

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

VINÍCIUS HIDEKI INOUE

**MODELAGEM E CONSTRUÇÃO DE DISPOSITIVOS PARA A SOLDAGEM DOS
QUADROS CENTRAIS DE UM PROTÓTIPO DE PULVERIZADOR AGRÍCOLA**

CURITIBA

2022

VINÍCIUS HIDEKI INOUE

**MODELAGEM E CONSTRUÇÃO DE DISPOSITIVOS PARA A SOLDAGEM DOS
QUADROS CENTRAIS DE UM PROTÓTIPO DE PULVERIZADOR AGRÍCOLA**

**Fixtures modeling and construction for the welding of the central frames from
an agricultural sprayer prototype**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Prof. Dr. José Aguiomar Foggiatto.
Coorientador(a): Mathias Boldt.

CURITIBA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

VINÍCIUS HIDEKI INOUE

**MODELAGEM E CONSTRUÇÃO DE DISPOSITIVOS PARA A SOLDAGEM DOS
QUADROS CENTRAIS DE UM PROTÓTIPO DE PULVERIZADOR AGRÍCOLA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 05/maio/2022

José Aguiomar Foggiatto
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Fabio Martins
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Nilton Luiz Cararo
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CURITIBA

2022

RESUMO

O cenário agrícola brasileiro demanda o desenvolvimento de insumos e equipamentos de alta tecnologia. Nesse contexto, as máquinas autopropelidas para aplicação de agrotóxicos ganham cada vez mais destaque. O trabalho consistiu no desenvolvimento de dispositivos para a soldagem dos 'Quadros Centrais' de um protótipo de pulverizador agrícola. Para isso, estruturou-se uma metodologia para a execução do projeto, com base no referencial teórico disponível referente a metodologias de projeto de produto e dispositivos de soldagem. A execução do projeto teve início com a identificação de materiais e processos disponíveis para utilização, seguida do estudo dos modelos 3D dos Quadros, passando pelas definições de configuração de soldagem e a modelagem das soluções propostas. Os dispositivos foram confeccionados, e com o auxílio de procedimentos de soldagem desenvolvidos, direcionaram a soldagem dos componentes. A fabricação dos quadros centrais utilizando a solução proposta – uma configuração de dispositivos de soldagem de caráter modular – foi aprovada pelo setor de qualidade da empresa, o que indica que o processo de desenvolvimento de dispositivos apresentado pode ser empregado de maneira bem-sucedida em conjuntos soldados similares.

Palavras-chave: dispositivos de soldagem; pulverizador agrícola; modelagem 3D.

ABSTRACT

The Brazilian agricultural scene demands the development of high technology equipments and implements. In this context, self-propelled machines for pesticide application gain more prominence. The present project consisted of the development of fixtures for the welding of the so called 'Central Frames' from an agricultural sprayer. A methodology was structured for the project execution based on the theoretical references connected to product project methodologies and welding fixtures. The execution of the project started with the study of the 3D Models from the frames, followed by the definition of welding configurations and the modelling of the suggested solutions. The fixtures were fabricated, and with the aid from welding procedures, guided the welding of the components. The manufacturing of the central frames with the developed solution – defined by a modular setup of welding fixtures – was approved by the company's quality department, which indicates that the process of fixtures development presented can be utilized successfully in similar welded structures.

Keywords: welding fixtures; agricultural sprayer; 3D modelling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Quadro Central Fixo.....	13
Figura 2 - Quadro Central.....	14
Figura 3 – Quadro Central Montado no Quadro Central Fixo.....	14
Figura 4 - Localização dos Conjuntos.....	14
Figura 5 - Pulverizador Costal.....	19
Figura 6 - Pistola Pulverizadora de Pressão.....	19
Figura 7 - Pulverizador de Barra.....	20
Figura 8 - Turbopulverizador.....	20
Figura 9 - Pulverização Aérea.....	21
Figura 10 - Pulverizador Autopropelido.....	21
Figura 11 - Metodologia proposta por Pahl e Beitz.....	23
Figura 12 - Metodologia proposta por Baxter.....	25
Figura 13 - Metodologia proposta por Munari.....	26
Figura 14 - Dispositivo de Bancada.....	30
Figura 15 - Dispositivo Semiautomático.....	31
Figura 16 - Solda Robotizada com Dispositivo.....	31
Figura 17 - Mesa Demmeler e Acessórios.....	32
Figura 18 - Mecanismo de Travamento de Grampos de Fixação.....	34
Figura 19 - Utilização de Grampos de Fixação.....	34
Figura 20 - Modelo 3D de Dispositivo de Soldagem.....	35
Figura 21 - Dispositivo Físico.....	35
Figura 22 - Metodologia proposta por Segal, Romanescu e Gokinetchi.....	39
Figura 23 - Metodologia proposta por Zhang e Mu.....	40
Figura 24 - Metodologia proposta por Krsulja, Barisic e Kudlacek.....	40
Figura 25 - Metodologia empregada no projeto.....	44
Figura 26 - Etapas Preparatórias para Confecção dos Dispositivos.....	47
Figura 27 - Exemplo de Aplicação do Equipamento de Medição.....	48
Figura 28 - Pontos de Interesse do Quadro Central Fixo.....	51
Figura 29 - Superfícies de Apoio do Quadro Central Fixo.....	51
Figura 30 - Pontos de Interesse do Quadro Central.....	52
Figura 31 - Superfícies de Apoio do Quadro Central.....	52
Figura 32 - Posição do Quadro Central Fixo na Mesa.....	53
Figura 33 - Componentes Abaixo da Superfície de Apoio.....	54
Figura 34 - Quadro Central: Posição 1.....	54
Figura 35 - Quadro Central: Posição 2.....	54
Figura 36 - Solução Desenvolvida: Quadro Central Fixo.....	55
Figura 37 - Posicionamento dos Dispositivos: Quadro Central Fixo.....	55
Figura 38 - Etapa 1 da Solução Desenvolvida: Quadro Central.....	56
Figura 39 - Etapa 2 da Solução Desenvolvida: Quadro Central.....	56
Figura 40 - Posicionamento dos Dispositivos na Etapa 1: Quadro Central.....	57
Figura 41 - Posicionamento dos Dispositivos na Etapa 2: Quadro Central.....	57
Figura 42 - Características dos Dispositivos Projetados.....	58
Figura 43 - Quadro Central Fixo Ponteado.....	60
Figura 44 - Quadro Central: Etapa 1 de Ponteamento.....	60
Figura 45 - Quadro Central: Etapa 2 de Ponteamento.....	61
Figura 46 - Quadro Central Fixo: Medidas de Conferência A, B e C.....	62
Figura 47 - Quadro Central Fixo: Medida de Conferência D, E, F, G e H.....	62

Figura 48 - Quadro Central Fixo: Medida de Conferência I e J.....	62
Figura 49 - Quadro Central: Medidas de Conferência A, B e C	64
Figura 50 - Quadro Central: Medida de Conferência D	64
Figura 51 - Quadro Central: Medidas de Conferência E, F, G e H.....	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Análise das Metodologias Apresentadas	28
Quadro 2 - Tipos de Dispositivos de Soldagem	33
Quadro 3 - Principais Aços para Construção de Dispositivos	37
Quadro 4 – Processos de Fabricação Disponíveis	50
Quadro 5 - Parâmetros de Soldagem	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Metodologia proposta por Norton	27
Tabela 2 - Quadro Central Fixo: Medições	63
Tabela 3 - Quadro Central: Medições	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
ASTM	Sociedade Americana de Testes e Materiais
AWS	Sociedade Americana de Soldagem
CAD	Projeto Auxiliado por Computador
CAE	Engenharia Auxiliada por Computador
CAFD	Projeto de Dispositivos Auxiliado por Computador
CAM	Manufatura Auxiliada por Computador
CATIA	Aplicação Interativa Tridimensional Auxiliada por Computador
FBTS	Fundação Brasileira de Tecnologia da Soldagem
SAE	Sociedade de Engenheiros Automotivos
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Contexto do tema	12
1.2	Caracterização do Problema	13
1.3	Objetivos	15
1.4	Justificativa.....	15
1.5	Estrutura do Trabalho	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	Agricultura Moderna no Brasil	17
2.2	Pulverizadores Agrícolas.....	18
2.3	Metodologias de Projeto de Produto	21
2.3.1	Pahl e Beitz	22
2.3.2	Baxter	23
2.3.3	Munari	25
2.3.4	Norton.....	27
2.3.5	Considerações sobre as Metodologias de Projeto de Produto	28
2.4	Desenvolvimento de Dispositivos de Soldagem	29
2.4.1	Tipos de Dispositivos de Soldagem.....	30
2.4.2	Componentes de Dispositivos de Soldagem	33
2.4.3	Materiais para Fabricação de Dispositivos	35
2.4.4	O CAD 3D no Desenvolvimento de Dispositivos	37
2.4.5	Metodologias de Desenvolvimento para Dispositivos de Soldagem.....	38
2.5	Considerações sobre a Fundamentação Teórica	41
3	METODOLOGIA	43
3.1	Premissas Iniciais	43
3.2	Metodologia de Desenvolvimento de Dispositivos	43
3.2.1	Materiais e Processos de Fabricação.....	44
3.2.2	Estudo dos Modelos	45
3.2.3	Método Funcional, Orientação e Posição	45
3.2.4	Modelagem dos Dispositivos	46
3.2.5	Desenhos e Procedimentos	46
3.2.6	Acompanhamento da Execução.....	47
3.2.7	Validação da Solução	48
4	RESULTADOS.....	49

4.1	Materiais e Processos de Fabricação.....	49
4.2	Estudo dos Modelos	50
4.3	Método Funcional, Orientação e Posição	52
4.4	Modelagem dos Dispositivos	55
4.5	Desenhos e Procedimentos	58
4.6	Acompanhamento da Execução	59
4.7	Validação da Solução.....	61
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
	REFERÊNCIAS.....	68
	APÊNDICE A - Exemplo de Desenho de Fabricação de Dispositivo	
	72	
	APÊNDICE B - Procedimento para a Soldagem do Quadro Central	
	Fixo: Páginas Iniciais	74
	ANEXO A - Catálogo de Tubos Retangulares	80

1 INTRODUÇÃO

Esta seção faz uma breve contextualização da proposta de pesquisa na realidade agrícola presente e no cenário da empresa escolhida para o desenvolvimento do projeto, assim como o detalhamento do problema a ser resolvido. Além disso, são estabelecidos os objetivos geral e específicos a serem cumpridos, apresenta-se a justificativa da realização do trabalho e a estruturação do mesmo.

1.1 Contexto do tema

Com o processo de industrialização ocorrida no Brasil ao longo do século XX e a implantação iniciada na década de 60 de um setor voltado para a produção de equipamentos agrícolas mecanizados, o setor agrário passou a ter suas atividades cada vez mais desenvolvidas através de maquinários e insumos modernos. (TEIXEIRA, 2005, p. 22-24).

Nesse contexto, as máquinas autopropelidas de aplicação de defensivos agrícolas ganham cada vez mais destaque. Sua alta tecnologia embarcada, ampla faixa de aplicação e alta velocidade de atuação vão de encontro com a necessidade crescente do ramo agrícola por produtividade, redução de custos e insumos de qualidade (BAUMHARDT, 2012, p.21).

Uma das multinacionais mais importantes no cenário de equipamentos para a agricultura, a Horsch é uma empresa alemã fundada em 1984 e conhecida pela tecnologia e inovação de seus produtos. Em seu escopo de máquinas incluem-se a produção de plantadeiras, adubadoras, pulverizadores, entre outros (HORSCH, 2021).

A partir dos anos 2000 a empresa iniciou um processo de internacionalização devido a demanda de seus produtos em diversos países, como Estados Unidos, Ucrânia e China. Atualmente os produtos Horsch podem ser encontrados em todos os continentes (ibidem).

Em 2015 foi criada a Horsch do Brasil, com sede em Curitiba. Desde sua instalação, a demanda pelos produtos da empresa vem crescendo constantemente, causando subseqüentemente a ampliação do portfólio de produtos e das regiões atendidas no país (ibidem).

1.2 Caracterização do Problema

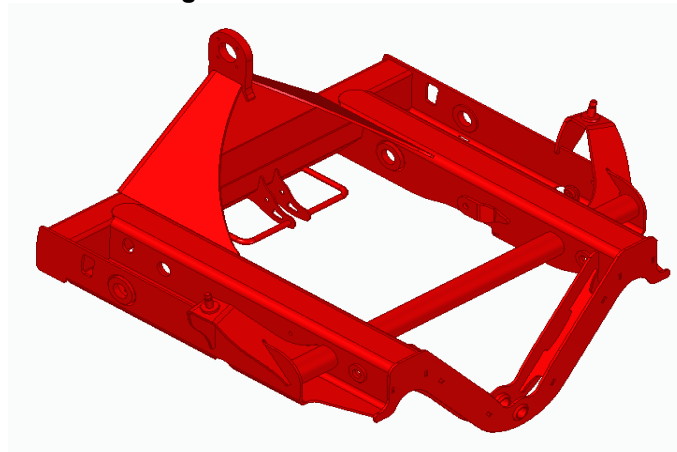
Nesse cenário, a empresa tomou a decisão de iniciar a produção do pulverizador autopropelido Horsch – hoje fabricado somente na matriz alemã – na sede brasileira. Esse processo de nacionalização do produto envolve uma série de fatores a serem considerados (e.g. adaptação de materiais para a disponibilidade existente no Brasil, configuração da máquina para o solo brasileiro, entre outros) que culminarão no primeiro protótipo nacional.

Uma vez que a decisão seguida pela empresa quanto ao processo de soldagem dos principais grupos do protótipo do pulverizador foi internalizar a fabricação, fez-se necessário criar soluções que viabilizassem a execução do processo garantindo os requisitos dimensionais e de montabilidade de cada grupo.

Dentre os grupos de soldagem que compõe o pulverizador agrícola, os quadros centrais – dois conjuntos denominados como ‘Quadro Central’ e ‘Quadro Central Fixo’ – se sobressaem através da importância de sua função. A sua finalidade principal é manter a estabilidade das barras de pulverização, direcionando a altura e providenciando suporte para as mesmas. Além disso, na estrutura combinada de ambos, são posicionados sistemas de acionamentos hidráulicos e pneumáticos, os quais irão controlar as funções de movimentação da barra e dos bicos de pulverização.

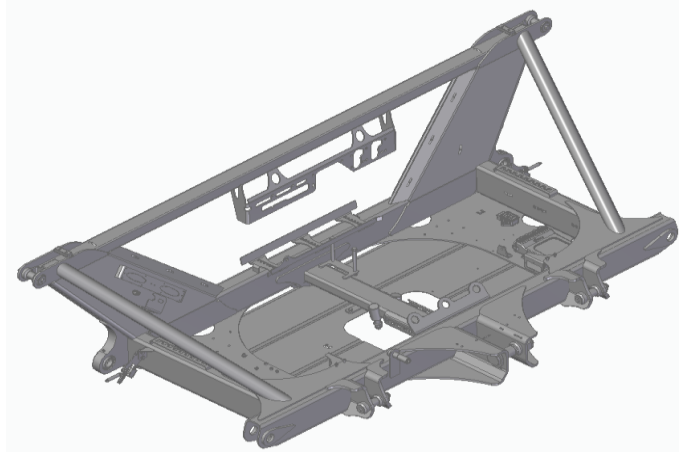
As Figuras 1 e 2 apresentam respectivamente, os modelos 3D do ‘Quadro Central Fixo’ e do ‘Quadro Central’ do pulverizador; a Figura 3 apresenta a modelagem dos conjuntos ao serem devidamente montados um no outro, com os elementos de montagem em branco e roxo; já a Figura 4 ilustra o pulverizador, indicando a localização do conjunto da Figura 3 na máquina.

Figura 1 - Quadro Central Fixo



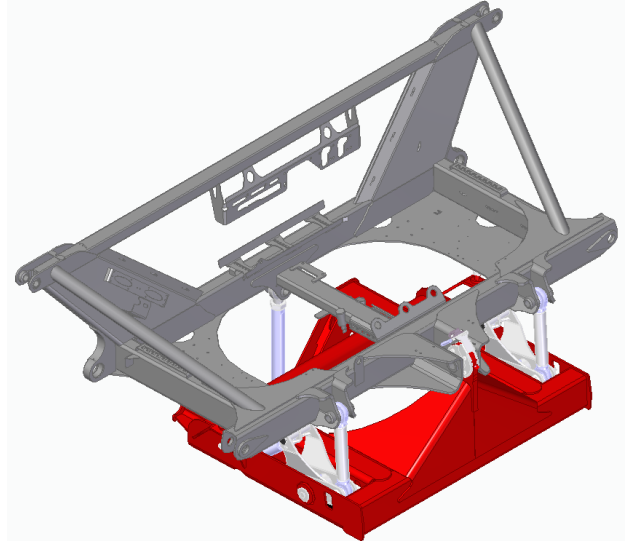
Fonte: Horsch do Brasil (2021)

Figura 2 - Quadro Central



Fonte: Horsch do Brasil (2021)

Figura 3 – Quadro Central Montado no Quadro Central Fixo



Fonte: Horsch do Brasil (2021)

Figura 4 - Localização dos Conjuntos



Fonte Adaptada: Horsch do Brasil (2021)

Como ilustrado na Figura 4, além de suas funcionalidades descritas anteriormente, a estrutura do quadro central se posiciona como um conector entre as barras de pulverização e o chassi estrutural da máquina, possuindo um papel fundamental para a operação do equipamento. Sua complexidade e quantidade de componentes, no entanto, tornam desafiador o processo de soldagem, impossibilitando que o mesmo seja desenvolvido sem dispositivos de auxílio ao soldador.

Sendo assim, o presente trabalho buscou desenvolver dispositivos e procedimentos que possibilitassem, com base nos modelos 3D dos grupos recebidos da engenharia de produto, a soldagem dos quadros centrais supracitados.

1.3 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho foi a modelagem e construção de dispositivos para viabilizar a soldagem dos quadros centrais do protótipo de um pulverizador agrícola.

Como objetivos específicos, lista-se:

- a) Levantar os materiais nacionais disponíveis no escopo da empresa para a construção de dispositivos;
- b) Estudar os modelos 3D dos quadros centrais do pulverizador;
- c) Modelar os dispositivos em software CAD;
- d) Orientar a fabricação dos dispositivos;
- e) Desenvolver procedimentos de utilização dos dispositivos para realizar a soldagem dos grupos;
- f) Validar as soluções propostas por meio dos resultados obtidos na análise dimensional fornecida pelo setor de qualidade.

1.4 Justificativa

Em uma indústria de alta competitividade como o segmento de implementos agrícolas, é necessário produzir máquinas cada vez mais eficientes, de modo a atender às altas expectativas e demandas advindas da Agro Indústria.

Uma vez que o protótipo a ser desenvolvido apresenta uma estrutura complexa e extensa, com diversos subconjuntos interconectados, é necessário que o processo de soldagem dos mesmos seja executado de modo preciso, fornecendo ao cliente soluções com rapidez e de alta qualidade.

Os quadros centrais, devido a seu papel estrutural e funcional, apresentam em seu processo de soldagem um desafio complexo e fundamental para a fabricação da máquina. O desenvolvimento de soluções para garantir sua soldagem consiste em um projeto de considerável abrangência acadêmica, conectando conceitos da engenharia mecânica nas áreas de soldagem, modelagem tridimensional e desenvolvimento de projeto de produto.

1.5 Estrutura do Trabalho

A primeira seção do trabalho apresenta uma breve introdução dos principais aspectos relacionados ao projeto, assim como a contextualização e caracterização da empresa e do problema a ser resolvido. Com base nesse cenário, foram desenvolvidos os objetivos a serem atingidos no trabalho e a justificativa para a sua realização.

A fundamentação teórica aborda os conhecimentos necessários para embasar o desenvolvimento do projeto; são apresentados conceitos referentes à agricultura moderna no Brasil e pulverizadores agrícolas, analisadas algumas das principais metodologias de desenvolvimento de produto e discutidos aspectos específicos referentes ao desenvolvimento de dispositivos de soldagem.

A seção de metodologia detalha os procedimentos utilizados para atingir os objetivos de trabalho, incluindo as principais premissas consideradas e a metodologia de desenvolvimento do projeto.

Na sequência são apresentados os principais resultados obtidos, correlacionando-os com suas respectivas etapas da metodologia. Por fim, são apresentadas as conclusões obtidas com a realização do trabalho, assim como recomendações para estudos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção apresenta os principais conceitos teóricos necessários para o desenvolvimento e compreensão das etapas do trabalho proposto. Inicialmente são apresentados alguns conceitos sobre a agricultura moderna brasileira e a caracterização dos pulverizadores agrícolas nesse contexto. Em sequência, apresenta-se algumas das principais metodologias de projeto de produto existentes; por fim, são discutidos os aspectos mais relevantes para o desenvolvimento de dispositivos voltados para a soldagem.

2.1 Agricultura Moderna no Brasil

A modernização da agricultura no Brasil foi propagada desde a metade do século XX, por meio de investimentos em pesquisa, criação de órgãos públicos, programas e créditos agrícolas conduzidos pelo Estado. O intuito dessa modernização foi o aumento da produtividade de culturas de interesse internacional através da inserção de novas tecnologias (MATOS; PESSÔA, 2011, p.2).

Adjunto a esse processo de modernização, um fenômeno de transformação no meio agrícola passou a ocorrer, descrito por vários autores como 'industrialização da agricultura'. Essa passa a assumir um teor empresarial, fortemente associado a economia brasileira. Esse processo, por sua vez, abre um espaço no mercado de consumo agrícola para as indústrias de máquinas e insumos (TEIXEIRA, 2005, p.22).

A evolução técnica no setor agrícola gerou crescente oferta de produtos com tecnologias cada vez mais avançadas, o que alterou as técnicas de produção e a oferta de produtos agrícolas no mundo inteiro (VIAN et al., 2013). Os avanços no ramo agrícola permitem aumentar a produtividade através da ampliação das áreas cultivadas e da escala de produção, além de diminuir a dependência do produtor de fatores da natureza (e.g. chuvas, qualidade de solo) ao introduzir técnicas artificiais de fertilização e mecanização da lavoura (TEIXEIRA, 2005).

As características da agricultura, no entanto, tornam necessário que as máquinas empregadas no cultivo se adaptem para as condições peculiares de cada região do mundo onde serão utilizadas. Desse modo, a localização e capacitação de empresas em países cujo avanço da agricultura é maior – como o Brasil – são fatores de competitividade cada vez mais importantes (VIAN et al., 2013).

2.2 Pulverizadores Agrícolas

Velloso, Gassen e Jacobsen (1984, p.7) elucidam que, com o processo de expansão e modernização da agricultura, surge a necessidade de se empregar defensivos agrícolas no cultivo, de modo a controlar a ação de agentes patógenos. Gandolfo (2001, p.3) destaca o crescimento da população mundial como fator preponderante na busca de técnicas que aumentem a produtividade agrícola e a necessidade de melhora na qualidade dos alimentos, cenário no qual o emprego de agrotóxicos ocupa lugar de destaque.

O combate aos elementos prejudiciais à agricultura é constituído por três fatores elementares: o alvo biológico, o defensivo agrícola e a máquina aplicadora. O alvo são os agentes causadores de doenças (e.g. insetos e plantas daninhas); os defensivos agrícolas englobam os produtos químicos destinados ao combate (e.g. fungicidas, acaricidas, herbicidas, entre outros, destinados respectivamente ao combate de fungos, ácaros e ervas daninhas); a máquina, por sua vez atua no processo de levar o defensivo agrícola até o alvo biológico (VELLOSO; GASSEN; JACOBSEN, 1984, p.8-10).

A escolha e utilização correta do maquinário é fundamental na eficácia de ação dos produtos. Uma escolha inadequada de máquina aplicadora pode resultar em desperdício de até 55% do defensivo agrícola (ibidem, p.11). Gandolfo (2001, p.4) complementa que a escolha de pulverizadores adequados possibilita a distribuição rápida dos defensivos e afeta diretamente a eficiência da aplicação de fitossanitários, a diminuição da contaminação ambiental gerada e a redução dos custos de cultivo envolvidos.

Atualmente é possível encontrar diversas soluções para mecanismos de pulverização, sendo o defensivo em forma de líquido a solução preferida frente as formas sólidas e gasosas de agrotóxico (VELLOSO; GASSEN; JACOBSEN, 1984). Para a aplicação líquida, define-se - mediante a configuração do equipamento – algumas categorias de pulverizador:

a) Pulverizador Costal: indicado para lavouras de menor porte, o tanque é carregado nas costas do operador, podendo funcionar manualmente, com acionamento elétrico ou por combustível (AGRIQ, 2021). A Figura 5 exemplifica o funcionamento do pulverizador Costal.

Figura 5 - Pulverizador Costal



Fonte: Agriq (2021)

b) Pistola pulverizadora de pressão: ao pressionar o gatilho, o ar comprimido gera pressão no equipamento, que esguicha o defensivo na lavoura. A Figura 6 ilustra o mecanismo.

Figura 6 - Pistola Pulverizadora de Pressão



Fonte: Agriq (2021)

c) Pulverizador de barra: esse tipo de máquina, acoplada a um trator que realiza a movimentação, é recomendado para grandes áreas de plantação, possuindo números variados de bicos de pulverização para a distribuição do defensivo conforme o comprimento da barra (VELLOSO, 1984, p. 15). A Figura 7 apresenta um pulverizador de barra acoplado.

Figura 7 - Pulverizador de Barra



Fonte: Kuhn do Brasil (2021)

d) Turbopulverizador: também acoplado a um trator, o equipamento distribui as gotas em um ângulo de noventa graus em relação ao avanço da máquina por meio de um ventilador axial (AGRIQ, 2021). A Figura 8 ilustra um turbopulverizador.

Figura 8 - Turbopulverizador



Fonte: Herbicat (2021)

e) Pulverização aérea: recomendada para áreas de difíceis acesso de máquinas terrestres, esse método evita o amassamento de plantas e minimiza o contato dos operadores com os agrotóxicos. A Figura 9 apresenta um processo de pulverização aérea.

Figura 9 - Pulverização Aérea



Fonte: Sana Agro (2021)

f) Pulverizadores autopropelidos: voltados para áreas extensas de plantio, esse tipo de maquinário apresenta tamanhos variados e reservatórios grandes de defensivo, aumentando a capacidade de armazenagem. Além disso, também se destacam pelo nível de tecnologia embarcada e subsequente precisão de processo (ibidem). Se diferenciam dos pulverizadores de barra por possuírem motorização própria, dispensando a necessidade de um trator para movimentação. A Figura 10 ilustra um pulverizador autopropelido, o qual foi o produto base para a realização desse trabalho.

Figura 10 - Pulverizador Autopropelido



Fonte: Horsch do Brasil (2021)

2.3 Metodologias de Projeto de Produto

Segundo Santiago, Morassutti e Salai (2019, p.18), “diversas metodologias de desenvolvimento de projeto de produto foram concebidas e aprimoradas de forma a se adaptar à necessidade e aplicabilidade da situação de projeto”. Mello (2011, p.12),

no entanto, acrescenta que, embora exista uma grande quantidade de métodos e técnicas para a resolução de problemas, não se pode dizer que exista algum que se aplica a todas as situações possíveis.

Ao longo dessa subseção, são apresentadas algumas das principais metodologias desenvolvidas e com maior reconhecimento na área acadêmica de desenvolvimento de produto, cujos princípios auxiliarão no desenvolvimento da metodologia a ser empregada no projeto.

2.3.1 Pahl e Beitz

Uma das metodologias mais conhecidas e aplicadas em projetos, a metodologia proposta por Pahl e Beitz (1996) apresenta quatro etapas: Clarificação da Tarefa, Projeto Conceitual, Projeto Preliminar e Projeto Detalhado (DALABONA; LINZMAYER, 2019, p.13).

Segundo Pahl e Beitz (1996, p.131), o propósito da primeira etapa é adquirir informações a respeito dos requisitos a serem cumpridos pelo produto; como resultado é gerada a especificação da informação na forma de uma lista de requisitos, os quais fornecem a base para os procedimentos subsequentes.

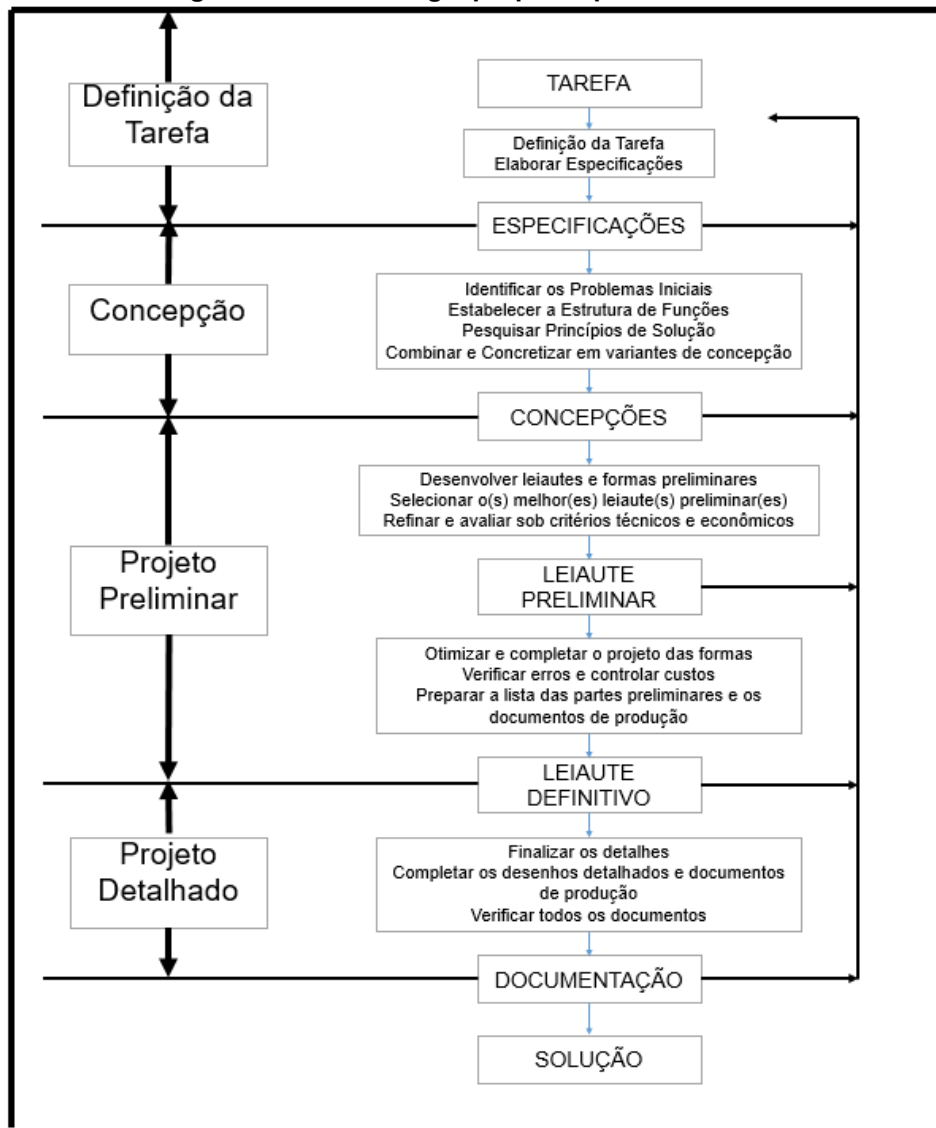
O projeto conceitual busca obter o princípio de solução (conceito); algumas das tarefas necessárias são a abstração dos problemas essenciais, o estabelecimento de funções estruturais, buscar por soluções funcionais e então combiná-las em uma estrutura funcional (ibidem, p.132). Segundo Mello (2011, p.18), na fase conceitual surge a necessidade de o projetista lançar mão de sua criatividade e capacidade intelectual, o que influencia significativamente a qualidade final do projeto.

O projeto preliminar desenvolve layouts e formas preliminares de modo a obter vantagens e desvantagens de versões diferentes. Através da combinação adequada e eliminação de pontos fracos, pode-se obter o melhor layout (PAHL; BEITZ, 1996, p.132-133).

Por fim, a fase de Projeto Detalhado determina o arranjo, dimensões, formas e materiais finais do produto. Como resultado é obtido a especificação da informação na forma de documentação de produção (ibidem, p.133).

A Figura 11 apresenta um fluxograma ilustrativo da metodologia.

Figura 11 - Metodologia proposta por Pahl e Beitz



Fonte: Mello (2011)

2.3.2 Baxter

Segundo Mello (2011, p.20), a metodologia de Baxter se baseia na geração do maior número possível de conceitos e na seleção do mais adequado ao projeto, sendo as restrições e a proposta de benefício os fatores que irão culminar no desenvolvimento da função e na morfologia do produto.

Baxter (1998, p.7-9) classifica os fatores que determinam o sucesso de um novo produto em três grupos principais:

a) Orientação para o mercado: produtos com diferencial em relação a seus concorrentes, oferecendo melhor valor e maiores qualidades obterão mais sucesso que produtos apenas marginalmente diferentes;

b) Planejamento e especificação: produtos submetidos a estudos de viabilidade técnica e econômica – nos quais se englobam a disponibilidade de materiais, necessidades de investimentos e qualidade de mão de obra – aumentam significativamente suas chances de sucesso.

c) Fatores internos a empresa: manter a qualidade das áreas ligadas ao desenvolvimento de vendas, gerir equipes entrosadas de *marketing* e vendas e registrar um alto nível de cooperatividade interna irão resultar em um produto bem-sucedido.

Quanto as atividades de projeto para desenvolvimento de produto, a metodologia de Baxter se divide em quatro etapas principais, conforme elucida Gomez (2004, p.40):

1. Inicia-se o processo, com ideias de produto mais simples a serem mostradas para um pequeno grupo como teste de mercado;

2. Reúne-se especificações de oportunidade e produto, de modo a selecionar o melhor conceito;

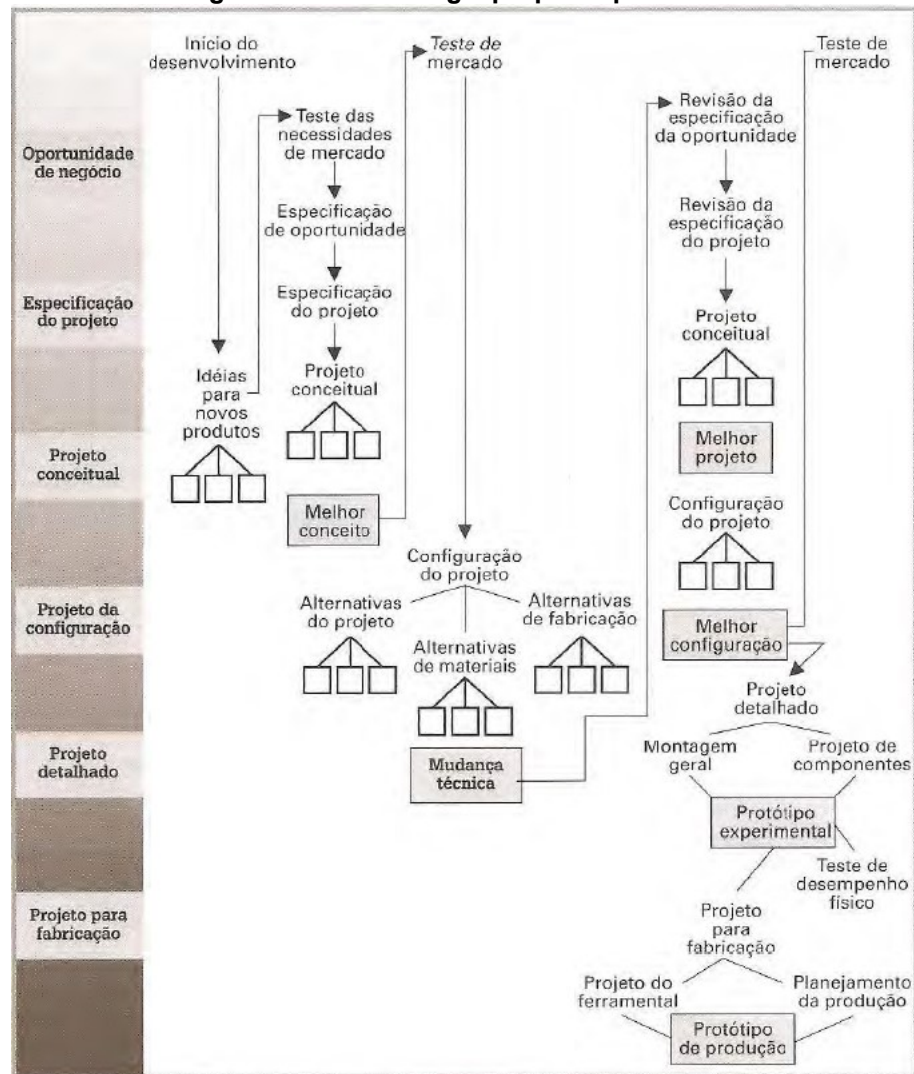
3. O conceito selecionado é submetido a um novo teste de mercado; caso seja aceito, inicia-se a configuração do produto. Novas alternativas, assim como alterações de materiais e processos de fabricação surgem frequentemente, causando um retrocesso às etapas anteriores. Chegando à configuração final do produto, ele é submetido a um terceiro teste de mercado;

4. Após a terceira etapa inicia-se a realização dos desenhos detalhados dos componentes do produto, desenhos para fabricação e a subsequente construção do protótipo. A aprovação oficial do protótipo finaliza o desenvolvimento do produto.

Baxter (1998, p.15) destaca que as atividades não seguem uma trajetória linear, e sim um caminho de avanços e retornos sucessivos; essa dinâmica apresenta duas vantagens: aprimora o produto – devido às sucessivas aproximações – e permite aos desenvolvedores enxergar oportunidades e problemas antes despercebidos.

A Figura 12 apresenta um fluxograma ilustrativo do processo de desenvolvimento.

Figura 12 - Metodologia proposta por Baxter

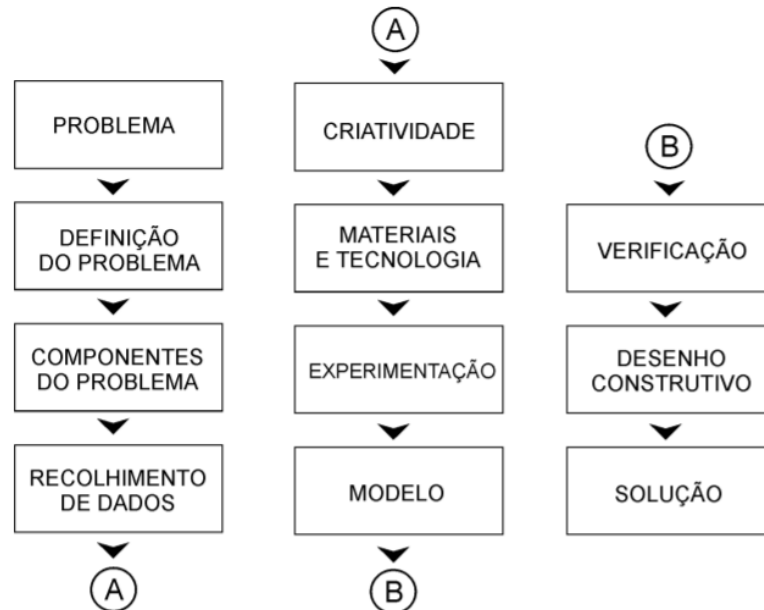


Fonte: Baxter (1998)

2.3.3 Munari

Mello (2011, p.26) define a metodologia de projeto proposta por Munari (2002) como “uma estrutura simples, que permite uma visão geral do projeto em que as atividades a serem desenvolvidas possuem uma linguagem clara”. Santos (2005, p.59), no entanto, ressalta que essa simplicidade resulta em um método incompleto que não aborda questões gerenciais, estratégicas e de mercado, e que pouco detalha questões de engenharia e fabricação. A Figura 13 apresenta um fluxograma da proposta de metodologia de Munari.

Figura 13 - Metodologia proposta por Munari



Fonte adaptada: Munari (2002)

As etapas iniciais do projeto enfatizam o tratamento do problema e o recolhimento de dados, com duas etapas distintas de 'Identificação' e 'Definição' do problema. Sequencialmente são identificados componentes do problema estabelecido, onde faz-se entender quais são os elementos problemáticos, e destes, quais devem ser trabalhados. Com o recolhimento de dados, busca-se facilitar a pesquisa a partir do momento que o problema está definido e analisado (SANTOS, 2005, p. 59).

As fases de 'criatividade' e 'materiais e tecnologia' apresentam pouco detalhamento; destaca-se, no entanto, o primeiro como elemento chave do processo de design e o segundo como componentes da solução provisória do produto. Já as fases de 'experimentação', 'modelo', 'verificação' e 'desenho construtivo' servem para comprovar a solução provisória, culminando no produto final, o qual denomina-se a etapa 'solução'.

Mello (2011, p.27) destaca que esse método é mais adequado para designers menos experientes e em períodos iniciais de projeto, devido a sua simplicidade e clareza; no entanto o método se mostra incompleto e não representativo de um projeto real com fluxos e interações mais complexas.

2.3.4 Norton

Norton (2013, p.5) descreve metodologia de projetos como “essencialmente um exercício de criatividade aplicada”, as quais ajudam a resolver problemas com definição vaga e com um grande número de soluções possíveis. A metodologia proposta pelo autor consiste em dez passos, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Metodologia proposta por Norton

1. Identificação da necessidade
2. Pesquisa de suporte
3. Definição dos objetivos
4. Especificação das tarefas
5. Síntese
6. Análise
7. Seleção
8. Projeto detalhado
9. Protótipo e teste
10. Produção

Fonte: Norton (2013, p.6)

A primeira etapa, “Identificação da necessidade”, consiste em uma definição vaga e mal definida do problema, a qual é melhor definida e compreendida após uma coleta de informações realizada na etapa 2, “Pesquisa de suporte”. Dessa maneira, estabelece-se o “Objetivo” (etapa 3) de forma melhor caracterizada.

A criação de uma “Especificação de tarefas” (4) delimita o alcance do problema, levando a etapa de “Síntese” (5), na qual o maior número possível de concepções é gerado; a partir das possíveis concepções realiza-se a “Análise” (6) das mesmas e a “Seleção” (7) da mais promissora.

A realização do “Projeto Detalhado” (8) da concepção selecionada engloba a realização de croquis de engenharia, identificação de fornecedores e especificações

de engenharia, de modo a construir e testar um protótipo (etapa 9) o qual posteriormente será produzido em série (etapa 10).

O autor destaca ainda que, embora o processo seja apresentado na forma de etapas sequenciais, a metodologia não pode ser concluída de forma linear, mas sim de maneira iterativa. A geração de soluções aproveitáveis é sujeita a uma série de redefinições, reavaliações e novas concepções até culminar no produto final a ser fabricado.

2.3.5 Considerações sobre as Metodologias de Projeto de Produto

De maneira geral, todas as metodologias analisadas apresentam divisão em etapas, o que torna o aprendizado mais fácil e funciona como guia de verificação durante o andamento do projeto. Além disso, todas possuem três momentos bem definidos: pré concepção, concepção e pós concepção (SANTOS, 2005, p.67).

O Quadro 1 compara de maneira qualitativa as metodologias apresentadas, baseado na análise realizada por Mello (2011, p.32).

Quadro 1 - Análise das Metodologias Apresentadas

Metodologia	Pontos Positivos	Pontos Negativos	Enfoque
Pahl e Beitz	Detalhamento da fase de concepção; Representação dos fluxos de projeto	Não aborda mercado, gestão e estratégia	Tecnologia Engenharia
Baxter	Abordagem estratégica; Relação com investimento e experiência de mercado	Etapa de concepção pouco elaborada; Dificuldade para <i>designers</i> iniciantes	Negócios / Estratégia Design
Munari	Adequado para <i>designers</i> iniciantes; Fácil entendimento	Estrutura superficial; Não aborda mercado, gestão e estratégia	Processo Criativo <i>Design</i>
Norton	Parte técnica apurada	Não aborda gestão	Projeto de Máquinas Engenharia

Fonte Adaptada: Mello (2011)

As metodologias desenvolvidas integram uma série de características – criatividade, rigor processual, inovação e planejamento, visão sistêmica – as quais se

complementam e desempenham papel importante no sucesso do desenvolvimento do produto, aumentando a qualidade e diminuindo as incertezas associadas ao projeto (MELLO, 2011, p.31).

Deve-se ressaltar, porém, que embora os diferentes autores afirmem que fatores externos interferem no andamento do projeto, e que iterações sucessivas são muitas vezes necessárias, nenhuma das metodologias apresenta uma estrutura aberta e planejada com espaços bem definidos de recepção e adaptação frente essas interferências; pelo contrário, todas apresentam estruturas fechadas, com início, meio e fim delimitados. (SANTOS, 2005, p. 67-68).

Considerando a natureza do projeto a ser desenvolvido na empresa, torna-se inevitável a presença de alguns fatores – disponibilidade de material, limitação de custos, processos de fabricação disponíveis – que interferem e restringem o desenvolvimento das soluções.

Assim, extrai-se do estudo das metodologias para o trabalho principalmente a estrutura de verificação de etapas que as mesmas possuem e a integração de princípios essenciais de desenvolvimento – criatividade, inovação, planejamento e visão sistêmica. No entanto, faz-se necessário a complementação das metodologias de projeto com a análise de estratégias específicas voltadas para o desenvolvimento de dispositivos de soldagem, de modo a acomodar os fatores externos restritivos particulares a situação em que o projeto é desenvolvido.

2.4 Desenvolvimento de Dispositivos de Soldagem

De acordo com a Fundação Brasileira de Tecnologia da Soldagem – FBTS (2003), um dispositivo de soldagem suporta as partes a serem soldadas, garantindo a conformidade dos itens mediante posicionamento e apoio dos mesmos. Boyes e Bakerjian (1989) elucidam que dispositivos de soldagem podem realizar funções diversas, como guia de posicionamento e suporte de fixação dos componentes para garantir as especificações de produto.

A mudança brusca de temperatura característica do processo de soldagem de componentes induz tensões térmicas na peça, as quais resultam em variações dimensionais (dilatação e contração térmica); nesse contexto, a utilização de dispositivos de soldagem é fundamental para minimizar a distorção e deformação dos componentes (SOARES, 2006, p.15).

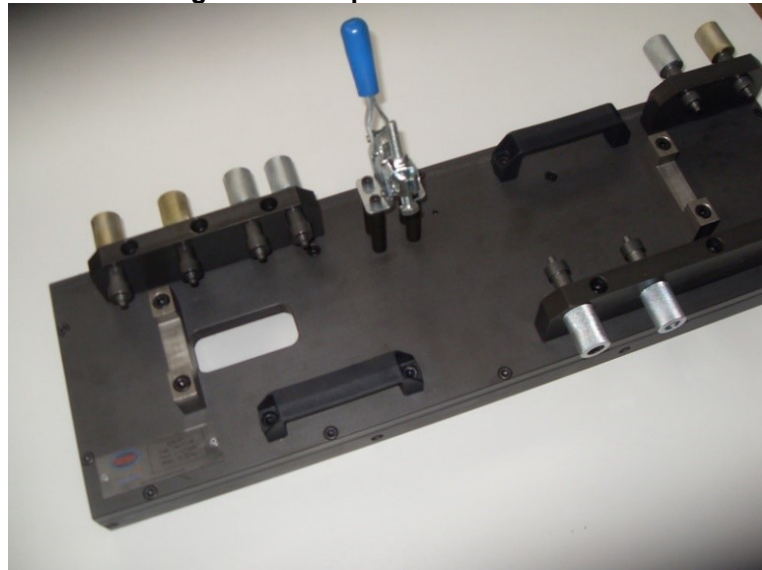
Silva (2015, p. 22) adiciona que a utilização de dispositivos de soldagem possibilita economia na produção, uma vez que permite mais agilidade na operação e diminui a necessidade de qualificação da mão de obra.

2.4.1 Tipos de Dispositivos de Soldagem

De acordo com o tipo de aplicação na soldagem e configuração do conjunto, pode-se classificar os dispositivos de soldagem em quatro categorias principais: Dispositivos para **Bancada**, Dispositivos **Semiautomáticos**, Dispositivos para **Solda Robotizada** e Dispositivos com **Sistema Modular**.

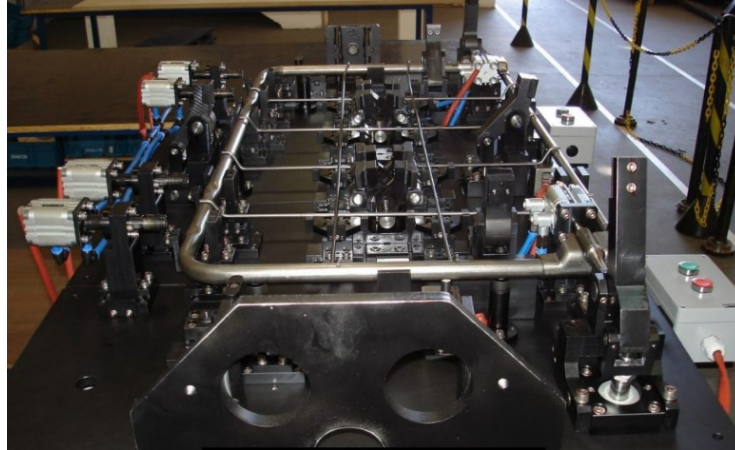
Os dispositivos de **bancada** consistem em soluções de pequeno porte, destinados para facilitar e agilizar a soldagem de componentes menores. Para isso, são usualmente depositados em mesas ou bancadas de trabalho (JUNG, 2015, p.21). A Figura 14 apresenta um dispositivo de bancada.

Figura 14 - Dispositivo de Bancada



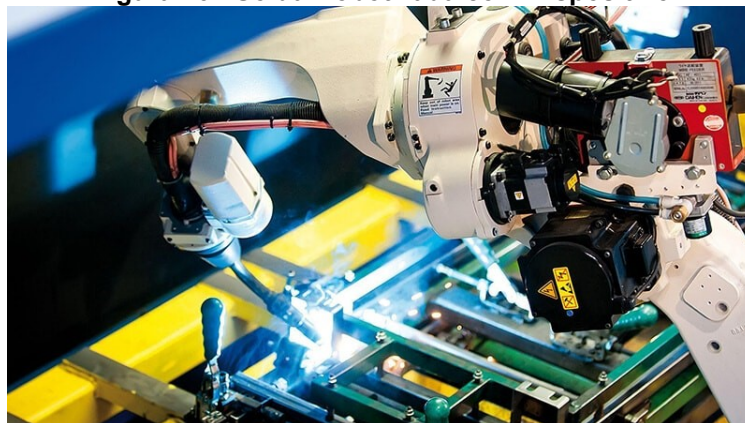
Fonte: Jpr Ferramentaria & Dispositivos (2021)

Os dispositivos **semiautomáticos** funcionam mediante alimentação automática de componentes como pinos, grampos de fixação e batentes, frequentemente combinados com movimentação de mesa ou estrutura, fornecendo agilidade no processo (JUNG, 2015, p.20). A Figura 15 apresenta um exemplo de dispositivo de soldagem semiautomático.

Figura 15 - Dispositivo Semiautomático

Fonte: Torque Metal (2011)

A American Welding Society – AWS – define a **soldagem robotizada** como um processo de solda realizado por um equipamento (e.g robô, manipulador) programado, sem ajuste ou controle por parte do operador da solda após início do processo. O posicionamento adequado dos itens se torna essencial para que o processo de soldagem possa ocorrer ininterruptamente; desse modo são utilizados dispositivos que variam de mesas estacionárias simples com grampos manuais a sistemas motorizados de alta complexidade (MOTA¹, 1992 *apud* DEVES, 2019, p.17). Bracarense *et al.* (2002) defendem o uso de gabaritos simples e eficientes, dando preferência para a soldagem na posição plana ou horizontal, todavia reconhecem que soluções mais complexas envolvendo mesas giratórias têm sido muito utilizadas. A Figura 16 apresenta um exemplo de solda robotizada com dispositivo.

Figura 16 - Solda Robotizada com Dispositivo

Fonte: Codinter (2018)

¹ MOTA, J.C. Robôs com Periférias Padronizadas Simplificam Operações em Soldagem. Revista Soldagem & Materiais, ABS, Vol. 4 - N° 1. P. 21 -24, Jan./Mar 1992.

A soldagem utilizando dispositivos com **sistema modular** é característica em processos de manufatura que demandam flexibilidade e produção altamente diversificada de produtos. Os dispositivos modulares surgem como substitutos para os chamados dispositivos **dedicados** (*i.e.* dispositivos específicos para uma única peça com um único *setup*) em situações que os últimos não se mostravam eficientes (PRICE, 2009).

Os sistemas para o desenvolvimento de dispositivos de soldagem modulares apresentam uma estrutura relativamente similar, tendo como base uma mesa ou superfície contendo furos quadrados ou redondos. A metodologia proposta pela empresa alemã Demmeler é atualmente a mais difundida e consiste de uma mesa com furos redondos distribuídos uniformemente, somados a elementos de fixação (e.g grampos e parafusos) e elementos de localização (e.g buchas, pinos). A Figura 17 apresenta uma mesa Demmeler de soldagem e acessórios diversos de apoio. Já o Quadro 2 resume os diferentes tipos de dispositivos de soldagem.

Figura 17 - Mesa Demmeler e Acessórios



Fonte: Demmeler (2021)

Quadro 2 - Tipos de Dispositivos de Soldagem

Tipo de Dispositivo	Tamanho de Conjunto soldado	Automatização	Dispositivo Dedicado?	Principais Características
Bancada	Pequeno	Não	Sim	Soldagens de pequeno porte, dedicado a uma única peça
Semiautomáticos	Médio ou Grande	Sim (parcial)	Sim	Alimentação automática de componentes
Soldagem Robotizada	Todos	Sim	Sim	Produtividade elevada, soluções diversas
Modular	Todos	Não	Não	Alta flexibilidade, reconfiguração para soldagem de diversos conjuntos

Fonte: O Autor² (2022)

2.4.2 Componentes de Dispositivos de Soldagem

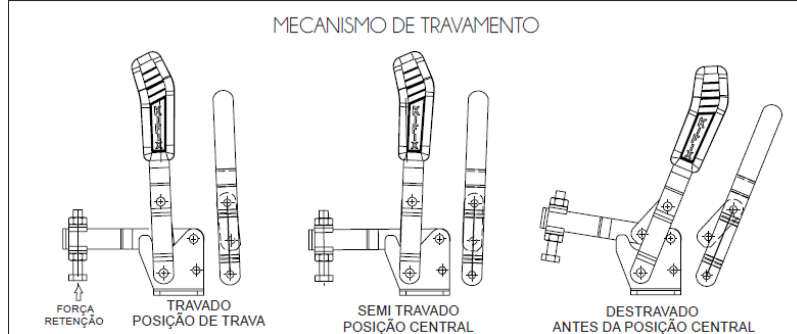
De modo a garantir o posicionamento e as especificações dimensionais dos itens soldados, os dispositivos – de modo geral – apresentam alguns componentes característicos em sua construção; todavia deve-se ressaltar que a construção dos dispositivos é fortemente atrelada às particularidades de cada conjunto a ser soldado, resultando em alta variabilidade de soluções desenvolvidas.

a) Grampos de Fixação: Originados em 1936, nos Estados Unidos, são compostos por um mecanismo de articulação em 3 pontos denominado “ação de joelho ou cotovelo”, gerando uma força de retenção ao ser acionado, travando mecanicamente o componente a ser fixado (KIFIX, 2021). São fabricados em diversas configurações possíveis (e.g. horizontal, vertical, torpedo, entre outros) e métodos de acionamento (e.g. manual, hidráulico). A Figura 18 apresenta o funcionamento do

² Ilustrações e tabelas sem indicação de fonte são de autoria própria.

mecanismo de travamento dos grampos de fixação. A Figura 19, por sua vez, apresenta um exemplo de utilização prática simples de grampos de fixação.

Figura 18 - Mecanismo de Travamento de Grampos de Fixação



Fonte: Kifix (2021)

Figura 19 - Utilização de Grampos de Fixação



Fonte: Kifix (2021)

b) Centradores e Localizadores: geralmente de formato similar a peça a ser soldada, esses itens são frequentemente utilizados na construção de dispositivos, auxiliando na localização e facilitando o processo de posicionamento por parte do soldador (JUNG, 2015, p. 17). Podem ser pinos, eixos de centragem, ou mesmo a contra peça do item a ser soldado.

c) Batentes ou Encostos: de formatos diversos de acordo com o componente a ser soldado, são utilizados de modo a reter os itens, posicionando-os de acordo com as especificações desejadas (ibidem, p.18).

A Figura 20 apresenta uma modelagem 3D de um dispositivo de soldagem identificando os diferentes tipos de componentes que o constituem. Já a Figura 21 apresenta o modelo físico do dispositivo.

Figura 20 - Modelo 3D de Dispositivo de Soldagem

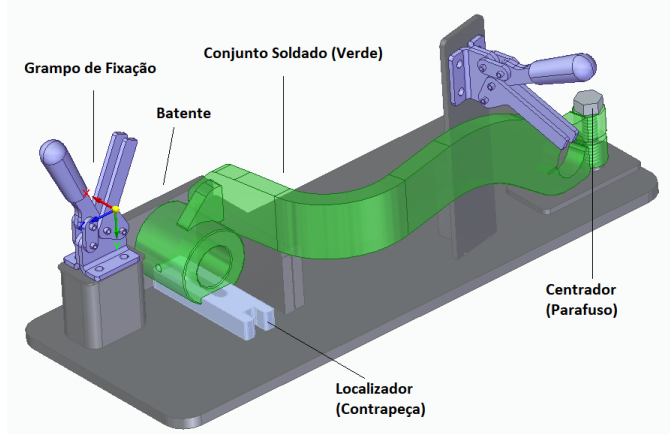


Figura 21 - Dispositivo Físico



2.4.3 Materiais para Fabricação de Dispositivos

Segundo Campbell (1959, p.8) os dispositivos destinados a soldagem apresentam duas características principais: a precisão na construção do dispositivo determina o posicionamento adequado do conjunto soldado e o dispositivo de solda – ao contrário de dispositivos de usinagem ou montagem – deve resistir a altas temperaturas sem ser danificado ou distorcido.

A escolha do material é um dos aspectos iniciais a ser considerado na construção dos dispositivos de soldagem. O dispositivo necessita ser condutor de eletricidade para acomodar o processo de soldagem; conseqüentemente evita-se o uso de materiais polímeros e compósitos na construção, uma vez que além de serem não condutores, apresentam baixa resistência à temperatura. Estruturas de alumínio também são pouco recomendadas devido ao seu ponto de fusão relativamente baixo, o que pode causar distorções na estrutura (ibidem, p.9).

Desse modo, o aço é a escolha mais comum para a construção de dispositivos. O material possui condutibilidade elétrica satisfatória para o processo, alta resistência a temperatura e resistência mecânica suficiente para não ter distorções dimensionais, garantindo assim as propriedades dimensionais do conjunto soldado. Além disso, é um material acessível, o que garante redução nos custos e facilita produções em maiores quantidades.

Alguns tipos de aço possuem maior utilização na fabricação de dispositivos em geral, dos quais destacam-se:

a) Aços Rápidos: contém teores apreciáveis de tungstênio (até 18%), cromo (até 5%) e carbono (0,7-1,2 %), possuindo elevada dureza, resistência ao desgaste e a temperatura. Sua aplicação, todavia, é comumente direcionada para a fabricação de ferramentas para furação, alargadores e usinagem (OKPALA; OKECHUKWU, 2015, p. 216);

b) Aços para trabalho a frio: contém altos teores de cromo (até 12,5%) e carbono (1,5 - 2,0%), possuindo elevada resistência ao desgaste e a abrasão, assim como boa tenacidade e temperabilidade. Utilizados comumente para matrizes de corte e estampagem (SILVA; MEI, 1988, p. 459 – 460);

c) Aços para trabalho a quente: contém teores menores de carbono (0,3 – 0,55%) quando comparados com os aços para trabalho a frio; o teor de cromo também é menor (até 5,3%), todavia são inseridos teores mais significativos de molibdênio e vanádio (até 2,8% e 1%, respectivamente). Possuem elevada resistência a fadiga térmica e à ação de metais fundidos. Suas aplicações típicas incluem moldes para fundição, lâminas para corte a quente e moldes para plásticos (ibidem, p.463-464);

d) Aços médio e alto carbono: possuem maior teor de carbono (>0,45%) e, devido a sua temperabilidade, são comumente utilizados para componentes de dispositivos sujeitos ao desgaste, como localizadores e buchas (OKPALA; OKECHUKWU, 2015, p. 216);

e) Aços baixo carbono: aços com teor reduzidos de carbono (menor que 0,3%). Material barato e amplamente encontrado, sendo o material mais utilizado para a construção de dispositivos e estruturas sujeitas a pouco desgaste e baixos esforços devido sua viabilidade econômica (JOSHI, 2010, p. 5-6).

O Quadro 3 resume as principais características dos tipos de aços apresentados.

Quadro 3 - Principais Aços para Construção de Dispositivos

Tipo de Aço	Teor de Carbono (%)	Elementos de Liga Significativos	Características Principais	Aplicações Comuns
Aço Rápido	0,7 – 1,2	Tungstênio, Cromo	Dureza, Resistência ao Desgaste e Temperatura	Ferramentas de Furação, Alargadores, Usinagem
Trabalho a frio	1,5 – 2,0	Cromo	Resistência ao Desgaste e Abrasão, Tenacidade	Matrizes de Corte e Estampagem
Trabalho a quente	0,3 - 0,55	Cromo, Vanádio, Molibdênio	Resistência à Fadiga Térmica, Resistência à Metais Fundidos	Moldes de Fundição, Ferramentas de Laminação a Quente
Médio e Alto Carbono	> 0,45	-	Temperabilidade, Resistência ao Desgaste	Construção Mecânica em geral, peças sujeitadas a desgaste
Baixo Carbono	< 0,3	-	Baixo Custo, Menor Resistência a Desgaste e Esforços Mecânicos	Construção Mecânica em Geral

2.4.4 O CAD 3D no Desenvolvimento de Dispositivos

A utilização de ferramentas computacionais atualmente faz parte da maioria dos setores empresariais de desenvolvimento de produtos, diminuindo significativamente o tempo necessário para se desenvolver novos projetos (FOGGIATTO; VOLPATO; BONTORIN, 2007, p.1). Speck (2005, p.34) acrescenta que as representações gráficas em 3D assumem papel cada vez mais destacado nas áreas de projeto e design, devido a facilidade e aplicabilidade diversa que os *softwares* atuais proporcionam.

Foggiatto, Volpato e Bontorin (2007, p. 2) destacam a versatilidade dos softwares CAD 3D e sua capacidade de interagir com outras áreas. Dentro de suas possibilidades se destacam a capacidade de auferir propriedades volumétricas e de massa, realização de montagens de componentes com análise de suas relações (e.g interferências), gerar desenhos de fabricação, entre outros.

A utilização de ferramentas CAD é a abordagem majoritariamente aplicada para o desenvolvimento de dispositivos de soldagem (SEGAL; ROMANESCU; GOJINETCHI, 2001). A aplicação de ferramentas computadorizadas no projeto de dispositivos auxilia o projetista a identificar problemas em potencial e experimentar diferentes ideias sem a necessidade de construir fisicamente a solução. Além disso, os programas CAD apresentam informações sobre tolerâncias, forças envolvidas e principais propriedades de materiais, o que possibilita uma série de simulações e análises de múltiplas configurações de dispositivos de soldagem (PRICE, 2009, p. 2).

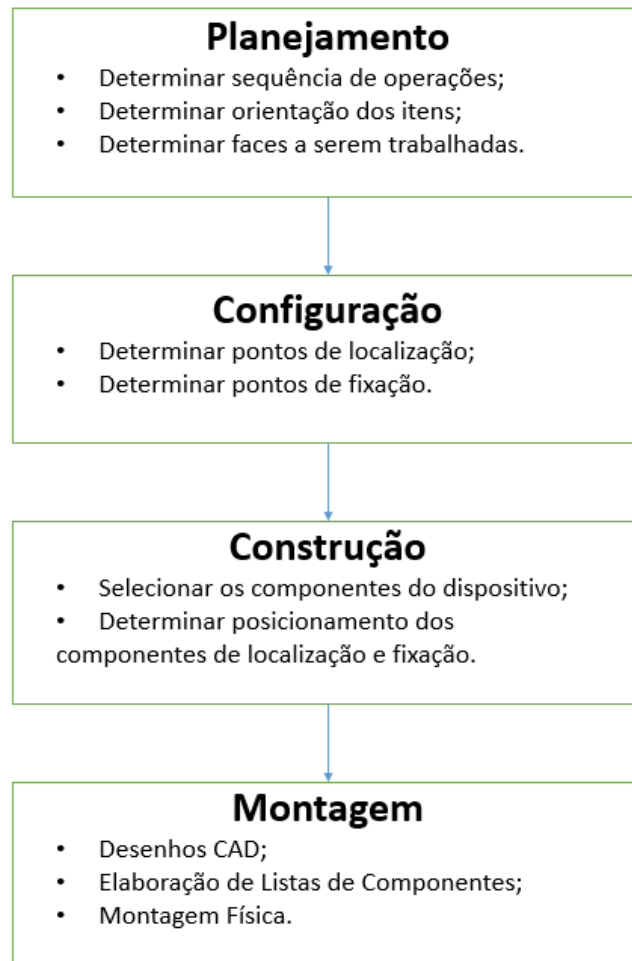
Além disso, a utilização dos programas CAD possibilita a criação de uma biblioteca de recursos, contendo componentes de dispositivos de uso comum e repetido (grampos, localizadores, batentes); dessa forma, o projetista acessa e insere tais componentes em sua modelagem de maneira dinâmica, reduzindo consideravelmente o tempo de projeto das soluções desenvolvidas. (SEGAL; ROMANESCU; GOJINETCHI, 2001).

2.4.5 Metodologias de Desenvolvimento para Dispositivos de Soldagem

Com a evolução da capacidade dos softwares de modelagem, algumas metodologias para desenvolvimento de dispositivos auxiliado por computador – processo denominado *Computer Aided Fixture Design* (CAFD) – foram criadas, de modo a auxiliar projetistas nos estágios de desenvolvimento de soluções (ZHANG; MU, 2012, p.1421).

Segal, Romanescu e Gokinetchi (2001, p.152) apresentam uma metodologia de desenvolvimento de dispositivos consistida por 4 etapas, como mostrado na Figura 22. Inicia-se o *design* com o planejamento da operação, estabelece-se a configuração dos elementos de fixação, realiza-se a etapa de construção do modelo em CAD para então, na etapa de montagem, desenvolver o dispositivo físico.

Figura 22 - Metodologia proposta por Segal, Romanescu e Gokinetchi

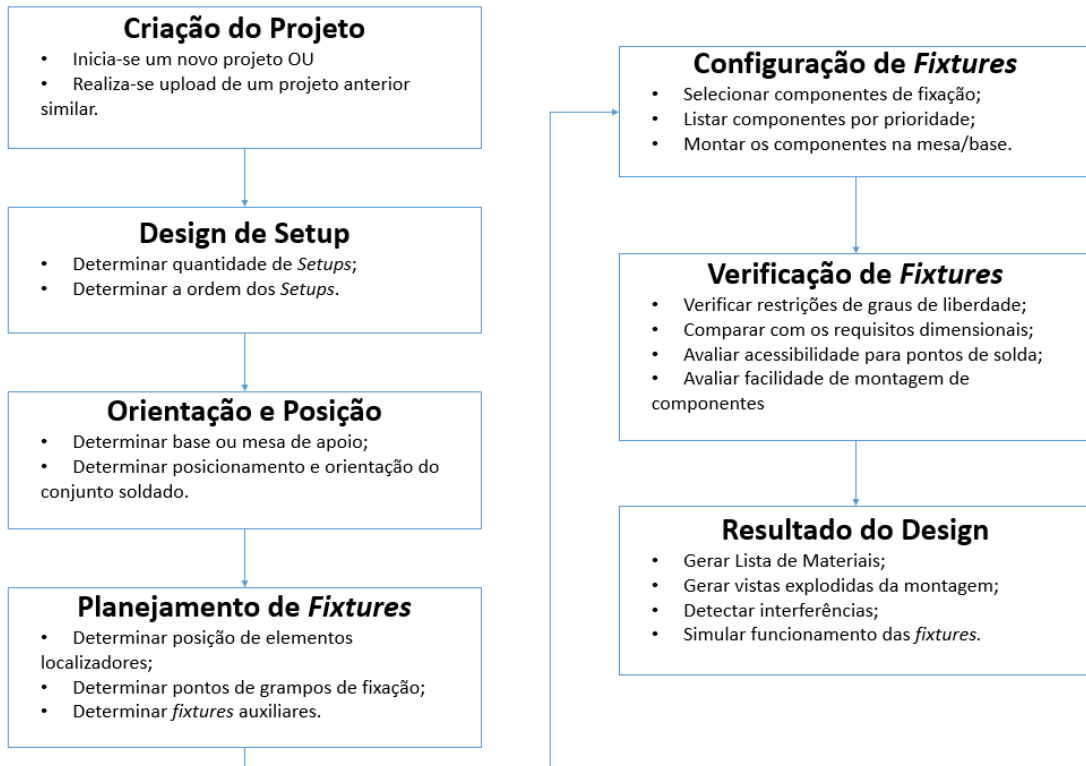


Fonte: Adaptado de Segal, Romanescu e Gokinetchi (2001, p. 152)

A metodologia apresentada por Zhang e Mu (2012, p.1422) apresenta mais etapas, segmentando o processo de desenvolvimento de dispositivos em um maior nível de detalhamento. A Figura 23 apresenta a metodologia desenvolvida pelos autores. Destaca-se a presença de uma etapa de verificação, não presente na metodologia anterior, altamente relevante para o correto funcionamento e garantia de propriedades entre dispositivo e componente soldado.

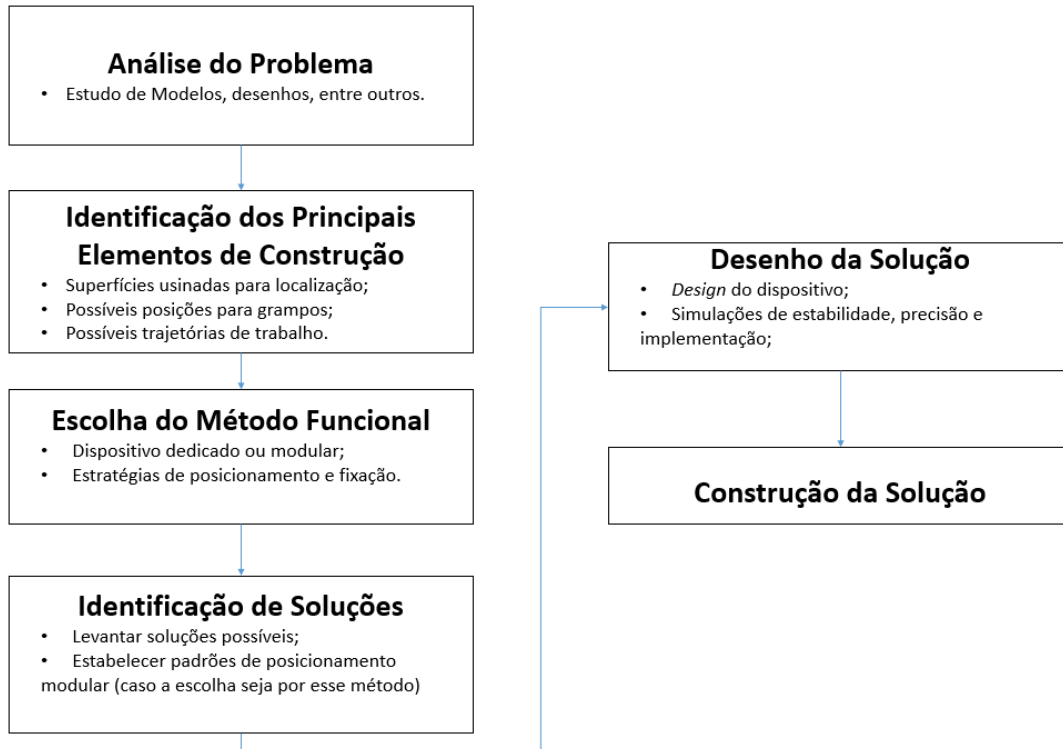
Por fim, Krsulja, Barisic e Kudlacek (2009, p. 3-4) propõem uma metodologia com foco para o design modular, porém também aplicável em dispositivos dedicados. A Figura 24 apresenta um fluxograma explicativo da metodologia.

Figura 23 - Metodologia proposta por Zhang e Mu



Fonte: Adaptado de Zhang e Mu (2012, p.1422)

Figura 24 - Metodologia proposta por Krsulja, Barisic e Kudlacek



Fonte: Adaptado de Krsulja, Barisic e Kudlacek (2009, p.3-4)

2.5 Considerações sobre a Fundamentação Teórica

O cenário de modernização agrícola no Brasil torna o país um local propício para a introdução e desenvolvimento de técnicas e equipamentos de cada vez mais modernos. Nesse contexto, uma empresa de Curitiba buscou fabricar o primeiro protótipo de pulverizador agrícola em território nacional, atendendo a crescente demanda por insumos de alta tecnologia e qualidade na agricultura. A complexidade e volume de componentes da máquina, porém, torna a soldagem de seus conjuntos complexa, sendo necessários dispositivos que viabilizassem a fabricação.

Uma vez que a proposta de projeto de pesquisa buscou desenvolver dispositivos que viabilizem a fabricação de componentes, compreender algumas das principais metodologias de desenvolvimento de produto é essencial para que o procedimento a ser empregado no trabalho possuísse fundamentos sólidos que garantam o sucesso da solução proposta. Mello (2011), no entanto, afirma que não existe metodologia que atenda todas as necessidades possíveis. Logo deve-se compreender que os fundamentos fornecidos pelas metodologias apresentadas deveriam ser adequados à realidade particular na qual o projeto está inserido.

Dessa forma, fez-se necessário a análise dos principais aspectos relacionados com o desenvolvimento e construção de dispositivos de soldagem. Esses podem ser divididos em quatro tipos principais, sendo três deles (bancada, semiautomáticos e solda robotizada) configurados de maneira **dedicada** a uma peça, enquanto o quarto tipo apresenta configuração **modular**. A primeira configuração se caracteriza por serem destinadas a uma única peça e um único *setup*, apresentando diminuição de custos e aumento de produtividade em lotes maiores. Já a configuração modular se caracteriza por sua flexibilidade, sendo ideal para pequenos e médios lotes, uma vez que podem ser reconfigurados e adaptados para outras situações. Essas características direcionaram a escolha do método funcional da solução.

Dispositivos de soldagem em geral apresentam alguns componentes em comum: grampos de fixação, centradores, localizadores e batentes. Além disso, são fabricados majoritariamente em aço devido às propriedades inerentes ao material. Aspectos como aplicação, esforços na utilização, disponibilidade e custo de aquisição determinam a escolha do tipo de aço mais adequado para a fabricação dos dispositivos projetados, sendo os aços carbono a escolha principal para os dispositivos de soldagem – médio e alto carbono para dispositivos sujeitos a desgaste

e tensões consideráveis, baixo carbono para aplicações de menores esforços envolvidos.

O CAD 3D é a principal ferramenta para projeto de dispositivos. Suas características e versatilidade de aplicação diminuem o tempo de projeto, possibilitam a execução de simulações, fornecem informações sobre material e reduzem o custo de projeto. Voltadas para a utilização de modelagem 3D, algumas metodologias utilizadas para o desenvolvimento específico de dispositivos de soldagem foram desenvolvidas. Essas metodologias possuem caráter mais específico, com etapas próprias para o processo de soldagem (e.g. posicionamento em mesa, obtenção de pontos de fixação, *setup* do processo). A combinação dos princípios de ambas as estratégias preenche lacunas que podem não ser abordadas nas metodologias de projeto devido à particularidade do problema – desenvolver produtos específicos para a soldagem.

3 METODOLOGIA

Esta seção apresenta a metodologia que foi utilizada para o desenvolvimento dos dispositivos para a soldagem dos Quadros Centrais. Inicialmente lista-se as principais premissas, de modo a esclarecer o contexto de realização do projeto. Em sequência, são levantados os materiais e processos de fabricação disponíveis na esfera de aquisições da empresa, e também é apresentada a estratégia de modelagem tridimensional e a implementação das soluções.

3.1 Premissas Iniciais

Uma vez que a realização do trabalho se desenvolveu dentro de uma empresa, foi necessário esclarecer as condições iniciais que delimitaram e, conseqüentemente, direcionaram o andamento do projeto.

a) Após contato com a empresa matriz, descobriu-se que a produção dos conjuntos soldados na Alemanha é realizada através de empresas terceirizadas e, como o acesso aos métodos dos fornecedores estrangeiros não foi possível, desenvolveu-se soluções a partir “do zero”;

b) As soluções foram limitadas aos materiais e processos disponíveis na empresa e nos fornecedores já desenvolvidos; não houve desenvolvimento de novos fornecedores específicos para o projeto, tampouco aquisição de novos equipamentos para fabricação;

c) As soluções propostas foram planejadas para soldagem manual dos conjuntos. A empresa não emprega no presente momento soldagens robotizadas;

d) As soluções desenvolvidas tiveram como propósito a construção do primeiro protótipo de pulverizador e, subseqüentemente, níveis iniciais baixos de produção; considerou-se que a produção seriada e em massa dos conjuntos não está inclusa no escopo da empresa a curto prazo;

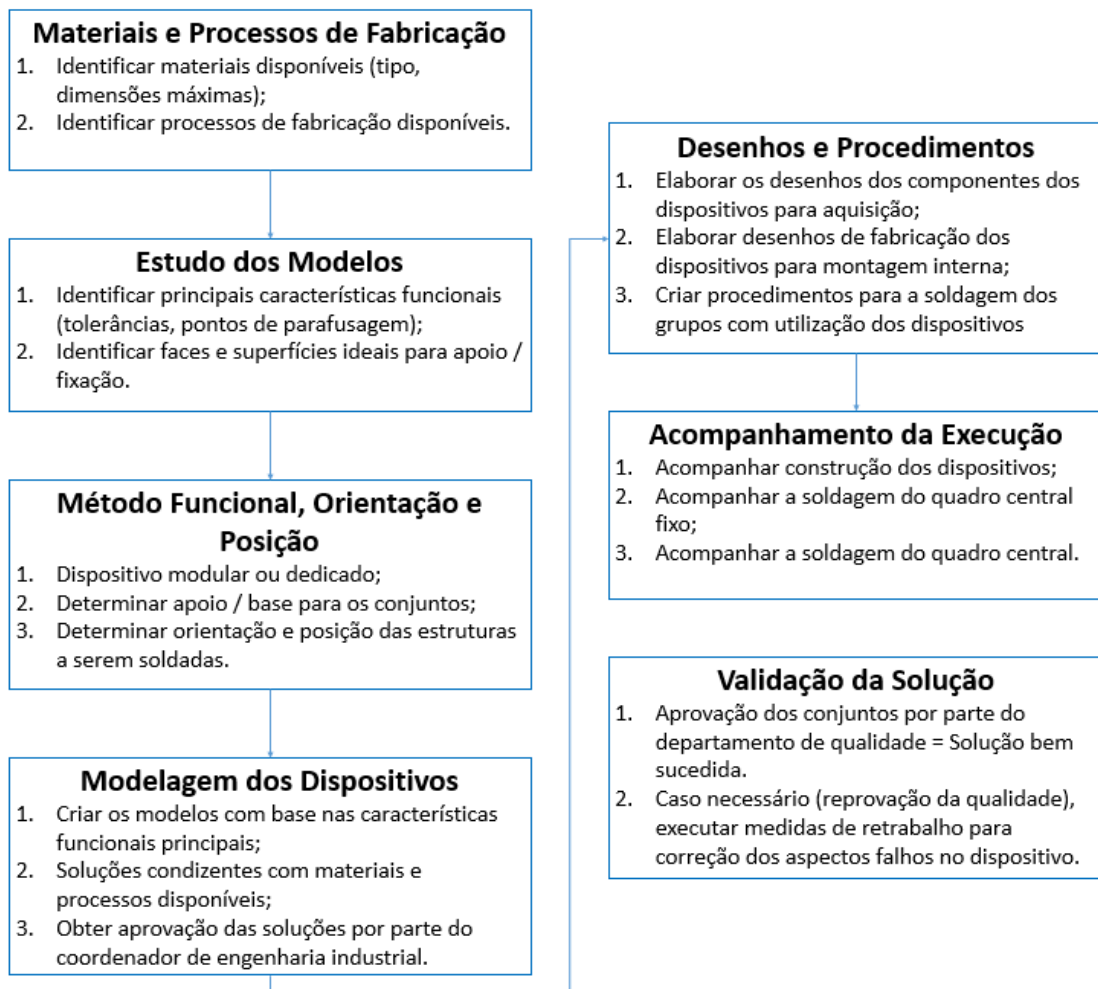
e) O desenvolvimento do trabalho ocorreu em paralelo a produção corrente da empresa; dessa forma, a utilização das estruturas da empresa para a fabricação do protótipo deveria se adequar às demandas por parte da produção seriada, como utilização de mesas, acessórios e disponibilidade dos soldadores.

3.2 Metodologia de Desenvolvimento de Dispositivos

Com base nas metodologias de projeto de produto e nas estratégias de desenvolvimento de dispositivos analisadas, desenvolveu-se uma metodologia para

conduzir a execução do projeto. Essa metodologia foi baseada principalmente na estruturação proposta por Krsulja, Barisic e Kudlacek (2009); todavia, foram adicionadas uma etapa de identificação inicial de materiais e processos, assim como etapas de acompanhamento e validação posteriores a fabricação dos dispositivos. A Figura 25 apresenta um fluxograma ilustrativo da metodologia empregada.

Figura 25 - Metodologia empregada no projeto



3.2.1 Materiais e Processos de Fabricação

A primeira etapa consistiu na identificação dos materiais e processos de fabricação disponíveis. Embora autores como Pahl e Beitz (1996) e Baxter (1998) apontem a especificação de materiais e processos como uma etapa posterior a sugestões de conceitos e projetos preliminares de solução, foi identificado como componente essencial da clarificação do problema, a limitação de materiais e processos, uma vez que a geração de conceitos e projetos preliminares fora do escopo de aquisições da empresa estão fora do escopo desse trabalho.

Entre os aspectos relevantes para a identificação dos materiais a serem utilizados, citam-se:

- a) disponibilidade do material no escopo de aquisição da empresa;
- b) custo de aquisição;
- c) esforços a serem suportados pelo material.

Para os processos de fabricação, foram elencados os diferentes tipos de operações disponíveis na gama de fornecedores da empresa (e.g usinagem, corte laser, entre outros). Com a elaboração da lista de processos disponíveis para a utilização, a modelagem pode ser realizada de maneira já planejada para a fabricação, reduzindo assim o tempo total de projeto e de confecção dos dispositivos.

3.2.2 Estudo dos Modelos

A segunda etapa – análoga às etapas 1 e 2 propostas por Krsulja, Barisic e Kudlacek (2009) - foi o estudo dos modelos 3D dos conjuntos a serem soldados. Recebeu-se do setor de engenharia de produto a modelagem tridimensional dos componentes prontos, e buscou-se identificar características e especificações-chave dos conjuntos (e.g. pontos de montagem, superfícies adequadas para apoio e fixação, tolerâncias principais, entre outros).

3.2.3 Método Funcional, Orientação e Posição

A terceira etapa consistiu na escolha do método funcional – dispositivo dedicado ou modular (KRSULJA, BARISIC; KUDLACEK, 2009) -, na escolha do método de apoio/base para as soluções e na orientação do conjunto de soldagem (etapa 3 de Zhang e Mu, 2012).

A escolha do método funcional, orientação e posicionamento foi baseada em alguns fatores:

a) contexto da fabricação - como identificado nas premissas, a solução desenvolvida é voltada para a produção do protótipo e volumes iniciais de produção baixos; além disso, a solução deveria ser desenvolvida para a soldagem manual dos conjuntos;

b) disponibilidade de acessórios para configuração modular - a utilização de configuração modular só seria possível com a presença de uma mesa voltada para esse tipo de *setup*;

c) a orientação e posicionamento dos conjuntos deve ser realizada de modo que esses ficassem bem apoiados e estáveis durante a fabricação, e que também possibilitasse o acesso por parte do soldador a todos os pontos de soldagem necessários.

3.2.4 Modelagem dos Dispositivos

A quarta etapa foi a modelagem tridimensional das soluções. Com base na estratégia de modelagem determinada na etapa 3, as principais especificações do produto da etapa 2 e os materiais e processos disponíveis na etapa 1, foram modeladas soluções para a soldagem dos componentes. Uma vez que o processo de desenvolvimento bem-sucedido de projetos é fortemente dependente da experiência do projetista, a aprovação dessa etapa é realizada pelo supervisor da empresa.

Para a modelagem foi utilizado o *software* de CAD 3D SolidEdge, atualmente utilizado na empresa. O programa possui todas as capacidades apontadas por PRICE (2009) que tornam os *softwares* CAD as ferramentas ideais para projetos de dispositivos, como ferramentas de verificação de interferência, simulações de movimento e principais propriedades de diversos materiais. Além disso, no *software* já se encontrava configurada uma biblioteca de recursos com os componentes padrão de maior utilização na empresa, o que reduz o tempo necessário para a realização das modelagens.

No ambiente do *software*, foram projetadas e simuladas diferentes soluções de dispositivos, assim como analisados alguns dos principais aspectos dos conjuntos, como o peso da estrutura soldada, dimensões máximas dos quadros e sua adequação nos dispositivos, assim como acessibilidade aos pontos de soldagem por parte do soldador.

3.2.5 Desenhos e Procedimentos

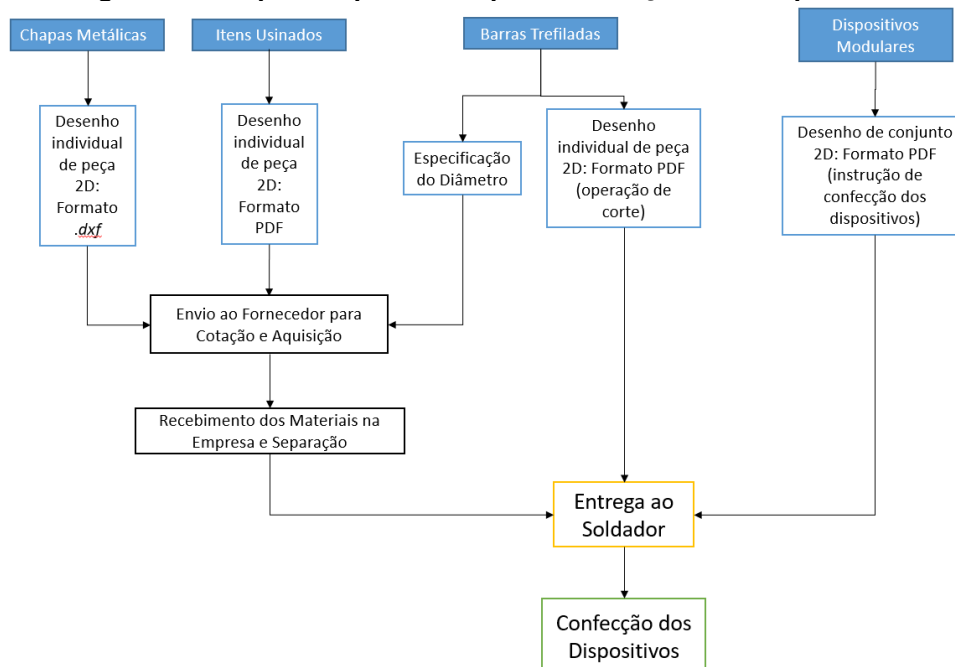
A quinta etapa foi a elaboração dos desenhos de fabricação das soluções, assim como a criação de procedimentos de utilização dos dispositivos para a soldagem dos componentes. Além da fabricação, os desenhos também foram necessários para a aquisição dos itens.

Para os subcomponentes em chapas metálicas, foram gerados os desenhos 2D em formato *dxf* de cada um dos itens para a configuração da máquina de corte

laser por parte do fornecedor. Para os itens usinados, foram geradas as vistas 2D dos componentes em PDF; já para as barras trefiladas, uma vez que já são adquiridas com diâmetro especificado, foi necessário somente o desenho para o corte no comprimento certo, realizado na própria empresa.

Para a fabricação dos dispositivos – também realizada na própria empresa -, foram realizados os desenhos dos conjuntos, visando transmitir ao soldador as medidas necessárias e detalhes importantes de maneira simples e clara. Cada dispositivo recebeu uma numeração, de modo a facilitar a utilização e o armazenamento posterior. A Figura 26 apresenta um fluxograma das etapas acima descritas.

Figura 26 - Etapas Preparatórias para Confeccção dos Dispositivos



A criação de procedimentos de utilização das soluções modeladas também foi realizada, de modo a orientar o soldador durante o procedimento de fabricação dos conjuntos soldados e garantir que a execução ocorra com o menor número possível de dúvidas, erros e medidas de correção.

3.2.6 Acompanhamento da Execução

A sexta etapa foi o acompanhamento da soldagem, a qual se dividiu em duas etapas: **a fabricação dos dispositivos** e, posteriormente, **a fabricação dos quadros** mediante a utilização dos dispositivos desenvolvidos. Nessa etapa, foi providenciado

aos soldadores assistência para eventuais dúvidas que os procedimentos de soldagem e os desenhos de fabricação não puderam resolver.

3.2.7 Validação da Solução

Com a finalização da soldagem dos quadros, foi realizada a inspeção dimensional por parte do departamento de qualidade da empresa. A aprovação dos conjuntos foi baseada na conferência de dimensões chave dos quadros centrais, indicadas pelo setor de engenharia de produto nos desenhos técnicos. A escolha das medições foi baseada nos pontos de montagem dos subconjuntos, como identificado na seção **4.2 - Estudo dos Modelos**, indicando as principais dimensões relevantes para a parafusagem de outros componentes e aberturas para o encaixe dos mesmos.

A medição dos conjuntos foi realizada com uma máquina de medição por coordenadas portátil Quantum Max Faro Arm. O equipamento realiza o dimensionamento dos conjuntos através de medição por contato com apalpadores (FARO, 2022). A Figura 27 ilustra o funcionamento do equipamento.

Figura 27 - Exemplo de Aplicação do Equipamento de Medição



Fonte: Faro (2022)

A aprovação dos conjuntos soldados pelo departamento de qualidade da empresa indica que os dispositivos cumpriram satisfatoriamente seu objetivo, demarcando assim o fim bem-sucedido do projeto. Em caso de reprovação por parte da qualidade, verifica-se os aspectos falhos do projeto e executa-se medidas corretivas no dispositivo para garantir o dimensionamento correto.

Com a metodologia a ser empregada para a execução do projeto estabelecida, puderam então ser realizadas as etapas descritas, as quais culminaram na soldagem dos Quadros Centrais.

4 RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos no desenvolvimento do trabalho. São apresentados os materiais e processos utilizados, a configuração de soldagem estabelecida, informações sobre a fabricação assim como os dados utilizados na validação das soluções.

4.1 Materiais e Processos de Fabricação

Considerando as características do projeto, as soluções desenvolvidas utilizaram aço de baixo carbono como material de fabricação, sendo o aço ASTM A36 e SAE 1020 as especificações consideradas. Uma vez que os dispositivos não se submetem a esforços mecânicos intensos e não sofrem ação de desgaste - com o esforço a ser suportado sendo somente o próprio peso dos conjuntos soldados -, os aços de baixo carbono mostram-se viáveis como material para confecção, especialmente devido a sua disponibilidade e baixo custo de aquisição.

Todos os materiais adquiridos possuíam certificação providenciada pelo fornecedor, atestando a veracidade de sua composição química e propriedades.

Os tipos de materiais escolhidos e disponíveis para utilização são:

a) Chapas Metálicas: com dimensões máximas de 4000x2000 mm, o uso de chapas mostra-se versátil e altamente presente no desenvolvimento de dispositivos. As espessuras encontradas para aquisição variam, com chapas finas (até 4 mm) encontradas em variações milimétricas; espessuras maiores (a partir de 3/16") são encontradas comumente com valores comerciais em frações de polegadas (i.e. 3/16", 1/4", 3/8" ...) até a espessura máxima recomendada para corte de 5/8".

b) Tubos Retangulares: encontrados normalmente em aço SAE 1020 com comprimento de 6 metros, os tubos retangulares podem ser utilizados de maneira versátil na construção de dispositivos como apoios, estruturas e limitadores. O Anexo A apresenta um catálogo com as principais dimensões disponíveis.

c) Perfis Usinados: pinos, eixos, buchas, blocos usinados são alguns dos itens englobados na esfera de fornecedores da empresa e que poderão ser utilizados no desenvolvimento. O material utilizado para o desenvolvimento das soluções foi o aço SAE 1020. Limitou-se o diâmetro dos itens torneados a Ø200 mm e peças fresadas a 860x460x520 mm.

d) Barras Redondas Trefiladas: adquiridas em comprimento padrão de 6 metros, possuem uma série de diâmetros disponíveis (em geral múltiplos de 1/16” ou, para diâmetros maiores, múltiplos de 5mm). Utilizou-se barras de aço SAE 1020.

e) Grampos e Elementos de Fixação: grampos de fixação, parafusos, chavetas, arruelas, entre outros elementos padronizados.

f) Mesa Demmeler + Acessórios: a empresa possui mesas Demmeler – mesas características do processo de soldagem modular que possuem furações redondas ao longo de sua extensão – além de uma série de acessórios que acompanham a mesa (e.g esquadros, parafusos, grampos).

A empresa possui uma gama de fornecedores que podem ser acionados para a aquisição de componentes. O Quadro 4 apresenta os processos disponíveis para a fabricação dos itens.

Quadro 4 – Processos de Fabricação Disponíveis

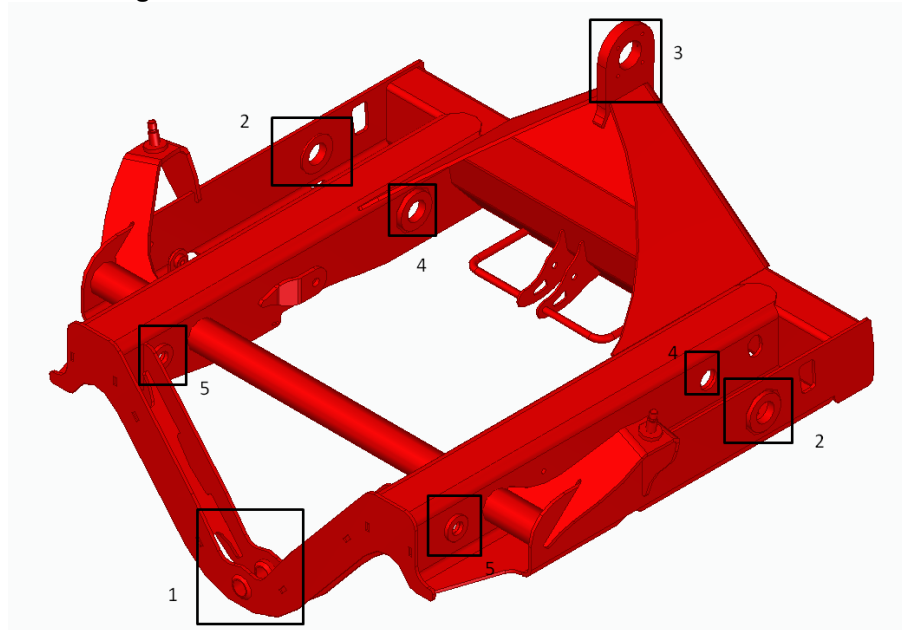
Processo
Corte a Laser – Chapas Metálicas
Corte a Laser e Serra Horizontal – Tubos
Usinagem CNC: Torneamento, Fresagem
Dobra – Chapas Metálicas
Trefilação – Barras Redondas
Soldagem (processo interno)

4.2 Estudo dos Modelos

Como elucidado na seção 1.2 – Caracterização do Problema, os Quadros Centrais são montados em uma estrutura (ver Figura 3) cuja finalidade é controlar as barras de pulverização, providenciar uma conexão entre as barras e o chassi principal, além de suportar componentes hidráulicos e pneumáticos. Assim, foram identificados como principais pontos de interesse os pontos de montagem entre os dois conjuntos, além dos pontos de conexão dos quadros com as barras de pulverização e com o chassi principal.

A Figura 28 ilustra os principais pontos de interesse para o **Quadro Central Fixo**. Já a Figura 29 apresenta a superfície plana de apoio identificada.

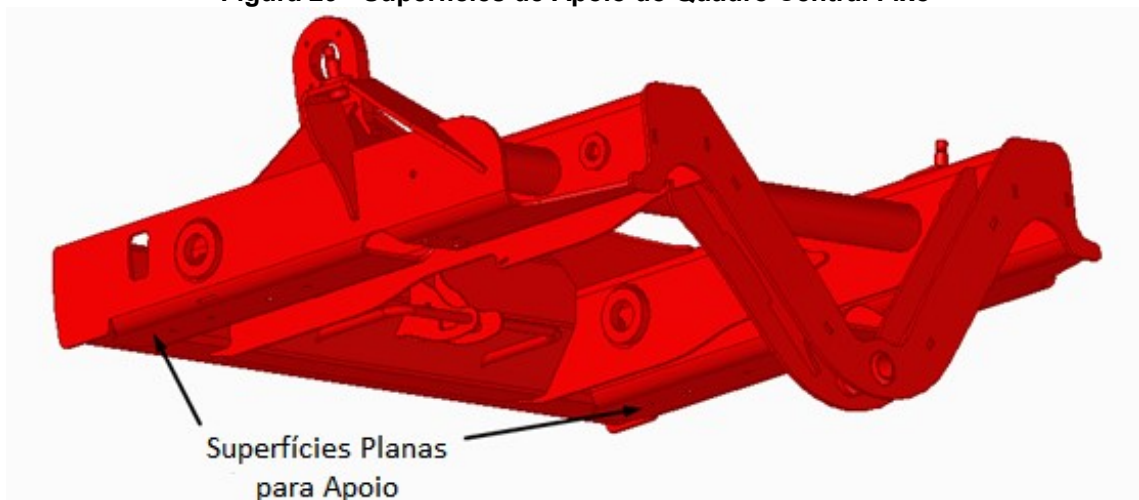
Figura 28 - Pontos de Interesse do Quadro Central Fixo



Em que as identificações correspondem a:

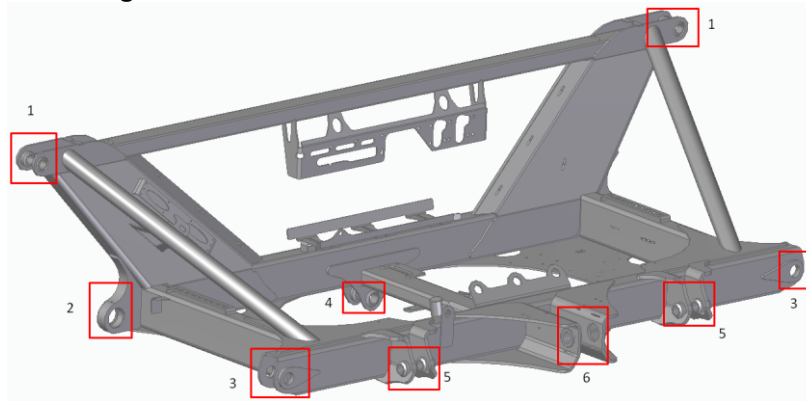
- 1, 2 e 3: Pontos de parafusagem com o Quadro Central;
- 4, 5 e 6: Pontos de parafusagem com a estrutura do Chassi Principal.

Figura 29 - Superfícies de Apoio do Quadro Central Fixo



De maneira análoga ao Quadro Central Fixo, as Figuras 30 e 31 apresentam os pontos de interesse e a superfície de apoio identificados para o **Quadro Central**.

Figura 30 - Pontos de Interesse do Quadro Central

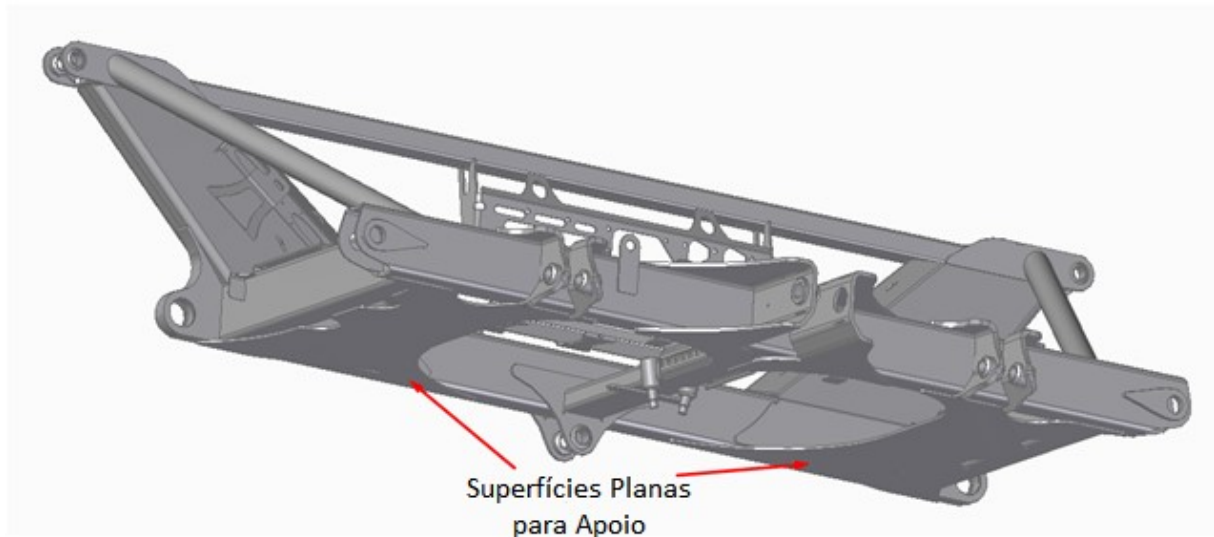


Em que as identificações correspondem a:

1, 2 e 3: Pontos de Parafusagem com as Barras de Pulverização;

4, 5 e 6: Pontos de Parafusagem com o Quadro Central Fixo.

Figura 31 - Superfícies de Apoio do Quadro Central



4.3 Método Funcional, Orientação e Posição

O método funcional escolhido para o desenvolvimento dos dispositivos foi a configuração **modular**, utilizando uma mesa Demmeler. A decisão foi tomada considerando as premissas iniciais de projeto (seção 3.1) e a disponibilidade de materiais para a execução, dentre os quais encontrava-se a possibilidade de usar a Mesa Demmeler e seus acessórios.

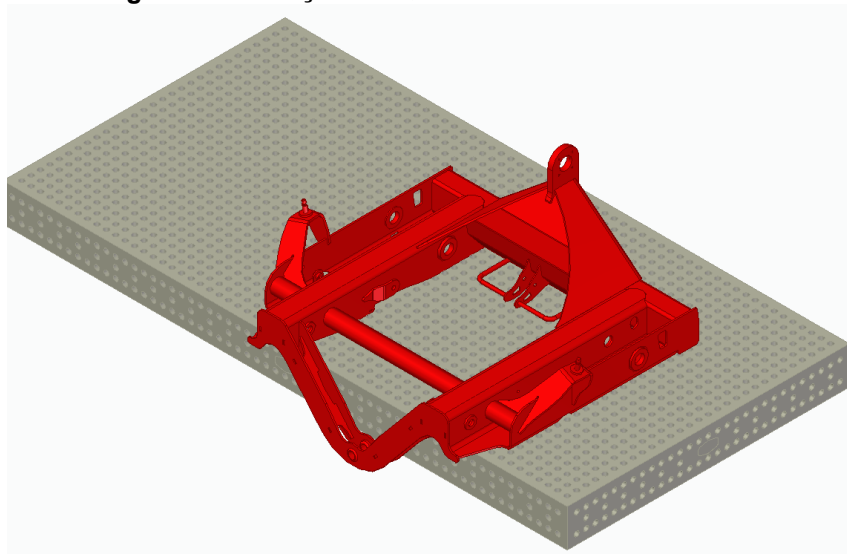
Como elucidado nas premissas, as soluções propostas deveriam ser planejadas para o protótipo inicial, e considerando um cenário futuro com baixo volume de máquinas produzidas nos meses iniciais, uma vez que sua comercialização se encontrará em níveis de menos aquisições por parte dos clientes. Desse modo, o sistema modular mostrou-se mais vantajoso do que um dispositivo dedicado, uma vez

que os custos de fabricação do primeiro são menores e sua estrutura é mais flexível para possíveis mudanças de projeto - características nos estágios iniciais de um maquinário protótipo. Como o cenário futuro de fabricação do pulverizador inclui um baixo volume nos próximos anos, não se justificou investir um valor inicial maior em um dispositivo dedicado para produção seriada.

A existência de faces planas com área de contato considerável – identificadas na seção 4.2 - as tornaram viáveis como base de apoio dos conjuntos na mesa de solda, providenciando uma superfície estável ao conjunto conforme seus componentes vão sendo soldados. Além disso, o posicionamento escolhido deveria possibilitar o acesso a todos os pontos de interesse identificados na seção 4.2 para referenciá-los por meio dos dispositivos modulares.

A Figura 32 apresenta o posicionamento escolhido para o **Quadro Central Fixo**.

Figura 32 - Posição do Quadro Central Fixo na Mesa



A presença de componentes localizados abaixo do nível da base de apoio no **Quadro Central** – conforme ilustrado na Figura 33 - tornou necessária uma etapa de elevação do conjunto para o posicionamento dos mesmos. Desse modo, foi considerado um posicionamento de soldagem em duas etapas: na primeira etapa são posicionados os componentes acima das superfícies de apoio (indicadas na Figura 31); já a segunda etapa contém uma elevação do conjunto para a inserção dos componentes localizados abaixo da base.

As Figuras 34 e 35 apresentam os dois posicionamentos utilizados. Nota-se que as etapas não incluem os tubos diagonais presentes na Figura 33, uma vez que a posição dos mesmos impediria o apoio do conjunto em sua posição elevada devido

aos suportes laterais (em amarelo e cinza claro), apresentados na Figura 35. Logo, foi decidido incluir sua soldagem fora da mesa, posicionando-os manualmente.

Figura 33 - Componentes Abaixo da Superfície de Apoio

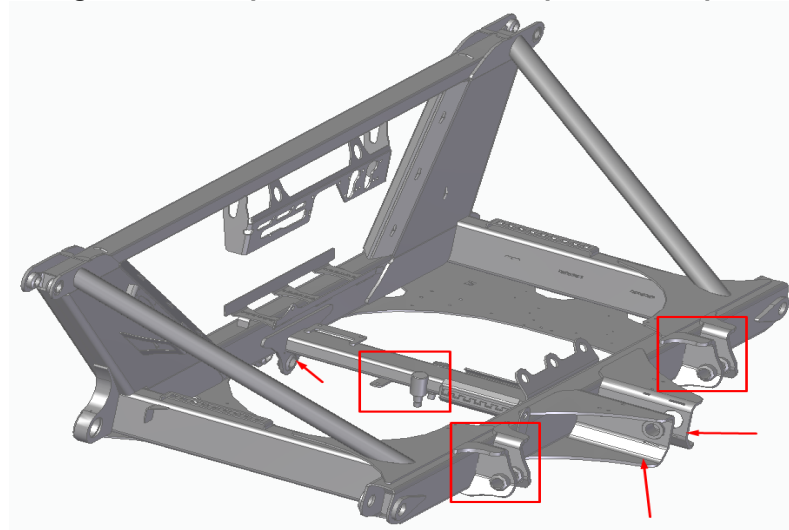


Figura 34 - Quadro Central: Posição 1

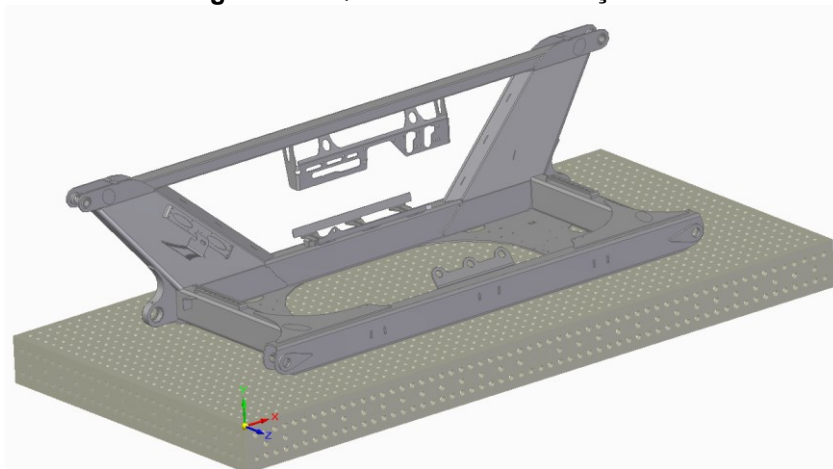
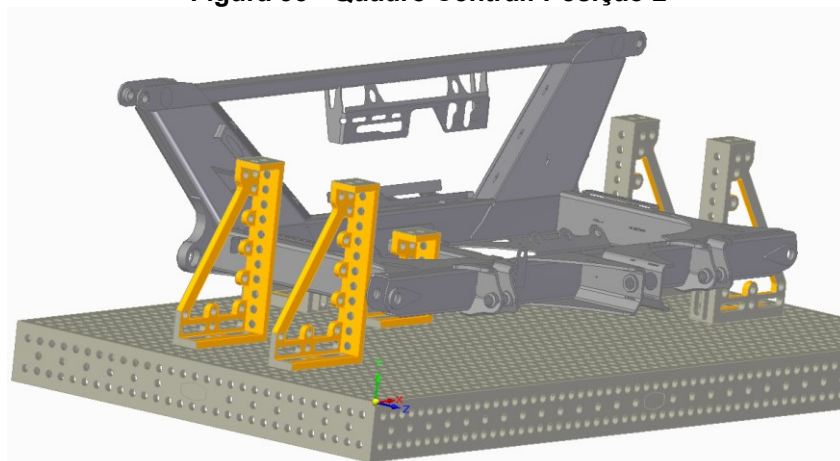


Figura 35 - Quadro Central: Posição 2



4.4 Modelagem dos Dispositivos

Com os principais pontos de interesse identificados e o posicionamento definido, a modelagem dos dispositivos foi realizada. As soluções criadas foram resultado de uma estratégia que consistiu na combinação dos acessórios de mesa Demmeler com o desenvolvimento de dispositivos atuando como módulos de referência para as *features* necessárias.

A Figura 36 apresenta a solução desenvolvida para o **Quadro Central Fixo**. O conjunto a ser soldado é destacado na cor vermelha, os acessórios Demmeler em cinza claro e amarelo e os dispositivos projetados em cinza escuro. Já a Figura 37 apresenta o posicionamento dos dispositivos sem o conjunto. Para evitar uma condensação desnecessária na representação dos componentes, não se encontram modelados os parafusos de fixação dos dispositivos na mesa.

Figura 36 - Solução Desenvolvida: Quadro Central Fixo

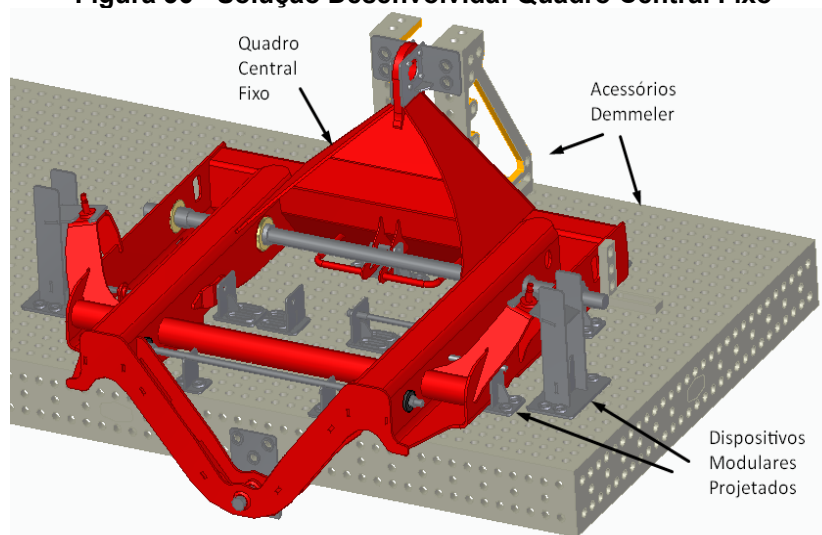
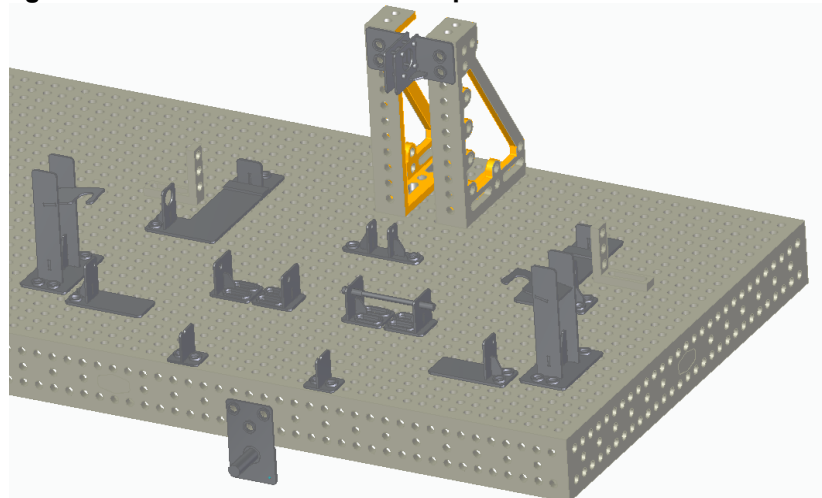


Figura 37 - Posicionamento dos Dispositivos: Quadro Central Fixo



Conforme as imagens, nota-se que as soluções projetadas consistem majoritariamente de chapas metálicas, cortadas a laser. Além disso, foram utilizados materiais torneados para o posicionamento de furos redondos, além de barras trefiladas para manutenção de concentricidade entre furos.

As Figuras 38 e 39 ilustram, respectivamente, as etapas 1 e 2 da solução projetada para a soldagem do **Quadro Central**. Os dispositivos projetados se encontram na cor azul, o conjunto a ser soldado em cinza e os acessórios da mesa Demmeler em cinza claro e amarelo.

Figura 38 - Etapa 1 da Solução Desenvolvida: Quadro Central

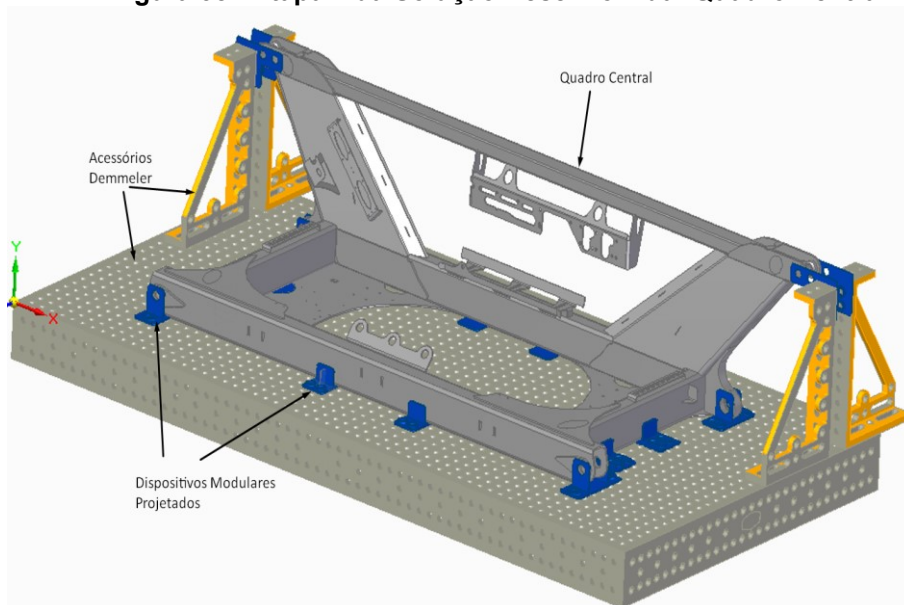
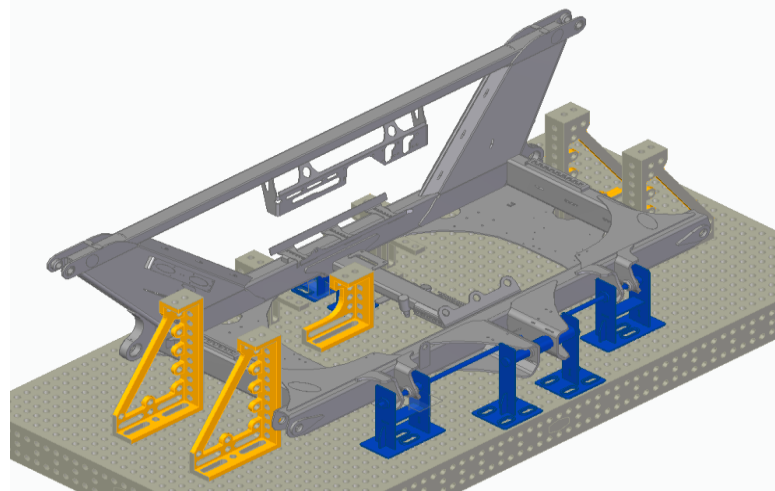
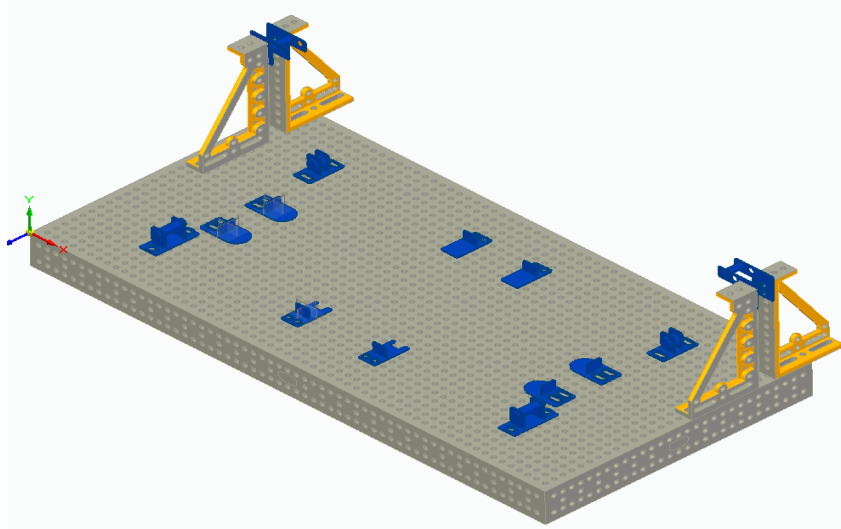
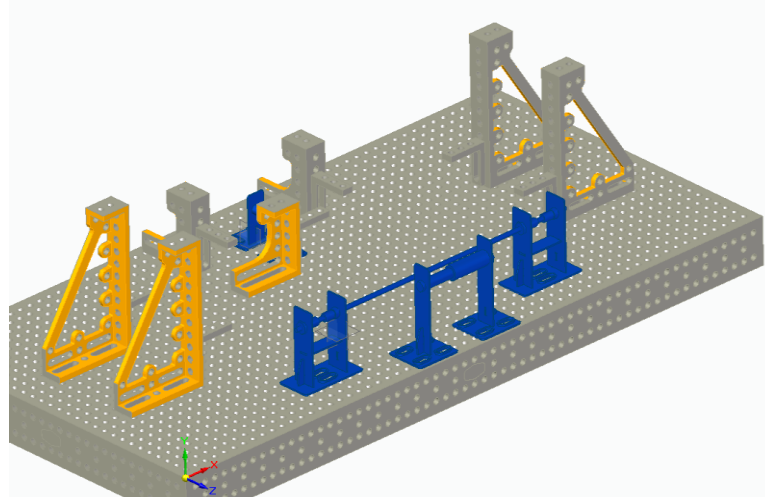


Figura 39 - Etapa 2 da Solução Desenvolvida: Quadro Central

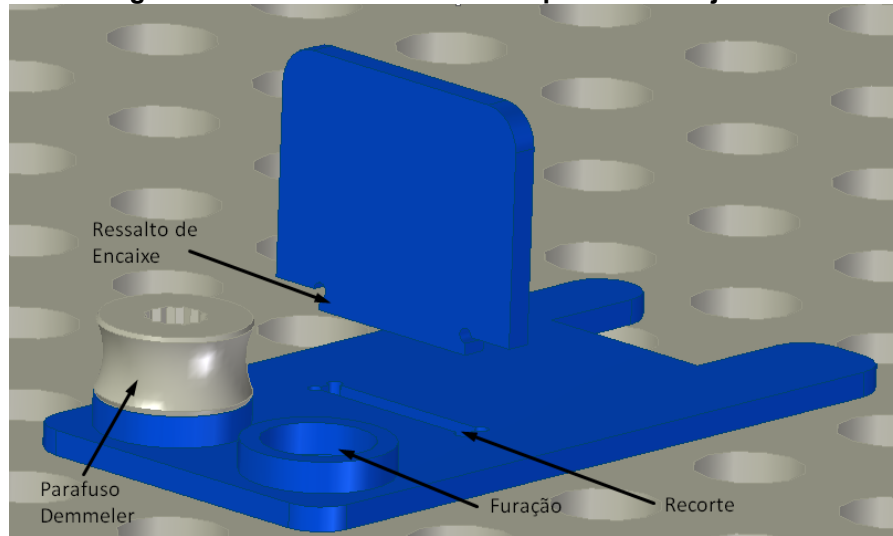


As Figuras 40 e 41 apresentam respectivamente, o posicionamento dos dispositivos e acessórios Demmeler sem o conjunto soldado para as etapas 1 e 2.

Figura 40 - Posicionamento dos Dispositivos na Etapa 1: Quadro Central**Figura 41 - Posicionamento dos Dispositivos na Etapa 2: Quadro Central**

Como os módulos projetados devem ser corretamente posicionados na mesa, todos contêm furações com diâmetro correspondente a mesa Demmeler – em formato redondo ou oblongo - para a inserção dos parafusos de fixação. Além disso, todos os módulos possuem recortes e ressaltos para encaixe, facilitando assim o posicionamento das chapas no momento de confecção dos mesmos. A Figura 42 ilustra as características descritas.

Figura 42 - Características dos Dispositivos Projetados



4.5 Desenhos e Procedimentos

Finalizada a modelagem das soluções e com a aprovação do coordenador de engenharia industrial, realizou-se os desenhos necessários para a aquisição dos componentes e a fabricação dos dispositivos. O Apêndice A apresenta um exemplo de desenho para confecção interna do dispositivo.

O fato da configuração modular projetada possuir um setup menos intuitivo somado com a complexidade intrínseca dos conjuntos a serem soldados fez necessário a elaboração de procedimentos de instrução para a soldagem dos quadros. Esses procedimentos foram desenvolvidos de modo a cumprir as seguintes funções:

- a) elencar os dispositivos modulares necessários para a soldagem dos respectivos grupos;
- b) indicar o posicionamento correto dos módulos e acessórios na mesa;
- c) estabelecer uma ordem de soldagem com descrição passo a passo;
- d) destacar etapas de maior simplicidade, as quais poderiam ser realizadas previamente fora da mesa;
- e) suplementar os desenhos técnicos de fabricação dos quadros com informações e medidas porventura faltantes.

O Apêndice B apresenta as etapas iniciais do procedimento para o Quadro Central Fixo.

4.6 Acompanhamento da Execução

Como elucidado, as soluções desenvolvidas para a soldagem dos quadros são constituídas de diversos dispositivos modulares simples, os quais são posicionados seguindo a furação da mesa Demmeler para posicionar e garantir as características dimensionais dos conjuntos. Devido a essa simplicidade, somada com a estratégia de ressaltos e encaixes incluídas em todos os módulos e os desenhos de fabricação criados, a confecção dos módulos projetados ocorreu sem maiores dificuldades por parte do soldador.

Para a soldagem dos grupos, foi fornecido ao soldador uma versão impressa do procedimento. Com base nas informações apresentadas, todos os dispositivos correspondentes para cada quadro eram separados; em sequência, a mesa era configurada conforme indicado, para então iniciar-se as etapas de execução da soldagem em si.

Devido à demanda pela mesa Demmeler por parte da produção corrente da empresa, foi decidido realizar na mesma somente o ponteamento dos conjuntos, garantindo assim o posicionamento dos componentes; com o conjunto ponteado, a etapa de soldagem pôde então ser realizada fora da mesa. O Quadro 5 apresenta os principais parâmetros utilizados no ponteamento e soldagem dos Quadros.

Quadro 5 - Parâmetros de Soldagem

Parâmetro	Utilização na Fabricação
Processo de Soldagem	MAG
Gás de Proteção	Argônio + 15% CO ₂
Arame de Solda	AWS A5.18 ER70S-6
Diâmetro do Arame	Ø1,2 mm
Tensão de Soldagem	21,5 V
Velocidade do Arame	4,7 m/min
Vazão de Gás	20 L/min

A Figura 43 apresenta o Quadro Central Fixo após a realização do ponteamento.

Figura 43 - Quadro Central Fixo Ponteado



Já as Figuras 44 e 45 apresentam, respectivamente, a finalização do ponteamto nas etapas 1 e 2 para o Quadro Central.

Figura 44 - Quadro Central: Etapa 1 de Ponteamto



Figura 45 - Quadro Central: Etapa 2 de Ponteamento



4.7 Validação da Solução

Uma 'pré-validação' foi feita inicialmente após o ponteamento dos conjuntos, com uma checagem das principais medidas na própria mesa. Após essa conferência inicial, os conjuntos foram liberados para serem completamente soldados.

Durante a soldagem, foram seguidos os protocolos da própria empresa para a execução de peças grandes, utilizando-se de etapas de pausa para resfriamento assim como alternância de faces submetidas a solda, minimizando as distorções no conjunto. Após a soldagem pôde-se então ser realizada a validação dos conjuntos por meio do braço de medição.

As Figuras 46, 47 e 48 ilustram quais as dimensões aferidas para a aprovação do Quadro Central Fixo. A Tabela 2, por sua vez, compara a dimensão mais tolerância requisitadas pelo projeto com as dimensões reais do conjunto. Exceto quando individualmente especificadas, as medidas de projeto seguiam a Norma DIN ISO 2768-mK.

Figura 46 - Quadro Central Fixo: Medidas de Conferência A, B e C

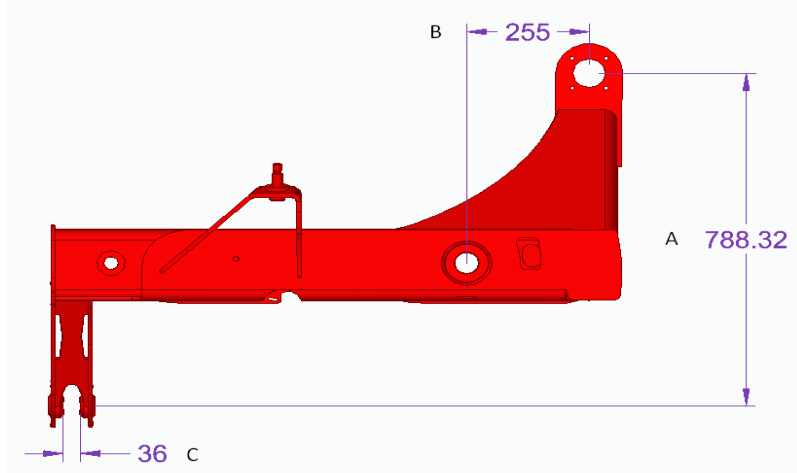


Figura 47 - Quadro Central Fixo: Medida de Conferência D, E, F, G e H

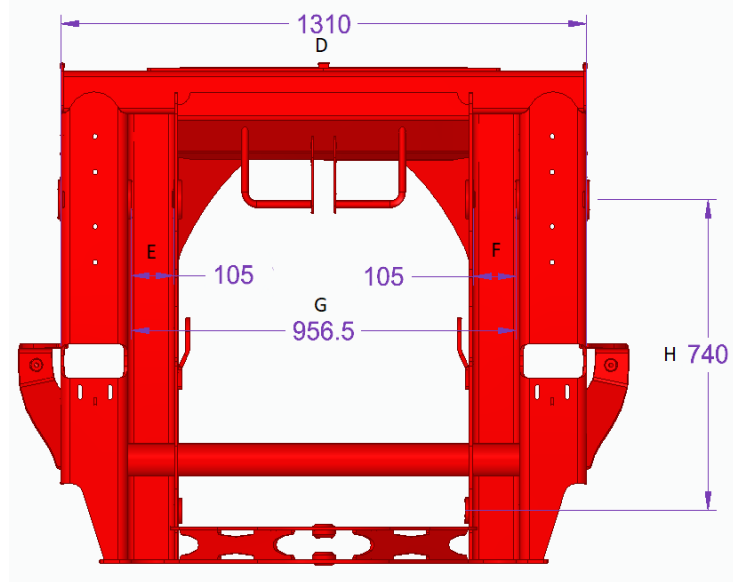


Figura 48 - Quadro Central Fixo: Medida de Conferência I e J

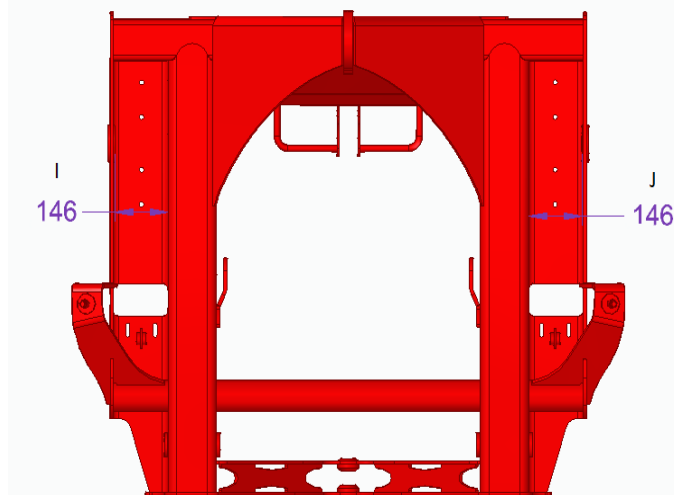


Tabela 2 - Quadro Central Fixo: Medições

Dimensão	Medida de Projeto (mm)	Medida Aferida (mm)	Status
A	788,3 ± 0,8	787,8	Conforme
B	255 ± 0,5	255,2	Conforme
C	36 + 1,0	37,2	Não conforme
D	1310 ± 1,2	1311,0	Conforme
E	105 + 1	105,8	Conforme
F	105 + 1	106,2	Não Conforme
G	956,5 ± 0,5	956,4	Conforme
H	740 ± 0,8	739,4	Conforme
I	146 + 1	147,0	Conforme
J	146 + 1	146,6	Conforme

Como indicado, duas dimensões ficaram fora do limite de tolerância estipulado; todavia, foi definido pelo departamento de qualidade não seriam impeditivos para o funcionamento do conjunto, uma vez que por serem pontos de posicionamento de outros conjuntos, o fato do dimensional estar pouco acima do estabelecido implica somente em uma pequena folga 'extra' para o encaixe e parafusagem. Dessa forma, a soldagem do Quadro Central Fixo foi aprovada.

De maneira análoga ao Quadro Central Fixo, as figuras 49, 50 e 51 apresentam as dimensões aferidas na inspeção pós-soldagem do Quadro Central. A Tabela 3 apresenta o comparativo entre as medidas de projeto e as medições aferidas para o conjunto em questão.

Figura 49 - Quadro Central: Medidas de Conferência A, B e C

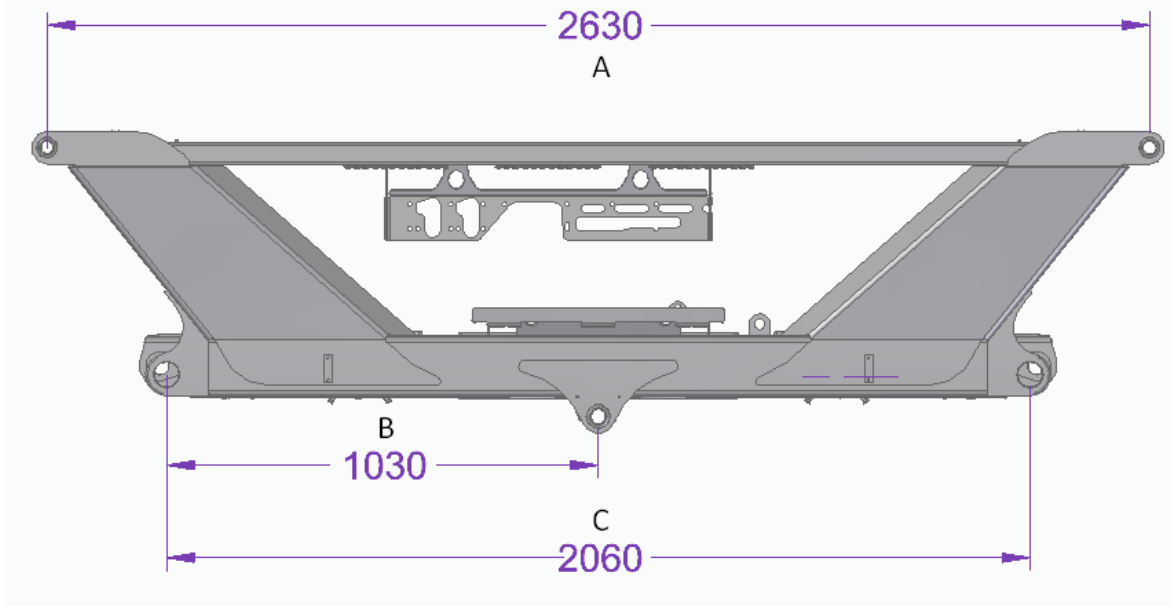


Figura 50 - Quadro Central: Medida de Conferência D

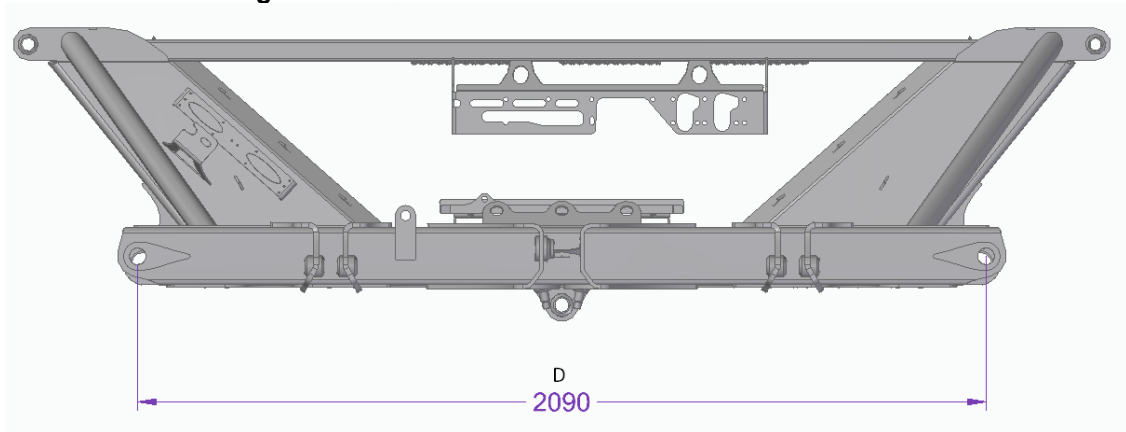


Figura 51 - Quadro Central: Medidas de Conferência E, F, G e H

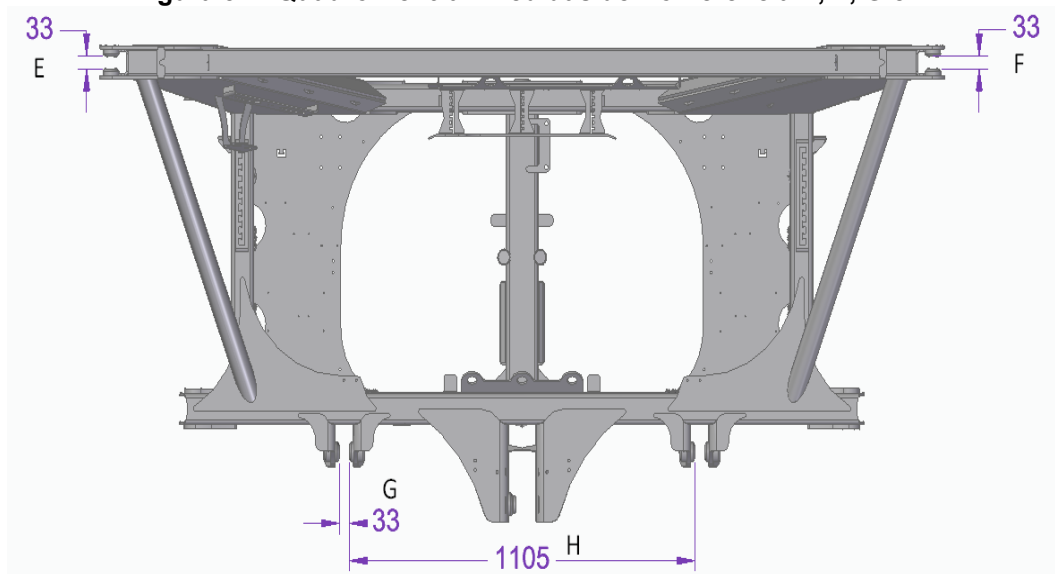


Tabela 3 - Quadro Central: Medições

Dimensão	Medida de Projeto (mm)	Medida Aferida (mm)	Status
A	2630 ± 2,0	2631,7	Conforme
B	1030 ± 1,2	1031,0	Conforme
C	2060 ± 2,0	2061,2	Conforme
D	2090 ± 2,0	2091,4	Conforme
E	33 + 1,0	33,3	Conforme
F	33 + 1,0	33,1	Conforme
G	33 + 1,0	33,0	Conforme
H	1105 ± 1,2	1103,4	Não conforme

Para o Quadro Central, uma das dimensões ficou fora do intervalo de tolerância especificado, com o espaçamento entre buchas ficando alterado. No entanto, uma vez que a medida G aferida estava correta, a medida H acaba implicando em um maior distanciamento entre as buchas do lado oposto, o que resultaria em uma maior folga para a parafusagem do subconjunto a ser posicionado. Dessa forma, a soldagem do Quadro também foi aprovada apesar da não conformidade detectada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cenário agrícola atual apresenta uma gama de oportunidades para o desenvolvimento de máquinas e implementos de alta qualidade e tecnologia, uma vez que a necessidade por produtividade e redução de custos na agricultura é diretamente associado com a mecanização e evolução de seus equipamentos. Ao desenvolver soluções para a fabricação proposta, o trabalho buscou contribuir para os resultados da empresa nesse cenário de alta competitividade.

Com a finalização e aprovação dos conjuntos, o objetivo do trabalho foi atingido. Considerando as especificações de projeto necessárias para a fabricação dos conjuntos e as restrições para a execução presentes no cenário da empresa, os dispositivos projetados cumpriram seu propósito de viabilizar a soldagem dos Quadros Centrais – componentes essenciais para o funcionamento do protótipo de pulverizador.

Com base no referencial teórico levantado, foi possível estabelecer uma metodologia funcional para o desenvolvimento dos dispositivos, seguindo uma configuração modular para soldagem. A metodologia e tipo de configuração se provaram ideais para o contexto do projeto, uma vez que se mostraram flexíveis para absorver os fatores restritivos de execução – disponibilidade de materiais, processos de fabricação e especificações de projeto dos quadros – e fornecer uma solução funcional para a fabricação.

Durante o desenvolvimento, foram perceptíveis o potencial e a versatilidade que se obtém da utilização de configuração modular para dispositivos de soldagem, representada nesse trabalho pela mesa Demmeler, seus acessórios e os módulos projetados. Embora o *setup* inicial seja mais trabalhoso e menos intuitivo do que dispositivos dedicados – necessitando inclusive a elaboração de procedimentos de utilização -, sua utilização propicia flexibilidade, capacidade de reconfiguração para alterações de projeto e simplificação na confecção dos dispositivos.

Assim, recomenda-se para trabalhos futuros análises da empregabilidade de sistemas modulares substituindo os dispositivos dedicados, mediante diferentes perspectivas relevantes de projeto: custo de material para fabricação dos dispositivos, espaço necessário para armazenamento de dispositivos dedicados *versus* armazenamento dos módulos, viabilidade econômica dos dois tipos de configuração conforme o volume de peças a serem soldadas, entre outros.

Do ponto de vista acadêmico, o projeto de pesquisa conecta conceitos centrais da Engenharia Mecânica, envolvendo metodologias de desenvolvimento de produtos, modelagem tridimensional de componentes e desenvolvimento de dispositivos para soldagem. Além da contribuição para a indústria, espera-se que este trabalho tenha relevância para o aprimoramento constante do conhecimento nessas áreas de estudo da mecânica.

REFERÊNCIAS

AGRIQ Receituário Econômico. **Pulverização agrícola: como obter os melhores resultados**. Disponível em: < <https://agriq.com.br/pulverizacao-agricola/>>. Acesso em: 12 de outubro de 2021.

ALCADE, E.; WITGEN F. Estudo das tecnologias em prototipagem rápida: passado, presente e futuro. **Revista Ciências Exatas**, v.24, n.2, p12-20, 2018.

AMARAL, R. D. C. do; PINA FILHO, A. C. de. A evolução do CAD e sua aplicação em projetos de engenharia. In: NONO SIMPÓSIO DE MECÂNICA COMPUTACIONAL. 9., 2010, São João del Rei. **Anais...** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010

AMERICAN WELDING SOCIETY, **Welding Handbook**. Welding Technology, Miami, 8° ed., Vol.1 e 2, 1987.

BAUMHARDT, U. B. **Metodologia para concepção de cabines de máquinas agrícolas com enfoque na segurança e ergonomia**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

BAXTER, M. R. **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2000.

BOYES, W. E.; BAKERJIN, R. Handbook of Jig and Fixtures Design. 1989. **Society of Manufacturing Engineers SME**.

BRACARENSE, A.Q.; *et al.* **Robótica Industrial: aplicação na indústria de manufatura e de processos**. 1 ed. São Paulo: Blucher, 2002.

CAMPBELL, P. D. Q. **Basic fixture design**. 1 ed. Industrial Press Inc. New York, 1959.

DALLABONA, G. F.; LINZMAYER, M. **Proposta de metodologia para o desenvolvimento de projetos mecânicos voltadas à micro e pequenas empresas**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

DEMMELEER. **3D welding tables**. Disponível em: <https://www.demmeler.com/products-shop/original-3d-clamping-systems/3d-welding-tables>. Acesso em: 27 de outubro de 2021.

DEVES, F. L. H. **Desenvolvimento de um dispositivo de solda para um implemento agrícola utilizando metodologia de projeto de produto**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Faculdade Horizontina, Horizontina, 2019.

DOMINGOS, D. **Protótipo de um sistema de modelagem paramétrica de sólidos**. 2002. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciência da Computação) – Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2002.

FARO. **Série Quantum Max FaroArm**. Disponível em: <https://www.faro.com/pt-BR/Products/Hardware/Quantum-FaroArms>. Acesso em: 21 de Março de 2022.

FOGGIATTO, J. A.; VOLPATO, N.; BONTORIN, A. C. B. Recomendações para modelagem em sistemas CAD-3D. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E FABRICAÇÃO, 2007, São José do Rio Preto. **Anais...** Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2007.

FUNDAÇÃO BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DA SOLDAGEM (FBTS). **Inspetor de Soldagem (apostila)**. Departamento de Inspeção de Soldagem. 10 ed. Rio de Janeiro, 2003.

GANDOLFO, M. A. **Inspeção periódica de pulverizadores agrícolas**. 2001. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Botucatu, 2001.

GOMEZ, L. S. R. **Os 4P's do design: uma proposta metodológica não linear de projeto**. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

HORSCH. **A Horsch torna-se mais internacional**. 2021. Disponível em: <https://www.horsch.com/pt/empresa/historia>. Acesso em: 14 de outubro de 2021.

JOSHI, P. H. **Jigs and fixtures**. 3 ed. Tata McGraw Hill Education Private Limited. New Delhi, 2010.

JPR FERRAMENTARIA & DISPOSITIVOS. **Dispositivos**. 2021. Disponível em: <https://www.jpredispositivos.com.br/>. Acesso em: 27 de outubro de 2021

JUNG, A. J. **Desenvolvimento de um dispositivo de fixação para a realização de soldagem robotizada**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Faculdade Horizontina, Horizontina, 2015.

KIFIX. **Sistemas de fixação**. Disponível em: <https://www.kifix.com.br/sistemas-de-fixacao>. Acesso em: 26 de outubro de 2021.

KRSULJA, M.; BARISIC, B.; KUDLACEK, J. Assembly setup for modular fixture machining process. **Advanced Engineering**, v.3, n.1, 2009.

MATOS, P. F.; PESSÔA, V. L. S. A modernização da agricultura no Brasil e os novos usos do território. **Geo UERJ**, v.2, n.22, p.290-322, 2º semestre de 2011.

MELLO, W. B. **Proposta de um método aberto de projeto de produto – três alternativas de criação**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Urbana) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

MUNARI, B. **Das coisas nascem coisas**. 1 ed. Martins Fontes, 1998. v.1.

NEVES, W. M. **Utilização de recursos computacionais na concepção e simulação virtual de sistema de limpadores de parabrisa**. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica – Automação e Sistemas) – Universidade São Francisco, Campinas, 2008.

NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas: Uma abordagem integrada**. [S.l.]: Artmed, 2013.

OKPALA, C.C; OKECHUKWU, C. The design and need for jigs and fixtures in manufacturing. **Science Research**, v 3, n. 4, p.213-219, 2015.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering Design: A systematic approach**. 3 ed. Editora Edgard Blucher, 1996.

PRICE, S. **A study of case based reasoning applied to welding computer aided fixture design**. Thesis (Master of Science in Mechanical Engineering) – Worcester Polytechnic Institute, Worcester, 2009.

SANTIAGO, F.C.; MORASSUTTI, G. D. B; SALLAI, M.C. **Análise da metodologia para o desenvolvimento de projetos mecânicos voltada à micro e pequenas empresas**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

SANTOS, F. A. N. V. **MD3E (Método de desdobramento em 3 etapas): Uma Proposta de Método Aberto de Projeto para uso no Ensino de Design Industrial**. 2005. 179 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SEGAL, L.; ROMANESCU, C.; GOJINETCHI, N. Methodologies for automated design of modular fixtures. **Buletinul Institutului Politehnic din Iasi**, v.47, n.51, 2001.

SILVA, A. L. C; MEI, P.R. **Aços e ligas especiais**. 2 ed. Sumaré, São Paulo, 1988.

SILVA, V. B. **Aplicação do conceito de montagem por encaixes e seu dimensionamento para posterior processo de soldagem**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção) – Faculdade Horizontina, Horizontina, 2015.

SOARES, H.C.G. **Estudo de sequência de soldagem para redução e eliminação de distorções**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG, Belo Horizonte, 2006.

SPECK, H. J. **Proposta de método para facilitar a mudança de técnicas de projetos: da prancheta à modelagem sólida (CAD) para empresas de engenharia de pequeno e médio porte**. 2005. 185 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

TEIXEIRA, J. C. Modernização da Agricultura no Brasil: Impactos Econômicos, Sociais e Ambientais. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas**, Três Lagoas (MS), v.2, n.2, set. 2005.

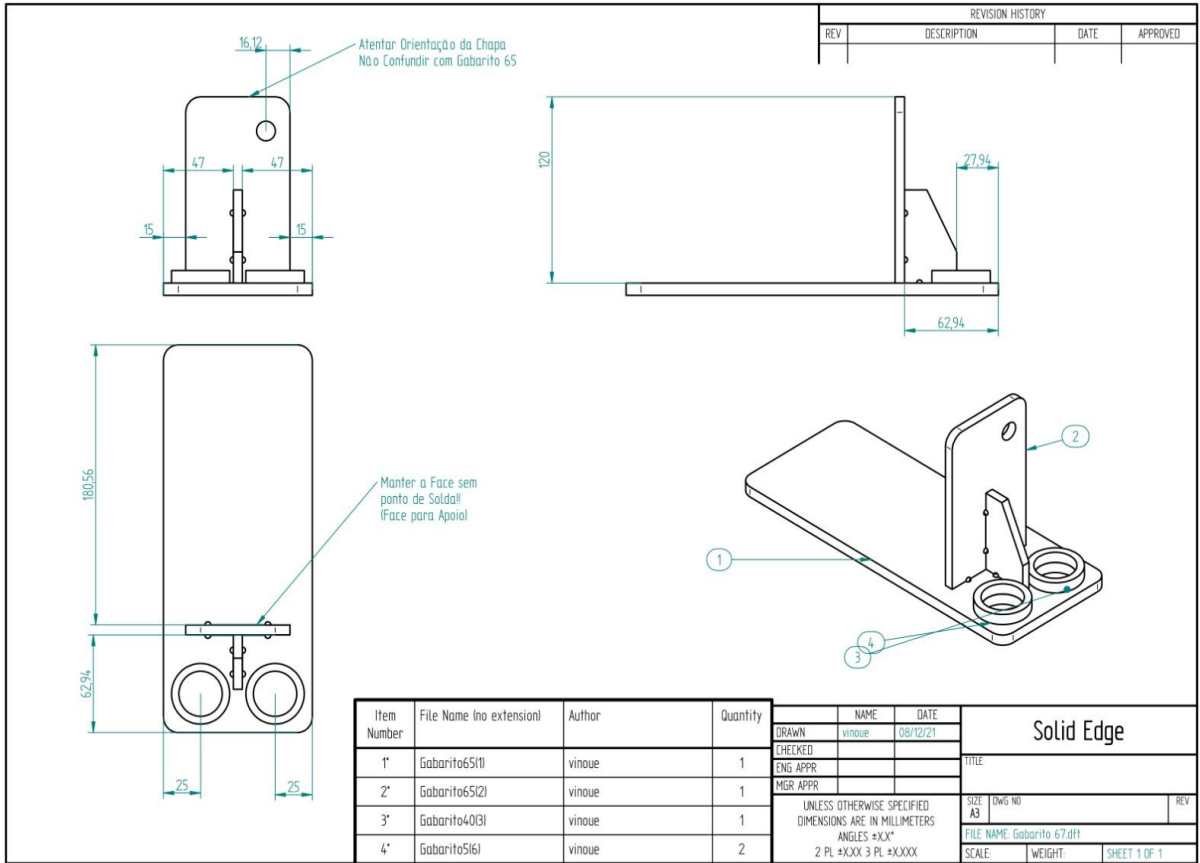
TORQUE METAL. **Dispositivos de solda**. Disponível em: <http://www.torquemetal.com.br/produtos/dispositivos-de-solda/>. Acesso em: 27 de outubro de 2021.

VELLOSO, A. R. O.; GASSEN, D. N.; JACOBSEN, L. A. **Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas com pulverizadores de barra**. Passo Fundo: EMBRAPA - CNPT, 1984. 50 p. (Documentos, 5).

VIAN, C. E. F.; *et al.* **Origens, evolução e tendências da indústria de máquinas agrícolas**. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-20032013000400006>. Acesso em: 08 de outubro de 2021.

ZHANG, Y.; MU, S. Study of computer-aided design process and methods based on welding fixture. **Journal of computers**, v.7, n.6, 2012.

APÊNDICE A - Exemplo de Desenho de Fabricação de Dispositivo



Item Number	File Name (no extension)	Author	Quantity	DRAWN	NAME	DATE	Solid Edge	
1*	Gabarito65(1)	vinoue	1			08/12/21	TITLE	
2*	Gabarito65(2)	vinoue	1	CHECKED				
3*	Gabarito40(3)	vinoue	1	ENG APPR				
4*	Gabarito5(6)	vinoue	2	MGR APPR				

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
ANGLES =XXX°

2 PL *XXX 3 PL *XXXX

SIZE		DWG NO		REV	
A3					
FILE NAME	Gabarito 67.dft				
SCALE		WEIGHT		SHEET 1 OF 1	

APÊNDICE B - Procedimento para a Soldagem do Quadro Central Fixo: Páginas Iniciais

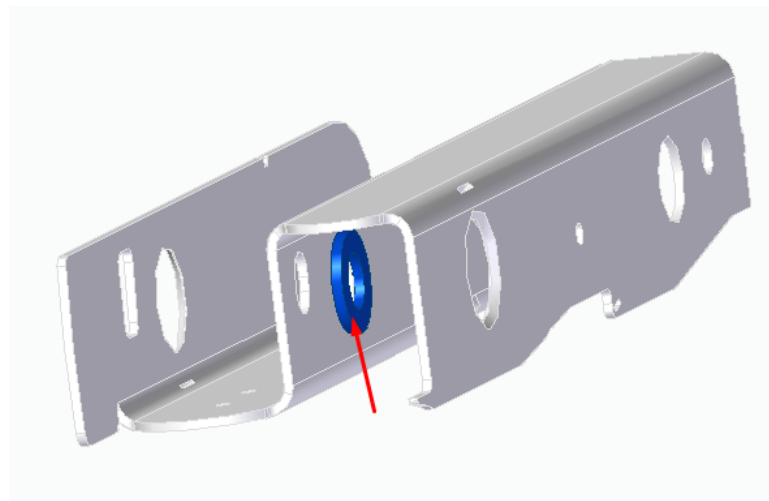
PROCEDIMENTO – Quadro Central Fixo 60046305

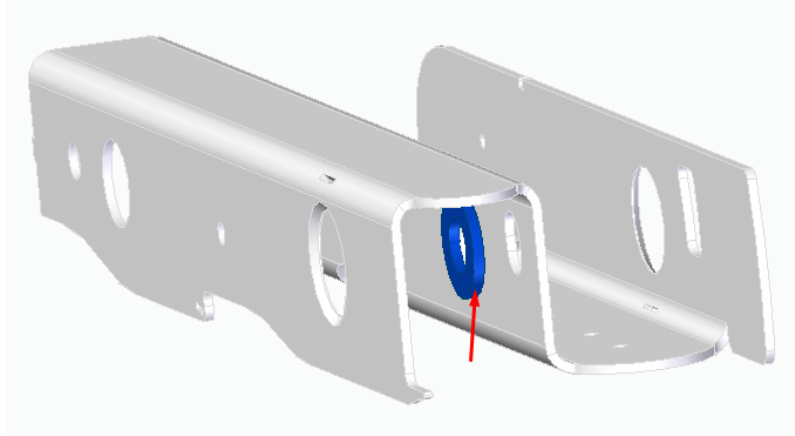
Lista de dispositivos

Dispositivo	Qtde
Gabarito 61	1
Gabarito 62	1
Gabarito 63	1
Gabarito 64	2
Gabarito 65	1
Gabarito 66	1
Gabarito 67	1
Gabarito 68	1
Gabarito 69	2
Gabarito 70	1
Gabarito 71	1
Gabarito 72	1
Gabarito 73	1
Gabarito 74	1
Bucha d52 x 65	4
Bucha d50 x 50	2
Eixo d20x300	1
Eixo d40x1500	1
Gabarito 82	2
Eixo d15,88 x 100	1
Pino 12,1x200	1
Pino 8,35x50	4
Eixo d32x1100 (o mesmo da Conexão Chassi Paralelogramo)	1

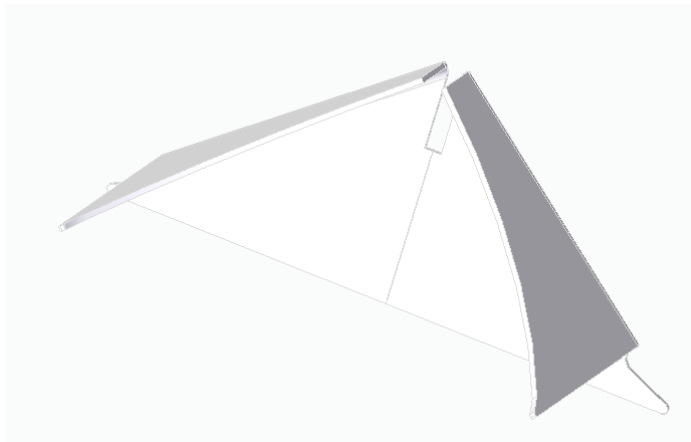
PRÉ-DEMMELER

- 1) Soldar chapa 90x90x9,5 nas chapas '1177 x 740 x 8' e '1180x740x8'.

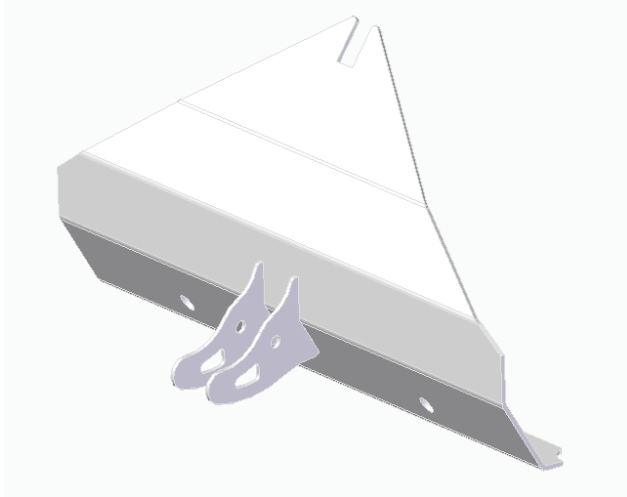




2) Pontear chapas '655x452x8' e '654x452x8'.

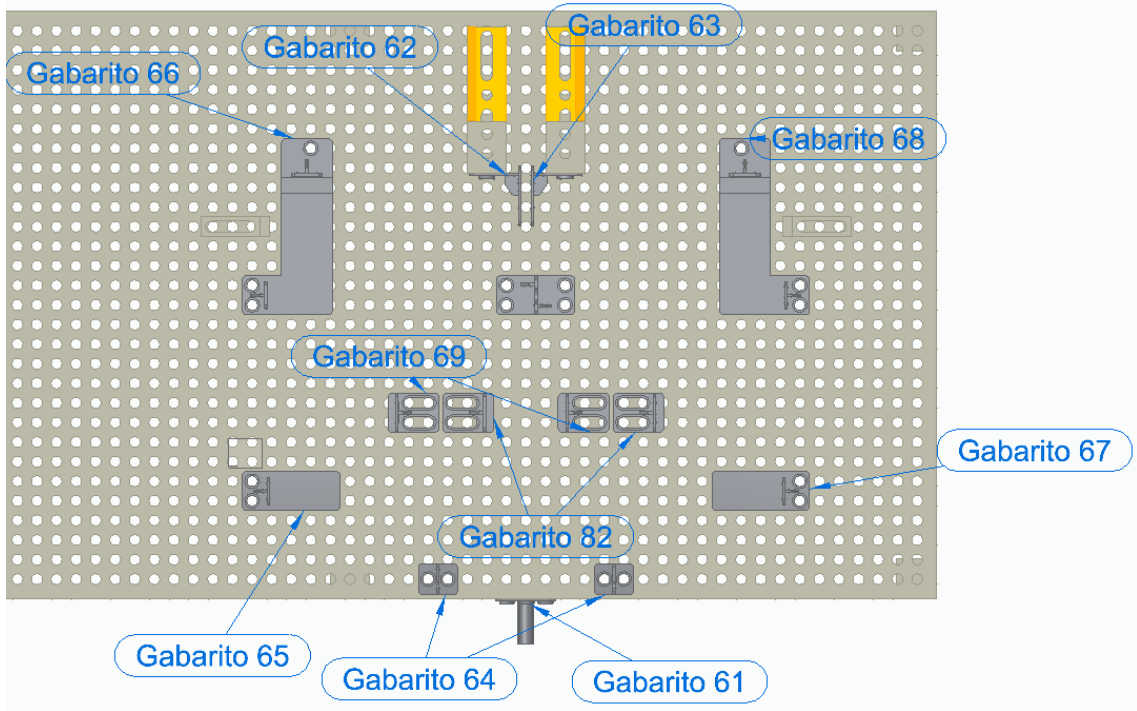


3) Soldar chapa 183 x 140 x 4,75 (2x) nos recortes da chapa '726 x 548 x 6'.

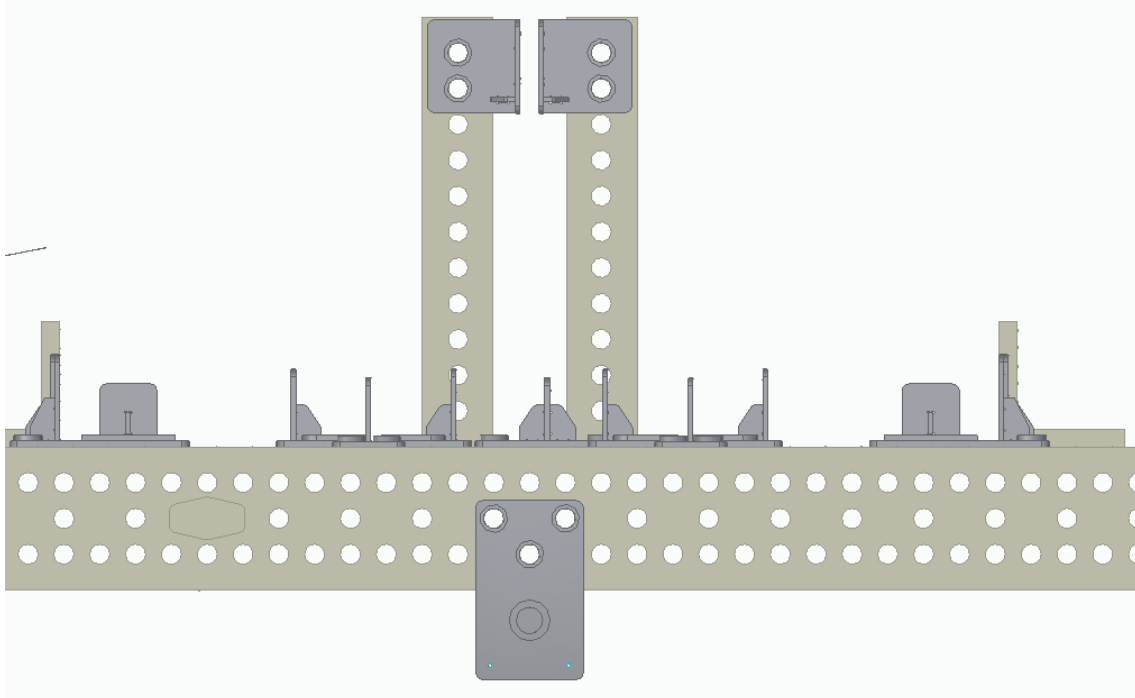


DEMMELER

Vista Superior

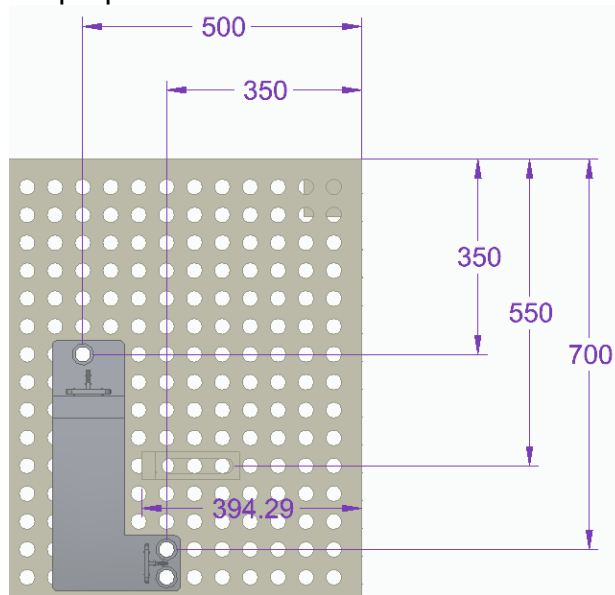


Vista Frontal

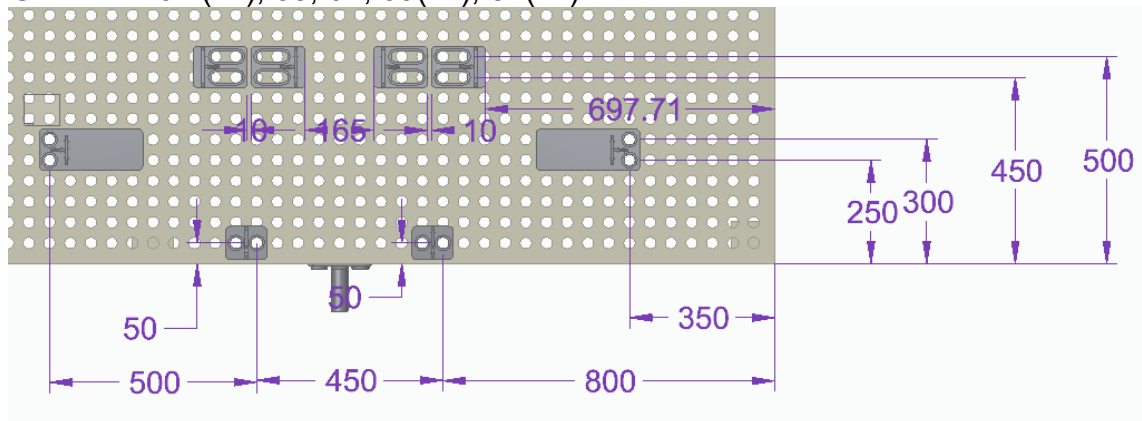


Posicionamento Dispositivos

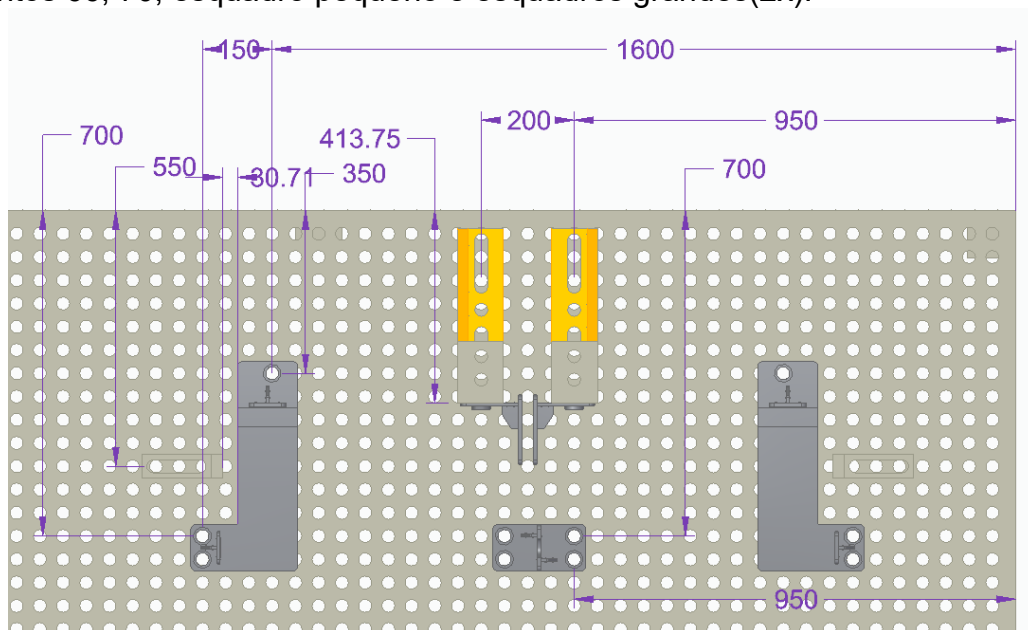
Gabarito 68 e esquadro pequeno:



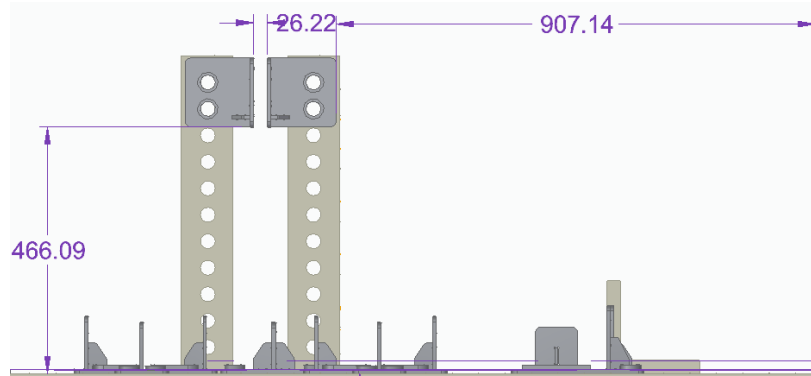
Gabaritos 64 (2x), 65, 67, 69(2x), 82(2x):



Gabaritos 66, 70, esquadro pequeno e esquadros grandes(2x).

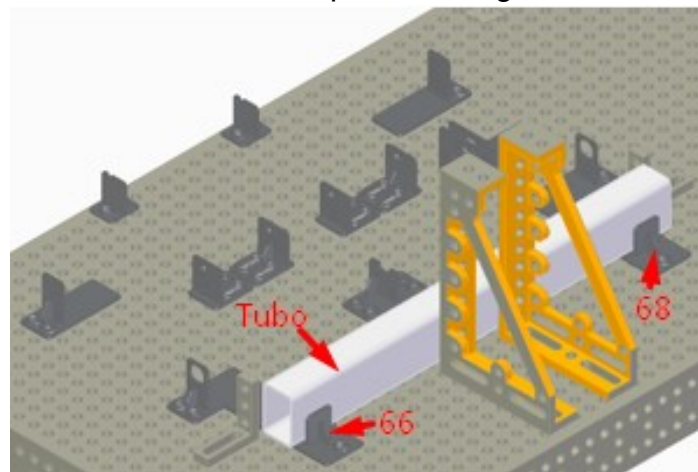


Gabaritos 61, 62 e 63. Não prender gabaritos 62 e 63 no começo, só serão colocados depois.



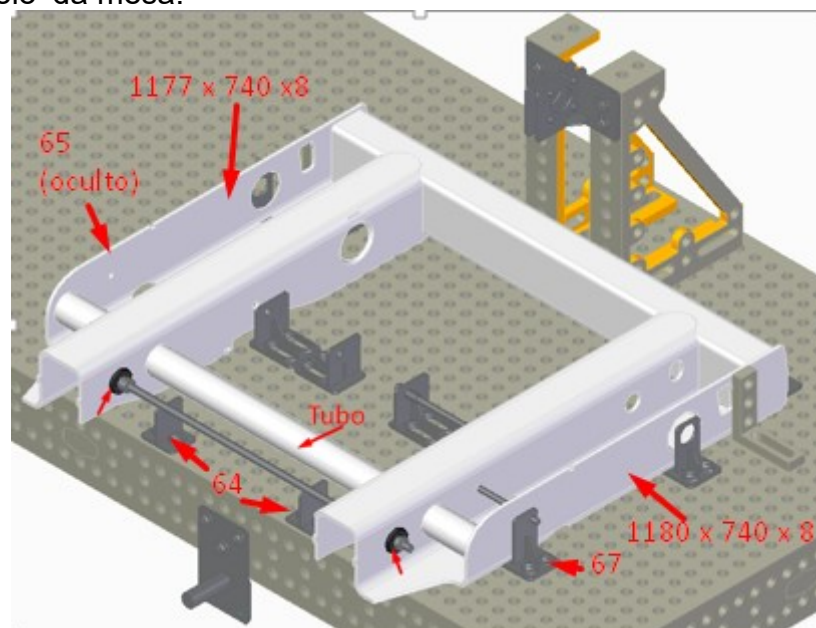
Posicionamento dos Itens

- 4) Posicionar tubo '150x100x6 - 1294' apoiado nos gabaritos 66 e 68.



- 5) Posicionar chapas '1177 x 740 x 8' e '1180 x 740 x 8' apoiadas nos gabaritos 65 e 67 e nos esquadros pequenos. Também posicionar o tubo 'Ø76,1x6,3-1294' entre as chapas. Com o auxílio do eixo d32x1100 também posicionar as chapas 60x60x9,5 (4x, em preto na imagem). Pontear.

Obs: Caso facilite para colocar e tirar o eixo, pode trazer os gabaritos 64 mais para 'o meio' da mesa.



ANEXO A - Catálogo de Tubos Retangulares

Bitola mm	Espessura mm																					
	0,90	1,06	1,20	1,50	1,90	2,00	2,25	2,65	3,00	3,35	3,75	4,25	4,50	4,75	5,00	5,40	5,60	6,30	7,30	8,00	9,50	
30 x 20	0,68	0,80	0,90	1,12	1,40	1,47	1,64	1,90	2,13													
35 x 25	0,83	0,97	1,09	1,35	1,70	1,78	1,99	2,32	2,60													
40 x 20	0,83	0,97	1,09	1,35	1,70	1,78	1,99	2,32	2,60	2,87	3,18											
40 x 30	0,97	1,13	1,28	1,59	1,99	2,09	2,34	2,73	3,07	3,40												
50 x 20	0,97	1,13	1,28	1,59	1,99	2,09	2,34	2,73	3,07	3,40												
50 x 30	1,11	1,30	1,47	1,82	2,29	2,41	2,69	3,15	3,54	3,92	4,35	4,88	5,14	5,39								
50 x 40		1,47	1,66	2,06	2,59	2,72	3,05	3,56	4,01	4,44	4,94	5,54	5,84	6,14								
60 x 30		1,47	1,66	2,06	2,59	2,72	3,05	3,56	4,01	4,44												
60 x 40		1,63	1,84	2,29	2,89	3,03	3,40	3,98	4,48	4,97	5,53	6,21	6,55	6,88								
70 x 30		1,63	1,84	2,29	2,89	3,03	3,40	3,98	4,48	4,97	5,53	6,21	6,55	6,88								
70 x 50		1,96	2,22	2,76	3,48	3,66	4,10	4,81	5,42	6,02	6,70	7,54	7,96	8,37	8,78	9,43	9,75	10,86				
80 x 40		1,96	2,22	2,76	3,48	3,66	4,10	4,81	5,42	6,02	6,70	7,54	7,96	8,37	8,78	9,43	9,75	10,86				
80 x 50						3,97	4,46	5,22	5,89	6,54	7,29	8,21	8,66	9,11								
80 x 60				3,23	4,08	4,29	4,81	5,64	6,36	7,07	7,87	8,87	9,37	9,86								
90 x 30			2,22	2,76	3,48	3,66	4,10	4,81	5,42	6,02	6,70	7,54	7,96	8,37								
100 x 40				3,23	4,08	4,29	4,81	5,64	6,36	7,07	7,87	8,87	9,37	9,86								
100 x 50				3,47	4,37	4,60	5,16	6,05	6,83	7,59	8,46	9,54	10,07	10,60	11,13	11,97	12,38	13,82				
100 x 60				3,70	4,67	4,91	5,51	6,47	7,29	8,12	9,05	10,20	10,78	11,35	11,91	12,81	13,26	14,81				
100 x 80				4,17	5,27	5,54	6,22	7,30	8,23	9,17	10,22	11,53	12,19	12,83	13,48	14,50	15,01	16,78				
120 x 40				3,70	4,67	4,91	5,51	6,47	7,29	8,12	9,05	10,20	10,78	11,35	11,91	12,81	13,26	14,81				
120 x 60				4,17	5,27	5,54	6,22	7,30	8,23	9,17	10,22	11,53	12,19	12,83	13,48	14,50	15,01	16,78	19,26	20,97	24,55	
120 x 80					5,86	6,17	6,92	8,13	9,17	10,22	11,40	12,87	13,59	14,32	15,04	16,19	16,77	18,75	21,55	23,48	27,53	
120 x 100						6,79	7,63	8,96	10,11	11,26	12,57	14,20	15,00	15,81	16,61	17,89	18,52	20,73	23,84	25,98	30,50	
140 x 60						6,17	6,92	8,13	9,17	10,22	11,40	12,87	13,59	14,32	15,04	16,19	16,77	18,75				
140 x 80						6,79	7,63	8,96	10,11	11,26	12,57	14,20	15,00	15,81	16,61	17,89	18,52	20,73				
150 x 50						6,17	6,92	8,13	9,17	10,22	11,40	12,87	13,59	14,32	15,04	16,19	16,77	18,75	21,55	23,48	27,53	
150 x 100									10,20	11,52	12,84	14,33	16,19	17,12	18,04	18,96	20,42	21,15	23,69	27,27	29,74	34,97
160 x 80									9,79	11,05	12,31	13,75	15,53	16,41	17,30	18,18	19,58	20,27	22,70	26,12	28,49	33,48
180 x 80									10,62	11,99	13,36	14,92	16,86	17,82	18,78	19,74	21,27	22,03	24,67	28,41	30,99	36,45
200 x 100									12,28	13,87	15,46	17,27	19,52	20,64	21,76	22,87	24,65	25,54	28,62	32,98	36,01	42,41

Fonte: Aços Continente (2021)