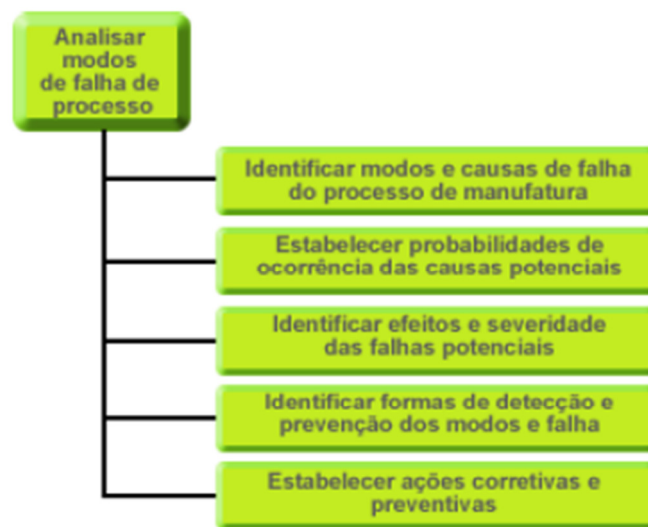


Figura 3.49. Etapas para Analisar Modos de Falha de Processo (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 209 – Apêndice A)

Com o objetivo de reduzir os modos de falha na fabricação e montagem dos produtos, o MRM sugere a aplicação da FMEA de processo ao sistema produtivo.

Seguindo a técnica, elencam-se os possíveis modos de falha de processo potenciais, bem como suas possíveis causas. Em seguida, estimam-se suas probabilidades, a gravidade das consequências e as chances de que a falha passe despercebida. Seguindo tabelas de referência disponíveis na literatura, como pode ser visto em NUMA (www.numa.org.br), obtém-se os índices SOD (Severidade, Ocorrência e Detecção) que, quando multiplicados, resultam em um número de prioridade de risco (RPN).

De posse desse número, ao qual podem ser estabelecidos valores limites aceitáveis, podem, também, ser estabelecidas prioridades ao tratamento dos modos de falha mais críticos.

Esta atividade pode ocasionar mudanças nos documentos já gerados até o momento, principalmente nos documentos de orientação das etapas de produção. Tais mudanças deverão ser analisadas e documentadas.

O fato de o produto em questão já estar em produção, facilita a aplicação da FMEA, porque os modos de falha que já ocorrem podem ser mais profundamente analisados, reduzindo o grau de inferência necessário para a execução da atividade.

Foram identificadas quatro principais falhas decorrentes dos procedimentos de fabricação e montagem do sistema. A Tabela 3.9 apresenta uma FMEA simples para estes modos.

Tabela 3.9. FMEA de Processos Antes de Intervenção

Modo de Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	RPN
<i>Montagem invertida do borne do motor</i>	8	9	2	144
<i>Montagem errada dos rolamentos</i>	3	6	8	144
<i>Pressão muito alta no parafuso da articulação</i>	3	8	5	120
<i>Soldagem de componentes com curto circuito</i>	9	6	1	54

Quando se aplica uma pressão muito alta no parafuso de montagem da articulação, a barra da barreira cede e entorta, por ser de alumínio. A melhor solução para este problema é a utilização de um torquímetro para limitar a força aplicada.

A conexão do motor à placa de controle da cancela (WP 29) é realizada através de um borne de quatro pinos. Como, por erro de projeto, a configuração destes quatro pinos é diferente entre diferentes produtos, esta configuração é frequentemente realizada erroneamente. As melhores soluções para este problema são: a montagem no borne somente na fase de montagem da cancela (em oposição à fase de preparação do motor) como solução temporária; e, numa solução mais permanente, homogeneização da configuração entre diferentes produtos.

Ao montar os rolamentos em suas respectivas partes por interferência, com frequência ocorre, por má distribuição da pressão, a perda de parte da mobilidade do mesmo. Por ser de pouco impacto, tal falha quase sempre passa despercebida, mas afeta o desempenho final do sistema. Para minimizar este problema, foi necessário, além da orientação para maior atenção na inspeção do elemento após a montagem, projetar gabaritos que distribuíssem melhor a pressão e, portanto, mais adequados à montagem.

No caso de montagem de placas com curto circuito, o procedimento de testes já garante o não seguimento da peça ao longo dos procedimentos de produção. No entanto, a ocorrência tende a diminuir de acordo com a experiência adquirida pelo montador de placas.

Após a intervenção, os RPN foram recalculados e estão expostos na Tabela 3.10, onde pode-se notar uma significativa redução nos mesmos.

Tabela 3.10. FMEA de Processos Após a Intervenção

<i>Modo de Falha</i>	Severidade	Ocorrência	Deteção	RPN
<i>Montagem invertida do borne do motor</i>	8	4	2	64
<i>Montagem errada dos rolamentos</i>	3	4	5	60
<i>Pressão muito alta no parafuso da articulação</i>	3	4	5	60
<i>Soldagem de componentes com curto circuito</i>	9	6	1	54

3.3.8 Projeto do Controle de Qualidade do Processo Produtivo

Na Figura 3.50 podem ser vistas as tarefas da atividade.

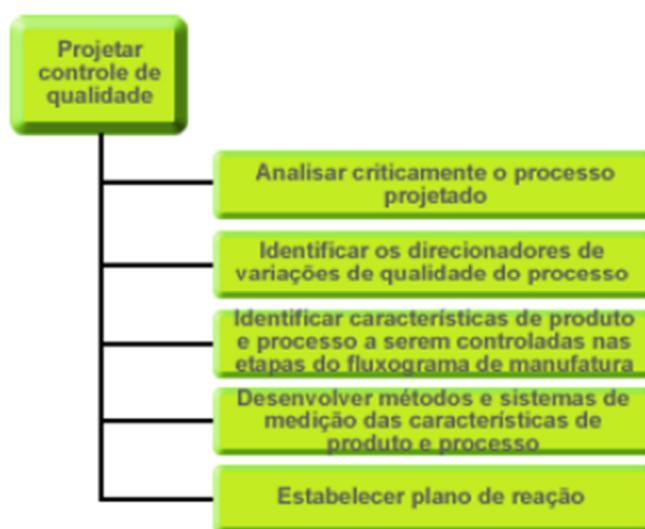


Figura 3.50. Etapas para Projetar Controle de Qualidade do Processo Produtivo (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 210)

Esta atividade tem por objetivo maximizar os índices de capacidade dos processos envolvidos na montagem e fabricação do produto. Destina-se, portanto, a garantir que os resultados obtidos na mensuração de características do produto apresentem a menor variação possível em torno dos valores-meta especificados.

O primeiro passo para a realização do controle de qualidade é a identificação dos direcionadores de variação da qualidade de cada item do fluxograma de manufatura. Em geral, os principais direcionadores são: preparação da máquina, processos dominados pela máquina utilizada, dispositivos de fixação utilizados, conhecimento do operador, materiais utilizados e ambiente de montagem.

Em seguida, identificam-se as características críticas do produto que deverão ser monitoradas e cuja variação deverá ser reduzida. Simultaneamente, deverão também ser escolhidos os métodos de medição que serão utilizados para auferir tais características. Caso seja necessário um controle mais rígido da capacidade do processo, a literatura recomenda o controle estatístico de processo (CEP), que envolve cálculos de capacidade para cada processo. No entanto, existem métodos mais simples como, por exemplo, a inspeção.

Deve-se, finalmente, estabelecer os planos de reação, para evitar que as variações da produção resultem em produtos não-conformes.

No caso do produto em estudo, não foram identificadas fontes de variação que pudessem comprometer a qualidade do produto. Assim, considerando que os procedimentos documentados sejam seguidos corretamente e que o processo de manufatura ocorra sob supervisão adequada, o processo apresenta capacidade satisfatória aos interesses da empresa, constituindo, dessa forma, controle de qualidade de processo por inspeção, em adição aos procedimentos de testes já especificados.

3.3.9 Refinar Cadeia de Suprimentos e Documentação de Aquisição

As tarefas necessárias à execução da atividade podem ser observadas na Figura 3.51.

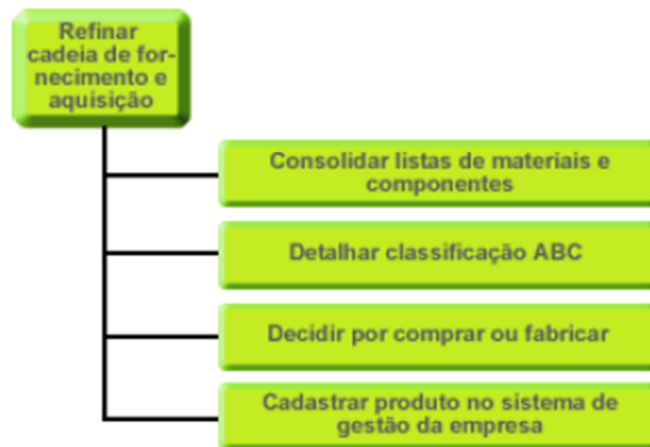


Figura 3.51. Etapas para Refinar Cadeia de Suprimentos e Documentação de Aquisição
(Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 212)

Esta atividade tem como objetivo principal a inserção dos itens no sistema de ERP da empresa, de modo a facilitar a gestão de estoques, agilizar aquisições e manter a integridade das configurações do produto.

Para determinar a importância do controle de cada item do estoque, pode-se utilizar a curva ABC para classificação de itens em suas devidas categorias.

Assim, a primeira etapa a ser cumprida é a consolidação das listas de materiais, seguida da distribuição da curva ABC, do refinamento da análise *make or buy* realizada na fase de otimização e, por fim, o cadastro do item no sistema de gestão da empresa.

Como exemplo do procedimento executado, a Tabela 3.11 descreve os itens classificados como A (80% do custo) e que, neste caso, correspondem a apenas 2,7% dos componentes utilizados no sistema. No entanto, o cadastro no sistema de gestão não pode ser documentado, uma vez que este ainda se encontra em fase de instalação na empresa.

Tabela 3.11. Componentes “A” da classificação ABC

<i>Part Number</i>	<i>Qtde</i>	<i>Preço</i>	<i>Total</i>	<i>Fornecedor</i>	<i>Acum.</i>	<i>% Acum.</i>
<i>QC Impressora 2013</i>	1	950	950	Bematech	950	9,13347
<i>QC Leitor</i>	1	800	800	Honeywell	1750	16,8248
<i>QM Gabinete 2013</i>	2	750	1500	Comando	3250	31,2460
<i>CM Gabinete 2013</i>	2	650	1300	Comando	4550	43,7445
<i>CC Redutor MKS MR5 2013</i>	2	520	1040	MKS	5590	53,7432
<i>CC Motor Voges 2013</i>	2	500	1000	Voges	6590	63,3574
<i>Mola</i>	2	110	220	Casa das Molas	6810	65,4725
<i>Leitor de proximidade AX-20</i>	2	100	200	Acura	7010	67,3954
<i>QC Fonte 24V 2A</i>	1	90	90	Cotação	7100	68,2607
<i>QF Rolo papel</i>	1	60	60	Silfer	7160	68,8375
<i>CC Laço Detector 2013</i>	4	50	200	Margirius	7360	70,7603
<i>CM Bar Art AnteBraco 2013</i>	2	50	100	Alubras	7460	71,7218
<i>CM Braço 2013</i>	2	50	100	Alubras	7560	72,6832
<i>Receptor fibra</i>	2	50	100	Intertek	7660	73,6446
<i>Transmissor fibra</i>	2	50	100	Intertek	7760	74,6060
<i>CF Biela 2013</i>	2	45	90	Buzas	7850	75,4713
<i>CF Rot Cubo 2013</i>	2	40	80	Ceará	7930	76,2404
<i>CF Red Cubo Manivela 2013</i>	2	37	74	Ceará	8004	76,9519
<i>QF Cubo rolo papel</i>	1	37	37	Ceará	8041	77,3076
<i>CF Acionador Mesa 2013</i>	2	32,43	64,86	Buzas	8105,8	77,9312
<i>CC Corrente 2013</i>	2	30	60	Cotação	8165,8	78,5080
<i>PQD-220</i>	2	30	60	Cotação	8225,8	79,0849
<i>QF Painel frontal acrílico 5mm 2013</i>	1	29,96	29,96	Acrílico	8255,8	79,3729
<i>QF Painel frontal saída 5mm</i>	1	29,96	29,96	Acrílico	8285,7	79,661

3.3.10 Homologar Fornecedores

As etapas da atividade podem ser encontradas na Figura 3.52.



Figura 3.52. Etapas para Homologar Fornecedores (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 214 – Apêndice A)

Do mesmo modo como previsto antes da confecção dos protótipos ALFA e BETA, esta atividade prevê a verificação do processo produtivo do fornecedor e o atendimento dos produtos subcontratados às normas estabelecidas contratualmente pela empresa. No entanto, por se localizar em uma das últimas fases do MRM, o processo desta atividade deve ser mais formalizado.

Onde for necessária, a atividade prevê uma auditoria formal nos subcontratados, incluindo a aplicação de ferramentas de controle estatístico de processos. As *checklists* de recebimento de materiais devem ser revistas e, caso os lotes piloto estejam de acordo com as necessidades da empresa, documentar-se-á a homologação do fornecedor.

No caso do SCA em estudo, não se consideraram necessários procedimentos tão formais para homologação, pois, estando o produto já em fabricação e não havendo requisitos contratuais muito restritos, a empresa considera que seus fornecedores já operam em um nível bastante satisfatório, bastando uma revisão dos *checklists* para concluir esta atividade.

3.3.11 Receber e Instalar Recursos de Homologação

Na Figura 3.53 são ilustradas as tarefas da atividade.

Com a finalidade de possibilitar a homologação do processo produtivo da empresa, esta atividade prevê a organização final dos recursos necessários à produção do protótipo de homologação e, conseqüentemente, à produção em escala.

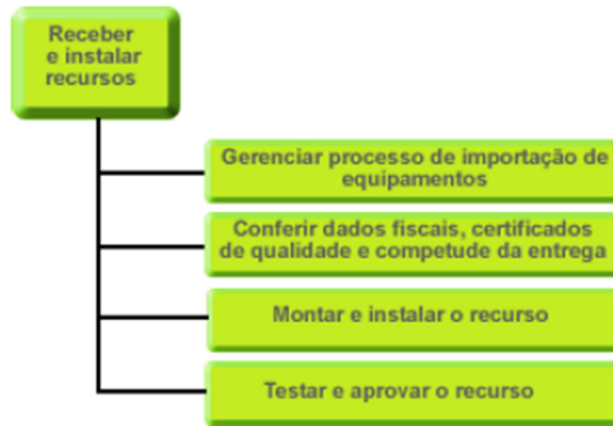


Figura 3.53. Etapas para Receber e Instalar Recursos de Homologação (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 216 – Apêndice A)

O primeiro passo para a conclusão da atividade é o gerenciamento do processo de importação de equipamentos, caso seja aplicável ao processo produtivo em questão. Cada equipamento adquirido é, então, auditado para conferência de dados fiscais, certificados, manuais e outros documentos presentes na entrega que deverão ser arquivados para uma eventual necessidade futura.

Em seguida, instala-se o recurso em questão na linha de montagem da empresa, culminando em seu teste para verificação da adequabilidade ao processo.

Uma vez que os recursos de produção já foram instalados e estão em funcionamento na empresa, esta atividade não se adequa ao presente estudo.

3.3.12 Fabricar, Montar e Testar Protótipo de Homologação

A ordenação das tarefas da atividade pode ser vista na Figura 3.54.



Figura 3.54. Etapas para Fabricar, Montar e Testar Protótipo de Homologação (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 218 – Apêndice A)

Esta fase de protótipo apresenta uma característica especial, por ser motivado a testar o sistema de produção da empresa, ao invés de focar-se no produto em si, como normalmente ocorre. Assim, o protótipo de homologação não consiste em um único produto, mas em um lote, de modo que os testes executados tenham significância estatística. O objetivo da atividade é verificar se o departamento de manufatura da empresa, operando em condições normais, é capaz de manter as especificações dos produtos obtidos. Também é verificada a viabilidade de se produzir em escala comercial.

Nesta atividade deve ser planejado o tamanho do lote a ser produzido e os operadores deverão ser treinados. Por fim, os protótipos deverão ser produzidos e testados, calculando-se a capacidade dos processos de fabricação.

Como ocorrido com as outras atividades de prototipação previstas no MRM, esta atividade pode ser omitida, uma vez que o produto já é produzido com sucesso em escala.

3.3.13 Testar Protótipo no Mercado

Os procedimentos para a realização da atividade podem ser encontrados na Figura 3.55.

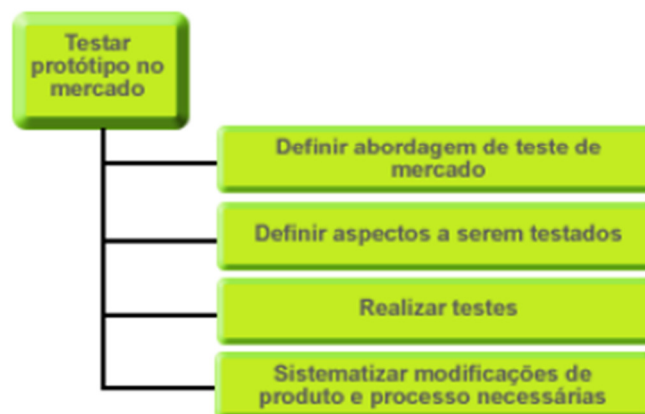


Figura 3.55. Etapas para Testar Protótipo no Mercado (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 220 – Apêndice A)

Esta atividade é responsável pela realização dos testes de uso do produto junto aos clientes, de modo a avaliar como consumidores e revendedores reagirão ao manuseio, utilização e compra do produto real, bem como a dimensão do mercado para o produto em questão.

Pela sua natureza mercadológica, esta atividade apresenta significativa importância nos casos onde o produto apresenta grandes inovações, de modo que a aceitação e o modo como os consumidores aprendem a utilizar o produto podem ter grandes impactos econômicos na empresa. Por outro lado, produtos sob encomenda tornam essa atividade completamente desnecessária.

Primeiramente, definem-se os procedimentos de teste a serem utilizados, como apresentação em *show rooms* e comercialização em pequena escala em um mercado geográfico limitado. A seguir, os aspectos que serão foco do teste deverão ser decididos, bem como a forma de realização dos testes.

Por fim, tendo em mãos os resultados dos testes, avaliam-se as possíveis mudanças que poderão ser realizadas no produto para melhor adequação ao mercado, bem como suas implicações no projeto de produto e de processo.

Esta atividade também pode ser desconsiderada neste trabalho pelo fato de que o produto, além de não apresentar diferenças significativas em relação a outros no mercado, já apresenta alto grau de aceitação por parte dos clientes.

3.3.14 Verificar Qualidade da Homologação do Produto

Na Figura 3.56 podem ser observadas as tarefas da atividade.



Figura 3.56. Etapas para Verificar Qualidade da Homologação do Produto (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 222 – Apêndice A)

Como ocorre em outras fases do modelo, esta atividade prevê a apresentação dos resultados obtidos e atualizados, durante a fase de homologação, à direção competente, que, no caso, corresponde à gerência da linha de produtos. Esta utilizará a documentação adequada para o planejamento apropriado das próximas fases do MRM, não constituindo um *gate* decisório. O planejamento e os planos de *marketing*, por outro lado, deverão ser apresentados à alta direção.

Inicialmente, analisa-se o *checklist* da fase, seguido da análise do cumprimento dos seus critérios de qualidade. Atualizam-se, então, os dados do planejamento do projeto de modo a possibilitar a reformulação do cronograma para as fases seguintes junto ao pessoal de marketing.

Como foi feito com sua equivalente na fase de otimização, a execução desta atividade de verificação foi avaliada como não necessária no âmbito do presente trabalho.

3.3.15 Documentar e Registrar Homologação do Processo

As tarefas da atividade podem ser observadas na Figura 3.57.



Figura 3.57. Etapas para Documentar e Registrar Homologação do Processo (Fonte: BARBALHO, *op. cit.*, p. 223 – Apêndice A)

Nesta atividade, sintetizam-se e organizam-se os resultados obtidos ao longo da fase. Devem, também, ser atualizados os registros históricos referentes à sua conclusão.

Ao longo desta atividade, a evolução da fase também é documentada para poder ser avaliada posteriormente quanto ao seu desempenho, através de uma discussão entre a equipe da fase, a gerência de projetos e o pessoal da engenharia de processos. Assim, melhorias são discutidas para aplicação em projetos futuros da empresa.

Como em outras atividades de documentação, este trabalho de graduação já constitui a execução desta atividade, uma vez que consolida e apresenta os resultados obtidos pelo uso das melhores práticas dessa fase ao longo do texto.

3.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção são desenvolvidas as metodologias de análise dos resultados da intervenção proposta durante o trabalho.

De forma similar à utilizada por BARBALHO (*op. cit.*), foi aplicado o conceito de capacidade de processos para avaliar a área de processos “Projeto da Produção e Suprimentos” antes e depois do desenvolvimento do trabalho.

De acordo com SANDERSON (*op. cit.*) apud CHRISSIS et al. (2003), os níveis de capacidade podem receber seis valores distintos:

- “Incompleto (nível 0) – quando o processo não é realizado ou apenas parcialmente;
- Realizado (nível 1) – o processo é capaz de gerar os resultados dele esperados;
- Gerenciado (nível 2) – processo planejado, provido dos recursos previstos, monitorado, controlado e revisado;
- Definido (nível 3) – quando o processo planejado é baseado em padrões organizacionais e está sob melhoria contínua;
- Quantitativamente Gerenciado (nível 4) – o processo é controlado usando estatística; e
- Otimizado (nível 5) – processo melhorado com base no entendimento consensual das causas de variabilidade estatística.”

A estes níveis, foi adicionado à avaliação a classificação “NA”, referente a todos os processos cujo desenvolvimento não foi contemplado pelo trabalho ou aqueles em que, devido a fatores diversos, não puderam ser reelaborados. A Tabela 3.12 apresenta a legenda para a classificação das atividades de Otimização (Tabela 3.13) e Homologação (Tabela 3.14).

Tabela 3.12. Legenda para a Classificação das Atividades

	Cor
<i>Não se Aplica</i>	Preto
<i>Incompleto</i>	Vermelho
<i>Realizado</i>	Laranja
<i>Gerenciado</i>	Amarelo
<i>Definido</i>	Verde Claro
<i>Quantitativamente Gerenciado</i>	Verde Escuro
<i>Otimizado</i>	Azul

Tabela 3.13. Classificação das Atividades de Otimização

<i>Atividade</i>	Antes	Depois
<i>Otimizar Teoricamente o Sistema</i>	Red	Yellow
<i>Definir Sistemas Secundários</i>	Red	Yellow
<i>Projetar Interface Homem Máquina</i>	Yellow	Yellow
<i>Projetar Design Industrial</i>	Yellow	Yellow
<i>Projetar Carenagem</i>	Yellow	Yellow
<i>Implementar Análise de Confiabilidade do Produto</i>	Red	Red
<i>Projetar Tolerâncias</i>	Red	Yellow
<i>Projeto Macro do Processo para Tolerâncias Especificadas</i>	Red	Yellow
<i>Planejamento das Atividades de Marketing de Longo Prazo</i>	Black	Black
<i>Refinar as Carecterísticas da qualidade</i>	Red	Red
<i>Construir Protótipo Funcional BETA</i>	Black	Black
<i>Acompanhar e Desenvolver Parcerias de co-desenvolvimento</i>	Red	Yellow
<i>Detalhar Análise make or buy</i>	Red	Yellow
<i>Receber e Integrar Partes subcontratadas</i>	Yellow	Yellow
<i>Integrar e Testar Protótipo</i>	Black	Black
<i>Realizar Testes de Protótipo no Mercado</i>	Black	Black
<i>Realizar Modificações no Produto</i>	Yellow	Yellow
<i>Sistematizar Processo de Manufatura e Montagem</i>	Red	Yellow
<i>Projetar Ferramental e Dispositivos para Partes Finalizadas</i>	Red	Yellow
<i>Atualizar Árvore de produto e Custos</i>	Red	Yellow
<i>Verificar Qualidade da Otimização do Produto</i>	Black	Black
<i>Manter Registros de Projeto e Otimização do Produto</i>	Red	Yellow
<i>Verificar Andamento do Projeto e Negócio</i>	Black	Black
<i>Atualização do Planejamento do Projeto</i>	Black	Black

Tabela 3.14. Classificação das Atividades de Homologação

Atividade	Antes	Depois
<i>Desdobrar Requisitos de Produto em Requisitos de Processo</i>		
<i>Projetar giga de teste de sistema de Controle</i>		
<i>Gerar árvore de produtos Comercial</i>		
<i>Gerar Documentação de Instalação de Software</i>		
<i>Gerar Documentação de Configuração de Computador</i>		
<i>Gerar Documentação de Carregamento e Teste de Software</i>		
<i>Planejar Processo de Manufatura macro</i>		
<i>Detalhar Manufatura Mecânica</i>		
<i>Gerar lista de Componentes Eletrônicos</i>		
<i>Gerar Lista de Componentes Mecânicos</i>		
<i>Revisar Testes de Verificação de produto</i>		
<i>Projetar Embalagem</i>		
<i>Projeto de Ferramentas e Dispositivos Tardios</i>		
<i>Planejar Produção do lote-piloto</i>		
<i>Estimar Custos de Manufatura e Serviços</i>		
<i>Reduzir o custo de componentes</i>		
<i>Reduzir o custo de montagem</i>		
<i>Reduzir o custo de suporte à produção</i>		
<i>Considerar o impacto de decisões de DFM em outros fatores</i>		
<i>Gerar Documentação Detalhada de Montagem Eletrônica</i>		
<i>Revisar Documentação de Montagem Mecânica</i>		
<i>Receber e Instalar Recursos</i>		
<i>Analisar Riscos de Processo</i>		
<i>Produção, montagem e integração do lote piloto</i>		
<i>Cálculo de Capabilidade de Processo</i>		
<i>Realizar testes de uso</i>		
<i>Realizar Mudanças nas especificações de produto e processo</i>		
<i>Planejar a produção comercial</i>		
<i>Planejar Controle de Qualidade</i>		
<i>Treinamento de Operadores</i>		
<i>Validação de Processo</i>		
<i>Desenvolver Capacidade de Produção Comercial</i>		
<i>Congelar Configuração de projeto de produto e processo</i>		
<i>Documentar projeto do processo</i>		
<i>Manter Registros sobre o projeto do processo</i>		
<i>Verificar Qualidade do Projeto do Processo</i>		
<i>Verificar Andamento do Projeto e Negócio</i>		
<i>Atualização do Planejamento do Projeto</i>		

Desprezando-se as células pretas e calculando a média dos valores de capacidade das células restantes segundo as faixas descritas anteriormente, pode-se chegar aos valores médios de capacidade das atividades antes e depois da intervenção, possibilitando uma

avaliação quantitativa dos resultados do trabalho. Estes valores podem ser observados no gráfico da Figura 3.58.

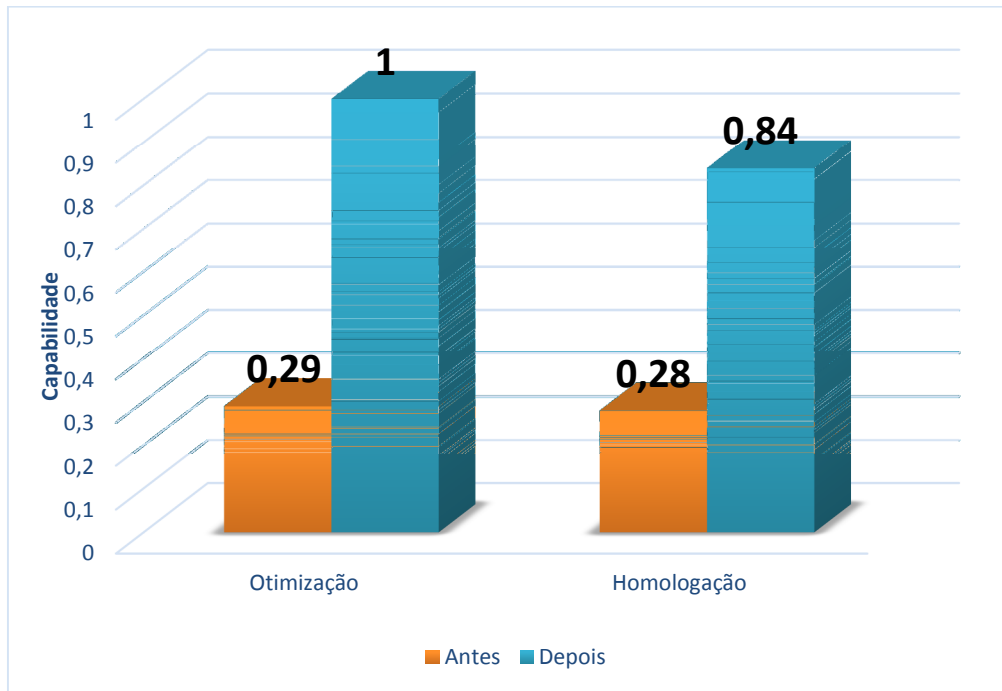


Figura 3.58. Gráfico Demonstrativo dos Valores de Capacidade Antes e Depois da Intervenção

Apesar de os valores serem ainda muito baixos, nota-se uma melhora proporcional substancial do nível médio de capacidade dos processos da empresa, equivalentes a 240% para as atividades relativas à fase de Otimização e de 200% para as atividades referentes à de Homologação.

O sucesso obtido no desenvolvimento do trabalho também pode ser verificado na entrevista realizada com o presidente e proprietário da empresa, Washington Póvoa, transcrita abaixo.

Como você caracterizaria o gerenciamento da produção e do estoque na WP?

“No gerenciamento de produção e estoque da WP foi tentado fazer a implementação a partir do software Empresário3, porém a complexidade da operação e o nível de detalhamento exigido tornou-o inviável. Com o trabalho executado pelo estagiário, houve a possibilidade de padronização de códigos para área de vendas, produção e estoque, e assim facilitar a utilização de uma ferramenta mais simples de controle.”

Na sua opinião, quais os principais fatores que contribuíram para a melhoria de capacidade dos processos?

“A formalização da documentação de produto (listas de material e desenhos técnicos), confecção de gabaritos, e adoção de numeração individual nas partes produzidas permitiu padronizar e rastrear possíveis inconformidades.”

Do ponto de vista do seu negócio, quais os benefícios que você obteve ou ainda espera obter através do trabalho realizado?

“Fundamentalmente a melhoria da qualidade e redução de perdas no processo produtivo.”

CAPÍTULO 4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foi apresentada uma intervenção realizada no processo produtivo da empresa WP Inovações Tecnológicas que, através da aplicação das fases de Otimização e Homologação do Modelo de Referência Mecatrônico, alcançou os objetivos de melhora na capacidade das atividades relacionadas à área de processos de Projeto da Produção e Suprimentos.

A dificuldade de focar em assuntos de gestão, tendo em vista tantas dificuldades e problemas técnicos a serem resolvidos, apresentada por empresas de pequeno porte foi superada com o auxílio do MRM. Isto se deve à natureza bastante linear que o modelo apresenta a aplicação das ferramentas, facilitando e guiando este difícil processo de transição.

A metodologia de pesquisa ação escolhida mostrou-se adequada ao presente trabalho, uma vez que alcançou os objetivos propostos e proporcionou uma grande integração entre o pesquisador e a empresa, facilitando o diálogo e a aplicação das ferramentas.

O estudo de modelos de referência e do PDP em geral auxiliou um melhor entendimento das atividades englobadas neste tão importante processo organizacional. Isto proporcionou um ponto de vista holístico para a análise e a resolução do problema, de modo que as consequências de cada ação e as interligações entre atividades de diferentes fases pudessem ser observadas ao longo da intervenção.

Neste âmbito, o MRM provou ser a ferramenta ideal para este estudo, pois todas as inter-relações, entradas e saídas das atividades são minuciosamente descritas no modelo, inclusive oferecendo *templates* para diversos documentos utilizados no PDP.

O fato de a empresa escolhida para o desenvolvimento do estudo não apresentar, inicialmente, nenhuma estruturação para o seu PDP ofereceu tantos pontos positivos quanto negativos. Enquanto, por um lado, isto proporcionou uma abertura maior para a adoção das melhores práticas sugeridas pelo modelo, aumentou significativamente o volume de trabalho necessário para organizar a produção. Esta dificuldade foi realçada pela pouca experiência do pesquisador.

Outro obstáculo ao desenvolvimento do trabalho foi o curto espaço de tempo disponível para a execução de tantas atividades. Devido ao início tardio do estágio por questões burocráticas, menos de três meses estiveram disponíveis para a finalização do estudo. Isto fez com que ferramentas importantes para a obtenção de resultados melhores tivessem que ser negligenciadas, como a análise de confiabilidade. Esta pequena janela temporal também

impossibilitou a implementação de mudanças mais radicais na estrutura e nos subsistemas do produto.

Houve, ainda, outra característica não ideal ao desenvolvimento da pesquisa. Como o MRM pressupõe que, ao chegar às fases de Otimização e Homologação, as outras fases do modelo já foram aplicadas, houve uma grande defasagem na documentação que deveria estar disponível como entrada às atividades e a realidade. Assim, algumas informações importantes para o trabalho, como o levantamento de métricas de qualidade e suas especificações não puderam ser utilizadas. Idealmente, as outras fases já teriam sido aplicadas ou, dados o cenário e o tempo adequados, desenvolvê-las em um novo produto.

A partir do trabalho realizado, há algumas possíveis sugestões para desenvolvimento de trabalhos futuros. No âmbito do sistema estudado, a atividade de análise de confiabilidade oferece grandes benefícios práticos, bem como representa uma área onde o estudo pode ser bastante aprofundado, de acordo com a intenção do pesquisador.

Outra possibilidade é o desenvolvimento de novos equipamentos e sistemas para a integração ao sistema estudado, como, por exemplo, o quiosque de autoatendimento para elevar o grau de automação do SCA. Em outra abordagem, o estudo de aplicação de novas tecnologias para substituir as presentes no sistema, como o *Near Field Communication* (NFC) ou, possivelmente, a própria *tag* de RFID ativa que deverá ser instalada nos carros para o funcionamento do SINIAV.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINHO, O. L. *et al.* **Tolerâncias, ajustes, desvios e análise de dimensões.** São Paulo/SP: Editora Edgrad Blücher, 1977.

BARBALHO, S. C. M. **Modelo de referência para o desenvolvimento de produtos mecatrônicos:** proposta e aplicações. Tese(Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos 2006.

BRADLEY, D. A. *et al.* **Mechatronics:** electronics in products and processes. London, United Kingdom, Chapman and Hall, 1991.

_____. **Mechatronics and the design of intelligent machines and systems.** Cheltenham, United Kingdom, Stanley Thornes, 2000.

BROWN, A. S. **Who owns mechatronics?** Mechanical Engineering Magazine. 2008.

BUUR, J. **Mechatronics design in Japan:** a study of Japanese design methods and working practice in Japanese Companies. Technical Report, 1989

_____. **A theoretical approach to mechatronical design.** Institute for Engineering Design. Technical University of Denmark, Doctoral Thesis, 1990.

CHRISSIS, M. B. *et al.* CMMI: **Guidelines or process integration and product improvement.** Boston, Massachussets, United States, 1991.

CRAIG, K. **Mechatronics Multidisciplinary.** Disponível em: <http://multimechatronics.com/>. Acesso em: 27/03/2013.

HISTAND, M. e ALCIATORE, D. **Introduction to Mechatronics and Measurement Systems.** Colorado: McGraw-Hill, 3 edition, 2006.

MORESI, E. (Org.). **Metodologia de Pesquisa.** Brasília/DF, Universidade Católica de Brasília. Mar. 2003.

NUMA, Núcleo de Manufatura Avançada. Disponível em: <http://www.numa.org.br/>. Acesso em 11/03/2013.

PAZELLI, H. C. **Desenvolvimento de Equipamento de Testes Eletrônicos para Câmera Multiespectral do Satélite CBERS.** Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

RÊGO, L. R. S. e DAMASCENO, T. N. **Estudo de Modelos de Referência para o Desenvolvimento de Produtos Mecatrônicos.** Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2011.

ROZENFELD, H. *et al.* **Gestão de Desenvolvimento de Produtos**. São Paulo/SP: Editora Saraiva, 2006.

RZEWSKI, G. On Conceptual Design of Intelligent Mechatronic Systems. **Mechatronics**, 13, pp. 1029-1044, 2003.

SILVA, S. L. *et al.* **Critical success factors on product development management in Brazilian technology based companies**. 2007. ISPE INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCURRENT ENGINEERING, 14. (CE 2007).

SINIAV – SISTEMA NACIONAL DE IDENTIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE VEÍCULOS. Disponível em: <http://siniav.net/>. Acesso em: 27/03/2013.

SLACK *et al.* **Administração da Produção**. Trad. Maria Teresa Corrêa de Oliveira; Rev. Henrique Luiz Corrêa. 3 ed São Paulo, Atlas, 2009.

VESELY, B. **Fault Tree Analysis (FTA): Concepts and Applications**. NASA Headquarters. Notas de Aula. Disponível em: <http://www.hq.nasa.gov/office/codeq/risk/docs/ftacourse.pdf>. Acesso em: 23/03/2013.

WP INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS. Disponível em: <http://wp.com.br/>. Acesso em: 12/03/2013.