

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO – Engenharia Mecânica
Disciplina MEC041 - Trabalho Final de Graduação II

PROCEDIMENTO DE PADRONIZAÇÃO DE PROJETOS MECÂNICOS

William Jardel Pick – Aluno

E-mail: wjpickscs@gmail.com

Prof. Dr. Carlos Edmundo de Abreu e Lima Ipar – Professor Orientador

E-mail: ipar@upf.br

Comissão Examinadora – Prof. Dr. Márcio Walber, Prof. Dr. Agenor Dias de Meira Junior

RESUMO

Empresas que necessitam do departamento de engenharia e elaboram grandes quantidades de desenhos sofrem com problemas de similaridade. Um mesmo problema pode ter várias soluções se ela não for padronizada e divulgada para os demais projetistas. Nesse sentido, este estudo propõe-se a criar o um Procedimento de Padronização de Projetos Mecânicos (PPPM). Este procedimento divide-se em quatro grandes etapas: I) verificação de falhas, planejamento e priorização utilizando metodologia FMEA; II) conceituação de modularização embasando-se no conceito Platform-based Design; III) análise e aplicação de orientações facilitando fabricação e montagem com uso da metodologia DFMA e IV) elaboração de documentos de saída. A estrutura do método, se propõem a unificar os conceitos de Platform-based Design com DFMA criando, assim, produtos com soluções modulares, os quais podem ser utilizados em outros projetos. O procedimento orienta projetistas a elaborar conjuntos com foco em padronização da solução, facilidade de montagem e simplicidade para fabricação. Por mais que cada produto tenha suas particularidades, este procedimento se propõe a facilitar a implementação de padronização de qualquer projeto. Por fim, este, cujo procedimento é validado com um projeto, mostrando os ganhos de redução de tempo de 21% em projetos, além dos demais incontáveis benefícios que tangenciam os setores posteriores, reduzindo tempo e custos para a companhia.

Palavras-chave: Padronização. Modularização. Procedimento. Projeto mecânico.

1 INTRODUÇÃO

É fato que toda empresa começa com poucos funcionários e demandas relativamente baixas. No momento em que o consumidor aceita o produto para resolução de um problema, o produto passa a aumentar seu valor agregado. Ampliando esta ideia vê-se grandes empresas como por exemplo, Ford, Volkswagen e Toyota, faturarem valores exorbitantes.

Na trajetória do sucesso, empresas do ramo metalmeccânico passam por várias dificuldades. Quando apenas um produto não é suficiente para manter o fluxo monetário, estende-se o catálogo para aumentar a quantidade de clientes e, conseqüentemente, o lucro. Uma situação bastante comum é a *similaridade de produtos*. Como exemplo, empresas automotivas não têm apenas um modelo de veículo, mas sim vários, um para cada necessidade do cliente.

Esta extensão do catálogo de produtos similares, gera uma quantidade enorme de desenhos para setores de engenharia, tornando difícil o controle do ciclo de vida de cada projeto

devido à grande variedade de soluções para um mesmo problema. Esta dificuldade que começa na engenharia, se agrava para setores seguintes, tornando difícil o controle de estoque, manufatura e manutenção do produto. Campos (2014) afirma que para controle de qualquer processo, a padronização é o método mais eficaz.

Além disso, o autor frisa que a padronização é um meio comum utilizado por indivíduos para se obter determinado resultado. Uma vez que operadores repetem a maneira de executar determinada operação, esta está padronizada. As vantagens que começam com controle de desenhos, se estendem para setores seguintes, facilitando controle de estoque, diminuindo tempos de manufatura e tornando mais fácil a manutenção do produto.

Atualmente, a padronização se foca principalmente na qualidade, preocupando-se em padronizar processos para obter resultados similares e controlados. Porém, observando o cenário empresarial por completo, observa-se que as variações são criadas na engenharia sob demandas do cliente. Se uma peça troca de formato, compromete toda a padronização de processos no chão de fábrica.

1.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é criar um procedimento de padronização de projetos mecânicos de forma que, ao seguir os passos nele descritos, consiga-se diminuir variações de projetos, tempos de projeto e fabricação, e conseqüentemente, custos.

1.2. Objetivos específicos

Para que o resultado seja atendido ou alcançado, os seguintes objetivos específicos são necessários:

- a) Pesquisar bibliografias acerca de ciclos de vida de produtos, padronização em empresas, metodologias aplicadas aos processos de manufatura (FMEA, DFMA, Platform-based Design);
- b) Construir um fluxograma orientativo com todas as etapas que necessitam ser executadas para padronizar equipamentos;
- c) Elaborar etapas em formato de diretriz, contendo os seguintes conceitos: FMEA, DFMA e Platform-based Design;
- d) Validar o procedimento completo utilizando o objeto de estudo Transportador de Esteira Plástica (TEP).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, são apresentados conceitos essenciais para entendimento da metodologia abordada no trabalho desenvolvido. É necessário que se entenda os ciclos de vida de um projeto, para compreender entradas e saídas de informações. Após, busca-se pelo entendimento dos ganhos que a padronização pode trazer no ambiente corporativo, direcionando o entendimento do porquê este tema é de extrema importância em qualquer empresa. Afunilando para setores de engenharia, o modelamento é a fase predominante e nela que se explora os conceitos e, subsequentes ganhos de modelamento pensando em possíveis falhas, modularização e manufatura (FMEA, DFMA e *Platform-based Design*). Por fim, necessita entendimento da função e partes que compõem um transportador de esteira plástica.

2.1. Identificação de ciclos de vida de projetos

Segundo Terzi et al. (2010), desenvolvimento, reparo e reciclagem de produtos, indiferente do segmento, possuem um ciclo de vida definido. Indiferente do produto, sua grande maioria nasce das necessidades de um cliente e, para satisfazê-las, a ideia central de todo produto será a mesma: determinar necessidades e desenvolver.

Necessita-se entender que empresas, por conterem diferentes demandas, contêm diferentes processos. Terzi et al. (2010), classifica de maneira geral todas as empresas em duas classes:

- a) Empresas de um tipo “*one-of-a-kind*”: empresas que desenvolvem demandas específicas para cada cliente. Normalmente, estes produtos passam a ter um valor agregado maior e um time de engenharia maior.
- b) Empresas de vários tipos “*many-of-a-kind*”: estas empresas têm como foco a resolução de um problema em comum, que a sua solução poderá ser fabricada em larga escala.

Por esse escopo, Terzi et al. (2010) afirma que há grande necessidade de desenvolvimentos serem executados em curtos ciclos de vida e a necessidade de entregas no menor tempo possível; O autor enfatiza ainda que o início de vida (BOL) de um projeto é, atualmente, o que mais está sob pressão, sendo este o que contém mais fases de planejamento para que erros sejam minimizados nas fases de meio de vida e fim de vida. Terzi conclui que, um conjunto de ações, aplicadas na fase de desenvolvimento, podem gerar ganhos consequentes.

Seguindo os conceitos apresentados pelos autores, a fase BOL contém mais fases de planejamento, sendo nela o nascimento dos projetos. Logo, se a padronização for executada neste momento, os ganhos serão potencializados para demais setores das empresas.

2.2. Padronização em manufatura

Segundo Campos (2014, p. 25), “nas empresas modernas do mundo, a padronização é considerada a mais importante das ferramentas gerenciais. Na qualidade total a padronização é a base para a rotina (gerenciamento da rotina do trabalho diário)”.

Campos (2014) enfatiza o poder que a padronização tem dentro das empresas, pois está alinhado com melhoria da qualidade do produto, redução de tempos de produção, facilidade de fabricação e de maneira geral reduzindo custos. O autor exemplifica que em empresas que não seguem a filosofia de padronizar, acabam por ter despesas desnecessárias. Isto ocorre devido a uma mesma tarefa poder ser executadas por diferentes pessoas, em que cada uma fará da maneira que for mais conveniente, se não houver um modelo a ser seguido.

Para Silva et al. (2017), a padronização pode ser analisada de três pontos diferentes, do cliente, da empresa e do processo.

1. Para o cliente: consiste em peças iguais, pois este estará com uso do produto no meio de vida, logo, o número de peças com mesmo formato facilita reposição.
2. Para a empresa: estabilizar a mesma quantidade de recursos, de horas homem/horas máquina, para que determinada atividade sofra a menor variabilidade possível.
3. Para o processo: atividades de rotina irão reduzir falhas na execução das atividades.

Para as autoras do conceito supracitado, a padronização é o centro de distribuição das informações que fará com que os três sujeitos (cliente, sujeito e processo) sintam os ganhos no momento de aplicação, visto que eles são os clientes de um projeto de padronização. Por esses motivos, “podemos concluir que a padronização é uma técnica que reduz significativamente a variação de um processo, a fim de atender cada vez melhor os clientes, de uma forma previamente estabelecida e ao menor custo” (SILVA et al., 2017, p. 134).

Para Campos (2014), cria-se um padrão a partir de um objetivo claro e para ajudar a visualizar o escoamento do que deve acontecer para que este objetivo seja atingido de melhor forma, deve-se seguir três etapas básicas:

- a) **Elaboração de um fluxograma:** objetivo de deixar claro, todas as etapas que devem acontecer para que o objetivo seja atingido. Este, pode ser iniciado de uma forma macro, com principais setores industriais envolvidos que, posteriormente, podem ser expandidos para outros fluxogramas ou até mesmo complementando o principal.
- b) **Descrição do procedimento:** após definido a ordem das reuniões, ações e verificações que devem ocorrer, cada etapa deve ser escrita e procedimentada, de maneira clara e objetiva, para que quando o procedimento se repetir, as mesmas preocupações sejam levadas em conta.
- c) **Registro em formato padrão:** esta etapa final consiste em um documento de registro das decisões ou ações que foram tomadas em determinada etapa do procedimento. Podendo ser consultada, posteriormente, para auxiliar em decisões futuras, a fim de manter o objetivo claro.

Campos (2014) define um método de padronização em seis passos, que estão bem definidos, representado, abaixo, no Quadro 1.

Quadro 1 - Método Campos de padronização.

Método de padronização		
1	Especialização	Para que um padrão seja atingido, o especialista que fará criação dos documentos padrões (fluxograma, procedimento e tabela de registro) deve ter pleno domínio do processo/produto que irá trabalhar.
2	Simplificação	Cria-se aqui o fluxograma, o especialista deve optar por simplificação do modelo. Pode ser de um produto (diminuindo quantidade de peças) ou de processo (reduzindo etapas de fabricação).
3	Redação	Elaborar a etapa de escrita procedimento que deverá ser adotado para que se chegue no objetivo.
4	Comunicação	Comunicação e distribuição do procedimento, para que este fique de fácil acesso aos envolvidos.
5	Educação e treinamento	Orientação de como seguir o procedimento, destacando etapas chaves dentro do processo. Evidenciar ganhos para que os envolvidos se sintam engajados a segui-lo.
6	Verificação da conformidade aos padrões	Verificar se os envolvidos estão seguindo o procedimento, e se os ganhos estudados estão de fato acontecendo. Se necessário, aqui podem ocorrer ajustes no procedimento.

Fonte: Adaptado de Campos (2014).

Verificam-se, assim, conceitos e passos para elaborar um método de padronização dentro de uma empresa e obter ganhos de controle de estoque, redução de custos de fabricação, redução de tempos na montagem e minimizar falhas.

2.3. Metodologias de modelamento aplicado à projetos

Para agilizar tempos de análise dos envolvidos na fase de modelamento, são apresentados a seguir conceitos voltados para otimização dos processos de montagem, fabricação e até mesmo evitar problemas de funcionamento quando o produto está no cliente.

2.3.1. Projeto para fabricação e montagem (DFMA)

Para os autores Emmatty e Sarmah (2012) DFMA são regras e diretrizes de projeto que se formam e se alimentam continuamente conforme a experiência industrial e se aplicam nos dois modelos de empresas apresentadas por Terzi (2010), de um tipo e de vários tipos.

Bogue (2012) defende a ideia de que um projeto conceituado sem analisar manufatura e montagem pode ter custos elevados e grandes dificuldades de montagem que, muitas vezes, pode acarretar desvios de processo fabril, deixando o tempo de execução maior e atrasando a entrada do produto no mercado. Além disso, o autor traz à luz do conhecimento que,

O Projeto para Manufatura, (DFM, do inglês “Design For Manufacturing”) é uma disciplina pela qual os produtos são projetados de modo a serem tão fáceis e econômicos de produzir quanto possível. Este conceito está ligado ao Projeto para montagem (DFA, do inglês “Design For Assemble”). Enquanto o DFM se preocupa principalmente com a fabricação de peças individuais, o DFA aborda os meios de montá-las. Como a maioria das peças são incorporadas em produtos mais complexos, a capacidade de montá-las com eficácia é igualmente crítica e, portanto, essas duas disciplinas são frequentemente consideradas em conjunto, como Projeto para manufatura e montagem (DFMA, do inglês “Design For Manufacturing and Assemble”). (BOGUE, 2012, p. 112, tradução nossa).

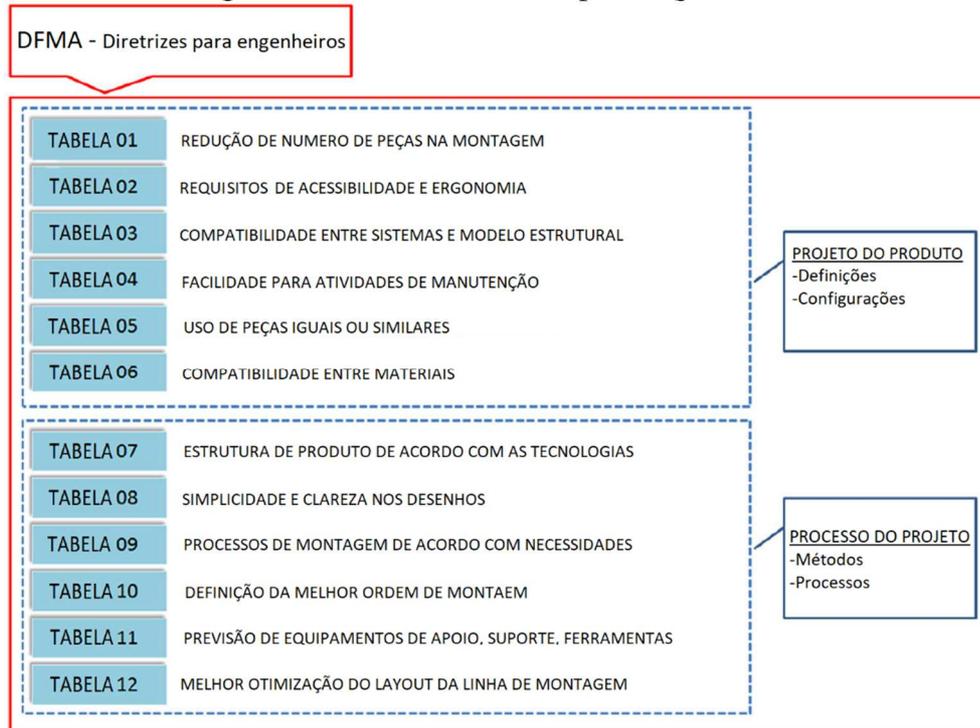
Uma vez que o pensamento do projetista está alinhado com o que a fábrica pode produzir e de que maneira irá montar, grandes benefícios serão ressaltados. Tais benefícios nutrirão demais setores, como por exemplo, a cadeia de suprimentos, que poderá manter níveis de inventários baixos, redução de custos de transportes e redução de ciclos de fabricação.

Bogue (2012) analisa o ponto mais importante no pensamento de DFA, que consiste em minimizar a quantidade de peças. Se um projeto possuir uma quantidade mínima de peças, sua produção pode ser facilitada com uso de ferramentas e gabaritos, assim, os erros serão menores e o tempo de fabricação será menor. O autor também relaciona o conceito de combinação, pois uma vez que a peça não pode ser eliminada, ela pode ser combinada com outra, dando origem a apenas uma.

Como apresentado por Ulrich Bogenstätter (2000 apud ZHENMIN, 2018, p. 13), cerca de 80% do custo do projeto é determinado na fase de modelamento, assim justificando a aplicação da metodologia DFMA para redução de custos.

Barbosa e Carvalho (2014) desenvolveram uma metodologia de trabalho baseada em conceitos de DFMA, a qual é dividida em duas etapas: projeto do produto e processos do produto. Os autores buscaram montar tabelas com dicas baseadas em conceitos DFA e DFM. A primeira etapa, de projeto do produto, possui as seguintes tabelas: redução do número de peças nas montagens, acesso e requisitos ergonômicos, compatibilização entre sistemas e projeto, facilidade para tarefas de manutenção, uso de peças similares e compatibilidade de matérias. Já para a etapa de “processos de produto” tem-se outras tabelas: estrutura de produto conforme tecnologias, desenhos simplificados e claros, técnicas de montagem de acordo com necessidades, previsão de recursos e ferramentas e melhor layout de montagem. Estas tabelas estão melhor representadas na Figura 1.

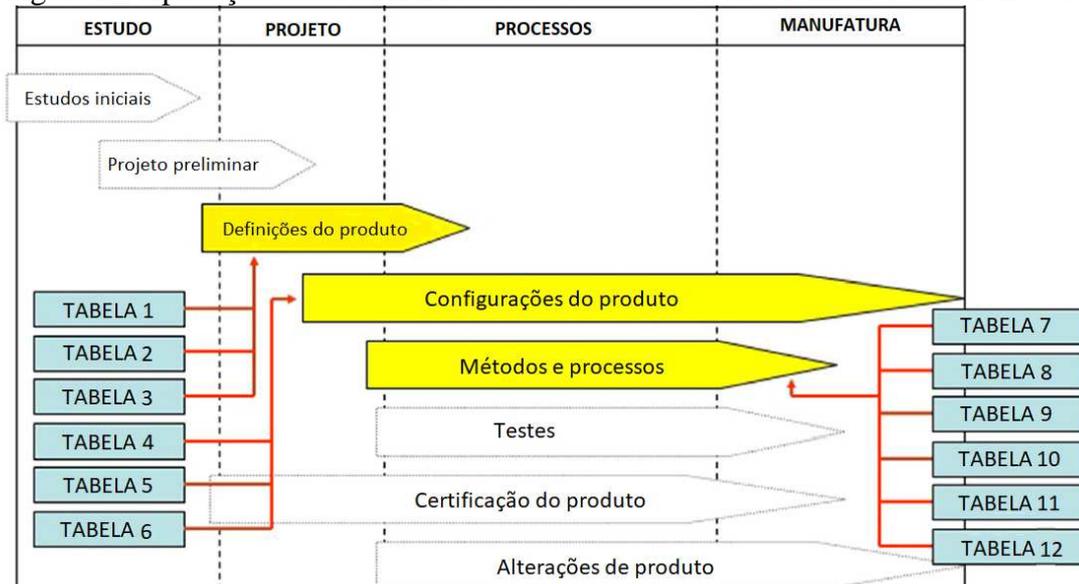
Figura 1 – DFMA: Diretrizes para engenheiros.



Fonte: BARBOSA; CARVALHO, 2014 (p.608)

Considerando a aplicação das tabelas em um ciclo de vida, o autor aplica as tabelas 01, 02 e 03, para a fase de definições do produto, as tabelas 04, 05 e 06 para definições de configurações de produto e, as demais tabelas, para a fase de métodos e processos. A seguir, na Figura 2, estão representadas a aplicação das tabelas em cada etapa da fase inicial de um produto (BOL).

Figura 2 - Aplicação da diretriz DFMA nas fases de desenvolvimento de aeronaves.



Fonte: BARBOSA; CARVALHO, 2014 (p.609)

Por fim, Barbosa e Carvalho (2014) defendem a teoria de aplicação DFMA para qualquer empresa, pois mesmo que o trabalho realizado por eles seja do segmento de aeronaves, os percentuais de ganhos podem variar para diferentes tipos de indústria, mas sempre haverá ganho.

2.3.2. Projeto baseado em plataforma

Emmatty e Sarmah (2012) afirmam que ao longo do tempo, as empresas que contêm uma ampla quantidade de equipamentos em seu catálogo, começam a sofrer de problemas relacionados a uma grande redundância de soluções. Um projeto que foi concebido com um conceito novo, pode ser adaptado para outro formato. Assim, a empresa começa a criar uma infinita variedade de peças, dificultando *setups* de fabricação e montagem, pois não é possível estabelecer um padrão de um conjunto conhecido para que a fabricação seja acelerada ou processos otimizados.

Emmatty e Sarmah (2012) afirmam que Projeto baseado em plataforma, do inglês *Platform-based Design*, como sendo o

[...] compartilhamento máximo de módulos e componentes comuns nas linhas de produtos sem sacrificar os requisitos funcionais. O DFMA resulta na simplificação do produto e na padronização dos materiais, processo de fabricação e projeto de equipamentos (FRANCIS apud, BRALLA 2004, SELVARAJ et al. 2009, p. 1).

Emmatty e Sarmah (2012) justificam que, para solucionar o problema de multiplicação de desenhos e evitar variedade de peças, a empresa deve investir em uma arquitetura configurada, que consiste em uma biblioteca de módulos para diferentes aplicações, garantindo funcionalidades similares em variados produtos. Aqui, pode haver incremento de peças ou alteração de modelamento, quase sempre deixando um conjunto precisamente mais complexo, e conseqüentemente mais caro.

Para Simpson (2006) um módulo é um componente ou subconjunto que pode ser intercambiado dentro da arquitetura do produto para produzir uma variedade de produtos semelhantes.

Para Pahl et al. (2007) define-se como sendo máquinas modulares, um conjunto e componentes que realizam várias funções gerais por meio da combinação de módulos funcionais distintos.

Emmatty e Sarmah (2012) confrontam as teorias DFMA e *Platform-based Design*, pois a primeira está associada diretamente a redução de peças e a segunda está relacionada a modularização. Modularização busca por estabelecer um conjunto de peças que pode ser aplicado em vários equipamentos para cumprir determinada função, o que pode deixar o módulo mais caro. DFMA almeja simplicidade, logo é mais barato, porém, a cada nova variação, necessita-se criar uma peça nova.

A solução para este embate é facilmente resolvida quando se adota o ponto de vista do processo. Por mais que a modularização seja mais cara, para a fabricação se torna mais barato, porque atividades rotineiras como *setups*, tornam-se mais rápidos, bem como aqui surge produções de lotes seriados de módulos.

Esta diferença é apresentada no Quadro 2, na qual visualiza-se que para empresas *one-of-a-kind*, a *Platform-based Design* se destaca, pois facilita encaixe de módulos funcionais em equipamentos similares, porque estas empresas não trabalham com número limitado produtos.

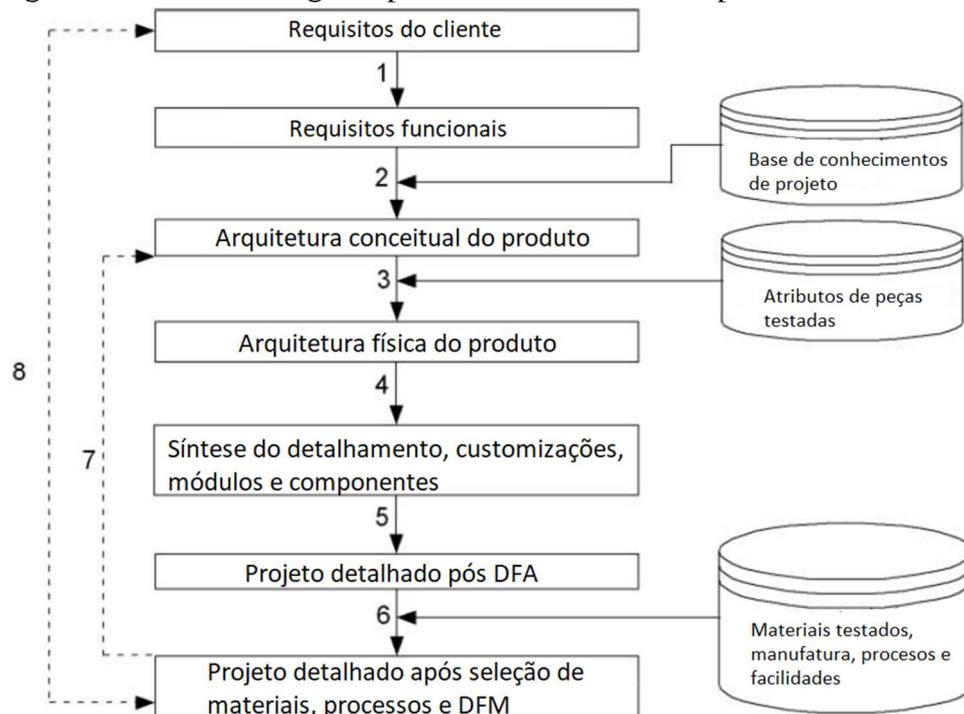
Quadro 2- Platform-based Design vs DFMA.

	Platform-based Design	DFMA
Vantagens	Conjunto de peças resolve um problema.	Redução ao extremo a quantidade de peças em montagem.
	Diversos equipamentos usam o mesmo conjunto.	Simplificação do modelamento de peças.
	Previsibilidade para controle de estoque.	Atender aos processos de fabricação.
	Criação de procedimentos de padronização no chão de fábrica.	Baixa quantidade de matéria prima.
Desvantagens	Maior quantidade de matéria prima.	Alterações necessitam de peças novas.

Fonte: Autor.

Os autores apresentam a organização para o desenvolvimento de partes modulares em forma de fluxograma. A Figura 3, apresenta este fluxo. O objetivo é estabelecer uma relação entre arquitetura configurada, Platform-based design e DFMA, para que quando os conceitos aplicados em conjunto na ordem certa, potencializem os ganhos percebidos pelo cliente, empresa e processo.

Figura 3 - Estrutura integrada para desenvolvimento de produtos modulares.



Fonte: EMMATTY; S.P SARMAH, 2012, p.6.

Uma metodologia voltada para *Platform-based Design* com auxílio das práticas DFMA está centrada em modularização, com o mínimo de peças para funcionamento do módulo e cada uma delas deve ser elaborada visando praticidade no chão de fábrica.

2.3.3. Modo de falhas e análise de efeitos

Assim como DFMA trata de boas práticas de projeto para evitar falhas, o projeto completo de um produto também deve-se basear em algo fundamentado, com partes já validadas, a fim de não falhar. Dada esta necessidade, estuda-se “a metodologia do Modo de Falhas e Análise

de Efeitos, do inglês *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), que trata de uma forma de analisar possíveis falhas e riscos nos sistemas, baseado em experiência com produtos ou processos similares” (CIOFU, 2018, p. 100, tradução nossa).

Para Ciofu (2018), a aplicação correta desta metodologia consiste em priorizar falhas conforme gravidade, frequência e detectabilidade. Para priorizar cada possível falha, estas necessitam ser classificadas com uma nota gradativa indicando a gravidade, para definir quais ações devem ser priorizadas, com o intuito de prevenir erros de funcionamento ou execução ainda na fase de projeto. Desta forma, é possível reduzir retrabalhos, tempo de reparos indesejáveis, que impactam diretamente na margem de lucro do produto.

Ciofu (2018) define quatro passos para aplicação e análise completa das falhas, apresentadas a seguir.

- a) Identificar falhas potenciais e seus efeitos: identificação de fenômenos físicos que podem acontecer quando o sistema está em fabricação, montagem ou em funcionamento. Alguns exemplos são: superaquecimento, ruído, desligamento anormal, lesão dos operadores, entre outros. Neste momento, as falhas são somente listadas.
- b) Determinar severidade: classificar a gravidade caso a falha aconteça, com escala gradativa de severidade, onde a classificação mais baixa será considerada como sem impacto ou sem risco, e a mais alta como uma falha que irá parar o funcionamento, ou causar riscos aos operadores.
- c) Determinar ocorrência: tem-se a necessidade de saber se a falha pode ocorrer e com que frequência ocorrerá. Determinado através de uma classificação gradativa, onde a mais baixa será considerada como pouco frequente, e a mais alta como frequentemente.
- d) Nível de detecção: determinação do nível de dificuldade de perceber a falha. Se a falha foi de fácil detecção, terá pontuação baixa, pois poderá ser facilmente vista e corrigida. Se for de difícil detecção, terá pontuação alta, pois necessita de equipamentos especiais para ser detectada ou poderá nem ser percebida.

Assim que estes passos estão detalhados, Ciofu (2018) estabelece o índice RPN, *Risk Priority Number*. Esse critério se baseia em calcular através da fórmula de RPN, o grau de importância da falha, que irá revelar as áreas mais problemáticas, que irão necessitar medidas corretivas. Estas medidas podem ser: mudanças de projeto, novos testes, novas inspeções, adição de redundâncias no processo, entre outras. Quando as medidas são aplicadas, o RPN necessita ser recalculado e documentado no procedimento FMEA, comparando o nível antes e depois das ações. Agora considere que, $RPN = S.O.D$, onde S é igual à pontuação de severidade (*Severity*), O é igual à pontuação da ocorrência (*Occurrence*) e D igual à pontuação de nível de detecção (*Detection*).

Com a apresentação do método FMEA é possível unir os conceitos até então apresentados para formular uma metodologia de trabalho de padronização dentro da engenharia, na fase de modelamento do projeto. Mas, para isso, é necessário apresentar o objeto de estudo para qual todas as etapas criadas serão validadas. Portanto, na sequência é apresentada informações essenciais para entendimento das esteiras transportadoras.

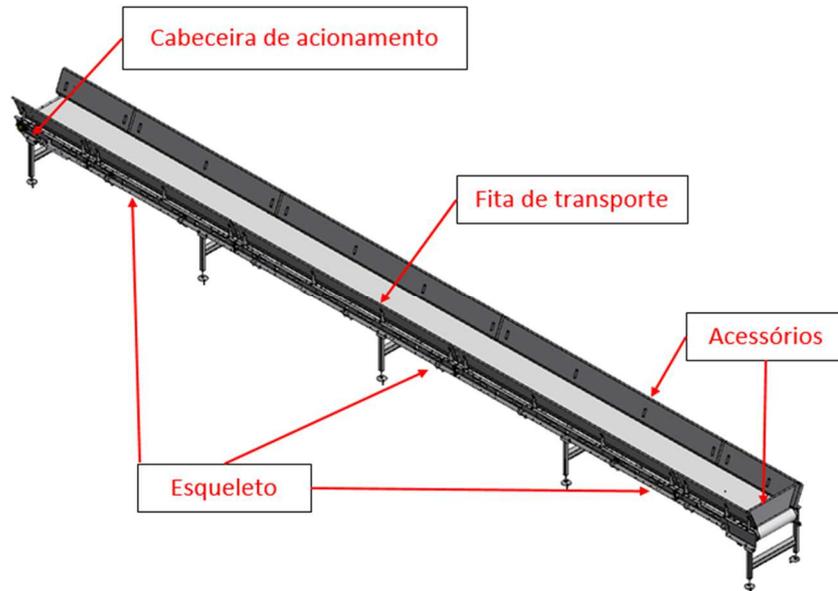
2.4. Objeto de estudo, transportador de esteira plástica

Para aplicação do procedimento a ser criado, é necessário apresentar o objeto de estudo para qual todas as etapas criadas serão validadas. Por esse prisma, na sequência são apresentadas informações essenciais para entendimento das esteiras transportadoras.

Transportadores de esteira plástica (TEP) são amplamente utilizados em indústrias para movimentação e transporte de cargas. Tem como principal função evitar o trabalho pesado que deveria ser executado manualmente por pessoas. Estes equipamentos contêm uma estrutura

base, composta por: módulos, fita de transporte, estrutura de fixação, cabeceira de acionamento e demais acessórios, como ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Visão geral de uma TEP.

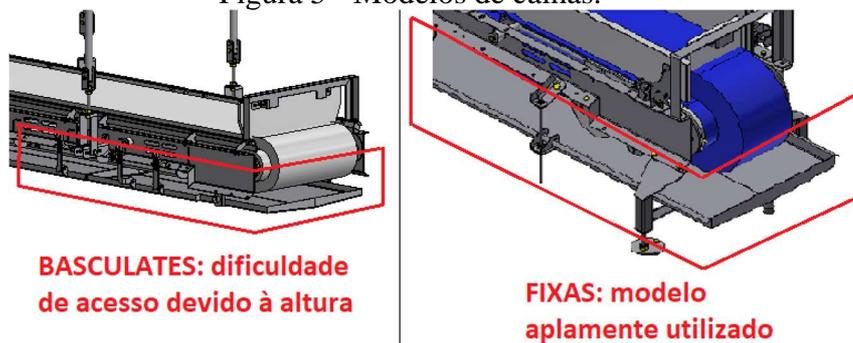


Fonte: Marel SA.

O equipamento contém diferentes partes em sua composição, mas será expandido somente a calha inferior de coleta, devido à escolha de validar o procedimento somente nesta parte do projeto.

Calhas inferiores de coleta: Elas têm como função principal evitar queda de resíduos no piso ou em outros equipamentos, caso a TEP esteja locada em uma altura considerável. Existem dois modelos principais: calhas fixas e calhas basculantes, representados, na Figura 5. As calhas fixas são utilizadas na maior parte dos casos. As basculantes são usadas onde há dificuldade de limpeza devido a pouco espaço.

Figura 5 - Modelos de calhas.



Fonte: Marel SA.

É de suma importância o entendimento de ciclos de vida de projetos para identificação dos pontos mais importantes, destacando o ponto crítico (projeto) onde pequenas mudanças têm grandes impactos consecutivos no processo. Assim estuda-se o que é, e qual a importância de padronização, para que esta possa ser aplicada juntamente com os conceitos de DFMA, Platform-based Design e FMEA na elaboração do procedimento de padronização.

3 DESENVOLVIMENTO DO PROCEDIMENTO DE PADRONIZAÇÃO

Campos (2014) defende que a padronização é a mais importante das ferramentas de gerência par as empresas modernas. Em suma, na qualidade, a padronização é a base para processos rotineiros. Dito isso, o procedimento de padronização que poderá ser utilizado para qualquer equipamento, utiliza como base estudos realizados por outros autores.

O objetivo do trabalho em questão, é atingido adaptando três modelos de pesquisas já desenvolvidas:

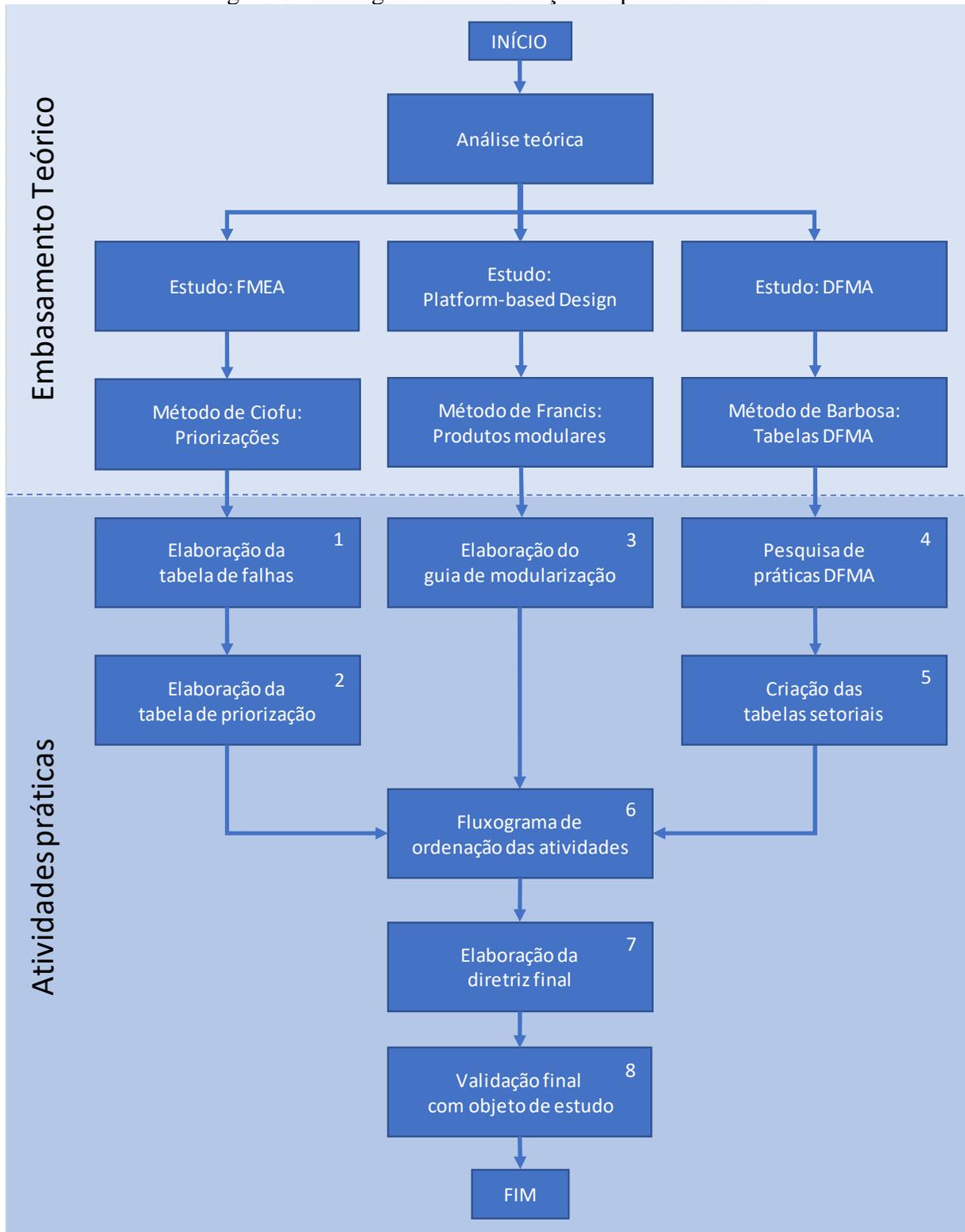
1. Ciofu (2018): Priorização de melhorias e problemas;
2. Barbosa e Carvalho (2014): que aborda tabelas ligadas diretamente à DFMA;
3. Emmatty e Sarmah (2012): rede integrada para produtos modulares.

Estes conceitos são analisados, retirando o necessário de cada um deles, para que este seja largamente utilizado em projetos na fase BOL em empresas de um tipo.

Os modelos usados pelos três autores foram descritos no capítulo de revisão bibliográfica, mas ainda necessita desenvolver como: se analisa, aplica, avalia e cria a adaptação dos conceitos para unificá-los em um de interesse. A ordem de desenvolvimento do método segue a linha de pensamento de Francis, em que o planejamento vem antes da execução.

O fluxograma da Figura 6 apresenta a organização dos métodos estudados e as atividades resultantes de cada um para a criação do procedimento. Cada coluna indica um método, que contém saídas para atividades práticas. Assim, o método de Ciofu tem saídas para duas atividades de elaboração da tabela de falhas e sua priorização, o método de Barbosa e Carvalho para três atividades de logica organizacional para análise de setores fabris, e o de Emmatty e Sarmah para uma atividade organizacional e logica para entendimento. Todas estas coincidem e devem ser unificadas em um único procedimento final.

Figura 6 - Fluxograma de elaboração do procedimento.



Fonte: autor.

O fluxo de atividades, tem como pilar o estudo de três autores: Ciofu, Francis e Barbosa que, respectivamente, apresentam os métodos de FMEA, Platform-based Design e DFMA.

Após pesquisa, utilizou-se o método de Ciofu para criar um modelo de tabela de priorização de falhas e ordenação das atividades importantes. Já o método de Francis é usado para criação de estruturas modulares, e por último usou-se Barbosa como base organizacional

de apresentação das tabelas DFMA. Criou-se, então, um fluxo de atividades que devem ser executados na sequência indicada, passando pelas etapas iniciais de planejamento, execução e posteriormente documentação de saída.

A última etapa consiste na validação do procedimento com um objeto de estudo, sendo o projeto de um transportador de esteira plástica. Com esta comprovação, o procedimento torna-se válido, potencializando ganhos de redução de custo e tempo para demais setores.

A seguir, as etapas do fluxograma são detalhadas nos capítulos seguintes, para entendimento de como é elaborado o procedimento de padronização.

3.1. Elaboração da tabela de falhas

Elencar problemas e planejar as atividades evitam retrabalhos de projeto. O procedimento de padronização necessita ter como fase inicial, priorizar problemas e melhorias que devem ser resolvidas a nível de projeto.

Para isso, utilizou-se o modelo de Ciofu, o qual usa critérios de pontuação conforme *Risk Priority Number* apresentada na revisão bibliográfica. Esse método, elenca os problemas e define níveis para severidade, ocorrência e detecção.

Para análise completa de falhas e melhorias, segue-se as quatro principais etapas:

- Levantamento problemas: normalmente geram garantias. Elas podem ser obtidas através de equipe de instalações ou observações do cliente;
- Severidade: nível de perda para a companhia caso a falha aconteça;
- Ocorrência: nível de ocorrência, quanto mais o problema se repetir, mais grave será, pois está a multiplicar as perdas;
- Detecção: quanto maior a dificuldade de detectar o problema, maior sua gravidade.

Considerando o descrito supracitado, se constrói um documento do formato que possa organizar as etapas e priorizar problemas, conforme Tabela 1. Quanto maior a pontuação do problema, maior prioridade a ele deve ser dada. O resultado desta tabela será uma lista dos principais problemas que devem ser resolvidos, via multiplicação de severidade, ocorrência e detecção.

Tabela 1 - Priorização de falhas.

Falha no equipamento	Impacto: Pontuação (1-10)			Resultado
	Severidade	Ocorrência	Detecção	
Falha 1	10	6	6	22
Falha 2	8	4	4	16
Falha 3	6	2	2	10

Fonte: Autor.

3.2. Elaboração da tabela de priorização

O foco de padronizar é aumentar produtividade de maneira geral, com redução de tempo e gastos. Porém, necessita-se priorizar quais atividades que trarão mais ganho a companhia, pois o tempo disponível para padronizar também é limitado.

Para priorizar as atividades, criou-se uma tabela utilizando o método de pontuação de Ciofu (2018), com alterações dos critérios de análise, apresentados na sequência:

- Levantamento de subconjuntos do equipamento: separação em conjuntos funcionais do equipamento. Exemplo: conjunto de movimentação de carga (composto por 8 peças);
- Tempo gasto para projetar: define-se níveis de extensão de tempo. Quanto maior o valor, mais alta sua prioridade deve ser;

- c) Tempo gasto para fabricar: define-se níveis de extensão de tempo. Quanto maior o valor, mais alta sua prioridade deve ser;
- d) Resultado FMEA: pontuação de prioridade do nível de problemas presentes no módulo. Quanto maior o valor, mais alta sua prioridade deve ser;
- e) Potencial de ganho: estimativa de redução de tempo para cada modulo trabalhado. Se o potencial for alto, significa que os tempos podem ser drasticamente reduzidos e o ganho será imenso. Quanto maior o valor, mais alta sua prioridade deve ser;
- f) Esforço: esforço para padronizar módulo. Quanto maior o esforço, menor deve ser sua priorização. Este, diferente dos demais é inversamente proporcional.

É muito importante que as escalas de pontuação de tempos de projeto e fabricação sejam iguais, evitando sobreposição de importância. Este modelo é aplicado somente para empresas *one-of-a-kind*, pois tanto fábrica, quanto engenharia têm grande fluxo de volume de produção. A saída desta análise é representada com a Tabela 2, com níveis de importância para cada atividade, sejam elas de redução de tempo ou erros de projeto.

Tabela 2 - Priorização do trabalho.

Partes do equipamento	Impacto de tempo: Pontuação (1-5)					Resultado
	Tempo de projeto	Tempo de fabricação	Resultado FMEA	Pot. de Ganho	Esforço	
Subconjunto 01	5	5	5	5	3	6,7
Subconjunto 02	4	4	4	4	2	8,0
Subconjunto 03	3	3	3	3	3	4,0
Pontuação: valores de 1 a 5. 1 significa baixo impacto em tempo; 5 significa alto impacto em tempo						

Fonte: Autor.

Os resultados da Tabela 2 são calculados de forma que os valores das primeiras quatro colunas são proporcionais, e inversamente proporcionais ao “Esforço”. Isto define que, quanto maior o esforço, mais baixa deve ser a prioridade. Assim evidenciando ganhos rápidos e eficazes. Nesta tabela três conjuntos são exemplificados, onde o “Subconjunto 2” tem maior prioridade aos demais, pois mesmo que a atualização não proporcione os maiores ganhos, ela é a mais fácil de ser aplicada.

3.3. Elaboração do guia de modularização

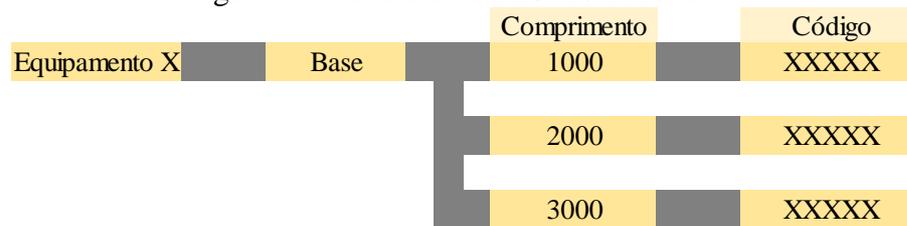
A fase de modularização consiste em juntar conjuntos de peças com funções simples, que podem ser usadas em diferentes produtos. Para elaborar uma arquitetura modular, as peças devem ter montagem fácil e possibilidades de posições variadas (direto, esquerdo, superior, inferior). O guia de modularização é montado com embasamento direto do trabalho de Emmatty e Sarmah (2012).

Verificar simetria de peças, espelhamento direito e esquerdo, superior e inferior, é uma maneira coerente para reduzir possibilidades, desse modo, se produz um módulo com a maior quantidade de posições de montagem e de funcionamento.

O método de modularização parte de uma *análise combinatória* dos conjuntos. Neste formato, os possíveis módulos devem ser discriminados em suas configurações.

A Figura 7 estratifica as configurações de determinado equipamento. Neste exemplo, a configuração “Comprimento” possui três variações, resultando em três códigos.

Figura 7 - Modelo de análise combinatória.



Fonte: Autor.

Uma estrutura complexa que é dividida em partes funcionais, permite que outros equipamentos similares possam repetir os conjuntos. Trata-se de uma maneira de visualização modular, em que quanto maior a repetibilidade de conjuntos, mais padronizada e fácil se torna a fabricação.

3.4. Pesquisa de práticas DFMA

Após modularização construída, o procedimento exige aplicação dos conceitos estudados DFMA para cada módulo. Mas, para aplicar as boas práticas, é necessário primeiro o levantamento destas. Assim, reuniu-se com os líderes das equipes fabris, para documentar as principais dificuldades levantadas nos processos de fabricação na indústria do tipo *one-of-a-kind*. As boas práticas para montagem, são levantadas com a equipe de montagem, para verificar quais os pontos que os projetos pecam, e também verificar erros procedentes de outros setores.

As boas práticas DFMA levantadas e registradas em formato de tabela que, posteriormente, são usadas no procedimento final. Os esforços devem focar em diminuir tempos de fabricação e minimizar erros de processo.

3.5. Criação das tabelas setoriais

A Tabela 3, mostra um exemplo das tabelas secundárias que foram criadas para preencher com as boas práticas levantadas de cada processo de fabricação. Esta é usada para armazenar as dicas levantadas com os líderes fabris, trata-se da documentação do resultado das reuniões. Neste momento, os supervisores dos setores produtivos farão suas observações dos pontos aos quais mais geram retrabalhos, se por erros ou boas práticas para tornar a produção mais ágil.

Tabela 3 - Dificuldades DFMA.

Processo de fabricação X	
Dificuldade	Descrição
Dificuldade 01	Descrição da SOLUÇÃO
Dificuldade 02	Descrição da SOLUÇÃO
Dificuldade 03	Descrição da SOLUÇÃO

Fonte: Autor.

Emmatty e Sarmah (2012) estabelecem que a análise DFA deve anteceder a análise DFM. Isto se justifica porque a montagem é o último processo de fabricação e nele que se concentram todos os erros provindos de outros processos. Portanto, uma análise detalhada de erros de montagem, indicam os pontos que necessitam mais cuidado em manufatura.

3.6. Fluxograma de ordenação das atividades

A fim de ordenar as atividades que necessitam ser realizadas, criou-se o fluxograma das etapas que necessitam ser executadas. Trata-se de apenas um guia orientativo de sequência lógica para aplicação da diretriz a fim de evitar retrabalhos, como por exemplo, caso o projetista analise a modularização de uma parte, sem antes verificar a existência de erros.

Para elaborar este fluxo, avalia-se na sequência: falhas para evitar retrabalhos, priorização das atividades, análise de modularização, realização do planejado, e validação para encerrar o ciclo. Esta ordem é de extrema importância, para que os erros sejam resolvidos antes de padronizar, e elaboração do plano das ações que mais terão ganho. Esta lógica deve ficar clara no fluxo.

3.7. Elaboração da diretriz final

O modelo de elaborar e organizar das informações DFMA segue a ideia central dos autores Barbosa e Carvalho (2014), que consiste em montar uma diretriz das etapas que necessitam ser analisadas para as fases de modelamento, configuração e processos de fabricação. Cada etapa da diretriz, consiste em uma tabela secundária do procedimento.

A estrutura da diretriz divide-se em três grandes partes:

- a) Análise inicial: FMEA, priorização e planejamento de modularização;
- b) Análise DFA: uniões mecânicas e testes, normalmente, provêm de falta de verificação funcional, interferência, dificuldade de montagem, acessos a partes, e falta de recursos para testes.

Análise DFM: se dividem por famílias dos processos de fabricação, com exceção da primeira: I) escolhas de materiais; II) processo de remoção de cavaco convencional; III) processo de remoção de cavaco não convencional; IV) processo de conformação; V) melhoria de propriedades e VI) junções permanentes.

Por assim sendo, o procedimento se torna estruturado, observando a ordem inversa de primeiramente observar áreas de montagem “DFA” e depois “DFM” para que assim, se priorize modularização das partes, e depois se analise toda a fabricação. Na sequência são apresentados resultados convergentes para o procedimento de padronização.

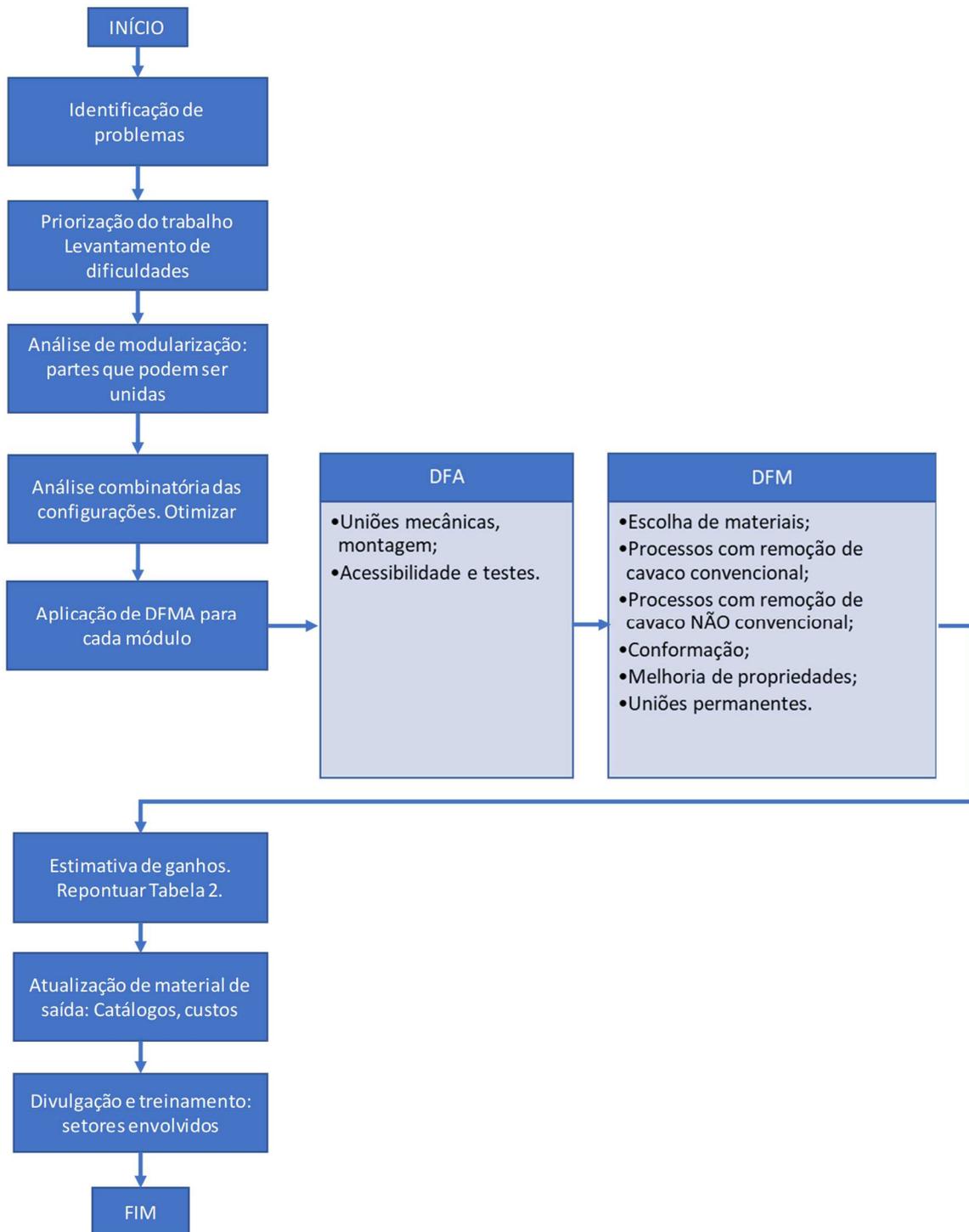
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como os resultados consistem na maior parte efetiva do tema, este capítulo apresenta-se com três frentes principais: a primeira aborda todas as etapas do Procedimento de Padronização de Projetos Mecânicos (PPPM); A segunda parte deste tópico apresenta detalhes das etapas do PPPM, já com particularidades do projeto mecânico (TEP), mostrando o que e o porquê da mudança e, por último, a terceira etapa consistem em resultados numéricos de todo o trabalho, com dados de redução de horas, e diversos pontos de ganhos no fluxo fabril do projeto até sua instalação.

4.1. O procedimento

Após o desenvolvimento, obtém-se a estrutura final do “Procedimento de Padronização de Projetos Mecânicos” (PPPM). Este consiste de um fluxograma global de ordenação das atividades, com uso detalhado de uma diretriz, para que independente do projetista que for padronizar determinado equipamento, possa seguir o roteiro apresentado, conforme a Figura 8.

Figura 8 - Fluxograma global.



Fonte: Autor.

Cada etapa do fluxograma global é maximizada na diretriz de padronização. Esta diretriz consiste de uma tabela geral, com diversas tabelas auxiliares. Elas contêm informações explicativas das atividades que necessitam ser desenvolvidas durante todo o PPPM.

O Tabela 3 consistente em doze tabelas auxiliares, que contemplam todas as etapas que necessitam de análise para eficiência do procedimento. Ainda dentro das auxiliares, existem referências para outras tabelas, para os processos provindos de análise DFM.

Tabela 3 - Diretriz Global.

Procedimento de Padronização de Produtos		
Tabela	Título	Método aplicado
Tabela 1	FMEA: Problemas	FMEA
Tabela 2	Priorização do trabalho	Padronização
Tabela 3	PBD: Guia de modularização	Platform-Based Design
Tabela 4	DFA: Uniões mecânicas, montagem	DFA
Tabela 5	DFA: Acessibilidade e testes	
Tabela 6	DFM: Escolha de materiais	DFM
Tabela 7	DFM: Remoção de cavaco convencional	
Tabela 8	DFM: Remoção de cavaco não convencional	
Tabela 9	DFM: Conformação	
Tabela 10	DFM: Melhoria de propriedades	
Tabela 11	DFM: Uniões permanentes	
Tabela 12	Procedimentos finais	Padronização

Fonte: Autor.

Na sequência, apresenta-se brevemente explicações do conteúdo de cada tabela. As tabelas estão disponíveis na íntegra no APÊNDICE A.

Tabela 1: Contém orientações de como obter os problemas, de como determinar severidade, ocorrência, nível de detecção e priorizar.

Tabela 2: Contém orientações de uso da planilha de priorização de quais partes do equipamento necessitam mais atenção e que contém maior potencial de ganhos.

Tabela 3: Recomendações gerais para análise de conjuntos pré-montados. Essas dicas referem-se à reutilização de módulos para diferentes equipamentos. A Tabela 3 contém uma referência de saída para a Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Possui uma estrutura de exemplo para análise combinatória. Este modelo pode ser usado para criação e identificação de todas as variações de equipamentos, podendo facilitar a reutilização módulos.

Tabela 4 e Tabela 5: Essas duas tabelas contêm observações pertinentes providas de dificuldades setoriais de montagem e testes, em que projetistas e engenheiros devem considerar no momento de padronizar.

Tabelas 6: Tabela com dificuldades de controle de estoque, referente a dicas de seleção de materiais.

Tabelas 7 a 11: Essas cinco tabelas contêm observações pertinentes providas dos seguintes processos de fabricação: serra, fresagem, torneamento, furação, rosqueamento, processo de corte laser/jato/plasma, jateamento, estampagem, dobramento, calandragem, prensagem, galvanizações, tratamentos térmicos e de uniões permanentes (soldagem).

As tabelas 7, 8, 9 e 10 contêm referências para tabelas terciárias, com informações ainda mais específicas do processo de fabricação em questão (disponíveis no apêndice A).

Tabela 12: Contém os passos finais para conclusão do “Método de Padronização de Produtos”. Documentos que necessitam atualização: estimativas de ganhos pós padronização, custos, catálogos e manuais. Documentos que necessitam ser criados como informativos: treinamento de projetistas, e divulgação para toda a empresa.

O Procedimento de Padronização de Projetos Mecânicos constitui-se do fluxograma de atividades, orientado pelo Tabela 3, composta por tabelas auxiliares. O ganho percentual que

este procedimento pode trazer para cada produto, depende do esforço que será a ele aplicado. Quanto maior o tempo a ele disponível, maior é o ganho para demais áreas da empresa.

4.2. A Validação com o objeto de estudo

Validou-se o procedimento de padronização de projetos utilizando o TEP, Transportador de Esteira Plástica, como objeto de estudo. Seguiu-se todas as tabelas disponíveis no Apêndice A para validação. A ordem de aplicação de cada uma das atividades seguiu a Figura 8.

4.2.1. FMEA: Problemas

A primeira etapa consistiu na elaboração da tabela FMEA: Problemas, e nela anota-se os pontos críticos, classificando-os conforme severidade, ocorrência e detecção para obtenção do resultado final. Para a classificação dos problemas deve ser considerado critérios críticos, em que a maior pontuação resulta em parada do equipamento, com difícil manutenção. Pontuação média deve ser alinhada a itens problemáticos que apesar de parar o equipamento, tem solução rápida pela manutenção. A pontuação baixa se da por itens em que a falha não causa parada, mas sim mal funcionamento.

Tabela 4 – FMEA: Problemas.

FMEA: Problemas				
Consultar histórico de problemas via sistema, equipe de instalações, garantias ou cliente.				
Determinar de severidade do problema, caso aconteça, o nível de impacto para a funcionalidade.				
Determinação de ocorrência do problema.				
Quanto maior o valor, maior o grau de importância para priorizar partes a serem trabalhadas.				
	Impacto: Pontuação (1-10)			
Falha no equipamento	Severidade	Ocorrência	Detecção	Resultado
Abas plásticas	6	10	6	7,3
Abas metálicas	4	10	4	6,0
Curvas de subida	4	5	3	4,0
Pontuação: valores de 1 a 10. 1 significa baixo impacto na funcionalidade; 10 significa alto impacto funcionalidade;				

Fonte: Autor.

Assim, verificou-se que, para começar todo o ciclo de padronização, esses três problemas precisavam ser resolvidos, de acordo com a prioridade acima.

4.2.2. Priorização do trabalho

Neste momento, identificou-se quais partes do equipamento que são pré-montados, dessa forma, os classifica de acordo com a Tabela 5. Nesse sentido, os critérios estão explicados no cabeçalho da tabela, para facilitar o uso dos projetistas. A pontuação destes itens foi alinhada com os projetistas do equipamento, evidenciando os ganhos de projeto que resultariam em maior redução de custos. Quanto maior a redução de custo possível, maior foi a prioridade.

Tabela 5 - Priorização de trabalho.

Priorização de trabalho
Pontuar quanto tempo cada parte do produto demora para ser PROJETADO. Proporcional à priorização.
Pontuar quanto tempo cada parte do produto demora para ser FABRICADO. Proporcional à priorização.
Pontuar quantidade de problemas/melhorias que tal parte tem. Proporcional à priorização.
Pontuar o potencial de ganho que a modificação pode provid. Proporcional à priorização.
Pontuar esforço necessário para padronizar conjunto. INVERSAMENTE proporcional à priorização.
Quanto maior o valor, maior o grau de importância para priorizar partes a serem trabalhadas.

Partes do equipamento	Impacto de tempo: Pontuação (1-5)					Resultado
	Tempo de projeto	Tempo de fabricação	Resultado FMEA	Pot. de Ganho	Esforço	
Abas plásticas	4	4	4	3	2	96
Abas metálicas	4	4	3	5	4	60
Calhas de coleta basculante	5	5	2	5	5	50
Posicionamento de pernas	4	3	1	4	2	24
Posicionamento de roletes	4	3	1	5	4	15
Curvas de subida	3	4	1	3	3	12
Calhas de coleta fixa	3	3	1	4	3	12
Configurador	3	1	1	2	2	3
Pontuação: valores de 1 a 5. 1 significa baixo impacto em tempo; 5 significa alto impacto em tempo					Total	272

Fonte: Autor.

Já classificada, a tabela resultou em uma ordem de execução das ações. Devido a extensão do trabalho realizado, para cada uma das partes de um TEP, detalhar-se-á a seguir somente as *calhas inferiores de coleta*, apresentadas no subtítulo 2.4, devido a este módulo contemplar grande parte das etapas do fluxo PPPM.

4.2.3. Platform-based design: guia de modularização

A Tabela 6 consiste em dicas importantes a serem analisadas quando pensa-se em modularização. Na coluna da direita, observações aplicadas ao projeto são consideradas. Neste momento, se considera alterações de projeto com a finalidade de obter reduções de peças, processos e custos.

Tabela 6 - Platform-Based Design: Guia de modularização.

Platform-Based Design: Guia de modularização	Aplicação na TEP
Definir conjuntos de peças que quando montadas, assumem uma função que será utilizada em diferentes partes do equipamento, ou até mesmo em outros equipamentos.	Resultado: lista dos itens para priorizar.
Verificar peças com maior facilidade de montagem.	Análise de peças totalmente fixadas com parafusos.
Verificar simetria de peças, espelhamento direito e esquerdo, superior e inferior.	Verificar quais peças tem potencial de uso simétrico.
Tabela 3.1 - Arvore de produtos	Apresentado na sequência.
Executar análise DFMA para cada módulo definido na análise combinatória.	Apresentado na sequência.

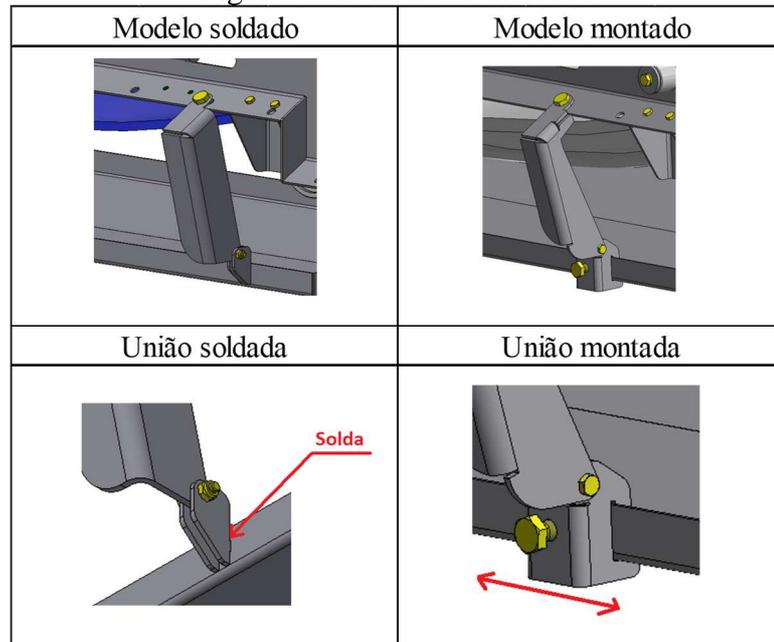
Fonte: autor.

No estudo de caso da calha, optou-se por mudar o conceito do projeto de um conjunto soldado para um montado conforme Figura 9.

Isso ocorre devido aos vários acessórios que podem ser fixados no esqueleto da TEP, que limita a fixação das calhas, resultando em uma série de chapas e conjuntos de solda diferentes.

Para resolver o problema de similaridade, pensou-se em um conjunto montado, e não mais soldado, para que independentemente de onde for preso o suporte, a chapa inferior será igual. Assim, há ganho para o processo (eliminação de solda) e para engenharia (eliminação de desenho 3D e 2D de solda).

Figura 9 - Soldado vs montado



Fonte: Autor.

No exemplo supracitado, da Figura 9, o conjunto que antes era limitado a apenas uma posição, agora, pode ser fixado em qualquer furação do esqueleto da TEP, pois a união montada na figura acima permite deslocamento horizontal.

Para este projeto, decidiu-se usar módulos padrões de 2000mm de comprimento e um especial como consequência de ajustes, como por exemplo: TEP de comprimento 5600mm: 2 módulos de 2000mm; e um especial de 1600mm.

Para facilitar o uso do projetista, uma árvore de produtos foi montada conforme Figura 10, seguindo o modelo da Tabela 3.1 da metodologia PPPM.

Figura 10 - Árvore de produtos.



Fonte: autor.

4.2.4. Design for assembly: uniões mecânicas, montagem

Neste momento, validou-se os requisitos presentes na Tabela 7, são atendidos, para evitar problemas em solda, montagem e instalação da calha, e todas as observações para esta parte estão na coluna de “Aplicação na TEP”.

Tabela 7 - Design For Assemble: Uniões mecânicas, montagem.

Design For Assemble: Uniões mecânicas, montagem		
Tópico	Descrição	Aplicação na TEP
Peças similares	Utilizar ao máximo peças similares, como elementos de fixação de mesma bitola e mesmo comprimento.	Parafusos com mesmas bitolas, chapas de espessura iguais.
Sequência de montagem	Prever sequência de montagem das peças para correta montagem dos sub conjuntos.	Montagem do suporte conforme furos existentes nos módulos.
Funcionamento	Informações de requisitos para funcionamento. Ex: a chapa deve ficar solta para articular. Indicar em detalhamentos.	Instrução de montagem à equipe de instalações.
Manutenção	Prever espaçamento para manutenção, e fácil acesso para reparos.	Para manutenção basta apenas remover os parafusos de fixação.
Ordem de montagem	Avaliar espaço ocupados por ferramenta para montar com facilidade sem necessidade de ferramentas especiais.	Verificado se a chave pode bater em demais acessórios.
Interferência	Executar análise de interferência via softwares de desenho.	Executado.
Cordões de solda	Indicar cordões de solda nos projetos em lugares estratégicos a fim de evitar erros de interferência.	Não aplicável, pois foi eliminado o conjunto de solda.

Fonte: Autor.

4.2.5. Design for manufacturing: escolha de materiais

Em síntese, a Tabela 8 destaca pontos para que o projeto mantenha mesmos fornecedores e materiais existentes, o que evitou entrar na curva de aplicações especiais na análise da calha.

Tabela 8 - Design For Manufacturing: Escolha de materiais.

Design For Manufacturing: Escolha de materiais		
Tópico	Descrição	Aplicação na TEP
Fornecedores	Optar por uso de materiais similares que a empresa já contém fornecedor.	Utilização de mesmos materiais, e espessuras iguais.
Desgastes	Correto dimensionamento de aplicação. Verificar área de atuação, se ambiente é corrosivo, de alta temperatura etc.	Ambiente com aplicação de produtos de limpeza, utilização de inox 304.
Similaridade	Utilizar maior gama de materiais similares possível, a fim de evitar manufatura em matéria prima não adequada.	Utilização de mesmos materiais, e espessuras iguais.

Fonte: Autor.

4.2.6. Design for manufacturing: remoção de cavaco não convencional

Na sequência, foram abordados os itens de processo de remoção de cavaco não convencional, conforme Tabela 9, de corte, Tabela 10 e, jateamento, Tabela 11, com as respectivas medidas tomadas para o projeto.

Tabela 9 - Design For Manufacturing: remoção de cavaco não convencional.

Design For Manufacturing: remoção de cavaco não convencional		
Tabela	Processo	Aplicação na TEP
Tabela 8.1	Processo de corte (laser/jato d'agua/plasma)	Aplicável
Tabela 8.2	Processo de jateamento	Aplicável
Tabela 8.3	Processo de estampagem	Não aplicável

Fonte: Autor.

Tabela 10 - Processo de corte (laser/jato d'agua/plasma).

Processo de corte (laser/jato d'agua/plasma)		
Dificuldade	Descrição	Aplicação na TEP
Espessuras	Utilizar o máximo de espessuras iguais, evitando tempos de setup de máquina.	Todas de mesmas espessuras que o esqueleto da TEP.
Cantos vivos	Optar por projetos com raios pequenos no lugar de cantos vivos, pois acelera o processo de corte.	Ok, projeto com cantos arredondados.
Bordas de corte	O aproveitamento de chapas deve ser levemente menor que a matéria prima inteira, pois elas tem tolerâncias de fornecimento, que podem ser menores que o especificado.	Peças tem dimensões menores que a matéria prima.

Fonte: Autor.

Tabela 11 - Processo de jateamento.

Processo de jateamento		
Dificuldade	Descrição	Aplicação na TEP
Dimensões dos conjuntos soldados	Prever espaçamento para peça caber nas cabines de jateamento, e também para locomoção do operador ao executar o processo.	Blank de chapas menor que dimensões da cabine.
Peças esbeltas	Peças esbeltas podem empenar devido a força de impacto do jato. Prever travamento em chapas finas que tenham áreas superficiais grandes.	Não há peças esbeltas.
Acabamento	Processo não garante uniformidade, se necessário acabamento estético, optar por chapas de matéria prima laminados a frio.	Não há necessidade de alto nível de acabamento
Jateamentos não necessários	Optar por uso de chapas laminadas a frio em proteções. Evitar indicação em áreas não visíveis.	Faces internas não solicita jateamento.

Fonte: Autor.

4.2.7. Design for manufacturing: conformação

Após os processos de remoção não convencional, foram abordados os itens de processo de conformação conforme a Tabela 12 e apenas para dobramento a Tabela 13 com as respectivas medidas tomadas para o projeto.

Tabela 12 - Design For Manufacturing: conformação.

Design For Manufacturing: conformação		
Tabela	Processo	Aplicação na TEP
Tabela 9.1	Processo de dobramento	Aplicável
Tabela 9.2	Processo de calandragem	Não aplicável
Tabela 9.3	Processo de prensagem	Não aplicável

Fonte: Autor.

Tabela 13 - Processo de dobramento.

Processo de dobramento		
Dificuldade	Descrição	Aplicação na TEP
Alimentação	Se possível manter peças dentro do peso de 20 Kg para fácil manuseio e alimentação.	Peças com máximo de 15 Kg.
Dimensões	Respeitar dimensões máximas da máquina.	Atende diretrizes da máquina.
Repuxe	Projetar peças com alvíos de dobra suficientes para evitando repuxe de furos e oblongos.	Haviam dobras com repuxe, então validou-se com teste um modelo satisfatório.

Fonte: Autor.

4.2.8. Design for manufacturing: uniões permanentes

A seguir, são apresentadas as observações referentes as uniões permanentes de solda, conforme a Tabela 14. Nota-se uma vasta lista de pontos em que se não considerados no projeto, podem causar erros no processo de fabricação.

Tabela 14 - Design For Manufacturing: Uniões permanentes.

Design For Manufacturing: Uniões permanentes		
Dificuldade	Descrição	Aplicação na TEP
Alimentação	Se possível manter peças dentro do peso de 50 Kg para fácil manuseio e alimentação.	Peças com máximo de 15 Kg.
Pokayokes e micro encaixes	Inserção de pokayokes e micro encaixes ajudam para posicionar peças no conjunto em formato lego.	As peças que são soldadas possuem micro encaixes.
Comprimento de cordão de solda	Evitar cordões contínuos em chapas finas. Procurar uso de cordões intercalados, ou deixar pelo projeto apenas áreas de contato que necessitam ser soldadas.	Não há necessidade de solda estrutural para a calha.
Dimensionamento do cordão	Cordões hiper dimensionados podem empenar o conjunto, verificar normas de indicação.	Solda de caldeamento.
Empenamento	Térmico: Cordões superdimensionados, comprimento de solda excessivo, chapas finas sem reforços, conjuntos soldados sem robustez. Tratar falhas com reforços no projeto, ou com redimensionamento dos cordões de solda.	Cordões de solda com máximo de 30mm, não há empenamento, validado em testes.
	Mecânico: peças pesadas, empilhadeira ou talha, pode deformar devido ao peso no transporte.	Peças leves, e não esbeltas, não irá empenar.
Detalhamento	Projetos com alto numero de peças dificulta a visualização das áreas que necessitam solda. Procurar deixar com no máximo 20 itens por conjuntos. Se necessário soldar mais peças, criar outro detalhamento.	Os pontos de solda são apenas de fechamento da calha, não estrutural.

Fonte: Autor.

4.2.9. Procedimentos finais

Nesta etapa, as anotações são condizentes com todas as partes padronizadas listadas na Tabela 5, pois trata-se da fase de conclusão de todo o procedimento de padronização. Para esta acontecer, todas os itens listados devem ter sido analisados quanto a DFA e DFM. A seguir, as observações da última etapa são apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15 - Procedimentos finais.

Procedimentos finais		
Etapa	Descrição	Aplicação na TEP
Estimativa de ganhos	Remodelar a tabela 2 e comparar os resultados positivos. Evidenciar ganhos e usar como justificativa de investimentos.	Presente no capítulo 4.3. Discussão dos ganhos.
Custos	Atualização de custos do equipamento, para que próximas cotações estejam coerente com o realizado.	Custos do equipamento foram atualizados, ficando mais batatos.
Catálogos	Atualização de catálogos para fornecedores, descritivos do equipamento, com ênfase nas diferenças.	Adicionado diferenças das mudanças de projeto ao descritivo de vendas.
Manuais	Atualizações de imagens, peças de reposição caso mudem, e posições de pontos importantes para instalação, como alimentação de energia, caso mude.	Forma estrutural do equipamento não muda, não é necessário.
Treinamento	Elaborar treinamento para os projetistas responsáveis por utilização do projeto, a fim de efetivar ganhos.	Projetistas treinados de como usar cada parte parametrizada.
Divulgação	Divulgar processo de padronização gerência e demais setores da empresa. Evidenciar o ganho obtido, e as janelas que podem ser exploradas.	Divulgação para todo o setor de Engenharia de Inovação.

Fonte: Autor.

As tabelas: *Processo de estampagem; Processo de calandragem; Processo de prensagem; Design For Assemble: Acessibilidade e testes; Design For Manufacturing: remoção de cavaco convencional; Design For Manufacturing: melhoria de propriedades; não*

são abordadas na calha de coleta, porque esta não contém necessidade de análise das tabelas auxiliares descritas anteriormente, mas, a consulta do material completo pode ser feita no APÊNDICE A.

4.3. Discussão dos ganhos

A obtenção de redução de tempos e custos é o ponto chave para validar este procedimento. Para isto, o tempo de projeto de engenharia mais o tempo de fabricação devem ser menores que o inicial, custos devem ser reduzidos para a correta validação do procedimento elaborado.

A seguir apresenta-se a Tabela 16, que trata-se de uma nova versão da Tabela 5. A coluna “Resultado FMEA” é travada em valor igual a 1, porque todos os problemas foram resolvidos, as células pintadas em amarelo tiveram seus valores trocados na análise “DEPOIS” de padronizado.

Tabela 16 – Resultados.

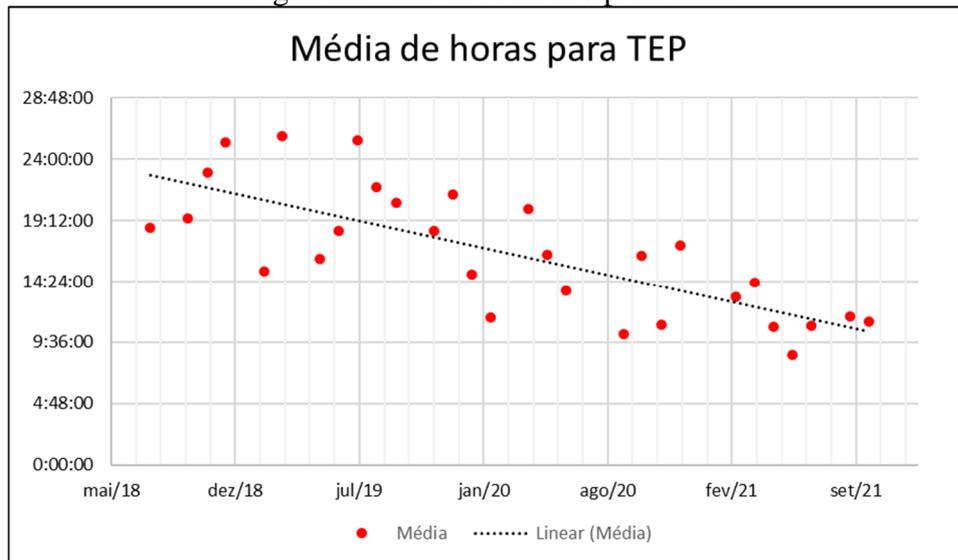
ANTES	Impacto de tempo: Pontuação (1-5)					
Partes do equipamento	Tempo de projeto	Tempo de fabricação	Resultado FMEA	Pot. de Ganho	Esforço	Resultado
Abas plásticas	4	4	4	3	2	96
Abas metálicas	4	4	3	5	4	60
Calhas de coleta basculante	5	5	2	5	5	50
Posicionamento de pernas	4	3	1	4	2	24
Posicionamento de roletes	4	3	1	5	4	15
Curvas de subida	3	4	1	3	3	12
Calhas de coleta fixa	3	3	1	4	3	12
Configurador	3	1	1	2	2	3
Pontuação: valores de 1 a 5. 1 significa baixo impacto em tempo; 5 significa alto impacto em tempo					Total	272
DEPOIS	Impacto de tempo: Pontuação (1-5)					
Partes do equipamento	Tempo de projeto	Tempo de fabricação	Resultado FMEA	Pot. de Ganho	Esforço	Resultado
Abas plásticas	2	3	1	3	2	9
Abas metálicas	1	3	1	5	4	4
Calhas de coleta basculante	2	3	1	5	5	6
Posicionamento de pernas	2	3	1	4	2	12
Posicionamento de roletes	2	3	1	5	4	8
Curvas de subida	2	4	1	3	3	8
Calhas de coleta fixa	2	3	1	4	3	8
Configurador	1	1	1	2	2	1
Pontuação: valores de 1 a 5. 1 significa baixo impacto em tempo; 5 significa alto impacto em tempo					Total	55

Fonte: Autor.

Observa-se que os valores totalizadores passam de 272 para 55, resultado da diminuição dos tempos de projeto, fabricação e eliminação de problemas. Os valores de classificação antes e depois da padronização foram classificados pelo projetista que executou a padronização, em conjunto com a equipe de projetistas. Esse número não expressa o real percentual de ganho, mas esclarece os pontos que foram tratados em que haverá melhoria nas próximas demandas.

Para quantificar os ganhos locais do projeto em questão, a Figura 11 apresenta os apontamentos médios de horas realizados por projetistas no período de maio de 2018 até outubro de 2020, somente dos ganhos referentes ao TEP.

Figura 11 - Média de horas para TEP.



Fonte: Marel SA.

O PPPM realizado neste equipamento tem ganhos iniciados em fevereiro de 2021, no qual a média foi de 14:48:00 horas por equipamento para 11:32:00 horas. Em períodos de normal demanda, esses ganhos seriam mais evidenciados, uma vez que entre fevereiro a setembro de 2021, houveram altas demandas especiais e, mesmo assim, há redução verificou-se redução.

Outro ponto de destaque, para a Figura 11 é o declínio da média ao longo do tempo, mostrando a presença de outros trabalhos de padronização, os quais foram englobados neste procedimento.

Esta redução de tempo foi proveniente das padronizações em diversas partes do equipamento, apresentadas na Tabela 16, onde todos os conceitos de modelamento e repetibilidade de itens são aplicados, evitando ao máximo peças diferentes para aplicações similares, o que tornam os tempos menores, pois evitam novos desenhos, detalhamentos ou mesmo tempo de procura.

A Tabela 17 apresenta dados para comparação de tempos projetados reais antes e depois da padronização utilizando a metodologia PPPM. Os apontamentos de horas são os reais da empresa Marel, extraídos em 22 de outubro de 2021.

Tabela 17 - Comparativo final.

Comparativo final			
	Horas	Horas por milhão	Redução %
Antes da padronização	14:38:00	73:10:00	100%
Depois da padronização	11:32:00	57:40:00	79%

Fonte: Marel SA.

A redução de 21% do tempo para realizar um projeto, fez com que o indicador de horas/milhão caísse proporcionalmente. Antes da padronização era necessário alocar 73:10:00 horas de um recurso, já após realização de todas as etapas nas diferentes partes da TEP, desprende-se apenas 57:40:00 horas.

5 CONCLUSÕES

Engenharias que produzem quantidades grandes de desenhos acabam tornado difícil o controle do ciclo de vida de cada projeto. Isso devido à grande similaridade de soluções para um mesmo problema. Por não ter um padrão, essa dificuldade se estende para os demais setores, dificultando controle de estoque, planejamento de fabricação, tempos de manufatura e problemas de montagem.

Com o objetivo de resolver esse problema, a revisão bibliográfica deste estudo focou em conceitos como a metodologia de análise de falhas, modularização de produtos e projeto para manufatura e montagem. Nesse sentido, um fluxo orientativo é elaborado, baseado em exemplos de aplicações dos autores Ciofu (2018), Barbosa e Carvalho (2014) e Emmatty e Sarmah (2012). Como visto por Francis, a análise de modularização vem antes da análise DFMA, isto pois, define-se um módulo e, posteriormente, pensa-se em montagem e fabricação do conjunto.

Finalizado este fluxo de atividades, criou-se um diretriz global de padronização, declarada como sendo o Procedimento de Padronização de Projetos Mecânicos (PPPM). Apesar de extenso, este procedimento é completo, constituindo-se de uma diretriz global e de uma série de tabelas auxiliares, que vão desde o início de análise de erros, priorização das atividades, orientações de modularização, análise DFMA até as atualizações de documentos finais.

É de extrema importância que todos os pontos levantados pelas equipes estejam presentes nas tabelas da diretriz global, isto pois, mesmo que obvio, muitos tópicos acabam entrando em esquecimento devido a sobrecarga dos setores de projeto, ou até mesmo pelos diferentes níveis de conhecimento.

Cabe ressaltar que o trabalho tem como pilar a modularização. Para que ela ocorra, as etapas de priorização devem acontecer na ordem indicada pelo procedimento, no entanto, o esforço maior por parte dos projetistas deve ser aplicado no modelamento, onde estes devem levar em consideração a mais importante fatia do trabalho: Platform-based Design e DFMA, que unifica projetos modulares pensados para manufatura, trazendo redução de tempo para engenharia quanto para fábrica.

Como etapa concluinte do procedimento, foi necessário aplicar no objeto de estudo, Transportador de Esteira Plástica. De mesma maneira que os passos descritos no Apêndice A, o objeto de estudo passou por todas as fases elaboradas, porém, neste trabalho evidenciou-se somente as calhas de coleta.

Desta forma, o Procedimento de Padronização de Projetos Mecânicos reduziu 21% de horas alocadas dos recursos de engenharia para execução do projeto. Além deste ganho contábil, outros também se mostraram efetivos, tais como: a) tempos de fabricação: produtos modulares resultam em lotes iguais de fabricação; b) redução de tempo de montagem do equipamento, modularização; c) controle de estoque, devido a unificação de matérias primas iguais.

Por mais que cada produto tenha suas particularidades, este procedimento facilitará a implementação de qualquer padronização de projeto, para qualquer indústria do setor metalmeccânico. Como consequência, haverá redução dos números de desenhos e padronização de soluções, logo, facilitando também setores posteriores, reduzindo tempo e custos para a companhia à tornando mais rentável.

6 REFERÊNCIAS

TERZI, S. et al. **Product lifecycle management - From its history to its new role.** Int. J. of Product Lifecycle Management, Vol. 4, p. 360–389, 1 de novembro de 2010.

ZHENG, Q. **A Closed-loop PLM Model for Lifecycle Management of Complex Product.** Vol. 1. Amsterdam: IOS Press, 2014.

BOGUE, R. **Design for manufacture and assembly: Background, capabilities and applications.** Assembly Automation, Vol. 32, p. 112–118, 6 abril de 2012.

YUAN, Z.; SUN, C.; WANG, Y. **Design for Manufacture and Assembly-oriented parametric design of prefabricated buildings.** Automation in Construction, Vol. 88, p. 13–22, 2018.

BARBOSA, G. F.; CARVALHO, J. **Guideline tool based on design for manufacturing and assembly (DFMA) methodology for application on design and manufacturing of aircrafts.** Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, Vol. 36, n. 3, p. 605–614, 2014.

EMMATTY, F.; SARMAH, S. P. **Modular product development through platform-based design and DFMA.** Journal of Engineering Design - J ENGINEERING DESIGN, Vol. 23, p. 1–19, 1 set. 2012.

SIMPSON, T.W.; SIDDIQUE, Z.; JIAO, J. **Product platform and product family design: methods and applications.** New York: Springer, 2006.

PAHL, G. **Engineering design: a systematic approach.** London: Springer, 2007.

CIOFU; FLORIN. **FMEA - Basic concept in product quality.** Fiabilitate și Durabilitate, Vol. 2, p. 100-107, 2018.

SILVA, Rosinda Angela da; SILVA, Olga Rosa da. **Qualidade, padronização e certificação.** Vol. 1. Curitiba: InterSaber, 2017.

WALDT, Gerrit van der. **The project administrator: perspectives to project support services.** Vol. 1. Nova Iorque: Nova Science Publishers, 2019.

CHA, Jianzhong. **Moving integrated product development to service clouds in the global economy.** Vol. 1, Amsterdam: IOS Press, 2014.

7 APÊNDICE A – DIRETRIZ E TABELAS AUXILIARES DO PPPM

Diretrizes: tabela geral.

Procedimento de Padronização de Produtos		
Tabela	Título	Método aplicado
Tabela 1	FMEA: Problemas	FMEA
Tabela 2	Priorização do trabalho	Padronização
Tabela 3	PBD: Guia de modularização	Platform-Based Design
Tabela 4	DFA: Uniões mecânicas, montagem	DFA
Tabela 5	DFA: Acessibilidade e testes	
Tabela 6	DFM: Escolha de materiais	DFM
Tabela 7	DFM: Remoção de cavaco convencional	
Tabela 8	DFM: Remoção de cavaco não convencional	
Tabela 9	DFM: Conformação	
Tabela 10	DFM: Melhoria de propriedades	
Tabela 11	DFM: Uniões permanentes	
Tabela 12	Procedimentos finais	Padronização

Tabela 1: FMEA: Problemas.

FMEA: Problemas
Consultar histórico de problemas via sistema, equipe de instalações, garantias ou cliente.
Determinar de severidade do problema, caso aconteça, o nível de impacto para a funcionalidade.
Determinação de ocorrência do problema.
Quanto maior o valor, maior o grau de importância para priorizar partes a serem trabalhadas.

Falha no equipamento	Impacto: Pontuação (1-10)			
	Severidade	Ocorrência	Detecção	Resultado
Falha 1	10	6	6	22
Falha 2	8	4	4	16
Falha 3	6	2	2	10
Pontuação: valores de 1 a 10. 1 significa baixo impacto na funcionalidade; 10 significa alto impacto funcionalidade;				

Tabela 2: Priorização do trabalho.

Priorização de trabalho	
Pontuar quanto tempo cada parte do produto demora para ser PROJETADO. Proporcional à priorização.	
Pontuar quanto tempo cada parte do produto demora para ser FABRICADO. Proporcional à priorização.	
Pontuar quantidade de problemas/melhorias que tal parte tem. Proporcional à priorização.	
Pontuar o potencial de ganho que a modificação pode provir. Proporcional à priorização.	
Pontuar esforço necessário para padronizar conjunto. INVERSAMENTE proporcional à priorização.	
Quanto maior o valor, maior o grau de importância para priorizar partes a serem trabalhadas.	

Partes do equipamento	Impacto de tempo: Pontuação (1-5)					Resultado
	Tempo de projeto	Tempo de fabricação	Resultado FMEA	Pot. de Ganho	Esforço	
Subconjunto 01	5	5	5	5	3	6,7
Subconjunto 02	4	4	4	4	2	8,0
Subconjunto 03	3	3	3	3	3	4,0
Pontuação: valores de 1 a 5. 1 significa baixo impacto em tempo; 5 significa alto impacto em tempo						

Tabela 3: PBD: Guia de modularização.

Platform-Based Design: Guia de modularização
Definir conjuntos de peças que quando montadas, assumem uma função que será utilizada em diferentes partes do equipamento, ou até mesmo em outros equipamentos.
Verificar peças com maior facilidade de montagem.
Verificar simetria de peças, espelhamento direito e esquerdo, superior e inferior.
Tabela 3.1 - Arvore de produtos
Executar análise DFMA para cada módulo definido na análise combinatória.

Tabela 3.1: Árvore de produtos.

Árvore de produtos				
Deve conter regras de uso, e indicações de como usar cada configuração. Podem estar inclusos aqui informações de dimensionamento.				
Equipamento	Módulo	Variação	Código	
Equipamento X	Base	Comprimento		
		1000	XXXXX	
		2000	XXXXX	
			3000	XXXXX
	Escada	Altura		
		500	XXXXX	
		1000	XXXXX	
			1500	XXXXX

Tabela 4: DFA: Uniões mecânicas, montagem.

Design For Assemble: Uniões mecânicas, montagem	
Tópico	Descrição
Peças similares	Utilizar ao máximo peças similares, como elementos de fixação de mesma bitola e mesmo comprimento.
Sequência de montagem	Prever sequência de montagem das peças para correta montagem dos sub conjuntos.
Funcionamento	Informações de requisitos para funcionamento. Ex: a chapa deve ficar solta para articular. Indicar em detalhamentos.
Manutenção	Prever espaçamento para manutenção, e fácil acesso para reparos.
Ordem de montagem	Avaliar espaço ocupados por ferramenta para montar com facilidade sem necessidade de ferramentas especiais.
Interferência	Executar análise de interferência via softwares de desenho.
Cordões de solda	Indicar cordões de solda nos projetos em lugares estratégicos a fim de evitar erros de interferência.

Tabela 5: DFA: Acessibilidade e testes.

Design For Assemble: Acessibilidade e testes	
Tópico	Descrição
Ligações elétricas	Inserir itens elétricos sobressalientes, como metragem de cabos ou bornes para ligação.
Recursos	Prever recursos necessários para testar: água, gás, ar, sensores, estrutura de fixação.
Tubulações dos recursos	Prever tubulações com comprimento sobressaliente para montagem e teste.
Descrição do teste	Descrever detalhadamente as atividades que necessitam ser testadas, e como deve ser executado o teste.

Tabela 6: DFM: Escolha de materiais.

Design For Manufacturing: Escolha de materiais	
Tópico	Descrição
Fornecedores	Optar por uso de materiais similares que a empresa já contém fornecedor.
Desgastes	Correto dimensionamento de aplicação. Verificar área de atuação, se ambiente é corrosivo, de alta temperatura etc.
Similaridade	Utilizar maior gama de materiais similares possível, a fim de evitar manufatura em matéria prima não adequada.

Tabela 7: DFM: Remoção de cavaco convencional.

Design For Manufacturing: remoção de cavaco convencional	
Tabela	Processo
Tabela 7.1	Processo de serra
Tabela 7.2	Processo de fresagem
Tabela 7.3	Processo de torneamento
Tabela 7.4	Processo de furação
Tabela 7.5	Processo de roscagem

Tabela 7.1: Processo de serra.

Processo de serra	
Dificuldade	Descrição
Alimentação de serra	Se possível manter peças dentro do peso de 20 Kg para fácil manuseio e alimentação.
Planos de corte	Evitar criação de muitos planos de corte, em que operador necessita rotacionar a peça para produzir.
Quantidades	Optar por comprimentos de peças padronizados, gerando bom aproveitamento de matéria prima.
Dimensões máximas	Projetar peças menores que 3000mm, dificuldade em passagem nas portas.

Tabela 7.2: Processo de fresagem.

Processo de fresagem	
Dificuldade	Descrição
Alimentação da fresadora	Se possível manter peças dentro do peso de 20 Kg para fácil manuseio e alimentação.
Fixação	Prever peças com faces para encosto, sem faces paralelas não é possível fixar adequadamente.
Dimensões	Respeitar dimensões máximas da máquina.
Planos	Projetar sempre nos 3 eixos principais, evitar uso de planos de usinagem secundários.

Tabela 7.3: Processo de torneamento.

Processo de torneamento	
Dificuldade	Descrição
Alimentação do torno	Se possível manter peças dentro do peso de 20 Kg para fácil manuseio e alimentação.
Fixação	Prever pontos de fixação em castanhas e luneta.
Dimensões	Respeitar dimensões máximas da máquina.
Peças excêntricas	Evitar peças com necessidade de excentricidade. Optar por partes montadas, onde as excentricidades são compensadas com um subconjunto.
Cavaco	Projetar equipamentos pensando em mínima remoção de cavaco.
Super dimensionamento	Verificar o maior campo de tolerância possível para atender o projeto.

Tabela 7.4: Processo de furação.

Processo de furação	
Dificuldade	Descrição
Setup	Utilizar mesmo diâmetros, para evitar perdas de tempos com setup.
Quantidade de furos	Caso grande quantidade de furos, optar por fazer em processo de corte automático, laser, jato d'agua etc.
Furos internos	Evitar furos internos profundos, pois dificulta processo. Obedecer comprimento das ferramentas.

Tabela 7.5: Processo de roscagem.

Processo de roscagem	
Dificuldade	Descrição
Roscas internas	Evitar roscas internas profundas, pois dificulta processo. Obedecer comprimento das ferramentas.
Roscas em chapas	Evitar usinagem de roscas, sempre que possível usar elementos de fixação, conjunto porca parafuso.

Tabela 8: DFM: Remoção de cavaco não convencional.

Design For Manufacturing: remoção de cavaco não convencional	
Tabela	Processo
<u>Tabela 8.1</u>	Processo de corte (laser/jato d'agua/plasma)
<u>Tabela 8.2</u>	Processo de jateamento
<u>Tabela 8.3</u>	Processo de estampagem

Tabela 8.1: Processo de corte (laser/jato d'agua/plasma).

Processo de corte (laser/jato d'agua/plasma)	
Dificuldade	Descrição
Espessuras	Utilizar o máximo de espessuras iguais, evitando tempos de setup de máquina.
Cantos vivos	Optar por projetos com raios pequenos no lugar de cantos vivos, pois acelera o processo de corte.
Bordas de corte	O aproveitamento de chapas deve ser levemente menor que a matéria prima inteira, pois elas tem tolerâncias de fornecimento, que podem ser menores que o especificado.

Tabela 8.2: Processo de jateamento.

Processo de jateamento	
Dificuldade	Descrição
Dimensões dos conjuntos soldados	Prever espaçamento para peça caber nas cabines de jateamento, e também para locomoção do operador ao executar o processo.
Peças esbeltas	Peças esbeltas podem empenar devido a força de impacto do jato. Prever travamento em chapas finas que tenham áreas superficiais grandes.
Acabamento	Processo não garante uniformidade, se necessário acabamento estético, optar por chapas de matéria prima laminados a frio.
Jateamentos não necessários	Optar por uso de chapas laminadas a frio em proteções. Evitar indicação em áreas não visíveis.

Tabela 8.3: Processo de estampagem.

Processo de estampagem	
Dificuldade	Descrição
Cotas	Sequenciamento: evitar cotas acumulativas, aumenta chance de erros.
Oblongos	Optar por uso de oblongos e não furos, pois a tolerância do processo é alta.

Tabela 9: DFM: Conformação.

Design For Manufacturing: conformação	
Tabela	Processo
Tabela 9.1	Processo de dobramento
Tabela 9.2	Processo de calandragem
Tabela 9.3	Processo de prensagem

Tabela 9.1: Processo de dobramento.

Processo de dobramento	
Dificuldade	Descrição
Alimentação	Se possível manter peças dentro do peso de 20 Kg para fácil manuseio e alimentação.
Dimensões	Respeitar dimensões máximas da máquina.
Repuxe	Projetar peças com alívios de dobra suficientes para evitando repuxe de furos e oblongos.

Tabela 9.2: Processo de calandragem.

Processo de calandragem	
Dificuldade	Descrição
Alimentação	Se possível manter peças dentro do peso de 50 Kg para fácil manuseio e alimentação.
Verificação das dimensões	Alta tolerância de processo. Optar por fazer peças dobradas com varias batidas.

Tabela 9.3: Processo de prensagem.

Processo de prensagem	
Dificuldade	Descrição
Alimentação	Se possível manter peças dentro do peso de 20 Kg para fácil manuseio e alimentação.
Tolerâncias	Indicar grandes campos de tolerâncias, pois na maioria das empresas é um processo manual.
Gabaritos	Verificar dimensões de gabaritos a fim de evitar erros de montagem.
Raios	Usar raios iguais para não haver setup de troca de gabaritos.

Tabela 10: DFM: Melhoria de propriedades.

Design For Manufacturing: melhoria de propriedades	
Tabela	Processo
Tabela 10.1	Processo de galvanização
Tabela 10.2	Tratamentos térmicos

Tabela 10.1: Processo de galvanização.

Processo de galvanização	
Dificuldade	Descrição
Pontos de escoamento	Inserção de pontos para escoamento do líquido, ele deve escoar por todas as superfícies das soldas/peças sem acúmulos.
Empenamento	Térmico: peças esbeltas tem facilidade de empenar devido a tensão gerada pelo calor dentro do tanque.
	Mecânico: peças pesadas, empilhadeira ou talha, pode deformar devido ao peso no transporte.
Camada de zinco	Camada de zinco pode gerar desconformidades de tolerâncias.
Furos pequenos	Evitar furos menores que Ø11mm, pois a camada de zinco pode acabar tampando o furo da peça.

Tabela 10.2: Tratamentos térmicos.

Tratamentos térmicos	
Dificuldade	Descrição
Avaliação de material	Atentar se o material da peça tem capacidade de atingir as propriedades requeridas em projeto.
Pós usinagem	Quando necessário pós usinagem após um tratamento térmico, atentar para não remover a camada tratada, exemplo: cementação.

Tabela 11: DFM: Uniões permanentes.

Design For Manufacturing: Uniões permanentes	
Dificuldade	Descrição
Alimentação	Se possível manter peças dentro do peso de 50 Kg para fácil manuseio e alimentação.
Pokayokes e micro encaixes	Inserção de pokayokes e micro encaixes ajudam para posicionar peças no conjunto em formato lego.
Comprimento de cordão de solda	Evitar cordões contínuos em chapas finas. Procurar uso de cordões intercalados, ou deixar pelo projeto apenas áreas de contato que necessitam ser soldadas.
Dimensionamento do cordão	Cordões hiper dimensionados podem empenar o conjunto, verificar normas de indicação.
Empenamento	Térmico: Cordões superdimensionados, comprimento de solda excessivo, chapas finas sem reforços, conjuntos soldados sem robustez. Tratar falhas com reforços no projeto, ou com redimensionamento dos cordões de solda.
	Mecânico: peças pesadas, empilhadeira ou talha, pode deformar devido ao peso no transporte.
Detalhamento	Projetos com alto numero de peças dificulta a visualização das áreas que necessitam solda. Procurar deixar com no máximo 20 itens por conjuntos. Se necessário soldar mais peças, criar outro detalhamento.

Tabela 12: Procedimentos finais.

Procedimentos finais	
Etapa	Descrição
Estimativa de ganhos	Remodelar a tabela 2 e comparar os resultados positivos. Evidenciar ganhos e usar como justificativa de investimentos.
Custos	Atualização de custos do equipamento, para que próximas cotações estejam coerente com o realizado.
Catálogos	Atualização de catálogos para fornecedores, descritivos do equipamento, com ênfase nas diferenças.
Manuais	Atualizações de imagens, peças de reposição caso mudem, e posições de pontos importantes para instalação, como alimentação de energia, caso mude.
Treinamento	Elaborar treinamento para os projetistas responsáveis por utilização do projeto, a fim de efetivar ganhos.
Divulgação	Divulgar processo de padronização gerência e demais setores da empresa. Evidenciar o ganho obtido, e as janelas que podem ser exploradas.