

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

JAISON LUIS KITZBERGER

DESENVOLVIMENTO DE ESTRUTURA METÁLICA PARA QUADROS GERAIS DE
BAIXA TENSÃO UTILIZANDO CONCEITOS DE DFA

Jaraguá do Sul
Fevereiro de 2017

JAISON LUIS KITZBERGER

DESENVOLVIMENTO DE ESTRUTURA METÁLICA PARA QUADROS GERAIS DE
BAIXA TENSÃO UTILIZANDO CONCEITOS DE DFA

Trabalho de conclusão de curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos de obtenção do título de Tecnólogo em Fabricação Mecânica.

Professor Orientador: Prof. Dr. Gil Magno Portal Chagas

Jaraguá do Sul
Fevereiro de 2017

K62d Kitzberger, Jaison Luis.

Desenvolvimento de estrutura metálica para quadros gerais de baixa tensão utilizando conceitos de DFA / Jaison Luis Kitzberger ; orientador Gil Magno Portal Chagas. - Jaraguá do Sul, SC, 2017.
62 f.

Trabalho de conclusão de curso (TCC) – Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Jaraguá do Sul – Rau. Tecnólogo em Fabricação Mecânica.

1. Estrutura metálica. 2. DFA. 3. Projetos para montagem. 4. Engenharia simultânea. 5. Redução de custo. I. Chagas, Gil Magno Portal. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. Título

CDD 620.1

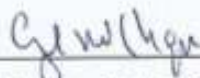
Sistema de Bibliotecas Integradas do IFSC
Catalogado por: Cleide Elis da Cruz Raulino CRB14/740

DESENVOLVIMENTO DE ESTRUTURA METÁLICA PARA QUADROS GERAIS DE
BAIXA TENSÃO UTILIZANDO CONCEITOS DE DFA

JAISON LUIS KITZBERGER

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Tecnólogo em
Fabricação Mecânica e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora
abaixo indicada.

Jaraguá do Sul, 16 de fevereiro de 2017.



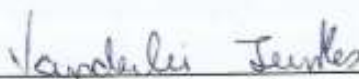
Gil Magno Portal Chagas, Dr.



Miriam Hennig, Me.



Cassiano Rodrigues Moura, Me.



Vanderlei Junkes, Me.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu falecido pai, Irineu Kitzberger,
que infelizmente faleceu na mesma época quando
este trabalho estava sendo executado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a empresa WEG que me deu a oportunidade de realizar o trabalho, especialmente ao meu chefe, Walter Brandl da Rosa Neto, que possibilitou o início e me auxiliou na execução e no alcance da finalização do presente trabalho. Muito obrigado!

Agradeço a minha família pelo apoio, paciência e orientação. Também agradeço ao meu professor orientador, Gil Magno Portal Chagas, que me ajudou e muito na execução deste trabalho, tendo em vista que eu estava passando por um momento difícil. Muito obrigado!

Meus sinceros agradecimentos também a toda a equipe que participou do desenvolvimento do produto, sendo eles: Processos Engenheirados, Projetos BT e Naval, Gerência do Departamento de Projetos da Automação e aos funcionários da fábrica. Muito obrigado!

EPÍGRAFE

Não pretendemos que as coisas mudem, se sempre fazemos o mesmo.
A crise é a melhor benção que pode ocorrer com as pessoas e países, porque
a crise traz progressos.

A criatividade nasce da angústia, como o dia nasce da noite escura.
É na crise que nascem as invenções, os descobrimentos e as grandes
estratégias.

Quem supera a crise, supera a si mesmo sem ficar 'superado'.
Quem atribui à crise seus fracassos e penúrias, violenta seu próprio talento e
respeita mais os problemas do que as soluções.

A verdadeira crise é a crise da incompetência...
Sem crise não há desafios; sem desafios, a vida é uma rotina, uma lenta
agonia. Sem crise não há mérito.

É na crise que se aflora o melhor de cada um...

(Albert Einstein)

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma estrutura metálica utilizada em quadros gerais de baixa tensão para a empresa WEG. Durante o desenvolvimento do produto foi adotada uma metodologia de processo de desenvolvimento de produto e a ferramenta *Design for assembly* (DFA), que consiste em executar projetos para montagem rápida e simplificada. Todo o desenvolvimento foi executado dentro dos princípios da engenharia simultânea, com o objetivo de diminuir o tempo e o custo do desenvolvimento. O principal desafio deste trabalho foi a redução de custo do produto em desenvolvimento em comparação com o produto atual fabricado pela empresa. As características, que foram definidas pela empresa, foram transformadas em metas de desenvolvimento do produto, que por sua vez, tornam-se a base de todo o desenvolvimento e possibilitaram a geração de conceitos do projeto. Foram apresentadas propostas virtuais, maquetes e protótipos para a validação do produto. O resultado deste trabalho possibilitou o alcance da meta de redução de uma etapa do processo de manufatura, e teve um resultado na redução do tempo de montagem que mostrou a eficácia na aplicação da ferramenta DFA.

Palavras-chave: Estrutura metálica. DFA. Projetos para montagem. Engenharia simultânea. Redução de custo.

ABSTRACT

This work presents the development of a metallic structure used in low voltage distribution boards for the WEG company. During the development of the product a product development process methodology and the DFA tool were adopted, which consists of executing projects for quick and simplified assembly. All development is performed within the principles of simultaneous engineering, with the aim of reducing the time and cost of development. The main challenge of this work is to reduce the cost of the product in development compared to the current product manufactured by the company. The characteristics, which were defined by the company, are transformed into product development goals, which become the basis of all development and enable the generation of project concepts. Virtual proposals, mock-ups and prototypes were presented for the validation of the product. The result of this work allowed the achievement of the goal of reducing one stage of the manufacturing process and had a result in the reduction of assembly time that showed the effectiveness in the application of the DFA tool.

Keywords: Metallic structure. DFA. Projects for assembly. Simultaneous engineering. Reduce the cost

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT)	12
Figura 2 - Modelo de referência do PDP	16
Figura 3 – Sequência da Engenharia Tradicional.....	18
Figura 4 – Sequência da Engenharia Simultânea	18
Figura 5 - Peças projetadas para impedir inserção incorreta	27
Figura 6 – Peças que se posicionam automaticamente	27
Figura 7 – Furos maiores para facilitar a montagem	28
Figura 8 – Fluxograma de etapas e ferramentas.....	30
Figura 9 – Fluxograma das etapas de manufatura atualmente aplicadas	33
Figura 10 – Fluxograma da proposta das etapas de manufatura	35
Figura 11 – Esboço da ideia do produto	37
Figura 12 – Proposta virtual da junta.....	38
Figura 13 – Maquete em escala reduzida	39
Figura 14 – Base do produto fixado na junta. Perspectiva superior	41
Figura 15 – Base do produto fixado na junta. Perspectiva inferior	41
Figura 16 – Subconjunto inferior da estrutura do QGBT	42
Figura 17 – Subconjunto superior da estrutura do QGBT	43
Figura 18 – Protótipo da junta encaixável	45
Figura 19 – Protótipo do QGBT completo	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

QGBT – Quadros Gerais de Baixa Tensão

DFA – *Design For Assembly*

PDP – Processos de Desenvolvimento de Produtos

CAD – *Computer Aided Design*

CAE – *Computer Aided Engineering*

CAM – *Computer Aided Manufacturing*

DFX – *Design For X*

DFM – *Design for Manufacture*

DFMA – *Design for Manufacture and Assembly*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Problema	13
1.2	Justificativa	13
1.3	Objetivos	14
1.3.1	Objetivo geral	14
1.3.2	Objetivos específicos	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	Processos de Desenvolvimento de Produtos (PDP)	15
2.2	Engenharia Simultânea	18
2.3	Projeto para a X (DFX)	20
2.3.1	Conceituação	20
2.3.2	Design for Manufacture and Assembly (DFMA)	21
2.4	Projeto para a Montagem (DFA)	22
2.4.1	Conceituação	22
2.4.2	Vantagens na utilização do DFA	23
2.5	Projeto para Montagem, Recomendações ao Projetista	23
2.5.1	Tipos de montagem	24
2.5.2	Montagem Manual – Manuseio	24
2.5.3	Aplicação do DFA durante o desenvolvimento do Produto	25
3	METODOLOGIA	29
3.1	Definição das características do produto	31
3.2	Projeto informacional	32
3.3	Projeto conceitual	35
3.4	Projeto detalhado	40
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	47
4.1	Avaliação da aplicação do PDP	47
4.2	Resultados e avaliação do projeto informacional	47
4.3	Resultados e avaliação do projeto conceitual	48
4.4	Resultados e avaliação do projeto detalhado	49
4.5	Resultados e avaliação da utilização do DFA	50
4.6	Resultados e avaliação da engenharia simultânea	51
4.7	Resultados finais	52

4.7.1	Análise e discussão dos resultados da meta de redução de peso	52
4.7.2	Análise e discussão dos resultados da meta de redução do tempo de montagem	53
4.7.3	Análise e discussão dos resultados da meta de redução de quantidade de solda utilizada.....	53
4.7.4	Análise e discussão dos resultados da meta de redução de custo.....	53
5	CONCLUSÃO	55
	REFERÊNCIAS	55
	APÊNDICE A – Junta encaixável	60
	APÊNDICE B – Conjunto de montagem da estrutura	61
	APÊNDICE C – Lista de peças do conjunto de montagem da estrutura	62

1 INTRODUÇÃO

Os Quadros Gerais de Baixa Tensão (QGBT) são geralmente utilizados na entrada principal de energia elétrica de grandes instalações comerciais e industriais, e têm como função controlar e proteger o circuito elétrico de distribuição. Estão normalmente presentes em aeroportos, hotéis, *shopping centers*, centros comerciais, estações de tratamento, hospitais e indústrias em geral. Como pode ser visto na Figura 1, os QGBTs têm normalmente uma estrutura modular e são geralmente compostos por componentes eletrônicos de proteção e distribuição, estrutura metálica, separadores metálicos como bandejas e blindagens, fechamentos metálicos, suportes e placas de montagem para componentes.

Figura 1 - Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT)



Fonte: página da WEG: <<http://www.weg.net/catalog/weg/BR/en/Electric-Panels/Low-Voltage-Motor-Control-Centers>>, acessado em Fev. 2017

Com o passar do tempo e o avanço da tecnologia, a procura por QGBT aumentou em larga escala. Esse aspecto tem pressionado os fabricantes a buscarem novas alternativas para agilizar seu processo produtivo e diminuir o custo do produto.

Perante o cenário de competição comercial atual, se torna necessário algumas medidas para permitir a redução de custo, como, por exemplo, a simplificação dos processos de manufatura e montagem, que além da redução de custo permitem minimizar os índices de falhas e reduzem da necessidade de controle. Operações de montagem tem valor agregado considerável em relação ao produto final. Ao reduzir o tempo de montagem, o custo do produto automaticamente torna-se menor.

Deve-se ressaltar que atualmente existe uma série de ferramentas para auxiliar o projetista na etapa de desenvolvimento, tendo como objetivo ampliar a visão do desenvolvedor para não focar apenas nas características necessárias do produto, mas também elaborar formas de montagem rápida. Uma das ferramentas que apresentam ótimos resultados é o *Design for assembly* (DFA), ou seja, projeto para montagem, que resumidamente consiste em obter um produto simplificado, com o menor número possível de peças, utilizando encaixes que facilitem o processo de montagem (BRALLA, 1996).

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma estrutura metálica de um QGBT para ser fabricado por uma indústria da região, a WEG, substituindo um de seus produtos atuais. Essa estrutura poderá ser aplicada em uma família de produtos desta empresa, pois serão mantidas as características modulares dos seus produtos anteriores na linha de QGBTs. Será aplicada uma metodologia de desenvolvimento de produto e também uma ferramenta para possibilitar a redução de custo.

1.1 Problema

De que forma é possível executar o desenvolvimento de uma estrutura metálica de QGBT competitiva, peso reduzido, de baixo custo, com processo de fabricação simplificado, de boa qualidade e com a aplicação da ferramenta DFA?

1.2 Justificativa

O presente trabalho tem como meta desenvolver um produto competitivo, de peso reduzido, com processo produtivo simplificado e com montagem rápida para a empresa WEG. Dessa maneira, ao obter uma montagem rápida com peças leves, auxiliam-se os montadores na parte ergonômica.

Com o resultado deste trabalho deverá ser fortalecida a presença dessa empresa no mercado dos QGBT, ao proporcionar um produto competitivo, tanto no prazo de entrega quanto no custo reduzido. Considerando que o número de empregos em nossa região está diretamente ligado ao crescimento dessa empresa, espera-se, com esse trabalho, colaborar indiretamente com a renda local.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

- Desenvolver uma estrutura metálica para QGBT com baixo custo, tempo de montagem reduzido, leve e simplificada, resultando assim em um produto competitivo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Desenvolver a estrutura com o conceito de projeto da ferramenta DFA;
- Reduzir etapas do processo de fabricação do produto em desenvolvimento, em comparação ao que é aplicado nos produtos atuais da empresa;
- Aplicar a engenharia simultânea durante o desenvolvimento dessa estrutura.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Com o objetivo de sanar algumas dúvidas e indagações, são apresentados ao leitor, durante este capítulo, os diversos conceitos, metodologias e ferramentas utilizadas no desenvolvimento deste trabalho.

Este referencial teórico será dividido em cinco partes: processos de desenvolvimento de produtos (PDP), engenharia simultânea, projeto para X (DFX), projeto para a montagem (DFA), projeto para montagem e recomendações ao projetista.

2.1 Processos de Desenvolvimento de Produtos (PDP)

Em meio a uma competição severa do mercado atual, as indústrias em todo o mundo investem cada vez mais em ferramentas e metodologias de projeto como poderoso meio de aumentar a qualidade dos produtos tornando-os mais competitivos.

Pahl et al. (2005) mencionam que, em geral, produtos somente têm êxito quando satisfazem três condições:

- Atendem aos requisitos dos clientes;
- Marcam presença no mercado na hora certa (*time-to-market*);
- Possibilitam preços praticáveis no mercado.

Para Norton (2013), o processo de desenvolvimento de produto (PDP) se resume em dez passos. São eles:

- Identificação da necessidade;
- Pesquisa de suporte;
- Definição de objetivos;
- Especificação de tarefas;
- Síntese (Concepção e inovação);
- Análise;
- Seleção da solução mais promissora;
- Projeto detalhado;
- Protótipo e teste;
- Produção.

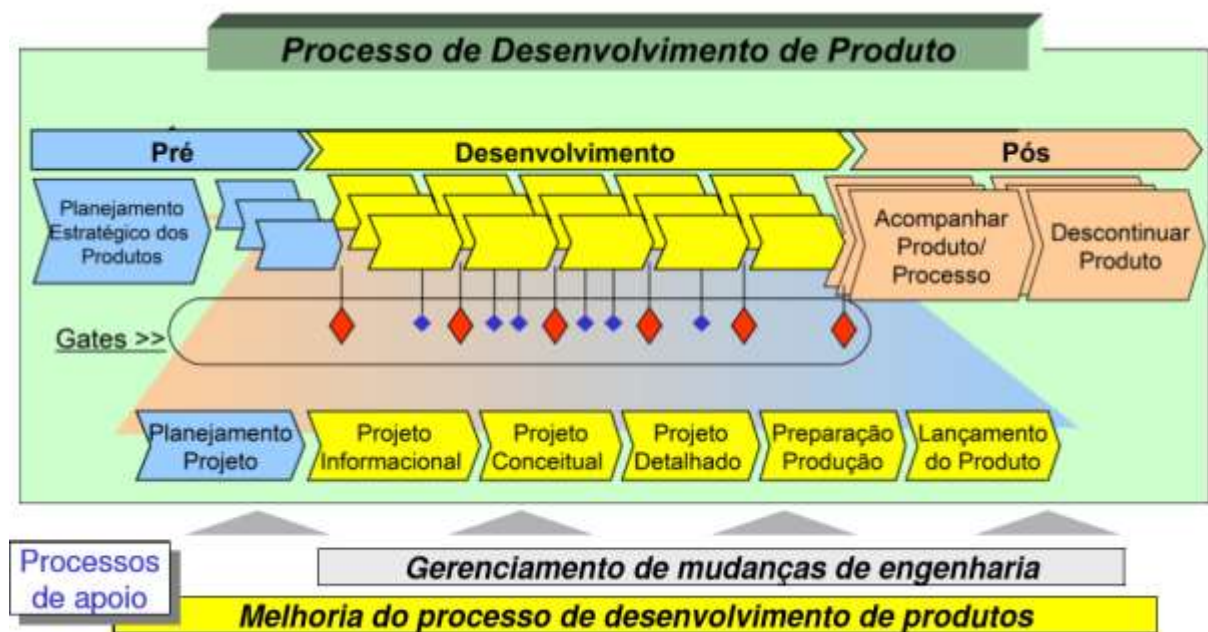
Segundo Back et al. (2008), o custo do produto é definido a partir das tomadas de decisões nas primeiras fases de seu ciclo de vida.

As decisões tomadas pelo projetista, durante o desenvolvimento do produto, influenciam nos custos e na qualidade do processo de montagem. (PAHL et al., 2005)

Para Baxter (1998), os primeiros passos do desenvolvimento definem o sucesso ou o fracasso do produto no mercado. Dessa forma pode-se dizer que a fase inicial, assim como as primeiras decisões e as metas que são traçadas durante o PDP são as mais importantes, e devem ser executadas com o maior cuidado.

Rozenfeld et. al. (2006), apresentam o PDP dividido em várias etapas, conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 - Modelo de referência do PDP



Fonte: adaptado de Rozenfeld et al. (2006)

Para Rozenfeld et al. (2006), o foco do projeto informacional é converter as informações levantadas nas etapas anteriores do PDP, em uma lista de requisitos do produto, que também podem ser chamados de metas.

Durante a etapa do projeto conceitual, ocorre a transformação de todas as informações e metas, que foram concebidas durante o projeto informacional, em características do projeto do produto. Essas características permitem dar a forma inicial, definir as funções e o *layout* do produto. Nessa fase também são feitos os

primeiros modelos, sendo eles esboços ou propostas virtuais, permitindo assim apresentar as características do projeto, possibilitando uma análise mais aprofundada do produto.

Na fase do projeto detalhado, é executado o projeto propriamente dito, apresentando todos os dimensionais, peças e formas, onde cada peça, conjunto ou lote recebe um desenho. A partir desse momento é possível definir todo o processo de fabricação do produto. Pode ser realizada a fabricação de protótipos com o objetivo de avaliar possíveis erros de projeto, funcionalidade correta do produto, assim também como todas as ferramentas e máquinas necessárias para a fabricação e montagem do produto.

Perante a necessidade de desenvolvimento de um produto, é possível classificar o tipo de projeto que será executado.

Segundo Rozenfeld et. al. (2006), os tipos de projetos podem ser classificados como:

- Projetos radicais;
- Projetos plataforma ou próxima geração;
- Projetos incrementais ou derivados.

O tipo de projeto de produto aplicado no presente trabalho é classificado como projeto plataforma ou próxima geração.

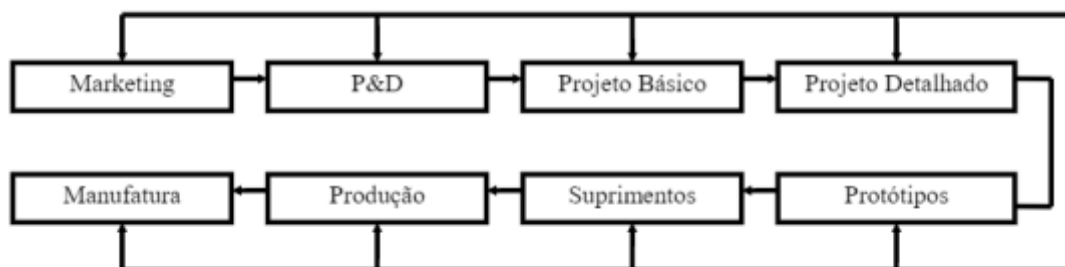
De acordo com Rozenfeld et al. (2006), é característica de um projeto plataforma ou próxima geração, o desenvolvimento de um produto que possui um novo sistema de soluções para o cliente, que pode possibilitar uma nova geração de família de produtos. Além disso, pode ser utilizado como estrutura básica para todo modelo de uma família de produtos existentes, desde que durante a etapa de desenvolvimento seja mantida uma ligação tanto com as gerações anteriores quanto com as posteriores.

2.2 Engenharia Simultânea

Para que o desenvolvimento do produto seja feito em consenso com as demais áreas da empresa, com o objetivo de alinhar as características necessárias do produto com as necessidades do cliente, assim também como as necessidades da fábrica, existe a engenharia simultânea. De acordo com Hartley (1998), engenharia simultânea considera vários requisitos além das funcionalidades necessárias do produto durante processo de desenvolvimento de produtos, como por exemplo: manufatura, qualidade, montagem e vendas.

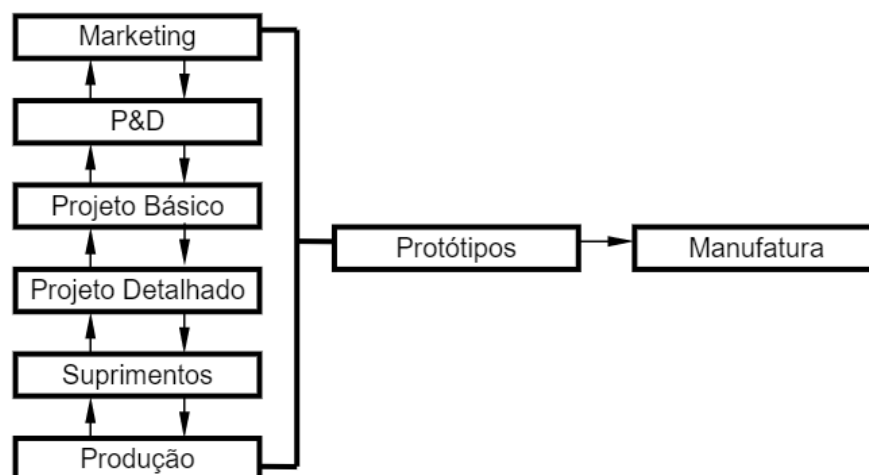
As Figuras 3 e 4 apresentam a esquematização das sequências aplicadas no processo de desenvolvimento de produto, conforme a engenharia tradicional e a engenharia simultânea.

Figura 3 – Sequência da Engenharia Tradicional



Fonte: Kruglianskas (1995)

Figura 4 – Sequência da Engenharia Simultânea



Fonte: Kruglianskas (1995)

Como pode ser verificado na Figura 2, a engenharia tradicional tem como características: possuir etapas sequenciais, com pouca interação entre as etapas, e com um ciclo de desenvolvimento de produto relativamente longo. Já a engenharia simultânea, conforme apresentado na Figura 3, possui uma interação entre todas as etapas, e um ciclo reduzido de desenvolvimento de produto.

Para Melloni (1998), a engenharia simultânea cria a possibilidade de integração de várias áreas, desde a ideia inicial do produto até o lançamento, isso permite a transferência de experiências, conhecimentos e recursos entre as equipes ampliando assim a assertividade, a qualidade, a redução do “*time-to-market*”, a redução de custo de desenvolvimento e, por fim, possibilita a criação de produtos com sucesso. Ainda segundo o autor, os principais objetivos da engenharia simultânea são:

- Reduzir os custos do produto em todo o seu ciclo de vida;
- Reduzir o tempo de desenvolvimento do produto;
- Ampliar a qualidade;
- Ampliar a assertividade.

Prasad (1996) define a engenharia simultânea como um desenvolvimento paralelo e integrado de produtos, que possibilita uma visão ampla de todos os elementos do ciclo de vida do produto.

Rozenfeld (2014) cita que houve várias ampliações dos conceitos da engenharia simultânea a partir da utilização de *softwares* (*Computer Aided Design - CAD/ Computer Aided Engineering - CAE/ Computer Aided Manufacturing - CAM*) e da aplicação de ferramentas de projeto (DFX, QFD, entre outras).

Segundo Beercheck (1990), a transferência de informações e dados de projetos da engenharia para o chão de fábrica, pode ser considerado o maior benefício da engenharia simultânea, pois ela permite a redução do ciclo de fabricação, desde que essa transferência seja feita através de *softwares* como CAM e CAD.

2.3 Projeto para a X (DFX)

2.3.1 Conceituação

De acordo com Romeiro Filho et al. (2011), para atender a competitividade do mercado consumidor, foram desenvolvidas ferramentas para a metodologia de projetos, que auxiliam o projetista na criação de novos projetos, levando em consideração que isso se torna um trabalho complexo devido à tecnologia atual. “Essas ferramentas (ou métodos) de projeto são chamadas genericamente de DFX, ou Design for X (projeto para X).” (ROMEIRO FILHO et al., 2011, p. 202)

Para Holt et al. (2009), o objetivo do DFX é atingir a excelência em cada fase do ciclo de vida do produto. Desta forma a ferramenta de projeto DFX é conhecida como “Design for eXcellence”.

Bralla (1996) define o DFX como uma ferramenta onde as fases do ciclo de vida do produto são meticulosamente analisadas durante a fase de desenvolvimento do produto.

De acordo com Bralla (1998), o Design for X (DFX), consiste em projetar produtos, utilizando boas práticas que maximizam as características desejáveis, tais como:

- Alta qualidade;
- Confiabilidade;
- Facilidade de manutenção;
- Ergonomia;
- Minimizar os custos de fabricação.

Segundo Romeiro Filho et al. (2011), o DFX tem como objetivo levar ao mercado um produto que possa ser fabricado de forma rápida e com boa qualidade, tornando-o competitivo. A comunicação e cooperação entre as áreas de engenharia e de processos é de suma importância e é a base deste conceito. Os principais desdobramentos do DFX são:

- *Design for Manufacturing* (DFM);
- *Design for Assembly* (DFA).

2.3.2 Design for Manufacture and Assembly (DFMA)

Conforme apresentado por Boothroyd et al. (2002), tanto o DFM como o DFA possuem conceitos e objetivos semelhantes. Para os autores, quando há a aplicação das ferramentas de projeto DFM e DFA, durante o desenvolvimento de um produto, ocorre o aumento da eficiência dos processos produtivos, principalmente nas etapas de manufatura e montagem. A aplicação de ambas ferramentas combinadas, *Design for Manufacture* (DFM) juntamente com o *Design for Assembly* (DFA), mantendo seus conceitos e objetivos, resultam no Design for Manufacture and Assembly (DFMA).

Boothroyd et al. (2002) apresentam os principais objetivos resultantes da combinação supracitada. São eles:

- Auxiliar no desenvolvimento de um produto simples e de baixo custo. A redução do custo do produto deve-se principalmente à simplificação dos processos de fabricação e montagem;
- Garantir que o projetista não trabalhe totalmente focado somente nas características do produto, mas também possibilita uma visão voltada à fabricação e montagem do produto, desta forma aprimorando a produtividade;
- Difundir as experiências entre projetistas, que normalmente são adquiridas durante o passar dos anos, ficando armazenadas com os projetistas mais experientes. Isso possibilita um processo de desenvolvimento mais inteligente e amplia o nível das análises e ideias geradas pelas equipes de desenvolvimento e projetistas durante a criação de um novo produto. Pode-se ressaltar que desta forma o processo de desenvolvimento torna-se autossuficiente;
- Gerar uma base de dados, com o objetivo de auxiliar possíveis verificações futuras das etapas de montagem e fabricação, como por exemplo: estudo de tempos;
- Promover a comunicação entre o projetista e os demais setores envolvidos durante o desenvolvimento do produto, para que as diversas decisões tomadas durante essa etapa fiquem arquivadas, facilitando desta forma qualquer consulta futura.

2.4 Projeto para a Montagem (DFA)

Para o presente trabalho a questão de pesquisa poderia ser expressa por: De que forma é possível executar o desenvolvimento de uma estrutura metálica de QGBT competitiva, peso reduzido, de baixo custo, com processo de fabricação simplificado, de boa qualidade e com a aplicação da ferramenta DFA?

2.4.1 Conceituação

O objetivo desta ferramenta é simplificar o produto, ou seja, “um processo para aprimorar o projeto do produto, para obter uma montagem fácil e de baixo custo, focando-se na funcionalidade e na facilidade de montagem simultaneamente.” (SALUSTRI E CHAN, 2005, p.1)

Segundo Costa et al.(2005), o produto ideal, para a ferramenta DFA, tem apenas uma peça, ou seja, quanto maior número de peças, maior é a dificuldade da manutenção da eficiência da linha de montagem.

Para Scur (2009), apesar de ser um desenvolvimento recente, muitas indústrias já vêm utilizando o DFA, como por exemplo a *General Electric*, que publicou, por volta de 1960, um manual interno de orientações para auxiliar os projetistas, que se encaixam nos princípios do DFA.

De acordo com Pahl et al. (2005), a qualidade da montagem e os recursos dependem do tipo e número de operações de montagem, assim também como a sua execução.

Para Romeiro Filho et al. (2011), o DFA melhora a eficiência do processo de montagem a partir de uma análise aprofundada de novas concepções do projeto. Esta ferramenta tem como objetivo simplificar o produto, facilitar a montagem, com custos operacionais mais baixos, mas mantendo todas as funcionalidades do produto (BOOTHROYD et al (2002); REDFORD; CHAL (1994)).

Segundo Bralla (1996), reduzir a quantidade de peças é crucial quando se aplica a ferramenta DFA durante o desenvolvimento do produto, além disso, deve ser avaliado a possibilidade de montagem em subconjuntos (dividindo a montagem em etapas). O autor lista os princípios que devem ser aplicados na etapa de desenvolvimento. São eles:

- Padronizar os desenhos. Usar documentos padronizados sem muitas variações de layouts de apresentação e estilos;
- Utilizar subconjuntos modulares. Um módulo específico pode ser aplicável a diferentes produtos gerando benefícios em produção em escala
- Utilizar montagem vertical. Montagem com o auxílio da gravidade.

2.4.2 Vantagens na utilização do DFA

Segundo Bralla (1998), *Design for Assembly - DFA*, ou seja, projetar para montagem, é simplificar o produto, reduzindo o número de peças, assim a sua montagem será mais fácil e mais rápida. Um produto concebido para facilitar a montagem pode proporcionar benefícios em toda a empresa. Benefícios adicionais, quando o número de peças é reduzido, são: menos documentos de engenharia e controle de produção, menor necessidade de documentos de inspeção e controle de qualidade, menos configurações, menos movimentação de materiais e redução da carga de trabalho de compras.

Para Boothroyd et al.(2002), a análise sistemática fornecida pela ferramenta DFA durante o desenvolvimento de um produto, resulta em uma série de vantagens. Os custos dos processos de montagem e manufatura ficam exponencialmente reduzidos devido a simplificação do produto, que por sua vez, possibilita uma série de vantagens para a empresa diretamente atreladas aos custos e despesas, sendo elas: menos desenhos, menos mão-de-obra etc. Entretanto, deve-se ressaltar que não necessariamente o custo reduzido é o foco da empresa, muitas vezes a qualidade dos produtos é o objetivo principal, desta forma a ferramenta DFA pode auxiliar na qualidade de montagem, levando em consideração que é um processo simples, reduzindo os erros durante esse processo e possibilitando a venda de produtos de qualidade.

2.5 Projeto para Montagem, Recomendações ao Projetista

Neste ponto ocorre um desdobramento na questão de pesquisa: Quais cuidados o projetista deve ter para facilitar a montagem?

2.5.1 Tipos de montagem

Daabub e Abdalla (1999) classificam os tipos de montagem em seis categorias:

- Manualmente montado;
- Manualmente montado com auxílio mecânico;
- Automaticamente montado usando equipamento de indexação;
- Automaticamente montado usando equipamento de transferência e posicionamento dedicado;
- Automaticamente montado com sistema de transferência e posicionamento programável;
- Automaticamente montado com a aplicação de robôs.

2.5.2 Montagem Manual – Manuseio

Para Scur (2009), o processo de montagem manual pode ser separado em duas áreas:

- Manuseio (aquisição, orientação e movimentação de peças)
- Inserção e fixação (encaixe de uma peça em outra peça)

Gurgel (2001) conceitua o manuseio como sendo a movimentação de materiais ou ferramentas de forma manual, sem o auxílio de equipamentos.

Romeiro Filho et al. (2011) apresentam quais são os principais parâmetros que influenciam o processo de montagem manual. São eles:

- Necessidade da peça;
- Necessidade de orientação;
- Possibilidades de manipulação;
- Direções e sentidos de montagem;
- Dificuldades de inserção;
- Necessidade de ferramentas especiais para manipulação;
- Visibilidade na inserção;
- Operações preparatórias;
- Aspectos ergonômicos.

2.5.3 Aplicação do DFA durante o desenvolvimento do Produto

Segundo Boothroyd et al.(2002), durante a etapa de desenvolvimento de um produto, existem uma série de recomendações que o projetista deve atentar para facilitar a montagem manual. São elas:

- Projetar peças simétricas em todos os sentidos possíveis;
- Quando não for possível projetar peças simétricas, projetar peças que sejam claramente assimétricas;
- Evitar elementos que permitam emaranhamento de peças quando armazenadas;
- Evitar peças que sejam perigosas (pontiagudas); muito grandes ou muito pequenas.

Para Bralla (1998), o projetista deve entender o método de montagem a ser usado e saber que ferramentas e acessórios serão utilizados durante a montagem. O projetista deve olhar para o conjunto ou subconjunto à procura de um meio de reduzir o custo de produção. Uma montagem deve ser usada quando os resultados desejados e custos reduzidos (incluindo investimento no ferramental) poderão ser conseguidos, de melhor forma, com um grupo de peças do que com uma parte individual mais complexa. Cada um dos componentes ou a montagem deve ser concebido para reduzir o número de processos de fabricação e operações de montagem.

De acordo com Boothroyd et al.(2002), o projetista deve estar atento para as condições específicas de montagem e a facilidade na inserção de peças:

- Utilizar processos de fixação que agilizem montagem (encaixe, rebitemento, etc.);
- Projetar encaixes com pouca ou nenhuma resistência à inserção das peças (prever chanfros ou guias para facilitar a inserção);
- Padronizar peças, processos e métodos;
- Usar montagem do tipo pirâmide;
- Evitar a necessidade de redirecionamento de montagem.

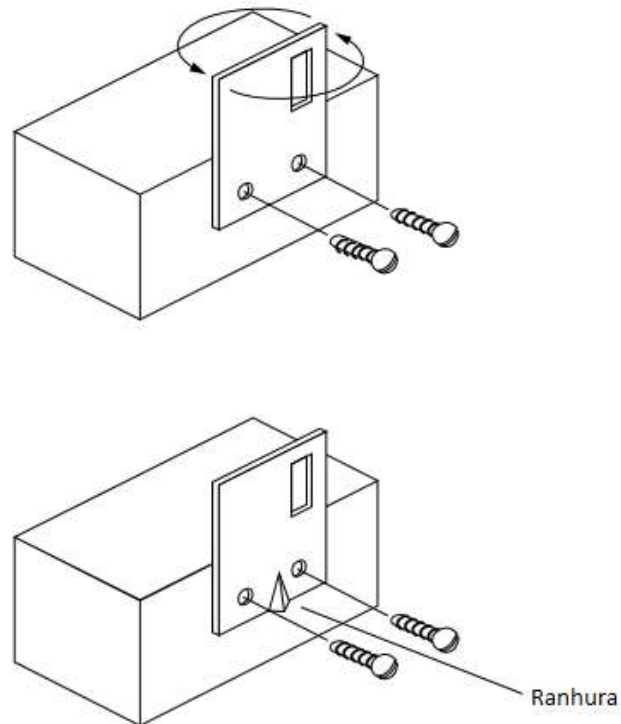
De acordo com Pahl et al. (2005), de forma prática, durante o detalhamento do projeto, é possível ser alcançada uma melhoria no processo de montagem, que garante qualidade pela:

- Decomposição;
- Diminuição;
- Padronização;
- Simplificação.

Bralla (1998), apresenta as recomendações gerais para um projeto para a montagem, auxiliando o projetista durante a etapa de desenvolvimento do produto. Na sequência algumas delas:

- Utilizar fixadores padrões, visando o mínimo de tamanhos e modelos possível;
- Utilizar a menor quantidade possível de fixadores;
- Dar preferência na montagem em subconjuntos, ou seja, que permita uma pré-montagem antes da montagem final, dessa forma facilitando o processo de montagem, assim também como proporcionando qualidade e confiabilidade;
- Evitar muitos níveis de subconjuntos, pois isto pode acarretar em uma sobre carga na fábrica, aumentando a movimentação e necessidade de verificação;
- Projetar peças que não permitam a inserção incorreta por meio de sua geometria, conforme mostra a Figura 5.

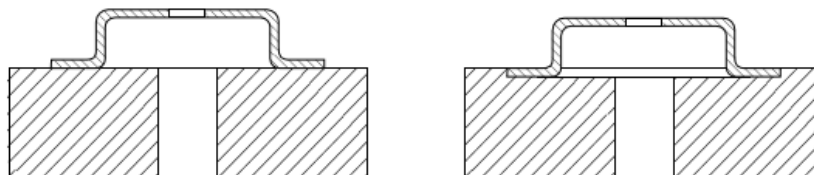
Figura 5 - Peças projetadas para impedir inserção incorreta



Fonte: adaptado de Bralla (1998)

- Dar preferência para montagens de cima para baixo, onde a gravidade pode auxiliar;
- Evitar montagens que necessitem de inserção simultânea de várias peças, especialmente quando o espaço é limitado;
- Projetar peças que se alinham automaticamente na posição correta, conforme mostra a Figura 6.

Figura 6 – Peças que se posicionam automaticamente

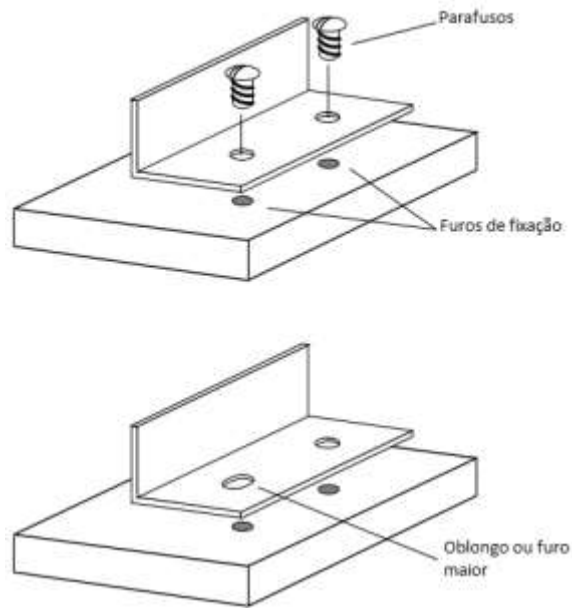


Fonte: adaptado de Bralla (1998)

- Eliminar tolerâncias e ajustes quando possível;

- Utilizar furos maiores para inserção de fixadores, facilitando assim o alinhamento das peças para fixação. Um exemplo desta boa prática está representado na Figura 7.

Figura 7 – Furos maiores para facilitar a montagem



Fonte: adaptado de Bralla (1998)

Conforme citado pelo autor, em resumo, o DFA orienta ao projetista que utilize na concepção do projeto do produto, peças simples, que devem ser unidas, quando possível, por meio de juntas encaixáveis.

3 METODOLOGIA

Para tornar possível o desenvolvimento de uma estrutura metálica para QGBT com baixo custo, tempo de montagem reduzido, leve e simplificada, resultando assim em um produto competitivo, é necessário a aplicação de ferramentas modernas de desenvolvimento de produto.

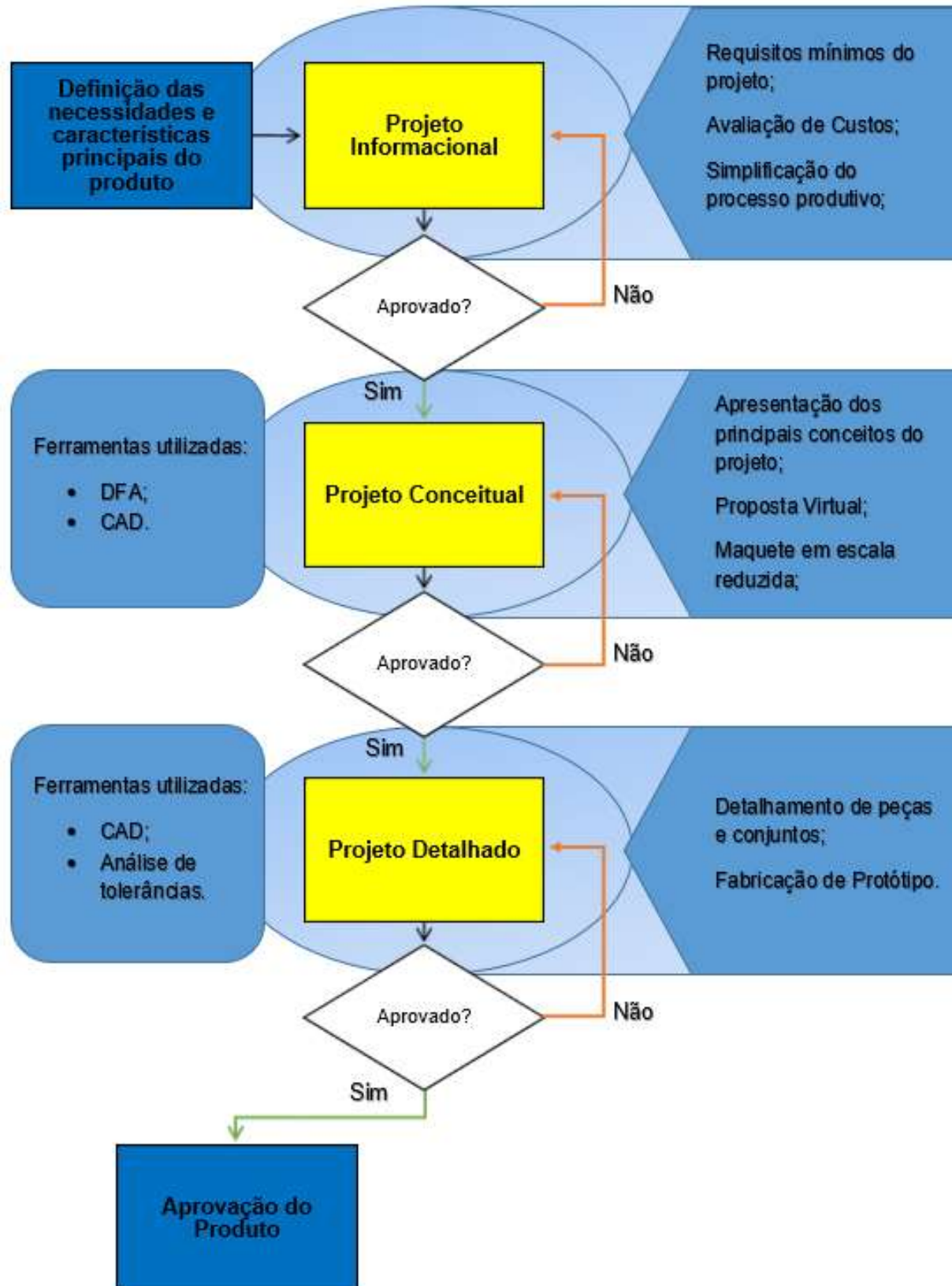
A aplicação da ferramenta DFA tem como principal objetivo reduzir o tempo de montagem, e conseqüentemente o custo do produto. As características e conceitos da ferramenta permitiam a ampliação da visão da equipe de desenvolvimento para a montagem do produto.

A engenharia simultânea foi aplicada devido aos possíveis benefícios em várias etapas do ciclo de vida do produto, como: maior assertividade, melhor qualidade, redução de custo e tempo de desenvolvimento. Esses benefícios são possíveis devido ao compartilhamento de experiências, conhecimentos e recursos entre as equipes que participaram do desenvolvimento do produto.

No presente trabalho foi executado um projeto de produto que pode ser classificado, conforme Rozenfeld et al. (2006), como projeto plataforma ou próxima geração, pois a estrutura que foi desenvolvida pode ser utilizada como base para toda uma família de QGBTs da empresa.

Na Figura 8 é apresentado um fluxograma que demonstra a metodologia e o desenvolvimento executado, assim como as ferramentas aplicadas para obter os resultados desejados:

Figura 8 – Fluxograma de etapas e ferramentas



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

3.1 Definição das características do produto

Rozenfeld (2006) define a etapa que antecede o desenvolvimento como pré-desenvolvimento. Nesta etapa ocorre o planejamento das estratégias definidas pela empresa, pesquisa de necessidades do mercado que o produto em desenvolvimento irá atingir e a definição das suas características.

Na fase que antecedeu o desenvolvimento do projeto do produto, foi realizada uma análise do mercado. Foram verificados produtos de concorrentes e também as necessidades dos clientes, verificações essas foram executadas por equipes de apoio, formadas por pessoas que têm contato direto com clientes e com o mercado. A análise dos concorrentes trouxe informações construtivas para o desenvolvimento do produto. Já a análise das necessidades dos clientes tornou possível a identificação das principais características do produto.

Dessa forma, a partir das informações levantadas, houve uma tomada de decisão, pela gestão da empresa, que definiu as seguintes características e forma construtiva do produto a ser projetado:

- Possuir furos para a fixação equidistantes, distribuídos com 25mm de distância;
- Possibilitar a fixação no piso, normalmente executada com chumbadores;
- Permitir sustentação, como por exemplo: por meio de talha ou empilhadeira;
- Possuir uma estrutura de peso reduzido para facilitar toda a logística integrada durante a fabricação e o transporte até o cliente final;
- Possuir baixo custo de fabricação;
- Possuir as formas de fabricação já aplicadas pela empresa, sem necessidade de terceirização ou investimentos em equipamentos e ferramentais para a execução da sua manufatura.

A lista de características necessárias do produto a ser desenvolvido foi enviada para a equipe de desenvolvimento. Dessa forma, foi possível iniciar o projeto informacional.

3.2 Projeto informacional

Conforme apresentado por Rozenfeld (2006), a fase de projeto informacional tem como objetivo transformar as informações levantadas durante a etapa do pré-desenvolvimento em requisitos de projeto, que também podem ser chamados de metas, obtendo de forma completa um conjunto de informações mais direcionadas ao desenvolvimento do produto. As metas que são traçadas durante a etapa do projeto informacional servem para facilitar a geração de soluções, facilitar tomadas de decisão futura e, ainda, definir critérios para avaliação dos resultados obtidos. Pode-se dizer que ao aplicar as soluções corretas para os problemas encontrados, evitam-se problemas futuros.

O início da etapa do projeto informacional foi dado a partir do recebimento da lista das características necessárias do produto em desenvolvimento. Então foi feita uma análise do produto atual, com o objetivo de identificar possíveis melhorias, que podem ser convertidas em requisitos de projeto. Essa análise foi executada pela equipe de desenvolvimento.

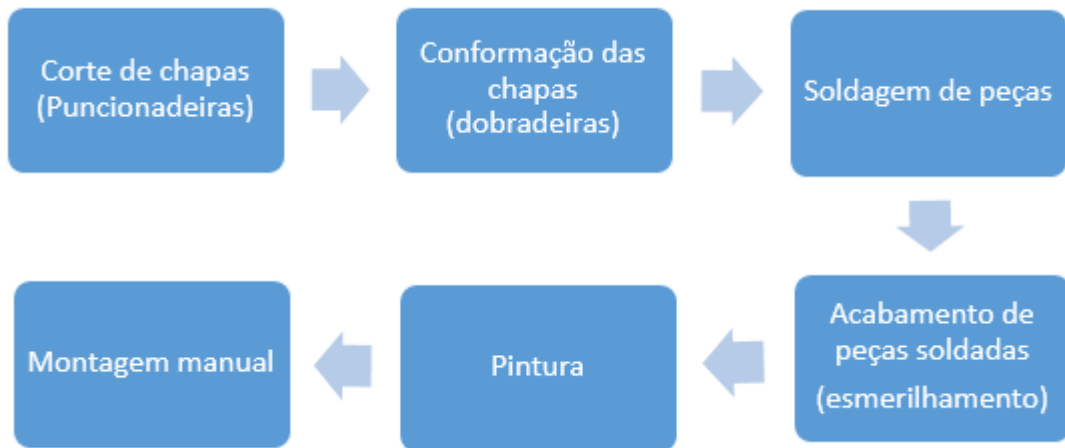
O produto atual da empresa possui 3 perfis verticais que são aparafusados em uma peça na parte inferior e outra peça na parte superior sendo que nenhuma delas possui encaixe ou simetria para facilitar a montagem. Além disso possui uma série de peças para executar os fechamentos e conferir resistência mecânica a estrutura. A base é um conjunto de peças soldadas com necessidade de acabamento na solda.

Todas as informações levantadas durante a análise foram passadas a um grupo de gestores da empresa, que as transformaram em metas de desenvolvimento do produto. As metas que foram traçadas são:

- Redução do custo: 30% menor do que o produto atual;
- Redução de peso: 20% menor do que o produto atual;
- Eliminar pelo menos uma etapa do processo de manufatura;
- Redução do tempo de montagem: 40% menor do que o produto atual;
- Redução da quantidade de solda utilizado: 20% menor do que o produto atual;
- Possibilidade de fixação no piso e sustentação.

Para obter a tomada de decisão correta, quanto ao corte de uma etapa do processo de manufatura do produto, precisou-se conhecer e avaliar todo o processo em questão, já aplicado na família de produtos (QBGTs) atuais da empresa. O processo de fabricação atualmente utilizado segue uma sequência ilustrada na Figura 9.

Figura 9 – Fluxograma das etapas de manufatura atualmente aplicadas



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Ao obter as informações do processo produtivo atual, pode-se executar uma análise sucinta, separando as etapas indispensáveis das possíveis etapas que podem ser substituídas ou eliminadas. Esta separação foi executada a partir da apresentação dos objetivos e necessidades atendidas por cada etapa. A análise em questão é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Análise das etapas de manufatura do produto atual

Etapas	Objetivos e Necessidades	Resultado
Corte de chapas	Obter o <i>Blank</i> que posteriormente é conformado; Dar a forma inicial a peça.	Indispensável
Conformação das chapas	Obter a geometria necessária.	Indispensável

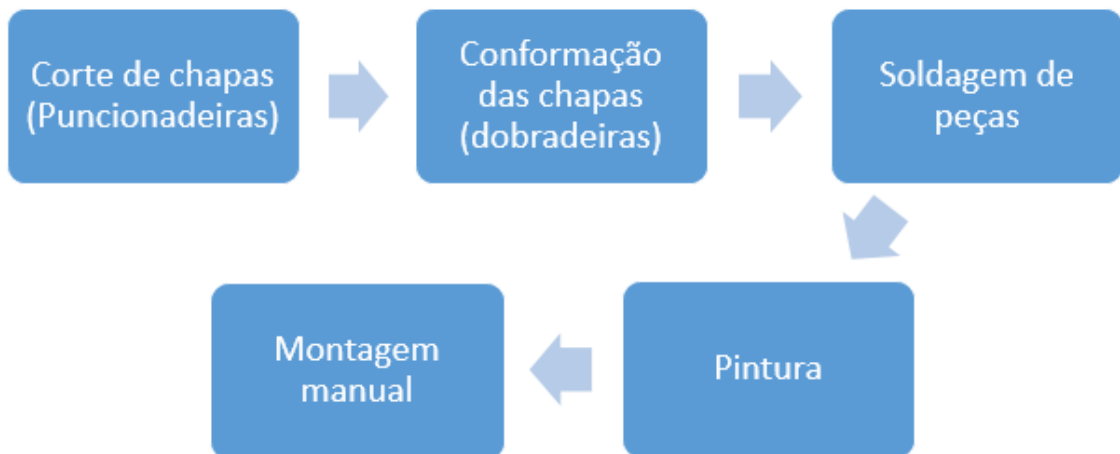
Soldagem das peças	Unir peças para obter uma forma que não é possível apenas com a etapa de conformação.	Indispensável
Acabamento das peças soldadas	Obter boa estética na solda em peças que ficam visíveis, ou seja, na parte externa do produto acabado.	Dispensável
Pintura	Obter a aparência desejada; Proporcionar ao produto a característica de ter resistência a um determinado grau de corrosão.	Indispensável
Montagem manual	Unir as peças para dar forma final ao produto.	Indispensável

Fonte: Elaborada pelo autor (2016)

Para evitar que soldas de acabamentos indesejáveis fiquem visíveis na parte externa do produto, a solução que pode ser aplicada é extremamente simples, basta não executar soldagem nas faces externas das peças.

A partir da finalização da análise das etapas do processo de manufatura, pode-se apresentar a proposta do novo processo de fabricação do produto em desenvolvimento. A Figura 10 apresenta a proposta do novo processo de fabricação.

Figura 10 – Fluxograma da proposta das etapas de manufatura



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

O custo do produto atual da empresa gira em torno de 900 reais, considerando a soma entre custos fixos e variáveis, portando considerando que a meta traçada para a redução de custo é de 30%, o produto em desenvolvimento deve custar em torno de 600 reais.

As metas definidas de redução de peso, eliminação de pelo menos uma etapa do processo de manufatura, redução do tempo de montagem e redução do comprimento de solda utilizado, contribuem diretamente na redução de custo do produto.

3.3 Projeto conceitual

Para Rozenfeld (2006), o projeto Conceitual apresenta as características, a forma e as funções do produto. Ao término do projeto informacional, tem-se a relação das metas que o PDP tem como objetivo alcançar, então o projeto conceitual trabalha na transformação das metas em soluções e princípios para serem adotados durante o desenvolvimento do produto.

A partir deste contexto, nesta etapa apresentamos o desdobramento das metas e as características do produto em desenvolvimento. Será apresentado as ferramentas que foram utilizadas durante a concepção do produto, e também, a proposta virtual e a maquete em escala reduzida.

Para poder iniciar o projeto conceitual foi necessário executar um desdobramento das metas, com o objetivo de definir as características e a forma do

produto em desenvolvimento. Executou-se então, uma pesquisa sobre qual ferramenta facilitaria o alcance das metas. Essa pesquisa foi executada juntamente com auxílio do campus do Instituto Federal de Santa Catarina Geraldo Werninghaus, mais especificamente do professor orientador deste trabalho, Prof. Dr. Gil Magno Portal Chagas.

A ferramenta de projeto DFA possui a característica de elaborar projetos para a montagem, ampliando a visão do projetista para obter soluções, detectar problemas e propor melhorias do processo de montagem a partir de conceitos básicos de projeto.

Executou-se então, o desdobramento das metas juntamente com a aplicação dos conceitos da ferramenta DFA. O desdobramento das metas, possibilitou a criação de uma lista de requisitos para o produto em desenvolvimento. Essa lista de requisitos foi definida com o apoio das áreas de processos engenheirados, departamento de vendas e também de funcionários experientes da fábrica, seguindo os princípios da engenharia simultânea. Na sequência são apresentados os diversos requisitos que o novo produto deve atender:

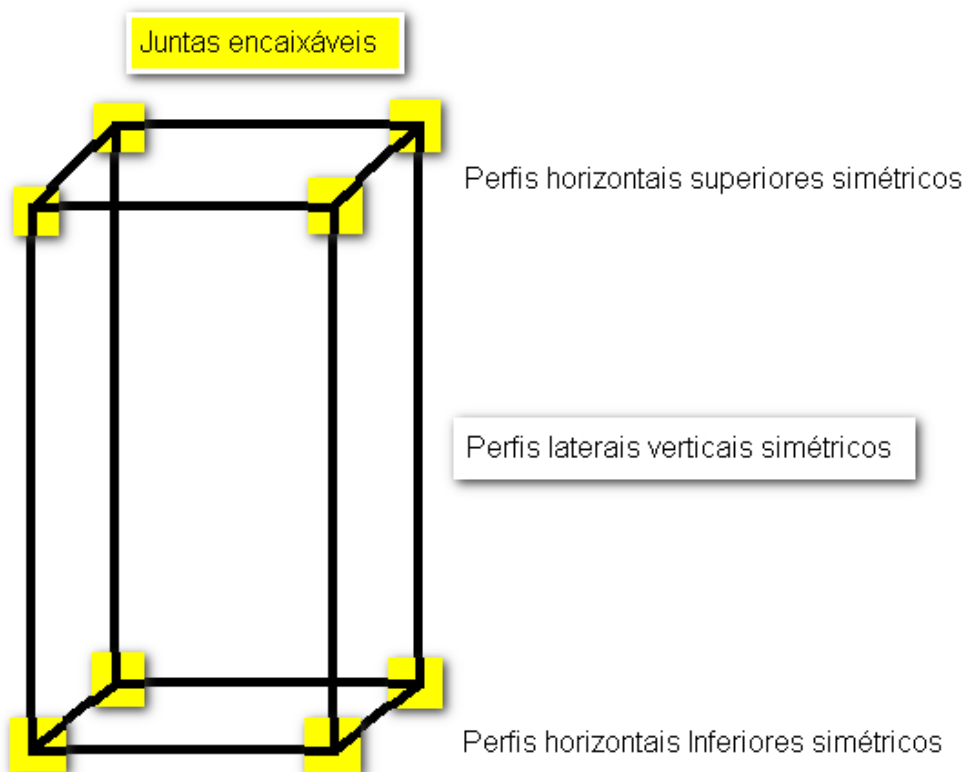
- Pouca utilização de matéria prima;
- Baixo número de peças;
- Peças com baixa quantidade de solda;
- Soldas sem processo de acabamento;
- Baixa quantidade de elementos de fixação;
- Pouca variedade de fixadores;
- Possibilidade de fixação no piso e sustentação;
- Furos para a fixação equidistantes, distribuídos com 25mm de distância;
- Produto simplificado;
- Montagem em subconjuntos;
- Montagem vertical, auxiliada pela gravidade;
- Peças simétricas;
- Peças que sejam claramente assimétricas, quando não for possível projetar peças simétricas;
- Peças que não se emaranhem quando armazenadas;
- Conjuntos e subconjuntos encaixáveis;
- Peças que não permitam a inserção incorreta;

- Peças que se alinham automaticamente na posição correta.

A partir do desdobramento das metas e definição da lista de requisitos devido à aplicação da ferramenta DFA, torna-se possível o desenvolvimento das concepções do produto.

Executou-se uma análise de como seria o produto, considerando que deve ter poucas peças e possuir encaixes. Tem-se então a ideia de utilizar perfis metálicos, que sejam simétricos quando possível, e possuam juntas encaixáveis, lembrando que o QGBT tem a forma de um cubo tridimensional. A Figura 11 apresenta um esboço, contendo a ideia mais detalhada.

Figura 11 – Esboço da ideia do produto



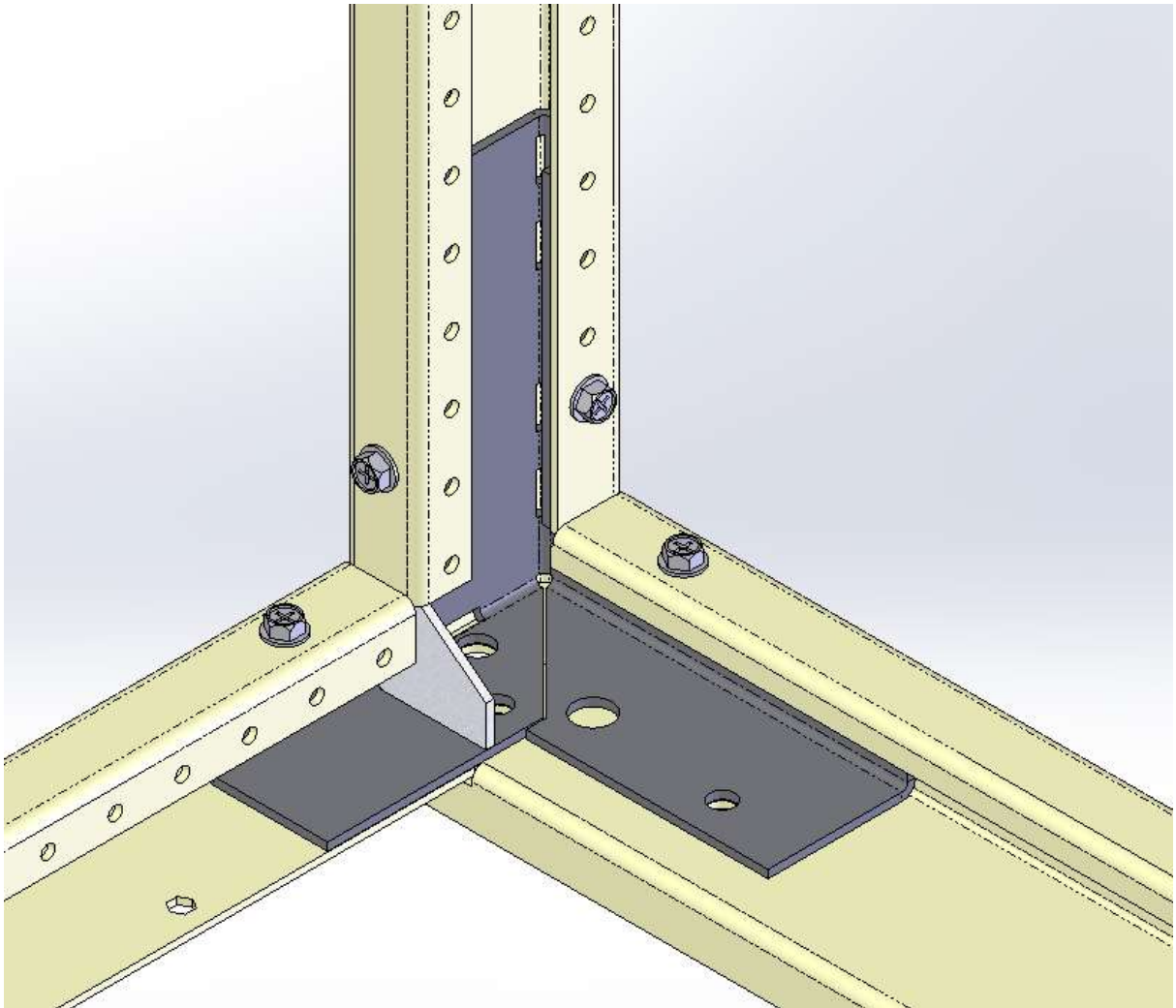
Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

As uniões dos perfis devem ser feitas por uma peça com geometria que impeça a montagem incorreta, que alinhe automaticamente na posição correta os perfis, que seja rígida o suficiente para garantir o esquadramento da estrutura e resistência mecânica considerável. Contudo, deve-se ter o cuidado de não utilizar muitos elementos de fixação, dessa forma a fixação dos perfis na junta deve ser feita por um ou no máximo dois parafusos. É indispensável que o produto não tenha mais

do que três tipos diferentes de fixadores.

A Figura 12 mostra a proposta da junta que contém três direções de encaixe, sendo que cada direção possui uma forma diferente para impedir que ocorra montagem incorreta, conforme conceito da ferramenta DFA. A proposta virtual da junta foi elaborada por meio do *software SolidWorks*.

Figura 12 – Proposta virtual da junta



Fonte: Elaborada pelo autor (2016)

Para possibilitar a aprovação dos conceitos e da forma construtiva do produto, foi fabricada uma maquete em escala reduzida, com o apoio da seção de processos engenheirados e da fábrica. A Figura 13 mostra a maquete.

Figura 13 – Maquete em escala reduzida



Fonte: Elaborada pelo autor (2016)

Os requisitos definidos no começo do projeto conceitual, tornaram possível a geração de soluções para o produto em desenvolvimento. A maquete em escala reduzida juntamente com as soluções foram levadas para aprovação por um grupo de gestores da empresa.

3.4 Projeto detalhado

De acordo com Rozenfeld (2006), o detalhamento do projeto é executado neste momento. Todas as peças recebem desenhos, assim como os conjuntos e subconjuntos. As informações dos processos de fabricação e montagem são definidas por completo nesta etapa. A prototipagem também pode ser feita com o objetivo de testar, avaliar e otimizar o produto.

Nesta etapa é apresentado o detalhamento das peças e os protótipos que foram fabricados para validação do projeto. Todos os desenhos das peças, conjuntos e subconjuntos de montagem foram feitos por meio do software de CAD *Solid Works*.

Durante o detalhamento das peças e conjuntos de montagem houve o acompanhamento das equipes de processos e funcionários experientes da fábrica, para verificar possíveis melhorias, seguindo os princípios da engenharia simultânea.

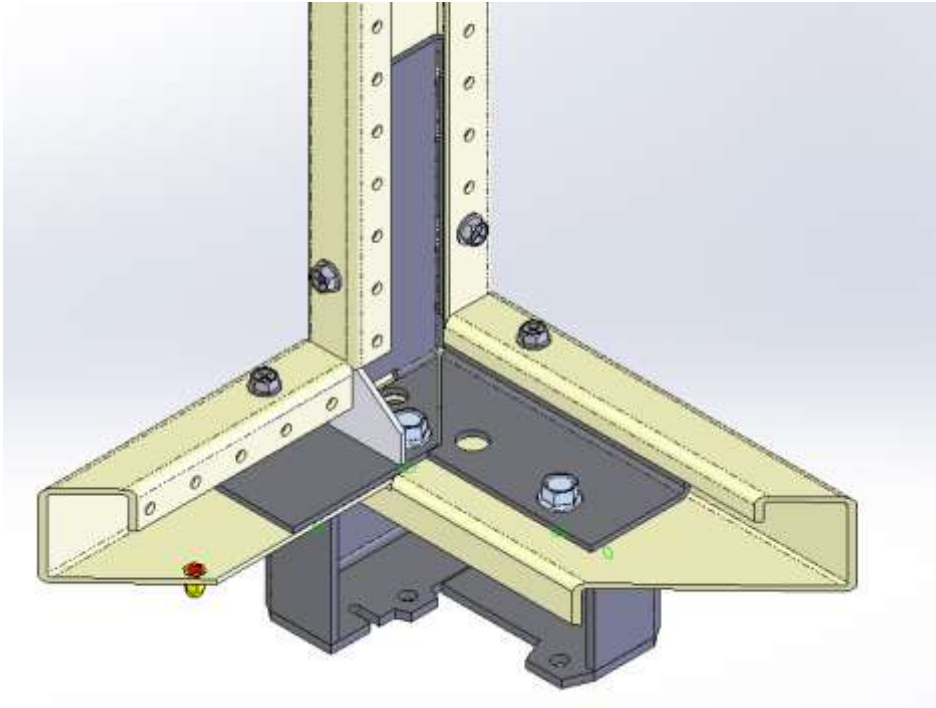
Após a proposta virtual da junta encaixável e a maquete em escala reduzida serem aprovadas, pôde-se detalhar a estrutura como um todo, iniciando obviamente pela peça mais complexa e mais importante do produto: a junta encaixável.

A peça que executa a função da junta encaixável deve obedecer aos conceitos da ferramenta DFA, pois essa é a peça que será mais utilizada na estrutura, somando um total de oito peças por estrutura, além disso, deverá possuir pouca solda, isentar todo e qualquer tipo de acabamento da solda e principalmente ser simétrica. O apêndice A mostra o detalhamento da junta encaixável.

Os perfis estruturais devem ser isentos de solda, simétricos quando possível e possuir um peso reduzido. Todas essas características respeitam os requisitos estabelecidos para o projeto.

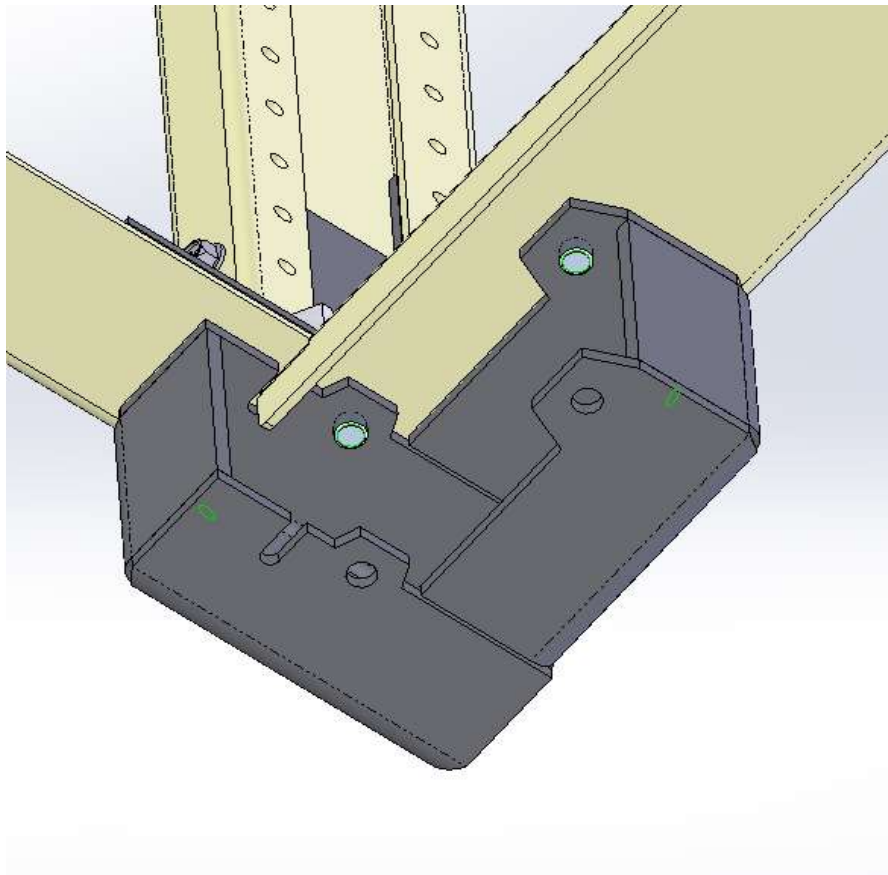
A base do QGBT deve permitir a fixação no piso, assim como possuir pouca quantidade de solda. Esse componente sofre o maior carregamento que pode ser aplicado na estrutura, portanto, a resistência mecânica deve ser elevada. É necessário que a base seja projetada de forma que facilite a montagem, conforme o DFA, logo deve impedir a montagem incorreta e ser simétrica. As Figuras 14 e 15 apresentam a solução encontrada que atende os requisitos supracitados.

Figura 14 – Base do produto fixado na junta. Perspectiva superior



Fonte: Elaborada pelo autor (2016)

Figura 15 – Base do produto fixado na junta. Perspectiva inferior

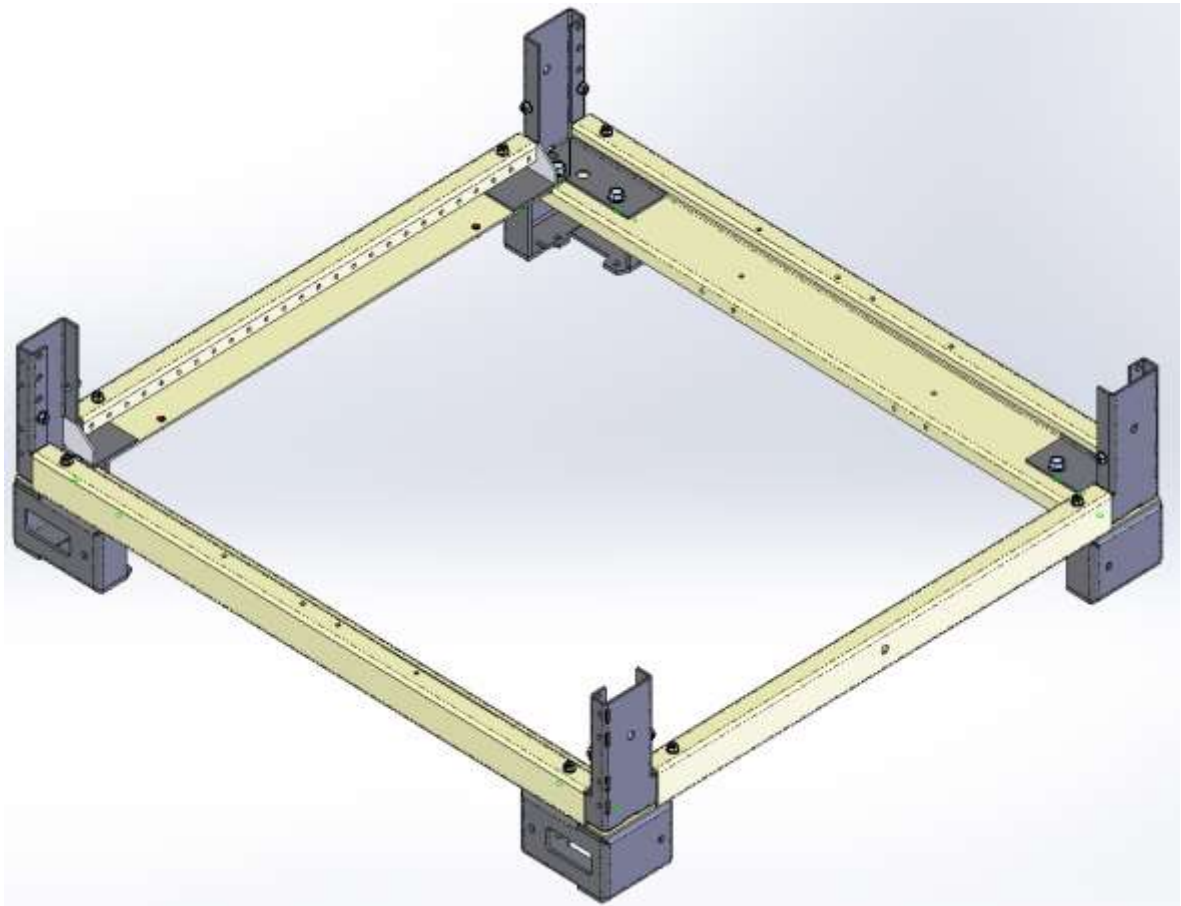


Fonte: Elaborada pelo autor (2016)

Após o detalhamento de todas as peças, realizou-se o detalhamento e definição do processo de montagem. A montagem deve ser realizada quando possível por auxílio da gravidade. Os apêndices B e C mostram como deve ser realizado o processo de montagem assim como a lista das peças e elemento de fixação utilizados.

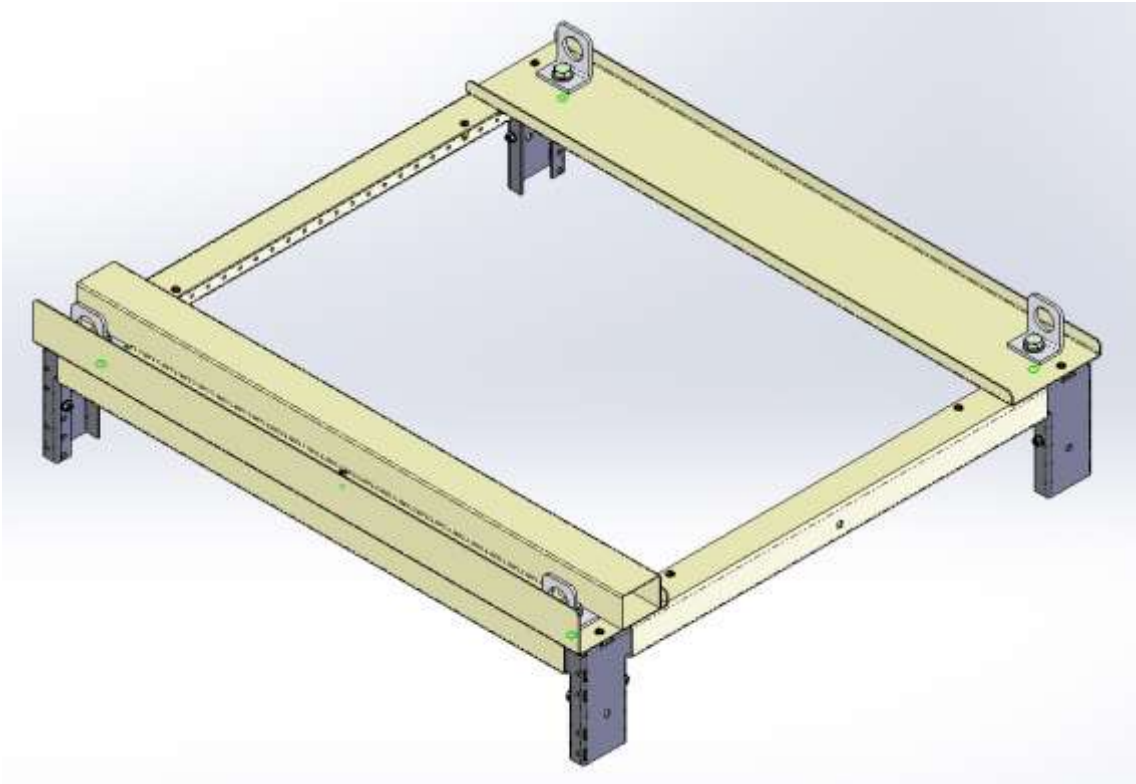
Para otimizar a montagem do produto foi avaliada a possibilidade de realizar a pré-montagem em subconjuntos. As Figuras 16 e 17 apresentam a proposta elaborada para possibilitar a pré-montagem em subconjuntos.

Figura 16 – Subconjunto inferior da estrutura do QGBT



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Figura 17 – Subconjunto superior da estrutura do QGBT



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

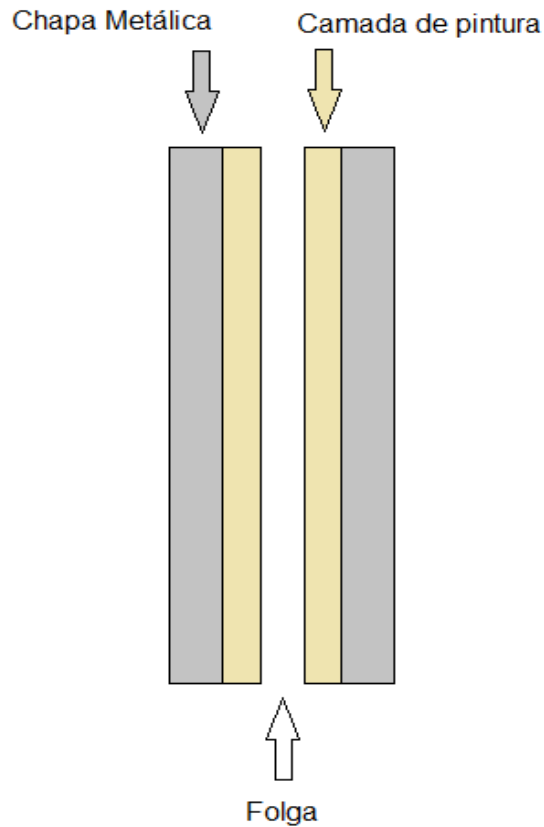
Na proposta de montagem em subconjuntos, é executada a pré-montagem da parte inferior da estrutura assim como da parte superior. Logo após, é posicionado o subconjunto inferior no piso, encaixados os perfis verticais e, por fim, o subconjunto superior.

Como citado anteriormente, todas as peças, conjuntos e subconjuntos foram concebidos utilizando engenharia simultânea, onde foram detalhados juntamente com a equipe de processos engenheirados e representantes da fábrica. Essa tarefa foi executada com o objetivo de otimizar o produto e seu processo produtivo, evitando problemas futuros.

Para permitir que o encaixe dos perfis seja executado de forma fácil e também conferir rigidez à estrutura, é necessário que a folga entre a junta encaixável e os perfis não seja muito pequena e também não muito elevada. Dessa forma, foi necessária uma análise de tolerâncias e afastamentos para a folga entre as peças que fazem parte desse conjunto. A Tabela 2 mostra como foi feita essa análise.

Tabela 2 – Análise de folgas e afastamentos para a junta encaixável

Tolerância de fabricação:	+/- 0,2mm
Acréscimo e Tolerância de pintura:	+ 0,05mm até + 0,075mm



Logo:

Distancia nominal entre chapas:	0,55mm
Afastamento MAX. Somente chapa:	0,95mm
Afastamento MIN. Somente chapa:	0,15mm
Tipo de Ajuste:	Folga
Afastamento MAX. Chapa com pintura:	0,85mm
Afastamento MIN. Chapa com pintura:	0
Tipo de Ajuste:	Folga

Resultado:

É necessário manter uma folga de 0,55mm entre cada face para que o ajuste na montagem seja considerado um ajuste com folga.

Observação:

* Todas as peças recebem pintura.

Com o objetivo de viabilizar a análise de tolerâncias e afastamentos, foi fabricado um protótipo da junta. A Figura 18 mostra o protótipo desenvolvido.

Figura 18 – Protótipo da junta encaixável



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

Por fim, foi fabricado o protótipo em escala real. A Figura 18 mostra o resultado final do produto desenvolvido e apresentado no decorrer desse trabalho. Como pode ser observado na Figura 19, o interior da estrutura contém uma variedade de peças e acessórios de um QGBT. Os resultados alcançados e as funcionalidades atingidas serão discutidos no próximo capítulo.

Figura 19 – Protótipo do QGBT completo



Fonte: Elaborado pelo autor (2016)

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Ao término da execução do desenvolvimento do produto, chegou-se a vários resultados que serão apresentados e discutidos no decorrer deste capítulo. A pesquisa nos levou à utilização de uma ferramenta de projeto, o DFA, que foi aplicada e confrontada com os resultados para verificar se realmente auxiliou ou prejudicou o alcance das metas do presente trabalho.

Este capítulo está dividido em: avaliação da aplicação do PDP, resultados e avaliação do projeto informacional, resultados e avaliação do projeto conceitual, resultados e avaliação do projeto detalhado, resultados de avaliação da utilização do DFA, resultados e avaliação da engenharia simultânea e resultados finais.

4.1 Avaliação da aplicação do PDP

A aplicação do PDP foi importante para a construção deste novo produto. O PDP trouxe segurança e tranquilidade para a empresa de várias formas, dando ênfase na etapa de tomada de decisão inicial, definindo os requisitos mínimos do projeto, metas e instigando a necessidade de pesquisa antes de qualquer tarefa.

Durante a aplicação do PDP houve a participação das equipes de vendas, gestores, processos engenheirados e funcionários da fábrica.

Os envolvidos no desenvolvimento do produto obtiveram, já no momento inicial, as características desejadas pelos clientes e demais setores da empresa. Dessa forma, foi possível aplicar ferramentas para facilitar o alcance das metas do produto, e também houve um nível de assertividade elevado, devido à aplicação do PDP.

4.2 Resultados e avaliação do projeto informacional

Primeiramente o projeto informacional trouxe as metas do produto, que foram elaboradas com a participação dos gestores da empresa. A obtenção das metas representa o início de todo o desenvolvimento e possibilitou as próximas tomadas de decisão.

No segundo momento, o projeto informacional possibilitou uma análise sucinta do atual processo de fabricação aplicado pela empresa, a fim de solucionar uma das metas, que era o corte de uma etapa do processo de fabricação. Logo após essa

análise foi tomada a decisão do corte da etapa de acabamento das peças soldadas, deixando claro de que forma o produto deveria ser projetado: não permitindo a utilização de solda na parte externa do produto.

A análise dos custos definiu o caminho que o processo de desenvolvimento do produto deveria seguir, que basicamente é o alcance das demais metas.

Dessa forma a aplicação do projeto informacional possibilitou um nível elevado de confiabilidade da empresa, deixando claras todas as metas e quais características o produto deveria ter.

4.3 Resultados e avaliação do projeto conceitual

O projeto conceitual gerou, com o auxílio da engenharia simultânea e da ferramenta DFA, uma lista estendida de requisitos do produto, com base nas metas que foram traçadas anteriormente.

Para a empresa, essa etapa do PDP foi importante, pois colocou em prática todas as necessidades e metas definidas para o produto, transformando em soluções concretas e confiáveis para o projeto.

Com relação à forma construtiva do produto, que foi obtida a partir de uma análise executada durante o projeto conceitual, ficou definido que a estrutura do QGBT em desenvolvimento seria formada por perfis simétricos unidos por juntas encaixáveis. Os resultados durante a etapa da montagem foram bons, e serão apresentados no final deste capítulo.

Durante a montagem da maquete em escala reduzida, vários resultados positivos foram descobertos antecipadamente:

- A geometria da junta encaixável impede a montagem incorreta;
- No momento do encaixe os perfis se alinham automaticamente na posição correta;
- O produto ficou com uma quantidade de peças reduzida;
- Para a execução da montagem, a quantidade e a variedade de fixadores ficaram reduzidas;
- É possível a execução da montagem com apenas uma ferramenta (resultado que só foi possível alcançar devido à redução da variedade de fixadores).

Praticamente todos esses resultados vão ao encontro dos requisitos do produto definidos durante essa etapa do PDP, resultando assim em uma certeza que o desenvolvimento estava sendo executado de forma correta. Após a apresentação da maquete e também dos resultados preliminares aos gestores da empresa, a etapa do projeto conceitual foi aprovada e finalizada.

4.4 Resultados e avaliação do projeto detalhado

A etapa do projeto detalhado colocou em prática as soluções, que foram desenvolvidos na etapa anterior do PDP. O detalhamento das peças foi executado com o acompanhamento de várias áreas, mantendo a característica da engenharia simultânea. Isso gerou um alto nível de confiança por parte da empresa, e também, não menos importante, influenciou diretamente no nível de assertividade elevado.

Na sequência é apresentada uma avaliação das peças detalhadas e referenciadas no apêndice B e C, os conceitos aplicados no projeto e também os resultados que diretamente influenciam no alcance das metas:

- Base (posição 1): a base ficou dividida em quatro peças totalmente simétricas, que possuem um encaixe para impedir a montagem incorreta. Para a execução da fabricação é necessária pouca quantidade de solda. Possui um furo para executar a fixação do QGBT no piso. Esses resultados serão necessários para o alcance das metas de redução do tempo de montagem e redução da quantidade de solda utilizada.
- Cantoneiras (posição 2 e 3): foram projetadas de forma simétrica e com o mínimo de matéria prima possível. Utilizam pouca quantidade de solda na etapa da fabricação e permitem montagem dos perfis estruturais por meio de encaixes. Esses resultados obtidos facilitam o alcance das metas de redução de peso, redução do tempo de montagem e redução da quantidade de solda utilizado.
- Perfis estruturais horizontais inferiores e superiores (posição 4, 5, 6 e 7): simétricos quando possível e com peso reduzido. Permitem um tempo de montagem reduzido.
- Perfis estruturais verticais (posição 8): assim como os perfis estruturais horizontais, são simétricos e com peso reduzido. São montados por meio de encaixe com auxílio da gravidade, ou seja, a montagem é executada na

vertical, e isso é um resultado muito satisfatório pois, com aproximadamente 7,5kg, os perfis verticais são as peças mais pesadas de toda estrutura. A sua forma geométrica impede que se emaranhem quando armazenados. Possui furos equidistantes em 25mm para a modularização do QGBT. Esses resultados são necessários para o alcance das metas de redução de peso e redução do tempo de montagem.

- Reforços e olhais para sustentação (posição 9, 10, 15 e 16): Peças simples e que não possuem soldas. Permitem a elevação do QGBT, sendo essa uma das metas do PDP.

Todos os resultados supracitados convergem em possibilitar o alcance da principal meta, a redução de custo. A aplicação dos conceitos foi executada e o resultados foram positivos. Desta forma o projeto detalhado foi preciso do ponto de vista da empresa.

4.5 Resultados e avaliação da utilização do DFA

A ferramenta DFA foi aplicada durante o desenvolvimento deste produto e possibilitou a ampliação da visão dos projetistas para o desenvolvimento de um produto voltado para a montagem manual. Essa ferramenta foi utilizada para permitir o alcance das metas de redução de tempo de montagem e consequentemente a redução de custo. Após o conhecimento dos resultados, que serão apresentados no final deste capítulo, concluiu-se que a ferramenta DFA foi importante e necessária para o desenvolvimento do produto e o alcance das metas.

As características da ferramenta DFA que foram aplicadas, a partir de uma análise detalhada de novas concepções do projeto, estão descritas na sequência, assim como a avaliação do seu resultado no processo de montagem manual:

- Redução do número de peças: permitiu um processo de montagem simplificado, com menos documentos e necessidade de controle. Foi obtida uma redução de 5 peças em comparação com o produto atual da empresa.
- Montagem em subconjuntos: resultou em uma redução de tempo de montagem em larga escala, permitindo a montagem do produto em duas células de montagem e uma montagem final.

- Redução da quantidade e variedade de fixadores: possibilitou a montagem de todo o produto com apenas uma ferramenta, reduzindo o tempo de *setup* de montagem.
- Peças que não permitem a montagem incorreta: proporcionou um aumento na qualidade e assertividade do processo de montagem manual.
- Montagem na vertical, com o auxílio da gravidade: auxiliou no aspecto ergonômico e também na redução do tempo de montagem.
- Peças que se alinham automaticamente na posição correta: aumento na qualidade e assertividade do processo de montagem manual.
- Peças encaixáveis: característica que alterou totalmente a forma de execução de projetos, já que a redução do tempo de montagem e a qualidade do processo de montagem manual são os resultados da aplicação desta característica.

Por fim, o DFA permitiu o desenvolvimento de um produto com baixo tempo de montagem, boa qualidade e conseqüentemente com custo reduzido.

4.6 Resultados e avaliação da engenharia simultânea

A aplicação da engenharia simultânea auxiliou o PDP na empresa, caracterizando o produto com vários aspectos diferenciados que facilitam praticamente todas as etapas da manufatura, além de conferir ao produto um nível elevado de qualidade e tempo de desenvolvimento reduzido. Esses resultados só foram possíveis devido à participação de vários setores da empresa durante a execução do PDP, tanto na etapa do projeto conceitual, quanto na etapa do projeto detalhado. Mas a engenharia simultânea não traz consigo uma forma específica de implantação ou de como deve ser executado. Diante desse problema, a engenharia simultânea foi aplicada de várias formas, com por exemplo:

- Reuniões periódicas entre os gestores de todas as áreas envolvidas na engenharia simultânea;
- Reuniões para troca de conhecimentos entre as equipes de desenvolvimento, processos e funcionários da fábrica;
- Durante a etapa do detalhamento, todos os desenhos, antes de sua liberação final, passam para a equipe de processos para avaliação.

A engenharia simultânea permitiu um ganho de confiança elevado para o produto por parte da empresa, já que várias áreas trabalharam unidas em busca de um único objetivo: um produto competitivo.

4.7 Resultados finais

Como foi citado durante a análise e discussão dos resultados do projeto informacional e do projeto detalhado, as metas de possibilidade de fixação no piso e de elevação da estrutura, e também de eliminar pelo menos uma etapa do processo de manufatura foram alcançadas.

Nesta etapa, são apresentados ao leitor os resultados quantitativos obtidos quando confrontados com as metas, e também uma análise sucinta de cada resultado. Na sequência a Tabela 3 apresenta os resultados quantitativos:

Tabela 3 – Resultados alcançados em comparação com o produto anterior

Meta	Porcentagem da meta	Porcentagem alcançada pelo produto
Redução de peso	20%	4%
Redução do tempo de montagem	40%	42%
Redução da quantidade de solda utilizado	20%	40%
Redução do custo	30%	26%

Fonte: Elaborada pelo autor (2016)

4.7.1 Análise e discussão dos resultados da meta de redução de peso

Essa meta não foi alcançada por dois motivos: 1) Devido aos requisitos dos clientes, o produto teve que ficar maior que o antigo, pois deve suportar uma quantidade maior de compartimentos; 2) durante a prototipagem final, foi verificado que a estrutura não ficou com uma boa estabilidade, então foi feita uma reunião com o grupo de gestores das equipes que participaram da engenharia simultânea, quando foi decidido que a chaparia da estrutura deveria ser mais reforçada, portanto a quantidade de matéria prima foi aumentada.

Por esses motivos a meta de redução de peso não foi alcançada, e automaticamente influenciou a principal meta: a redução de custo.

4.7.2 Análise e discussão dos resultados da meta de redução do tempo de montagem

O resultado obtido superou a meta estipulada para o produto, que só foi possível devido à aplicação da ferramenta DFA aliada à utilização da engenharia simultânea.

Durante a execução do projeto, como citado anteriormente, foram levados em consideração várias características da ferramenta DFA para o produto. Isso possibilitou uma mudança na forma de projetar e elaborar novas soluções. Essas características, de certa forma, são simples de serem utilizadas, mas devem ser executadas de forma correta, pois podem acarretar no aumento indesejado do custo de fabricação das peças, ou até em sua resistência mecânica.

Durante toda a etapa do PDP houve a aplicação da engenharia simultânea, dessa forma alguns problemas que poderiam ser causados pela aplicação da ferramenta DFA foram evitados.

Por fim, a ferramenta DFA é uma excelente solução para desenvolver um produto que possua uma montagem simples e de tempo reduzido.

4.7.3 Análise e discussão dos resultados da meta de redução de quantidade de solda utilizada

Essa meta foi simples de alcançar, pois o produto anterior da empresa possuía uma quantidade elevada de solda. Todo o desenvolvimento foi feito com base nos requisitos do projeto, sendo dois deles:

- Peças com baixa quantidade de solda;
- Soldas sem processo de acabamento.

Desta forma, apenas foi utilizado solda onde realmente é necessário.

4.7.4 Análise e discussão dos resultados da meta de redução de custo

Essa meta foi desde o início do PDP o maior desafio. Todas as medidas tomadas auxiliaram no alcance dessa meta. Entretanto, não foi possível alcançar a meta de 30%, sendo que o motivo por não ter sido possível foi que a redução de

peso alcançada não foi o suficiente.

A avaliação preliminar de custo realizada ainda não considera os ganhos referentes à montagem por subconjuntos, uma das características do DFA, pois ainda não foi criada a linha de montagem do produto. Quando o produto estiver em produção será possível melhorar a avaliação dos custos, e esses ganhos deverão ser contabilizados.

Porém, o resultado que foi obtido neste trabalho foi de 26% de redução do custo da estrutura metálica do QGBT em comparação com o produto anterior, que do ponto de vista da empresa e do autor deste trabalho comprova a eficácia da aplicação da ferramenta DFA durante o desenvolvimento do produto.

5 CONCLUSÃO

Para permitir o desenvolvimento de um produto competitivo, foi necessário definir vários objetivos e metas, assim também como aplicar a ferramenta DFA e desenvolver o produto com a aplicação da engenharia simultânea.

Para atender o mercado atual é necessário que o produto tenha um preço acessível e um tempo de entrega reduzido. Ao cumprir esses dois requisitos certifica-se que o produto é competitivo. É evidente que o preço do produto é proporcional ao seu custo.

Neste contexto, este trabalho teve sempre como principal objetivo a redução de custo do produto e um processo de fabricação simplificado.

A redução de matéria prima seria uma ótima forma de reduzir o custo, portanto o produto foi desenvolvido inicialmente com a mínima utilização de matéria prima, ou seja, a estrutura deveria ficar mais leve que a atual. Durante a etapa do projeto informacional, foi definida a meta de 20% na redução do peso da estrutura em desenvolvimento em comparação com a atual. Mas durante a avaliação das necessidades dos clientes foi constatado que o produto deveria ficar maior que o atual para permitir mais compartimentos, isso influenciou diretamente no peso da estrutura. Durante a prototipagem, foi encontrado o problema de estabilidade da estrutura. Logo foi tomada a decisão de reforça-la, ou seja, elevar a quantidade de matéria prima utilizada. Resultando assim em uma redução de peso de apenas 4%.

Perante a necessidade de desenvolver um produto com processo de fabricação simplificado, foi tomada a decisão de cortar a etapa de acabamento da solda, permitindo assim o corte de uma etapa do processo de fabricação, em comparação com o produto atual da empresa. Durante o projeto informacional foi tomada como meta a redução da quantidade de solda em 20%. Após todo o QGBT ser detalhado, houve uma redução de 40% da quantidade de solda, simplificando mais o processo de fabricação e mantendo a qualidade necessária do produto.

No projeto informacional foi definida como meta a redução desse tempo em 40%, quando comparado ao produto atual da empresa. Após aplicação da ferramenta DFA e da prototipagem, obteve-se o resultado de 42% de redução do tempo de montagem.

Além do resultado supracitado, a aplicação da ferramenta DFA mostrou uma série de vantagens:

- A quantidade de peças que o produto desenvolvido possui é baixa, logo menor é a quantidade de controle e menos documentos de engenharia;
- O produto pode ser montado em subconjuntos, e na etapa final a montagem pode ser executada com auxílio da gravidade, contribuindo diretamente com a parte ergonômica;
- Permite uma montagem simplificada, ampliando a qualidade do produto em relação à etapa da montagem manual;
- Reduz o tempo de montagem em larga escala, dessa forma contribuindo diretamente na redução de custo.

Para garantir que o produto seja desenvolvido de forma rápida e mantendo a qualidade desejável, foi aplicada a engenharia simultânea, que trouxe consigo vantagens, tais como:

- Índice elevado de assertividade;
- Desenvolvimento de um produto de boa qualidade;
- Redução do tempo e do custo do desenvolvimento do produto;
- Ampliação da confiabilidade da empresa no desenvolvimento do produto.

A redução de custo foi de 26% em comparação ao custo do produto atual da empresa, resultado que não alcançou a meta que tinha sido traçada no projeto informacional, que era de 30%. Entretanto, a redução de custo alcançada foi satisfatória.

Após o término deste trabalho pode-se afirmar que foi possível desenvolver uma estrutura para QGBT competitiva, de custo reduzido, com boa qualidade e com o processo de fabricação simplificado, mas não foi possível reduzir muito o peso da estrutura em comparação com a atual.

REFERÊNCIAS

BACK, Nelson; OGLIARI, André; DIAS, Acires e SILVA, Jonny Carlos da. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri, São Paulo: Manole, 2008.

BAXTER, Mike. Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos. 2. ed. Londres: Blucher, 1998.

BEERCHECK, R.C. “**Manufacturing technology meeting the global challenge**”, Machine Design, Cleveland, pp. 64-69, August, 1990.

BOOTHROYD, Geoffrey; DEWHURST, Peter and KNIGHT, Winston. **Product design for manufacture and assembly**. New York USA: Taylor & Francis Group, 2 ed. 2002.

BRALLA, James G. **Design for manufacturability handbook**. 2nd edition 1998.

BRALLA, James G. **Design for excellence**. McGraw-Hill Professional Publishing, 1996.

COSTA, J. E., SILVA, M. R. AND SILVA, C. E. S. **Reprojeto de um produto fundamentado no design for assembly**. V Congresso brasileiro de gestão de desenvolvimento de produto, 10 a 12 de agosto de 2005, Curitiba/PR.

DAABUB, A. M. ; ABDALLA, H. S. A **computer-based intelligent system for design for assembly**. **Computers & industrial engineering** Vol.37, p111-115, 1999.

GURGEL, F. A. **ADMINISTRAÇÃO DO PRODUTO**. 2ª edição. Editora Atlas, São Paulo, 537p, 2001.

HARTLEY, John R. Engenharia simultânea um método para reduzir prazos, melhorar a qualidade e reduzir custos. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

HOLT, C. Barnes. **Towards an integrated approach to “design for x”**: an agenda for decision-based dfx research. London: Springer; 2009.

KRUGLIANSKAS, Isak. **Engenharia simultânea e técnicas associadas em empresas tecnologicamente dinâmicas**. Revista de Administração, São Paulo v. 30, n 2, p. 25-38, abril/junho 1995.

MELLONI, Luís Fernando. Engenharia simultânea: potencialidades e limites. 1998. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara D'oeste, 1998.

NORTON, Robert L.. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. 4. ed. Massachusetts: Bookman, 2013. 1028 p.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. Trad. Werner, H. A., 6ª ed. São Paulo: Editora Edgar Blücher, 2005.

PRASAD, B. **Concurrent engineering fundamentals: integrated product and process development**. v. 1. New Jersey, Prentice Hall, 1996.

REDFORD, A.H. AND CHAL, J. **Design for assembly: principles and practice**. Editora McGraw-Hill, 1994.

ROMEIRO FILHO, et al. Projeto de produto. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

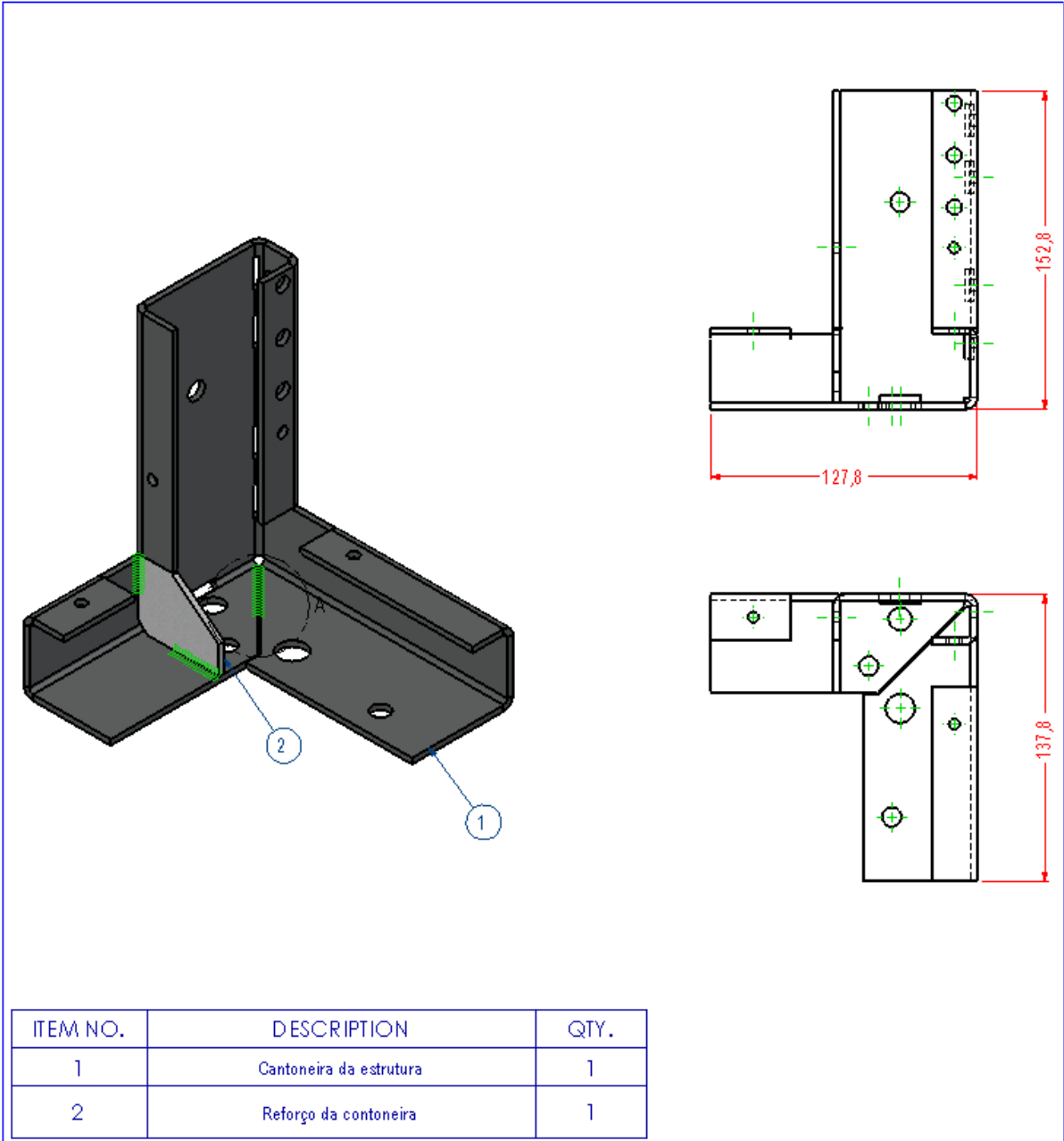
ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C. e outros (2006) – **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para melhoria do processo**. São Paulo: Editora Saraiva.

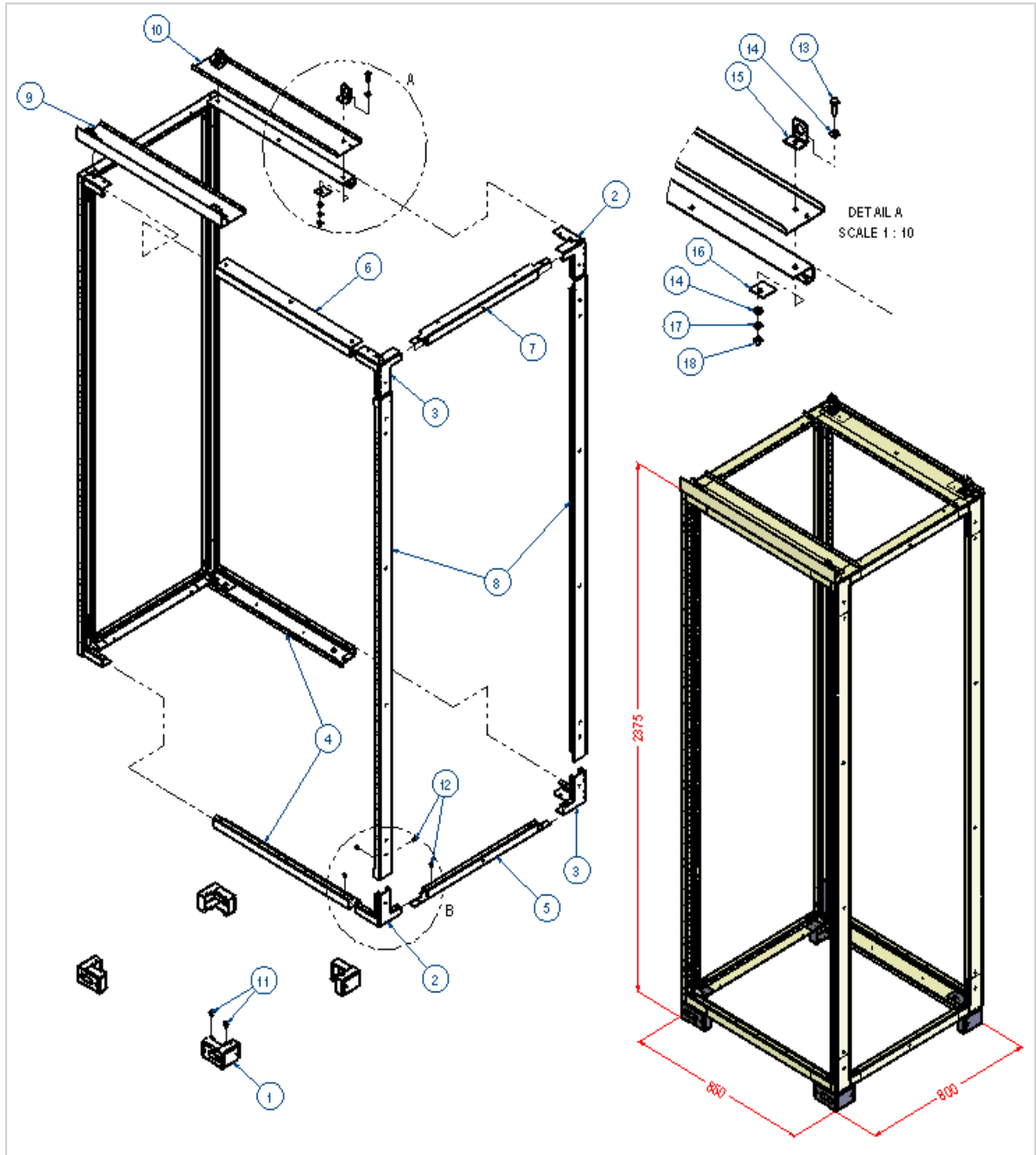
ROZENFELD, Henrique. Engenharia simultânea. 2014. Disponível em: <<http://www.portaldeconhecimentos.org.br/index.php/por/Conteudo/Engenharia-Simultanea>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

SALUSTRI, Filippo A. e CHAN, V. **Design for assembly**. 2005. Disponível em: <<http://deed.ryerson.ca/~fil/t/dfmdfa.html>>. Acesso em 26 mar 2009.

SCUR, Alvaro Roberto. Aplicação do design for assembly (DFA) no desenvolvimento do projeto conceitual de um dispositivo funcional. 2009. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Design, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

APÊNDICE A – Junta encaixável



APÊNDICE B – Conjunto de montagem da estrutura

APÊNDICE C – Lista de peças do conjunto de montagem da estrutura

Posição	Nome	Quantidade
1	Base	4
2	Cantoneira de união dos perfis estruturais (Forma 1)	4
3	Cantoneira de união dos perfis estruturais (Forma 2)	4
4	Perfil estrutural inferior horizontal, frontal e posterior	2
5	Perfil estrutural inferior horizontal e lateral	2
6	Perfil estrutural superior horizontal, frontal e posterior	2
7	Perfil estrutural superior horizontal e lateral	2
8	Perfil estrutural vertical	4
9	Reforço para sustentação superior horizontal e frontal	1
10	Reforço para sustentação superior horizontal e posterior	1
11	Parafuso sextavado trilobular M8	8
12	Parafuso sextavado trilobular M6	32
13	Parafuso sextavado M12	4
14	Arruela chata M12	8
15	Olhal de sustentação	4
16	Reforço para sustentação	4
17	Arruela de pressão M12	4
18	Porca sextavada M12	4

