

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

Guilherme Branco Loureiro

**SISTEMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE
UM PORTADOR DE SISTEMAS ULTRASSÔNICOS PARA
INSPEÇÃO DE UNIÕES SOLDADAS**

Florianópolis
2013

Guilherme Branco Loureiro

**SISTEMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE
UM PORTADOR DE SISTEMAS ULTRASSÔNICOS PARA
INSPEÇÃO DE UNIÕES SOLDADAS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Acires Dias

Coorientador: Prof. Dr. Tiago L. F. Costa
Pinto

Florianópolis
2013

Catalogação na fonte elaborada pela biblioteca da
Universidade Federal de Santa Catarina

Loureiro, Guilherme Branco

Sistematização do processo de desenvolvimento de um portador de sistemas ultrassônicos para inspeção de uniões soldadas / Guilherme Branco Loureiro ; orientador, Acires Dias ; co-orientador, Tiago L. F. Costa Pinto. - Florianópolis, SC, 2013.
140 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

Inclui referências

1. Engenharia Mecânica. 2. Escâner Ultrassom. 3. END. 4. Metodologias de Desenvolvimento de Produtos. 5. Gestão do Projeto. I. Dias, Acires. II. Pinto, Tiago L. F. Costa. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. IV. Título.

Guilherme Branco Loureiro

**SISTEMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE
UM PORTADOR DE SISTEMAS ULTRASSÔNICOS PARA
INSPEÇÃO DE UNIÕES SOLDADAS**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Engenharia Mecânica”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Florianópolis, 28 de novembro de 2013.

Prof. Armando Albertazzi Gonçalves Jr., Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof.^a Acires Dias, Dr. Eng.
Orientador

Prof.^a Tiago L. F. Costa Pinto, Dr. Eng.
Coorientador

Prof. Carlos Enrique Niño Bohórquez, Dr. Eng.

Prof. Hazim Ali Al-Qureshi, Dr. Eng.

Prof. Jonny Carlos da Silva, Dr. Eng.

À minha amada família

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela beleza e inteligência do universo.

À minha família, por todo amor e apoio emocional.

Aos meu mestres Acires e Tiago, pela orientação, paciência, compreensão e sabedoria. E sobretudo, por me esclarecer, com maestria, que a real importância do mestrado é o desenvolvimento pessoal e não a produção de um trabalho acadêmico.

À Cleide, pelo conhecimento técnico e auxílio com a validação do protótipo.

Aos meus amigos, sempre presentes com seus ouvidos atentos em todos os momentos sensíveis da dissertação. E também, pelas fogueiras, festas, e dias de praia e surf compartilhados.

Ao meu amigo Fernando Stori, da Metalúrgica IME'S, pelo suporte durante a fabricação do protótipo e incentivo à minha vinda à Florianópolis.

Ao Joe e Waltair, do laboratório USICON, e ao Roberto, do NEDIP, pelo suporte na fabricação do protótipo.

Ao Mathieu Bouhelier, da empresa M2M do Brasil, pela proposição do projeto do Portador, esclarecimento de dúvidas e suporte financeiro no desenvolvimento deste projeto.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro na forma de bolsa de mestrado.

Ao Francisco Puga e ao Luis Carlos Moreno pela revisão dos desenhos técnicos de fabricação e montagem do protótipo.

O grande objetivo da vida não é o conhecimento, mas a ação.

(Thomas Henry Huxley)

RESUMO

O objetivo desta dissertação de mestrado é apropriar as metodologias de projeto, utilizadas na pesquisa, para o desenvolvimento de um Portador de Sistemas Ultrassônicos para a Inspeção de Uniões Soldadas. Esse Portador visa suprir uma necessidade identificada em empresas que realizam o serviço de inspeção de soldas, em dutos e chapas planas por meio de tecnologia ultrassônica. Grande parte das empresas que atuam no Brasil fazem a inspeção com equipamentos importados e outros adaptados, mas com limitações em relação a custo, segurança, portabilidade, facilidade de operação, ergonomia, versatilidade operacional etc., que motivaram este desenvolvimento. O Portador foi desenvolvido utilizando metodologias de desenvolvimento de produtos, estruturada em fases de projeto: Planejamento, Projeto Informacional, Projeto Conceitual e Projeto Preliminar. Essas fases são constituídas pelos seguintes elementos de projeto: Atividades, Documentos, Métodos e Técnicas, e Usuários, que se mostraram essenciais à organização da sistemática de desenvolvimento do Portador. O protótipo funcional do Portador foi apresentado e testado por profissionais que atuam na área de ensaios não destrutivos para julgarem características de ser: versátil, portátil, seguro, baixo custo e ergonômico, cumprindo as necessidades declaradas pelos clientes nacionais entrevistados. As soluções desenvolvidas foram julgadas adequadas para o propósito do projeto. Ressalta-se, contudo, que a principal contribuição deste trabalho é a sistematização do Processo de Desenvolvimento do Portador, que pode servir de base para o planejamento, projeção, execução e validação de outros produtos semelhantes.

Palavras-chave: Escâner Ultrassom. END. Metodologias de Desenvolvimento de Produtos. Gestão do Conhecimento. Gestão do Projeto.

ABSTRACT

The goal of this master's dissertation is to appropriate the design methodologies employed in research for the development of an Ultrasound Systems Carrier for Weld Inspection.

This Carrier aims to fulfill a need identified in companies which perform the weld inspection of ducts and flat plates, by ultrasound technologies.

The majority of these companies perform the inspection with equipment that are often imported or adapted, however, the equipment have limitations due to cost, safety, portability, ease of operation, ergonomics, operational versatility etc., which motivated this development.

The Carrier was developed employing Product Design Methodologies, structured in design phases: Planning, Information Design, Conceptual Design and Preliminary Design. These phases are constituted by four design elements: Activities, Documents, Methods and Techniques, and Users, which demonstrated to be essentials to the organization of the Carrier design systematic.

The functional prototype of the Carrier has been presented to, and tested by professionals that work in the non-destructive inspection domain, to judge the prototype characteristics, of being: versatile, portable, safe, low cost and ergonomic, fulfilling the needs declared by the national clients interviewed.

The solutions developed have been judged appropriate for the purpose of the project.

Yet, the main contribution of this work is the systematization of the Carrier Development Process, which may serve as a base for the planning, designing, execution and validation of other similar products.

Keywords: Ultrasound Scanner. NDT. Product Development Methodologies. Knowledge Management. Project Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.2 - Exemplos de descontinuidades citadas pela norma da Petrobrás	10
Figura 2.3 – Exemplo de um cordão de solda em aço com presença de porosidades	15
Figura 2.4 - Técnica ToFD, exemplificando a difração da onda US na ponta de uma trinca	15
Figura 2.5 - Representação de um cabeçote <i>Phased-Array</i> emitindo um feixe ultrassônico, que permite a identificação de descontinuidades do material, evidenciadas por linhas tracejadas	16
Figura 2.6 - Foto do aparelho ultrassom ‘MultiX Pocket’, da empresa M2M NDT	17
Figura 2.7 – Representação do processo de inspeção US não mecanizada	18
Figura 2.8 - Portador desenvolvido pela empresa holandesa RTD b.v. em 1959 ...	19
Figura 2.9 – Portador HST-X04 da Olympus	21
Figura 2.10 - Portador Chain da Olympus	22
Figura 2.11 - Portador Weldrover da Olympus	22
Figura 2.12 – Portador Weldstar da GE	23
Figura 2.13 – Portador AGS-01 da Force	23
Figura 2.14 – Portador Sinus da Metalscan	24
Figura 2.15 - Estrutura de desdobramento do sistema de inspeção US de solda	25
Figura 3.1 – Modelo PRODIP proposto por Back et al. (2008)	28
Figura 3.2 – Modelo de fases para o desenvolvimento de produtos proposto por Pahl et al. (2007)	29
Figura 3.3 – Modelo elaborado para o PDP do Portador, adaptado de Back et al. (2008)	34
Figura 4.1 - Modelo da fase de Planejamento do projeto – A_0 , no qual $A_{0,n}$ representa a atividade n da fase A_0 , $D_{0,n}$ representa o documento n da fase A_0 , e MT os métodos	38
Figura 4.2 - EDT da fase de planejamento do projeto orientada à entrega de documentos. A EDT completa, que inclui o desdobramento das outras fases, está no Apêndice $D_{0,4}$	40
Figura 4.3 - Representação das quatro fases do modelo do PDP	41
Figura 5.1 - Modelo da fase de projeto informacional	43
Figura 5.2 - Questionário de identificação das necessidades dos usuários de inspeção de solda	45
Figura 6.1 – Modelo da fase de Projeto conceitual	51
Figura 6.2 – Análise dos fluxos do sistema de inspeção	54
Figura 6.3 – Exemplo de contato realizado corretamente entre o cabeçote e a superfície da peça ensaiada	55
Figura 6.4 - Estrutura de funcionamento do Portador na forma de Função Global e Funções Parciais	56
Figura 6.5 – Fluxo de entrada e saída da FP_1 – Realizar contato	57
Figura 6.6 – Fluxos de entrada e saída da FP_2 , FP_3 e FP_4	57
Figura 6.7 – Fluxo de entrada e saída da função global	57

Figura 6.8 - Desdobramento da função parcial FP_1 - Realizar contato em seis subfunções $FP_{1,1}$ até $FP_{1,5}$, documento $D_{2,2}$	59
Figura 6.9 – Estrutura de funcionamento do Portador após desdobramento da primeira função parcial, documento $D_{2,2}$	60
Figura 6.10 – Princípios de funcionamento identificados para a $FP_{1,1}$, pela análise de dois sistemas técnicos, o Weldstar e o Weldrover	61
Figura 6.11 - Resultado da sessão de <i>Brainstorming</i> para a função $FP_{1,1}$ - Anexar Portador	62
Figura 6.12 – Início de preenchimento da matriz morfológica com os princípios de funcionamento da $FP_{1,1}$. A matriz constitui o documento $D_{2,3}$	62
Figura 6.13 - Esquema representando duas combinações dos princípios de funcionamento da matriz morfológica que formam as variantes de concepção A e B (Documento $D_{2,3}$).....	64
Figura 6.14 - Combinação de princípios de funcionamento que definem a variante A, documento $D_{2,4}$	65
Figura 6.15 - Combinação de princípios de funcionamento que definem a variante B ($D_{2,4}$)	66
Figura 6.16 - Conceito do módulo M_1 do Portador ($D_{2,6}$).....	70
Figura 7.1 – Modelo da fase de Projeto Preliminar do Portador.....	73
Figura 7.2 - Estrutura do sistema de inspeção, originada durante a revisão do sistema US, no qual definiu-se os subsistemas S_1 até S_4 , posteriormente completada durante a fase de projeto conceitual, na qual agregou-se subsistema S_0 e seus módulos	74
Figura 7.3 - Subsistemas de inspeção previamente definidos, que interagem com o Portador	75
Figura 7.4 - Módulo M_1 , formado pelos módulos $M_{1,1}$ até $M_{1,5}$, em vista montada e explodida	76
Figura 7.5 – Leiaute do sistema de inspeção, com ênfase no subsistema Portador e demais componentes embarcados ($D_{3,1}$), representando o protótipo virtual do Portador.	77
Figura 7.6 - Representação dos desenhos de montagem do Portador ($D_{3,2}$)	78
Figura 7.7 - Detalhamento da montagem do módulo Anexador (M_1), pode-se identificar os módulos $M_{1,1}$, $M_{1,2}$, $M_{1,3}$, $M_{1,4}$ e $M_{1,5}$. Acima dos balões está representada a quantidade de cada componente. Parte do documento $D_{3,2,1}$	79
Figura 7.8 – Detalhamento da montagem do módulo Anexador $M_{1,1}$, evidenciando seus materiais: seis peças numeradas de 1 até 6 e o módulo Moldador ($M_{1,2}$) identificado pelo balão de número 7. Acima dos balões está representada a quantidade de cada componente. Extraído do apêndice $D_{3,2}$	80
Figura 7.9 – Recorte da lista de materiais do Portador ($D_{3,2,2}$).....	81
Figura 7.10 - Lista de ferramentas necessárias à montagem do Portador, ($D_{3,2,3}$)....	81
Figura 7.11 – Representação do grupo de peças a serem cortadas a laser, extrato do Plano de corte a laser ($D_{3,3,1}$)	83
Figura 7.12 - Exemplo de desenho técnico de fabricação da peça Pega do Portador ($P1.1.1$), do módulo Anexador ($D_{3,3,2}$).....	84

Figura 7.13 – Foto do Portador montado, com foco em seus módulos do lado esquerdo.....	85
Figura 7.14 – Foto do Portador.....	85
Figura 7.15 - Foto do visor do multiplexador ultrassônico, demonstrando a transmissão do sinal US representado pelos quatro picos de onda.	87
Figura 7.16 – Componentes do Teste de cumprimento das funções do Portador ...	89
Figura 7.17 – Gráfico radar representando as notas dadas pelos usuários avaliadores do protótipo	91

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 - Métodos e Técnicas cabíveis ao desenvolvimento do Portador e a referência de outros trabalhos nos quais foram aplicados.....	32
Quadro 5.1 – Forma de representação das necessidades dos usuários, descritas em função do respectivo método de obtenção. O quadro completo está no Apêndice D _{1.1}	46
Quadro 5.2 – Requisitos e especificações de projeto organizados em função das necessidades dos usuários, D _{1.2}	48
Quadro 5.3 – Parte das especificações de projeto do Portador, D _{1.3}	49
Quadro 6.1 – Resultado da aplicação do método da Abstração da lista de especificações do projeto, apresentando os problemas a serem resolvidos pelo Portador	53
Quadro 6.2 - Matriz de avaliação das variantes de concepção, resultante da aplicação do método de Pugh (D _{2.5}).....	67
Quadro 7.1 – Especificação dos componentes empregados no teste	88
Quadro 7.2 – Notas máxima, mínima, média e variância das questões	90
Quadro 7.3 – Lista sucinta de recomendações para aprimoramento do protótipo (D _{3.5.2})	93

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NeDIP Núcleo Integrado de Desenvolvimento de Produtos
Posmec Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Termos da Inspeção de Solda

END Ensaio Não Destrutivo
PA *Phased-Array* (Arranjo em fase das ondas US)
PDP Projeto de Desenvolvimento de Produtos
ToFD *Time of Flight Diffraction* (Difração de Tempo de Voo)
US Ultrassom

Termos do desenvolvimento de produtos

A Caracteriza a atividade de projeto
CAD Desenho Auxiliado por Computador
D Caracteriza o documento de projeto
EDT Estrutura de Desdobramento do Trabalho
FG Função Global
FP Função Parcial
IM Inspeção Mecanizada
INM Inspeção Não Mecanizada
MT Caracteriza o método ou técnica utilizado na pesquisa
PCR Parafuso de Corpo Retificado
U Caracteriza o usuário envolvido na atividade

LISTA DE ATIVIDADES DE PROJETO

- A₀ Planejamento do Projeto
 - A_{0.1} Pesquisar PDP
 - A_{0.2} Pesquisar END
 - A_{0.3} Definir recursos necessários ao projeto
 - A_{0.4} Elaborar PDP
- A₁ Projeto Informacional
 - A_{1.1} Definir necessidades dos usuários
 - A_{1.2} Desenvolver e detalhar necessidades dos usuários
 - A_{1.3} Estabelecer especificações de projeto
- A₂ Projeto Conceitual
 - A_{2.1} Identificar problemas essenciais de projeto
 - A_{2.2} Elaborar estrutura de funções
 - A_{2.3} Buscar e selecionar princípios de funcionamento
 - A_{2.4} Gerar variantes de concepção
 - A_{2.5} Avaliar variantes de concepção
 - A_{2.6} Consolidar variante escolhida em conceito do produto
- A₃ Projeto Preliminar
 - A_{3.1} Modelar leiaute do sistema de inspeção
 - A_{3.2} Planejar montagem do protótipo
 - A_{3.2.1} Detalhar montagens do produto
 - A_{3.2.2} Listar materiais do produto
 - A_{3.2.3} Listar ferramentas para montagem
 - A_{3.3} Planejar fabricação das peças
 - A_{3.4} Executar aquisição, fabricação e montagem das peças
 - A_{3.5} Validar protótipo

LISTA DE DOCUMENTOS DE PROJETO

D _{0,0}	Plano do produto
D _{0,1}	Revisão PDP
D _{0,2}	Revisão END
D _{0,3}	Recursos necessários ao projeto
D _{0,4}	Plano do projeto
D _{1,1}	Necessidades dos usuários
D _{1,2}	Necessidades, requisitos e especificações de projeto
D _{1,3}	Lista de especificações de projeto
D _{2,1}	Problemas essenciais de projeto
D _{2,2}	Estrutura funcional
D _{2,3}	Princípios de funcionamento
D _{2,4}	Variantes de concepção
D _{2,5}	Matriz de avaliação
D _{2,6}	Conceito do produto
D _{3,1}	Leiaute dimensional
D _{3,2}	Plano de montagem do protótipo
D _{3,2,1}	Desenho de montagens
D _{3,2,2}	Lista de materiais
D _{3,2,3}	Lista de ferramentas
D _{3,3}	Plano de fabricação das peças
D _{3,3,1}	Plano de processo
D _{3,3,2}	Plano de desenho
D _{3,4}	Protótipo montado
D _{3,5,1}	Questionário de avaliação do protótipo
D _{3,5,2}	Lista de recomendações de aprimoramento do protótipo

LISTA DE MÉTODOS E TÉCNICAS

MT ₀₁	Pesquisa bibliográfica
MT ₀₂	<i>Brainstorming</i>
MT ₀₃	EDT – Estrutura de Desdobramento do Trabalho
MT ₀₄	Software CAD ou Solidworks
MT ₀₅	Análise funcional
MT ₀₆	<i>Benchmarking</i>
MT ₀₇	Entrevista estruturada
MT ₀₈	Método de Kramer
MT ₀₉	Recomendações de redação
MT ₁₀	Abstração das especificações de projeto
MT ₁₁	Síntese funcional
MT ₁₂	Matriz morfológica
MT ₁₃	Método de Pugh
MT ₁₄	Reuniões

GLOSSÁRIO

Acoplante – Qualquer substância (usualmente líquida ou pastosa) introduzida entre o cabeçote e a superfície de ensaio, com o propósito de transmitir as vibrações de energia ultrassônica entre ambos (N-1594, 2004).

Bloco-Padrão – Peça de material de composição química, tratamento térmico, forma geométrica e acabamento superficial especificados, por meio do qual o equipamento de ultrassom pode ser calibrado para o ensaio de materiais similares quanto à propagação do som (N-1594, 2004).

Bloco de referência – Peça de mesmo material ou mesmo grupo de material, dimensões significativas e forma como as do objeto particular sob ensaio e mesmo tratamento superficial, podendo ou não conter defeitos naturais ou artificiais (N-1594, 2004).

Cabeçote – Dispositivo elétrico acústico usado para transmitir e/ou receber energia ultrassônica (N-1594, 2004).

Escâner – Dispositivo que efetua a varredura da união soldada, com o objetivo de auxiliar na movimentação correta dos cabeçotes.

Encoder – Transdutor de movimento cuja função é transformar a posição em sinal elétrico.

Módulo Anexador – Módulo que realiza a anexação do Portador à peça-ensaiada, de forma a viabilizar a varredura.

Módulo Distanciador – Módulo que viabiliza o distanciamento entre os cabeçotes e o cordão de solda.

Módulo Moldador – Módulo que permite moldar o Portador à superfície da peça ensaiada.

Módulo Pressionador – Módulo que pressiona os cabeçotes contra a peça ensaiada.

Módulo Portador – Módulo que porta os cabeçotes.

Peça ensaiada – Peça sobre a qual executa-se o ensaio não destrutivo, com o objetivo de detectar descontinuidades na união soldada.

Sapata – Peça conectada ao transdutor que possui a função de acoplar o sinal ultrassônico entre o transdutor e a superfície.

Transdutor – Dispositivo elétrico acústico (cristal) empregado para conversão de energia elétrica em acústica e vice-versa (N-1594, 2004).

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. MOTIVAÇÃO	1
1.2. OBJETIVOS	4
1.2.1. Objetivo geral	4
1.2.2. Objetivos específicos.....	4
1.3. JUSTIFICATIVA.....	5
1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	6
2. ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS – END	9
2.1. DEFINIÇÃO DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS.....	9
2.2. TÉCNICAS DE END.....	11
2.2.1. Técnica da Inspeção Visual.....	11
2.2.2. Técnica do Líquido Penetrante	12
2.2.3. Técnica de Radiografia	12
2.2.4. Técnica da Corrente parasita	13
2.2.5. Técnica das Partículas Magnéticas	13
2.2.6. Técnica Ultrassônica	13
2.3. PROCESSO DE INSPEÇÃO ULTRASSÔNICA DE UNIÕES SOLDADAS	17
2.3.1. Processo de Inspeção Não Mecanizada.....	17
2.3.2. Processo de Inspeção Mecanizada.....	19
2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
3. PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS.....	27
3.1. METODOLOGIAS DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS EXISTENTES	27
3.2. FASES DO PDP.....	30
3.3. REGISTRO DO PROCESSO DE PROJETO	32
3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
4. PLANEJAMENTO DO PRODUTO E PROJETO.....	37
4.1. PLANEJAMENTO DO PRODUTO.....	37
4.2. PLANEJAMENTO DO PROJETO.....	37
4.2.1. Pesquisar PDP (A_{0,1}).....	38
4.2.2. Pesquisar END (A_{0,2})	38
4.2.3. Definir os recursos necessários ao projeto (A_{0,3})	39
4.2.4. Elaborar PDP (A_{0,4}).....	39
4.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
5. PROJETO INFORMACIONAL	43
5.1. DEFINIR NECESSIDADES DOS USUÁRIOS (A _{1,1})	43

5.2.	DESENVOLVER E DETALHAR NECESSIDADES DOS USUÁRIOS (A _{1,2})	47
5.3.	ESTABELECEER LISTA DE ESPECIFICAÇÕES (A _{1,3})	48
5.4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
6.	PROJETO CONCEITUAL	51
6.1.	IDENTIFICAR PROBLEMAS ESSENCIAIS DE PROJETO (A _{2,1})	51
6.2.	ELABORAR ESTRUTURA DE FUNCIONAMENTO (A _{2,2})	56
6.3.	BUSCAR PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO (A _{2,3})	60
6.4.	GERAR VARIANTES DE CONCEPÇÃO (A _{2,4})	62
6.5.	AVALIAR VARIANTES DE CONCEPÇÃO (A _{2,5})	67
6.6.	CONSOLIDAR VARIANTE ESCOLHIDA EM CONCEITO DO PRODUTO (A _{2,6})	68
6.7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
7.	PROJETO PRELIMINAR	73
7.1.	MODELAR LEIAUTE DO SISTEMA DE INSPEÇÃO (A _{3,1})	73
7.2.	PLANEJAR MONTAGEM DO PROTÓTIPO (A _{3,2})	77
7.2.1.	Detalhar montagens do Portador	78
7.2.2.	Listar materiais do Portador	80
7.2.3.	Listar ferramentas necessárias à montagem do Portador	81
7.3.	PLANEJAR FABRICAÇÃO DO PROTÓTIPO (A _{3,3})	82
7.4.	EXECUTAR AQUISIÇÃO, FABRICAÇÃO E MONTAGEM DAS PEÇAS 84	
7.5.	VALIDAR PROTÓTIPO (A _{3,4})	86
7.5.1.	Avaliação das funções do protótipo	86
7.5.2.	Avaliação do cumprimento das necessidades dos usuários e requisitos de projeto	90
7.5.3.	Analisar protótipo	92
7.6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
8.	CONCLUSÃO	97
8.1.	CONTRIBUIÇÕES	98
8.2.	RESULTADOS OBTIDOS	99
8.3.	CONCLUSÕES	100
8.4.	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	101
	REFERÊNCIAS	103
	APÊNDICE	107
D _{3,2}	– PLANO DE MONTAGEM	131
D _{3,2,1}	– DESENHOS DAS MONTAGENS	131
D _{3,2,2}	– LISTA DE MATERIAIS DO PORTADOR	131
D _{3,3}	– PLANO DE FABRICAÇÃO	135
D _{3,3,1}	– PLANO DOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO	135

D _{3.3.2} – DESENHO TÉCNICO DE FABRICAÇÃO DAS PEÇAS	135
D _{3.3.2} – DESENHO TÉCNICO DE FABRICAÇÃO DAS PEÇAS	137

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentada a motivação desta dissertação de mestrado, evidenciando a oportunidade de desenvolvimento de um Portador de sistemas ultrassônicos para a inspeção de solda, com custos e confiabilidade requeridos para equipamentos como este.

Também estão listados os objetivos da pesquisa, seguidos da justificativa e estrutura da dissertação.

1.1. MOTIVAÇÃO

Obras de engenharia possuem vasta gama de estruturas, (e.g. chapas, dutos, sistemas navais, plataformas, vasos de pressão, pontes etc.) frequentemente compostas por uniões soldadas que precisam ser inspecionadas. Essa inspeção visa assegurar a integridade dessas estruturas e obras, dada a característica, quantidade de energia e potencial de danos nelas presentes.

A inspeção de solda torna-se possível pela realização de Ensaios Não Destrutivos (END). Esses ensaios consistem no emprego de técnicas não invasivas que objetivam controlar a integridade de estruturas sem destruí-las. As técnicas mais relevantes à inspeção de solda são o Exame Visual, o Ultrassom (US), a Radiografia e as Partículas Magnéticas (MARQUEZE, 2002; DITCHEBURN, BURKE e SCALA, 1996).

Essas técnicas distinguem-se entre si por seus princípios de funcionamento. A ultrassônica baseia-se na emissão, recepção e análise das ondas ultrassônicas que percorrem a estrutura avaliada. Já a radiográfica baseia-se na análise da quantidade de radiação absorvida pela estrutura. Finalmente, a por partículas magnéticas baseia-se na análise de padrões de campos magnéticos induzidos na estrutura.

Comparativamente as outras técnicas, a ultrassônica não apresenta os riscos de exposição à radiação, característico da radiográfica. A ultrassônica permite ainda a inspeção integral da estrutura, e não somente superficial, que é uma limitação da técnica das partículas magnéticas.

Conforme mencionado, o objetivo da aplicação dessas técnicas é o controle da integridade estrutural da solda. Esse controle consiste na identificação, dimensionamento, localização, registro e avaliação de descontinuidades. Entende-se como descontinuidade qualquer interrupção da estrutura soldada, de uma união (e.g. falta de homogeneidade de

características físicas, mecânicas ou metalúrgicas do material, ou da solda), conforme afirma Modenesi (2001).

Na avaliação da descontinuidade é definido o nível da falha que ocorreu durante o processo de soldagem. Dependendo do material, técnica de soldagem, aplicação da união soldada e energia acumulada, a descontinuidade pode ser caracterizada como defeito¹. Esses defeitos podem ser do tipo: porosidade, falta de fusão, falta de penetração, entre outros. Caso não sejam reparados, esses defeitos podem induzir à falha de sistemas técnicos², resultando em incidentes, causando prejuízos econômicos e ambientais.

A capacidade que o sistema de inspeção possui em avaliar as descontinuidades existentes na solda pode ser compreendida como a confiabilidade do processo de inspeção. Em um sistema com confiabilidade máxima, todas essas descontinuidades devem ser detectadas e avaliadas. Porém, para que isso ocorra é preciso que todo o volume da solda seja exposto às ondas ultrassônicas. Isso é possível graças a cabeçotes multi-elementos, que emitem feixes ultrassônicos capazes de inspecionar seções (2D), e também volumes (3D), quando movimentados paralelamente ao cordão de solda. Essa movimentação é denominada varredura.

A varredura do cordão de solda é uma atividade repetitiva e exaustiva, por isso é inapropriada enquanto atividade humana devido à fadiga motora e visual. Por exemplo, um inspetor, quando em fadiga pode desprezar requisitos como alinhamento entre cabeçotes e cordão de solda, e contato entre cabeçote e peça ensaiada, resultando em uma varredura não homogênea e, portanto ineficiente, dado o não êxito na inspeção da totalidade da solda.

¹ No contexto da inspeção de solda, defeito é qualquer desvio de uma característica da solda em relação aos seus requisitos, conforme a norma ABNT NBR 5462 (1994).

² “Sistema técnico pode, então, ser entendido como um conjunto de equipamentos e instalações que têm uma (ou mais) função para ser desempenhada e, a todo o momento, está interagindo com o ambiente, o homem e outros sistemas técnicos, influenciando e sendo influenciado.” Dias et al. (2011, p.302)

Para auxiliar a varredura do cordão de solda existem portadores³ de sistemas US, que constituem alguns sistemas de inspeção de solda, com variação crescente de complexidade:

1. **O sistema básico de inspeção US** é constituído por dois componentes: o cabeçote US e um visor capaz de representar as ondas US em função de sua amplitude e do seu tempo de voo.
2. **O sistema mecanizado de inspeção US** é constituído pelo cabeçote US, pelo visor e por um portador mecanizado do cabeçote. O principal benefício, relativo ao uso do portador, é a neutralização das limitações humanas do inspetor, observadas na inspeção básica. Um exemplo de portador capaz de realizar inspeções mecanizadas é o HST-X04, fabricado pela Olympus (2008).
3. **O sistema automatizado de inspeção US** é composto por portadores automatizados, que se diferem dos mecanizados pela autonomia na movimentação e alinhamento dos cabeçotes. Dessa forma o sistema automatizado neutraliza ainda mais as limitações do inspetor, por outro lado, possuem preços mais elevados. Soluções comercialmente disponíveis, fabricados fora do Brasil, para a inspeção de soldas circunferenciais em dutos, são o Pipewizard e o Weldstar oferecidos por Olympus (2010) e GE (2007) respectivamente.

Durante a pesquisa de referências não foram encontrados documentos que descrevessem o desenvolvimento de portadores de sistemas ultrassônicos por meio de uma sistemática de desenvolvimento de produto. A contribuição almejada desta dissertação é, portanto, a **sistematização** do processo e o **desenvolvimento** de um Portador que possua as seguintes características:

- Eficiência na detecção de descontinuidades em soldas;

³ Portador é um dispositivo mecânico que conduz cabeçotes ultrassônicos, auxiliando o cumprimento da função dos cabeçotes: transmitir e receber energia ultrassônica. Quando o portador está equipado com os cabeçotes, recebe a denominação de escâner, mais precisamente de Escâner para inspeção de solda.

- De custo compatível com a aplicação e mais econômicos do que sistemas importados;
- Fácil de ser fabricado, para ser aderente ao parque industrial brasileiro;
- Ergonômico para diminuir a fadiga dos inspetores;
- Seguro para não comprometer a integridade dos sistemas onde opera, nem dos operadores;
- Adaptabilidade às aplicações em chapas e dutos soldados.

Desse modo, uma sistemática de desenvolvimento de produto apropriada será utilizada, para que todos os passos das decisões sejam registrados durante o processo de desenvolvimento até a fabricação do protótipo e testes, com o intuito de permitir a reprodutibilidade desse projeto.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo geral

O objetivo geral desta dissertação é, a partir do estudo da metodologia de projeto e da técnica de inspeção por ultrassom de uniões soldadas, desenvolver um Portador de sistemas ultrassônicos para inspeção de uniões soldadas (longitudinal plana e circunferencial), e pontuar procedimentos, técnicas e processos de avaliação que venham aperfeiçoar a metodologia utilizada.

1.2.2. Objetivos específicos

A presente dissertação tem como objetivos específicos:

- Estabelecer as especificações de projeto do Portador;
- Gerar conceitos do Portador;
- Modelar, fabricar, montar e testar um protótipo funcional do Portador;
- Documentar a fabricação, montagem e testes desse protótipo;
- Sistematizar as fases de projeto e sua documentação;
- Contribuir com a aplicação de métodos e técnicas para o aperfeiçoamento da metodologia de projeto.

1.3. JUSTIFICATIVA

As justificativas desse trabalho estão relacionadas aos benefícios decorrentes do desenvolvimento, fabricação e uso do Portador, relativos à necessidade demandada pela indústria nacional de inspeção, que tem a solda como referência de fabricação de sistemas técnicos.

O desenvolvimento de um Portador de sistemas ultrassônicos nacional oferece benefícios como adequação do produto às aplicações demandadas pelo mercado brasileiro, e aumento da viabilidade técnica de desenvolvimento de novos portadores.

Essa viabilidade técnica é aumentada pela socialização de conhecimentos relevantes ao projeto desse tipo de produto. Essa socialização torna-se possível pela gestão e consolidação do conhecimento que a metodologia de desenvolvimento de produtos promove.

Além do desenvolvimento, a fabricação nacional do portador tem seus benefícios. A fabricação é naturalmente isenta de tributos de importação, o que representa um menor investimento na aquisição do Portador, e garante a esse produto maior viabilidade econômica. Isso assegura uma maior competitividade à indústria de inspeção, que tendo posse desse produto poderá oferecer seus serviços a menores custos.

Assim, tendo em vista que o Brasil possui acordos de livre comércio (e.g. Mercosul) com outros países, existe ainda a possibilidade de exportação do produto.

Ainda, do ponto de vista do uso do portador, os benefícios são devidos a mecanização do processo de inspeção de solda, que oferece: melhoria da ergonomia do processo, possibilidade de acompanhar a evolução de descontinuidades, redução do custo, aumento da confiabilidade e repetitividade dessa inspeção. Além disso, obtém-se a capacidade de correlacionar as descontinuidades detectadas com a posição, mediante o uso de 'encoder'. Assim, poderiam ser mapeadas as descontinuidades, o que significa que poderiam ser determinadas seu tipo, dimensões e posição em relação à solda.

Esses benefícios da mecanização são decorrentes do controle das variáveis de ensaio: pressão exercida sobre o cabeçote ultrassônico, velocidade e deslocamento do cabeçote, e posição em relação à superfície da peça ensaiada. Haja vista que em uma inspeção manual se tem menor controle sobre estas variáveis, devido às limitações humanas envolvidas no processo, relativas à: destreza, acuidade visual e fadiga muscular do inspetor.

Outra justificativa é a possibilidade de realização do acompanhamento evolutivo de descontinuidades, que possibilita prever quando determinadas descontinuidades se tornarão defeitos. Por exemplo, quando acompanhado o crescimento de uma trinca, pode-se prever que em um ano, ou em cinco anos, a solda necessite de uma operação de reparo. Esse controle temporal permite o planejamento e a otimização de operações de manutenção.

Além disso, segundo experimentos realizados por Souza *et al.* (2009) a probabilidade de detecção de defeitos é aumentada significativamente pela mecanização do processo de inspeção. Essa maior probabilidade reflete no aumento da confiabilidade do processo de inspeção.

Logo, quanto maior for a confiabilidade, menor será o risco de falha do sistema técnico inspecionado, e conseqüentemente, menor a chance de prejuízo financeiro e de ocorrência de catástrofes. Firmando a importância do uso de um portador de sistemas ultrassônicos.

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação é constituída por oito capítulos, descritos a seguir. O primeiro é a introdução, o segundo e terceiro expõem a revisão bibliográfica. Do quarto ao sétimo capítulo é descrito o processo de desenvolvimento do Portador, e por fim, no capítulo oito é apresentada a conclusão deste trabalho.

O **primeiro capítulo** contém a **introdução** deste trabalho, dividida em motivação, objetivos geral e específicos, e justificativa.

No **capítulo dois** é apresentada a revisão bibliográfica sobre **Ensaio Não Destrutivo (END)** e inspeção de solda, algumas de suas técnicas com ênfase na ultrassônica.

No **terceiro capítulo** é exibida a revisão bibliográfica do **Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP)**, contido nas obras: Projeto Integrado de Produtos (BACK *et al.*, 2008) e Projeto na Engenharia (PAHL, *et al.*, 2007) cuja justificativa de escolha é dada pelo reconhecimento nacional e internacional das mesmas. Posteriormente, com base na análise dessas referências, é exposta a metodologia do PDP aplicada neste trabalho, adaptada dos autores.

No **capítulo quatro** é descrita a fase de **Planejamento do projeto**, pela definição dos recursos necessários ao projeto, bem como a proposição do modelo de PDP.

No **quinto capítulo** exibe-se a fase de **Projeto informacional**, que possui a importância de coletar, processar e explicitar as informações relevantes ao processo de projeto do Portador, tais como: Necessidade e Requisitos dos usuários, e Especificações de projeto. Explicitadas por meio do estabelecimento das especificações de projeto.

No **capítulo seis** descreve-se a fase de **Projeto conceitual**. A partir das especificações de projeto do Portador são identificados os problemas essenciais de projeto, com base nos quais é definida a estrutura de funcionamento do Portador, em seguida são buscados princípios de funcionamento que dão origem às variantes de concepção do Portador. Avaliando-se essas variantes escolhe-se uma que consolida-se em conceito do Portador.

No **sétimo capítulo** explica-se o desenvolvimento do protótipo na fase de **Projeto preliminar**, por meio da sua modelagem, fabricação, montagem e testes. O resultado da fase é um dos principais resultados obtidos com este trabalho: o protótipo funcional do Portador testado.

Por fim, no último capítulo, de número **oito**, expõem-se a conclusão e sugestões para trabalhos futuros a este.

2. ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS – END

Ensaio Não Destrutivo (END) são usados pela ciência e pela indústria para avaliação das propriedades de um material, componente ou estrutura sem causar dano. Alguns exemplos de componentes comumente ensaiados são: peças fundidas, peças conformadas mecanicamente e peças submetidas a tratamento térmico.

Grande parte das falhas em componentes estáticos está associada a descontinuidades em soldas, que produzem concentração de tensões e podem consistir em heterogeneidades metalúrgicas e, portanto, locais com propriedades diferentes àquelas do metal de base. Evidenciando-se a necessidade de submeter esses componentes à inspeção por ensaios não destrutivos.

Assim, o objetivo dessa inspeção é a obtenção de qualidade e confiabilidade de uniões soldadas. Diversas técnicas de END possibilitam isso (LEITE, 1966; MCMASTER, 1982; HALMSHAW, 1996; ANDREUCCI, 2011). Dentre as técnicas, destaca-se a Ultrassônica, que pode ser empregada de forma manual, ou mecanizada por meio de portadores⁴ de sistemas ultrassônicos.

A mecanização da inspeção visa o controle da pressão exercida sobre o cabeçote ultrassônico, da velocidade e deslocamento do cabeçote, e da posição da descontinuidade em relação à superfície da peça ensaiada (BROBERG, 2011).

Assim, neste capítulo é exposta a revisão realizada sobre o conceito de ensaios não destrutivos, suas principais técnicas, e por fim, alguns portadores de sistemas ultrassônicos existentes no mercado.

2.1. DEFINIÇÃO DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Os ensaios não destrutivos não afetam a integridade do material, componente, ou estrutura inspecionada, conforme seu nome sugere. Exemplos de aplicação de END são: solda em gasodutos e oleodutos, estrutura de materiais compósitos de geometria complexa e estrutura de cabos de aço, etc.

Com o emprego de END objetiva-se detectar e dimensionar as descontinuidades dessas estruturas, que são situações de não continuidade,

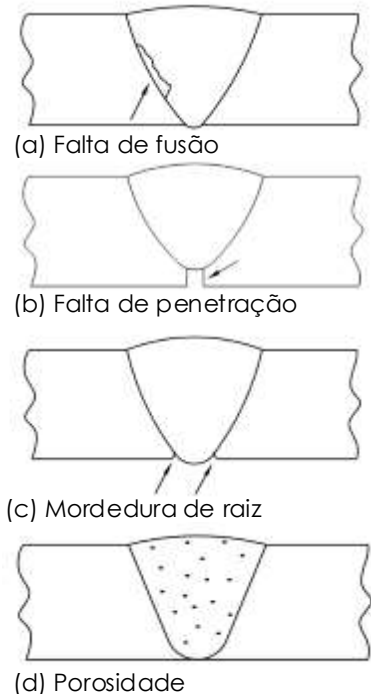
⁴ No contexto deste trabalho, Portador refere-se ao dispositivo mecânico que porta cabeçotes ultrassônicos com o objetivo de mecanizar o processo de inspeção de uniões soldadas.

ou seja, de interrupção da estrutura típica do material. Essas discontinuidades, podem ser classificadas como defeitos, dependendo dos critérios de avaliação dos END (definidos conforme a norma vigente, código de projeto de construção ou manutenção do equipamento). Esses critérios permitem a avaliação do tipo, tamanho, distribuição ou localização da discontinuidade, caracterizada como defeito caso reprovada (AWS B1.11, 2000).

Segundo Andreucci (2011), com relação ao tamanho da discontinuidade, algumas imperfeições são aceitáveis quanto à razão entre seu comprimento e espessura, já outras são inaceitáveis independentemente do comprimento, como é o caso das trincas, falta de fusão ou penetração incompleta.

A norma N-1738 (2003) da Petrobrás apresenta 44 exemplos de tipos de discontinuidades encontradas em uniões soldadas, algumas delas são: Falta de fusão, Falta de penetração, Mordedura de raiz e Porosidade (Figura 2.1).

Figura 2.1 - Exemplos de discontinuidades citadas pela norma da Petrobrás



2.2. TÉCNICAS DE END

As técnicas de END mais comuns são: Inspeção visual, Líquido penetrante, Radiografia, Corrente parasita, Partículas magnéticas e Ultrassônica. Essas técnicas distinguem-se entre si pelos seus princípios físicos de funcionamento. Sendo que entre elas, segundo Ditchburn, Burke e Scala (1996), as técnicas ultrassônicas, radiográficas e por partículas magnéticas são os pilares da inspeção de solda.

Dada a variedade de técnicas disponíveis, a escolha de qual é mais apropriada para o END deve ser ponderada considerando alguns fatores técnicos e econômicos (MARQUEZE, 2002):

Fatores técnicos

- Tamanho, forma e quantidade de peças a serem inspecionadas;
- Sensibilidade requerida no método;
- Documentação do defeito;
- Material da peça;

Fatores econômicos

- Custo do equipamento de inspeção;
- Custo dos consumíveis;
- Custo hora/homem de trabalho;
- Tempo necessário para realização da inspeção;
- Portabilidade do equipamento;

2.2.1. Técnica da Inspeção Visual

Sendo a técnica mais subjetiva de END, o ensaio por Inspeção Visual baseia-se na capacidade óptica do inspetor para determinar se um material apresenta ou não descontinuidade. Equipamentos como calibradores de solda, fibroscópios, boroscópios e fontes luminosas podem ser adotados para melhor visualização de defeitos. Por apresentar baixo custo e facilidade de realização, esta técnica precede outros ensaios não destrutivos (MATZKANIN, 2006).

2.2.2. Técnica do Líquido Penetrante

O ensaio por líquidos penetrantes é uma técnica desenvolvida especialmente para detecção de descontinuidades localizadas e expostas na superfície do material (MCMASTER, 1982). O método consiste na aplicação de um líquido sobre a superfície do material a ser ensaiado. A penetração do líquido nas descontinuidades superficiais ocorre devido ao fenômeno da capilaridade⁵. A superfície analisada pode ser compreendida como um conjunto de tubos capilares de raios diferentes, tubos com pequeno raio capilar são preenchidos pelo líquido enquanto que tubos capilares de raio maior não. Então, posteriormente, sobre a superfície é aplicado o revelador (e.g. talco) cuja função é absorver o líquido existente dentro dos pequenos tubos capilares, caracterizando as descontinuidades.

Esta técnica tem a capacidade de revelar descontinuidades extremamente finas. Porém, sua limitação está na incapacidade de detecção de descontinuidades localizadas no interior do material.

2.2.3. Técnica de Radiografia

A radiografia é uma técnica para inspeção não destrutiva que se baseia na absorção diferenciada da radiação penetrante na peça que está sendo inspecionada. Esta absorção diferenciada de Raios-X ou Raios-gama pode indicar diferentes propriedades do material: densidade, espessura e composição (DITCHBURN, BURKE E SCALA, 1996). Além dessas, a absorção diferenciada pode indicar a existência de falhas internas ou defeitos no material, sendo este o objetivo da inspeção. Esta indicação é feita por meio de uma imagem (grafia) que pode ser registrada em um filme (Radiografia), em um tubo de imagem (Radioscopia Industrial) ou mesmo medida por detectores eletrônicos de radiação (Radiografia Digital) (ANDREUCCI, 2010).

A radiação utilizada nesse teste pode ser proveniente de duas fontes: Raios-X ou Raios-Gama, distinguindo o nome da técnica conforme a fonte de radiação adotada. Os raios-gama são preferidos quando se têm a necessidade de inspecionar sistemas complexos, soldas e materiais de fundição, entre outros (SHINOHARA, et al., 2002).

⁵ Capilaridade: Fenômeno físico caracterizado pela tendência de certos líquidos penetrarem espontaneamente em pequenas aberturas, tais como: trincas ou fissuras.

2.2.4. Técnica da Corrente parasita

Corrente Parasita ou Corrente de Foucault é um método para a inspeção de peças metálicas. Uma sonda, excitada com uma corrente alternada, induz uma corrente parasita na peça a ser inspecionada. Na ocorrência de uma descontinuidade, ou variação das propriedades do material, surge uma mudança no fluxo da corrente parasita, que é detectada pela sonda e indica um defeito em potencial (MARQUEZE, 2002).

Esta técnica necessita pouco preparo e pouco material, e é confiável para detectar defeitos na superfície e na região próxima à superfície de materiais condutores. Além disso, é um método limpo e rápido de END, contudo requer tecnologia e prática na realização e interpretação dos resultados. Tem baixo custo operacional e possibilita automatização a altas velocidades de inspeção.

2.2.5. Técnica das Partículas Magnéticas

A técnica da Partículas magnéticas utiliza fugas de campos magnéticos para identificar descontinuidades superficiais e sub-superficiais em materiais ferromagnéticos (MARQUEZE, 2002).

Partículas magnéticas (e.g. limalha de ferro) são depositadas sobre a superfície previamente magnetizada do material a ser testado revelando suas descontinuidades. Esta revelação é indicada pelo agrupamento das partículas devido às forças magnéticas do campo magnético em fuga, existente somente nas regiões descontínuas do material.

2.2.6. Técnica Ultrassônica

O Ultrassom é uma das técnicas de END mais utilizadas na inspeção de solda. Serve não somente para a detecção de descontinuidades existentes no interior da solda, mas também para a medição de espessura de materiais.

As técnicas ultrassônicas variam em função do princípio físico de funcionamento empregado, que pode ser a reflexão ou a difração de ondas US. Varia ainda, devido a quantidade de elementos piezoelétricos usados na geração da onda mecânica.

O princípio da reflexão define a técnica **Pulso-Eco**. A reflexão ocorre quando uma onda ultrassônica atravessa meios de impedâncias acústicas (Z) diferentes. Normalmente o meio, representado pelo material inspecionado, possui uma estrutura contínua com um valor constante de

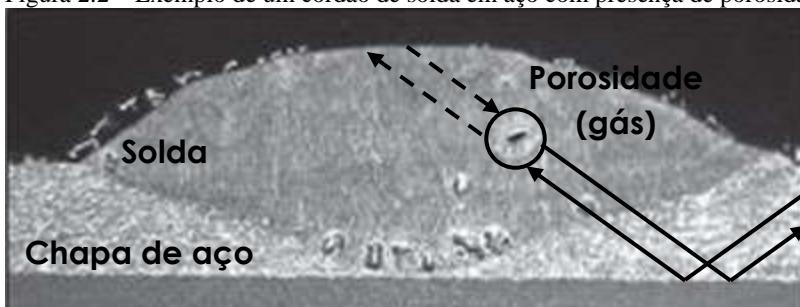
impedância acústica, quando o material apresenta uma descontinuidade surge uma variação no valor de sua impedância. Assim, ao acontecer esta variação, ocorre a reflexão. Uma onda refletida em uma descontinuidade possui menor tempo de voo que uma onda refletida na superfície mais distante da peça ensaiada, dada a menor distância percorrida pela primeira onda. Esse tempo de voo da onda é o parâmetro medido pelo aparelho ultrassom, e permite o cálculo da distância percorrida pela onda, com base na velocidade de propagação do som. E, por princípios trigonométricos, calcula-se a posição da descontinuidade (OLYMPUS 2007a).

Para exemplificação, pode-se analisar a detecção de uma descontinuidade do tipo Porosidade em um cordão de solda, conforme representado na Figura 2.2. Na porosidade identificada no centro do círculo existe a interface do aço com o gás. Dada a diferença de Impedância acústica⁶ dos dois materiais⁷ ocorre a reflexão das ondas US, representadas pelas setas com linha contínua. A seta com linha tracejada representa o provável percurso da onda, caso não existisse a descontinuidade. Portanto, nesse caso, pode-se observar que o percurso percorrido pela onda seria maior, resultando em um tempo de voo maior. É então o tempo de voo da onda diferente do esperado que permite a detecção da descontinuidade. Assim, em posse do tempo de voo, calcula-se a distância e, portanto, a posição da descontinuidade.

⁶ A impedância acústica (Z) de um material é a resistência que o material opõe à passagem do som. Matematicamente, corresponde ao cociente entre a pressão sonora (p) e o produto da velocidade do som nesse material (v) pela superfície (S) através da qual o som se propaga.

⁷ $Z_{ar}=410 \text{ N.s.m}^{-3}$ a 25°C , e $Z_{aço}=45,4 \text{ N.s.m}^{-3}$ (Olympus, 2007a).

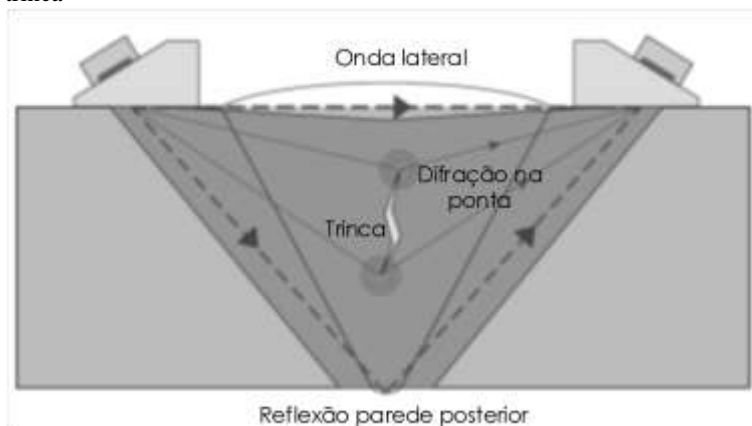
Figura 2.2 – Exemplo de um cordão de solda em aço com presença de porosidades



Fonte: Adaptado de Novicki, Buschinelli e Paredes (2011)

Já o uso do princípio da difração caracteriza a técnica **Difração de Tempo de Voo (ToFD – Time of Flight Diffraction)**, na qual as ondas difratam⁸ nas pontas das discontinuidades sofrendo alterações em suas direções, esta mudança de direção muda o tempo de voo da onda medido pelo aparelho ultrassom, identificando uma discontinuidade. Esta técnica é mais precisa para o dimensionamento de trincas (OLYMPUS, 2007a).

Figura 2.3 - Técnica ToFD, exemplificando a difração da onda US na ponta de uma trinca

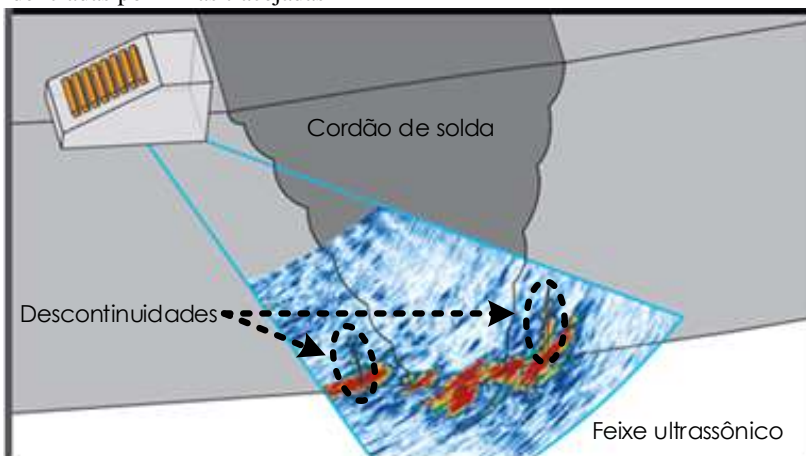


Fonte: Adaptado de Olympus (2007b)

⁸ Segundo Tipler (2000), difração é o fenômeno físico que gera a curvatura de uma onda em torno de um obstáculo. Por exemplo, quando uma onda incide sobre a ponta de uma descontinuidade.

Outra técnica é a *Phased-Array*, definida pelo uso de mais de um elemento piezoelétrico no transdutor. Com esta técnica surge um feixe ultrassônico, resultante do conjunto de ondas geradas pelos elementos, ao invés de uma onda ultrassônica (Figura 2.4). O nome da técnica vem do arranjo matricial (*array*) dos vários elementos do transdutor, que pode contar até 128 unidades (M2M NDT, 2011). A adoção de transdutores multi-elementos apresenta duas vantagens: maior velocidade de escaneamento e possibilidade de condução do feixe ultrassônico.

Figura 2.4 - Representação de um cabeçote *Phased-Array* emitindo um feixe ultrassônico, que permite a identificação de descontinuidades do material, evidenciadas por linhas tracejadas



Fonte: Olympus (2007b)

Esta condução, ou mudança de direção dos feixes é obtida por meio da aplicação de princípios de defasagem de ondas (PIRES, 2009), onde cada elemento gera uma onda US em tempo diferente. Por interferência construtiva as ondas produzem um feixe US condutível (OLYMPUS, 2007a), cujo ângulo pode ser controlado.

Uma referência de destaque sobre a tecnologia *Phased Array* é o 'Introduction to Phased Array Ultrasonic Technology Applications' disponibilizado pela Olympus (2007a).

Nas três técnicas abordadas, o princípio comum de detecção de descontinuidades é a medição do tempo de voo da onda, realizado pelo aparelho US.

Figura 2.5 - Foto do aparelho ultrassom 'MultiX Pocket', da empresa M2M NDT



Fonte: <http://www.m2m-ndt.com/> acessado dia 03/05/2013

A seguir é descrito o processo de inspeção de uniões soldadas, no qual esta técnica está inserida. Esta descrição visa apresentar os componentes necessários a esse processo, entre eles o Portador em desenvolvimento.

2.3. PROCESSO DE INSPEÇÃO ULTRASSÔNICA DE UNIÕES SOLDADAS

O processo de inspeção de uniões soldadas pode ser realizado com ou sem o auxílio de um portador de sistemas ultrassônicos, definindo dois tipos de inspeção a mecanizada e a não mecanizada. O portador é um equipamento mecânico que auxilia a movimentação dos sistemas US, paralelamente ao cordão de solda, sobre a superfície da peça ensaiada. Esta movimentação denomina-se varredura e está diretamente relacionada com a qualidade de aquisição do sinal US e conseqüentemente com a qualidade da inspeção.

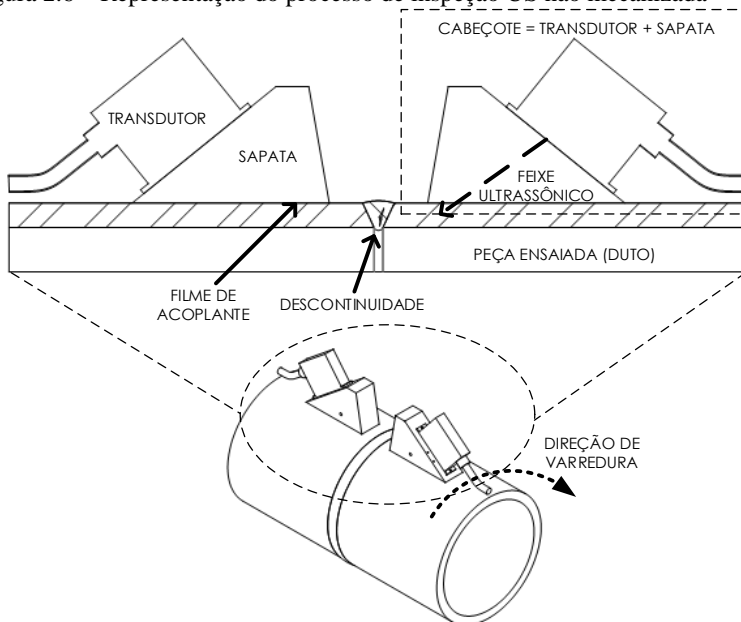
2.3.1. Processo de Inspeção Não Mecanizada

Na Figura 2.6 é representado um processo de inspeção de solda sem o uso de um portador. Neste exemplo, a peça ensaiada é um duto cuja solda inspecionada é do tipo circunferencial. O sistema ultrassônico empregado é composto por dois cabeçotes. O cabeçote é o conjunto formado pelo transdutor e pela sapata. O transdutor tem a função de gerar e captar ondas US, enquanto que a sapata realiza a transmissão dessas ondas para a peça ensaiada.

Além disso, embaixo desses cabeçotes está representado um filme de acoplante que serve para eliminar o ar existente entre a superfície irregular da sapata e da peça ensaiada, garantindo assim a transmissão do sinal US. Um acoplante comumente utilizado é a água, dada sua abundância

e baixo custo, sendo que géis são também empregados. Nessa Figura 2.6 representa-se a direção da varredura dos cabeçotes com uma seta tracejada curva.

Figura 2.6 – Representação do processo de inspeção US não mecanizada



Conforme observado em visitas técnicas, durante uma inspeção não mecanizada, o inspetor faz a varredura dos cabeçotes sobre a superfície da peça ensaiada, concentrando-se em três requisitos: (1) manter o paralelismo entre a direção de varredura e a do cordão de solda, (2) manter constante o distanciamento entre os cabeçotes e o cordão e (3) manter os centros dos cabeçotes tangenciais à superfície. Respeitadas essas condições, assegura-se que as ondas US percorreram integralmente o volume do cordão de solda e isso significa que todo o espaço físico no qual pode ocorrer uma descontinuidade foi verificado. Portanto, essas condições influem na confiabilidade da inspeção.

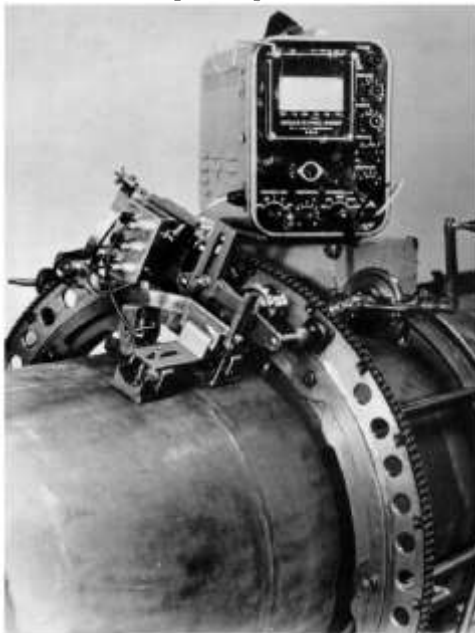
Ainda, o respeito a essas condições está sujeito às limitações humanas do inspetor, como: destreza manual, acuidade visual e fadiga motora. A neutralização dessas limitações é objetivada pelo portador mecanizado.

2.3.2. Processo de Inspeção Mecanizada

O processo de inspeção mecanizada é caracterizado pelo uso de um Portador de sistemas ultrassônicos, cujo objetivo é aumentar a qualidade do processo (LEITÃO e TENERA, 2006).

Portadores de sistemas ultrassônicos são o alvo de desenvolvimento da engenharia desde algumas décadas. Em 1959 foi lançado um dos primeiros portadores destinados à inspeção de oleodutos, conforme observado na Figura 2.7.

Figura 2.7 - Portador desenvolvido pela empresa holandesa RTD b.v. em 1959



Fonte: Ginzel (2000)

Voltando à atualidade, os principais fabricantes de portadores, também conhecidos como escâneres, identificados nesta pesquisa foram: Olympus, GE, Force e Metalscan, seus produtos podem ser observados nas Figura 2.8 até Figura 2.13, respectivamente. Esses seis portadores distinguem-se entre si pelo tipo de varredura⁹, tipo de anexação¹⁰ e tipo de aplicação. Essas diferenças são refletidas na qualidade e preço de cada um.

⁹ Varredura: Movimentação do cabeçote com o objetivo de percorrer a superfície inspecionada.

A aplicação varia conforme o tipo de peça ensaiada (chapa plana, duto com solda circunferencial ou longitudinal), e conforme o tipo de anexação à peça ensaiada: magnético (restringindo o portador à inspeção de materiais somente do tipo ferromagnéticos), por cinta ou corrente circunferencial (que limita o Portador a inspeção de dutos com solda circunferencial), ou ainda, por anexação manual, na qual o inspetor é responsável por anexar o portador à peça.

A qualidade da inspeção relaciona-se à precisão de varredura, que é suscetível a duas variáveis: o alinhamento entre cabeçotes e cordão de solda, e a precisão do deslocamento dos cabeçotes. Já a qualidade do alinhamento é influenciada pelo tipo de anexação, enquanto a uniformidade é pelo tipo de varredura.

Supõe-se que a solução que oferece melhor alinhamento é por cinta metálica circunferencial, como é o caso do portador Weldstar (Figura 2.11). Seguida pelas outras, por corrente: Chain (Figura 2.9) e AGS-01 (Figura 2.12), por magnetismo: Weldrover (Figura 2.10) e manual: Hst-x04 (Figura 2.8).

Já a uniformidade do deslocamento é devido ao tipo de varredura que permite o controle da velocidade do deslocamento dos cabeçotes. Esse controle depende se o Portador é motorizado ou não. Entre os não motorizados estão o Hst-x04 (Figura 2.8) e o Sinus (Figura 2.13).

Além disso, a qualidade da inspeção relaciona-se à transmissão do sinal ultrassônico. Para essa transmissão é preciso que o cabeçote realize contato com a superfície da peça ensaiada. Esse contato é crítico por causa das dimensões reduzidas dos cabeçotes, que, quando de formato cilíndrico, possuem diâmetro de 6mm e altura de 10mm, aproximadamente. Essas dimensões reduzidas, em conjunto com a eventual irregularidade da superfície ensaiada, são críticas ao contato mencionado. Para esse problema, a solução encontrada na maioria dos portadores é um garfo com um ou dois graus de liberdade que melhoram a qualidade desse contato.

Esses portadores possuem fácil montagem e ajustes, que por vezes dispensam o uso de ferramentas. Normalmente possuem parafusos e porcas do tipo manípulo ou borboleta.

Outro atributo desses produtos é a existência de alças ou pegas que melhoram sua ergonomia.

¹⁰ Anexação: Ação de juntar o Portador à peça-ensaiada, de forma a viabilizar a varredura.

Os portadores permitem, além da detecção, a localização de descontinuidades. Essa localização é realizada por um tipo de Encoder que converte o deslocamento do Portador em pulsos elétricos transmitidos ao aparelho US, onde a descontinuidade é indexada a sua posição.

Figura 2.8 – Portador HST-X04 da Olympus

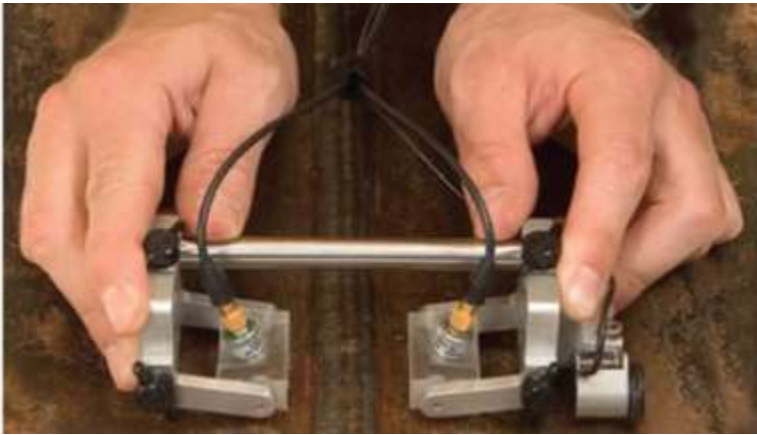
HST-X04 (a) Olympus, 2011(a)	Varredura: Manual Anexação: Manual	Aplicação: - Dutos com solda circunferencial - Dutos com solda longitudinal - Chapas planas
		
Destaca-se pela versatilidade, simplicidade e baixo custo.		

Figura 2.9 - Portador Chain da Olympus

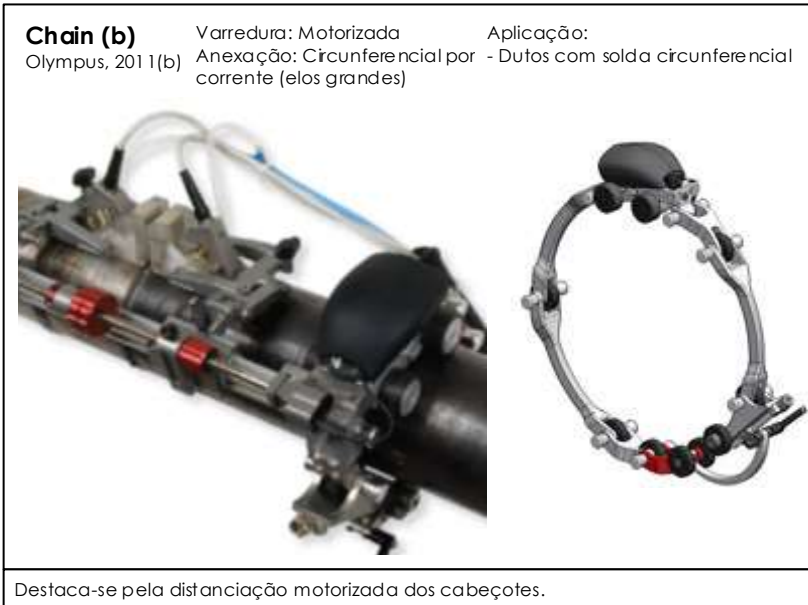


Figura 2.10 - Portador Weldrover da Olympus



Figura 2.11 – Portador Weldstar da GE

Weldstar GE, 2011	Varredura: Motorizada Anexação: Circunferencial por cinta metálica	Aplicação: - Dutos com solda circunferencial
-----------------------------	---	---



Destaca-se pela precisão da movimentação e alinhamento da varredura de vido à cinta metálica de anexação à dutos de variados diâmetros.

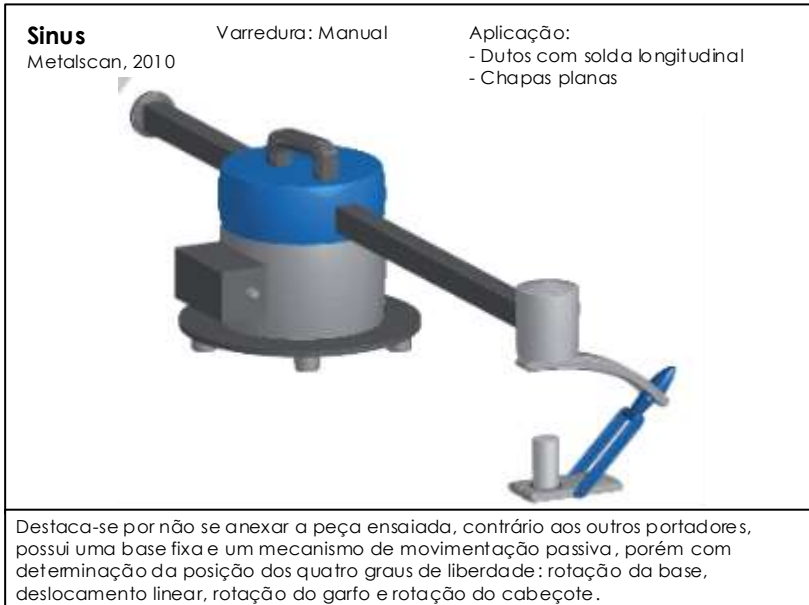
Figura 2.12 – Portador AGS-01 da Force

AGS-01 Force, 2011	Varredura: Motorizada em dois eixos Anexação: Circunferencial por corrente	Aplicação: - Dutos com solda circunferencial - Inspeção de corrosão
------------------------------	---	---



Destaca-se pelo alinhamento e varredura automáticos do cordão de solda.

Figura 2.13 – Portador Sinus da Metalscan



2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram abordados o END e suas técnicas, apresentando diferentes maneiras de se inspecionar uniões soldadas. Entre essas técnicas, evidenciou-se a ultrassônica cujo desempenho e confiabilidade podem ser melhorados pelo emprego de um Portador de sistemas ultrassônicos. Assim, exibiu-se os principais portadores encontrados no mercado, bem como suas principais características, salientando que nenhum Portador desenvolvido e/ou fabricado nacionalmente foi encontrado.

Também pelas visitas feitas a ao LNDC¹¹/UFRJ e à CENPES¹²/PETROBRAS, além da pesquisa na literatura (LEITAO e TENERA, 2006; SOUZA et al, 2009) e da demanda apresentada pela empresa desenvolvedora de sistemas ultrassônicos entendeu-se que o desenvolvimento de um Portador para detectar defeitos em soldas poderia

¹¹ LNDC: Laboratório de Ensaios Não Destrutivos, Corrosão e Soldagem

¹² CENPES: Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello

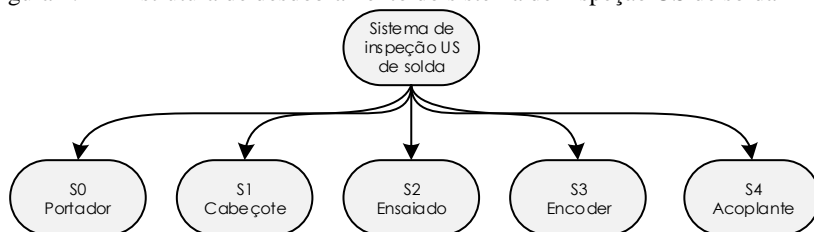
contribuir com a qualidade dos serviços de soldagem em uniões metálicas de chapas e dutos.

Com base nesse estudo da técnica Ultrassônica, estruturou-se o desdobramento do sistema de inspeção no documento apresentado na Figura 2.14. O sistema de inspeção ultrassônico de uniões soldadas é composto por cinco subsistemas:

- S0 – Portador: porta componentes do subsistema ultrassônico, viabilizando a inspeção mecanizada;
- S1 – Ultrassônico, composto por transdutor, sapata e multiplexador;
- S2 – Ensaiado, caracteriza a peça ensaiada que pode ser um duto ou uma chapa plana soldada;
- S3 – Encoder: dispositivo que converte o deslocamento do Portador em pulsos elétricos transmitidos ao multiplexador;
- S4 – Acoplante: substância que preenche o espaço existente entre a sapata US e a superfície da peça ensaiada. Pode ser água, vaselina líquida entre outros.

Desses subsistemas, o ‘S0 – subsistema Portador’ vai ser desenvolvido por ser relevante ao o escopo desse trabalho. Os demais subsistemas não serão desenvolvidos, porém, a interface deles é realizada pelo Portador, por isso o conhecimento deles é importante.

Figura 2.14 - Estrutura de desdobramento do sistema de inspeção US de solda



As informações obtidas no capítulo e a sintetização apresentada na Figura 2.14 serão entradas importantes para os capítulos seguintes de desenvolvimento de produto.

3. PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

O Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) estrutura o planejamento, execução e controle do desenvolvimento de produtos. Um PDP pode ser modelado por uma série de atividades, sistematizadas por métodos e técnicas, que gradualmente propiciam o surgimento do produto, seja ele em sua forma conceitual, em protótipos e até mesmo na forma de lote piloto de fabricação, entre outras. O grau de entrega do produto desenvolvido depende do escopo do projeto, que define quais fases de projeto serão abordadas.

A importância da adoção de um modelo de PDP (ou Plano de Procedimento) é justificada por Pahl *et al.* (2007), p.88:

“Dada a complexidade do processo de desenvolvimento de produtos e os vários métodos que devem ser aplicados, não adotar um plano de procedimento deixaria os projetistas com um número de possíveis abordagens não gerenciáveis. É portanto necessário aos projetistas que aprendam sobre o processo de projeto e a aplicação de métodos individuais, assim como os passos de trabalho e de tomada de decisão propostos nos planos de procedimento.”

Desse modo, neste capítulo revisa-se as metodologias de desenvolvimento de produtos existentes, com o intuito de se propor um modelo de PDP específico ao desenvolvimento do Portador.

3.1. METODOLOGIAS DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS EXISTENTES

Back *et al.* (2008) definem o termo ‘Metodologia de desenvolvimento de produtos’ como a organização do conhecimento, métodos e ferramentas utilizados para o desenvolvimento de produtos. Consideram ainda a metodologia como o meio necessário ao desenvolvimento de um produto com eficiência e eficácia.

Entre as metodologias de desenvolvimento de produtos existentes destacam-se as propostas por Back e colaboradores (Figura 3.1) e Pahl *et al.* (2007) (Figura 3.2). Essas metodologias apresentam estrutura semelhante, baseada em fases de projeto.

A metodologia proposta por Back e colaboradores cuja representação denomina-se Modelo PRODIP (Figura 3.1) é composta por

nove fases: Planejamento do produto, Planejamento do projeto, Projeto informacional, Projeto conceitual, Projeto preliminar, Projeto detalhado, Preparação da produção, Lançamento e Validação.

Figura 3.1 – Modelo PRODIP proposto por Back et al. (2008)



Pahl et al. (2007), por sua vez, abordam o PDP como um processo de gestão do conhecimento, no qual informações de projeto (e.g. necessidades dos usuários) são sucessiva e sistematicamente transformadas em um produto, conforme afirmam: “...a resolução de problemas demanda um grande e constante fluxo de informação [...] [que] é recebida, processada e transmitida.” (p. 51)

A informação é recebida por análises de mercado, estudos de tendência, patentes, revistas técnicas, resultados de pesquisa, licenças, pedidos de clientes, atribuições concretas, catálogos de projeto, análises de sistemas naturais e artificiais, cálculos, experimentos, analogias, normas, instruções de entrega e por ‘questionamentos’, entre outras fontes citadas pelos autores. Os mesmos citam ainda os meios de processamento e transmissão das informações.

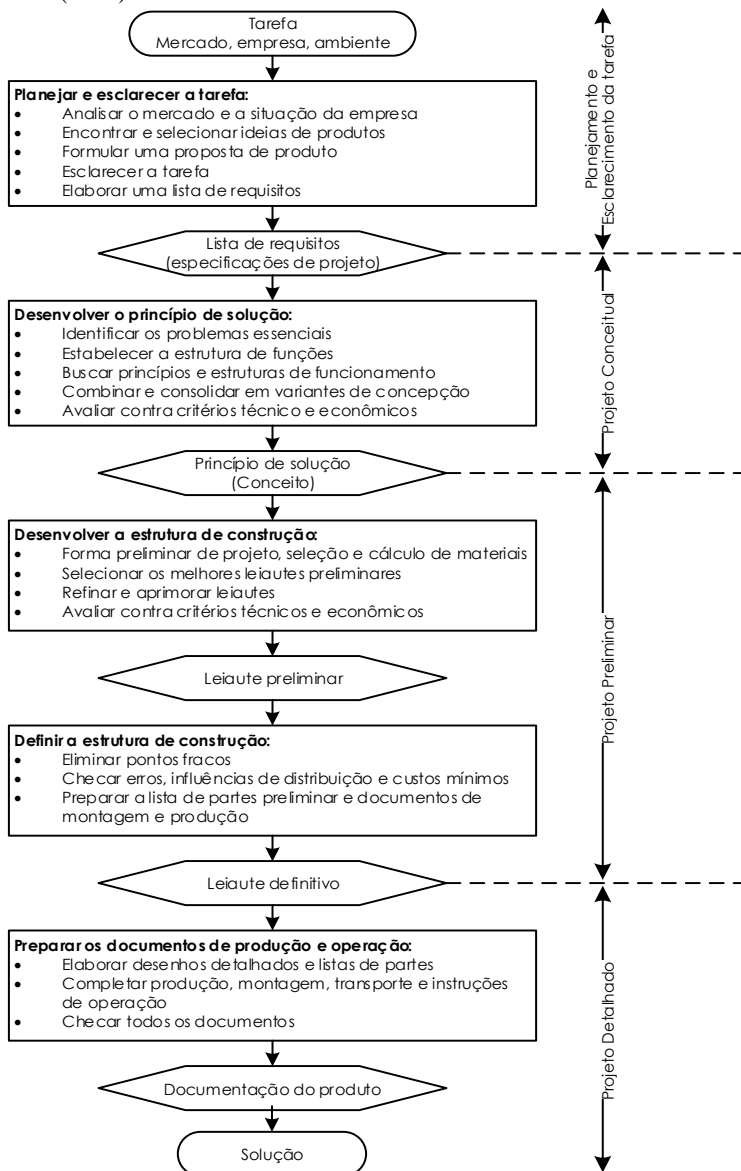
A informação é processada por análise e síntese, desenvolvimento de soluções conceituais, cálculos, experimentos, elaboração de desenho de layouts e também de avaliação de soluções.

Já a transmissão da informação ocorre por meio de esboços, desenhos, relatórios, tabelas, produção de documentos, manuais de montagens, manuais de usuários, etc., tanto em forma impressa quanto eletrônica.

A estrutura da metodologia observada na Figura 3.2 é composta por atividades, organizadas em quatro fases:

- Planejamento e Esclarecimento da tarefa;
- Projeto Conceitual;
- Projeto Preliminar;
- Projeto Detalhado.

Figura 3.2 – Modelo de fases para o desenvolvimento de produtos proposto por Pahl et al. (2007)



Fonte: Adaptado de Pahl et al. (2007)

3.2. FASES DO PDP

Uma forma de se compreender o PDP é por meio da análise de suas fases, métodos e técnicas, conforme descrito a seguir.

Com base no modelo PRODIP (Figura 3.1), seis são as fases relacionadas ao escopo desse trabalho: Planejamento do produto, Planejamento do projeto, Projeto informacional, Projeto conceitual, Projeto preliminar e Projeto detalhado. Sendo que a última, o Projeto detalhado não é desenvolvido, por tratar da conexão entre o processos de projeto e de fabricação, sendo somente descrita para contextualização do trabalho.

Assim, a primeira fase contemplada neste trabalho é a fase de **Planejamento do Produto**, na qual é documentada a proposta do produto e sua oportunidade de mercado, no documento Plano do produto. O planejamento de produtos busca investigar as tecnologias existentes, o volume de produção e o retorno do investimento. Como métodos para se planejar produtos destacam-se o Mapeamento tecnológico abordado por Ibarra (2007), Matriz de necessidades versus tecnologias, Análise do estilo de vida, Método *Key-needs*, Curva S, Matriz de impacto cruzado, Análise de porta-fólio tecnológico, entre outros, abordados por Back *et al.* (2008).

Segundo Back e colaboradores., a fase de **Planejamento de Projeto** destina-se à identificação das partes envolvidas no projeto, à elaboração do plano de gerenciamento das comunicações e também à elaboração do escopo do projeto. Durante esta fase, a elaboração do escopo do projeto é detalhada por meio de uma Estrutura de Desdobramento do Trabalho (EDT), que auxilia a definição das atividades de projeto. Outros métodos utilizados são: *Brainstorming*, *Benchmarking* e Pesquisa bibliográfica.

Com essa fase de planejamento, espera-se definir o Plano de projeto:

“um documento formal e aprovado usado para guiar tanto a execução quanto o controle do projeto. Os principais usos do plano de projeto são para documentar suposições e decisões de planejamento, facilitar a comunicação entre *stakeholders*, e documentar o escopo aprovado, custo, e bases de cronogramas” (PMBOK 2000, p. 205).

A fase de **Projeto Informacional** definida por Back e colaboradores, também chamada de Esclarecimento da tarefa de projetos por Pahl *et al.* (2007), objetiva elaborar a Lista de especificações de projeto.

Essa lista representa aquilo que os usuários desejam e exigem do produto em desenvolvimento, descrito em linguagem de projeto. Os métodos propostos para essa fase são: Casa da qualidade, Método de Kramer, Pesquisa bibliográfica, Entrevista estruturada, Brainstorming, Análise funcional do sistema, Recomendações de redação.

A próxima fase é a de **Projeto Conceitual** em que é desenvolvido o conceito do produto. Este conceito contém os princípios de funcionamento que cumprem as funções do produto. Os métodos sugeridos na literatura para o projeto conceitual são: Abstração das especificações, Síntese Funcional, Matriz Morfológica, Método de Pugh, *Brainstorming*, Análise de produtos similares (BACK *et al.* 2008).

Na sequência, durante a fase de **Projeto Preliminar** (também chamada de otimização do produto), o produto é materializado em sua primeira versão, chamado de protótipo, que representa os modelos Físico, Funcional e Geométrico do Portador.

Nesta fase, são utilizadas técnicas para dar forma às concepções que permitem construir peças, subsistemas e sistemas que constituem o produto, listando materiais, dimensões, processos de fabricação e custos.

A principal técnica para execução da modelagem geométrica do protótipo é um Software CAD. Complementado por um programa de planilha eletrônica, que possibilita o gerenciamento da lista de materiais do protótipo, bem como o custo do protótipo (BACK *et al.* 2008).

Por fim, encerrando a série de seis fases, na qual este trabalho está inserido, está a fase de **Projeto Detalhado**, que objetiva o detalhamento do projeto visando a preparação do produto à produção, plano de produção, montagem, vendas, e ainda produz os manuais de utilização e de manutenção (BACK *et al.* 2008).

Assim, com base na revisão das metodologias, no Quadro 3.1 organizou-se os métodos e técnicas adequados ao desenvolvimento do portador, correlacionados com as referências nas quais foram encontrados ou aplicados. No próximo item, esses métodos são brevemente descritos.

Quadro 3.1 - Métodos e Técnicas cabíveis ao desenvolvimento do Portador e a referência de outros trabalhos nos quais foram aplicados

Métodos ou Técnicas (MT)	Referência							
	Farina (2010)	Silverstein et. al (2009)	Back et al.(2008)	Pahl et al. (2005)	Romano (2003)	PMBok (2000)	Baxter (1998)	Ogliari (1990)
MT01 – Pesquisa bibliográfica			X		X		X	
MT02 – Brainstorming		X	X	X	X		X	
MT03 – EDT			X			X	X	
MT04 – Software CAD		X	X	X	X			
MT05 – Análise funcional do sistema		X	X	X	X		X	X
MT06 – Benchmarking	X		X	X	X			X
MT07 – Entrevista estruturada			X		X			
MT08 – Método de Kramer				X				
MT09 – Recomendações de redação		X	X	X			X	
MT10 – Abstração das especificações de projeto				X				
MT11 – Síntese funcional	X	X	X	X	X			
MT12 – Matriz morfológica		X	X	X	X			X
MT13 – Método de Pugh	X	X	X					
MT14 – Reuniões			X					
MT15 – Software de planilha eletrônica								
MT16 – Análise de sistemas técnicos existentes				X	X		X	

3.3. REGISTRO DO PROCESSO DE PROJETO

Além dos Métodos ou Técnicas (MT), a análise das metodologias permitiu a identificação dos outros elementos que constituem o universo de projeto: Atividades (A), Documentos (D) e Usuários (U). Estes elementos são primordiais ao PDP, assim, cada elemento tem seu papel específico.

Assume-se que **atividade** é a transformação de informações de projeto em um determinado espaço de tempo, no qual a equipe de projeto concentra seus esforços e recursos para a execução do PDP.

Já os **métodos ou técnicas**¹³, são os meios que viabilizam essa transformação. Conforme observado no Quadro 3.1, os métodos foram obtido por metodologias de desenvolvimento de produtos.

Os **documentos**, por sua vez, explicitam e consolidam as informações transformadas. Diversos modelos de documentos constituem o apêndice desta dissertação, que visa representar de forma impressa o banco de dados formado pela coletânea de documentos.

Finalmente, os **usuários** são os agentes, que durante as atividades, transformam as informações por meio dos métodos ou técnicas, para então gerarem documentos e por fim o produto.

Além desses elementos, existem ainda, o custo e o tempo, que não estão representados no modelo, dada a natureza predominantemente acadêmica desse projeto. Todavia, o custo e o tempo podem ser incorporados no modelo, em trabalhos futuros.

3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

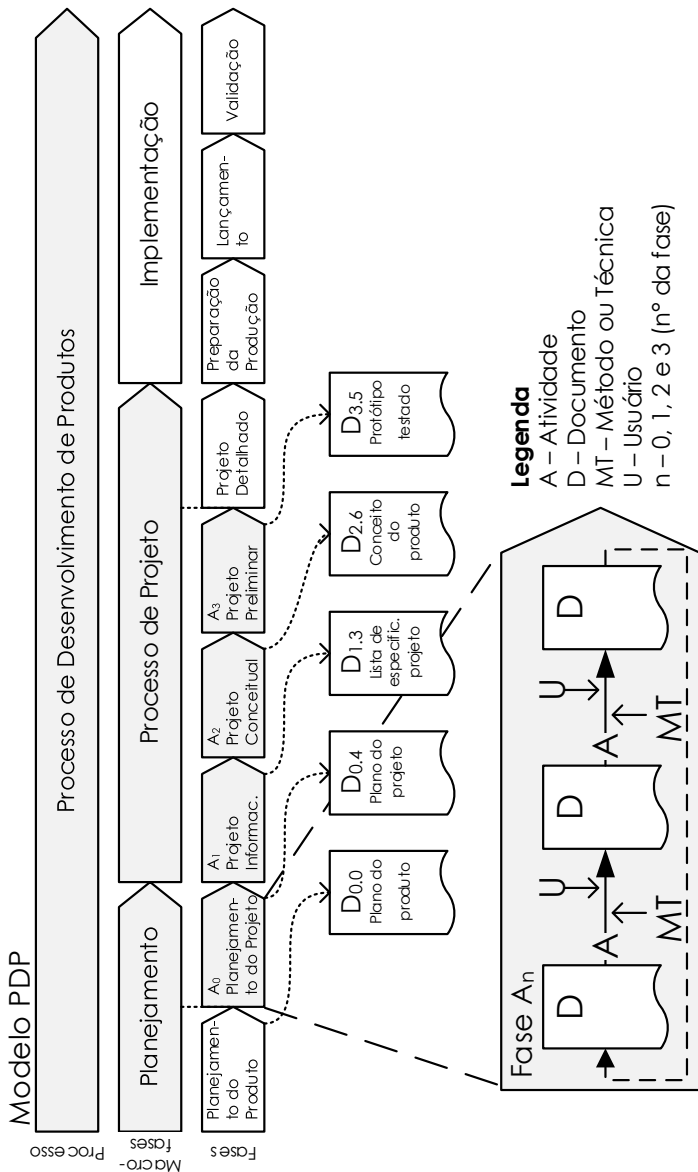
Neste capítulo apresentou-se aspectos gerais de metodologias de desenvolvimento de produtos, que servem de base teórica à sistematização do PDP do portador. Enfatizou-se as fases de projeto comumente encontradas em metodologias e seus respectivos métodos de desenvolvimento. Uma melhor compreensão da aplicação dos mesmos pode ser obtida nos próximos capítulos.

Um dos principais aprendizados obtidos com esta revisão foi a identificação dos elementos de projeto que constituem as metodologias analisadas, classificados como: atividades, documentos, métodos e usuários. A dinâmica do relacionamento entre esses elementos representa a forma como interagem, dando assim origem ao modelo do PDP elaborado especificamente ao Portador.

Uma vez identificadas as fases e elementos de projeto presentes em Back et al. (2008) e Pahl et al. (2007), apresentados na Figura 3.1 e na Figura 3.2, tem-se a base teórica para a sistematização do modelo de PDP do Portador em desenvolvimento, apresentado na Figura 3.3. Conforme previsto por um dos objetivos específicos desta dissertação.

¹³ Doravante as técnicas serão referenciadas como métodos (MT), por questões de clareza da escrita e do modelo.

Figura 3.3 – Modelo elaborado para o PDP do Portador, adaptado de Back et al. (2008)



O modelo do PDP apresentado na Figura 3.3 é baseado principalmente em quatro (em destaque na cor cinza) das nove fases do modelo PRODIP (Figura 3.1), identificadas como: A_0 – Planejamento de Projeto, A_1 - Projeto informacional, A_2 - Projeto conceitual e A_3 - Projeto preliminar. Cada uma dessas fases é composta pelos elementos de projeto, representados pelas letras A, D, MT e U. Além das atividades normais, representadas por setas contínuas horizontais, existe uma atividade de revisão de fase, representada pela seta tracejada, que visa a reiteração da fase, e, portanto, a atualização das informações obtidas durante a mesma.

Além disso, observa-se que cada fase é marcada por um documento de entrada e um de saída. A entrada da fase ‘ A_0 - Planejamento do projeto’ é o documento **Plano do produto ($D_{0,0}$)**, e a saída é o **Plano do projeto**¹⁴($D_{0,4}$), que é a entrada de ‘ A_1 - Projeto informacional’.

Durante o projeto informacional estabelece-se o documento **Lista de especificações do produto ($D_{1,3}$)**, que contém as informações para o desenvolvimento do conceito do produto durante a fase ‘ A_2 - Projeto conceitual’. Na fase ‘ A_3 - Projeto preliminar’, desenvolve-se o documento que permite construir e testar o **Protótipo funcional do produto ($D_{3,5}$)** encerrando o desenvolvimento objetivado neste trabalho. Aqui encerra-se o propósito desta dissertação, mas no modelo PRODIP, outras fases seguem, como visto na própria Figura 3.3 (e.g. Projeto Detalhado).

Neste trabalho, a fase de Projeto Preliminar inclui algumas atividades consideradas pertencentes ao Projeto Detalhado por Back et al. (2008), como: Executar aquisição, fabricação e montagem das peças; e Validar protótipo. Optou-se por agrupar essas atividades, juntamente às típicas do Projeto Preliminar (e.g. Modelar leiaute do sistema de inspeção, Planejar montagem do protótipo, Planejar fabricação do protótipo) em apenas uma fase pois define-se que é na fase de Projeto Preliminar que são abordadas as atividades relativas ao desenvolvimento do primeiro protótipo.

No entanto, como mencionado, Back et al. (2008) divide essas atividades de desenvolvimento do protótipo entre a fase de Projeto Preliminar e de Projeto Detalhado. Os autores citam que as atividades relativas ao planejamento de fabricação e de teste do protótipo pertencem à fase de Projeto Preliminar, enquanto que as atividades que envolvem a

¹⁴ No contexto desse trabalho, define-se Plano de projeto como o conjunto de documentos gerados durante a fase do planejamento do projeto, entre eles o ‘ $D_{0,4}$ – Plano de projeto’.

fabricação de componentes, montagem do protótipo, testes de laboratório e aprovação do protótipo pertencem à fase de Projeto Detalhado.

As fases subsequentes a fase de Planejamento do Projeto terão seu desenvolvimento exibido nos capítulos seguintes, com a mesma sistemática apresentada neste capítulo de estruturação do PDP.

O apêndice deste trabalho contém os documentos elaborados que não são apresentados ao longo do texto. A lista desses documentos pode ser observada antes do capítulo introdutório.

4. PLANEJAMENTO DO PRODUTO E PROJETO

Exposta a pesquisa sobre a inspeção ultrassônica de solda e sobre o processo de desenvolvimento de produtos, inicia-se, neste capítulo, a descrição do desenvolvimento do Portador. Apresenta-se as fases de planejamento do produto e de planejamento do projeto. O planejamento do produto foi realizado pela empresa colaboradora neste projeto, sendo por isso apresentado de forma sucinta. Já o planejamento do projeto é apresentado de forma mais extensa por ter sido desenvolvido pela equipe de projeto.

4.1. PLANEJAMENTO DO PRODUTO

Este desenvolvimento surgiu da oportunidade de desenvolver em âmbito acadêmico um produto sob medida para o mercado brasileiro: um Portador desenvolvido e fabricado nacionalmente. Diante desta oportunidade definiu-se o tema: Desenvolvimento de um Portador de sistemas ultrassônicos para a inspeção de uniões soldadas.

A primeira fase, como definida na Figura 3.3 é chamada de Planejamento do Produto, tendo as seguintes percepções:

- percepção da lacuna do mercado brasileiro, definida pela falta do produto com desenvolvimento e fabricação nacional;
- conhecimento do mercado internacional, pela análise de produtos semelhantes existente no exterior;
- interesse de empresa em empreender no desenvolvimento;
- interesse e demanda de empresas consumidoras de um produto que satisfaça o escaneamento de uniões soldadas para a detecção de descontinuidades.

Além da descrição da oportunidade, apresenta-se o Apêndice D_{0,0} que contém a proposta do Portador em desenvolvimento, em termos do escopo do projeto, da função objetivada, das necessidades preliminares e dos usuários finais do Portador.

Conhecida a oportunidade e o produto a ser desenvolvido, passou-se ao planejamento do projeto.

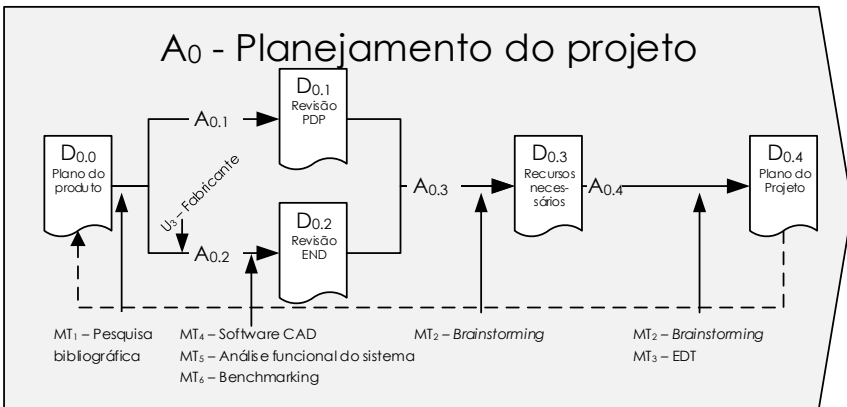
4.2. PLANEJAMENTO DO PROJETO

Durante essa fase planejou-se o projeto do Portador, por meio da pesquisa sobre inspeção US (A_{0,1}), pesquisa bibliográfica sobre metodologias de desenvolvimento de produtos (A_{0,2}) e identificação dos

recursos necessários ao projeto ($A_{0,3}$). Com as informações obtidas com essas atividades propôs-se o modelo de PDP específico ao Portador ($A_{0,4}$).

Dessa forma, a fase de Planejamento do projeto objetiva organizar as atividades de pesquisa bem como os métodos que serviram ao refinamento das informações assim obtidas. No modelo da Figura 4.1 podem ser observadas quatro atividades, enumeradas de $A_{0,1}$ até $A_{0,4}$, e seus quatro documentos resultantes: $D_{0,1}$ a $D_{0,4}$, já que o $D_{0,0}$ é o documento que explicita o Plano de Produto.

Figura 4.1 - Modelo da fase de Planejamento do projeto – A_0 , no qual $A_{0,n}$ representa a atividade n da fase A_0 , $D_{0,n}$ representa o documento n da fase A_0 , e MT os métodos



4.2.1. Pesquisar PDP ($A_{0,1}$)

Iniciando o planejamento do projeto, a partir do Plano do produto ($D_{0,0}$) partiu-se para o estudo do PDP na literatura, por meio da atividade $A_{0,1}$.

Nessa primeira atividade do planejamento de projetos pesquisou-se o PDP e as metodologias que o constituem, com foco na revisão dos métodos, fases e modelos de documentos voltados ao desenvolvimento de produtos. Na realidade, essa atividade de pesquisa é apresentada no Capítulo 3, que consolida o documento $D_{0,1}$.

4.2.2. Pesquisar END ($A_{0,2}$)

A atividade de pesquisa sobre a inspeção ultrassônica de uniões soldadas é descrita no Capítulo 2, que constitui o documento $D_{0,2}$.

4.2.3. Definir os recursos necessários ao projeto (A_{0,3})

Nessa terceira atividade, definiu-se os recursos necessários ao projeto por meio de sessões de *Brainstorming* (MT₂), nas quais buscou-se responder a seguinte questão: ‘Do quê necessitamos para a realização desse projeto?’, as respostas a essa pergunta foram formuladas em função de recursos nas seguintes categorias: Recursos de Informática, Recursos Materiais, Recursos Humanos e Recursos de Disponibilidade e Acesso a informações. A lista de recursos necessários ao projeto provém da ata da sessão e pode ser observada no Apêndice D_{0,3}.

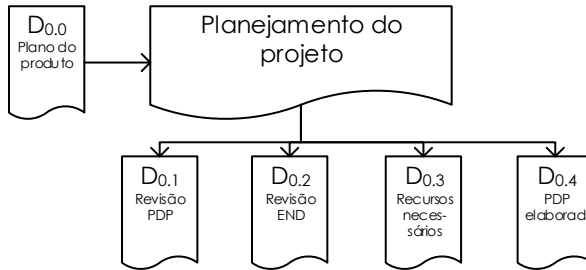
4.2.4. Elaborar PDP (A_{0,4})

A seguir, iniciou-se a elaboração do PDP do Portador pela definição dos elementos de projeto que constituem o PDP do Portador e pela definição do relacionamento entre esses elementos. Por sessões de *Brainstorming* (MT₂) com a equipe de projeto, definiu-se os elementos apropriados ao PDP do Portador e em seguida, em outras sessões definiu-se a relação entre esses elementos.

Definiu-se os elementos pela seguinte ordem: (1) documentos, (2) atividades e métodos, e (3) usuários. A lógica dessa ordem é a de que primeiramente deve ser definido o que deve ser feito, ou seja o que deve ser entregue, que no caso dessa dissertação é: documentos. Em seguida, como deve ser feito, por atividades e métodos, e por fim, com quem deve ou por quem deve ser feito: os usuários.

1. Primeiramente definiu-se os **documentos** por meio da EDT (MT₃), com isso obteve-se a estrutura de desdobramento do trabalho de desenvolvimento do Portador voltada à entrega dos documentos, observada parcialmente na Figura 4.2. Essa figura exemplifica o desdobramento do trabalho da fase de planejamento do projeto na entrega de quatro documentos, de D_{0,1} até D_{0,4}, e em mais um nível de desdobramento dos documentos D_{0,2} e D_{0,4}. Nota-se que a entrada da fase é o documento Plano do produto, que provém da empresa.

Figura 4.2 - EDT da fase de planejamento do projeto orientada à entrega de documentos. A EDT completa, que inclui o desdobramento das outras fases, está no Apêndice D_{0,4}.



2. Com base na EDT, definiu-se as **atividades** necessárias à entrega dos documentos. Cada seta do primeiro nível de desdobramento da EDT representa uma atividade. Para gerar o documento D_{0,1} existe a atividade A_{0,1}, para o D_{0,2} a A_{0,2} e assim por diante ao longo de todo o PDP. Para a execução dessas atividades definiu-se os **métodos** necessários por meio da revisão das metodologias de desenvolvimento de produto da atividade anterior. Os Métodos ou Técnicas são identificados pela letra MT no modelo do PDP (Figura 4.1).

3. Por último definiu-se os **usuários** do Portador por sessões de *Brainstorming* entre a empresa de desenvolvimento de tecnologia US e a equipe de projeto, sendo os usuários do Portador:
 - U₁ – Equipe de projeto, formada por pesquisadores do NeDIP¹⁵, responsável pelo planejamento, execução e controle do projeto;
 - U₂ – Empresa de desenvolvimento de tecnologia US, elaboradora do ‘Plano do produto’ e esclarecedora de dúvidas sobre o processo de inspeção US de solda;
 - U₃ – Fabricantes de peças (Indústrias metal-mecânica)
 - U_{3,1} – Corte de peças;
 - U_{3,2} – Fresagem;

¹⁵ Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos pertencente a Universidade Federal de Santa - Catarina

U_{3,3} – Torneamento;

U₄ – Inspetores de solda;

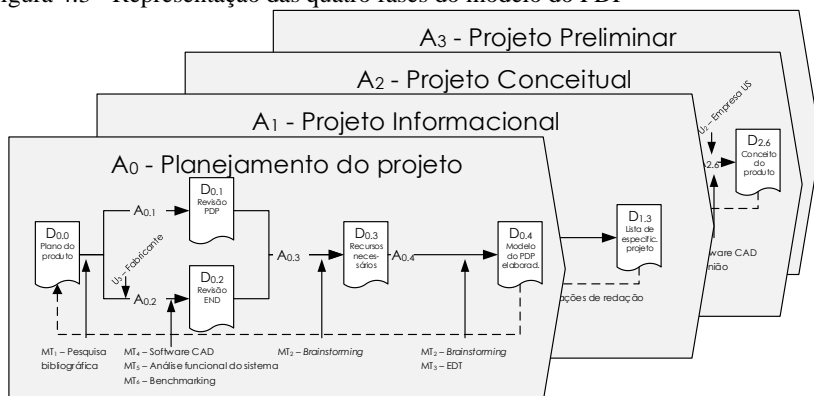
U₅ – Pesquisadores de laboratórios e institutos, usuários finais do Portador, entrevistados para identificação das necessidades dos usuários;

U₆ – Fornecedores de peças

U₇ – Montador (equipe de projeto)

Finalmente, segundo a metodologia PRODIP (exposta no Capítulo 3), e tendo conhecimento dos elementos de projeto e da relação entre eles, tornou-se possível a elaboração de um modelo de PDP para o Portador, observado na íntegra no documento D_{0,4}, e em representação esquemática na Figura 4.3.

Figura 4.3 - Representação das quatro fases do modelo do PDP



Para complementar a representação gráfica, no Apêndice D_{0,4} o PDP da Figura 4.3 é descrito conforme sua estrutura de fases e atividades.

4.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o Plano do Projeto (D_{0,4}), o foco do trabalho passou à coleta, processamento e transmissão de informações. Ações a serem realizadas no Projeto Informacional.

O planejamento consistiu na definição das atividades, documentos, métodos e usuários necessários ao projeto, e também na formalização da interação entre eles. Com o planejamento a equipe de projeto tem um

modelo do que, de como e com quem deve ser feito durante o trabalho de projeto.

Este capítulo é o referencial para o desenvolvimento do projeto do produto proposto e da dissertação de mestrado. Porque, apresenta-se uma formatação de como se pode desenvolver o produto de forma segura, fácil, com qualidade e de maneira repetida.

O controle do PDP torna-se possível graças ao rastreamento das informações de projeto, viabilizado pelo modelo. Esse modelo visa explicitar minuciosamente o fluxo de transformação de informações de projeto. Esse fluxo pode ser observado pela análise sucessiva dos documentos gerados. Por exemplo, no documento $D_{1,1}$ estão declaradas as necessidades dos usuários, já no documento $D_{1,2}$ essas necessidades são desenvolvidas e detalhadas. A transformação nesse exemplo são as ações de desenvolver e detalhar. Assim, o documento $D_{1,2}$ explicita a evolução da informação contida em $D_{1,1}$.

Com este PDP viabilizou-se o planejamento do desenvolvimento do portador, que por sua vez viabiliza a execução e controle desse desenvolvimento. Nos próximos capítulos se apresentará a macrofase do Processo de Projeto Figura 3.3 e as respectivas fases requeridas para os propósitos desta dissertação.

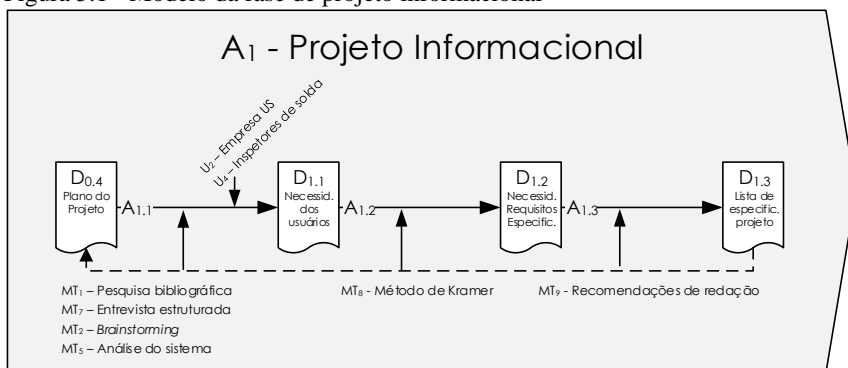
O detalhamento de todas as fases do ponto de vista teórico estão fundamentadas em trabalhos de alguns autores que desenvolveram e utilizam a metodologia (BACK et al. 2008; PAHL et al. 2007; FARINA 2010; SILVERSTEIN, SAMUEL e DECARLO 2009; ROMANO 2003; PMBOK 2000; BAXTER 1998 e OGLIARI 1990).

5. PROJETO INFORMACIONAL

Neste capítulo é exposta a fase de Projeto Informacional, na qual, estabeleceu-se as especificações de projeto do Portador, a partir das informações do Planejamento do Projeto. Inicialmente foram definidas as necessidades dos usuários, que em seguida foram desenvolvidas em requisitos de projeto e então detalhadas em especificações de projeto. Essas especificações foram reorganizadas em função dos subsistemas de inspeção. Por fim, as especificações de projeto foram classificadas como desejos ou exigências dos usuários, definindo assim, a prioridade em seu cumprimento.

A seguir, é descrito o processo de obtenção da lista de especificações de projeto do Portador, por meio da descrição de cada uma das atividades do projeto informacional ($A_{1,1}$, $A_{1,2}$ e $A_{1,3}$, conforme Figura 5.1).

Figura 5.1 - Modelo da fase de projeto informacional



5.1. DEFINIR NECESSIDADES DOS USUÁRIOS ($A_{1,1}$)

Nesta primeira atividade da fase, definiu-se as necessidades dos usuários por meio de quatro métodos: MT_1 - Pesquisa bibliográfica, MT_4 - Análise do sistema de inspeção, MT_7 - Entrevista estruturada com os usuários especialistas do produto e MT_2 - Sessões de *Brainstorming* entre a equipe de projeto e a empresa US (U_2).

1. Iniciou-se pela **pesquisa** a artigos científicos, catálogos, livros e vídeos relacionados ao sistema de inspeção¹⁶. Com essa pesquisa identificou-se as seguintes necessidades: ‘maior confiabilidade na detecção de descontinuidades’, ‘ergonomia durante a preparação do Portador’, ‘segurança do Portador’ e ‘resistência à oxidação’.
2. Na sequência, por meio da **análise do sistema de inspeção**, definiu-se as necessidades: ‘assegurar transmissão do sinal US’, ‘varrer cordão de solda com os cabeçotes’ e ‘localizar descontinuidades’. Nota-se que as necessidades definidas por essa análise do sistema evidenciaram necessidades implícitas, não declaradas pelos inspetores de solda. A análise deu-se em reuniões com professores¹⁷ e alunos do Posmec no laboratório NeDIP.
3. Já com um esboço das necessidades, estabeleceu-se um questionário (Figura 5.2) para a aprovação das necessidades até então definidas e para a obtenção de novas necessidades. Então, aplicou-se o questionário, em **entrevista** com os usuários inspetores de solda (U₄) durante visita técnica e obteve-se como necessidades: ‘Portador versátil’, ‘uso do Portador em campo’ e ‘redução da fadiga do inspetor’.

¹⁶ Define-se sistema de inspeção como o conjunto dos componentes necessários à inspeção US de solda, bem como todos os fluxos de energia material e sinal que atravessam esses componentes.

¹⁷ Professores que participaram das sessões de *Brainstorming*: Acires Dias, Dr. Eng.; Cleide M. Marqueze, MSc. Eng.; Tiago L. F. Costa Pinto, Dr. Eng.; Hazim Ali Al-Qureshi, Ph.D.

Figura 5.2 - Questionário de identificação das necessidades dos usuários de inspeção de solda

Questionário para identificação das necessidades dos usuários de um Portador de sistemas ultrassônicos para a inspeção de uniões soldadas
1. Qual a frequência de inspeção de DUTOS?
2. Qual a frequência de inspeção de CHAPAS?
3. Qual a frequência de inspeção de BOCAIS?
4. Qual a frequência de inspeção de TROCADORES DE CALOR?
5. Qual o diâmetro mínimo dos dutos inspecionados?
6. Qual a faixa de espessura da solda inspecionada?
7. Qual a tolerância máxima de alinhamento entre a linha de varredura e a linha de centro da solda?
8. Qual deve ser a altura máxima do portador para evitar colisões durante a varredura?
9. Quanto você estaria disposto a investir na aquisição de um portador para inspeção de soldas (módulo ultra-som não incluído)?
10. Qual das variáveis possui maior relevância na aquisição de um portador?
11. Quais normas são seguidas para a realização da inspeção?
12. Quais tipos menos comuns de materiais são inspecionados?
13. Quais tipos de juntas e chanfros são inspecionados?
14. Qual é a orientação das soldas inspecionadas?
15. As sapatas utilizadas na inspeção são perfeitamente moldadas à superfície ensaiada? Em qual situação?
16. Existe alguma restrição no uso da água como acoplante entre a sapata e superfície do material ensaiado? Qual outro acoplante aconselhado? Por quê?
17. Qual a velocidade de deslocamento desejada para um portador MANUAL?
18. Qual a velocidade de deslocamento desejada para um portador MOTORIZADO?
19. A movimentação motorizada do portador é desejada? Por quê?
20. Quais arranjos de transdutores são desejados no portador?

4. Por fim, o último método foi o **Brainstorming** realizado em várias sessões entre a equipe de projeto (U_1) e a empresa desenvolvedora de tecnologias US (U_2), que evidenciou as necessidades: ‘fácil calibração do Portador’ e ‘movimentação motorizada’.

Assim têm-se a lista das necessidades dos usuários:

- Portador versátil;
- Maior confiabilidade na detecção de descontinuidades;
- Assegurar transmissão do sinal US;
- Ergonomia (rapidez e facilidade) durante a preparação do Portador;
- Varrer cordão de solda com os cabeçotes;
- Segurança do Portador;
- Fácil calibração do Portador;
- Localizar descontinuidades;
- Portador utilizável em campo;
- Baixa fadiga na movimentação do Portador;
- Movimentação motorizada ou não;
- Resistência à oxidação.

Logo, cada necessidade foi descrita e organizada, em função do seu método de obtenção, no documento ‘D_{1.1} – Necessidades dos usuários’ (Apêndice D_{1.1}). Um extrato desse documento, referente ao primeiro método, pode ser observado na Quadro 5.1 .

Quadro 5.1 – Forma de representação das necessidades dos usuários, descritas em função do respectivo método de obtenção. O quadro completo está no Apêndice D_{1.1}.

Métodos	Necessidades dos usuários
MT1 - Pesquisa em material publicado (Rebello et al. 2009)	<p>Maior confiabilidade na detecção de descontinuidades: A maior confiabilidade na detecção de descontinuidades visa a redução da probabilidade de incidentes. Como forma de melhorar a confiabilidade, o portador deve: tornar a movimentação dos cabeçotes mais precisa, auxiliar a aplicação do acoplante, respeitar condições específicas de contato (e.g. tangência entre o cabeçote e a superfície. Vide lista de requisitos), e auxiliar na determinação da posição dos cabeçotes;</p>
MT1 - Pesquisa a vídeos demonstrativos de escâneres concorrentes (Vídeo Olympus 2012)	<p>Ergonomia durante a preparação do portador: É desejável que a a preparação do escâner seja ergonômica, isso é possível por regulagens e encaixes (do portador) fáceis e rápidos;</p>

Após sua descrição, transformou-se as necessidades do usuários em requisitos e especificações de projeto, conforme descrito na próxima atividade.

5.2. DESENVOLVER E DETALHAR NECESSIDADES DOS USUÁRIOS (A_{1.2})

Para traduzir as necessidades da linguagem do usuário para a de projeto, fez-se uso do método de Kramer (MT₈), que consiste em desenvolver as necessidades em requisitos e depois as detalhar em especificações de projeto.

Iniciou-se o desenvolvimento pela necessidade: ‘Portador versátil’. A partir da qual questionou-se: ‘Quais os requisitos de projeto que podem satisfazer a necessidade de um Portador versátil?’ A resposta deu origem aos requisitos de projeto: ‘portar cabeçotes de marcas diferentes’, ‘operar em espaços restritos’ e ‘escanear diversos tipos de materiais, diversas espessuras em diversas posições de uniões soldadas’. Assim, tem-se o desenvolvimento da primeira necessidade em cinco requisitos:

- 1. Portador versátil** (1ª necessidade declarada)
 - 1.1. Portar cabeçotes de marcas diferentes (1º requisito)
 - 1.2. Operar em espaços restritos**
 - 1.3. Escanear materiais ferromagnéticos e não ferromagnéticos
 - 1.4. Escanear diversas espessuras de material
 - 1.5. Escanear diversas posições de união soldada

Em seguida, a partir do requisito de projeto foram detalhadas as especificações de projeto, cuja informação é a mesma do requisito, porém com mais detalhes. Continuando o exemplo, o requisito ‘1.2. Operar em espaços restritos’ foi detalhado na especificação ‘1.2.1 Altura máxima do Portador = 200 mm’.

Assim, o último exemplo organizado hierarquicamente, tem a seguinte forma:

- 1. Portador versátil**
 - 1.2. Operar em espaços restritos**
 - 1.2.1 Altura máxima do Portador = 200 mm**

Seguindo essa lógica de transformação da informação contida na necessidade originou-se o documento ‘D_{1.2} – Necessidades, requisitos e especificações’ (Apêndice D_{1.2}), que estrutura hierarquicamente as necessidades dos usuários, os requisitos e especificações de projeto (observado parcialmente no Quadro 5.2).

Quadro 5.2 – Requisitos e especificações de projeto organizados em função das necessidades dos usuários, D_{1,2}

1º passo: Declaração da Necessidade	
2º passo: Desenvolvimento em Requisito	
3º passo: Detalhamento em Especificação	
1. Portador versátil	
1.1 Portar cabeçotes de marcas diferentes:	
1.1.1 Imasonic (não possui rosca de fixação)	
1.1.2 Olympus (possui duas roscas M4 de fixação lateral) dimensões ainda desconhecidas	
1.2 Operar em espaços restritos:	
1.2.1 Altura máxima do Portador = 200 mm	

Analogamente, transformou-se as demais onze necessidades declaradas em diversos requisitos e especificações de projeto, consolidando o documento D_{1,2}.

5.3. ESTABELEECER LISTA DE ESPECIFICAÇÕES (A_{1,3})


Por fim, a última atividade do projeto informacional serviu ao estabelecimento da lista de especificações, que é o documento que sintetiza as informações necessárias as próximas fases de projeto: as especificações de projeto classificadas em exigências ou desejos e organizadas em função dos subsistemas de inspeção.

Logo, para a organização da lista de requisitos, teve-se por base os subsistemas de inspeção: S₀ – Portador, S₁ – Ultrassônico, S₂ – Ensaiado, S₃ – Encoder e S₄ – Acoplante. Com isso, distribui-se as especificações na parte da lista referente a cada subsistema.

Uma vez organizadas, classificou-se as especificações de projeto em **exigências (E)** ou **desejos (D)**. Especificações do tipo exigência distinguem-se dos do tipo desejo pela obrigatoriedade em seu cumprimento. Por exemplo, a especificação ‘Dispensar o uso de ferramentas’ durante a preparação do Portador é do tipo desejo, logo o Portador em desenvolvimento não tem a obrigação de atendê-la. Por outro lado, deve-se cumprir a especificação ‘Conexão do cabeçote por roscas M4’, por ser uma especificação do tipo exigência. O tipo (E ou D) pode ser observado na lista de especificações, ao lado esquerdo de cada especificação.

O resultado obtido foi a lista de especificações do projeto (D_{1,3}), observado parcialmente na Quadro 5.3 e integralmente no Apêndice D_{1,3}.

Quadro 5.3 – Parte das especificações de projeto do Portador, D_{1.3}

UFSC	Especificações de projeto do portador de sistemas ultrassônicos para inspeção de uniões soldadas	Criado em: 22/09/11
E ou D		
	<p>S0 - Subsistema Portador</p> <p>Geometria</p> <p>E 1. Altura máxima do portador = 200 mm</p> <p>E 2. Massa < 15 kg</p> <p>Espessura do material escaneado (6 - 20 mm)</p> <p>E 1. Distância de separação dos cabeçotes variável</p> 	

5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na fase de projeto informacional estabeleceu-se as especificações de projeto do Portador, tornando possível rastrear a ligação entre especificação e necessidade, graças à metodologia empregada. Cada especificação foi classificada em desejo ou exigência, com isso a equipe de projeto teve a capacidade de definir a prioridade de atendimento das especificações, lembrando que o cumprimento de todas as especificações possui um custo mais elevado do que atender somente as especificações do tipo exigência.

Por fim, a lista de especificações de projeto serve à identificação dos problemas de projeto que o Portador deve resolver, e ainda, à validação do protótipo funcional.

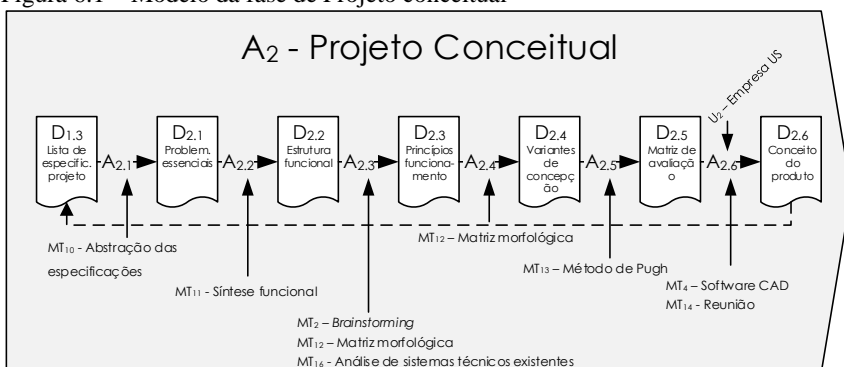
Estas informações vieram da pesquisa bibliográfica, das entrevistas e das sessões de *Brainstorming*. As saídas, na forma de especificações de projeto, alimentam a fase de Projeto Conceitual, desenvolvido no próximo capítulo.

6. PROJETO CONCEITUAL

Durante a fase de projeto conceitual desenvolveu-se o conceito do Portador. A partir da lista de especificações de projeto (D_{1.3}), identificou-se os problemas essenciais de projeto, e com base nesses, elaborou-se estrutura de funcionamento do Portador, permitindo a busca por princípios de funcionamento que cumpram essas funções. A seguir, foram geradas e avaliadas duas variantes de concepção, sendo que a melhor, segundo os critérios de avaliação, foi consolidada no conceito do produto.

Nas próximas sessões deste capítulo serão descritas essas atividades, numeradas de A_{2.1} até A_{2.6}, que viabilizaram o desenvolvimento desse conceito conforme o modelo da fase de projeto conceitual exposto na Figura 6.1.

Figura 6.1 – Modelo da fase de Projeto conceitual



6.1. IDENTIFICAR PROBLEMAS ESSENCIAIS DE PROJETO (A_{2.1})

No final do projeto informacional elaborou-se a lista de especificações do Portador. Essas especificações detalham suas características e as vezes contém soluções para os problemas de projeto que o Portador deve resolver, que podem não ser as mais adequadas. Portanto, para permitir o desenvolvimento de novas soluções tornou-se necessário neutralizar eventuais soluções que existissem na lista de especificações e, para isso, aplicou-se o método da Abstração da lista de especificações de projeto (MT₁₀). O resultado da aplicação do método foi a identificação dos problemas essenciais que o Portador deve resolver, propostos de forma neutra às soluções.

O método foi aplicado em cinco passos que promoveram a abstração gradual da lista de especificações do Portador, apresentados no

Quadro 6.1. Durante o primeiro passo selecionou-se dezesseis especificações, que de algum modo indicam os problemas que o Portador deve resolver. Ao longo dos demais passos essas especificações foram continuamente abstraídas e sintetizadas, sendo que o resultado da aplicação do método, exposto como resultado do quinto passo, é a formulação do problema de projeto que o Portador deve resolver: ‘Realizar contato entre os cabeçotes US e a peça ensaiada, do tipo duto ou chapa. Aplicar líquido acoplante sobre a superfície da peça. Varrer o cordão de solda com os cabeçotes. Determinar a posição dos cabeçotes.’

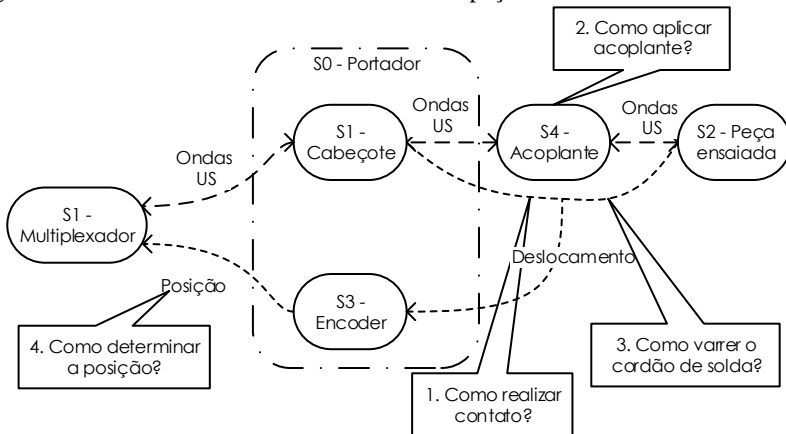
Assim desdobrou-se esse problema em quatro problemas essenciais de projeto:

1. Realização do contato entre cabeçote e a peça ensaiada;
2. Aplicação do acoplante;
3. Varredura do cordão de solda;
4. Determinação da posição do cabeçote.

Quadro 6.1 – Resultado da aplicação do método da Abstração da lista de especificações do projeto, apresentando os problemas a serem resolvidos pelo Portador	
UFSC	Abstração das especificações de projeto do Portador de sistemas ultrassônicos para inspeção de uniões soldadas
Resultado do 1º passo	Distância de separação dos cabeçotes variável Portar até 4 pares de cabeçotes Pressão homogênea sobre os cabeçotes Velocidade controlada de varredura entre 5 – 50 mm/s Distância máxima do ponto medio entre cabeçotes e do cordão de solda = 2 mm Material do Portador: Aço inox, alumínio ou polímeros Tangência entre o cabeçote e a peça ensaiada Portar cabeçote Imasonic Portar cabeçote Olympus, modelos PF4R-10 e AM4R-8X9-60 Escanear materiais ferro-magnéticos Escanear materiais não ferro-magnéticos (e.g duplex, bilayer, compósitos) Solda circunferencial em duto (diâmetro ext. = 150 a 500 mm, variando a cada 50 mm) Solda longitudinal curva em duto (e.g possuir rodas inclináveis) Solda longitudinal plana em chapa Portar encoder a cabo Mangueira posicionada para ejetar acoplante sobre a superfície
Resultado do 2º passo	Distância de separação dos cabeçotes variável Portar cabeçotes de marcas diferentes Pressionar cabeçotes Controlar velocidade de varredura Material do Portador deve ser inoxidável Tangência no contato Escanear materiais ferro-magnéticos e não ferro magnéticos Escanear dutos e chapas Portar encoder Portar mangueira para acoplante
Resultado do 3º e 4º passos	Portar, distanciar, pressionar e tangenciar cabeçotes sobre a superfície da peça ensaiada Controlar velocidade de varredura Escanear dutos e chapas Determinar posição Aplicar acoplante
Resultado do 5º passo	Realizar contato entre os cabeçotes US e a peça ensaiada, do tipo duto ou chapa. Aplicar líquido acoplante sobre a superfície da peça. Varrer o cordão de solda com os cabeçotes. Determinar a posição dos cabeçotes.

Esses problemas são representados na Figura 6.2, por meio de cinco componentes principais da inspeção US: Multiplexador, Cabeçote, Acoplante, Peça ensaiada e Encoder. E de dois fluxos que atravessam esses componentes. Os problemas essenciais estão relacionados em assegurar esses fluxos de sinal e de energia, se não houver esses fluxos a inspeção não ocorre.

Figura 6.2 – Análise dos fluxos do sistema de inspeção



O primeiro fluxo é o das ondas US que origina-se no Multiplexador, na forma de um pulso elétrico, posteriormente transformado em ondas mecânicas, no cabeçote. Essas ondas percorrem a peça ensaiada e o cordão de solda em busca de discontinuidades. Para a transmissão das ondas entre o cabeçote e a peça é necessário o líquido acoplante que retira o ar, um meio isolante para as ondas, existente entre eles. A esse fluxo estão relacionados os problemas da Realização do Contato e da Aplicação do Acoplante (primeiro e segundo, respectivamente).

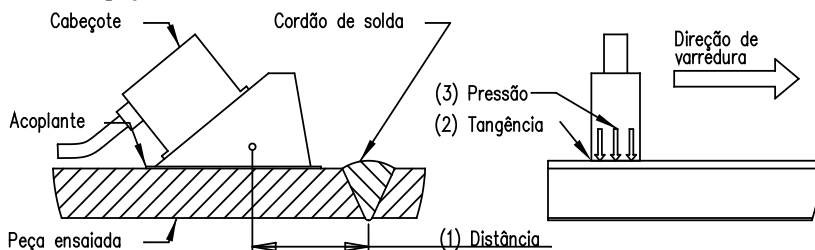
Já o segundo fluxo é o de energia, na forma de deslocamento do cabeçote sobre a superfície da peça. Esse deslocamento deve ser determinado por um encoder e informado ao multiplexador, pois assim, sabe-se a posição do cabeçote e conseqüentemente da discontinuidade. A esse fluxo associam-se os problemas da Varredura e da Determinação da posição (terceiro e quarto, respectivamente).

A seguir são explicados os problemas essenciais de projeto, na forma de documento chamado $D_{2,1}$:

1. **Realização do contato** entre cabeçote e superfície da peça ensaiada. Com a finalidade de transmitir o sinal US para o interior do cordão de solda, o cabeçote deve estar em contato com a superfície ensaiada. Para tanto o cabeçote deve ser portado respeitando algumas condicionantes, como: (1) **distância** constante entre cabeçote e cordão de solda, (2) **tangência** entre a superfície do cabeçote e a da peça, e (3) **pressão** homogênea entre cabeçote e superfície. Em uma inspeção que dispensa o uso de um Portador,

denominada Não Mecanizada (INM), essas condicionantes estão diretamente relacionadas com a destreza do inspetor, que porta o cabeçote e realiza o contato. Já na Inspeção Mecanizada (IM), o fator humano é menos presente, pois, quem porta o cabeçote e respeita as condicionantes citadas é o Portador. A questão que resume este problema essencial de projeto, que é o mais importante, é: ‘Como realizar o contato entre o cabeçote e a peça ensaiada, respeitando as condicionantes: distanciamento, tangência e pressão?’ A Figura 6.3 ilustra esse problema;

Figura 6.3 – Exemplo de contato realizado corretamente entre o cabeçote e a superfície da peça ensaiada



2. **Aplicação do acoplante** sobre a superfície da peça ensaiada. Para eliminar a existência de ar (que impede a transmissão do sinal US) entre o cabeçote e a peça ensaiada, é necessário um filme de acoplante entre o cabeçote e a superfície da peça ensaiada. Na INM, a aplicação do acoplante é feita manualmente. Já na IM, a aplicação do acoplante pode ser feita de forma mecanizada;
3. **Varredura do cordão de solda**, pelo cabeçote. A detecção de descontinuidades em todo o volume do cordão de solda é objetivada em uma inspeção. Para isso, o cabeçote deve percorrer toda a superfície adjacente ao cordão de solda. Essa varredura da peça ensaiada (i.e. movimentação controlada dos sistemas US paralelamente ao cordão de solda) é relacionada à destreza do inspetor em uma INM. Já na IM, o Portador auxilia esta varredura. A forma como esta **varredura do cordão de solda** ocorre originou o terceiro problema essencial de projeto. A direção de varredura do cabeçote é paralela ao cordão de solda, conforme observado na Figura 6.3;
4. **Determinação da posição** do cabeçote. Um dos objetivos da inspeção de solda é **determinar a posição** das descontinuidades detectadas, e para isso, a do cabeçote. Para cumprir este objetivo, na INM o inspetor deve determinar visualmente a posição dos

cabeçotes, que estão relacionados com a posição das descontinuidades. Na IM o Portador deve portar um encoder que determine e transmita a posição dos cabeçotes ao Multiplexador. A maneira como este encoder teve que ser portado constituiu o quarto e último problema essencial de projeto.

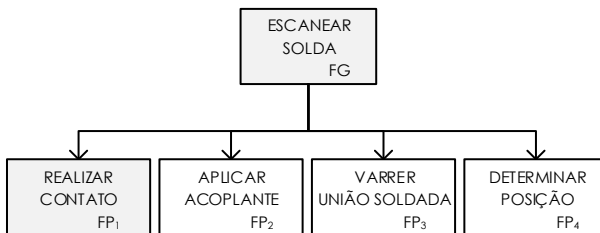
6.2. ELABORAR ESTRUTURA DE FUNCIONAMENTO (A_{2.2})

Então, os problemas essenciais de projeto, identificados na atividade anterior, deram origem às funções parciais do Portador:

- FP₁ – Realizar contato;
- FP₂ – Aplicar acoplante;
- FP₃ – Varrer união soldada;
- FP₄ – Determinar posição.

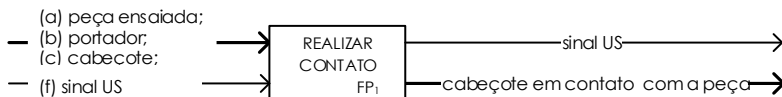
Essas quatro funções parciais são requeridas para o cumprimento da função global do Portador ‘Escanear união soldada’, que em termos práticos significa a realização do processo de inspeção. Assim ao longo desta seção é apresentada a elaboração da estrutura de funcionamento do Portador, auxiliada pelo método da Síntese funcional (MT₁₁), que iniciou-se pela definição da Função Global (FG) e das Funções Parciais (FP), conforme Figura 6.4.

Figura 6.4 - Estrutura de funcionamento do Portador na forma de Função Global e Funções Parciais



O desenvolvimento dessa estrutura continuou com a identificação das entradas e saídas de cada função parcial, iniciando pela FP₁ (Figura 6.5). A entrada dessa função é definida por: peça ensaiada (a), Portador (b) e cabeçote (c). A saída é o cabeçote portado pelo Portador, em contato com a superfície da peça ensaiada.

Figura 6.5 – Fluxo de entrada e saída da FP₁ – Realizar contato



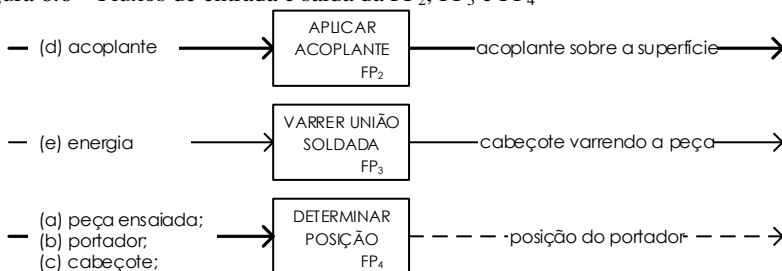
De forma semelhante as entradas e saídas das outras três funções parciais (Figura 6.6) são:

FP₂ – Entrada: acoplante (d). Saída: Acoplante sobre a superfície da peça ensaiada;

FP₃ – Entrada: energia (e). Saída: Cabeçote varrendo a superfície da peça ensaiada;

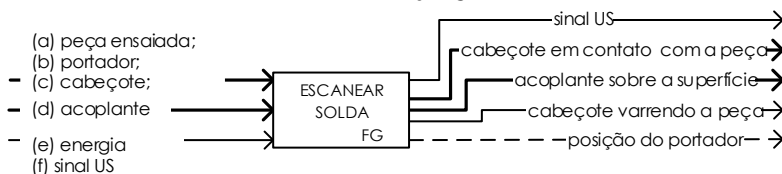
FP₄ – Entrada: peça ensaiada (a), Portador (b) e cabeçote (c). Saída: Posição do cabeçote.

Figura 6.6 – Fluxos de entrada e saída da FP₂, FP₃ e FP₄



Assim, têm-se todas as entradas e saídas das funções parciais que são as mesmas da função global, conforme Figura 6.7.

Figura 6.7 – Fluxo de entrada e saída da função global



Voltando ao desenvolvimento da estrutura de funcionamento, desdobrou-se a FP₁ em outras subfunções. A lógica de desdobramento foi a de definir subfunções que permitissem a saída da FP₁: 'cabeçote em contato

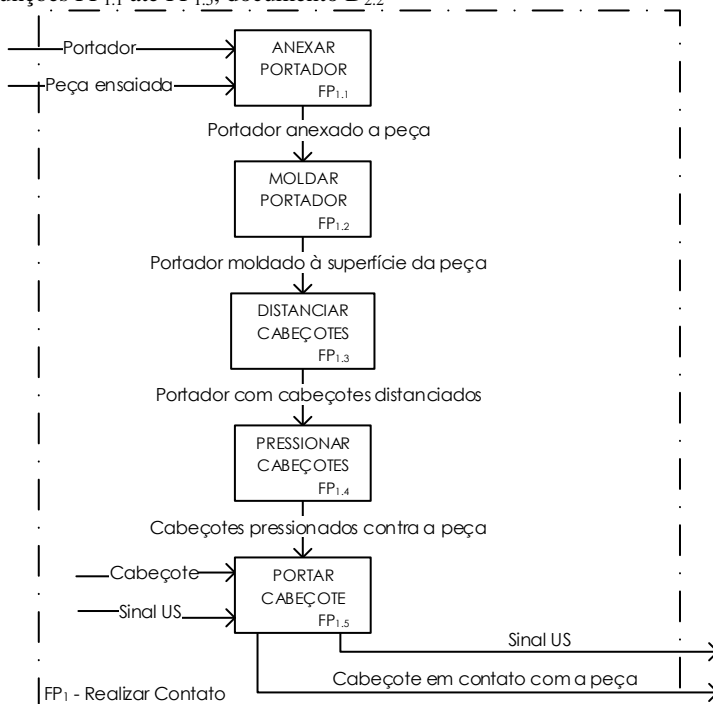
com a superfície da peça ensaiada'. Então definiu-se as seguinte subfunções:

- FP_{1.1} – Anexar Portador;
- FP_{1.2} – Moldar Portador;
- FP_{1.3} – Distanciar cabeçotes;
- FP_{1.4} – Pressionar cabeçotes;
- FP_{1.5} – Portar cabeçotes.

Essas subfunções, numeradas de FP_{1.1} até FP_{1.5}, preveem que para que o contato seja realizado (FP₁) o Portador deve ser anexado e moldado à peça ensaiada (FP_{1.1} e FP_{1.2}). Em seguida, deve ter seus cabeçotes distanciados entre si (FP_{1.3}), com relação à posição do cordão de solda e em função da espessura do material ensaiado, quanto maior a espessura maior deve ser esse distanciamento. Então, os cabeçotes devem ser pressionados contra a superfície da peça ensaiada (FP_{1.4}), e além disso, devem ser portados (FP_{1.5}).

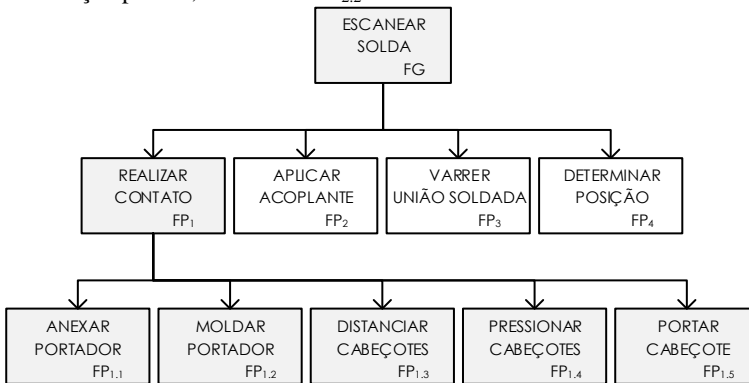
Na Figura 6.8, pode-se observar como cada subfunção altera o fluxo de material que percorre a FP₁. Esse fluxo de material possui três entradas, duas na FP_{1.1} e uma na FP_{1.5}. Na FP_{1.1} entra o Portador e a peça ensaiada, enquanto na FP_{1.5} entra o cabeçote. Assim, ao longo das subfunções, os materiais são transformados até saírem, na forma esperada, com o 'Cabeçote em contato com a peça'. Cumprindo a função parcial 'Realizar contato' e, assim, resolvendo o primeiro problema essencial.

Figura 6.8 - Desdobramento da função parcial FP_1 - Realizar contato em seis subfunções $FP_{1,1}$ até $FP_{1,5}$, documento $D_{2,2}$



Dessa forma, têm-se a estrutura de funcionamento com mais um grau de desdobramento, com as subfunções explícitas, conforme Figura 6.9.

Figura 6.9 – Estrutura de funcionamento do Portador após desdobramento da primeira função parcial, documento D_{2,2}



Para fins didáticos, nesta atividade somente é demonstrado o desenvolvimento da FP₁. O desenvolvimento das outras funções parciais deu-se de forma análoga. Na próxima atividade, é descrita a busca de princípios de funcionamento para a estrutura de funcionamento do Portador, especificamente para as subfunções FP_{1,1} até FP_{1,5}.

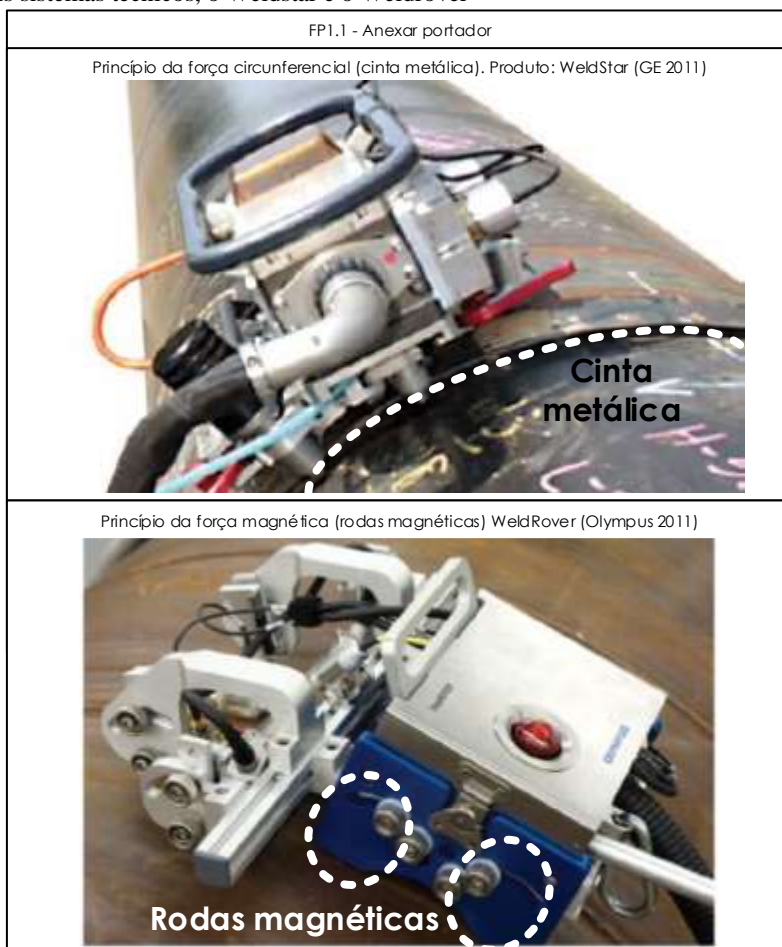
6.3. BUSCAR PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO (A_{2,3})

Nesta terceira atividade buscou-se os princípios de funcionamento que cumprissem as funções do Portador, por meio de dois métodos: o da Análise de sistemas técnicos existentes (MT₁₃) e o *Brainstorming* (MT₂).

A **análise de sistemas técnicos existentes** consistiu no estudo de Portadores identificados no Capítulo 2, dado pela análise de catálogos, em visitas técnicas e em conversas com operadores. Resultando na identificação de princípios de funcionamento para as funções do Portador. Por exemplo, para a função Anexar Portador, identificou-se os seguintes princípios (Figura 6.10):

- Por cinta metálica (Weldstar – GE, 2011), em cima;
- Por rodas magnéticas (Weldrover – Olympus, 2011), em baixo;

Figura 6.10 – Princípios de funcionamento identificados para a FP_{1.1}, pela análise de dois sistemas técnicos, o Weldstar e o Weldrover



Em seguida, para a mesma função empregou-se o método de *Brainstorming*¹⁸, que resultou em uma lista com novos princípios de funcionamento, observada na Figura 6.11.


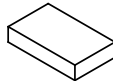

¹⁸ Participaram das sessões de *Brainstorming*: Acires Dias, Dr. Eng.; Tiago L. F. Costa Pinto, Dr. Eng.; Hazim Ali Al-Qureshi, PhD e Roberto de Andrade.

Figura 6.11 - Resultado da sessão de *Brainstorming* para a função FP_{1.1} - Anexar Portador

Resultado da sessão de <i>Brainstorming</i> para a busca de princípios de funcionamento para a função FP 1.1 – Anexar portador	
○	Cinta flexível e rodas tensionadoras
○	Ventosas
○	Cinta metálica + Rodas mag
○	Braço mecânico
○	roda magnética
○	guia circular
○	elástico
○	Trilho
○	Maglev
○	Mola de compressão
○	Abraçamento

Então, após terem sido identificados em sistemas técnicos existentes e buscados por sessões criativas, os princípios de funcionamento foram então selecionados e organizados na Matriz morfológica. As linhas da matriz representam as funções, enquanto as colunas, os princípios de funcionamento. A Figura 6.12 representa o início do preenchimento dessa matriz, exibindo os princípios de funcionamento para a função FP_{1.1}. A matriz completa está no Apêndice D_{2.3}.

Figura 6.12 – Início de preenchimento da matriz morfológica com os princípios de funcionamento da FP_{1.1}. A matriz constitui o documento D_{2.3}.

Funções	Princípios de funcionamento		
	A	B	C
FP 1.1 Anexar portador	Cinta metálica + roldanas 	Ímã 	Correia + polias 

Esses dois métodos de busca foram repetidos para as demais funções do Portador, de modo a completar a matriz morfológica (Apêndice D_{2.3}). Que, por conter todos os princípios de funcionamento, forneceu a base para a combinação de princípios de funcionamento em variantes de concepção, assunto da próxima atividade.

6.4. GERAR VARIANTES DE CONCEPÇÃO (A_{2.4})

Nesta quarta atividade gerou-se as variantes da concepção. Essas variantes representam a combinação de princípios de funcionamento que visam solucionar os problemas essenciais do Portador.

Com base no documento D_{2.3}, combinou-se princípios de funcionamento (Figura 6.13), resultando em duas variantes de concepção¹⁹: A e B (Apêndice D_{2.4}). O esquema de combinação pode ser observado na Figura 6.13. A linha tracejada, que percorre os princípios de funcionamento, gera a variante A, enquanto a linha contínua gera a variante B.

A **Variante A** exposta na Figura 6.14 é composta pelos seguintes princípios de funcionamento:

- FP_{1.1}(A): Magnetismo
- FP_{1.2}(A): Bucha deslizante com trava tipo “mordedor”
- FP_{1.3}(B): Barra cilíndrica + Bucha
- FP_{1.4}(B): Pressionador angular
- FP_{1.5}(C): Garfo
- FP₂(B): Manualmente com pincel
- FP₃(A): Manualmente
- FP₄(A): Encoder a cabo

Já a **Variante B** (Figura 6.15) é composta pela combinação dos seguintes princípios de funcionamento:

- FP_{1.1}(B): Cinta ou corrente
- FP_{1.2}(B): Braços articulados
- FP_{1.3}(A): Perfil de alumínio extrudado
- FP_{1.4}(A): Pressionador linear
- FP_{1.5}(B): Garfo B
- FP₂(A): Mangueira portada
- FP₃(B): Motor elétrico
- FP₄(B): Encoder roda

¹⁹ Por fins didáticos, neste trabalho são apresentadas somente duas das variantes geradas, porém o método da Matriz Morfológica viabiliza, para este exemplo, mais de 6500 combinações possíveis (3⁸).

Figura 6.13 - Esquema representando duas combinações dos princípios de funcionamento da matriz morfológica que formam as variantes de concepção A e B (Documento D_{2,3})

Matriz Morfológica			
Funções	Princípios de funcionamento		
	A	B	C
FP 1.1 Anexar portador	Cinta metálica + soldanas 	Ímã 	Correia + polias 
FP 1.2 Moldar portador	Braços articulados 	Furo oblongo + eixo 	Chapa flexível 
FP 1.3 Distanciar cabeçotes	Alumínio extrudado 	Barra cilíndrica + bucha 	Guia linear 
FP 1.4 Pressionar cabeçotes	Pressionador linear 	Braço angular + mola 	Chapa flexível 
FP 1.5 Portar cabeçotes	Garfo A 	Garfo B 	Garfo vertical 
FP 2 Aplicar acoplante	Mangueira 	Manualmente 	Espunja 
FP 3 Varrer união soldada	Manualmente 	Motor elétrico 	Manual por cabo 
FP 4 Determinar posição	Encoder a cabo 	Encoder roda 	Acelerômetro 

Figura 6.14 - Combinação de princípios de funcionamento que definem a variante A, documento D_{2.4}

<h1>Variante A</h1>		
Funções	Princípios de funcionamento	Descrição
FP 1.1 Anexar portador	Imã 	Consiste no uso da força magnética de ímãs de neodímio para atração do portador à peça ensaiada, que deve ser de material ferro-magnético.
FP 1.2 Moldar portador	Furo oblongo + eixo 	Consiste no ajuste angular dos suportes do ímã de modo a moldar o portador a superfícies curvas e planas, conforme esquema ao lado.
FP 1.3 Distanciar cabeçotes	Barra cilíndrica + bucha 	Consiste no deslizamento linear de uma bucha sobre uma barra cilíndrica e travamento da bucha por um princípio de fixação do tipo abraçadeira.
FP 1.4 Pressionar cabeçotes	Braço angular + mola 	Consiste em um mecanismo com dois elos e uma junta cilíndrica, pré-tensionada por uma mola, que pressiona o cabeçote sobre a superfície.
FP 1.5 Portar cabeçotes	Garfo B 	Consiste na fixação do cabeçote por dois parafusos de corpo retificado, que além disso permitem a rotação livre do cabeçote.
FP 2 Aplicar acoplante	Manualmente 	Consiste em aplicar o acoplante de forma manual com um pincel.
FP 3 Varrer união soldada	Manualmente 	Consiste em movimentar o portador manualmente e paralelamente ao cordão de solda, varrendo a superfície ensaiada.
FP 4 Determinar posição	Encoder a cabo 	Consiste em portar um encoder a cabo. Esse cabo é fixado no portador por uma argola em sua extremidade, assim o deslocamento do portador é medido.

Figura 6.15 - Combinação de princípios de funcionamento que definem a variante B (D_{2,4})

Variante B		
Funções	Princípios de funcionamento	Descrição
FP 1.1 Anexar portador	Cinta metálica + roldanas 	Consiste na instalação de uma cinta metálica sobre o duto. Esta cinta serve como um tribo sobre o qual deslizam roldanas.
FP 1.2 Moldar portador	Braços articulados 	Consiste em braços articulados que permitem a inspeção de dutos de diversos diâmetros.
FP 1.3 Distanciar cabeçotes	Alumínio extrudado 	Consiste no deslocamento linear de uma parca T no tribo de alumínio extrudado, com perfil 'rabo de andorinha'. A fixação é dada pelo aperto da parca.
FP 1.4 Pressionar cabeçotes	Pressionador linear 	Consiste no deslocamento linear pressionado por uma mola, semelhante ao princípio acima.
FP 1.5 Portar cabeçotes	Garfo vertical 	Consiste em um suporte que segura o cabeçote por cima.
FP 2 Aplicar acoplante	Mangueira 	Consiste na aplicação de acoplante por uma mangueira portada pelo portador.
FP 3 Varrer união soldada	Motor elétrico 	Consiste em um motor elétrico como fonte de potência para varredura da superfície.
FP 4 Determinar posição	Encoder roda 	Consiste no uso de um encoder roda, no qual o deslocamento angular da roda é medido.

As variantes diferem entre si principalmente por seu grau de complexidade e nível de da tecnologia necessária ao desenvolvimento dos princípios de funcionamento. A variante A contém princípios de funcionamento mais simples e cuja tecnologia de desenvolvimento é dominada pela equipe de projeto. Por exemplo, a FP₃ relativa a varredura da união soldada é cumprida de forma manual na variante A, já na variante B é

previsto o uso de um motor elétrico para tanto. No caso da variante B ser a escolhida, será necessário dominar conhecimentos de eletrônica e automação para a realização do princípio em questão.

Por fim, com a geração das variantes de concepção, a equipe de projeto tem a sua disposição dois potenciais conceitos para o produto. Na próxima atividade é demonstrado o processo de escolha dessas variantes, por meio de sua avaliação.

6.5. AVALIAR VARIANTES DE CONCEPÇÃO (A_{2.5})

Nesta quinta atividade, avaliou-se as variantes de concepção comparando-as entre si, por meio do método de Pugh, que sistematiza a atribuição de pontuações às variantes, quantificando o processo decisório.

O método de Pugh (MT₁₃) baseia-se nos critérios de avaliação estabelecidos pela equipe de projeto (Quadro 6.2):

1. Confiabilidade dos princípios de funcionamento;
2. Domínio do princípio de funcionamento pela equipe de projeto;
3. Custo de fabricação e montagem;
4. Grau de cumprimento das especificações de projeto do tipo desejo.

Quadro 6.2 - Matriz de avaliação das variantes de concepção, resultante da aplicação do método de Pugh (D_{2.5})

Critério de avaliação adotado	Variantes de concepção geradas	
	A	B
1 - Confiabilidade dos princípios de funcionamento	0	-1
2 - Domínio do princípio de funcionamento pela equipe de projeto	0	-1
3 - Custo de fabricação e montagem	0	-1
4 - Grau de cumprimento das especificações de projeto do tipo desejo.	0	+1
Soma de (+)	0 (+)	1 (+)
Soma de (-)	0 (-)	-3 (-)
Soma de (0)	4 (0)	0 (0)
Resultado final (+) + (-)	0	-2

Durante a aplicação do método, tomou-se a variante A como referência e a ela comparou-se a variante B. Quando a variante B teve maior desempenho que a A recebeu a pontuação '+1', quando teve menor desempenho recebeu '-1' e caso os desempenhos tivessem sido iguais teria recebido '0'. Assim, a pontuação final foi a soma das notas recebidas em cada critério.

Comparativamente com a variante A, avaliou-se que a variante B apresenta menor confiabilidade dos princípios de funcionamento (-1), menor domínio do princípio de funcionamento pela equipe de projeto (-1) e maior custo de fabricação e montagem (-1), mas em compensação, apresenta maior grau de cumprimento das especificações de projeto do tipo desejo (+1), somando assim três pontos negativos e um positivo, resultando em dois pontos negativos (-1 -1 -1 +1 = -2), conforme Quadro 6.2. Enquanto que a variante A, por ser a referência, somou zero pontos. Assim, por possuir pontuação maior, a variante A foi escolhida para ser desenvolvida em conceito do Portador, conforme descrito na sequência.

6.6. CONSOLIDAR VARIANTE ESCOLHIDA EM CONCEITO DO PRODUTO (A_{2,6})

Após ter sido escolhida, consolidou-se a variante de concepção A no Conceito do produto. Este conceito possui mais primor, devido ao seu maior detalhamento, comparativamente com a variante da qual se originou. Esses detalhes proveem da descrição e da modelagem geométrica inicial dos princípios de funcionamento do conceito, realizados durante esta atividade.

O conceito do Portador é composto por módulos baseados nos princípios de funcionamento. Assim, o Portador possui dois módulos principais, o Realizador de contato (M₁) e o Determinador de posição (M₄). Para a variante escolhida não existem os módulos Aplicador de acoplante (M₂) e o Varredor da união soldada (M₃), pois essas funções são realizadas manualmente pelo inspetor de solda. Por outro lado, no caso da variante B, esses módulos teriam que ser desenvolvidos.

Na Figura 6.16 apresenta-se o conceito consolidado para o módulo M₁, que possui cinco submódulos:

M_{1,1} – Módulo Anexador;

M_{1,2} – Módulo Moldador;

M_{1,3} – Módulo Distanciador;

M_{1,4} – Módulo Pressionador;

M_{1.5} – Módulo Portador.

Na Figura 6.16(a) observa-se o módulo Anexador, cujo princípio de funcionamento baseia-se em um ímã, que gera uma força de atração magnética entre o Portador e a peça ensaiada. Esse módulo possui rodas que permitem a movimentação do Portador. Além disso, existe uma trava para essas rodas que baseia-se em manípulos que as pressionam, quando apertados.

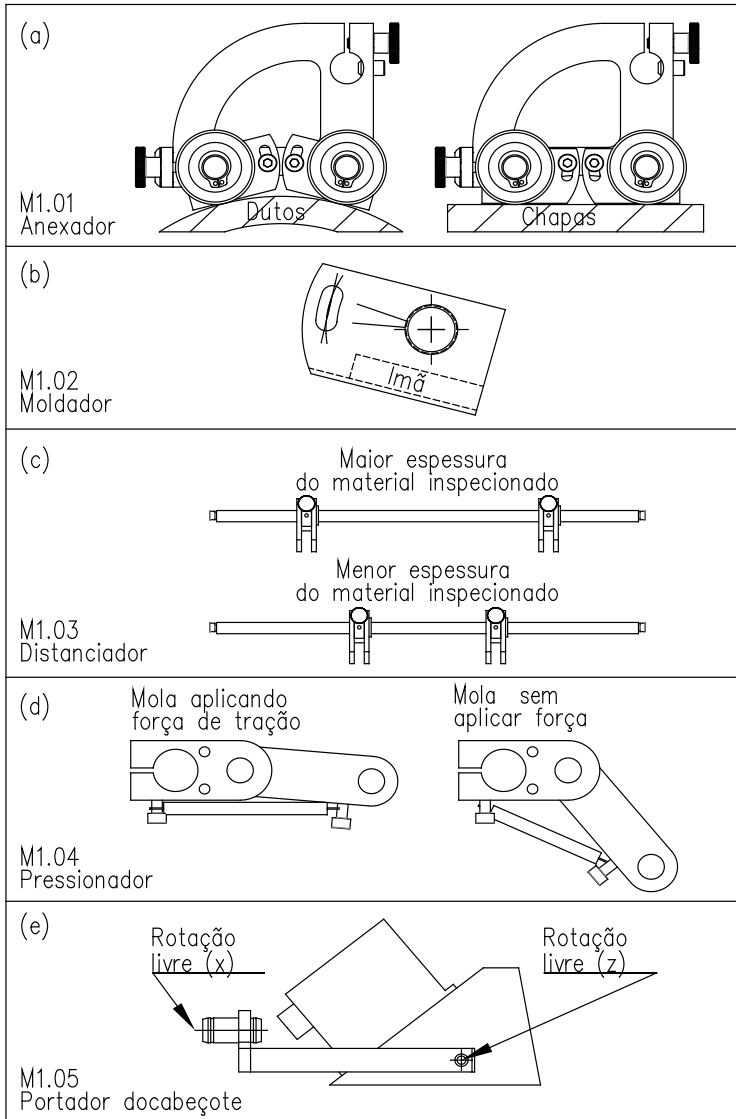
Pertencente ao módulo M_{1.1} está instalado o módulo Moldador, observado em (b), que molda o Portador à superfície da peça ensaiada, seja ela curva ou plana, características em dutos e chapas, respectivamente. Essa moldagem é assegurada pela regulagem do ângulo do suporte do ímã, dada pelo aperto de um parafuso dentro do furo oblongo representado na figura.

Já em (c), observa-se o módulo Distanciador que viabiliza a inspeção de materiais com diferentes espessuras, graças ao ajuste linear dado pela bucha que desliza sobre a barra cilíndrica e pela trava com princípio de abraçadeira.

Sobre a barra do distanciador deslizam buchas presas ao módulo Pressionador, que serve para pressionar o cabeçote contra a superfície da peça ensaiada. Para isso o princípio adotado consiste em um mecanismo com dois elos e uma junta. Entre esses elos é presa uma mola de tração, cuja função é aproximar os elos, conforme (d).

Por fim, o último módulo, o M_{1.5} objetiva portar o cabeçote de forma que o mesmo realize contato corretamente com a superfície ensaiada. Para isso, com esse módulo o cabeçote possui dois graus de liberdade, ao redor dos eixos x e z (e). A qualidade desse contato está diretamente relacionada a qualidade da transmissão do sinal US e conseqüentemente da inspeção.

Essa descrição, assim como o modelo geométrico inicial do conceito, constitui o documento D_{2.6} – Conceito do produto.

Figura 6.16 - Conceito do módulo M_1 do Portador ($D_{2,6}$)

6.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo do projeto conceitual do Portador identificou-se os quatro problemas essenciais de projeto que originaram as quatro funções parciais do Portador. Para cumprir essas funções e suas subfunções buscou-se princípios de funcionamento em sistemas existentes e por meio de sessões de *brainstorming*. Esses princípios foram organizados na matriz morfológica que os relaciona com as funções que cumprem. Tendo por base essa matriz bidimensional, combinou-se esses princípios em variantes de concepção. A seguir, avaliou-se essas variantes escolhendo-se a variante A para ser consolidada em conceito do Portador. Esse conceito foi descrito e previamente modelado geometricamente na Figura 6.16 e Apêndice D_{2.6}.

Todo esse processo de desenvolvimento do projeto conceitual do Portador pode ser rastreado por meio dos documentos D_{2.1} até D_{2.6}.

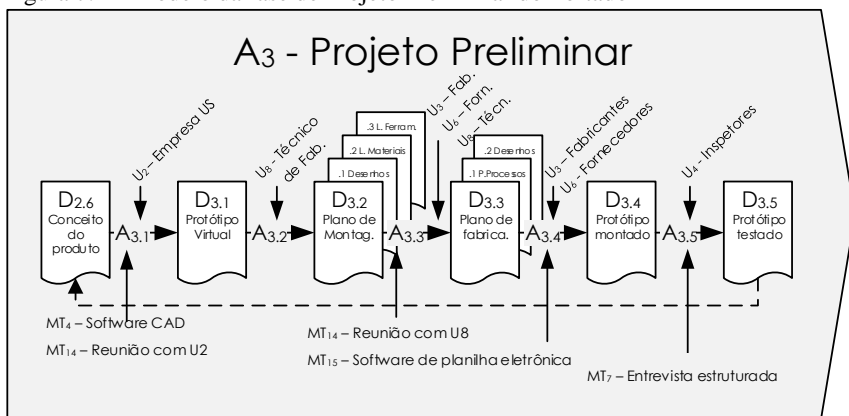
Assim, com o conceito do Portador desenvolvido passou-se a fase de projeto preliminar, na qual o conceito é materializado em um protótipo funcional, apresentado no Capítulo 7.

7. PROJETO PRELIMINAR

Durante a fase de projeto preliminar desenvolveu-se o protótipo do Portador. Inicialmente modelou-se o protótipo virtual do Portador em CAD e, a partir desse, desenvolveu-se os desenhos para fabricação e montagem, e testou-se o protótipo, com base nos requisitos dos usuários.

Esse desenvolvimento é exposto ao longo do capítulo, pela descrição detalhada das atividades de projeto preliminar (A_{3.1} até A_{3.5}), representadas na Figura 7.1, cujas entradas advêm da fase de Projeto Conceitual, D_{2.6}.

Figura 7.1 – Modelo da fase de Projeto Preliminar do Portador

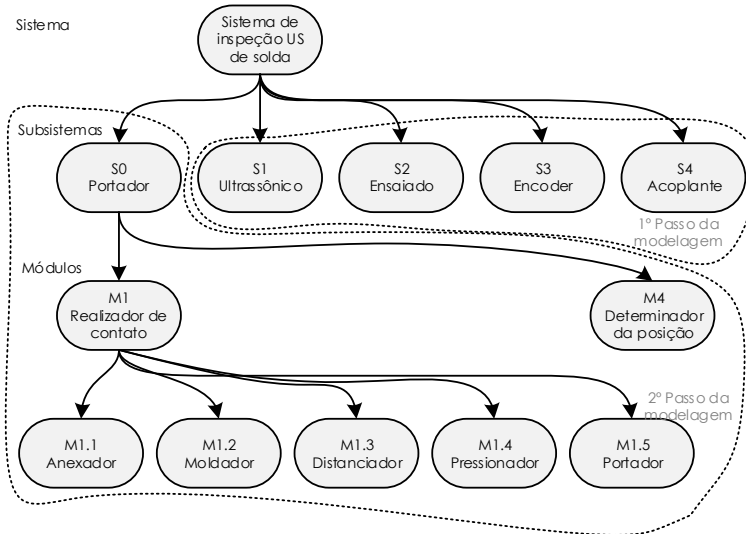


7.1. MODELAR LEIAUTE DO SISTEMA DE INSPEÇÃO (A_{3.1})

Nesta primeira atividade (A_{3.1}), a partir da Estrutura de desdobramento do sistema de inspeção (Figura 2.14) e do Conceito do Portador (D_{2.6} - Figura 6.16) modelou-se geometricamente seu Protótipo Virtual (D_{3.1} - Figura 7.5), que contém informações como geometria, dimensões e materiais dos componentes do sistema.

Iniciando a modelagem, atualizou-se essa Estrutura de desdobramento (Figura 2.14) com a inserção dos módulos do Portador (Figura 6.16), resultando na nova estrutura (Figura 7.2). Com base nessa nova estrutura, modelou-se os componentes do sistema de inspeção com o auxílio de um Software CAD (MT₄), em dois passos identificados pela linha tracejada da figura.

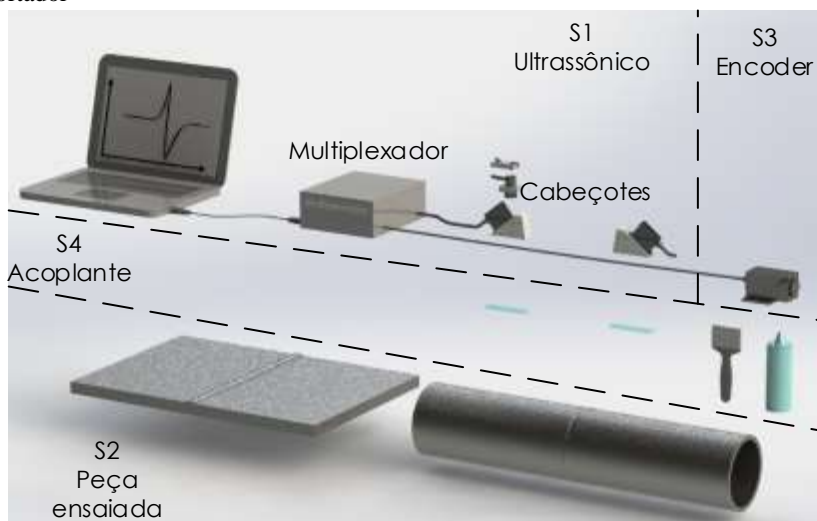
Figura 7.2 - Estrutura do sistema de inspeção, originada durante a revisão do sistema US, no qual definiu-se os subsistemas S₁ até S₄, posteriormente completada durante a fase de projeto conceitual, na qual agregou-se subsistema S₀ e seus módulos



No primeiro passo, modelou-se os subsistemas de inspeção definidos durante a revisão bibliográfica, que interagem com o Portador: S₁ – Ultrassônico, S₂ - Ensaiado, S₃ – Encoder e S₄ – Acoplante. Isto foi feito com base nas Especificações de projeto (D_{1,3}) e em informações referentes a geometria e dimensões gerais desses subsistemas, obtidas em reuniões (MT₁₄) com empresas de desenvolvimento de tecnologias US (U2).

O resultado desse primeiro passo pode ser observado na Figura 7.3, que apresenta o modelo dos subsistemas S₁, S₂, S₃ e S₄. No S₁ observa-se um computador, representando um software de aquisição do sinal US, conectado ao Multiplexador, que por sua vez conecta-se com os cabeçotes US e com o encoder. No S₂ representa-se as peças ensaiadas, que podem ser do tipo chapa plana soldada ou duto cilíndrico soldado. Já no S₃ representa-se o encoder a cabo. Por fim, no S₄ exhibe-se dois filmes de acoplante (películas finas), um pincel e uma bisnaga contendo acoplante.

Figura 7.3 - Subsistemas de inspeção previamente definidos, que interagem com o Portador



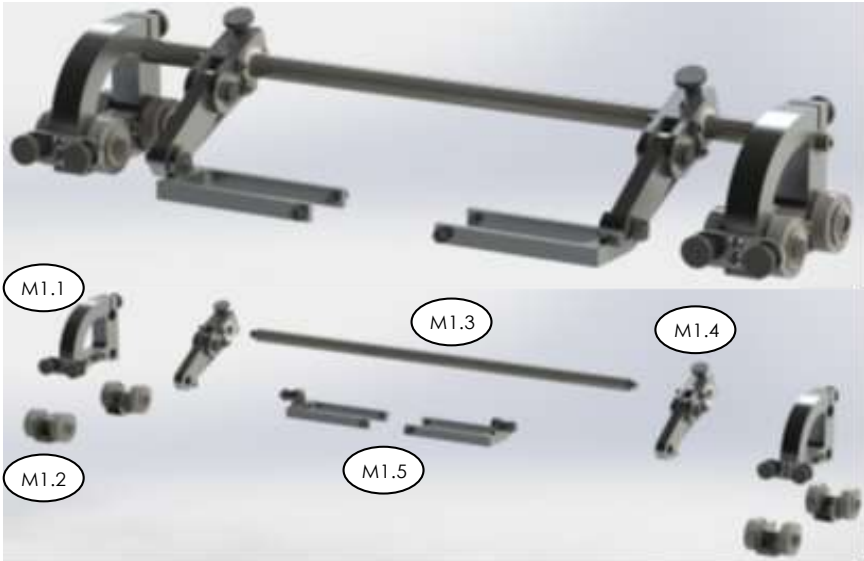
Com esse modelo dos subsistemas de inspeção US pode-se visualizar os problemas essenciais de projeto, definidos na fase anterior, com maior clareza. Pois, nessa altura do projeto, têm-se noções dos componentes com os quais o Portador deve interagir, observando-se assim, os limites geométricos aos quais o Portador está sujeito.

Já no segundo passo, modelou-se o subsistema Portador (S_0), e seus módulos, identificados pela letra M, segundo a estrutura do sistema de inspeção (Figura 7.2).

Dessa forma, a modelagem do subsistema Portador (S_0) teve por base o Conceito do produto ($D_{2.6}$) e iniciou-se pelo primeiro módulo: o Realizador de contato. Esse módulo M_1 é composto por cinco submódulos, identificados como $M_{1.1}$, $M_{1.2}$, $M_{1.3}$, $M_{1.4}$ e $M_{1.5}$.

Na Figura 7.4, pode ser observado o módulo M_1 e seus submódulos, que em conjunto resolvem a FP_1 . O uso da denominação 'Módulo' facilita a organização e a referência de um conjunto específico de peças, durante o desenvolvimento do Portador.

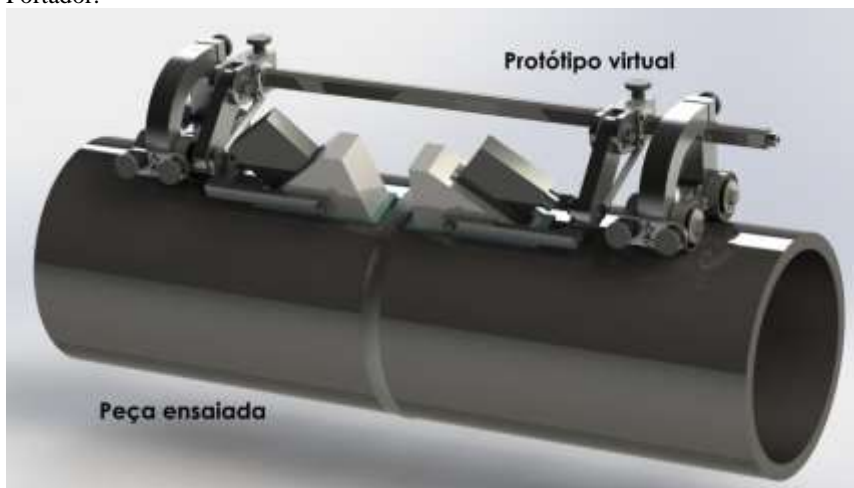
Figura 7.4 - Módulo M_1 , formado pelos módulos $M_{1,1}$ até $M_{1,5}$, em vista montada e explodida



Assim, depois de terem sido modeladas, definiu-se o material de cada peça. Optando, sempre que possível por materiais resistentes à corrosão e desgaste, como: alumínio, aço inoxidável e polímeros. Essa definição baseou-se na especificação de projeto que prevê que o Portador será usado em ambientes passíveis de corrosão.

Por fim, ainda com o auxílio do software CAD, montou-se virtualmente todos os subsistemas, resultando no Protótipo Virtual do Portador ($D_{3,1}$), representado na Figura 7.5. O Protótipo Virtual é um conjunto de arquivos gerado por software CAD, do tipo montagem e do tipo peça, que descrevem o protótipo em termos de componentes, dimensões, materiais, geometria e encaixes.

Figura 7.5 – Leiaute do sistema de inspeção, com ênfase no subsistema Portador e demais componentes embarcados (D_{3.1}), representando o protótipo virtual do Portador.



Com o leiaute completo do sistema de inspeção, e após avaliação das soluções com os orientadores, obteve-se o conhecimento necessário ao planejamento da montagem do protótipo do Portador.

7.2. PLANEJAR MONTAGEM DO PROTÓTIPO (A_{3.2})

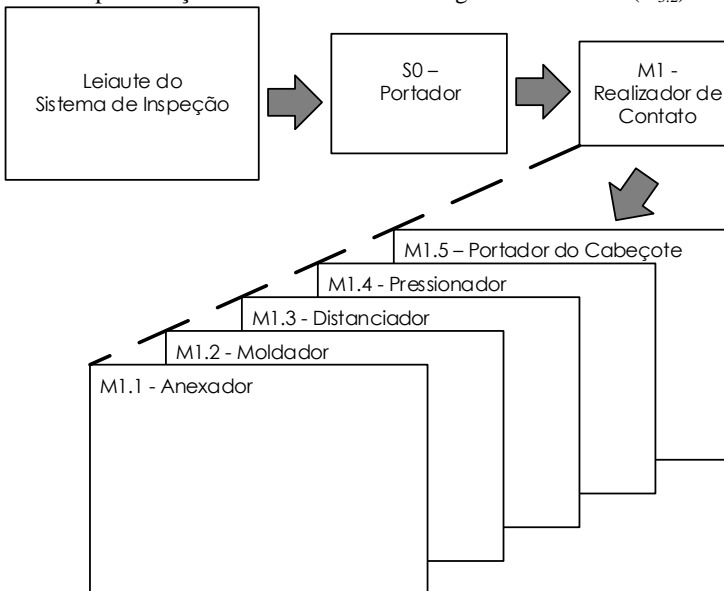
A segunda atividade da fase consistiu em planejar a montagem do protótipo físico do Portador, a partir das simulações das montagens e desmontagens de seu protótipo virtual (Figura 7.5). Para isso, primeiramente (1) detalhou-se as montagens do leiaute do sistema, de modo a identificar todas as suas peças. Em seguida, (2) listou-se essas peças em uma lista de materiais, posteriormente organizada em uma lista de peças a serem compradas prontas e uma lista de peças a serem fabricadas. E por último, (3) listou-se as ferramentas necessárias à montagem do Portador. Com esses três passos gerou-se os seguintes documentos:

- D_{3.2.1} – Desenhos das montagens;
- D_{3.2.2} – Lista de materiais;
- D_{3.2.3} – Lista de ferramentas para montagem.

7.2.1. Detalhar montagens do Portador

Assim, a partir do leiaute do sistema, desenvolvido na atividade anterior, detalhou-se as montagens do Portador por meio de um Software CAD (MT₄), resultando nos seguintes desenhos de montagem: Leiaute do sistema, Subsistema S₀, Módulo M₁ e de seus cinco módulos de M_{1,1} até M_{1,5}. Esses desenhos compõem o Apêndice 3.2, conforme representado na Figura 7.6.

Figura 7.6 - Representação dos desenhos de montagem do Portador (D_{3,2})

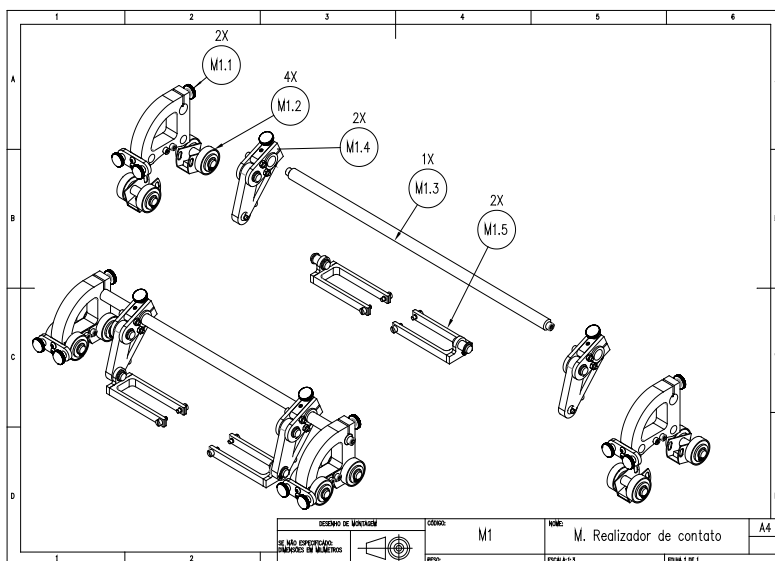


O detalhamento do módulo M₁ e de seu submódulo M_{1,1} são descritos a seguir para exemplificação.

Na Figura 7.7 é representado o detalhamento em vista explodida, das peças que constituem o Módulo M₁, que explicita as peças e módulos necessários a sua montagem:

- M_{1,1} – Anexador (duas unidades);
- M_{1,2} – Moldador (quatro unidades);
- M_{1,3} – Distanciador (uma unidade);
- M_{1,4} – Pressionador (duas unidades);
- M_{1,5} – Portador (duas unidades).

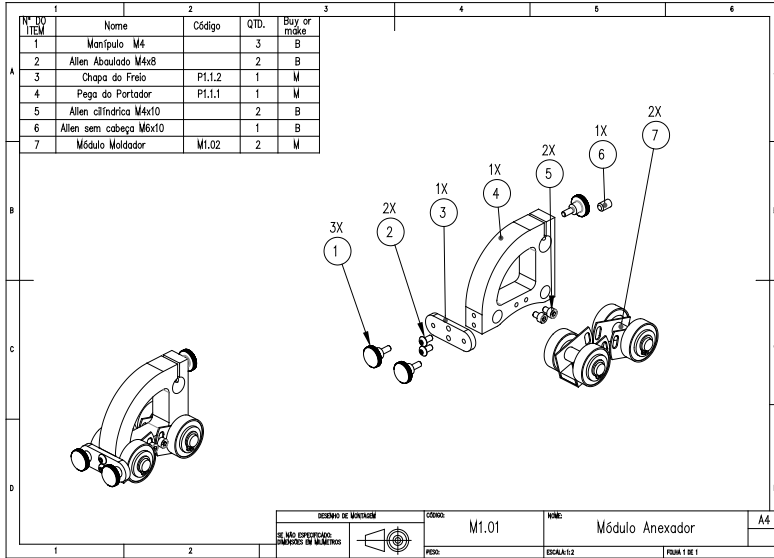
Figura 7.7 - Detalhamento da montagem do módulo Anexador (M_1), pode-se identificar os módulos $M_{1.1}$, $M_{1.2}$, $M_{1.3}$, $M_{1.4}$ e $M_{1.5}$. Acima dos balões está representada a quantidade de cada componente. Parte do documento D_{3.2.1}



A seguir, no próximo nível de desdobramento, detalhou-se o módulo $M_{1.1}$ identificando-se os componentes necessários a sua montagem (numerados pelos balões da Figura 7.8):

1. Manípulo;
2. Parafuso;
3. Placa para freio;
4. Pega do Portador;
5. Parafuso sem cabeça;
6. Parafuso
7. Módulo Moldador ($M_{1.2}$)

Figura 7.8 – Detalhamento da montagem do módulo Anexador $M_{1,1}$, evidenciando seus materiais: seis peças numeradas de 1 até 6 e o módulo Moldador ($M_{1,2}$) identificado pelo balão de número 7. Acima dos balões está representada a quantidade de cada componente. Extraído do apêndice D_{3,2}



7.2.2. Listar materiais do Portador

A partir dos desenhos das montagens, gerou-se a lista de materiais dos módulos. Seguindo o exemplo do módulo $M_{1,1}$, identificou-se e listou-se seus sete componentes, conforme observado na Figura 7.8. Originando a lista de materiais do $M_{1,1}$.

Essa lista contém as seguintes informações dos materiais: Número do item, Nome, Código, Quantidade, Material, Comprar (este campo é preenchido com a letra B, caso o material tenha que ser comprado, *Buy*), Fornecedor, Fabricar (este campo é preenchido com a letra M, caso seja necessário fabricar, *Make*), Corte a laser, Fresamento e Torneamento.

Por exemplo, o primeiro item da montagem do $M_{1,1}$ é o manípulo com rosca M4, sem código específico, a quantidade é de três unidades e este item deve ser comprado. É essa classificação, em B ou M, que permite a organização da Lista de materiais, em Lista de compra e em Lista de fabricação.

No caso de ser fabricado, é listado o tipo de processo de fabricação: corte a laser, fresagem e torneamento. Isso permite avaliar o custo e tempo de fabricação.

Uma observação sobre o campo intitulado código é que ele só é preenchido quando se trata de uma peça a ser fabricada, como por exemplo o item quatro da Figura 7.8: a pega do Portador cujo código é P1.1.2, esse código representa que é a segunda peça (.2) do primeiro módulo (1.1).

A seguir, detalhou-se os demais módulos de forma análoga, obtendo-se assim, a lista de materiais do Portador (Apêndice D3.2.2) cuja representação é expressa na Figura 7.9.

Figura 7.9 – Recorte da lista de materiais do Portador (D_{3.2.2})

D3.2.2 - Lista de materiais do Portador

Nº	Nome	Código	Qtd.	Material	Buy	Fornecedor	Make	Cort.	Fres.	Torn.
1	Parafuso de fixação do cabeçote	P1.5.3	4	Aço	---	Fornecedor A	M	---	---	Sim
2	Pino guia 14x10	P1.5.4	2	Aço inoxidável	B	Fornecedor E	M	---	---	Sim
3	Anel elástico		16		B	Fornecedor E	---	---	---	---
4	Braço do garfoB	P1.5.1	2	Alumínio	---	Fornecedor F	M	Sim	Sim	---

A lista de materiais completa do Portador pode ser observada no Apêndice D_{3.2.2}. A partir dessa lista organizou-se duas outras: A lista de compras e a lista de fabricação. Comparada à lista de materiais, a lista de compras não possui as colunas Fabricar, Corte a laser, Fresamento e Torneamento. Enquanto que a lista de fabricação não possui as colunas *Buy* e Fornecedor.

Com essas listas organizou-se os materiais e peças que tiveram que ser comprados, e ainda, as peças a serem fabricadas.

7.2.3. Listar ferramentas necessárias à montagem do Portador

Por fim, analisando a lista de materiais do Portador, listou-se as ferramentas necessárias a sua montagem, conforme Figura 7.10. O pequeno número de ferramentas necessárias à montagem do Portador visa suprir o requisito do usuário ‘Ajustes e encaixes rápidos e fáceis dos componentes’.

Figura 7.10 - Lista de ferramentas necessárias à montagem do Portador, (D_{3.2.3})

D3.2.3 - Lista de ferramentas	
1	Chave allen 2 mm
2	Chave allen 3 mm
3	Chave de fenda
4	Alicate para anel elástico externo
5	Cola para imã e alumínio
6	Chave de boca

Então, com os desenhos das montagens ($D_{3.2.1}$), a lista de materiais ($D_{3.2.2}$) e a lista de ferramentas ($D_{3.2.3}$) consolidou-se o Plano de montagem, que é o conjunto desses três documentos, observado no Apêndice $D_{3.2}$. Seguindo ao planejamento da montagem planejou-se a fabricação do protótipo, a próxima atividade descrita.

7.3. PLANEJAR FABRICAÇÃO DO PROTÓTIPO ($A_{3.3}$)

Com base na lista de peças a serem fabricadas, elaborada na atividade anterior ($D_{3.2.2}$), iniciou-se o planejamento da fabricação do protótipo. Durante esta atividade (1) definiu-se quais processos de fabricação seriam utilizados, (2) organizou-se as peças em função de cada processo, gerando o documento Planos dos processos ($D_{3.3.1}$), e por fim, (3) detalhou-se os Desenhos técnicos das peças para fabricação ($D_{3.3.2}$).

Primeiramente, definiu-se os processos de fabricação em reuniões (MT_{14}) com técnicos de fabricação e empresas fabricantes (U_8 e U_3), dando preferência aos processos disponíveis nas instalações da UFSC. Quando necessário, optou-se por processos disponíveis externamente à UFSC que apresentassem baixa complexidade e custo. Assim, os processos escolhidos foram o Corte à laser, Fresamento e Torneamento.

Posteriormente, analisou-se as peças e identificou-se como cada peça seria fabricada, agrupando-as em três grupos: de corte a laser, de fresamento e de torneamento. Assim, o primeiro grupo é o das peças a serem cortadas a laser, que requer o desenho bidimensional das peças em arquivos com formato .dxf ou .dwg (formato solicitado pelo fabricante).

Na Figura 7.11 está representado esse grupo, na qual identifica-se as peças e suas quantidades cortadas por esse processo. Essa figura representa o Plano de corte a laser ($D_{3.3.1}$).

Figura 7.11 – Representação do grupo de peças a serem cortadas a laser, extrato do Plano de corte a laser (D_{3.3.1})

Nº DO ITEM	Nome	Código	Material
1	Braço do garfo	PI.5.1	Alumínio 9,5mm
2	Corpo do garfo	PI.5.2	Alumínio 4,5mm
3	Braço pressionador	PI.4.4	Alumínio 9,5mm
4	Chapa Lateral do Distanciador	PI.4.1	Alumínio 4,5mm
5	Chapa Central do Distanciador	PI.4.2	Alumínio 9,5mm
6	Chapa do Freio	PI.1.2	Alumínio 4,5mm

DESENHO DE MONTAGEM		CODIGO:	NOME: Plano de corte a laser	A4
SE NÃO ESPECIFICADO, DIMENSÕES EM MILÍMETROS		PEÇA:	ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1

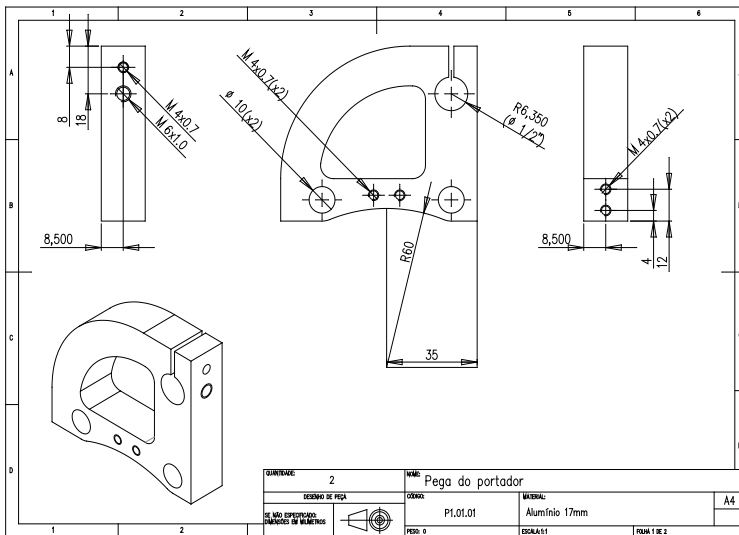
Em seguida, de forma análoga ao grupo anterior, agrupou-se as peças a serem fresadas, e as peças a serem torneadas, em mais dois grupos. Assim, definiu-se mais dois documentos, o Plano de fresamento e o de torneamento. Esses planos, bem como o de corte, podem ser observados integralmente no Apêndice 3.3.1.

Os planos dos processos de fabricação facilitam a comunicação com as empresas fabricantes. Neste trabalho, com o plano de corte a laser, solicitou-se o serviço de corte a laser de uma empresa externa à UFSC, comunicando quais peças tiveram que ser cortadas a laser, bem como, a quantidade e o material a ser utilizado.

Então, em posse desses planos, detalhou-se as peças a serem fabricadas. O detalhamento foi voltado ao processo de fabricação escolhido. Por exemplo, para as peças cortadas a laser, gerou-se arquivos de desenho com extensão ‘.dwg’ dada a solicitação da empresa fabricante. Gerou-se igualmente os desenhos técnicos tradicionais, para documentação.

Os desenhos técnicos das peças a serem fabricadas, assim gerados, constituem o Apêndice 3.3.2. Na Figura 7.12 é apresentado um exemplo de desenho técnico, que contém as informações: vistas, geometria, dimensões, nome, material e quantidade da peça a ser fabricada.

Figura 7.12 - Exemplo de desenho técnico de fabricação da peça Pega do Portador (P1.1.1), do módulo Anexador (D_{3.3.2})



7.4. EXECUTAR AQUISIÇÃO, FABRICAÇÃO E MONTAGEM DAS PEÇAS (A_{3.4})

Em posse dos Planos de montagem e fabricação (D_{3.2} e D_{3.3}), executou-se a aquisição, fabricação e montagem das peças do protótipo.

A aquisição deu-se em cerca de dez lojas (U₆) nas cidades de Curitiba e Florianópolis. A fabricação (U₃) deu-se em empresas metal mecânicas de Curitiba e no laboratório Usicon, de usinagem da UFSC.

Já a montagem deu-se no laboratório NeDIP, da UFSC, originando o protótipo que pode ser observado na Figura 7.13 e Figura 7.14.

Figura 7.13 – Foto do Portador montado, com foco em seus módulos do lado esquerdo



Figura 7.14 – Foto do Portador



7.5. VALIDAR PROTÓTIPO (A_{3,5})

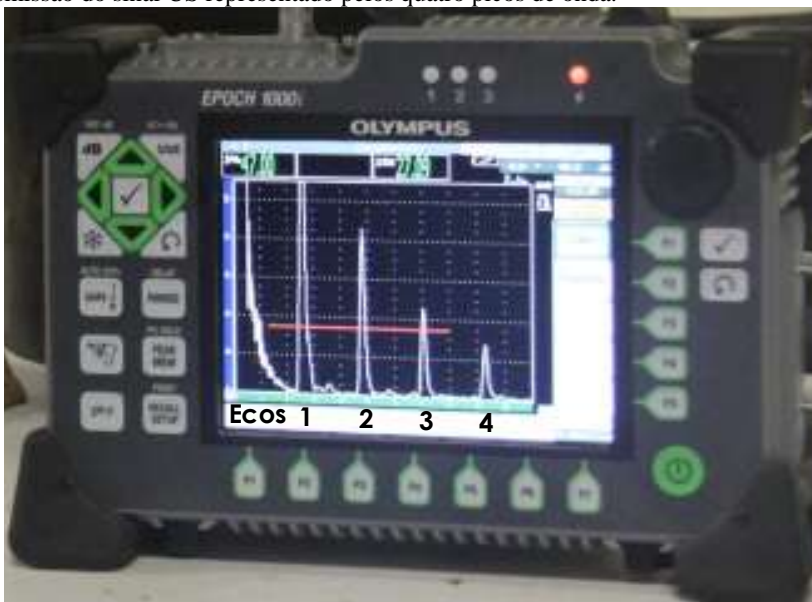
Uma vez montado, iniciou-se a validação do protótipo do Portador, por meio da avaliação de usuários. Primeiramente, avaliou-se o cumprimento das funções do Portador e, em seguida, o atendimento às necessidades dos usuários e aos requisitos de projeto. Por fim, elaborou-se uma lista de recomendações de aprimoramento para nova iteração do projeto. Conforme demonstrado a seguir.

7.5.1. Avaliação das funções do protótipo

Iniciou-se a avaliação do protótipo pelo teste do cumprimento das funções parciais do Portador (D_{2,2}). O teste consistiu em verificar se o sinal US, gerado por um Multiplexador, era transmitido do cabeçote para a peça ensaiada e novamente ao cabeçote, durante a varredura, com o auxílio do Portador. Os ecos US, refletidos dentro das duas peça ensaiadas (um duto e uma chapa plana), confirmaram que o sinal estava sendo transmitidos, conforme Figura 7.15²⁰.

²⁰ Estes testes foram realizados no Laboratório de Ensaio Não Destrutivos anexo ao Laboratório de Soldagem da UFSC, com a Eng^a Cleide Marqueze em agosto de 2013.

Figura 7.15 - Foto do visor do multiplexador ultrassônico, demonstrando a transmissão do sinal US representado pelos quatro picos de onda.



O teste empregou os componentes especificados no Quadro 7.1, observados na Figura 7.16. E foi executado com o auxílio de um inspetor de solda, conforme o procedimento descrito a seguir:

Quadro 7.1 – Especificação dos componentes empregados no teste

<ul style="list-style-type: none"> • <u>Multiplexador</u> <ul style="list-style-type: none"> ○ Modelo: Olympus EPOCH 1000i ○ Ganho: 48,0 db • <u>Transdutor</u> <ul style="list-style-type: none"> ○ Modelo: Olympus PF4R-10 ○ Feixe sônico: cilíndrico com 10,0 mm de diâmetro ○ Frequência: 4,0 MHz ○ Diâmetro: 20 mm • <u>Acoplante</u> <ul style="list-style-type: none"> ○ Tipo: Vaselina líquida • <u>Duto ensaiado</u> <ul style="list-style-type: none"> ○ Material: Aço ○ Diâmetro externo: 275 mm ○ Espessura: 18 mm ○ Comprimento: 170 mm ○ Superfície: Levemente oxidada • <u>Chapa ensaiada</u> <ul style="list-style-type: none"> ○ Material: Aço ○ Largura e comprimento: 300 x 300 mm ○ Espessura: 26 mm

1. Primeiramente calibrou-se o multiplexador ajustando os parâmetros do transdutor: ângulo de emissão ultrassônica em zero graus (i.e. normal a superfície) e frequência em 4 MHz;
2. Ajustou-se a sensibilidade para que o primeiro eco US tivesse cerca de 80% de amplitude da onda US exibida no visor (essa sensibilidade é conhecida como o Ganho do aparelho).
3. Aplicou-se vaselina líquida sobre a superfície, na área sobre a qual o cabeçote realizaria contato, para eliminar o ar entre o cabeçote e a superfície ensaiada.
4. Deslocou-se o portador equipado com o cabeçote US sobre a peça ensaiada, de forma a identificar os ecos, ou reflexões, do sinal US, conforme Figura 7.15. O primeiro eco representa a reflexão na superfície interna do tubo, ou inferior da chapa. O segundo, a reflexão na superfície externa ou superior. O terceiro a interna ou inferior, e assim por diante. Caso houvessem descontinuidades na peça ensaiada, entre esses ecos naturais haveriam outros que indicariam a descontinuidade. Lembrando que descontinuidades geram reflexões de ondas US e se observam na forma de picos.



Figura 7.16 – Componentes do Teste de cumprimento das funções do Portador

7.5.2. Avaliação do cumprimento das necessidades dos usuários e requisitos de projeto

Nessa segunda etapa de avaliação, analisou-se a opinião dos usuários com relação ao cumprimento das necessidades dos usuários e requisitos de projeto. Para isso entrevistou-se engenheiros, técnicos e inspetores de solda²¹, que testaram o protótipo, por meio de um questionário. Com isso obteve-se um gráfico que evidencia os pontos críticos do protótipo, bem como, comentários e sugestões desses entrevistados. Este processo é descrito detalhadamente nos próximos parágrafos.

Para testar o protótipo, os usuários prepararam e manipularam o protótipo sobre as peças descritas no Quadro 7.1. Por vezes a superfície da peça apresentava oxidação.

Em seguida, obteve-se a opinião desses usuários, sobre a avaliação do protótipo, por meio de um questionário (Apêndice D_{3.5.1}). As doze questões baseiam-se nas necessidades e requisitos de projeto (Apêndice D_{1.2}). Para cada questão existem cinco opções padrão de resposta: (0) Insatisfatório, (1) Apenas tolerável, (2) Adequado, (3) Bom e (4) Muito bom. Ponderadas de zero até quatro, conforme a diretriz VDI 2225 apresentada por Pahl et al. (2007). Além disso, no final do questionário existe um questão aberta, na qual o entrevistado pode registrar seu comentário ou sugestão sobre o protótipo.

Registrou-se a opinião dos seis usuários no gráfico radar apresentado no Quadro 7.2. Podem ser observadas as notas atribuídas a cada uma das 12 questões, bem como a variância.

Quadro 7.2 – Notas máxima, mínima, média e variância das questões

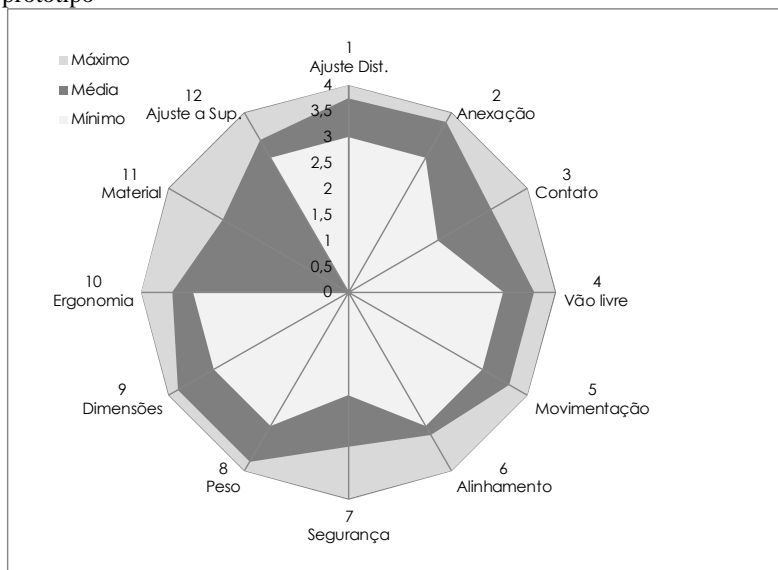
Questão	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Máximo	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Mínimo	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3	0	3
Média	3,75	3,8	3,2	3,6	3,6	3,2	3	3,8	3,8	3,4	2,8	3,4
Variância	0,19	0,16	0,56	0,24	0,24	0,16	0,4	0,16	0,16	0,24	2,16	0,24

Já na Figura 7.17 são apresentadas as notas mínimas, máximas e as médias de cada questão. Cada ponta do gráfico representa uma questão. No

²¹ Os entrevistados são membros do LabSolda e do Nedip (laboratórios da UFSC) bem como, da fundação Certi

gráfico têm-se três zonas, identificadas por tonalidades diferentes da cor cinza. A zona mais interna representa a nota mínima das questões, a intermediária, a média das notas e a externa a nota máxima.

Figura 7.17 – Gráfico radar representando as notas dadas pelos usuários avaliadores do protótipo



Nota-se que tanto no Quadro 7.2, quanto na Figura 7.17, as questões três, sete e onze apresentam dispersão estatística elevada. Essa dispersão é percebida por valores de variância acima da média (em negrito no quadro) e por valores mínimos abaixo da média no gráfico. Essas mesmas questões receberam as menores médias:

Questão 3 - Contato entre o cabeçote e a peça ensaiada (média 3,2);

Questão 7 - Segurança a queda do Portador (média 3);

Questão 11 - Material do Portador (média 2,8).

Assim investigou-se a razão da criticidade dessas três questões, com base nos comentários sobre o protótipo.

Sobre a questão 3 percebe-se que o protótipo apresenta folga nos ajustes mecânico dos módulos Portador do cabeçote ($M_{1,5}$) e Pressionador ($M_{1,4}$). Essas folgas atrapalham a realização do contato entre a superfície do cabeçote e da peça ensaiada, pois a Tangência (uma condicionante do primeiro problema essencial de projeto) entre superfícies não é respeitada.

Assim, possíveis soluções para esse problema são: (1) maior precisão dos ajustes mecânicos, por maior controle sobre a tolerância de fabricação de eixos e furos; (2) adoção de buchas poliméricas padronizadas, com tolerância adequada e de baixo coeficiente de atrito; ou ainda, (3) uso de rolamentos.

Sobre a questão 7, pode-se adotar um mosquetão de segurança, que permita ao inspetor prender o Portador em si, por meio de um cabo, por exemplo, durante situações de risco de queda do Portador.

Sobre a questão 11, existe a possibilidade de ocorrência de corrosão galvânica devido o contato entre o pino, de aço inoxidável, do módulo Portador ($M_{1,5}$) e o furo em alumínio do módulo Pressionador ($M_{1,4}$). Pode-se resolver isso pelo uso de buchas poliméricas, propostas para a questão 3.

Finalizando a avaliação, apresenta-se alguns comentários/sugestões dos entrevistados.

“No geral o protótipo se mostrou muito bom, tanto no processo de ajustes e preparação, quanto na medição. Sugere-se apenas utilizar elementos padronizados. Quando possível, melhorar os ajustes na fabricação ou na especificação do projeto, e procurar selecionar os materiais, aço inox por exemplo, mais indicado ao ambiente hostil de inspeção. Avaliar possível melhoria no sistema de frenagem.”

“Ótima aparência, que destaca o produto. Produto compacto, que facilita operação de verificação.”

“Seria bom, para o processo de fabricação melhorar os mancais e as conexões. Também é importante desenvolver um porta cabeçote específico para cada cabeçote.”

7.5.3. Analisar protótipo

Por fim, com a análise final livre do protótipo, elaborou-se uma lista de recomendações de aprimoramento do protótipo, propostas por: engenheiros de produto, técnicos de fabricação e inspetores de solda.

Essas recomendações podem ser consideradas em nova iteração do processo de projeto, em atividades específicas, como: identificação das necessidades dos usuários; modelagem, fabricação, montagem, preparação e uso do protótipo; entre outras. Ainda, essas recomendações visam a

atualização das informações contidas em diversos documentos de diversas fases, como: Especificações de projeto (D_{1.3}), Conceito (D_{2.6}) e Leiaute do produto (D_{3.1}), entre outros.

A lista de recomendações para aprimoramento do protótipo é composta por 12 itens (Quadro 7.3) com descrição completa no Apêndice D_{3.5.2}.

Quadro 7.3 – Lista sucinta de recomendações para aprimoramento do protótipo (D_{3.5.2})

1. Aproximação dos eixos da peça 'Pega do Portador' para redução do diâmetro mínimo de duto inspecionado;
2. Substituir rolamentos por rodas de borracha para maior aderência e deslizamento mais suave sobre a superfície da peça ensaiada;
3. Substituir as três peças parafusadas do módulo Pressionador por peça única, peças 4, 4 e 8 do desenho de montagem M1.04;
4. Alterar a posição do imã para eliminar a necessidade do ajuste angular do módulo Moldador;
5. Aumentar diâmetro da pega dos manípulos ;
6. Fabricar a peça 'Suporte do cabeçote' em peça única para reduzir desalinhamento;
7. Substituir os parafusos de corpos retificados usinados por parafusos normais e buchas, para redução do custo;
8. Substituir imã para variar a força de anexação do protótipo;
9. Chanfrar barra de deslizamento para manter o alinhamento angular entre distanciadores;
10. Substituir mola de tração por mola de torção para melhorar estética do protótipo;
11. Inserir anel elástico nas juntas rotativas do protótipo para redução de folga;
12. Utilizar rolamentos ao invés de mancais de deslizamentos nas juntas para redução das folgas;

7.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo apresentou-se o desenvolvimento do Projeto Preliminar do Portador, cuja entrega é seu protótipo funcional validado, um dos principais resultados desta dissertação.

O desenvolvimento se deu pela modelagem geométrica do Portador, com base em seu conceito (D_{2.6}), e ainda, pela sua fabricação, montagem e validação.

De forma geral, percebe-se as seguintes características do protótipo do Portador:

- Baixo custo;
- Versátil, serve a diversos tipos de peças ensaiadas;
- Portátil, leve com pequenas dimensões;
- Fabricação aderente ao parque industrial brasileiro;
- Fácil montagem, apenas cinco ferramentas necessárias;
- Ergonômico;
- Validado por especialistas;
- Desenvolvido para as necessidades dos usuários locais.

Logo, evidencia-se o cumprimento das principais necessidades declaradas pelos usuários de portadores para inspeção de solda:

- **Maior confiabilidade na detecção de descontinuidades.** Haja vista que a inspeção é menos dependente do inspetor, e mais dependente do Portador. Por exemplo, o princípio de anexação magnética assegura melhor realização do contato entre o cabeçote e a peça ensaiada;
- **Ergonomia durante a preparação do portador.** Cumpre-se essa necessidade pelas regulagens e encaixes fáceis e rápidos, que necessitam de poucas ferramentas;
- **Portador versátil;**
- **Uso do Portador em campo;**
- **Redução da fadiga do operador.** Já que é o Portador que realiza o contato entre o cabeçote e a peça ensaiada, o inspetor despende menos esforços;
- **Assegurar transmissão do sinal US.** Os testes confirmaram o cumprimento dessa necessidade essencial do processo de inspeção.

Como forma de otimizar o Portador em desenvolvimento em novas iterações de projeto, recomenda-se a realização da atividade de ‘Análise da sensibilidade do Portador’. Esta análise de sensibilidade consiste em determinar as causas e a relação entre variáveis do projeto (e.g. Componentes, Materiais e Processos de fabricação) e verificar quais são os efeitos para obter uma solução de menor custo total.

Por meio da análise de sensibilidade do protótipo, espera-se otimizar as seguintes especificações de projeto:

- Força de fixação magnética
- Peso do protótipo

- Máxima distância de separação entre cabeçotes
- Materiais
- Volume

Nesta fase de projeto houve intenso contato com usuários externos à equipe de projeto, como: Empresas de fabricação mecânica, Técnicos de fabricação, Fornecedores de componentes mecânicos, Inspetores de solda e Engenheiros de produtos, evidenciando o caráter integrativo de um projeto de desenvolvimento de produto.

Outros resultados deste trabalho são apresentados no próximo Capítulo.

8. CONCLUSÃO

Ao longo desse trabalho apresentou-se a Sistemática de Desenvolvimento de um Portador de Sistemas Ultrassônicos para a Inspeção de Uniões Soldadas, com base na metodologia de desenvolvimento de produtos.

No Capítulo 1, apresentou-se a introdução deste trabalho, com a motivação, objetivos e justificativa. Constata-se que os objetivos específicos deste trabalho foram devidamente cumpridos, pois: estabeleceu-se as especificações de projeto, gerou-se conceitos, modelou-se, fabricou-se, montou-se, testou-se e validou-se por especialistas, o protótipo do Portador, além disso, sistematizou-se as fases de desenvolvimento, documentou-se as informações de projeto e contribuiu-se com a aplicação de métodos e técnicas para o aperfeiçoamento da metodologia de projeto, conforme explanado nas próximas seções.

No Capítulo 2, abordou-se os Ensaio não destrutivos, com ênfase na Tecnologia de inspeção ultrassônica de soldas. Identificou-se os principais Portadores disponíveis no mercado e estruturou-se o sistema de inspeção ultrassônica de solda.

No Capítulo 3, revisou-se a Metodologia de desenvolvimento de produtos, da qual identificou-se potências métodos cabíveis no desenvolvimento do Portador, bem como os elementos primordiais ao PDP: as Atividades, os Documentos, os Métodos e os Usuários. A seguir, nos capítulos de desenvolvimento (Capítulo 4 ao 7) aplicou-se e aprimorou-se os métodos identificados no Capítulo 3.

Primeiramente, planejou-se o projeto no Capítulo 4, nesse definiu-se os recursos necessários e em seguida sistematizou-se o PDP específico ao Portador, em função dos quatro elementos primordiais mencionados. Esse PDP serviu de guia à equipe, durante a execução do projeto.

No Capítulo 5, exibiu-se o Projeto Informacional no qual definiu-se as necessidades dos usuários, os requisitos de projetos e as especificações de projeto do Portador.

No Capítulo 6, durante o Projeto Conceitual, identificou-se os problemas essenciais de projeto, elaborou-se a estrutura de funções do produto e buscou-se os princípios de funcionamento que resolvessem esses problemas, descritos na forma dessas funções. A seguir, combinou-se esses princípios em variantes de concepção, avaliadas posteriormente, sendo que a escolhida foi desenvolvida em conceito do produto.

No Capítulo 7, durante o Projeto Preliminar, modelou-se, fabricou-se, montou-se e testou-se o protótipo funcional do Portador, com base em seu conceito e em sua lista de especificações de projeto.

No Projeto Preliminar obteve-se a aprovação do protótipo por técnicos, engenheiros e especialistas em US. Essa aprovação validou o PDP sistematizado, confirmando que os métodos empregados viabilizaram o desenvolvimento do Portador. Logo, constata-se também que o objetivo geral, proposto no início desta dissertação, foi cumprido.

A seguir são apresentadas as contribuições, resultados obtidos, conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

8.1. CONTRIBUIÇÕES

A principal contribuição deste trabalho é a Sistematização do Processo de Desenvolvimento do Portador, que viabiliza a Gestão do Conhecimento e a Gestão do Projeto do Portador.

A gestão do conhecimento viabiliza a socialização, externalização, combinação e internalização das informações de projeto, enquanto que a gestão do projeto visa o planejamento, a execução e o controle do projeto.

A **socialização** do conhecimento se deu pela comunicação entre os usuários do projeto e pela experiência obtida com a realização das atividades de projeto. Por exemplo, quando a equipe de projeto esclarecia suas dúvidas de fabricação com técnicos.

A **externalização** ocorreu durante a síntese das informações de projeto, registrada em documentos ao longo de todo o PDP. Por exemplo, durante o projeto informacional, registrou-se as especificações de projeto em uma lista, que mostraram-se fundamentais ao desenvolvimento do Portador. Sob outro ponto de vista, a externalização se deu pelo ato de redação desta dissertação.

A **combinação** do conhecimento aconteceu durante a sistematização do PDP. Sistematizou-se os elementos primordiais de projeto: Atividades, Documentos, Métodos e Usuários. Com a combinação do conhecimento assegurou-se a eficácia na repetitividade do projeto, pois conhece-se como e com quem cada atividade deve ser realizada e ainda, como cada informação deve ser armazenada.

A **internalização** consistiu na transformação do conhecimento explícito em tácito, e ocorreu por meio da leitura desta dissertação e da análise de documentos.

Logo, sob a perspectiva da Gestão do Projeto, o **planejamento** se deu pela sistematização do PDP, conforme descrito no parágrafo sobre a combinação do conhecimento. Além disso, o planejamento prevê os recursos necessários ao projeto.

A **execução** mostrou-se eficaz, uma vez que os elementos de projeto estavam bem definidos, pois sabia-se o que, como e com quem executar cada atividade. Dada essa sabedoria, as reiteraões de projeto podem ser feitas de forma eficiente.

Por fim, assegurou-se o **controle** do projeto pela rastreabilidade das informações. Pela análise dos documentos, pode-se acompanhar a transformação das informações de projeto. Por exemplo, nos documentos D₁, do Projeto Informacional, pode-se rastrear como cada necessidade dos usuários implica em cada especificação de projeto.

8.2. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtido com este trabalho foram:

- **Sistemática contendo todas as atividades do PDP.** Representada de forma gráfica, a sistemática guia a equipe de projeto de forma macro e micro. Sabe-se em qual documento cabe cada informação de projeto e por qual método cada informação foi transformada. Note-se que as setas que representam as atividades no PDP seguem a ordem de transformação das informações de projeto, e não necessariamente a ordem cronológica em que ocorreram, pois várias atividades ocorreram de forma simultânea. Assim, o PDP representa o fluxo de transformação das informações do projeto.
- **Padronização de documentos de projeto,** que podem ser implementados em empresas de desenvolvimento de produtos, com o intuito de gerir seu conhecimento.
- **Portador de sistemas ultrassônicos validado,** de baixo custo, versátil, portátil, fácil montagem e ergonômico.
- **Aplicação e aprimoramento da metodologia de desenvolvimento de produtos.**

8.3. CONCLUSÕES

Conclui-se com este trabalho que a sistemática empregada no desenvolvimento do Portador facilitou o registro de todas as atividades, documentos e comunicações, e desta forma, cumpriu o intuito de assegurar o conhecimento organizacional, podendo, com isso, rastrear-se as decisões tomadas ao longo do projeto, tanto para revisão da fabricação e montagem, quanto para a recuperação de informações para manutenção e para outros projetos.

Dado seu êxito no desenvolvimento do Portador, vislumbra-se que a sistemática poderá auxiliar o desenvolvimento de produtos por equipes de projeto de pequenas empresas, de instituições e até mesmo de universidades, quando da elaboração de projetos acadêmicos. Pois apresentou-se viável, simples e ágil.

A simplicidade da sistemática se deu pela adoção de elementos de projeto (atividades, documentos, métodos e usuários) presentes ao longo de todo o processo. Com esses elementos, soube-se como proceder em cada instante do projeto, isso trouxe confiança à equipe de projeto, pois essa obteve uma visão tanto geral, quanto específica das atividades a realizar, e, portanto, do esforço que teve que despende.

O fato de todo o processo poder ser observado integralmente colaborou para o aumento dessa confiança, pois, a equipe teve meios de planejar os recursos necessários: tempo, custo e pessoas, etc.. Observando-se as atividades e métodos pôde-se definir as competências necessárias à equipe, esclarecendo o tipo de profissional requerido. Ainda, pôde-se estimar um tempo individual para a execução de cada atividade, essencial para a elaboração de um cronograma de projeto confiável.

Como definido nos objetivos, a sistemática mostrou-se fundamental para a elaboração das especificações de projeto, para o desenvolvimento das concepções do Portador, para a modelagem, fabricação, montagem e testes do protótipo, e, para a documentação de todas as atividades de projeto.

Do ponto de vista da obtenção do protótipo, concluiu-se que o planejamento da fabricação e da montagem, bem como a listagem dos materiais, organizaram as informações de projeto, e facilitaram a comunicação com usuários externos à equipe, como fornecedores e fabricantes. Haja vista a grande quantidade e diversidade de peças a serem fabricadas e adquiridas, que exigem organização para a redução de problemas de comunicação.

Com os ensaios e a avaliação sistêmica do protótipo por especialistas, por meio de questionários, identificou-se os pontos fortes e fracos do protótipo e ainda elaborou-se uma lista de recomendações de aprimoramento do mesmo, corroborando para o planejamento da próxima iteração de projeto.

Observou-se ainda que a sistemática rege a transformação de informações mais do que a transformação de materiais. Prova disso é que somente a atividade $A_{3,4}$, de execução, aquisição, fabricação e montagem do protótipo, envolve a transformação de materiais. Justificando-se assim a contribuição desse trabalho à gestão do conhecimento.

Por fim, conclui-se que este trabalho tem aplicabilidade industrial, haja vista que a sistemática pode ser adaptada e socializada a empresas que tenham necessidade de desenvolver produtos de forma ágil, simples, rastreável e reproduzível. Em vista disso, percebeu-se que este trabalho corroborou para a formação do pesquisador em metodologia de projeto, capacitando-o a desenvolver produtos, na função de gerente de projetos.

8.4. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- **Organizar o PDP em um modelo mais interativo e que passe menos ideia de sequencialidade**, que seja mais acessível à indústria e transmita melhor a ideia de simultaneidade das atividades, do que o atual PDP elaborado, que é modelado por setas;
- **Fabricar o protótipo por manufatura aditiva**, para redução de tempo e custo de fabricação, o quanto antes durante o processo de projeto;
- **Implementar lista de recomendações de aprimoramento do protótipo**;
- **Testar o protótipo com cabeçotes multi-elementos (Phased Array)**.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: **Confiabilidade e manutenibilidade**: terminologia. Rio de Janeiro, 1994.
- AWS B1.11, American National Standard. **Guide for the Visual Inspection of Welds**, p. 45. 2000.
- ANDREUCCI, R. (2010). **Líquidos Penetrantes**. Apostila. 2010.
- ANDREUCCI, R. (2010). **Radiologia Industrial**. Apostila. 2010.
- ANDREUCCI, R. (2011). **Ensaio por Ultrassom - Aplicação Industrial**. Apostila. 2011.
- BACK, N., OGLIARI, A., DIAS, A., & SILVA, J; **Projeto Integrado de Produtos**: Planejamento, Concepção e Modelagem. Barueri: Ed. Manole. (2008).
- BAXTER, Mike. **Projeto de produto**: guia prático para o desenvolvimento de novos produtos. São Paulo (SP): Edgard Blucher, 1998. 261p.
- BROBERG, P. **Towards Automation of non-destructive testing of welds**. Tese de doutorado. Universidade de Lulea. 2011.
- DIAS, A. et al. **Metodologia para análise de risco**: Mitigação de perda de SF₆ em disjuntores. 1a. ed. Florianópolis, SC: Nova Letra Gráfica & Editora, 2011. 304 p. ISBN: 978-85-98128-42-9.
- DITCHBURN, R. J., BURKE, S. K., & SCALA, C. M. **NDT of welds**: state of the art. NDT&E International, pp. 111-117. 1996.
- FARINA, Everton. **Desenvolvimento conceitual de um módulo de potência para agricultura**. xii, 150 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Florianópolis, 2010.
- FORCE. **AGS-1**: Automatic General Purpose Scanner. Catálogo eletrônico. 2011.
- GE. **Weldstar**: Hybrid AUT Girth Weld Inspection. Catálogo eletrônico. 2007.

GINZEL. **Mechanised Ultrasonic Inspections of Pipeline Girth Welds**. Acessado em: <http://www.ndt.net>, disponível em 08/10/13. 2000.

HALMSHAW, R. **Introduction to the Non-Destructive Testing of Welded Joints**. Abington Publishing. 1996.

LEITÃO, D., & TENERA, P. **Mecanização como Vantagem Competitiva**. Tecnologia & Qualidade - Instituto de Soldadura e Qualidade, 56. 2009

LEITE, P. G. **Curso de Ensaio Não Destrutivos**. 1966.

M2M NDT. **Multi.X**: Ultrasonic Phased Array System. Catálogo eletrônico do produto. Acessado no site: <http://www.m2m-ndt.com/files/> disponível em maio de 2011.

MARQUEZE, Cleide M. **Análise por ultra-som da textura dos materiais e tensões residuais em juntas soldadas**. Florianópolis, SC, 2002. ii, 113 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Disponível em : <<http://www.tede.ufsc.br/teses/PEMC0682.pdf>>. Acesso em : 27 ago. 2002.

MARQUEZE, C. M. **Ensaio Não Destrutivos**. Apostila. Florianópolis: Labsolda. 2008.

METALSCAN. **Sinus**: Bras Articulé. Catálogo eletrônico. 2010.

MCMMASTER, R. C. **Nondestructive Testing Handbook** (Second Edition, Volume Two Liquid Penetrant). Estados Unidos: American Society for Metals. 1982.

MODENESI, P. J. **Soldagem I**: Descontinuidades e Inspeção em Juntas Soldas. Apostila. Belo Horizonte 2001.

N-1594, Petrobras. **Ensaio Não-Destrutivo**: Ultra-Som. 2004.

N-1738, Petrobras. **Descontinuidades em juntas soldadas, fundidos, forjados e laminados**. 2003.

NOVICKI, N. BUSCHINELLI, A. J. A. e Paredes, R. S. C. et al. **Amanteigamento por Aspersão Térmica na Soldagem em Operação de Dutos de Pequena Espessura**: Estabilidade e Penetração do Arco Voltaico. Soldag. insp. São Paulo, Vol.16, No. 3, p.243-255, Jul/Set 2011.

OGLIARI, Andre; BACK, Nelson. **Estudo e desenvolvimento de mecanismos dosadores de precisão de maquinas semeadoras**. 1990. ix, 133f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico

OLYMPUS. **Introduction to Phased Array Ultrasonic Technology Applications**: Advanced Practical NDT Series. 2007a.

OLYMPUS. **Advances in Phased Array Ultrasonic Technology Applications**: Advanced Pratical NDT Series. 2007b.

OLYMPUS. **HST-X04**: Manual TOFD Scanner. Catálogo eletrônico. 2008.

OLYMPUS. **Scanners and Accessories**: Industrial Scanners. Catálogo eletrônico. 2011.

PAHL et al. **Engineering design**: a systematic approach. 3rd. ed. Berlin: Springer Verlag. 2007

Pires, G. P. (2009). **Inspeção Ultra-Sônica utilizando transdutor Phased Array**: Simulação computacional para detecção de trincas. UFRJ.

PMBOK. **A guide to the project management body of knowledge** : PMBOK Guide. 2000.

ROMANO, L. N. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas**. Florianópolis, SC, 2003. xxxiii, 265 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Disponível em : <<http://www.tede.ufsc.br/teses/PEMC0724.pdf>>. Acesso em : 2 jul. 2003.

SHINOHARA, A. H. ACIOLI, E. KHOURY, H. J.; **AVALIAÇÃO DA TÉCNICA DE RADIOGRAFIA DIGITAL EM GAMAGRAFIA**. Salvador. 2002.

SILVERSTEIN, SAMUEL e DECARLO; **The innovator's toolkit**: 50⁺ Techniques for Predictable and Sustainable Organic Growth. New Jersey: Wiley. 2009.

SOUZA, M. P., REBELLO, J. M., CARVALHO, A. A., & SOARES, S. D. **Confiabilidade dos Ensaios Não Destrutivos por Ultrassom utilizando curvas PoD**. Abendi, 31. 2009.

TIPLER, Paul Allen. **Física para cientistas e engenheiros**. 4. ed. Rio de Janeiro (RJ): LTC, c2000- v. ISBN 8521612141 (v.1)

APÊNDICE

O apêndice desta dissertação representa, de forma impressa, o banco de dados do projeto de desenvolvimento do Portador. Pode-se acompanhar a evolução desse desenvolvimento pela análise dos documentos²² a seguir. Esses documentos representam arquivos de textos, planilhas, diagramas, modelos virtuais, desenhos e modelos materiais. Os outros documento do banco de dados podem ser observados ao longo dos capítulos. Esse banco de dados pode ser disponibilizado, com restrições, pelo autor.

Em assim sendo, as próximas páginas contém os seguintes documentos:

- D_{0,0} – Plano do Produto
- D_{0,3} – Recursos necessários ao projeto
- D_{0,4} – Plano do Projeto
- D_{1,1} – Descrição das necessidades dos usuários
- D_{1,2} – Necessidades dos usuários, requisitos e especificações de projeto
- D_{1,3} – Lista de especificações de projeto
- D_{3,2} – Plano de montagem
 - D_{3,2,1} – Desenhos das montagens
 - D_{3,2,2} – Lista de materiais
- D_{3,3} – Plano de fabricação
 - D_{3,3,1} – Plano dos processos de fabricação
 - D_{3,3,2} – Desenho técnico de fabricação das peças
- D_{3,5} – Protótipo testado
 - D_{3,5,1} – Questionário de avaliação do protótipo
 - D_{3,5,2} – Lista das recomendações para aprimoramento

²² A lista completa dos documentos de projeto pode ser encontrada na parte pré-textual deste trabalho.

D_{0,0} – Plano do Produto

1. Escopo do projeto

Desenvolver, no quadro de uma dissertação de mestrado um portador de sistemas ultrassônicos para a inspeção de uniões soldadas. Visando responder a uma necessidade de mercado, com a colaboração de uma empresa de tecnologias US.

2. Funções objetivadas

- Escanear dutos com soldas circunferenciais e longitudinais
- Escanear chapas
- Portar sistemas ultra-sônicos
- Portar encoder

3. Especificações preliminares

- Portátil
- Anexar-se facilmente à peça ensaiada
- Determinar e comunicar a posição do escâner com relação à peça ensaiada
- Possuir um módulo de potência, de conexão opcional portador, que permita ao usuário escolher entre uma movimentação motorizada ou não.

4. Usuários do produto

- Pesquisadores e inspetores de solda

5. Declaração da oportunidade de desenvolvimento

- Percepção da lacuna do mercado brasileiro, definida pela falta do produto com desenvolvimento e fabricação nacional;
- Conhecimento do mercado internacional, pela análise de produtos semelhantes existente no exterior;
- Interesse de empresa em empreender o desenvolvimento;
- Interesse e demanda de empresas por um produto que satisfaça o escaneamento de uniões soldadas para a detecção de descontinuidades

1. Recursos de informática

- Computador
- Impressora
- Software CAD
- Suíte de aplicativos para escritório, para a criação de modelos, planilhas e documentos de texto

2. Recursos materiais

- Matéria prima para a fabricação das peças do protótipo, como barras de aço inox, chapas e blocos de alumínio, barras de nylon, etc. ;
- Peças padronizadas, como: parafusos, pinos guia, rolamentos, molas e etc.
- Espaço físico para pesquisa, montagem e testes do protótipo, e redação da dissertação (Laboratório NeDIP da UFSC);
- Espaço físico para fabricação das peças (Centro de usinagem da UFSC e oficinas diversas);
- Capital para aquisição dos produtos e serviços requeridos para o desenvolvimento, fabricação, montagem e testes do protótipo, (Empresa colaboradora e Capes);
- Bolsa de estudo para sustento do pesquisador durante o mestrado (Capes)

3. Recursos humanos

- Empresas fabricantes
- Técnicos de fabricação da UFSC
- Fornecedores
- Orientador
- Usuários
- Empresa desenvolvedora de sistemas ultrassônicos

4. Recursos de Disponibilidade e Acesso a informações

- BU
- Portal Capes
- Informação do tipo declaração de oportunidade de mercado;
- Informação do tipo ideia do produto
- PDP (capítulo de revisão)
- Inspeção de solda por US (capítulo de revisão)

D_{0,4} – Plano do projeto

Descrição da sistemática

Fase A₀: Planejamento do Projeto

Representando a primeira fase de desenvolvimento de produtos, o planejamento do projeto destina-se à proposição do PDP e ao estudo do problema de projeto. Para tanto, no planejamento do projeto elabora-se os seguintes documentos (Figura A1):

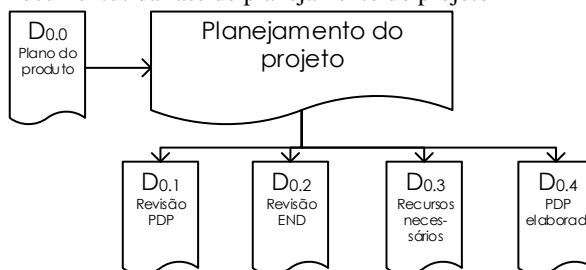
D_{0,1} - Revisão bibliográfica sobre o PDP;

D_{0,2} - PDP proposto;

D_{0,3} - Revisão bibliográfica sobre o sistema no qual o produto está inserido;

D_{0,4} - Modelo do sistema do produto;

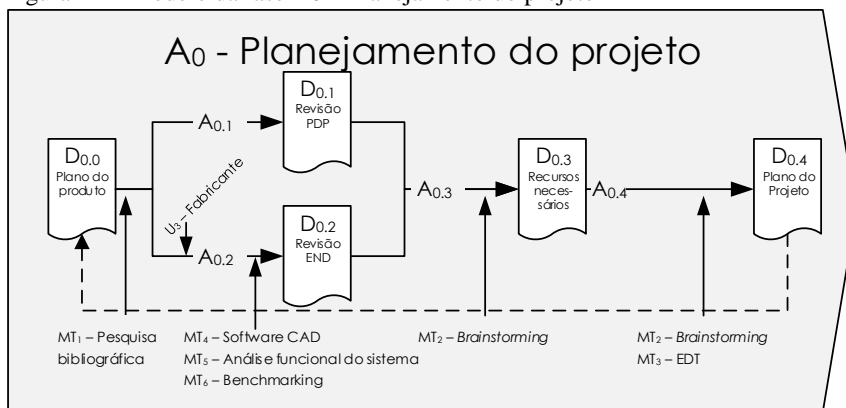
Figura A1 – Documentos da fase de planejamento do projeto



Para que esses documentos possam ser elaborados, são necessárias informações como escopo do projeto, funções, especificações e usuários do produto. Essas informações são contidas no Plano do produto, documento D_{0,0}. Esse plano do produto pode ser um documento gerado pela própria equipe de projeto ou por algum usuário externo ao projeto.

Em posse dessas informações, as atividades de planejamento do projeto objetivam a elaboração dos documentos previamente listados, podendo ser observadas na Figura A2. A atividade A_{0,1} ‘Pesquisar PDP’ serviu ao estabelecimento do documento D_{0,1} ‘Revisão bibliográfica sobre o PDP’, a A_{0,2} para o D_{0,2} e assim por diante, em todo o modelo.

Figura A2 - Modelo da fase A0 – Planejamento do projeto



Essas atividades são listadas e descritas na sequência:

A_{0,1} – Pesquisar PDP

A_{0,2} – Pesquisar END

A_{0,3} – Identificar recursos necessários ao projeto

A_{0,4} – Propor PDP

1. A primeira atividade (A_{0,1}) é a pesquisa bibliográfica sobre as metodologias de desenvolvimento de produto, que objetiva identificá-las, bem como, os elementos de projeto (i.e. atividades, métodos ou técnicas, documentos e usuários) que as constituem, para que a partir desses elementos, possa ser elaborado um PDP para o portador.
2. A segunda atividade (A_{0,2}) objetiva a revisão bibliográfica do sistema no qual o produto em desenvolvimento está inserido (D_{0,2}). E também à pesquisa dos produtos no mercado, relativos ao sistema.
3. Adiante, a terceira atividade (A_{0,3}) serve à definição dos recursos necessários ao projeto: de informática, materiais, humanos e de disponibilidade e acesso à informações.
4. Por fim, a quarta atividade (A_{0,4}) destina-se à elaboração do PDP específico ao tipo de produto em desenvolvimento. Esse PDP contém os elementos de projeto adequados ao desenvolvimento específico daquele tipo de produto e projeto. Sessões de *brainstorming* auxiliam a síntese das informações e do modelo do PDP. Inicia-se a proposição do PDP pelo desdobramento do

trabalho de desenvolvimento orientado à entrega de documentos, por meio do método da EDT (Estrutura de Desdobramento do Trabalho). Define-se todos os documentos a serem gerados durante o PDP e assim têm-se marcos de desenvolvimento, que viabilizam o controle do processo.

Durante o planejamento do projeto pesquisa-se o produto a ser desenvolvido e estabelece-se seu PDP. Assim, têm-se o conhecimento necessário para a próxima fase de projeto, o Projeto informacional.

Fase A₁: Projeto Informacional

O projeto informacional destina-se à elaboração da lista de especificações do projeto. A elaboração dessa lista se dá pela transformação de informações abstratas, provenientes dos usuários e do sistema do produto, em informações de projeto, mais concretas e com linguagem de projeto. Dessas informações de projeto, destacam-se três: Necessidades dos usuários, Requisitos de projeto e Especificações de projeto.

Necessidades dos usuários é a declaração das exigências e desejos dos usuários. Essa declaração é ora explícita e ora implícita. Explícita, por exemplo, quando a necessidade é obtida por meio de uma entrevista com o usuário (e.g. Portador versátil). Implícita quando a necessidade é obtida por meio da análise do sistema do produto, nessa situação o usuário não a declara, porém representa uma função do produto (e.g. Assegurar transmissão do sinal US).

Requisitos de projeto é o desenvolvimento das necessidades dos usuários em termos de projeto. Requisitos possuem a linguagem de projeto, enquanto as necessidades possuem a linguagem do usuário. Por exemplo, o requisito ‘Operar em espaços restritos’ é o desenvolvimento da necessidade ‘Portador versátil’.

Finalmente, as **Especificações de projeto** são o detalhamento dos requisitos de projeto. Por exemplo, a especificação: ‘Altura máxima do portador = 200mm’ é o detalhamento do requisito: ‘Operar em espaços restritos’.

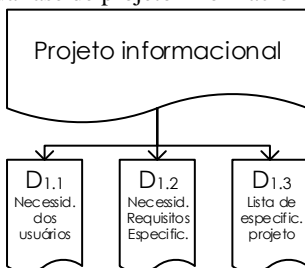
Assim, para o desenvolvimento da lista de especificações, torna-se necessária a consolidação dos seguintes documentos durante a fase de projeto informacional (Figura A3):

D_{1,1} – Necessidades dos usuários, contém a descrição e os métodos empregados na obtenção das necessidades dos usuários;

D_{1.2} – Necessidades, requisitos e especificações, apresenta hierarquicamente as necessidades dos usuários, requisitos de projeto e especificações de projeto;

D_{1.3} – Lista de especificações de projeto, organiza as especificações de projeto em função dos subsistemas do produto, bem como a classe dessas especificações: exigência ou desejo .

Figura A3 – Documentos da fase de projeto informacional



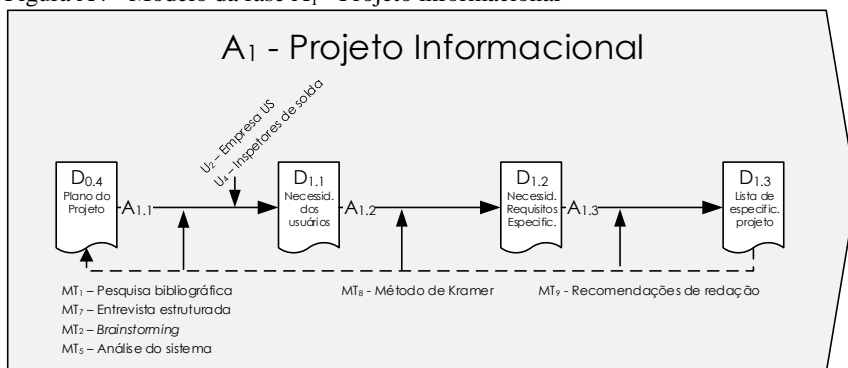
Então, para o desenvolvimento das informações de projeto e dos documentos descritos anteriormente sugere-se as atividades listadas e descritas a seguir (Figura A4):

A_{1.1} – Definir necessidades dos usuários;

A_{1.2} – Desenvolver e detalhar as necessidades dos usuários;

A_{1.3} – Estabelecer lista de requisitos.

Figura A4 - Modelo da fase A₁ - Projeto informacional



1. A primeira atividade (A_{1.1}) consiste em definir as necessidades dos usuários, consolidadas no documento ‘D_{1.1} – Necessidades dos usuários’ que relaciona as necessidades com os métodos empregados na definição:

MT₁ – Pesquisa bibliográfica (artigos, catálogos, livros e etc.);

MT₇ – Entrevista estruturada com os usuários especialistas do produto (U₄);

MT₂ – Sessões de *brainstorming* entre a equipe de projeto (U₁);

MT₄ – Análise do sistema do produto.

2. Em seguida, na próxima atividade (A_{1.2}) transforma-se e detalha-se as necessidades dos usuários. Para isso, emprega-se o Método de Kramer (MT₈), que sugere os passos:
 - a. declarar necessidade do usuário (e.g. Portador versátil), que é a primeira atividade dessa fase de projeto;
 - b. transformar necessidade em requisito de projeto (e.g. Operar em espaços restritos);
 - c. detalhar os requisitos em especificações de projeto (e.g. Altura máxima do portador = 200mm).

Recomenda-se que o resultado da aplicação do método seja inserido em um modelo como o documento D_{1.2}.

3. Por fim, a terceira atividade (A_{1.3}) serve ao estabelecimento da lista de requisitos. Na atividade anterior foram desenvolvidas as especificações de projeto, que nessa atividade são primeiramente reorganizadas em função dos subsistemas do produto e em seguida são classificadas em exigências ou desejos (E ou D), salientando que exigências são especificações que devem ser cumpridas e desejos são especificações que podem ser cumpridas, assim, esses desejos realizados pelo produto visam assegurar um diferencial de mercado, com o revés de um custo extra. As exigências, por sua vez, estão relacionadas a aceitação do produto no mercado. Essa classificação juntamente com requisitos, especificações, e até mesmo alguns desenhos, consolidam a Lista de requisitos (D_{1.3}).

Então, pela execução das três atividades, têm-se a lista de requisitos e os outros dois documentos (D_{1.1} e D_{1.2}) que armazenam de forma dinâmica as informações de projeto, que são constantemente atualizadas no curso do projeto, servindo como “... base importante para a preparação e formação de sistemas de gestão do conhecimento.” (Pahl et al. 2007, pg109). Com a lista elaborada, passa-se à próxima fase, o projeto conceitual.

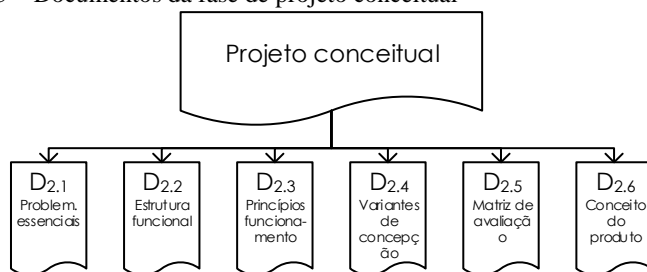
Fase A₂: Projeto Conceitual

O projeto conceitual visa desenvolver o conceito do produto. Esse desenvolvimento inicia-se com a identificação dos problemas essenciais de projeto, a partir da lista de especificações de projeto. Esses problemas essenciais de projeto tornam-se funções parciais que o produto deve cumprir. Essas funções são desdobradas em subfunções, às quais são atribuídos princípios de funcionamento, que em conjunto constituem uma concepção. Diversos conjuntos são assim elaborados, gerando variantes da concepção. Essas variantes são avaliadas e uma é escolhida. Essa variante escolhida denomina-se o conceito do produto.

Ao longo do processo de criação, a evolução do conceito é sintetizada nos documentos seguintes (Figura A5):

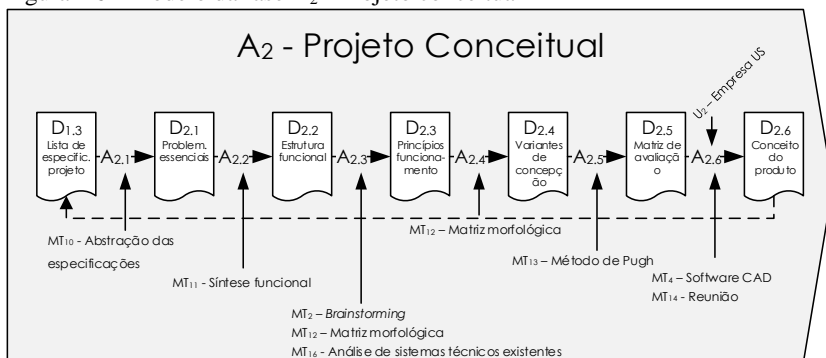
- D_{2.1} – Problemas essenciais de projeto;
- D_{2.2} – Estrutura funcional do produto;
- D_{2.3} – Princípios de funcionamento das funções;
- D_{2.4} – Concepções geradas;
- D_{2.5} – Matriz de avaliação;
- D_{2.6} – Conceito do produto.

Figura A5 – Documentos da fase de projeto conceitual



O desenvolvimento do conceito é guiado pelas atividades:

- A_{2.1} – Identificar problemas essenciais de projeto
- A_{2.2} – Elaborar estrutura de funções
- A_{2.3} – Buscar princípios de funcionamento
- A_{2.4} – Gerar variantes de concepção
- A_{2.5} – Avaliar variantes de concepção
- A_{2.6} – Consolidar variante escolhida em conceito do produto

Figura A6 - Modelo da fase A₂ - Projeto conceitual

1. Segundo Pahl et al. (2007), é por meio da identificação do âmagos dos problemas de projeto, relacionados às funções do produto e às especificações de projeto, que faz emergir os problemas essenciais de projeto. Assim começa o desenvolvimento do conceito do produto, pela Identificação dos problemas essenciais de projeto (A_{2.1}), por meio da Abstração das especificações de projeto (M₁₀). Os passos do método M₁₀ são:

- a. Eliminar preferências pessoais;
- b. Omitir requisitos que não tem ligação direta com a função e nem com as restrições essenciais;
- c. Transformar dados quantitativos em qualitativos e reduzi-los para declarações essenciais;
- d. Generalizar o quanto possível os resultados do passo anterior;
- e. Formular o problema em termos neutros que não induzam princípios de funcionamento.

A seguir atualiza-se a estrutura funcional do sistema do produto (D_{2.2}), pelas novas informações evidenciadas. Com essa estrutura tem-se os fluxos de energia, material e/ou sinal entre os componentes e subsistemas do produto, que auxiliam a identificação dos problemas essenciais. O resultado dessa atividade são os problemas essenciais de projeto (e.g. realizar contato entre cabeçote US e peça ensaiada), descritos no D_{2.1}.

2. A segunda atividade (A_{2.2}) visa a elaboração da estrutura de funções. Os problemas essenciais identificados na atividade anterior originam as Funções Parciais do produto. Essas funções parciais (e.g. FP - Realizar contato) são o detalhamento de uma Função Global, que descreve em uma única sentença a função do

produto (e.g. FG - Escanear solda). Assim têm-se a função global no primeiro nível da estrutura, as funções parciais no segundo nível e as subfunções (e.g. Portar cabeçote) em um terceiro nível e/ou quarto nível. Dessa forma, quando hierarquizadas, a função global, as parciais e as subfunções estabelecem a estrutura funcional do produto ($D_{2.2}$). Esse procedimento define o método da Síntese funcional (MT_{11}).

3. Haja vista que as subfunções do produto já possuem um adequado grau de detalhamento, a terceira atividade ($A_{2.3}$) objetiva a busca e seleção dos princípios de funcionamento que visem cumprirem-nas. Um exemplo de princípio de funcionamento para a função 'Portar cabeçote' é um garfo que se posicione externamente ao cabeçote permitindo a fixação e articulação do cabeçote. O método da Matriz morfológica (MT_{12}) tem a forma de uma matriz bidimensional, que relaciona as funções com seus princípios de funcionamento. Em geral cada elemento da primeira coluna é preenchido com uma função e então, nesta linha, à direita desse elemento, são colocados princípios de funcionamento, específicos àquela função. Os princípios de funcionamento são buscados em sessões de *Brainstorming* realizadas pela equipe de projeto. Os princípios de funcionamento buscados são então selecionados pela equipe de projeto de acordo com a experiência dos membros. Assim, registra-se esses princípios no documento 'D_{2.3} – Princípios de funcionamento'.
4. Sobre o documento Princípios de funcionamento são combinados princípios de funcionamentos em variantes de concepção, por sessões de *Brainstorming* (MT_4) realizadas pela equipe de projeto. Essas variantes são organizadas no documento $D_{2.4}$ para que possam ser avaliadas, encerrando esta atividade ($A_{2.4}$).
5. A quinta atividade ($A_{2.5}$) visa então avaliar as variantes de concepção, pelo método de Pugh(MT_{13}). O método de Pugh permite a comparação e ponderação de cada variante, para que possa ser feita a escolha quantitativa da melhor variante, conforme critérios de avaliação definidos pela equipe de projeto (e.g. custo, complexidade de fabricação etc.). Finalmente têm-se a avaliação das variantes e entre elas uma concepção escolhida.
6. Esta concepção escolhida é consolidada em um conceito do produto, que difere-se da concepção por possuir maior grau de particularidade. O conceito do produto é então modelado em software CAD (MT_3) e descrito com maior ênfase em seus

princípios de funcionamento, com menor ênfase nas características de material, geometria e dimensional.

Assim, encerrando o projeto conceitual e em posse do conceito do produto pode-se avançar para o projeto preliminar, onde serão definidos o seu material, geometria e dimensões, entre outras características.

Fase A₃: Projeto Preliminar

O projeto preliminar objetiva desenvolver o leiaute final do produto na forma de um protótipo funcional a partir dos conceitos, estabelecido na fase anterior. Para tanto ao conceito são atribuídas características como material, geometria e dimensões, que o definem como o primeiro corpo físico do produto, ou seja, o protótipo que será configurado. Esse desenvolvimento do conceito em protótipo é feito por meio de atividades de modelagem, fabricação e montagem. O intuito desse protótipo é viabilizar o teste das funções do produto. Por isso recebe o nome de protótipo funcional.

Pode-se acompanhar a evolução do protótipo pelos documentos:

D_{3.1} – Leiaute dimensional do protótipo

D_{3.2} – Plano de montagem

D_{3.2.1} – Plano de montagem

D_{3.2.2} – Plano de montagem

D_{3.3} – Plano de fabricação

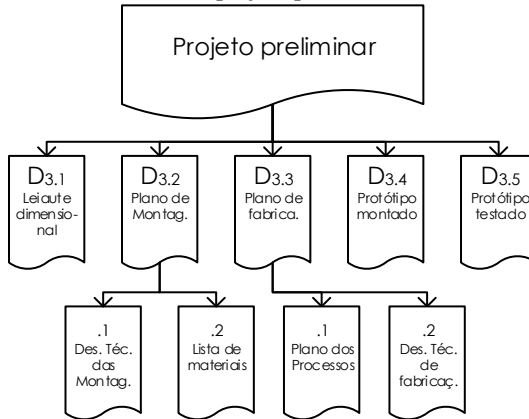
D_{3.3.1} – Plano de montagem

D_{3.3.2} – Plano de montagem

D_{3.4} – Protótipo montado

D_{3.5} – Protótipo testado

Figura A7 – Documentos da fase de projeto preliminar



O desenvolvimento do projeto preliminar se dá pelas atividades $A_{3.1}$ até $A_{3.5}$ (Figura A8):

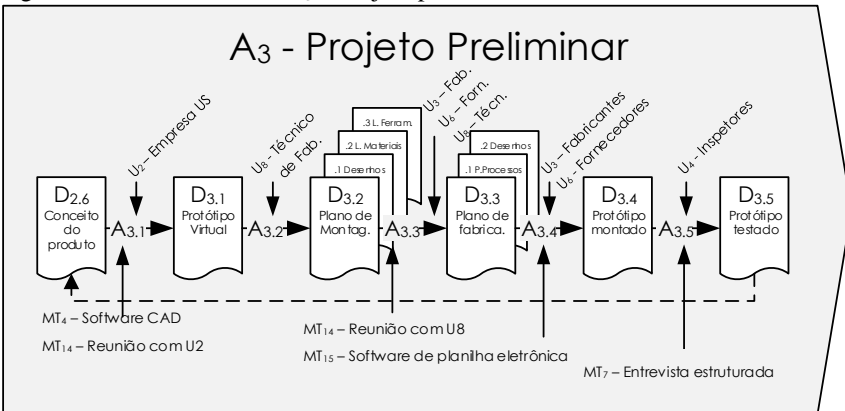
$A_{3.1}$ – Modelar leiaute do sistema do produto

$A_{3.2}$ – Planejar montagem do protótipo

$A_{3.3}$ – Planejar fabricação do protótipo

$A_{3.4}$ – Executar fabricação, aquisição e montagem do protótipo

$A_{3.5}$ – Validar protótipo

Figura A8 - Modelo da fase A_3 – Projeto preliminar

1. A primeira atividade do projeto preliminar ($A_{3.1}$) consiste na modelagem geométrica do conceito do produto, além de atribuir-lhe características como tipo de material e definir suas dimensões. Esse modelo geométrico do protótipo junto com os subsistemas de

inspeção definem o leiaute do protótipo e também do sistema de inspeção, assim têm-se um modelo geométrico que permite a visualização da relação do protótipo com os demais subsistemas.

2. Em seguida, com base no leiaute planeja-se a montagem do protótipo ($A_{3,2}$), pela definição da lista de materiais e pelo desenhos necessários à montagem. Essa lista compreende os materiais, ou peças, que devem ser adquiridos e/ou fabricados. Ao contrário das peças a serem fabricadas, as peças a serem adquiridas não precisam ser detalhadas.
3. Assim, com a lista de peças a serem fabricadas inicia-se o planejamento da fabricação do protótipo ($A_{3,3}$), pelo detalhamento das peças a serem fabricadas. É o processo de fabricação que define como a peça deve ser detalhada. Peças cortadas a laser, por exemplo, exigem determinada extensão de arquivo (e.g. .dxf ou .dwg), peças torneadas manualmente exigem o conhecido desenho técnico.
4. Em posse dos planos de montagem e fabricação do protótipo elabora-se os pedidos de orçamento, que são enviados a empresas fabricantes. Uma vez aprovados esses orçamentos, e executados os processos de fabricação têm-se as peças do protótipo. Pela montagem dessas peças ($A_{3,4}$) obtêm-se o protótipo em condições de testes.
5. A última atividade de desenvolvimento do protótipo é a de validação ($A_{3,5}$). São testadas as funções do produto e verificado o cumprimento das especificações de projeto. Com a validação e os resultados do teste revisa-se o projeto com fins de aprimoramento, por meio da revisão das informações contidas nos documentos cabíveis.

Finalmente, em posse de um protótipo funcional validado planeja-se o detalhamento do projeto para a fase do projeto detalhado. Nela são especificados os processos de produção, as tolerâncias, as montagens, embalagens, transportes, plano de marketing, manutenção e descarte. Todavia, esta fase não é desenvolvida neste trabalho de dissertação.

D1.1 - Descrição das necessidades dos usuários

Métodos	Necessidades dos usuários
MT1 - Pesquisa em material publicado (Rebello et al. 2009)	Maior confiabilidade na detecção de descontinuidades: A maior confiabilidade na detecção de descontinuidades visa a redução da probabilidade de incidentes. Como forma de melhorar a confiabilidade, o portador deve: tomar a movimentação dos cabeçotes mais precisa, auxiliar a aplicação do acoplante, respeitar condições específicas de contato (e.g. tangência entre o cabeçote e a superfície. Vide lista de requisitos), e auxiliar na determinação da posição dos cabeçotes;
MT1 - Pesquisa a vídeos demonstrativos de escâneres concorrentes (Vídeo Olympus 2012)	Ergonomia durante a preparação do portador: É desejável que a a preparação do escâner seja ergonômica, isso é possível por regulagens e encaixes (do portador) fáceis e rápidos;
MT1 - Pesquisa em catálogos de portadores concorrentes (Olympus 2009)	Segurança do Portador: A segurança é necessária ao escâner pois este contém componentes frágeis (e.g. cabeçotes), que seriam danificados, em caso de queda. Tal necessidade foi identificada ao se observar um dispositivo anti-queda do equipamento (i.e. um mosquetão de segurança) em uma das fotos do catálogo de um produto existente.
	Resistência à oxidação: O ambiente de operação do portador é sob o sol e poeira, exposto ainda à gotas d'água, provindas do sistema acoplante.
MT7 - Entrevista estruturada com pesquisadores da área de END (LNDC/UFRJ CENPES/PETROBRAS)	Portador versátil: A versatilidade de um escâner é caracterizada pela sua capacidade de inspecionar diferentes tipos de peças, como dutos de diferentes diâmetros e chapas, com diferentes posições de uniões soldadas e espessuras do material;
	Uso do escâner em campo: A maioria das aplicações do escâner é em campo. Deve, portanto, ser portátil;
	Redução da fadiga do operador: A redução da fadiga do operador, durante a movimentação do escâner, melhora a ergonomia do processo de inspeção e, portanto, o moral do inspetor;
MT2 - Seções de <i>brainstorming</i> com a equipe de projeto e a empresa de tecnologia US	Fácil calibração do Portador: Para que a inspeção seja precisa, os cabeçotes US precisam ser calibrados, isto é, precisam receber um ajuste de sensibilidade do ganho de sinal US. Para isso é utilizado um bloco padrão, ou até mesmo, uma peça padrão. A forma como o portador pode contribuir para essa calibração é tornando possível essa anexação à peça padrão;
	Movimentação motorizada ou não: Em determinadas aplicações é desejável ter o controle manual da movimentação, que garante maior liberdade e sensibilidade do movimento. Porém em outras, deseja-se redução da fadiga na movimentação do escâner, viabilizada por um motor elétrico, por exemplo. Desse modo é desejável poder escolher entre uma movimentação motorizada ou não;
MT5 - Análise do sistema no qual o portador está inserido	Assegurar transmissão do sinal US: A transmissão do sinal US é uma necessidade implícita do processo de inspeção, que não foi declarada pelos usuários consultados. Porém, sem essa transmissão não existe inspeção, para assegurá-la é necessário um meio acoplante (e.g. água) e ainda o contato correto (com respeito as condições específicas de contato item 2) entre cabeçote e superfície da peça ensaiada;
	Varrer cordão de solda com os cabeçotes: Como já visto, varredura é a movimentação com direção paralela ao cordão de solda inspecionado, com alinhamento e distância constantes entre cabeçotes e cordão;
	Localizar descontinuidades: Outra necessidade implícita é a localização de descontinuidades, ou seja, determinar a posição das descontinuidades, para que possa ser feito o registro da inspeção;

D1.1 - Descrição das necessidades dos usuários

D1.2 - Necessidades dos usuários, requisitos e especificações de projeto



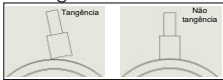


1º passo: Declaração da **Necessidade**

2º passo: Desenvolvimento em **Requisito**

3º passo: Detalhamento em **Especificação**

1. Portador versátil
 - 1.1 Portar cabeçotes de marcas diferentes:
 - 1.1.1 Imasonic (não possui rosca de fixação)
 - 1.1.2 Olympus (possui duas roscas M4 de fixação lateral) dimensões ainda desconhecidas
 - 1.2 Operar em espaços restritos:
 - 1.2.1 Altura máxima do Portador = 200 mm
 - 1.3 Escanear materiais ferromagnéticos e não ferromagnéticos:
 - 1.3.1 Materiais ferro-magnéticos
 - 1.3.2 Materiais não ferro-magnéticos (e.g duplex, bilayer, compósitos)
 - 1.4 Escanear diversas espessuras de material(6 - 20 mm)
 - 1.4.1 Distância constante de separação dos cabeçotes
 - 1.4.2 Portar até 4 pares de cabeçotes (para aplicação de mais de uma técnica US)
 - 1.5 Escanear diversas posições de uniões soldadas
 - 1.5.1 Circunferencial em duto (diâmetro ext. = 150 a 500 mm, variando a cada 50 mm)
 - 1.5.2 Longitudinal curva em duto (e.g possuir rodas inclináveis)
 - 1.5.3 Longitudinal plana em chapa
2. Maior confiabilidade na detecção de descontinuidades
 - 2.1 Homogeneidade da varredura:
 - 2.1.1 Pressão homogênea sobre os cabeçotes
 - 2.1.2 Velocidade controlada de varredura entre 5 – 50 mm/s
 - 2.1.3 Limitar velocidade de varredura 50 mm/s
 - 2.2 Alinhamento entre os cabeçotes e o cordão de solda:
 - 2.2.1 Distância máxima entre o ponto médio dos cabeçotes multi-elementos e o cordão de solda = 2 mm (dado obtido em entrevista com inspetores da indústria)
3. Assegurar transmissão do sinal US
 - 3.1 Existência do acoplante sob a sapata durante a varredura
 - 3.1.1 Mangueira posicionada para ejetar acoplante sobre a superfície adiante do cabeçote
 - 3.2 Cabeçote em contato com a superfície da peça ensaiada
 - 3.2.1 Tangência entre o cabeçote e a peça ensaiada
4. Ergonomia (rapidez e facilidade) durante a preparação do Portador
 - 4.1 Ajustes e encaixes rápidos e fáceis dos componentes
 - 4.1.1 Dispensar o uso de ferramentas
 - 4.1.2 Baixa destreza necessária à preparação
 - 4.1.3 Baixo tempo para a preparação
 - 4.1.4 Existência de uma régua indicadora da distância dos cabeçotes (Fácil medição da distância)
5. Varrer cordão de solda com os cabeçotes
 - 5.1 Movimentar cabeçotes com direção paralela ao cordão de solda
 - 5.1.1 Aplicar força de deslocamento no plano horizontal do centro de massa do cabeçote
6. Segurança do Portador
 - 6.1 Evitar quedas do Portador
 - 6.1.1 Possuir dispositivo de fixação temporária (mosquetão)
7. Fácil calibração do Portador
 - 7.1 Calibrar o Portador facilmente
 - 7.1.1 Portador anexável a peça padrão (que contém defeitos padrão)
8. Localizar descontinuidades
 - 8.1 Determinar posição do cabeçote
 - 8.1.1 Portar encoder (e.g tipo roda)
 - 8.1.2 Resolução mínima de posicionamento = 0,1 mm
9. Portador utilizável em campo
 - 9.1 Portador Leve
 - 9.1.1 Massa < 15 kg
 - 9.2 Portador deve caber em uma mala
 - 9.2.1 Dimensões menores que as internas de uma mala
10. Baixa fadiga durante o uso do Portador
 - 10.1 Baixa fadiga durante a varredura
 - 10.1.1 varredura motorizada
 - 10.1.2 alça de movimentação ergonômica
11. Movimentação motorizada ou não
 - 11.1 Possuir módulo opcional de potência
 - 11.1.1 Encaixe rápido e fácil de um motor elétrico
12. Resistência ao ambiente (e.g. oxidação)
 - 12.1 Usar materiais inoxidáveis
 - 12.1.1 Aço inox, alumínio ou polímeros

D1.3 - Especificações de projeto do Portador

E ou D	
	<p>S0 - Substema Portador</p> <p>Geometria</p> <p>E 1. Altura máxima do portador = 200 mm</p> <p>E 2. Massa < 15 kg</p> <p>Espessura do material escaneado (6 - 20 mm)</p> <p>E 1. Distância de separação dos cabeçotes variável</p>  <p>D 2. Portar até 4 pares de cabeçotes</p> <p>Varredura (movimentação)</p> <p>D 1. Pressão homogênea sobre os cabeçotes</p> <p>D 2. Velocidade controlada de varredura entre 5 – 50 mm/s</p> <p>D 3. Limitar velocidade de varredura em 50 mm/s</p> <p>Alinhamento entre os cabeçotes e o cordão de solda:</p> <p>E 1. Distância máxima do ponto medio entre cabeçotes e do cordão de solda = 2 mm</p>  <p>Ajustes e encaixes rápidos e fáceis dos componentes</p> <p>D 1. Dispensar o uso de ferramentas</p> <p>D 2. Baixa destreza necessária à preparação</p> <p>D 3. Baixo tempo para a preparação</p> <p>Evitar quedas do portador</p> <p>D 1. Possuir dispositivo de fixação temporária (mosquetão)</p> <p>Calibrar o portador facilmente</p> <p>D 1. Portador anexável a peça padrão (que contém descontinuidades padrão)</p> <p>Usar materiais inoxidáveis</p> <p>E 1. Aço inox, alumínio ou polímeros</p> <p>Contato com a superfície da peça ensaiada</p> <p>E 1. Tangência entre o cabeçote e a peça ensaiada</p>  <p>S1 - Substema Ultrassônico</p> <p>Conexão</p> <p>Conexão do cabeçote por roscas M4</p> <p>Marcas dos cabeçotes:</p> <p>E 1. Imasonic</p> <p>E 2. Olympus, modelos PF4R-10 e AM4R-8X9-60</p> <p>Movimentar cabeçotes com direção paralela ao cordão de solda</p> <p>D 1. Aplicar força de deslocamento no plano horizontal do centro de massa do cabeçote (hipótese)</p>  <p>S2 - Substema Ensaiado</p> <p>Escanear diversos tipos de materiais:</p> <p>E 1. Materiais ferro-magnéticos</p> <p>D 2. Materiais não ferro-magnéticos (e.g duplex, bilayer, compósitos)</p> <p>Escanear diversas posições de uniões soldadas</p> <p>E 1. Circunferencial em duto (diâmetro ext. = 150 a 500 mm, variando a cada 50 mm)</p> <p>D 2. Longitudinal curva em duto (e.g possuir rodas inclináveis)</p> <p>E 3. Longitudinal plana em chapa</p>  <p>S3 - Substema Encoder</p> <p>Determinar posição do cabeçote</p> <p>E 1. Portar encoder a cabo</p> <p>E 2. Resolução mínima de posicionamento = 0,1 mm</p> <p>S4 - Substema Acoplante</p> <p>Existência do acoplante sob a sapata durante a varredura</p> <p>D 1. Mangueira posicionada para ejetar acoplante sobre a superfície adiante do cabeçote</p>

D1.3 - Especificações de projeto do Portador

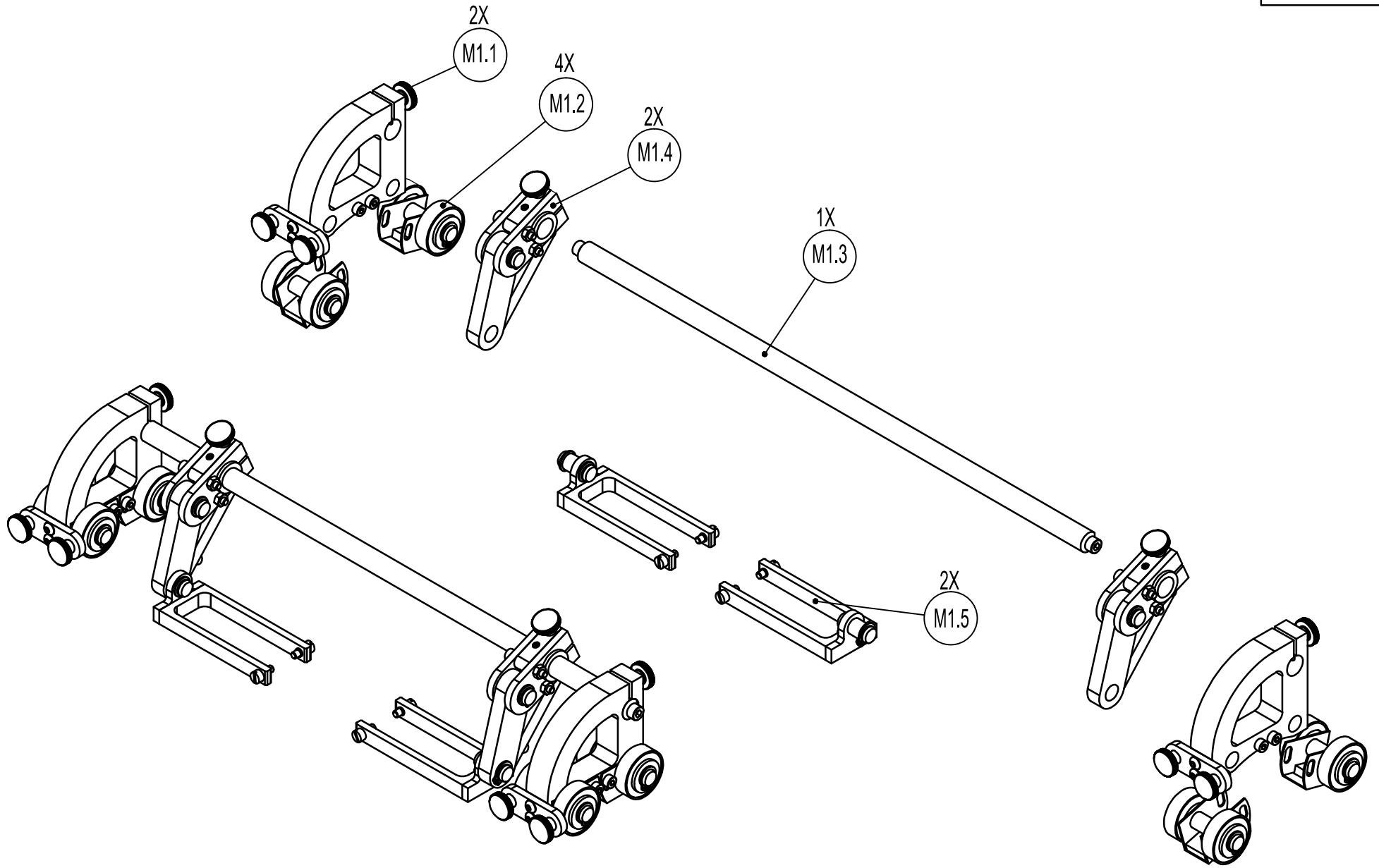
D_{3.2} – Plano de montagem

O plano de montagem contém os documentos que viabilizam a montagem do portador. Nas próximas páginas são apresentados os Desenhos das montagens e a Lista de materiais, na seguinte ordem:

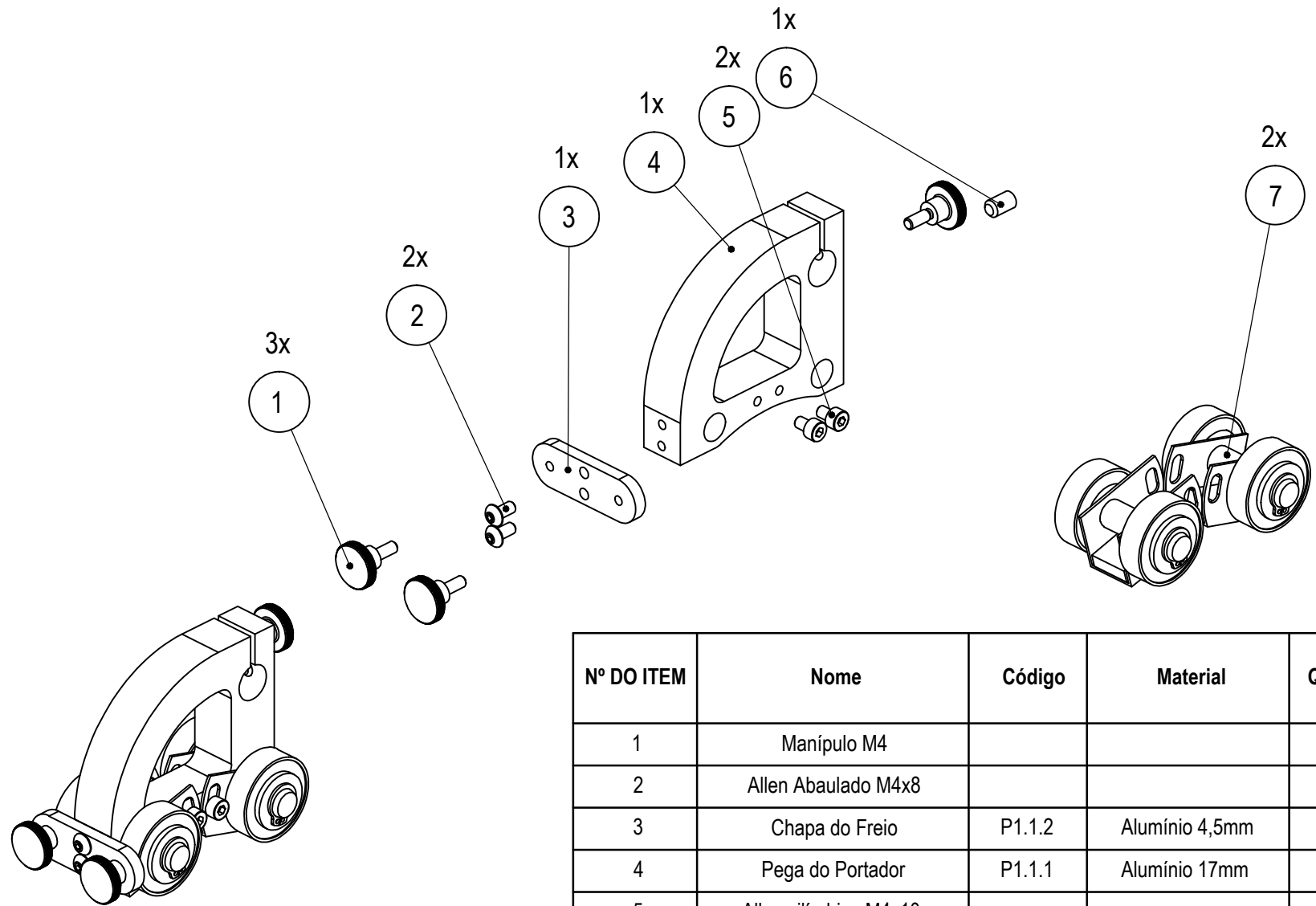
D_{3.2.1} – Desenhos das montagens

- .1 M₁– Módulo Realizador de contato
- .2 M_{1.1} – Módulo Anexador
- .3 M_{1.2} – Módulo Moldador
- .4 M_{1.3} – Módulo Distanciador
- .5 M_{1.4} – Módulo Pressionador
- .6 M_{1.5} – Módulo Portador do cabeçote

D_{3.2.2} – Lista de materiais do Portador

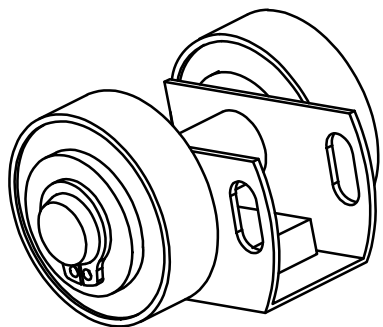
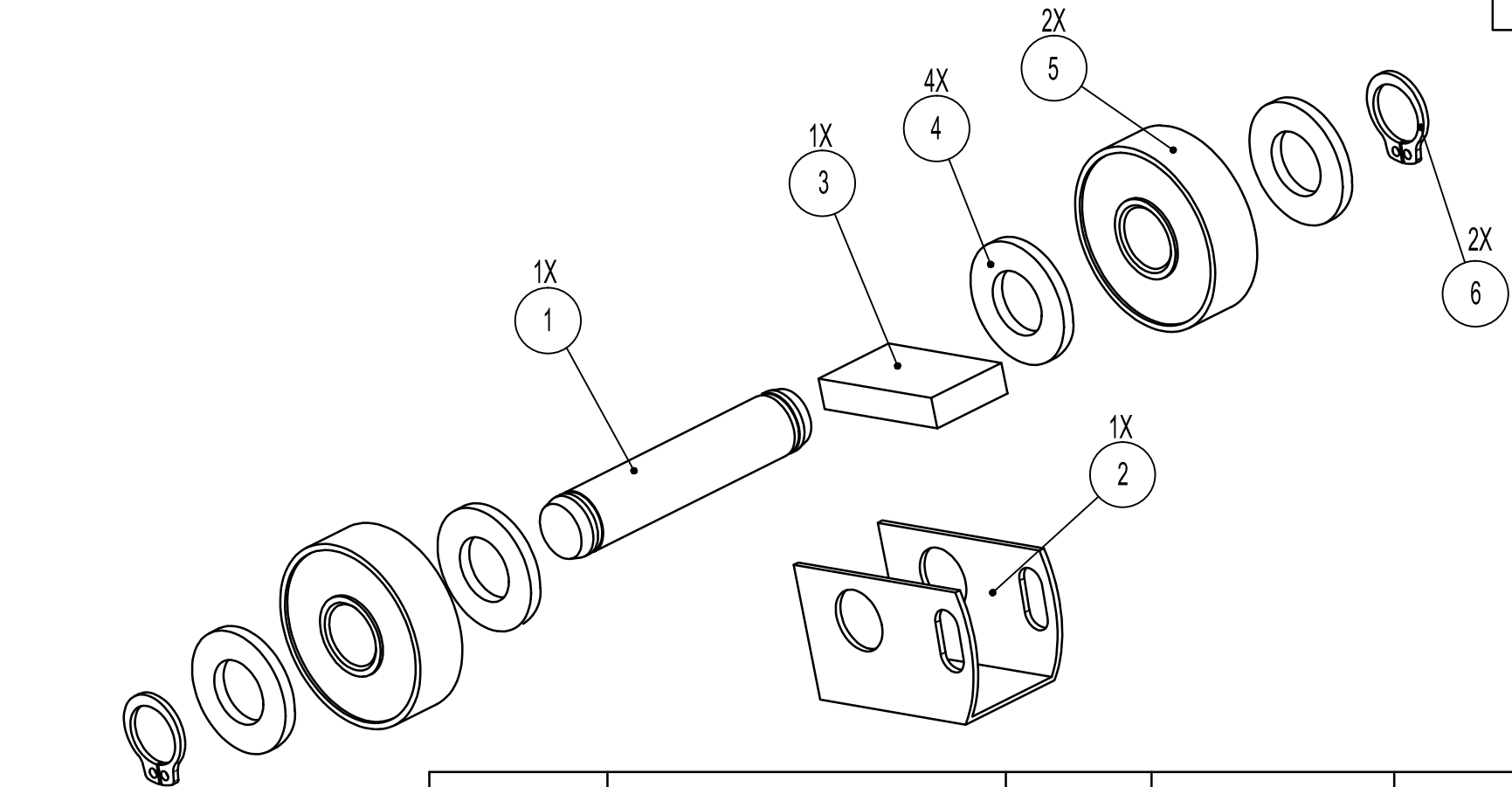


DESENHO DE MONTAGEM		CÓDIGO:	NOME:		A4
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS		M1	M. Realizador de contato		
		DESENHISTA: GUILHERME	ESCALA: 1:3	QUANTIDADE:	
		REVISOR: FRANCISCO PUGA e LUIS CARLOS MORENO	D3.2.1	1	



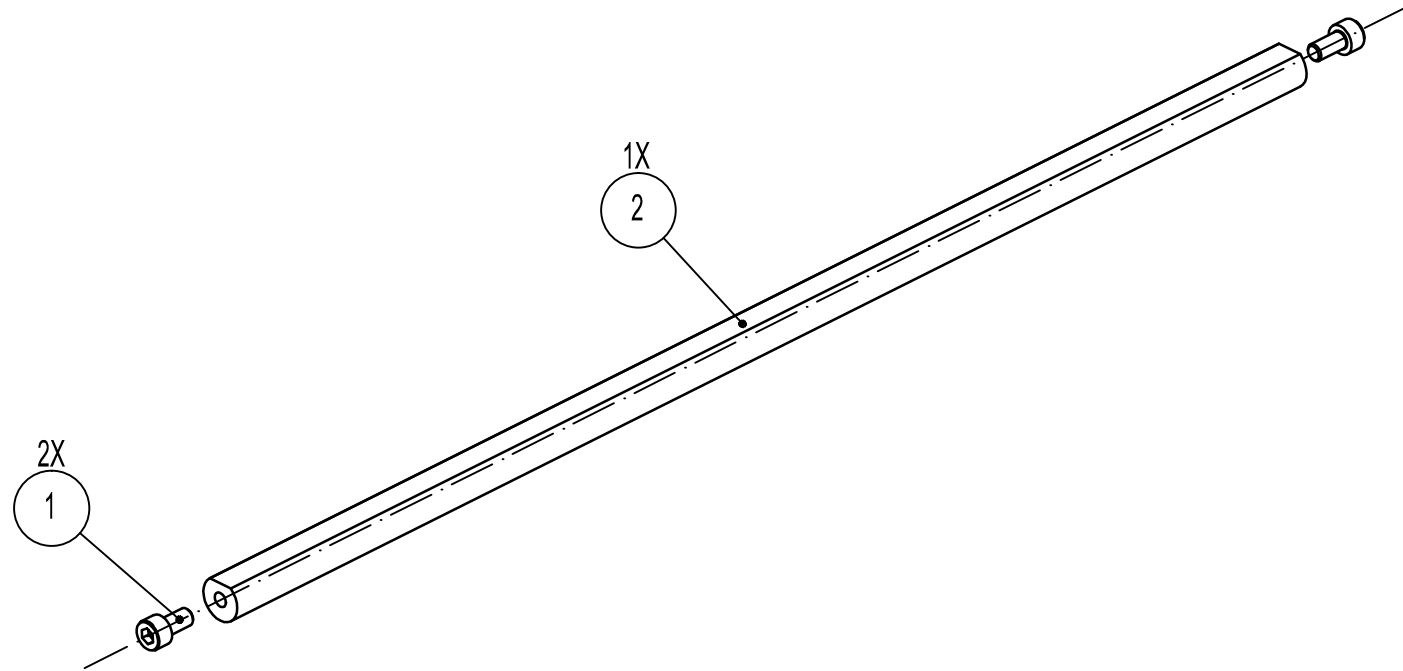
Nº DO ITEM	Nome	Código	Material	QTD	Buy or Make
1	Manípulo M4			3	B
2	Allen Abaulado M4x8			2	B
3	Chapa do Freio	P1.1.2	Alumínio 4,5mm	1	M
4	Pega do Portador	P1.1.1	Alumínio 17mm	1	M
5	Allen cilíndrica M4x10			2	B
6	Allen sem cabeça M6x10			1	B
7	Módulo Moldador	M1.02	"Vários"	2	M

DESENHO DE MONTAGEM		CÓDIGO:	NOME:		A4
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS		M1.01	Módulo Anexador		
DESENHISTA: GUILHERME			ESCALA: 1:2	QUANTIDADE:	
REVISOR: FRANCISCO PUGA e LUIS CARLOS MORENO			D3.2.1	2	



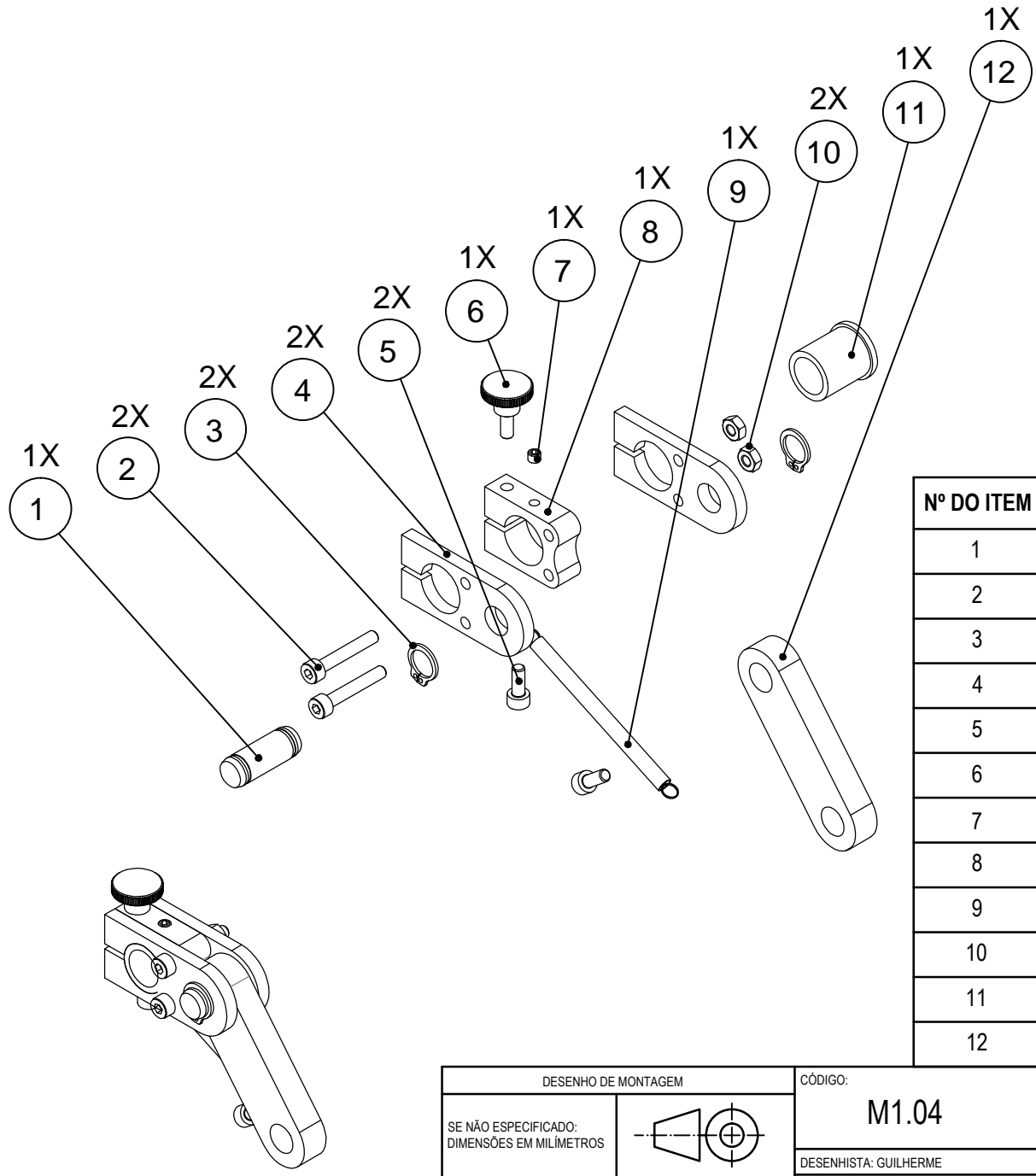
Nº DO ITEM	Nome	Código	Material	QTD	Buy or Make
1	Pino guia 41x10	P1.2.2	Aço inoxidável	1	M
2	Suporte ímã	P1.2.1	Alumínio 4,5mm	1	M
3	Ímã 25x15x5			1	B
4	Arruela			4	B
5	Rolamento 6200			2	B
6	Anel elástico 10x1			2	B

DESENHO DE MONTAGEM		CÓDIGO:	NOME:		A4
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS		M1.02	Módulo Moldador		
DESENHISTA: GUILHERME			ESCALA: 1:1	QUANTIDADE:	
REVISOR: FRANCISCO PUGA e LUIS CARLOS MORENO			D3.2.1	4	



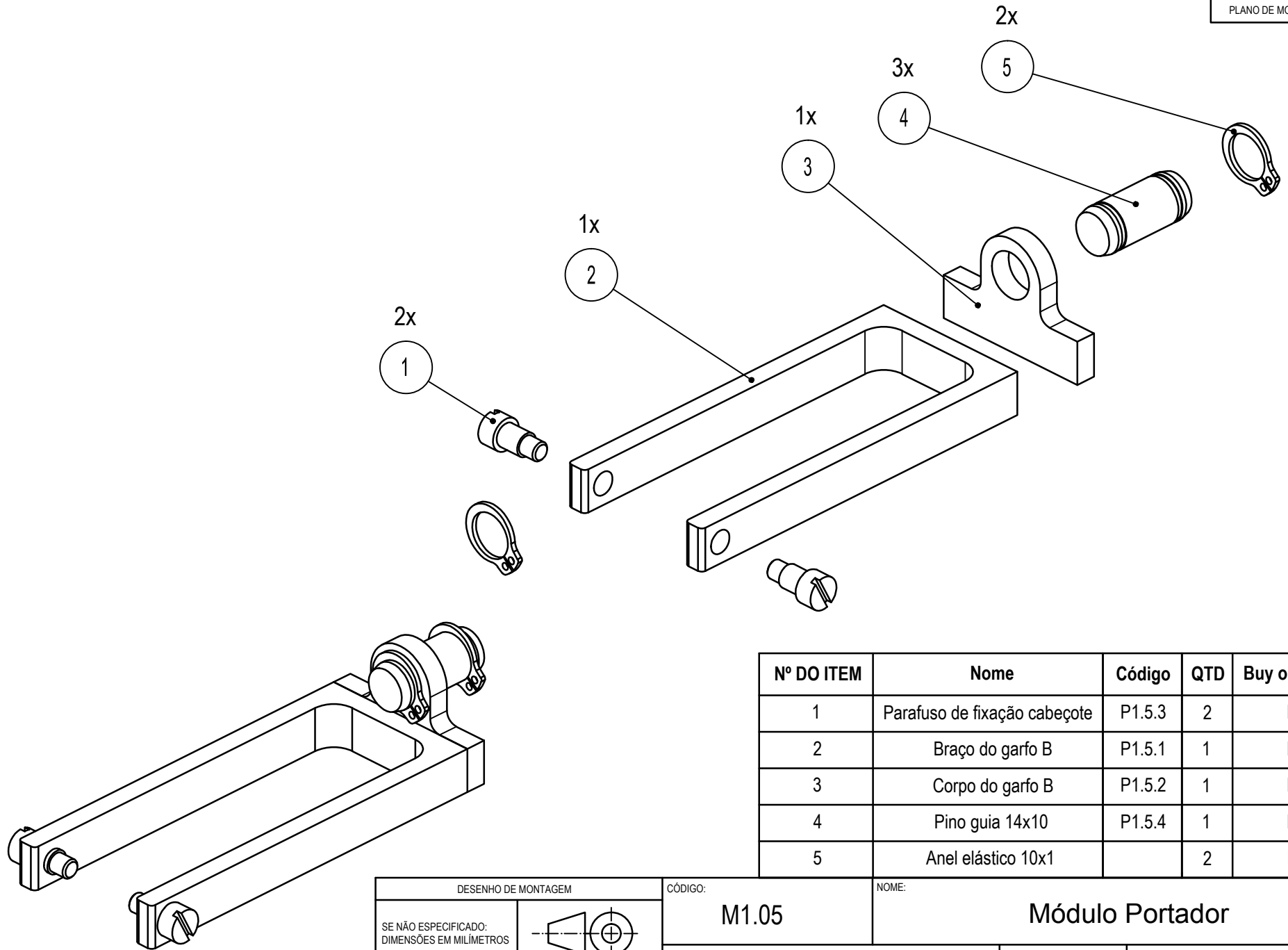
Nº DO ITEM	Nome	Código	QTD	Buy or Make
1	Allen cilíndrica M5X10		2	B
2	Barra redonda 1/2"x400mm	P1.3.1	1	M

DESENHO DE MONTAGEM		CÓDIGO:	NOME:	A4
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS		M1.03	Módulo Distanciador	
		DESENHISTA: GUILHERME	ESCALA: 1:2	QUANTIDADE:
		REVISOR: FRANCISCO PUGA e LUIS CARLOS MORENO	D3.2.1	1



Nº DO ITEM	Nome	Código	QTD	Buy or Make
1	Pino guia 21x10	P1.4.5	1	M
2	Allen cilíndrica M4x25		2	B
3	Anel elástico 10x1		2	B
4	Chapa lateral do distanciador	P1.4.1	2	M
5	Allen cilíndrica M4x10		2	B
6	Manipulo M4		1	B
7	Allen sem cabeça M4x4		1	B
8	Chapa central do distanciador	P1.4.2	1	M
9	Mola de tração		1	B
10	Porca M4		2	B
11	Bucha	P1.4.3	1	M
12	Braço pressionador	P1.4.4	1	M

DESENHO DE MONTAGEM		CÓDIGO:	NOME:		A4
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS		M1.04	Módulo Pressionador		
		DESENHISTA: GUILHERME		ESCALA:1:2	QUANTIDADE: 2
		REVISOR: FRANCISCO PUGA e LUIS CARLOS MORENO		D3.2.1	



Nº DO ITEM	Nome	Código	QTD	Buy or Make
1	Parafuso de fixação cabeçote	P1.5.3	2	M
2	Braço do garfo B	P1.5.1	1	M
3	Corpo do garfo B	P1.5.2	1	M
4	Pino guia 14x10	P1.5.4	1	M
5	Anel elástico 10x1		2	B

DESENHO DE MONTAGEM		CÓDIGO:	NOME:		A4
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS		M1.05	Módulo Portador		
DESENHISTA: GUILHERME			ESCALA: 1:1	QUANTIDADE:	
REVISOR: FRANCISCO PUGA e LUIS CARLOS MORENO			D3.2.1	2	

D3.2.2 - Lista de materiais do Portador

Nº	Nome	Código	Qtde.	Material	Buy	Fornecedor	Make	Cort.	Fres.	Torn.
1	Parafuso de fixação do cabeçote	P1.5.3	4	Aço inoxidável 304	---	Fornecedor A	M	---	---	Sim
2	Pino guia 14x10	P1.5.4	2	Aço inoxidável 304	B	Fornecedor E	M	---	---	Sim
3	Anel elástico		16	---	B	Fornecedor E	---	---	---	---
4	Braço do garfoB	P1.5.1	2	Alumínio 5056	---	Fornecedor F	M	Sim	Sim	---
5	Corpo do garfoB	P1.5.2	2	Alumínio 5056	---	Fornecedor F	M	Sim	---	---
6	Braço pressionador	P1.4.4	2	Alumínio 5056	---	Fornecedor F	M	Sim	---	---
7	Mola de tração		2	---		Fornecedor A	---	---	---	---
8	Chapa lateral do distanciador	P1.4.1	4	Alumínio 5056	---	Fornecedor F	M	Sim	---	---
9	Chapa central do distanciador	P1.4.2	2	Alumínio 5056	---	Fornecedor F	M	---	Sim	---
10	Pino guia 21x10	P1.4.5	2	Aço inoxidável 304		Fornecedor E	M	---	---	Sim
11	Bucha	P1.4.3	2	Poliacetil	---	Fornecedor E	M	---	---	Sim
12	Allen sem cabeça M4x12		2	---	B	Fornecedor A	---	---	---	---
13	Manípulo M4		8	---	B	Fornecedor A	---	---	---	---
14	Allen cilíndrica M4x12		4	---	B	Fornecedor A	---	---	---	---
15	Arruela M3		4	---	B	Fornecedor A	---	---	---	---
16	Allen cilíndrica M3x20		4	---	B	Fornecedor A	---	---		---
17	Barra redonda 1/2"x400mm	P1.3.1	1	Aço inoxidável 304	B	Fornecedor E	M	---	Sim	---
18	Allen cilíndrica M5x10		2	---	B	Fornecedor A	---	---	---	---
19	Allen abaulada M4x8		4	---	B	Fornecedor A	---	---	---	---
20	Chapa do freio	P1.1.2	2	Alumínio 5056	---	Fornecedor F	M	---	---	---
21	Pega do portador	P1.1.1	2	Alumínio 5056	---	Fornecedor F	M	---	Sim	---
22	Pino guia 41x10	P1.2.2	4	Aço inoxidável 304	B	Fornecedor E	M	---	---	Sim
23	Suporte imã	P1.2.1	4	Alumínio 5056	B	Fornecedor D	M	---	Sim	---
24	Imã 25x15x5		4	Neodímico	B	Fornecedor B	---	---	---	---
25	Rolamento 6200		8	---	B	Fornecedor C	---	---	---	---
26	Arruela M10		16	---	B	Fornecedor A	---	---	---	---
27	Allen sem cabeça M6x10		2	---	B	Fornecedor A	---	---	---	---
28	Allen cilíndrica		4	---	B	Fornecedor A	---	---	---	---

D3.2.2 - Lista de materiais do Portador

D_{3.3} – Plano de fabricação

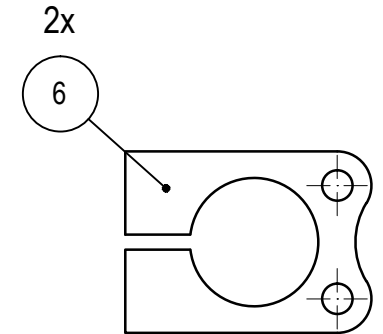
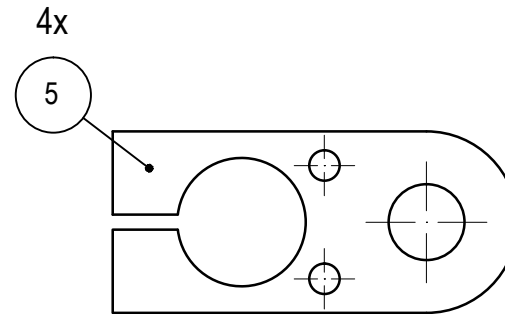
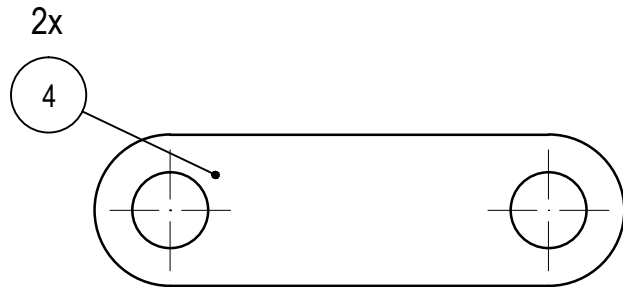
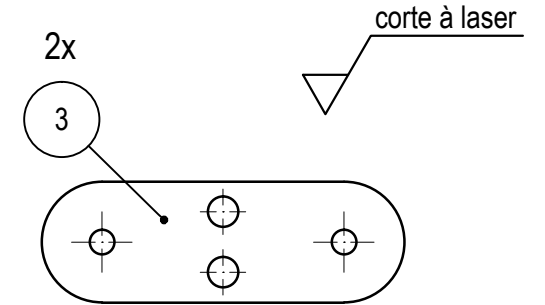
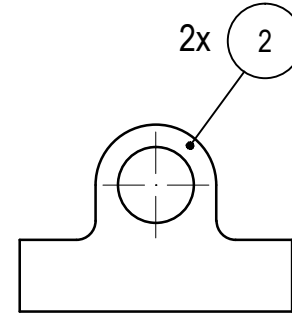
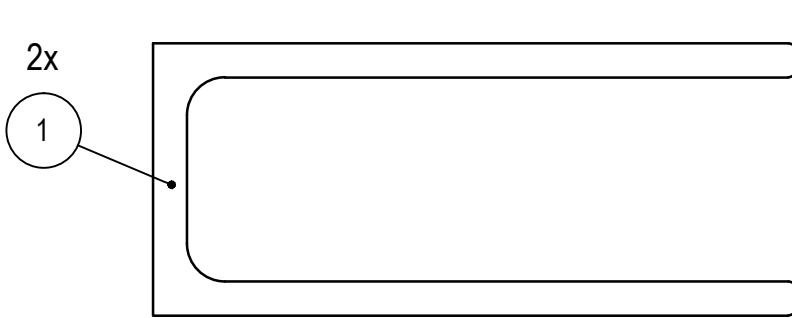
O Plano de Fabricação é constituído pelo Plano dos Processos de Fabricação (de Corte a laser, de Fresamento e de Torneamento) e pelos desenhos técnicos de fabricação das peças, listados abaixo e apresentados nas próximas páginas.

D_{3.3.1} – Plano dos Processos de Fabricação

- .1 Plano de Corte a laser
- .2 Plano de Fresamento
- .3 Plano de Torneamento

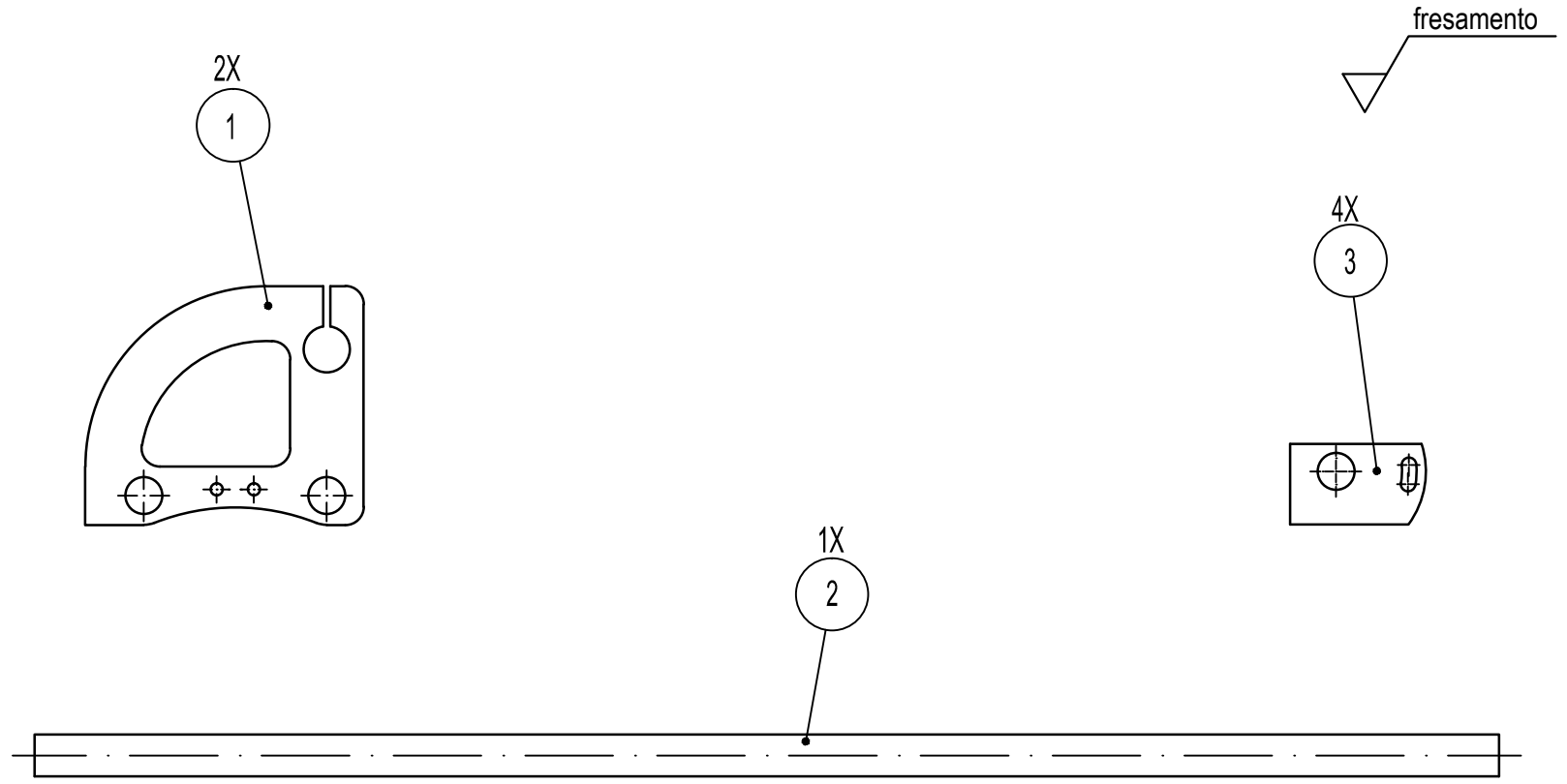
D_{3.3.2} – Desenho técnico de fabricação das peças

- .1 P_{1.1.1} – Pega do Portador
- .2 P_{1.1.2} – Chapa do Freio
- .3 P_{1.2.1} – Suporte do Imã
- .4 P_{1.2.2} – Pino Guia 19/41x10
- .5 P_{1.3.1} – Barra redonda 1/2”x400mm
- .6 P_{1.4.1} – Chapa lateral do Distanciador
- .7 P_{1.4.2} – Chapa central do Distanciador
- .8 P_{1.4.3} – Bucha
- .9 P_{1.4.4} – Braço pressionador
- .10 P_{1.4.5} – Pino Guia 21x10
- .11 P_{1.5.1} – Braço do Garfo
- .12 P_{1.5.2} – Corpo do Garfo
- .13 P_{1.5.3} – Parafuso de fixação do cabeçote
- .14 P_{1.5.4} – Pino Guia 14x10



Nº DO ITEM	Nome	Código	QTD	Material
1	Braço do garfoB	P1.5.1	2	Alumínio 9,5mm
2	Corpo do garfoB	P1.5.2	2	Alumínio 4,5mm
3	Chapa do Freio	P1.1.2	2	Alumínio 4,5mm
4	Braço pressionador	P1.4.4	2	Alumínio 9,5mm
5	Chapa Lateral do Distanciador	P1.4.1	4	Alumínio 4,5mm
6	Chapa Central do Distanciador	P1.4.2	2	Alumínio 9,5mm

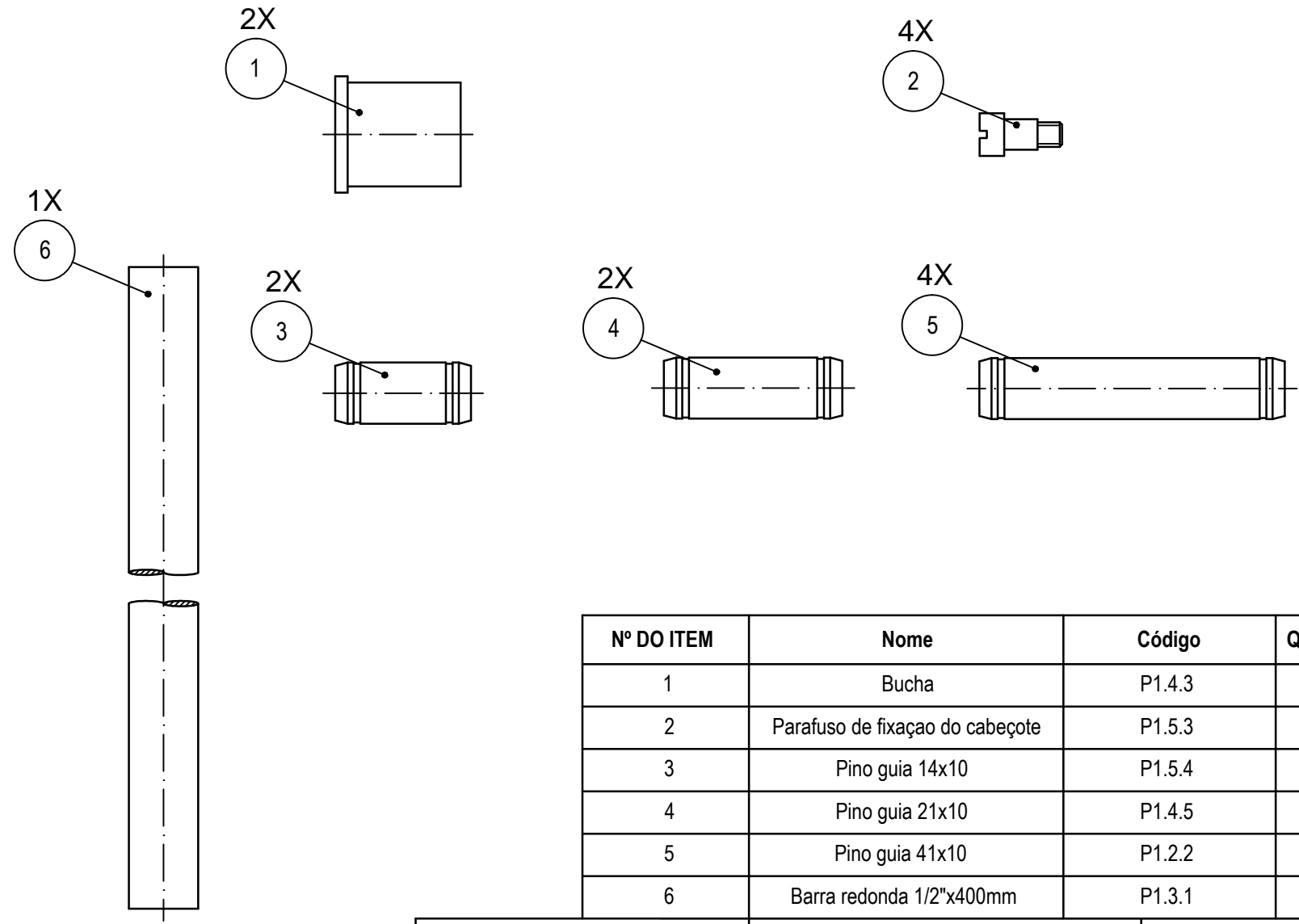
PLANO DE PROCESSO DE FABRICAÇÃO		NOME:		A4
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS		Plano de corte a laser		
		DESENHISTA: GUILHERME	ESCALA:1:1	
		REVISOR: FRANCISCO PUGA e LUIS CARLOS MORENO	D3.3.1	



Nº DO ITEM	Nome	Código	QTD	Buy or Make
1	Pega do portador	P1.1.1	2	M
2	Barra redonda 1/2"x40mm	P1.3.1	1	M
3	Suporte imã	P1.2.1	4	M

PLANO DE PROCESSO DE FABRICAÇÃO		NOME:		A4
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS		Plano de fresagem		
DESENHISTA: GUILHERME		ESCALA:1:2		
REVISOR: FRANCISCO PUGA e LUIS CARLOS MORENO		D3.3.1		

torneamento

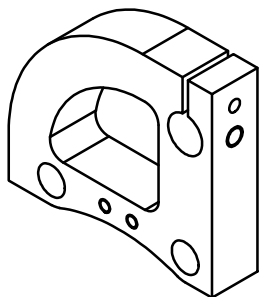
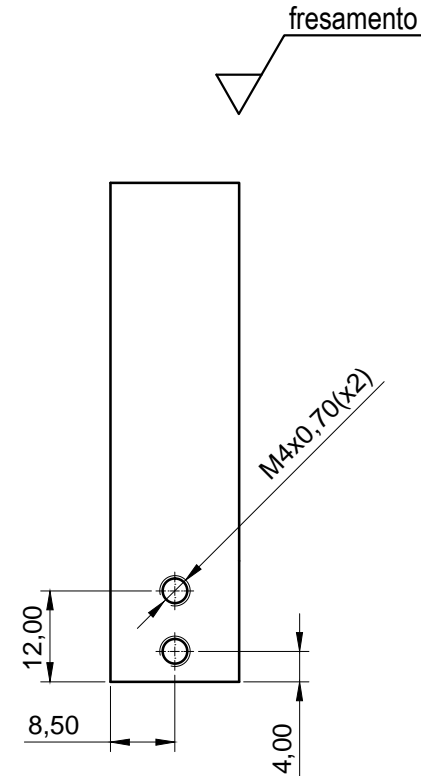
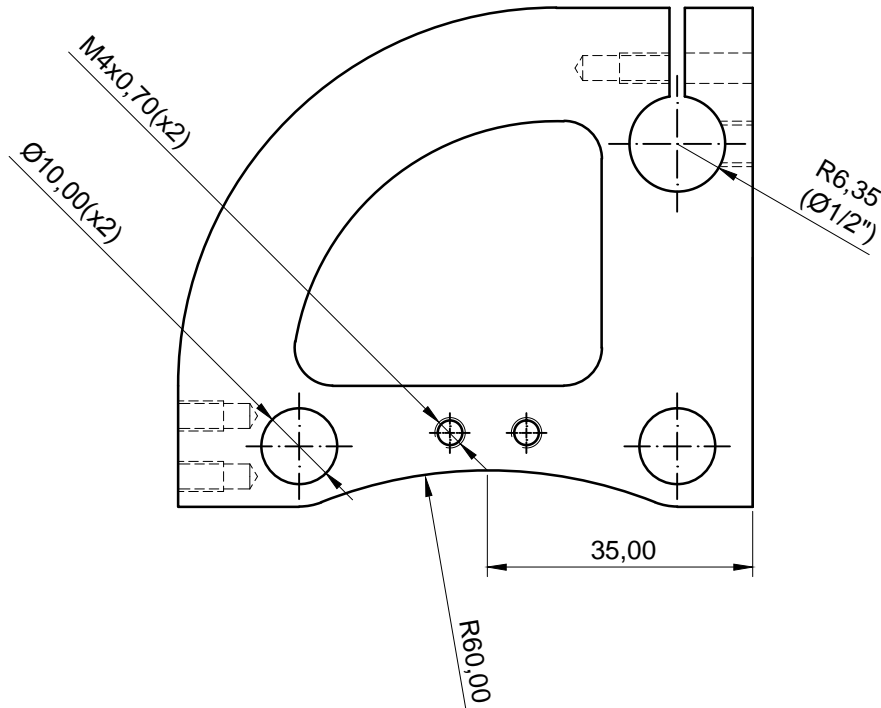
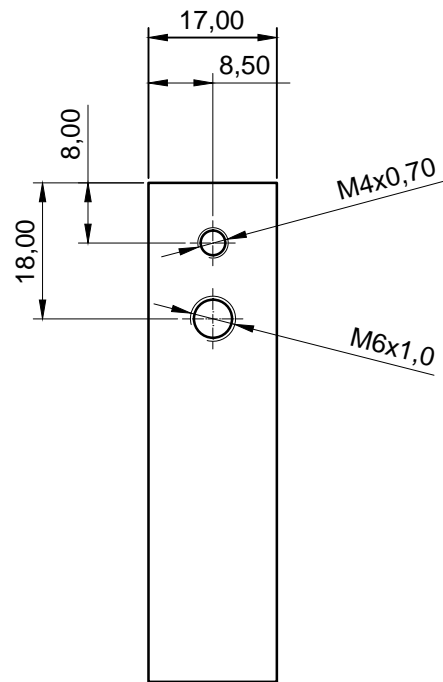


Nº DO ITEM	Nome	Código	QTD	Buy or Make
1	Bucha	P1.4.3	2	M
2	Parafuso de fixação do cabeçote	P1.5.3	4	M
3	Pino guia 14x10	P1.5.4	2	M
4	Pino guia 21x10	P1.4.5	2	M
5	Pino guia 41x10	P1.2.2	4	M
6	Barra redonda 1/2"x400mm	P1.3.1	1	M

PLANO DE PROCESSO DE FABRICAÇÃO		NOME:		A4
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS		Plano de torneamento		
		DESENHISTA: GUILHERME	ESCALA:1:1	
		REVISOR: FRANCISCO PUGA e LUIS CARLOS MORENO	D3.3.1	

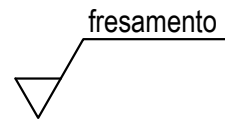
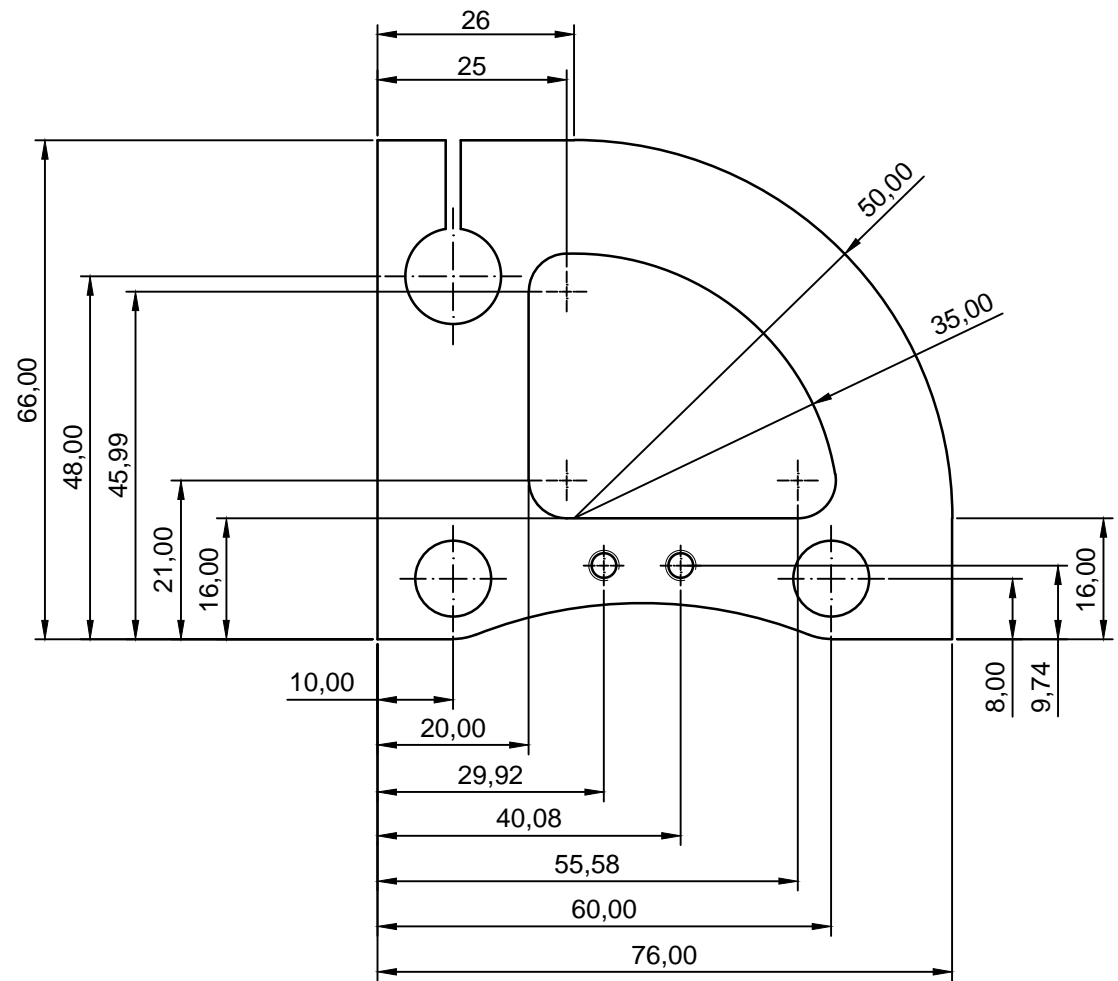
D_{3.3.2} – Desenho técnico de fabricação das peças

- .1 P_{1.1.1} – Pega do Portador
- .2 P_{1.1.2} – Chapa do Freio
- .3 P_{1.2.1} – Suporte do Imã
- .4 P_{1.2.2} – Pino Guia 19/41x10
- .5 P_{1.3.1} – Barra redonda 1/2”x400mm
- .6 P_{1.4.1} – Chapa lateral do Distanciador
- .7 P_{1.4.2} – Chapa central do Distanciador
- .8 P_{1.4.3} – Bucha
- .9 P_{1.4.4} – Braço pressionador
- .10 P_{1.4.5} – Pino Guia 21x10
- .11 P_{1.5.1} – Braço do Garfo
- .12 P_{1.5.2} – Corpo do Garfo
- .13 P_{1.5.3} – Parafuso de fixação do cabeçote
- .14 P_{1.5.4} – Pino Guia 14x10

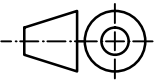


QUANTIDADE:	2
DESENHO DE PEÇA	
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS	

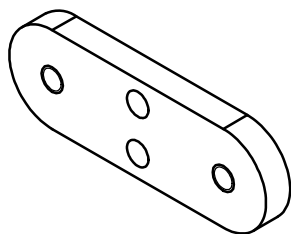
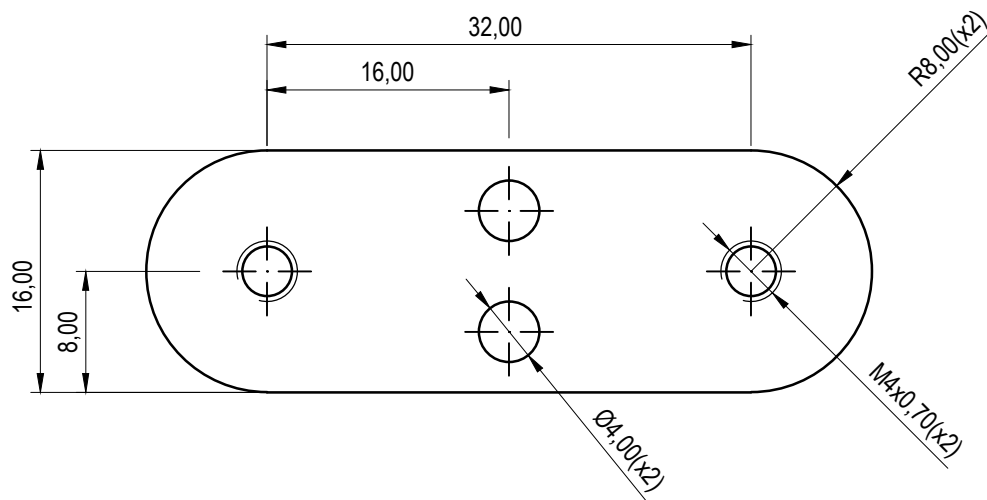
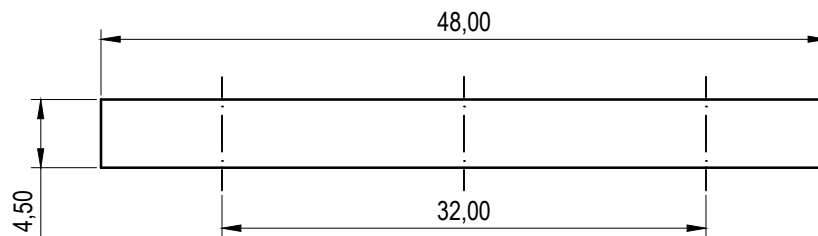
CLASSE DE TOLERÂNCIA		AFASTAMENTOS ADMISSÍVEIS				
DESIGNAÇÃO	DESCRIÇÃO	De 0,5 até 3	De 3 até 6	De 6 até 30	De 30 até 120	De 120 até 400
M	MEDIO	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8
NOME:		Pega do Portador				
MATERIAL:		CÓDIGO:			A4	
Alumínio 17mm		P1.1.1				
DESENHISTA: GUILHERME		ESCALA: 1:1		FOLHA: 1/2		
REVISOR: FRANCISCO PUGA e LUIS CARLOS MORENO		D3.3.2				



CLASSE DE TOLERÂNCIA		AFASTAMENTOS ADMISSÍVEIS				
DESIGNAÇÃO	DESCRIÇÃO	De 0,5 até 3	De 3 até 6	De 6 até 30	De 30 até 120	De 120 até 400
M	MEDIO	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8

QUANTIDADE:	2	NOME: Pega do Portador			
DESENHO DE PEÇA		MATERIAL:	Alumínio 17mm	CÓDIGO:	P1.1.1
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS		DESENHISTA:	GUILHERME	ESCALA:	1:1
		REVISOR:	FRANCISCO PUGA e LUIS CARLOS MORENO	D3.3.2	FOLHA: 2/2

cutte à laser

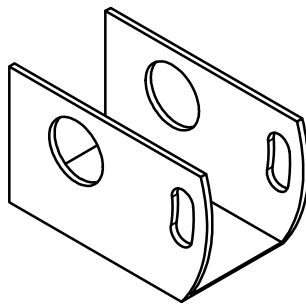
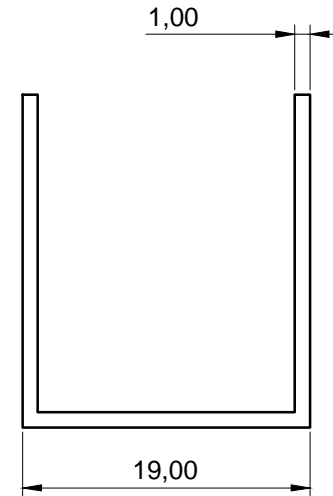
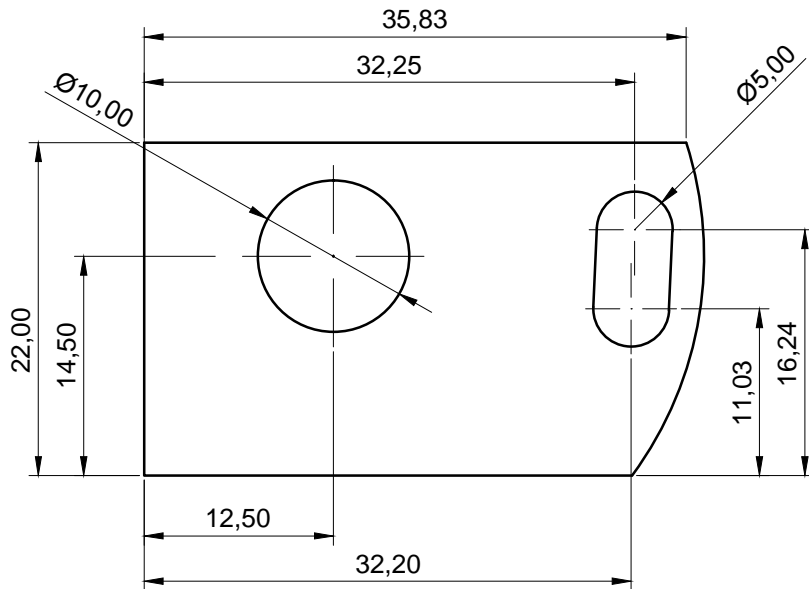


CLASSE DE TOLERÂNCIA		AFASTAMENTOS ADMISSÍVEIS				
DESIGNAÇÃO	DESCRIÇÃO	De 0,5 até 3	De 3 até 6	De 6 até 30	De 30 até 120	De 120 até 400
M	MEDIO	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8

QUANTIDADE:	2
DESENHO DE PEÇA	
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS	

NOME:	Chapa do Freio		
MATERIAL:	Alumínio 4,5mm	CÓDIGO:	P1.1.2
DESENHISTA: GUILHERME	ESCALA: 2:1		A4
REVISOR: FRANCISCO PUGA e LUIS CARLOS MORENO	D3.3.2		

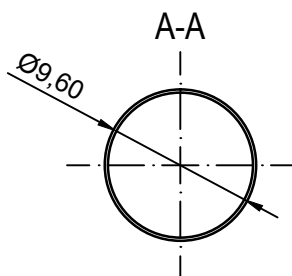
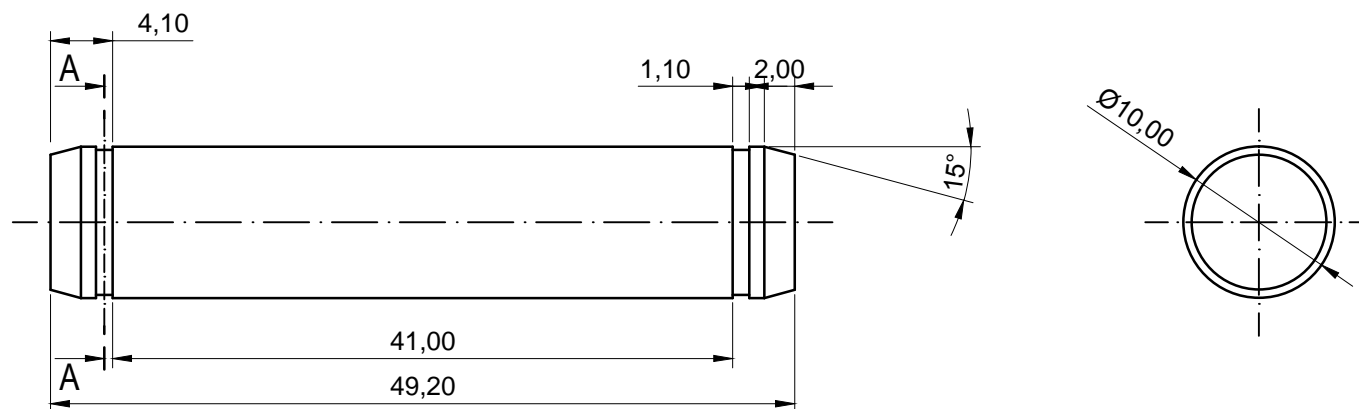
fresamento



CLASSE DE TOLERÂNCIA		AFASTAMENTOS ADMISSÍVEIS				
DESIGNAÇÃO	DESCRIÇÃO	De 0,5 até 3	De 3 até 6	De 6 até 30	De 30 até 120	De 120 até 400
M	MEDIO	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8

QUANTIDADE:	4	NOME: Suporte Imã				
DESENHO DE PEÇA		MATERIAL:	CÓDIGO:		A4	
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS		Alumínio TG-027 45x19x1mm	P1.2.1			
		DESENHISTA: GUILHERME	ESCALA: 2:1			
		REVISOR: FRANCISCO PUGA e LUIS CARLOS MORENO	D3.3.2			

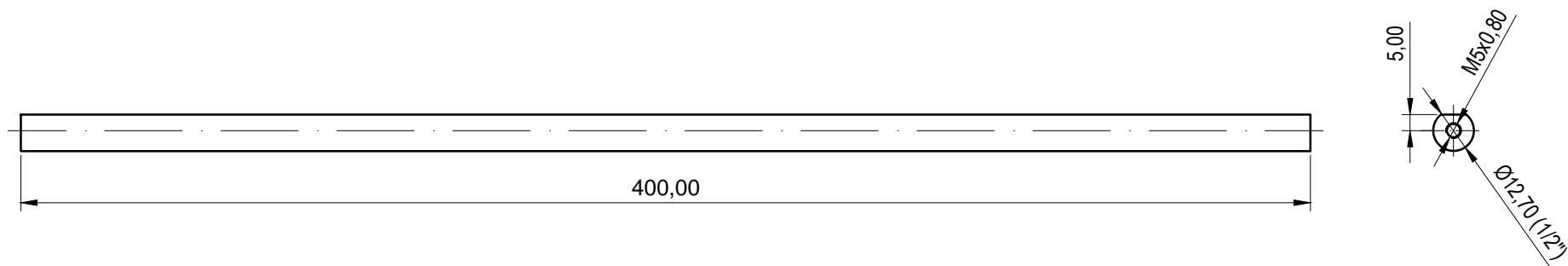
torneamento



QUANTIDADE:	4
DESENHO DE PEÇA	
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS	

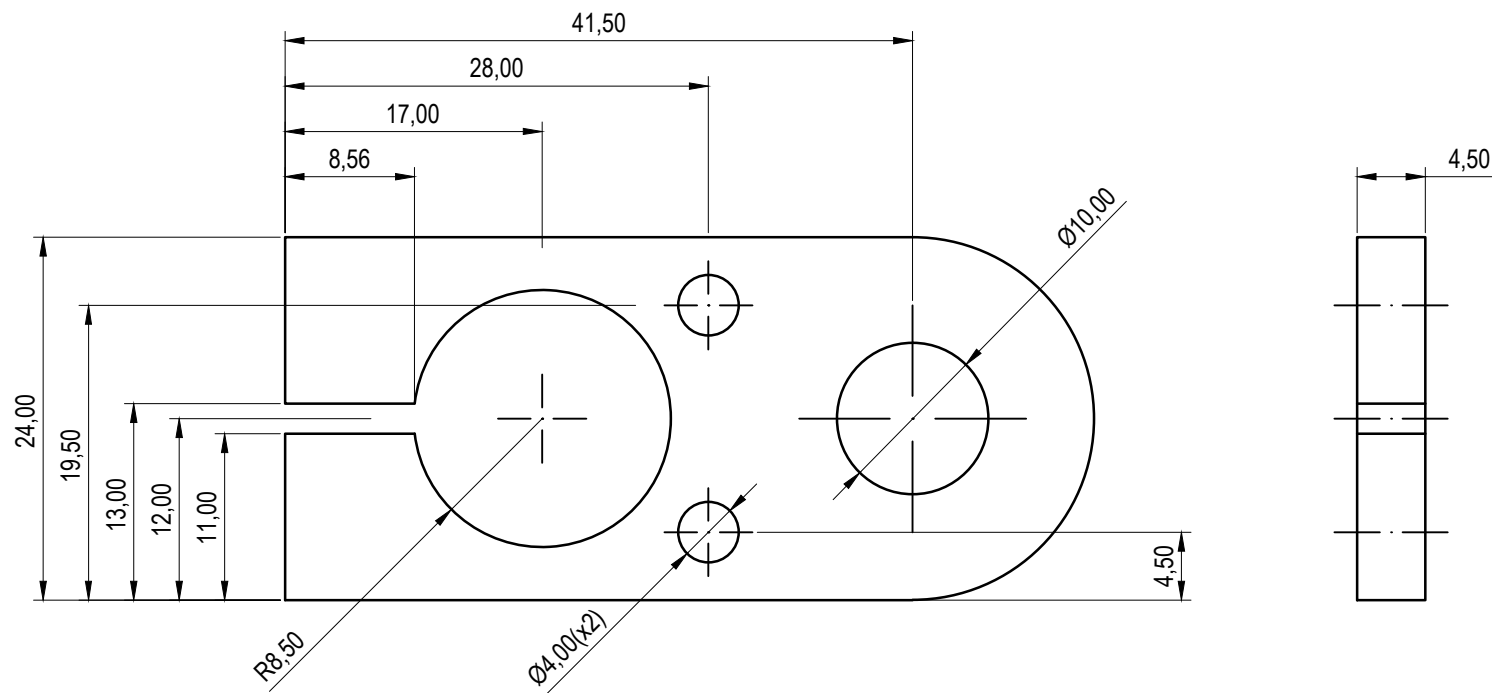
CLASSE DE TOLERÂNCIA		AFASTAMENTOS ADMISSÍVEIS				
DESIGNAÇÃO	DESCRIÇÃO	De 0,5 até 3	De 3 até 6	De 6 até 30	De 30 até 120	De 120 até 400
M	MEDIO	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8
NOME:		Pino Guia 41x10				
MATERIAL:		Aço inoxidável, barra Ø 10mm			CÓDIGO:	A4
DESENHISTA: GUILHERME		ESCALA: 2:1		P1.2.2		
REVISOR: FRANCISCO PUGA e LUIS CARLOS MORENO		D3.3.2				

fresamento



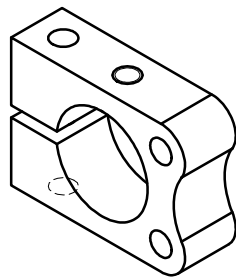
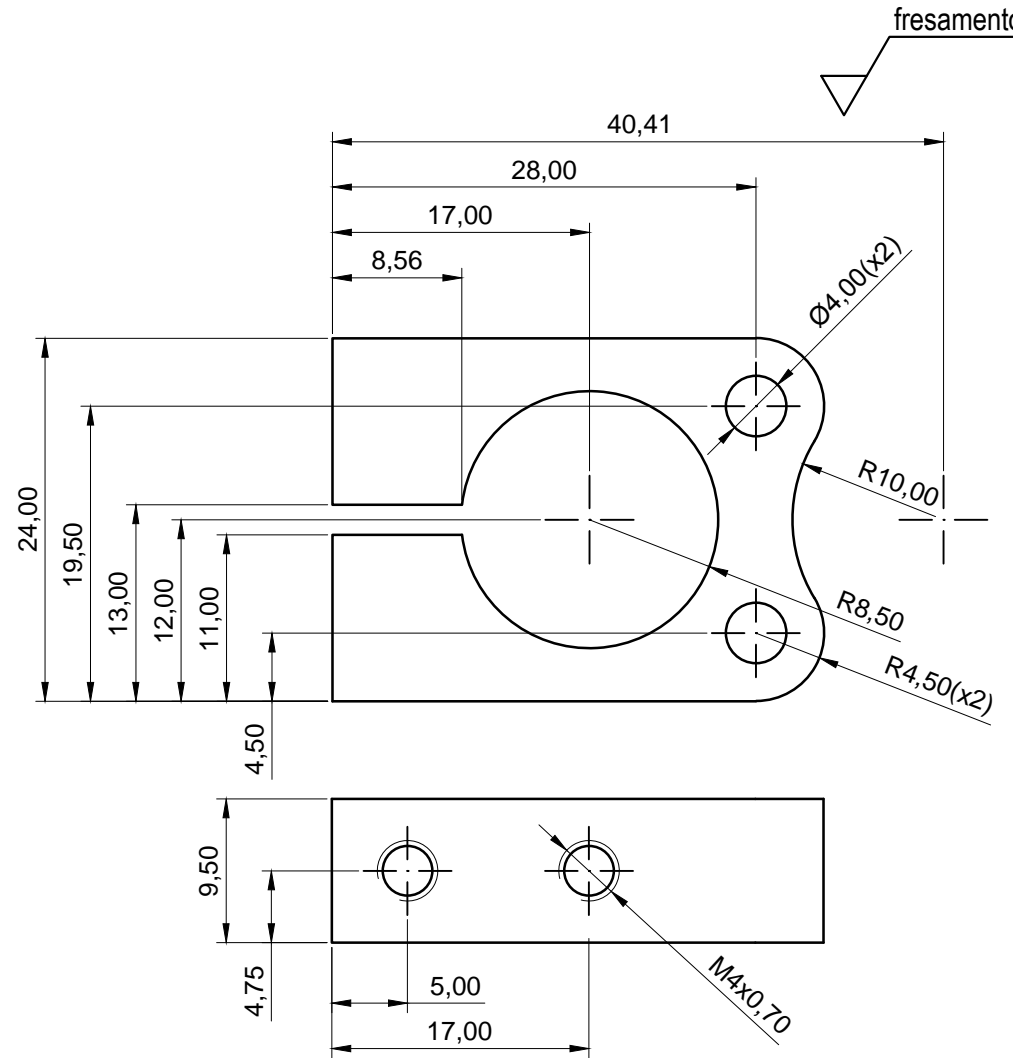
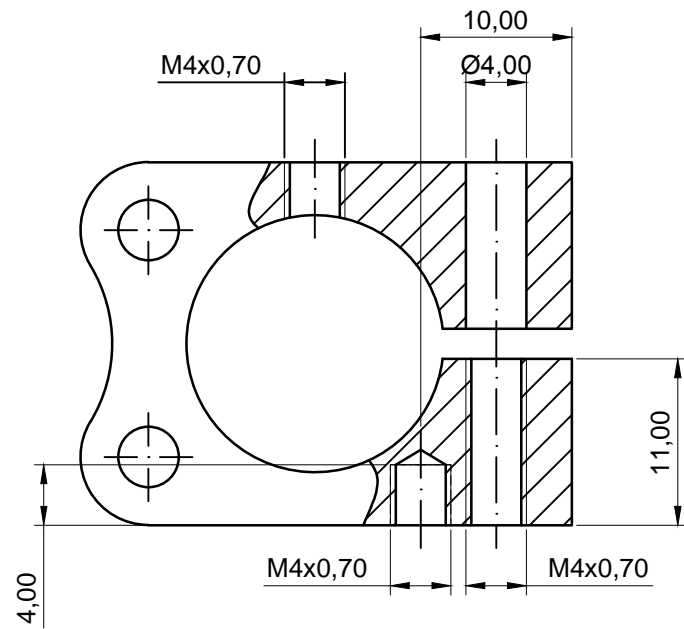
		CLASSE DE TOLERÂNCIA		AFASTAMENTOS ADMISSÍVEIS				
		DESIGNAÇÃO	DESCRIÇÃO	De 0,5 até 3	De 3 até 6	De 6 até 30	De 30 até 120	De 120 até 400
		M	MEDIO	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8
QUANTIDADE:	1	NOME: Barra redonda 1/2"x400mm						
DESENHO DE PEÇA		MATERIAL: Aço inoxidável			CÓDIGO: P1.3.1		A4	
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS		DESENHISTA: GUILHERME			ESCALA: 1:2			
		REVISOR: FRANCISCO PUGA e LUIS CARLOS MORENO			D3.3.2			

corte à laser



CLASSE DE TOLERÂNCIA		AFASTAMENTOS ADMISSÍVEIS				
DESIGNAÇÃO	DESCRIÇÃO	De 0,5 até 3	De 3 até 6	De 6 até 30	De 30 até 120	De 120 até 400
M	MEDIO	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8

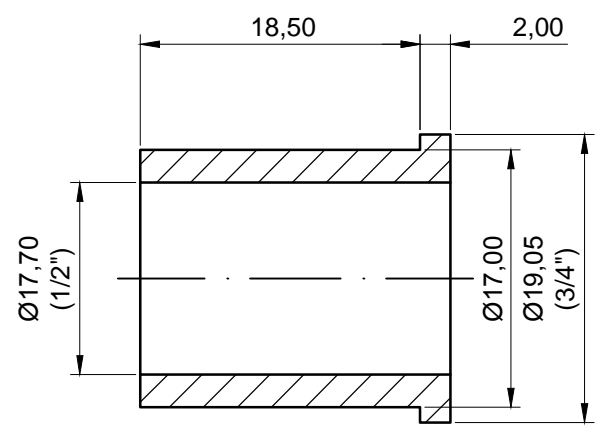
QUANTIDADE:	4	NOME:				Chapa Lateral do Distanciador	
DESENHO DE PEÇA		MATERIAL:	Alumínio 4,5mm		CÓDIGO:	P1.4.1	A4
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS		DESENHISTA:	GUILHERME		ESCALA:	2:1	
		REVISOR:	FRANCISCO PUGA e LUIS CARLOS MORENO		D3.3.2		



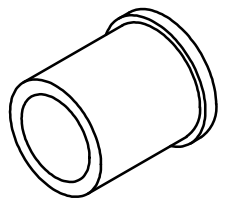
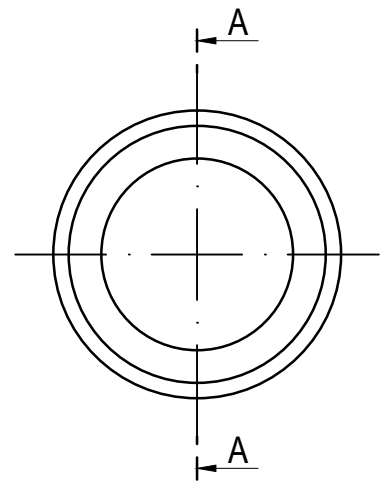
QUANTIDADE:	2
DESENHO DE PEÇA	
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS	

CLASSE DE TOLERÂNCIA		AFASTAMENTOS ADMISSÍVEIS				
DESIGNAÇÃO	DESCRIÇÃO	De 0,5 até 3	De 3 até 6	De 6 até 30	De 30 até 120	De 120 até 400
M	MEDIO	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8
NOME:		Chapa Central do Distanciador				
MATERIAL:		Alumínio 9,5mm			CÓDIGO:	A4
DESENHISTA: GUILHERME		ESCALA: 2:1				
REVISOR: FRANCISCO PUGA e LUIS CARLOS MORENO		D3.3.2				

torneamento




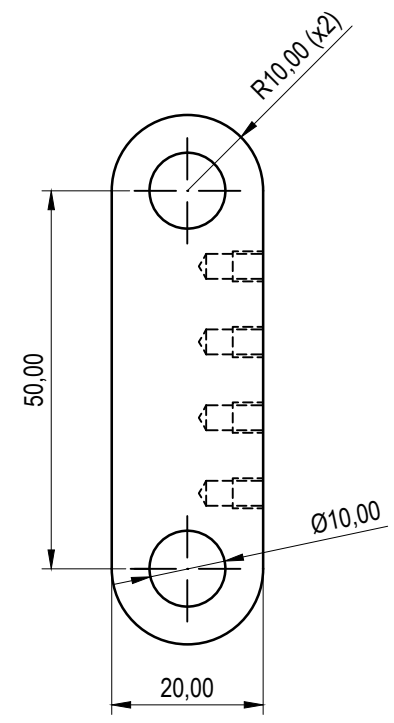
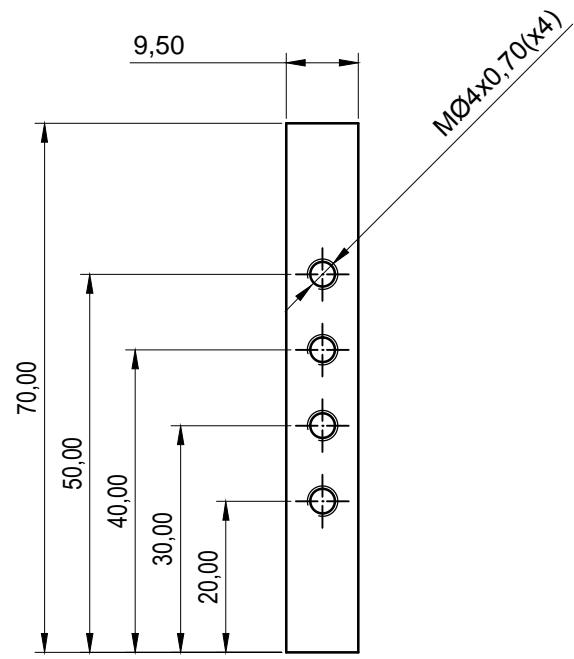
SEÇÃO A-A



CLASSE DE TOLERÂNCIA		AFASTAMENTOS ADMISSÍVEIS				
DESIGNAÇÃO	DESCRIÇÃO	De 0,5 até 3	De 3 até 6	De 6 até 30	De 30 até 120	De 120 até 400
M	MEDIO	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8

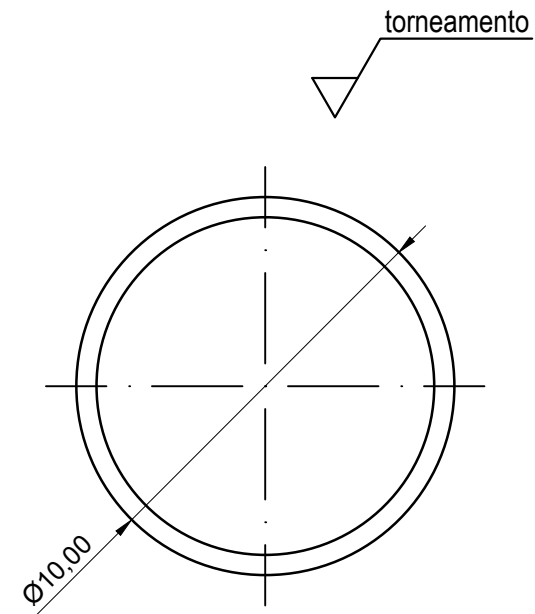
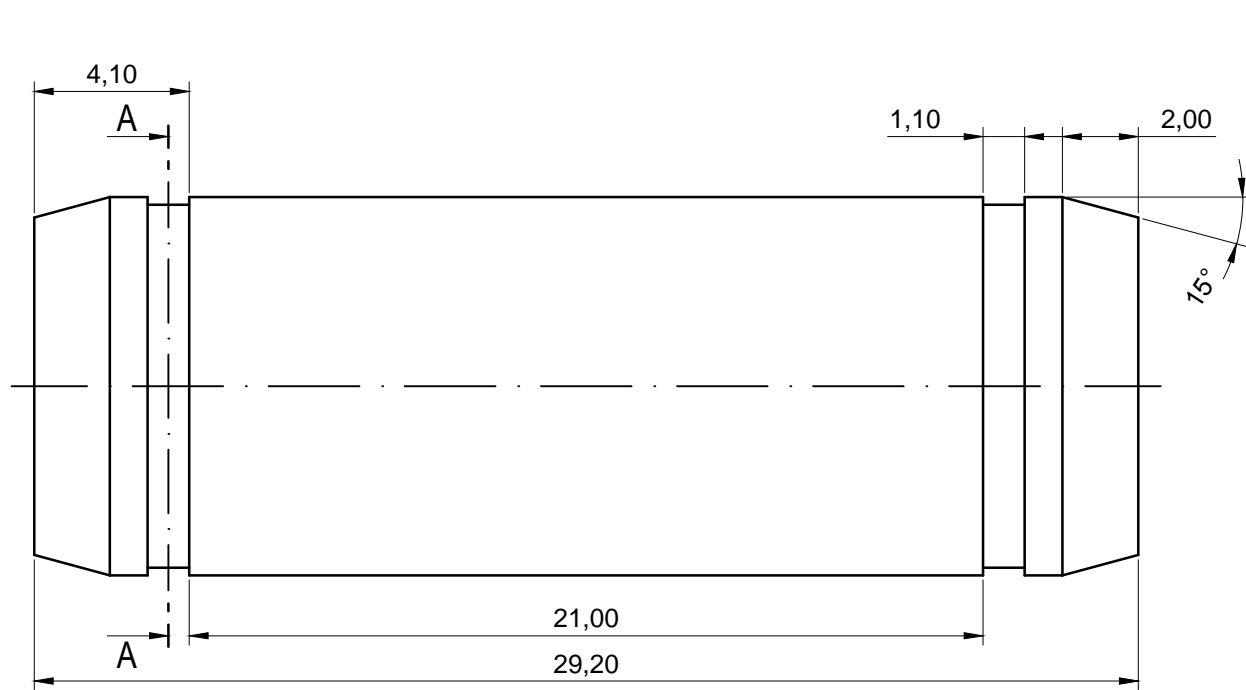
QUANTIDADE:	2	NOME: Bucha				
DESENHO DE PEÇA		MATERIAL:	CÓDIGO:			A4
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS		Poliacetal	P1.4.3			
		DESENHISTA: GUILHERME	ESCALA: 2:1	FOLHA 1 DE 1		
		REVISOR: FRANCISCO PUGA e LUIS CARLOS MORENO	D3.3.2			


 corte à laser

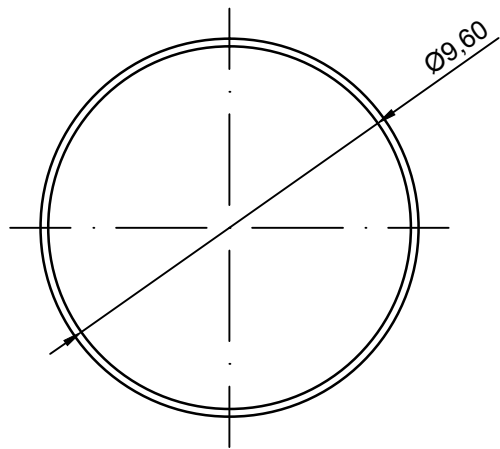


CLASSE DE TOLERÂNCIA		AFASTAMENTOS ADMISSÍVEIS				
DESIGNAÇÃO	DESCRIÇÃO	De 0,5 até 3	De 3 até 6	De 6 até 30	De 30 até 120	De 120 até 400
M	MEDIO	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8

QUANTIDADE:	2	NOME: Braço pressionador				
DESENHO DE PEÇA		MATERIAL:	CÓDIGO:		A4	
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS		Alumínio 9,5mm	P1.4.4			
		DESENHISTA: GUILHERME	ESCALA: 1:1			
		REVISOR: FRANCISCO PUGA e LUIS CARLOS MORENO	D3.3.2			

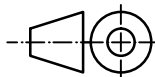


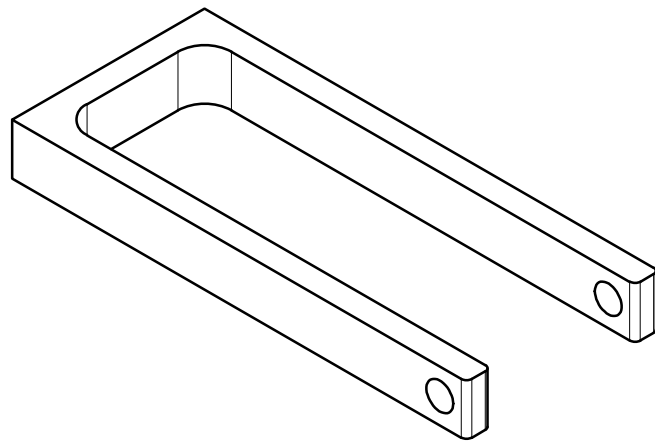
A-A



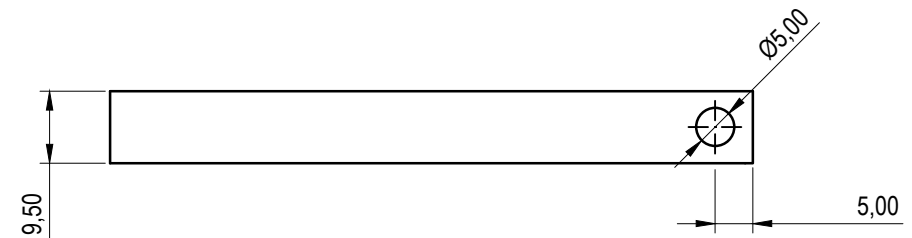
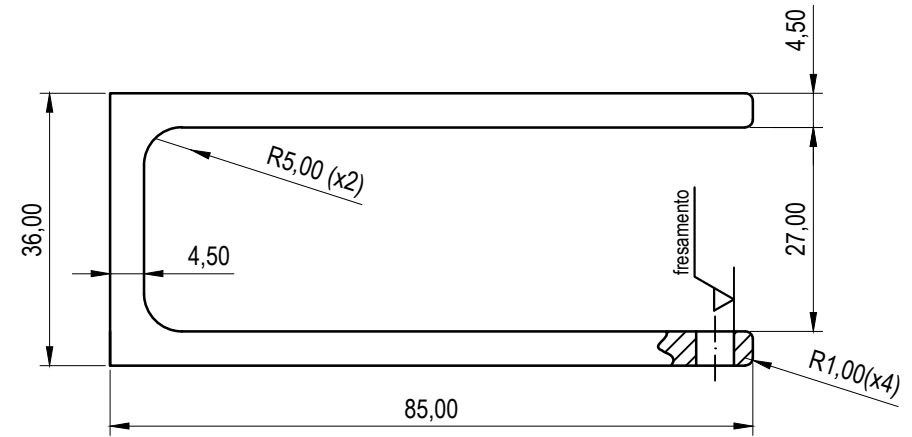
CLASSE DE TOLERÂNCIA		AFASTAMENTOS ADMISSÍVEIS				
DESIGNAÇÃO	DESCRIÇÃO	De 0,5 até 3	De 3 até 6	De 6 até 30	De 30 até 120	De 120 até 400
M	MEDIO	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8

QUANTIDADE:	2	NOME:				Pino Guia 21x10	
DESENHO DE PEÇA		MATERIAL:	CÓDIGO:		A4		
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS		Aço inoxidável barra de Ø10mm		P1.4.5			
		DESENHISTA: GUILHERME		ESCALA: 5:1			
		REVISOR: FRANCISCO PUGA e LUIS CARLOS MORENO		D3.3.2			





corte à laser (fresamento)

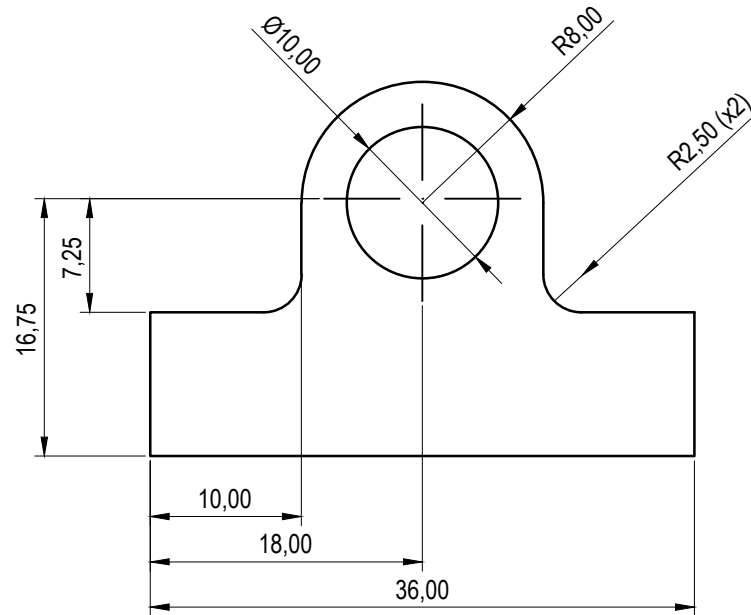


QUANTIDADE:	2
DESENHO DE PEÇA	
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS	

CLASSE DE TOLERÂNCIA		AFASTAMENTOS ADMISSÍVEIS				
DESIGNAÇÃO	DESCRIÇÃO	De 0,5 até 3	De 3 até 6	De 6 até 30	De 30 até 120	De 120 até 400
M	MEDIO	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8

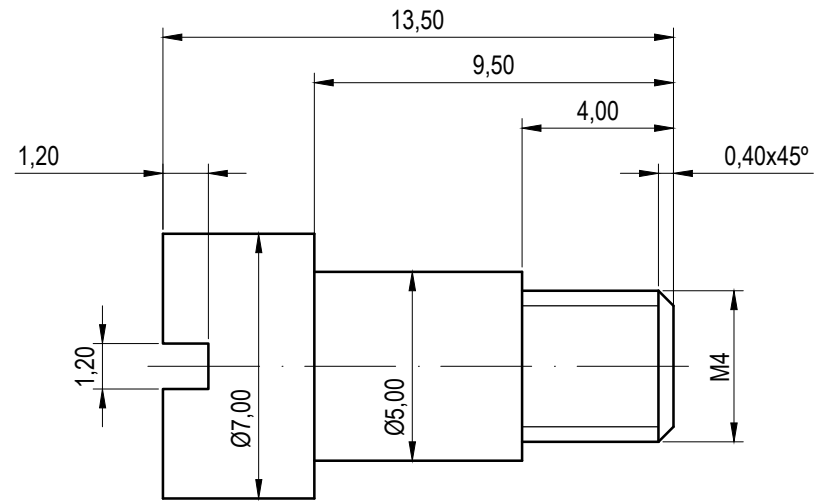
NOME:	Braço do garfoB				
MATERIAL:	Alumínio 9,5mm	CÓDIGO:	P1.5.1	A4	
DESENHISTA: GUILHERME	ESCALA: 1:1	FOLHA 1 DE 1			
REVISOR: FRANCISCO PUGA e LUIS CARLOS MORENO	D3.3.2				

corte à laser

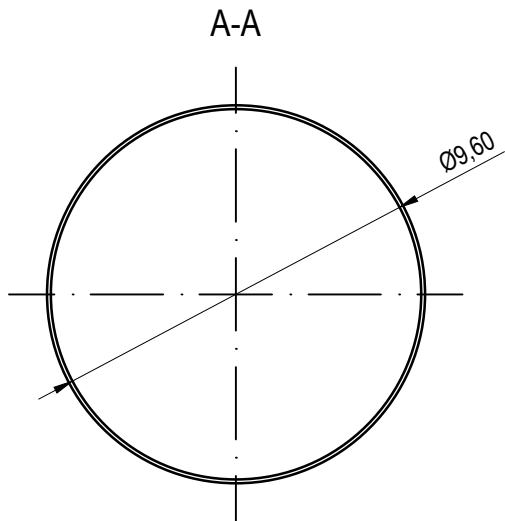
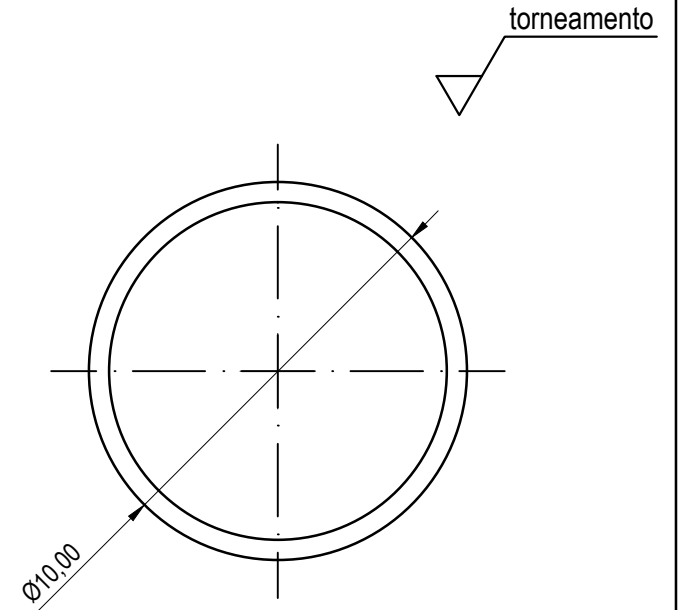
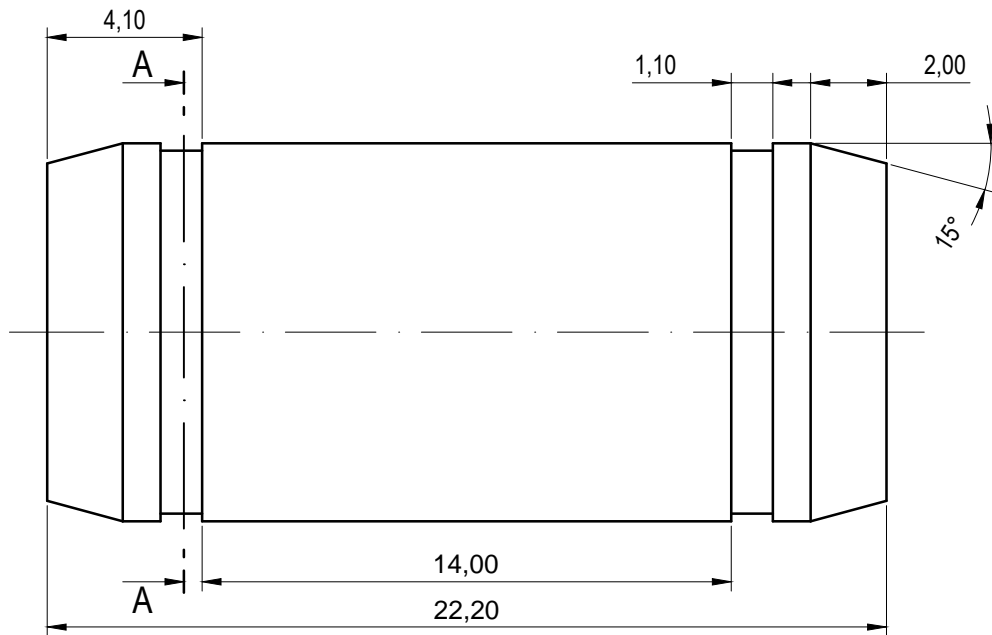


		CLASSE DE TOLERÂNCIA		AFASTAMENTOS ADMISSÍVEIS				
		DESIGNAÇÃO	DESCRIÇÃO	De 0,5 até 3	De 3 até 6	De 6 até 30	De 30 até 120	De 120 até 400
		M	MEDIO	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8
QUANTIDADE:	2	NOME: Corpo do garfo B						
DESENHO DE PEÇA		MATERIAL: Alumínio 4,5mm			CÓDIGO: P1.5.2		A4	
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS		DESENHISTA: GUILHERME			ESCALA: 2:1			
		REVISOR: FRANCISCO PUGA e LUIS CARLOS MORENO			D3.3.2			

torneamento



		CLASSE DE TOLERÂNCIA		AFASTAMENTOS ADMISSÍVEIS				
		DESIGNAÇÃO	DESCRIÇÃO	De 0,5 até 3	De 3 até 6	De 6 até 30	De 30 até 120	De 120 até 400
M		MEDIO	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	
QUANTIDADE:	8	NOME: Parafuso de fixação do cabeçote						
DESENHO DE PEÇA		MATERIAL:	CÓDIGO: P1.5.3				A4	
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS		DESENHISTA: GUILHERME		ESCALA: 5:1				
		REVISOR: FRANCISCO PUGA e LUIS CARLOS MORENO		D3.3.2				



QUANTIDADE:	2
DESENHO DE PEÇA	
SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS	

CLASSE DE TOLERÂNCIA		AFASTAMENTOS ADMISSÍVEIS				
DESIGNAÇÃO	DESCRIÇÃO	De 0,5 até 3	De 3 até 6	De 6 até 30	De 30 até 120	De 120 até 400
M	MEDIO	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8
NOME:		Pino guia 14x10				
MATERIAL:		CÓDIGO:			A4	
Aço inoxidável barra de 1/2"		P1.5.4				
DESENHISTA: GUILHERME		ESCALA: 5:1				
REVISOR: FRANCISCO PUGA e LUIS CARLOS MORENO		D3.3.2				

A satisfação das necessidades dos usuários é um fator determinante para o sucesso de um produto. Por favor, marque com um X a opção que mais se adequa à sua avaliação do protótipo do Portador, desenvolvido no quadro da dissertação de mestrado do pesquisador.

Nome: _____

Empresa/Laboratório: _____

Ocupação: _____

Avaliação dos requisitos de projeto

1. Ajuste da distância entre cabeçotes ultrassônicos

- Insatisfatório
 Apenas tolerável
 Adequado
 Bom
 Muito bom

2. Facilidade de anexar o Portador à peça ensaiada

- Insatisfatório
 Apenas tolerável
 Adequado
 Bom
 Muito bom

3. Contato entre o(s) cabeçote(s) e a peça ensaiada

- Insatisfatório
 Apenas tolerável
 Adequado
 Bom
 Muito bom

4. Operação do Portador em vão livre de no mínimo 200mm

- Insatisfatório
 Apenas tolerável
 Adequado
 Bom
 Muito bom

5. Facilidade de movimentação do Portador

- Insatisfatório
 Apenas tolerável
 Adequado
 Bom
 Muito bom

6. Manutenção do alinhamento entre os cabeçotes e o cordão de solda

- Insatisfatório
 Apenas tolerável
 Adequado
 Bom
 Muito bom

7. Segurança à queda do Portador

- Insatisfatório
 Apenas tolerável
 Adequado
 Bom
 Muito bom

8. Peso do Portador

- Insatisfatório
 Apenas tolerável
 Adequado
 Bom
 Muito bom

9. Dimensões do Portador

- Insatisfatório
 Apenas tolerável
 Adequado
 Bom
 Muito bom

10. Ergonomia do Portador para manipulação

- Insatisfatório
 Apenas tolerável
 Adequado
 Bom
 Muito bom

11. Material do Portador para o ambiente de inspeção

- Insatisfatório
 Apenas tolerável
 Adequado
 Bom
 Muito bom

12. Facilidade de ajustar o Portador à superfície da peça ensaiada

- Insatisfatório
 Apenas tolerável
 Adequado
 Bom
 Muito bom

Deixe seu comentário e/ou sugestões sobre o protótipo:

D_{3.5.2} – Lista descritiva das recomendações para aprimoramento do protótipo

1. Aproximação dos eixos da peça 'Pega do Portador' para redução do diâmetro mínimo de duto inspecionado

Observou-se que com pequenas alterações geométricas da peça 'Pega do Portador', mais especificamente, na aproximação de seus dois eixos, será possível inspecionar dutos com diâmetro inferior aos 150mm previstos pela especificação de projeto. Assim, têm-se conhecimento que pode-se oferecer ao usuário uma novo modelo de portador que inspecione dutos de no mínimo 100mm, por exemplo. Nesse caso, a especificação seria atualizada de 150 para 100mm, informação da fase de projeto informacional obtida durante o projeto preliminar. Prova que o processo de projeto é iterativo.

2. Substituir rolamentos por rodas de borracha para maior aderência e deslizamento mais suave sobre a superfície da peça ensaiada.

Com esta substituição, espera-se melhorar a aderência entre o Portador e a peça ensaiada e o deslizamento do Portador sobre a superfície.

3. Substituir as três peças parafusadas do módulo Distanciador por peça única

O conjunto de peças deslizantes do distanciador, formado pela junção parafusada de três chapas de alumínio parafusadas está sujeita a folgas. Assim, recomenda-se a substituição dessas três, por uma única peça.

4. Alterar posição do imã para ajuste natural do módulo Moldador

Caso o imã fosse colocado de lado em seu suporte (rotacionado em 90° com relação ao plano formado pelos eixos dos rolamentos) poderia reduzir a complexidade desse suporte, pois a função de ajuste de tipo de peça (duto ou chapa), poderia ser feita de forma natural, sem a intervenção do inspetor.

5. Aumentar diâmetro da pega dos manipululos

No protótipo testado o diâmetro da pega do manipululo dos módulos Distanciador e Anexador, 15mm, mostrou-se insuficiente. Estima-se que com um manipululo de 30mm será possível dobrar o torque de aperto, dado o dobro do valor de braço da alavanca, melhorando a ergonomia durante a preparação do Portador.

6. Fabricar a peça 'Suporte do cabeçote' em peça única para reduzir desalinhamento

O suporte do cabeçote apresentou problemas com a fabricação da rosca, houve desalinhamento. É aconselhável o re-projeto desse suporte, utilizando uma única peça, ao invés de duas, com o intuito de reduzir os efeitos das folgas de desalinhamento.

A função portar cabeçote mostrou-se bastante sensível. Erros de fabricação, como falta de perpendicularidade do eixo da rosca com o plano da superfície, podem resultar na não articulação do suporte do cabeçote com o garfo portador.

7. Substituir PCR usinados por parafusos normais e buchas para redução do custo

Para redução de custos, pode-se estudar a substituição dos pequenos PCR por parafusos normais e buchas, onde as buchas representariam o corpo retificado do parafuso.

8. Substituir imã para variar a força de anexação do protótipo

Para maior força de anexação, basta alterar duas peças: o pino guia e o suporte do imã. Necessita-se ainda, espaçadores, que podem ser buchas poliméricas, por exemplo.

9. Chanfrar barra de deslizamento para manter o alinhamento angular entre distanciadores

Pode-se chanfrar a barra de deslizamento, ou ainda adotar uma segunda barra, limitando a rotação. Esta rotação é um grau de liberdade interessante ao protótipo, pois permite regular a intensidade de aplicação da pressão do cabeçote sobre a peça. Isso permite a execução de testes, que seriam limitados, caso essa rotação não existisse.

10. Substituir mola de tração por mola de torção para melhorar estética do protótipo

Uma vez determinados os parâmetros ideais da mola de tração. Como comprimento, curso e módulo de rigidez, pode-se fabricar uma mola de torção específica para o portador. Algo recomendado para um produto comercial, dado apelos estéticos e econômicos, por esta solução necessitar menos componentes.

11. Inserir anel elástico nas juntas rotativas do protótipo para redução de folga

Observou-se que a solução pino-guia + anel elástico prende conjuntos de forma a proporcionar um grau de liberdade em rotação livre, sem aplicar força axial no conjunto, ao contrário de um parafuso + porca.

12. Utilizar rolamentos ao invés de mancais de deslizamentos nas juntas para redução das folgas

Para melhorar a articulação do cabeçote sugere-se que ao invés de mancais de deslizamento utilize-se rolamentos, visando a redução da folga.