



**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**CAMPUS CURITIBA**

**DEPARTAMENTO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO DO CURSO DE  
ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO**

**MARCIO LUIZ DA CUNHA**

**CONJUNTO DE PROCEDIMENTOS PARA CONDUZIR  
REPROJETO COM FOCO EM CUSTOMIZAÇÃO: O  
CASO DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS PESADAS**

**CURITIBA**

**2016**



**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**CAMPUS CURITIBA**

**DEPARTAMENTO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO DO CURSO DE  
ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO**

**MARCIO LUIZ DA CUNHA**

**CONJUNTO DE PROCEDIMENTOS PARA CONDUZIR  
REPROJETO COM FOCO EM CUSTOMIZAÇÃO: O  
CASO DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS PESADAS**

**CURITIBA**

**2016**

**MARCIO LUIZ DA CUNHA**

**CONJUNTO DE PROCEDIMENTOS PARA CONDUZIR  
REPROJETO COM FOCO EM CUSTOMIZAÇÃO: O  
CASO DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS PESADAS**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gestão de Desenvolvimento de Produto – GDP3, ministrado pelo Departamento Acadêmico de Mecânica, do Campus Curitiba, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

**Orientador:** Prof. Carlos Cziulik, Ph. D.

**CURITIBA**

**2016**

Dedico à minha esposa Luana e meu filho  
Valentin.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em especial a grande incentivadora minha esposa Luana Beltrame de Souza na caminhada em busca do conhecimento.

A meu filho amado Valentin Beltrame da Cunha, por colorir e suavizar meu universo, com sua doçura e alegria.

Ao meu orientador professor PhD. Carlos Cziulik, pela dedicação e energia empregada na valorosa arte de ensinar e passar o conhecimento ao próximo.

À instituição Universidade Tecnológica Federal do Paraná por alavancar a busca por novos desafios.

Eu acredito demais na sorte. E tenho constatado que, quanto mais duro eu trabalho, mais sorte eu tenho.

(Thomas Jefferson)

Não existe vida sem problemas, a felicidade está na capacidade de resolvê-los.

(Içami Tiba)

## RESUMO

Em um país em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, a indústria de bens de capital desempenha um papel importante na economia. O segmento de máquinas pesadas deve atender demandas específicas para fazer frente às necessidades de fortalecimento e modernização da infraestrutura, cada vez mais crescentes. Estas necessidades particulares são, normalmente, atendidas a partir de modificações que ocorrem em equipamentos originais disponibilizados pelos fabricantes. Este processo de customização, geralmente, por encomenda, requer atividades de reprojeto. Observa-se na prática que, em muitos casos, a abordagem de customização das soluções neste segmento é baseada em estratégias de “tentativa e erro”, sendo pouco sistematizada e dependente da experiência dos integrantes da equipe. Com isto, a repetibilidade e reprodutibilidade dos processos e atividades é baixa, induzindo a um reduzido reuso de soluções e elevadas intervenções de retrabalho. Assim, o objetivo do presente trabalho é apresentar um conjunto de procedimentos sistematizados que dêem suporte às atividades de reprojeto com vistas à customização de equipamentos da indústria de máquinas pesadas. A abordagem desenvolvida é fundamentada em recomendações da literatura, associadas com boas práticas encontradas em levantamento de campo. Uma aplicação descritiva, baseada em caso real, ilustra a implementação do conjunto de procedimentos. Os resultados preliminares indicam que a proposta tem potencial para ampliação da sua aplicação no segmento de máquinas pesadas e em áreas correlatas.

**Palavras-chave:** Reprojeto; Customização; Bens de Capital; Máquinas Pesadas.

## **ABSTRACT**

Considering developing countries, as is the case of Brazil, the capital goods industry performs an important role in the economy. The heavy industry machinery sector must fulfil specific demands to strengthen and modernize the infrastructure. These particular requirements are, usually, satisfied from modifications that are implemented in equipments supplies by original manufacturers. This customization process, normally, started from a formal order, depends on a set of redesign activities. In practice, it has been observed that, in several cases, the customization approach in this segment is based on a “trial and error” strategy, being weakly systematized and heavily dependent on the experience of the team members. From that, the repeatability and reproducibility in those processes and activities is low, which induces to a reduced reuse of tested solutions and high level of reworking. Therefore, this paper presents a set of systematic procedures to support the redesign activities with focus on customization of equipments found in the heavy industry machinery. The developed approach is based on recommendations from literature associated to best practices found in a field survey. A descriptive application, derived from a real customization case, illustrates the set of procedures usage. The preliminary results indicate that the approach proposed has the potential to be widely applied in heavy industry machinery sector and correlated areas.

**Keywords:** Redesign; Customization; Capital Goods; Heavy Industry Machinery.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Descrição dos setores.....	21
Figura 2 – Aplicações típicas nos setores .....	22
Figura 3 – Princípio funcional dos tratores de esteira em diferentes épocas. ....	23
Figura 4 – Exemplo de equipamento OEM com customização.....	23
Figura 5 – Mapeamento do processo de reprojeto para máquinas pesadas.....	25
Figura 6 – Mapeamento das rotinas para a customização a partir de reprojeto.....	26
Figura 7 – Metodologia de reprojeto de produto.....	29
Figura 8 – Conjunto de procedimentos. ....	34
Figura 9 – Dimensões de referência da escavadeira hidráulica original .....	45
Figura 10 – Faixas de trabalho da escavadeira, conforme fabricante original. ....	46
Figura 11 – Escavadeira já sem elementos a customizar. ....	47
Figura 12 – Modelo 3D do equipamento customizado: dimensões de referência. ....	48
Figura 13 – Alcance de escavação do equipamento customizado.....	50
Figura 14 – Equipamento reprojetoado, originando solução customizada. ....	51

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Marcas Globais.....	20
Quadro 2 – Pressupostos para considerar um reprojeto.....	33
Quadro 3 – Restrições e determinações. ....	47

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
1.1	APRESENTAÇÃO DO TEMA	16
1.2	APRESENTAÇÃO DA OPORTUNIDADE	17
1.3	OBJETIVOS	17
1.3.1	OBJETIVO GERAL	17
1.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.3.3	METODOLOGIA	18
1.4	JUSTIFICATIVAS	18
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	19
<b>2</b>	<b>REPROJETO E CUSTOMIZAÇÃO: O CONTEXTO DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS PESADAS</b>	<b>20</b>
2.1	MÁQUINAS PESADAS	20
2.2	EMPRESA DE REFERÊNCIA	24
2.3	CUSTOMIZAÇÃO	27
2.4	REPROJETO	27
2.5	CARACTERIZAÇÃO DA OPORTUNIDADE DE PESQUISA	30
<b>3</b>	<b>PROPOSTA DE CONJUNTO DE PROCEDIMENTOS PARA REPROJETO COM FOCO NA CUSTOMIZAÇÃO</b>	<b>32</b>
3.1	CONTEXTO E CONSIDERAÇÕES	32
3.2	PRESSUPOSTOS	33
3.3	CONJUNTO DE PROCEDIMENTOS PARA ORIENTAR AS ATIVIDADES DE REPROJETO COM FOCO NA CUSTOMIZAÇÃO	34
3.3.1	Interação	35
3.3.2	Desmontagem	36
3.3.3	Intervenção	37
3.3.4	Manufatura	39
3.3.5	Montagem	40
3.3.6	Desempenho	41
3.3.7	Entrega	42
3.4	CONJUNTO DE PROCEDIMENTOS: CONSIDERAÇÕES	43
<b>4</b>	<b>APLICAÇÃO DESCRITIVA</b>	<b>44</b>
4.1	APLICAÇÕES DO CONJUNTO DE PROCEDIMENTO	44
4.2	DISCUSSÃO	51
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	<b>52</b>
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	53
	REFERÊNCIAS	54

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA

Nos dias atuais a competitividade tem exigido diferentes estratégias de desenvolvimento de produtos (GAITHER e FRAZIER, 2002). Indústrias de bens de consumo de massa, geralmente, adotam a abordagem do projeto incremental (OJA, 2007). Por outro lado, empresas de bens duráveis ou de bens de capital, tendem a aplicar a estrutura de projeto por encomenda (RODRIGUES e OLIVEIRA, 2010).

A indústria de máquinas pesadas apresenta, de modo geral, um portfólio de produtos bem definido (CATERPILLAR, 2016), sendo que as modificações nas famílias de produtos dos fabricantes originais são pontuais e derivadas de avanços tecnológicos.

Com base neste contexto, empresas necessitam desenvolver novas competências para abrir portas em busca de novas oportunidades, com produtos distintos, acessando diferentes mercados (PRAHALAD e HAMEL, 1990). Carnevalli et al. (2015), observam que um dos mecanismos para implementar a diferenciação dos produtos ocorre por meio de uma maior customização.

A customização pode ser uma possibilidade para manter e buscar clientes, por oferecer valor agregado e melhor serviço, caracterizando-se como diferencial para o posicionamento das empresas (SIMON e DOLAN, 1998). No segmento de bens de capital a customização ocorre com frequência, pois, normalmente, os produtos são projetados e manufaturados a partir de demandas específicas dos clientes.

Um produto personalizado pode ser visto como um produto que é modificado pelas necessidades do cliente. Também, é tido como algo especial, que é manufaturado conforme o cliente quer (SIEVÄNEN, 2002).

Uma das maneiras de se formalizar a customização na prática é através de um reprojeto de um produto existente (VIDOR e FOGLIATTO, 2013). De acordo com Smith et al. (2012) há muitas razões para um produto ser reprojetoado. Uma delas é a alteração dos requisitos dos clientes, ou ainda, a percepção de novas aplicações (em pequena escala) para produtos existentes.

## 1.2 APRESENTAÇÃO DA OPORTUNIDADE

Constata-se que o segmento de equipamentos pesados é importante para diversos setores da economia nacional. Segundo a ABRAMAT (2012). A indústria de construção vem sendo foco de políticas públicas e extensivamente estudada por sua importância econômica e capacidade de geração de empregos.

No segmento de máquinas pesadas, o que se observa é a efetiva demanda por produtos customizados, a partir de reprojeto específicos. No entanto é notado neste meio que os fabricantes originais de equipamentos, muitas vezes, não têm interesse por demandas específicas de clientes. Para as empresas que tentam absorver esta demanda de reprojeto com foco em customização, a abordagem na maioria das vezes é na “tentativa e erro”.

Desta forma, surge a oportunidade de se examinar a viabilidade de se inserir fases e procedimentos recomendados nas referências que abordam o processo de desenvolvimento de produtos, no contexto de examinado (i.e. no caso, o de máquinas pesadas).

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 OBJETIVO GERAL

A partir deste cenário, o objetivo do presente trabalho é estruturar um Conjunto de Procedimentos para conduzir o processo de reprojeto visando à customização de produtos, com foco no segmento de máquinas pesadas. A partir do contraste de recomendações dos referenciais teóricos com dados de campo será proposta uma abordagem de customização, que seja compatível com as mais variadas atividades de reprojeto, no contexto de maquinário de grande porte.

### 1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para o cumprimento do objetivo geral deste trabalho, têm-se os seguintes objetivos específicos:

1. Organizar o conhecimento da literatura necessário para o desenvolvimento de modelos, diretrizes e ferramentas para o entendimento de aspectos de reprojeto e customização;

2. Caracterizar, a partir de levantamento de campo, os procedimentos e melhores práticas para realização de customizações de equipamentos pesados;
3. Produzir análise comparativa entre as recomendações da literatura e seu contraste com as práticas identificadas a partir da experiência de um dos autores em uma empresa de referência, sinalizando lacunas, sombreamentos e oportunidades;
4. Propor um conjunto lógico de etapas e tarefas para auxiliar o projetista desde a solicitação da customização por parte do cliente até entrega a campo, das soluções implementadas;
5. Caracterizar, por meio de aplicação demonstrativa, a forma de uso do conjunto lógico de atividades para reprojeter equipamento pesado com foco na customização.

### 1.3.3 METODOLOGIA

Quanto à metodologia utilizada, o Conjunto de Procedimentos foi desenvolvido com o suporte da metodologia da pesquisa-ação (THIOLLENT, 1996). Inicialmente, uma busca por referenciais teóricos foi realizada orientando-se por dois macro temas: i/ reprojeto (e suas correlações com o PDP (Processo de Desenvolvimento de Produto)); e ii/ customização de produtos. A partir da experiência prática de um dos autores, todo o processo de reprojeto existente na empresa de referência foi mapeado e documentado. As recomendações encontradas nos referenciais teóricos foram contrastadas com as principais observações constatadas *in-loco*. Das discussões e análises reflexivas foi possível derivar o Conjunto de Procedimentos aqui proposto.

### 1.4 JUSTIFICATIVAS

O desenvolvimento do presente trabalho se justifica por:

1. Aprimorar o processo de reprojeto de equipamentos pesados, com foco na customização, de modo a se evitar retrabalhos;
2. Reduzir o tempo de reprojeto e implementação das soluções no equipamento definitivo;
3. Aprimorar o processo de documentação da atividade de reprojeto, para permitir o reuso de soluções em projetos futuros;

4. Catalogar soluções customizadas para permitir o suprimento de componentes de reposição (sejam eles comerciais ou sob encomenda).

## **1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Este trabalho está estruturado em cinco seções. Na seção 2 são examinados e comparados aspectos relevantes sobre reprojeto e customização no âmbito de máquinas pesadas. O Conjunto de Procedimentos proposto é apresentado na seção 3. Como consequência do trabalho realizado, a seção 4 contém uma aplicação descritiva, baseada em um caso real, empregando a abordagem proposta. Por fim, na seção 5 são apresentadas as conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

## 2 REPROJETO E CUSTOMIZAÇÃO: O CONTEXTO DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS PESADAS

### 2.1 MÁQUINAS PESADAS

O Setor de Máquinas e Equipamentos é um importante segmento da indústria brasileira, tanto sob o ponto de vista econômico quanto no de geração de empregos. Segundo a ABIMAQ (2014), este setor é responsável por cerca de 16% do PIB brasileiro. A indústria de máquinas pesadas está vinculada ao Setor de Máquinas e Equipamentos. Segundo Haycraft (2011), integram este escopo: caminhões pesados, equipamentos de construção, veículos pesados, entre outros. Ainda, usualmente, envolvem cinco sistemas: i/ implemento; ii/ tração; iii/ estrutura; iv/ trem de força; e v/ controle e informação. Máquinas pesadas apresentam relação de multiplicação entre a força aplicada e a força efetivamente exercida. Neste contexto, a expressão “Máquina Pesada” deriva diretamente à sua função de desagregar e deslocar grandes volumes de materiais. Esse termo vem do século XIX, do trabalho do homem no campo, na preparação de terrenos para plantação, construção de estradas e na extração de insumos onde o ser humano precisava de grandes forças mecânicas para ganhar produtividade (COSTA, 2014 ).

O mercado de máquinas pesadas comercializadas no Brasil é vasto, no que se referem às marcas, setores e modelos. No Quadro 1 são apresentadas as marcas de alguns fabricantes de máquinas pesadas.

Principais Marcas	Origem
<i>CATERPILLAR</i>	<i>Califórnia - EUA - 1925</i>
<i>JOHN DEERE</i>	<i>Illinois - EUA - 1868</i>
<i>VOLVO</i>	<i>Hisingen - Suécia -1927</i>
<i>CASE</i>	<i>Racine, Wisconsin - EUA - 1842</i>
<i>JCB</i>	<i>Uttoxeter - Reino Unido - 1945</i>
<i>HYUNDAI</i>	<i>Coreia do Sul - 1967</i>
<i>KOMATSU</i>	<i>Ishikawa - Japão - 1921</i>
<i>NEW HOLLAND</i>	<i>New Holland, Pensilvânia - EUA - 1895.</i>

**Quadro 1 – Marcas Globais**

**Fonte: Adaptação dos autores.**



A Figura 1 ilustra os diferentes setores de aplicação de máquinas pesadas, considerando sua relevância para a produtividade dos mesmos.

Setores	Descrição das Atividades
Agregados	Equipamentos especializados para o mercado de agregados, que se caracteriza pela fabricação de cimento, areia, cascalho, rocha britada, granitos, reciclados, cal e calcários.
Agrícola	Atua no suprimento de produtos e serviços aos produtores rurais, com destaque às indústrias sucroalcooleiras e de grãos (soja, milho, arroz e algodão), cujas atividades de mecanização incluem enleiramento, infraestrutura em pistas internas, açudes, barragens, limpeza de terrenos, instalação de digestores de dejetos animal, irrigação e drenagem.
Construção Leve	O mercado de construção leve caracteriza-se pelo fornecimento de equipamentos de pequeno e médio porte. O segmento de agregados compreende as pequenas mineradoras responsáveis pela extração e processamento de minérios como calcário para cimento e rochas ornamentais.
Construção Pesada	Atua nos segmentos de construção pesada, esse mercado caracteriza-se por empresas que realizam obras de infraestrutura, rodoviárias, grandes obras de terraplanagem, grandes pavimentações, aeroportuárias e ferroviárias.
Florestais	É a atividade de mecanização por meio de máquinas destinada às operações de corte florestal incluindo, portanto, aquelas relacionadas aos processos de derrubada, desgalhamento, destocamento e traçamento da madeira.
Industrial	Este mercado é definido pela atuação em vários segmentos industriais, com foco na movimentação de matérias-primas e produtos semi acabados ou finais de tubo. Entre as principais atividades estão siderúrgicas, indústrias químicas, fertilizantes, cerâmicas e de vidros, refinarias (manutenção industrial), metalúrgicas e depósitos de materiais metálicos.
Mineração	Atividade de extração de minérios com equipamentos especializados em movimentação e escavação de rochas, extremamente robustos para escoamento externo e subterrâneo.
Pavimentação	São equipamentos para aplicações na construção e manutenção de estradas e rodovias, oferecem a capacidade de construir estradas de acesso e de transporte.

Figura 1 – Descrição dos setores

Fonte: Adaptação dos autores.

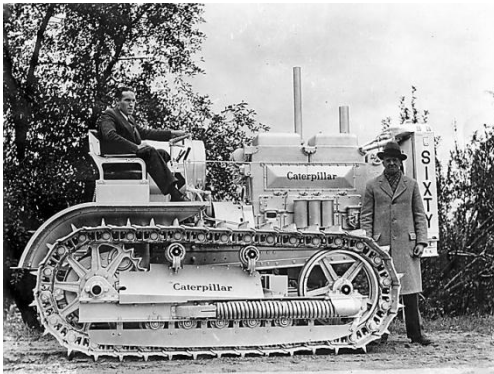
Na Figura 2 são apresentados os principais tipos de equipamentos, conforme os setores examinados na Figura 1. Tecnologia e robustez são elementos valorizados pelos clientes do setor e associados a questões de produtividade e

desempenho. Uma forma de visualizar as principais características das máquinas pesadas é através do *Operating Weight* (peso operacional) onde: força de escavação, capacidade de elevação do sistema hidráulico, força de tração e força de desagregação são características operacionais.



**Figura 2 – Aplicações típicas nos setores**  
**Fonte: Adaptação dos autores.**

Pode se dizer que o projeto dos equipamentos de base (i.e. conforme manufaturados pelos fabricantes originais) encontra-se consolidado. As modificações que ocorrem são, normalmente, incrementais. Há a agregação de sistemas de controle e eletrônica embarcada. Entretanto, o princípio funcional raramente é alterado (ver Figura 3).



a/ Trator de esteira dos anos 1930.



b/ Trator de esteira dos anos 2000.

**Figura 3 – Princípio funcional dos tratores de esteira em diferentes épocas.****Fonte: Caterpillar (2016).**

No entanto, em muitos casos, ocorre que o equipamento, conforme disponibilizado pelo fabricante original (i.e. *Original Equipment Manufacturer - OEM*) não atende a determinados requisitos do cliente. E, por serem demandas muito específicas ou pontuais, os OEM não tem interesse em aceitar estas encomendas, haja vista as alterações nas rotinas de projeto e produção já em curso (ver Figura 4).



a/ Equipamento original.



b/ Equipamento customizado.

**Figura 4 – Exemplo de equipamento OEM com customização.****Fonte: Caterpillar (2016).**

Desta forma, surge um nicho de mercado que é o de se proceder a customizações de equipamentos, a partir de configurações originais, disponibilizadas pelos OEMs. É neste contexto que o presente trabalho se insere.

## 2.2 EMPRESA DE REFERÊNCIA

Um trabalho de campo foi conduzido em empresa instalada na Região Metropolitana de Curitiba. Há 69 anos no mercado, esta revende máquinas pesadas para os segmentos de construção, pavimentação, mineração, agregados e equipamentos florestais. Esta corporação também possui um setor de customização, com estreita conexão com o setor de reprojeto. Este é um diferencial em relação às demais empresas que atuam no segmento.

No levantamento de campo, observou-se que o Setor de Reprojeto, hoje, atua sem padrão operacional. Não existem diretrizes e rotinas pré-estabelecidas para as atividades, norteando o fluxo de encaminhamento da customização. São visíveis as implicações negativas que a falta de padrão pode desencadear, visto que, o número de variáveis é amplo, e vai desde a negociação com o cliente até o arquivamento da documentação gerada, passando por gestão dos insumos, mão de obra, logística, entre outros. Isto ocorre com cada pedido formalizado, pois cada cliente adquiriu um equipamento diferente e estabeleceu necessidades distintas (i.e. em termos de potência, volume movimentado, produtividade).

Com isso, amplia-se o portfólio de produtos adaptados (a partir da customização) e implica na demanda de uma quantidade considerável de documentos, procedimentos e processos, uma vez que, cada reprojeto é uma experiência nova para a equipe.

A empresa estudada é reconhecida no mercado por fornecer soluções robustas e confiáveis. Todavia, foi observado que há uma quantidade considerável de retrabalhos e atrasos, que poderiam ser eliminados pela adoção de procedimentos mais sistematizados, conforme os encontrados na literatura, associados às boas práticas da empresa que já oferecem resultados adequados. A Figura 5 apresenta a estrutura corporativa representativa da empresa examinada.

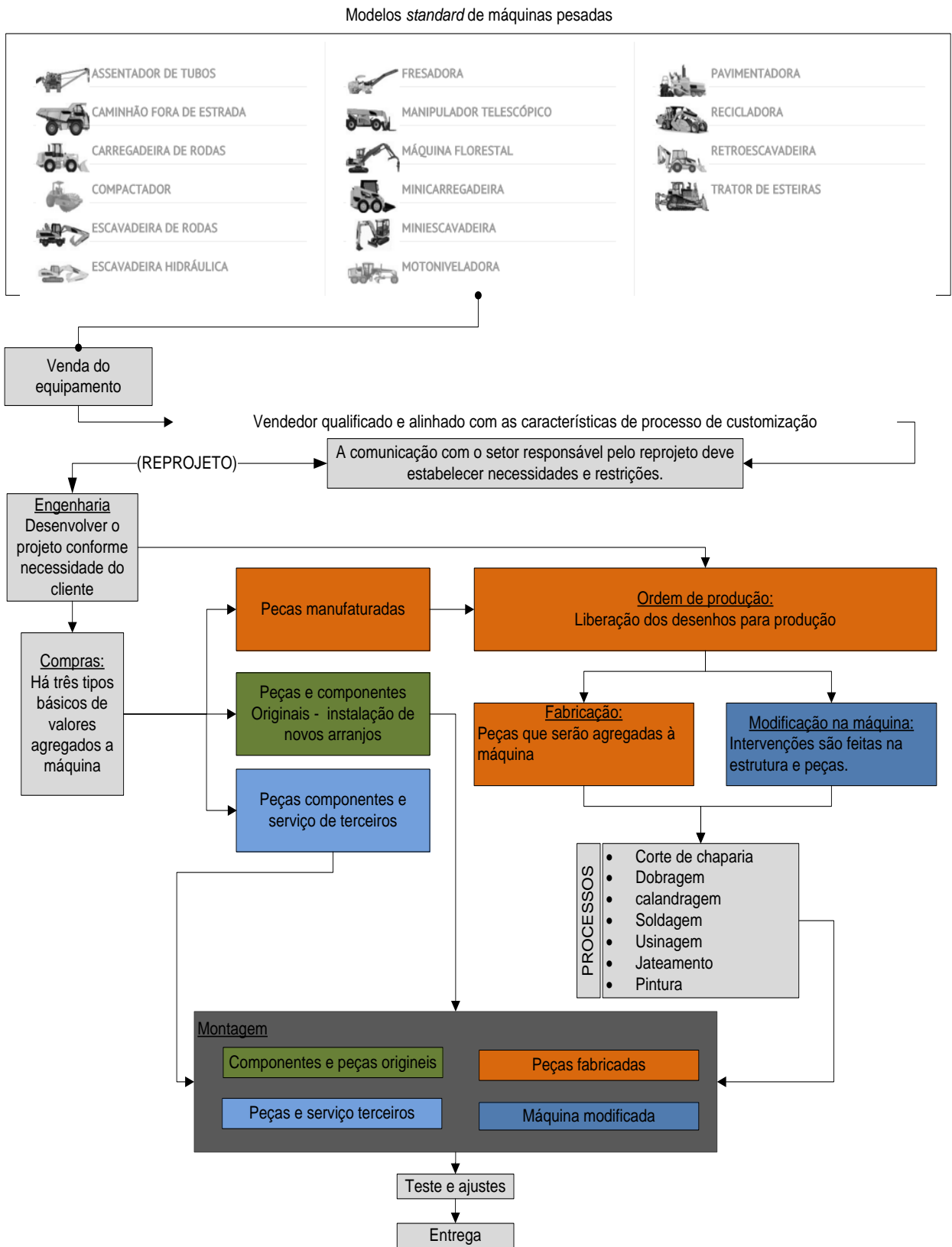
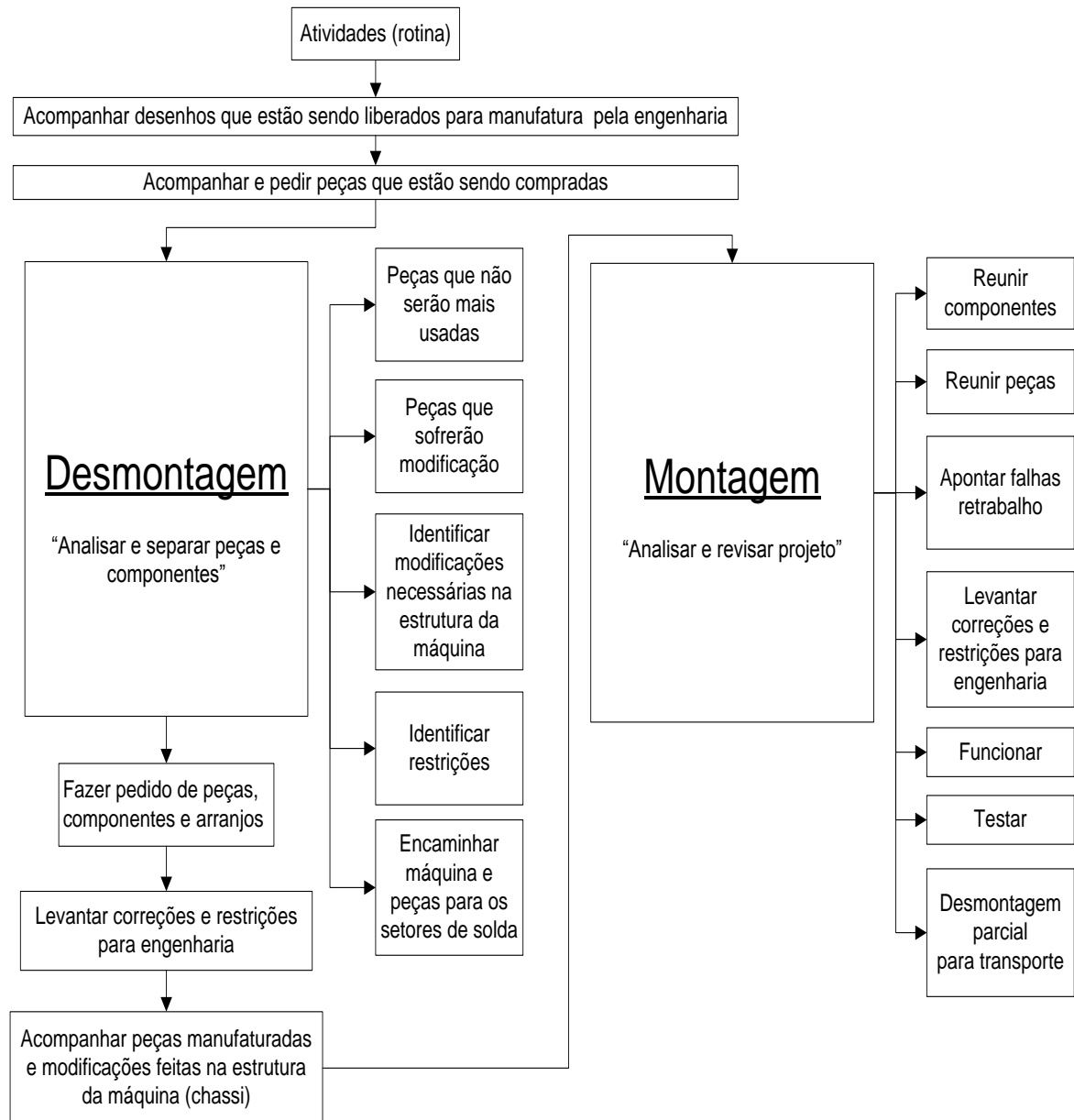


Figura 5 – Mapeamento do processo de reprojeto para máquinas pesadas.  
Fonte: Elaborada pelos autores.

Aprofundando o exame das atividades da empresa estudada foi possível definir um enquadramento das principais rotinas para a customização, envolvendo aquelas vinculadas ao reprojeto, conforme apresentado na Figura 6.



**Figura 6 – Mapeamento das rotinas para a customização a partir de reprojeto.**  
**Fonte: Elaborada pelos autores.**

Este fluxograma de atividades pode ser configurado conforme as necessidades, características e particularidades de cada empresa.

## 2.3 CUSTOMIZAÇÃO

Customização deriva da palavra *custom* que significa: sob encomenda (OXFORD DICTIONARIES, 2011). Ou seja, é um produto exclusivo para um determinado cliente e a produção destes bens é sob demanda (*on demand*).

Ulrich e Eppinger (2011) definem que produtos customizados são aqueles que possuem variações em relação à configuração padrão que é comercializada e são desenvolvidos a partir de uma demanda específica de um cliente.

Por outro lado, produtos customizados são produtos diferenciados e que aumentam a variedade da oferta (SIEVÄNEN, 2002). Buscam atender necessidades específicas dos clientes que solicitam determinados requisitos (i.e. *features*) que, muitas vezes, não são interessantes para os demais clientes (SPRING e DALRYMPLE, 2000).

Sob o ponto de vista da manufatura, produtos customizados são fabricados a partir de processos e operações *ad-hoc* e produção em lotes (DURAY et al., 2000).

Vidor e Fogliatto (2013) propõem uma abordagem para acoplar o nível de customização à variação de oferta. De acordo com os autores, a customização pode ser: i/ por processo/projeto: ocorre por produto e é elevada; ii/ por montagem: acontece com múltiplos produtos e é média-alta; iii/ *postponement*: envolve poucos produtos e é baixa-média; e iv/ por adaptação e cosmética: engloba *commodities* e é baixa.

Chiarelo (2008) enfatiza que a customização é um fator que agrega valor a um produto, mantendo e melhorando sua função, através da inserção ou alteração de componentes e acessórios. Pode originar um produto único, sob encomenda ou demanda de mercado.

## 2.4 REPROJETO

Um reprojeto em um equipamento desenvolvido por marcas globais deve ser algo conduzido com muito critério, pois os OEMs são detentores de vasta experiência e soluções de engenharia que, geralmente, configuram o estado da arte no segmento. Além disto, são consequência de muita pesquisa oriundas de

diferentes áreas do conhecimento (e.g. mecânica estrutural, materiais, mecânica dos fluídos, entre outras).

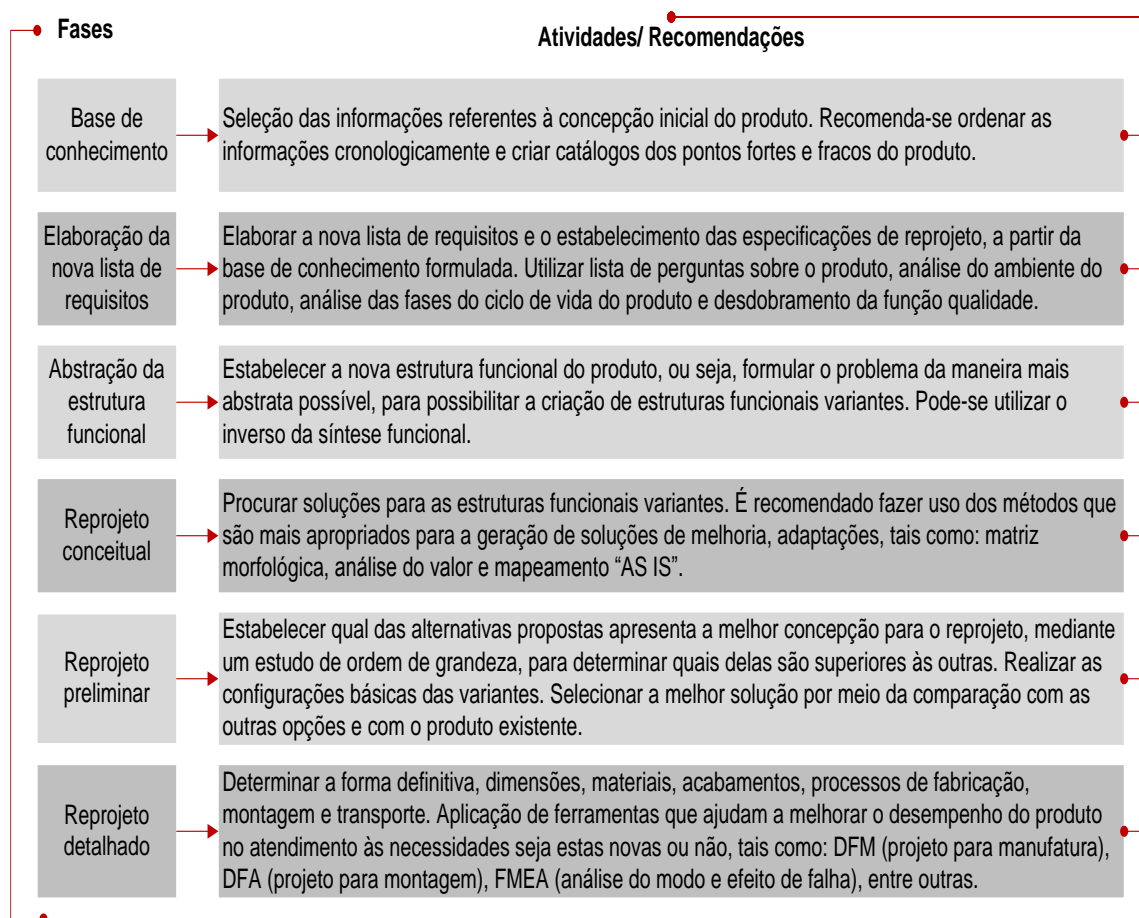
Segundo Rozenfeld et al. (2006, p. 510), pode-se adotar um modelo genérico como guia de diretrizes para ETO (*Engineering to order*), projetado sob encomenda, e torná-lo específico conforme necessidades. Portanto, é possível modelar um conjunto de procedimentos que possa nortear as equipes de desenvolvimento de produtos que estejam buscando a customização de equipamentos pesados, onde há a necessidade do cliente em ter um produto dedicado a sua operação industrial para as mais variadas aplicações.

Vale notar a contribuição de Bitencourt (2001, p. 51) quando diz que: "O reprojeto possui, em linhas gerais, a mesma estrutura do processo de projeto de produtos novos. A principal diferença entre eles é que no reprojeto pré-existe um produto". Este aspecto é fundamental para o entendimento da estrutura que um processo de customização pode apresentar. Lembrando que, simplificada, as fases para um projeto novo são projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado (ROZENFELD et al., 2006; BACK et al., 2008).

Assim, em linhas gerais, o reprojeto de produtos consiste no processo de melhoramento de um produto já desenvolvido. Essa atividade tem uma natureza complexa, pois abrange diversas ferramentas, desde o levantamento das informações do produto existente, identificação de oportunidades de melhorias, até a proposição de mudanças que podem compreender os aspectos funcionais, os princípios de solução, até a configuração e detalhes do produto alvo (BITENCOURT, 2001).

Dufour (1996) define o processo de reprojeto de um produto industrial como "a criação de melhorias em um sistema físico destinado a atender às necessidades do cliente, qualquer que seja ele". Este autor propõe uma sistematização que consiste numa sequência de fases, desde o levantamento das informações sobre o produto existente até a configuração final do produto modificado, como evidenciado na Figura 7. Em cada fase são prescritas atividades e recomendações para orientar e auxiliar o projetista.





**Figura 7 – Metodologia de reprojeto de produto.**

**Fonte:** Adaptado de Dufour (1997 p. 31-37).

Bitencourt (2001, p. 71) destaca que, “A fase informacional tem importância fundamental para uma boa execução do processo de reprojeto, pois os resultados desta fase (especificações e o nível de reprojeto) são as bases que orientarão a equipe de reprojeto nas suas atividades”. O cuidado na condução desta fase permite reduzir a ocorrência de erros no curso do reprojeto.

Otto e Wood (2000) sugerem que um reprojeto pode conter três fases:

- a. **Engenharia reversa:** esta fase é composta por etapas que consistem em tratar o produto como uma “caixa-preta”, fazer experimento com os parâmetros de operação, estudar a necessidade dos clientes, prever e fazer hipóteses sobre a funcionalidade do produto, verificar os componentes do produto e seus princípios físicos, realizar experimentos

com a funcionalidade e forma do produto atual, incluindo uma desmontagem e uma análise do projeto para manufatura, análise funcional completa e geração das especificações de projeto;

- b. **Análise e modelagem:** consiste no desenvolvimento e na execução de modelos, emprego de estratégias de análise, calibração de modelos e experimentos. Nesta fase há o emprego da delimitação do escopo do trabalho, com o objetivo de identificar oportunidades de melhorias.
- c. **Reprojeto:** nesta fase, os autores prescrevem a possibilidade de três níveis de reprojeto: i/ paramétrico: onde se busca otimizar os parâmetros de projeto, realizar análise de sensibilidade e de projeto de tolerância, finalizando com a construção e testes dos protótipo; ii/ adaptativo: aqui, reconectam-se novos subsistemas. Pesquisam-se novos efeitos, princípios e tendências, com a expansão da matriz morfológica. Também, são construídos e testados os protótipos; e iii/ original: neste caso, uma nova estrutura funcional é desenvolvida. Novas alternativas e conceitos são gerados. Protótipos e testes validam os princípios de solução. A escolha do nível adequado depende dos resultados obtidos nas fases anteriores.

Analisando essas e outras referências, verifica-se que as metodologias de reprojeto apresentam uma maior preocupação com o levantamento das informações do produto existente, a ser customizado (como é o caso da Engenharia Reversa). Para tanto, um mapeamento do produto “como ele é hoje” (i.e. “as is”) auxilia, por meio de tabelas, fluxos ou diagramas, no levantamento e documentação da situação atual do produto. Ainda, os problemas e fragilidades podem ser identificados, bem como as oportunidades de melhoria do produto.

## 2.5 CARACTERIZAÇÃO DA OPORTUNIDADE DE PESQUISA

Constata-se que o segmento de equipamentos pesados é importante para diversos setores da economia nacional. Fabricantes originais de equipamentos, muitas vezes, não têm interesse por demandas específicas de clientes. Assim, surgem oportunidades de customizações em equipamentos adquiridos no mercado.

Na prática, pelas especificidades do setor, se observa que o processo de reprojeto empregado pelas empresas, visando a customização, é muito dependente da experiência dos envolvidos, apresentando reduzida rastreabilidade e elevados índices de retrabalho.

Desta forma, surge a oportunidade de se examinar a viabilidade de se inserir fases e procedimentos recomendados nas referências que abordam o processo de desenvolvimento de produtos, no contexto de examinado.

A abordagem adotada envolve a proposta de um conjunto de procedimentos interconectados com os diversos segmentos envolvidos (e.g. equipe de projeto, compras, fabricação) na atividade de reprojeto com foco na customização de equipamentos pesados. Este enfoque vem da experiência prática de um dos autores, diante dos processos de reprojeto, do mapeado e documentado existente na empresa de referência.

## 3 PROPOSTA DE CONJUNTO DE PROCEDIMENTOS PARA REPROJETO COM FOCO NA CUSTOMIZAÇÃO

### 3.1 CONTEXTO E CONSIDERAÇÕES

A proposta de conjunto de procedimentos aqui apresentada é derivada de uma associação de recomendações encontradas na literatura acopladas a práticas aplicadas no segmento de máquinas pesadas que se traduzem em resultados positivos no âmbito da customização.

Do modelo de referência proposto por Rozenfeld et al. (2006) são emprestados os conceitos de: fase, atividade e tarefa. Definições semelhantes também são encontradas em Back et al. (2008). Considerando o escopo de gerenciamento de projetos, observa-se seu uso no desdobramento da estrutura de trabalho (i.e. *Work Breakdown Structure*) (COLENSO, 2000).

No âmbito da customização esta será enquadrada, conforme Vidor e Fogiatto (2013), como sendo customização de projeto, haja vista envolver sempre um produto específico com elevado índice de personalização para as demandas do cliente.

Para o caso do reprojeto, considera-se que este será adaptativo (OTTO e WOOD, 2000). Atenção especial será voltada para o reprojeto informacional, conforme Bitencourt (2001), haja vista terem sido detectadas vulnerabilidades nesta fase quando do levantamento de campo.

Por fim, dos modelos de desenvolvimento de produtos tidos como clássicos, Pahl et al.(2005) sugerem que, trabalhando de uma forma discursiva, deve-se procurar executar um procedimento conhecido que construa a solução de um problema por etapas, de forma estruturada e com enfoque na busca de rotinas. Desta forma, são estas rotinas que devem ser formalizadas para o contexto de reprojeto de máquinas pesadas.

Para enriquecer o escopo das fases/atividades/tarefas que compõem o conjunto de procedimentos que se deseja formular, são mapeadas melhores práticas empregadas na empresa de referência (conforme recomenda Thiollent (1996)), de modo que não conflitem com as recomendações oriundas da literatura.

A abordagem desenvolvida será descrita em detalhes nas seções seguintes.

### 3.2 PRESSUPOSTOS

Primeiramente, um conjunto de pressupostos (ver Quadro 2) devem ser considerados *a priori* da realização de um reprojeto com vistas a customização. Estes pressupostos foram compilados a partir de observações de campo e análise documental junto à empresa de referência, considerando os reprojeto que originaram customizações. Estes pressupostos devem ser constantemente monitorados, pois constata-se que são propagadores de restrições durante as atividades de implementação da customização.

TÓPICO	DESCRIÇÃO
Venda qualificada	É pertinente ter vendedores qualificados para este tipo de equipamento customizado. São requeridos conhecimentos quanto à complexidade do reprojeto e engenharia, além de estabelecer prazos razoáveis, dependendo das possibilidades da equipe de desenvolvimento.
Disponibilidade	Somente iniciar o reprojeto quando o equipamento original estiver disponível para avaliações e medições geométricas.
Cronograma	O cronograma deve considerar e variar segundo a complexidade da intervenção no equipamento que será customizado, determinando assim prazos.
Padronização interna	Criar padrões internos de fabricação em relação às peças manufaturadas a partir da infraestrutura existente
Estrutura fabril	É necessário visualizar restrições quanto à estrutura fabril, pois os equipamentos customizados podem ser de grande porte. A operacionalização em relação a montagens e desmontagens deve ser planejada de forma adequada.
Manufatura	É indispensável determinar os limites das possibilidades do que será fabricado ou o que será terceirizado.

**Quadro 2 – Pressupostos para considerar um reprojeto.**

**Fonte:** Elaborada pelos autores.

Outros tópicos podem ser acrescidos à relação apresentada. Também, dependendo da estrutura da empresa ou características do reprojeto, algum tópico pode ser desconsiderado. Porém, os aqui listados são bastante representativos para o segmento de equipamentos pesados.

O objetivo da equipe de reprojeto em fazer uma varredura nos pressupostos listados é o de se antecipar frente a possíveis dificuldades/limitações que podem ser detectadas para efetivar a customização do equipamento. Estas informações e observações servirão de entrada para operacionalização do conjunto de procedimentos.

### 3.3 CONJUNTO DE PROCEDIMENTOS PARA ORIENTAR AS ATIVIDADES DE REPROJETO COM FOCO NA CUSTOMIZAÇÃO

O conjunto de procedimentos proposto pode ser visualizado na Figura 8.

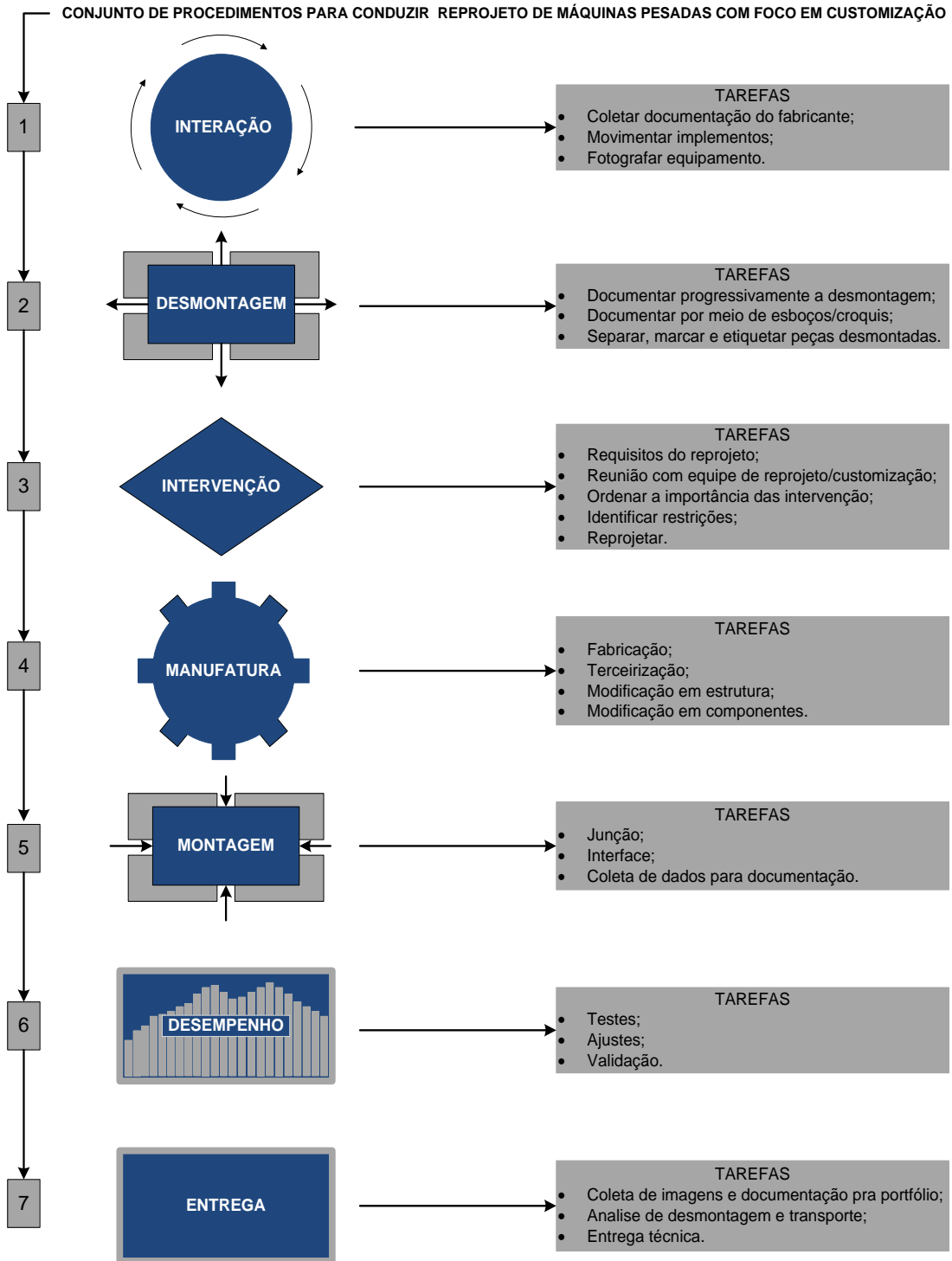


Figura 8 – Conjunto de procedimentos.  
Fonte: Elaborada pelos autores.

Assim, o processo de customização é composto de sete **atividades**. Para cada atividade, há um grupo de **tarefas** associadas. Estas tarefas mesclam recomendações da literatura e práticas identificadas na indústria de referência.

Para um completo entendimento de cada atividade e suas tarefas associadas, as seções a seguir, contém um detalhamento descritivo das mesmas.

### 3.3.1 Interação

No contexto da presente proposta, esta atividade pode ser enquadrada na categoria de reprojeto informacional, conforme o proposto por Dufour (1997) e Bitencourt (2001). Neste caso, considerando a existência do produto conforme o fabricante original, deve ser levantada e catalogada a maior quantidade possível de informações e detalhes do produto. Também, recomenda-se que o produto seja examinado sob diferentes ângulos (visão de 360° em torno da máquina), para que o equipamento a ser customizado seja reconhecido e explorado. Na etapa de Interação, tem-se as tarefas de:

- a. **Coletar documentação do fabricante:** se possível, coletar toda documentação disponível sobre o produto (e.g. manuais, catálogos, cartas de serviço, desenhos de engenharia, esquemas hidráulicos, esquemas elétricos e informativos do fabricante). Como diretriz, sugere-se anexar os materiais a uma pasta física, rastreável a partir do número de série do equipamento, assim como uma pasta para arquivos eletrônicos com a mesma denominação;
- b. **Movimentar implementos:** é interessante que a equipe envolvida no reprojeto movimente o equipamento, percebendo: i/ geometrias de operação da máquina; ii/ alcances máximos e mínimos dos implementos; iii/ limites de curso; iv/ interferências; e v/ restrições de movimento;
- c. **Fotografar equipamento:** uma **boa prática** para o reprojeto e customização do equipamento é fotografá-lo, registrando: i/ estrutura; ii/ peças específicas; iii/ componentes comerciais; iv/ acabamentos; entre outros. Ou seja, capturar uma visão geral do equipamento montado, sem alterações ou remoções de componentes/subconjuntos. Recomenda-se o

emprego do formato de imagem Jpeg (i.e. extensão de arquivo. jpg), de alta qualidade para permitir ampliações, caso necessário. Sugere-se criar uma pasta para arquivos eletrônicos, nominando-a da seguinte forma: i/ dia/mês/ano- ii/ número completo de série do equipamento.

Encerrada a etapa de interação, podem ser desencadeadas as atividades subsequentes.

### 3.3.2 Desmontagem

Esta atividade é um complemento às ações decorrentes do reprojeto informacional, de acordo com o que sugere Dufour (1997). Também, é possível estabelecer um paralelo com a fase I-Engenharia Reversa (de onde se empresta a ideia de: “verificar os componentes do produto e seus princípios físicos”), conforme Otto e Wood (2000). Objetiva identificar detalhes estruturais, construtivos e de funcionamento do equipamento, objeto de customização.

- a. **Documentar progressivamente a desmontagem:** uma possibilidade é fotografar a sequência de desmontagem do equipamento. Recomenda-se: i/ registrar a maior quantidade de detalhes possível; ii/ nominar as fases da desmontagem; iii/ indexar à foto/documento, o número original da peça. Esta tarefa tende a ser trabalhosa e requer sistemática. Dependendo do tipo de customização desejada, em alguns casos, a máquina deve ser totalmente desmontada. Em outros, a desmontagem é parcial. Todavia, um trabalho metuculoso neste momento, facilita consultas futuras e assegura a rastreabilidade do reprojeto;
- b. **Documentar por meio de esboços/croquis:** para esta tarefa, devem ser realizados: i/ esboços; ii/ esquemas; iii/ anotações de detalhe do produto; e iv/ marcações referentes às ligações elétricas/hidráulicas. Com isto, evita-se desperdício de tempo por ocasião da remontagem dos sistemas e componentes;
- c. **Separar, marcar e etiquetar peças desmontadas:** esta tarefa, apesar de simples, organiza e operacionaliza a etapa desmontagem. Também, influencia diretamente na etapa de remontagem do equipamento. Atenção



especial deve ser dada para componentes: i/ que sofrerão alteração; ii/ as que não sofrerão alteração; iii/ identificar no componente o local da alteração; e iv/ etiquetá-los com o número de série, dia e mês. Quanto mais estruturado e organizado for o resultado da desmontagem, mais rápida será a remontagem, haja vista as complexidades inerentes a um equipamento pesado.

Finalizada esta atividade, a equipe de reprojeto pode planejar a sequência de ações para implementar as modificações necessárias à customização.

### 3.3.3 Intervenção

Aqui se encontra um ponto crucial para o reprojeto de máquinas pesadas. De acordo com Dufour (1997), esta atividade envolve o reprojeto conceitual. Para este conjunto de procedimentos são consideradas as recomendações propostas por Pahl et al. (2005), na etapa de projeto conceitual (e.g. examinar os requisitos e restrições derivadas das demandas dos clientes; considerar o sistema/componente como uma “caixa-preta”).

A atividade de Intervenção, requer a tomada de decisões conjuntas entre a equipe de reprojeto e os colaboradores que executarão as alterações. É preciso antecipar eventuais restrições que uma solução de reprojeto apresenta. Isto porque, uma vez que customizar um produto fabricado por outra empresa, requer uma série de precauções no que se diz respeito ao “o que se pode mudar”, sem afetar estruturas e funcionamento já definidos pelo fabricante original.

- a. **Requisitos do reprojeto:** os requisitos da customização devem ser declarados e formalizados. Todos os *stakeholders* devem estar de acordo com o documento final (PAHL et al., 2005). As equipes de venda e engenharia devem confirmar junto ao cliente a relação de requisitos, que deve conter: i/ os requisitos derivados das necessidades do cliente comprador/usuário/pagador (i.e. especificações do produto, conforme Pahl et al. (2005); ii/ quais as particularidades da aplicação customizada do equipamento envolvido. Com base neste documento, a equipe de

engenharia faz uma avaliação preliminar sobre a viabilidade de implementar a customização desejada;

- b. **Reunião com a equipe de reprojeto/customização:** esta tarefa objetiva formalizar a preparação para as intervenções que serão realizadas. Devem participar: vendedores, engenheiros, projetistas, mecânicos, ajustadores, soldadores, gerentes e líderes de setor. Ou seja, um encontro com pessoas de formação e atuação multidisciplinar, conforme recomendam Rozenfeld et al. (2006);
- c. **Ordenar a importância das intervenções:** esta determinação do grau de importância de cada intervenção, permite estabelecer a ordem de prioridade das ações. Determina os critérios para definição de cronograma, já que caracterização das dificuldades de trabalho no quesito operacional de processos fabris. Decisões entre produzir internamente ou terceirizar são tomadas neste momento;
- d. **Identificar restrições:** estas restrições são compiladas a partir dos documentos originados nas tarefas a/ e b/, desta atividade. Aqui, são destacados os componentes/sistemas que podem ou não ser alterados no equipamento, nos quesitos estruturais e de funcionalidade;
- e. **Reprojetar:** com as especificações estabelecidas, a tarefa de reprojeto é desdobrada. São propostos leiautes que endereçam a customização requerida, com estreita recomendação das Regras Gerais de Projeto e Princípios de Produção Econômica, conforme enunciado por Bralla (1999). Aqui, são empregados recursos computacionais para: i/ modelagem 3D, em sistemas CAD (e geração de respectivos desenhos 2D); ii/ desenvolver simulações estáticas, cinemáticas e dinâmicas. As soluções de melhor potencial são examinadas e avaliadas. Todas as propostas selecionadas são reconciliadas com o conjunto do equipamento, objetivando identificar eventuais conflitos físicos ou funcionais.

Encerrada a definição das intervenções, pode ser dado início à produção da documentação pertinente à manufatura de componentes e aquisição de elementos comerciais.

### 3.3.4 Manufatura

As atividades de manufatura requeridas pelo reprojeto de produtos com foco na customização são particulares e, muitas vezes, com especificidades dedicadas. Por envolver um projeto sob encomenda, manufatura-se uma quantidade considerável de componentes diferentes, haja vista cada cliente apresentar demandas distintas. Assim, há o emprego de equipamentos de caráter universal (e.g. tornos e fresadoras CNC), que asseguram, antes de mais nada, flexibilidade (para tratar com diferentes materiais e geometrias). Fischer et al. (2008) apresentam uma série de recomendações a serem observadas nas tarefas desta atividade.

- a. **Fabricação:** manufaturar componentes novos apenas quando não for possível modificar aqueles que tenham sido retirados do equipamento original. Apenas manufaturar componentes que apresentem a devida documentação (e.g. desenhos técnicos, planejamento de processo), junto à ordem de serviço;
- b. **Terceirização:** como diretriz, deve-se subcontratar a manufatura de componentes ou execução de serviços (e.g. acabamentos especiais) somente para os casos em que a empresa não detenha competência para tal. Esta diretriz está em conformidade com o recomendado por Girardi (2006);
- c. **Modificação em estrutura:** reforçar e repassar junto à equipe operacional, os detalhes e documentos oriundos das tarefas de a/ a d/, da atividade “Intervenção”. O objetivo é deixar claro quais são as principais modificações funcionais do equipamento, já com os atributos da customização;
- d. **Modificação em componentes:** sempre identificar claramente, e de modo documental, as modificações ocorridas nos componentes. Sugere-se seguir a diretriz de: i/ destacar as características originais do componente antes da modificação (e.g. foto do componente, antes da alteração, com seu número original); ii/ documentar separadamente, as alterações implementadas (e.g. foto e desenho de produto acabado e desenho de fabricação).

Com a manufatura e documentação dos componentes e subsistemas, podem ser iniciados os procedimentos de recomposição do equipamento.

### 3.3.5 Montagem

Esta atividade é realizada pela equipe operacional. São montados, primeiramente, os subsistemas e módulos separadamente. Testes e verificações preliminares são conduzidos, conforme recomendam Boothroyd e Dewhurst (1989). Na sequência, o equipamento é remontado completamente, com a junção dos elementos fabricados e modificados. Sugere-se que a equipe que conduziu o reprojeto acompanhe esta atividade. Interferências, colisões e não conformidades devem ser claramente documentadas. Por, na maioria das vezes, não haver um protótipo envolvido, o produto a ser entregue é do tipo “único” (i.e. *one-off*), conforme destacam Rozenfeld et al. (2006). As principais categorias de tarefas recomendadas são:

- a. **Junção:** envolve o trabalho com componentes individuais. Assim, sugere-se: i/ agrupar os desenhos de fabricação e montagem, por subconjuntos; ii/ separar e agrupar os componentes relacionados a cada subconjunto; iii/ montar os subconjuntos progressivamente, a partir do componente de maior inércia/volume; iv/ respeitar a sequência de componentes predecessores na montagem;
- b. **Interface:** a partir dos subconjuntos montados, devem ser implementadas: i/ pré-montagens de maior complexidade; ii/ a partir de desenhos de montagem, conferir nas pré-montagens, as dimensões de referência (e.g. largura do sistema, alcances), antes de prosseguir. Se alguma não conformidade for caracterizada, interromper a pré-montagem imediatamente; iii/ movimentar os implementos do equipamento buscando identificar possíveis colisões e interferências. Prosseguir até a montagem final do equipamento;
- c. **Coleta de dados para documentação:** observar e documentar detalhes característicos, derivados da customização (e.g. movimentação diferente de uma mangueira hidráulica; ruídos inesperados). Recomenda-se uma varredura criteriosa na montagem final. Ajustes de campo (e.g. folgas; torques) devem ser registrados detalhadamente.

Concluída esta atividade, o equipamento está pronto para que sejam conduzidos os testes funcionais e de desempenho.

### 3.3.6 Desempenho

O equipamento customizado deverá apresentar desempenho em sua funcionalidade, similar à configuração original, a despeito das modificações inseridas e novas aplicações configuradas. O conjunto montado deve implementar funções e apresentar performance, conforme contido no documento de especificações de produto, declarado na tarefa a/ da atividade “Intervenção”.

- a. **Testes:** com o equipamento montado, devem ser conduzidas rotinas de testes planejados, conforme orientam Blanchard e Fabricky (2006). Os testes devem ser preliminares (estáticos e dinâmicos) e de campo (i.e. em condições de uso, com simulação de carga plena). Cada teste sistematizado deve ser documentado, com destaque para valores atípicos. Recomenda-se atenção específica para: i/ temperaturas do sistema hidráulico; ii/ eficiência do sistema de arrefecimento; iii/ pressões do sistema hidráulico; iv/ capacidade de elevação do sistema hidráulico; v/ consumo; vi/ alcance máximo e mínimo de implementos; vii/ movimento dos articulados; viii/ acesso a pontos de lubrificação; entre outros. Os valores coletados nas rotinas de testes devem ser comparados com os parâmetros originais de fábrica. Valores discrepantes devem ser cuidadosamente examinados antes da validação final do conjunto;
- b. **Ajustes:** realizar os ajustes considerando as condições de trabalho a que este equipamento será submetido. Com frequência, os valores de trabalho do equipamento customizado diferem das especificações originais, fato este que requer atenção especial das equipes de reprojeto e operacional;
- c. **Validação:** logo após os testes e os ajustes, formalizar a validação do equipamento com um relatório contendo as principais características da customização, os valores de desempenho do conjunto e assinatura dos profissionais envolvidos no reprojeto, montagem e testes do equipamento customizado. Este documento poderá ser consultado em outras ocasiões (e.g. considerações de manutenção; aspectos de garantia; entre outros).

Com o equipamento validado, abre-se uma chamada para proceder a entrega do mesmo.

### 3.3.7 Entrega

Um aspecto que deve ser considerado é que, por se tratar de um equipamento pesado, frequentemente, este deverá ser transportado até o seu local de trabalho (e.g. uma mina de ferro; uma fábrica de celulose), desmontado. Aliado a este fato, deve-se observar que, muito provavelmente, o equipamento customizado poderá ser único da série. Logo, cuidado especial deve ser dedicado à revisão da documentação e na coleta de imagens, na atividade de “Entrega”. Seu planejamento deve contemplar desmontagens parciais, meio de transporte a ser empregado e montagem no cliente final.

- a. **Coleta de imagens e documentos para portfólio:** nesta tarefa, antes da desmontagem para transporte, devem ser produzidos registros fotográficos de todo o equipamento (visão de 360°), focando em detalhes que caracterizem a customização. Aqui, recomenda-se utilizar o formato de extensão de arquivo tipo Imagem JPEG (.jpg) com alta resolução. Os registros fotográficos devem ser inseridos em folder eletrônico, com o nome do cliente, dia mês e ano e o número completo de série do equipamento. Neste folder, incluir desenhos e modelos em CAD, que demonstrem os diferenciais do equipamento customizado. Também, incluir os relatórios de testes e validação do conjunto;
- b. **Análise de desmontagem e transporte:** conforme observado no levantamento de campo, equipes operacionais recomendam: i/ desmontar o mínimo possível (i.e. se não for possível entregar o equipamento montado para o cliente); ii/ realizar desmontagens parciais, em subconjuntos definidos (e.g. lança de movimentação da caçamba; garra porta-tronco); iii/ observar, quando possível (i.e. sem prejuízo à performance), a possibilidade de integrar ao conjunto, o engates rápidos para mangueiras hidráulicas e chicotes elétricos. iv/ as embalagens e estruturas para transporte devem garantir a integridade do produto. Caso não seja possível desenvolver ou produzir as embalagens internamente à empresa, recomenda-se a terceirização;

- c. **Entrega técnica:** a equipe que fará a entrega do equipamento junto ao cliente deve acompanhar as desmontagens parciais e verificar informações contidas nos documentos descritos na tarefa a/. Recomenda-se que se considere: i/ provisão para componentes avulsos (e.g. parafusos; mangueiras; engates); ii/ consumíveis (e.g. óleo lubrificante; óleo hidráulico); iii/ ferramentas e equipamentos necessários para a entrega técnica; iv/ um exemplar completo do manual do equipamento customizado; entre outros.

### 3.4 CONJUNTO DE PROCEDIMENTOS: CONSIDERAÇÕES

O Conjunto de Procedimentos para orientar as atividades de reprojeto com foco na customização descrito nas seções anteriores, busca aliar as recomendações contidas em importantes referenciais teóricos na área de desenvolvimento de produtos com boas práticas de reprojeto para customização, capturadas na prática.

Observa-se que a sistematização proposta contempla a agregação de conhecimentos advindos da experiência dos envolvidos, acoplando estrutura (por meio de atividades definidas) e disciplina (por meio de tarefas e recomendações).

O Conjunto de Procedimentos pode ser adaptado e/ou modificado para outros contextos que envolvam o reprojeto para customização (e.g. máquinas agrícolas, equipamentos para indústria do petróleo; entre outros)

No Capítulo seguinte, busca-se demonstrar como o Conjunto de Procedimentos pode ser aplicado.

## 4 APLICAÇÃO DESCRITIVA

Esta aplicação busca replicar o desenvolvimento de um reprojeto para a customização, baseado em um caso real.

Envolve uma demanda por escavadeiras hidráulicas que apresentem maior alcance de escavação, quando comparadas ao equipamento original do fabricante. Este tipo de equipamento é empregado em operações especiais de construção pesada, obras de infraestruturas, terraplanagem e extração de areia. Este tipo de escavadeiras, quando customizadas, apresentam um desempenho diferenciado que atende uma necessidade específica do cliente (i.e alcance ampliado). Desta forma, configuram um contexto em que o Conjunto de Procedimentos aqui proposto pode ser empregado.

Devido a questões de sigilo e confidencialidade das informações para com a indústria de referência, as atividades e tarefas percorridas nesta aplicação serão descaracterizadas e adaptadas. O objetivo maior é descrever um grupo de atividades representativas no processo de reprojeto com foco na customização, com base na proposta apresentada.

### 4.1 APLICAÇÕES DO CONJUNTO DE PROCEDIMENTO

#### Pressupostos

O cliente demanda um equipamento que apresente um alcance da lança de escavação maior do que o encontrado nos equipamentos originais do fabricante. Este, por sua vez, não tem como atender esta demanda específica.

Logo, surge a oportunidade para o reprojeto de um equipamento original, visando à customização mencionada.

Os pressupostos elencados no Quadro 2 são atendidos pela empresa de referência. Logo, há possibilidade de suprir esta demanda identificada no mercado.

O cliente comprador adquire o equipamento original e o encaminha à empresa de referência, para que seja dado início ao processo de customização.

Nesta aplicação, serão ilustradas as tarefas mais representativas, sem prejuízo ao entendimento ou resultados a serem demonstrados.



### Atividade 1 – Interação

Com o equipamento a disposição, a equipe que vai conduzir o reprojeto, inicia as atividades. Primeiramente, coleta um conjunto de informações pertinentes à estrutura e funcionalidade da escavadeira hidráulica. São levantados detalhes do produto, reconhecendo e explorando geometrias e acabamento.

- a. **Coletar documentação do fabricante:** geralmente, o fabricante fornece informações detalhadas de seu produto. Neste caso, tem-se disponível um catálogo que traz as especificações geométricas e funcionais da escavadeira hidráulica, com detalhamento suficiente para o escopo do reprojeto (ver Figura 9);

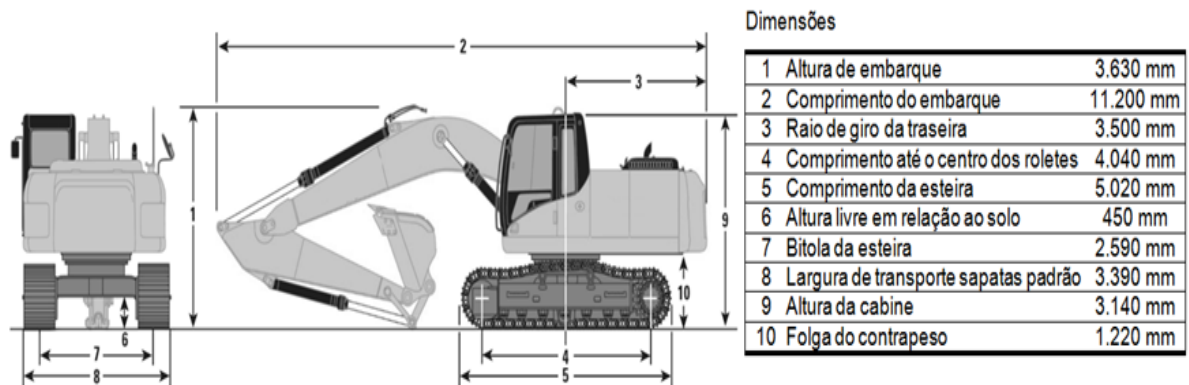


Figura 9 – Dimensões de referência da escavadeira hidráulica original

Fonte: Caterpillar (2008).

- b. **Movimentar implementos:** os catálogos, documentos e especificações de uso geral, estão sujeitos a alterações sem aviso prévio. Os equipamentos exibidos nas imagens são ilustrativos e podem conter dispositivos adicionais ou terem sofrido modificações nas estruturas. Portanto, aconselha-se movimentar os implementos para conferência e confirmação de geometrias, conforme Figura 10;

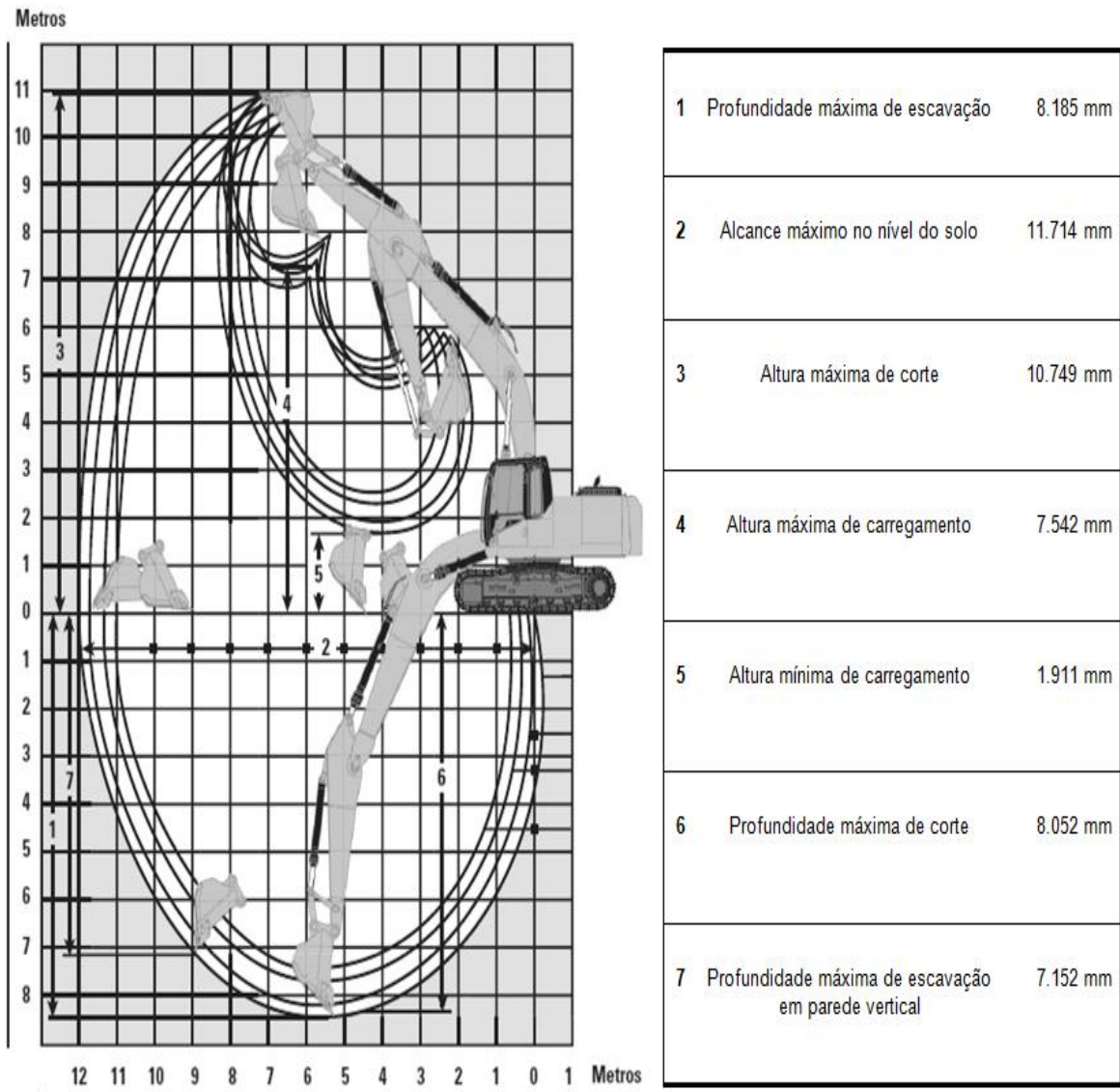


Figura 10 – Faixas de trabalho da escavadeira, conforme fabricante original.

Fonte: Caterpillar (2008).

## Atividade 2 – Desmontagem

A desmontagem, neste caso, demanda uma rotina simplificada, pois são retirados da máquina: i/ caçamba; ii/ articulação da caçamba; iii/ braço; iv/ lança; e v/ contrapeso. Não são realizadas desmontagens no sistema hidráulico e no chassi do equipamento. A Figura 11 apresenta o equipamento original já com os subconjuntos a serem customizados, devidamente removidos.

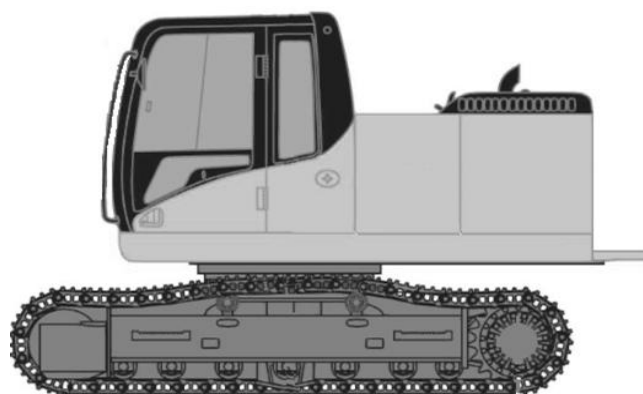


Figura 11 – Escavadeira já sem elementos a customizar.

Fonte: Adaptação dos autores.

- a. **Separar, marcar e etiquetar peças desmontadas:** depois da remoção dos subconjuntos influenciados pela customização, seus componentes devem ser separados, identificados e etiquetados com o número de série da máquina, o dia e mês da desmontagem (e.g. para este caso tem-se o exemplo: 336M -Lança 236-8388- \*CAT0262CPM5T04068\* 10/Out./2011). Da mesma forma, montar outro agrupamento das componentes que não farão parte da customização.

### Atividade 3 – Intervenção

As decisões oriundas desta atividade influenciam o detalhamento das definições técnicas e operacionais para o reprojeto com foco na customização.

- a. **Identificar restrições:** estas definições são de caráter técnico e definidas a partir de exame cuidadoso da equipe de engenharia. O Quadro 3 contém um demonstrativo das principais restrições para o reprojeto em tela;

Restrição	Determinações
Estabilidade da máquina quanto à lança	Comprimento máximo da lança fabricada 10200 mm
Estabilidade da máquina quanto ao braço	Cumprimento máximo do braço fabricado 5000 mm
Centro de gravidade da máquina	Incluir contrapeso adicional de 1260 Kg
Nova capacidade da caçamba	A capacidade da caçamba deve ser de 1,37m <sup>3</sup>

Quadro 3 – Restrições e determinações.

Fonte: Elaborada pelos autores.

- b. **Reprojeto:** com base nas especificações de produto, a equipe de reprojeto concebe, seleciona e dimensiona a combinação de solução com maior potencial de implementar a customização demandada pelo cliente. Empregam-se intensivamente os recursos de CAD, para modelagem e simulações (neste caso, principalmente as simulações cinemáticas, já que o parâmetro “alcance” é fundamental para o sucesso da solução) (ver Figura 12).

#### Atividade 4 - Manufatura

Com o objetivo de fabricar uma lança de maior alcance, um braço de maior comprimento e um contrapeso adicional são propostos, dimensionados e formalizados pela equipe de reprojeto. A solução é examinada com cuidado e

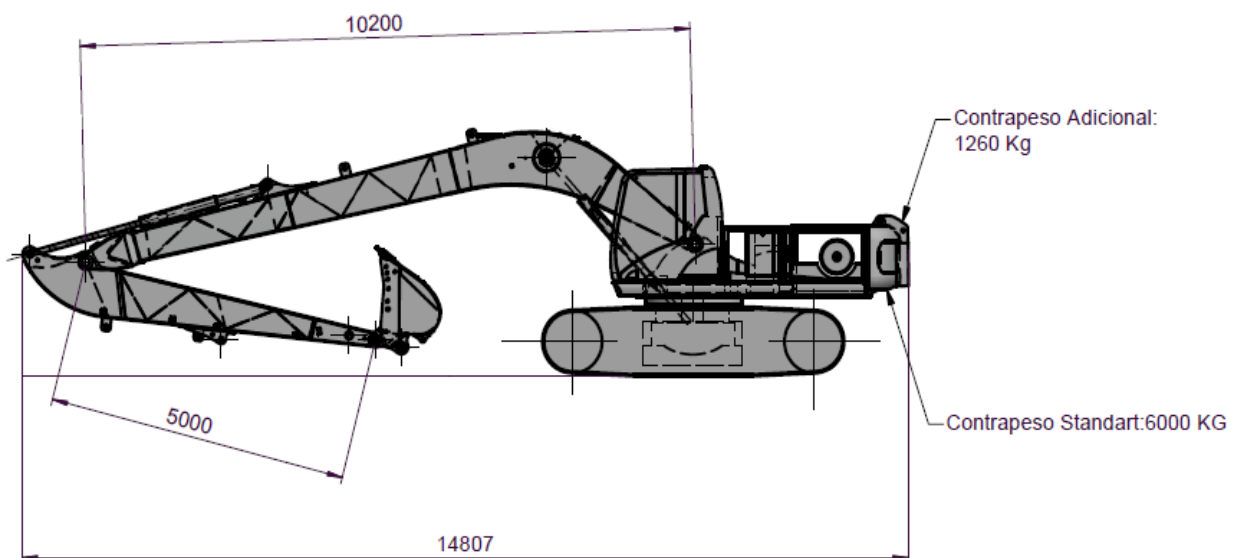


Figura 12 – Modelo 3D do equipamento customizado: dimensões de referência.

Fonte: Elaborada pelos autores.

validada. Os desenhos técnicos de produto acabado (i.e. com tolerâncias dimensionais, rugosidades) são gerados e liberados para a produção.

- a. **Fabricação:** os componentes braço e lança, originais, serão substituídos por elementos reprojeto considerando as interfaces de referência. Neste caso, a manufatura destes dois componentes será integral.

## Atividade 5 – Montagem

Concluída a fabricação dos componentes internos e a aquisição dos itens comerciais, a equipe operacional inicia a etapa de montagem. Neste caso, toda a equipe de desenvolvimento acompanhou o desdobramento das tarefas.

- a. **Interface:** a equipe operacional procede a conferência geométrica dos componentes, visando detectar possíveis interferências. Para este caso em específico, devem ser observados: mancalização da lança no chassi, junção braço e lança, articulação de cilindros e paralelismo dos implementos fabricados, entre outros.

## Etapa 6 – Desempenho

O produto reprojetoado deve implementar a função principal que é a de prover um maior alcance de escavação sem restringir performance de força e articulação dos implementos. Para esta verificação são conduzidas as seguintes tarefas.

- a. **Validação:** logo após os testes e a implementação dos ajustes, ocorre a formalização da validação do equipamento, demonstrando os objetivos alcançados com a customização. Para o contexto, objeto desta aplicação descritiva, a escavadeira hidráulica customizada implementa sua nova função de maior alcance de escavação, conforme demonstrado na Figura 13.

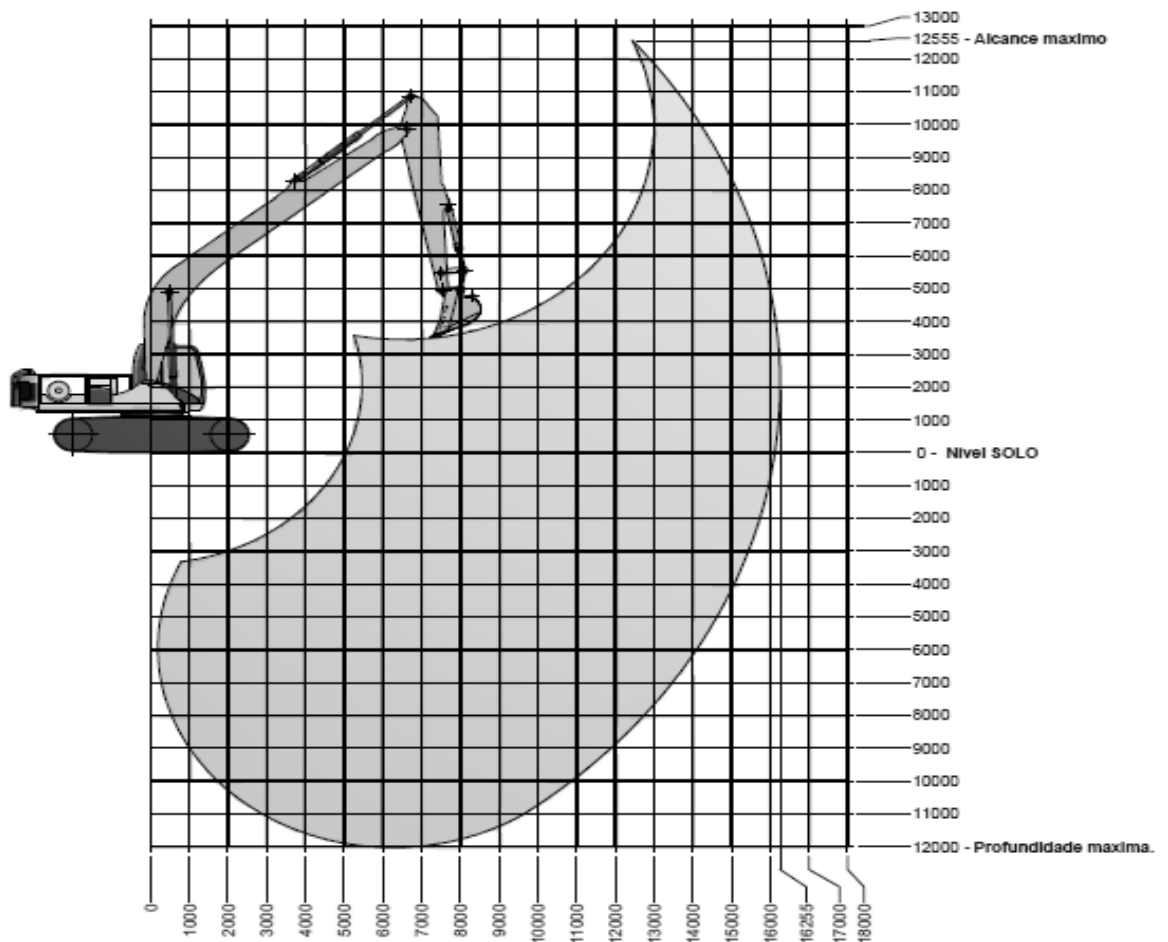


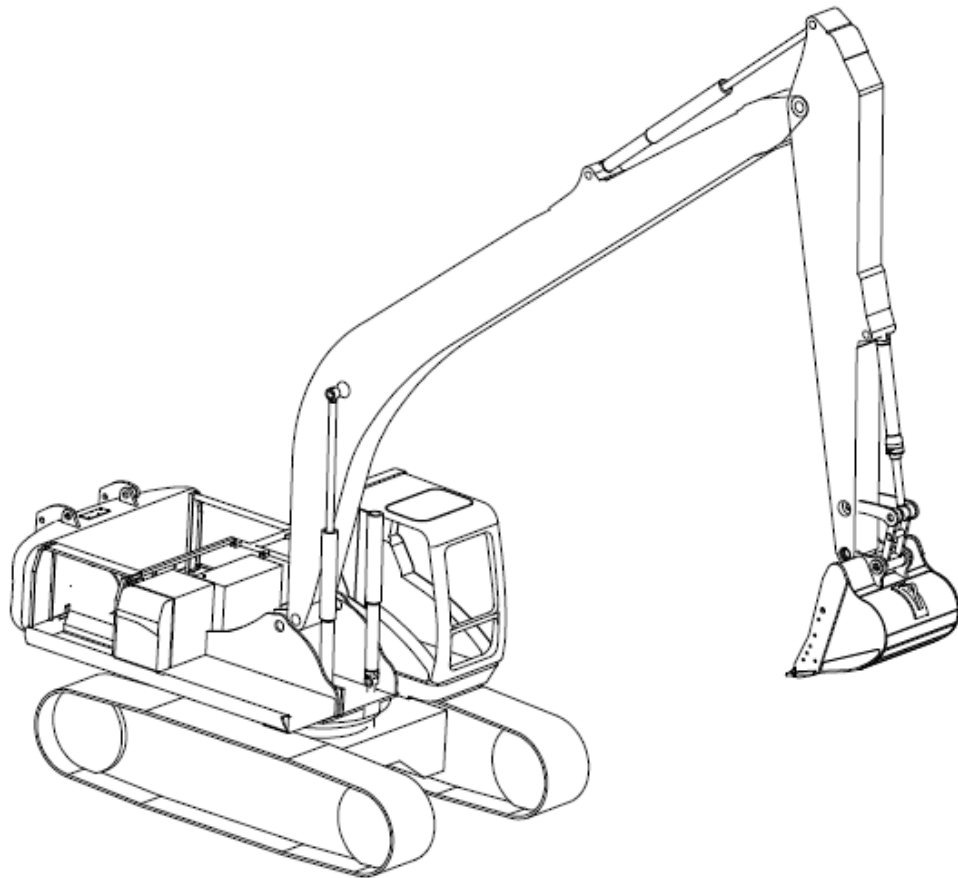
Figura 13 – Alcance de escavação do equipamento customizado.

Fonte: Elaborada pelos autores.

### Etapa 7 – Entrega

Aproveitando a oportunidade de ainda ter contato com o equipamento customizado, a equipe de desenvolvimento deve proceder a uma revisão cuidadosa da documentação de entrega do equipamento (ver Figura 14). Também, devem ser realizadas tomadas fotográficas, contemplando a maior quantidade de detalhes possível.

- a. **Coleta de imagens e documentos para portfólio:** esta tarefa gera uma importante contribuição para fechamento e busca de novos clientes, pois estes equipamentos diferenciados costumam despertar interesse em mercados de nicho. Com auxílio de imagens fotográficas fica fácil demonstrar as soluções e competências da equipe nas atividades de reprojeto com foco em customização.



**Figura 14 – Equipamento reprojetoado, originando solução customizada.**  
**Fonte: Elaborada pelos autores.**

## **4.2 DISCUSSÃO**

A aplicação descritiva, baseada em caso real, aqui apresentada teve por intuito representar algumas tarefas constantes do fluxo de atividades propostas no Conjunto de Procedimentos para orientar o processo de reprojeto com foco na customização.

Observou-se que, na prática, as tarefas propostas são de fácil assimilação pelas equipes de desenvolvimento e operacional. Apesar de demandar um pouco mais de rigor na formalização das tarefas e documentos, percebeu-se que as atividades propostas não burocratizam e nem alongam o processo de reprojeto, haja vista que muitas delas já ocorrem, apenas que, de modo desestruturado.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1 CONCLUSÕES

O segmento de equipamentos pesados é importante para a economia brasileira, movimentando diversas cadeias produtivas (e.g. projetos, manufatura, manutenção, componentes hidráulicos).

Observa-se com um olhar crítico, voltado a este nicho de mercado que envolve customização de equipamentos originais, o quanto complexo pode ser um reprojeto de máquinas pesada, sua singularidade e restrições, sendo possível perceber suas particularidades dentro do assunto abordado.

Para fazer frente a este contexto, propõe-se neste trabalho, um Conjunto de Procedimentos, composto de sete atividades, cada uma delas suportada por tarefas, que objetivam orientar o processo de reprojeto com foco na customização. Para sua composição foram emprestadas estruturas (e.g. atividades; tarefas) do processo de desenvolvimento de produtos convencional, conforme contido na literatura. Também foram considerados aspectos do processo de reprojeto e customização, aliados a boas práticas encontradas em indústria de referência que desenvolve equipamentos com características particulares a partir de conjuntos originais.

O Conjunto de Procedimentos proposto tem potencial de aplicação em indústrias do segmento ou de outros setores, pois alia recomendações da literatura no âmbito de desenvolvimento de produtos com boas práticas encontradas quando da customização de equipamentos pesados.

A aplicação descritiva apresentada permite inferir a possibilidade de uso do Conjunto de Procedimentos em atividades de customização. As tarefas descritas, consideradas as mais relevantes, ilustram os ganhos com a adoção das sugestões apresentadas, quer sob o ponto de vista da preparação para o reprojeto, a atenção a aspectos relevantes da customização ou com os resultados decorrentes da melhor documentação.



## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como recomendações para estudos futuros sugere-se que:

- a. Se planeje e implemente um estudo-piloto de reprojeto com foco em customização em outro setor industrial (e.g. customização de máquina/equipamento agrícola);
- b. Seja conduzido um experimento em ambiente controlado, envolvendo projetistas experientes, em atividade de reprojeto com foco em customização, para identificar lacuna na abordagem proposta;
- c. Se realize um levantamento de campo sobre práticas de reprojeto em outros setores industriais, identificando práticas e recursos que possam ser aplicados à abordagem aqui proposta..

## REFERÊNCIAS

- ABIMAQ. **ABIMAQ prevê primeiro semestre de ajustes em 2015**. Edição nº 1067 de 27/11/2014. Disponível em: <http://www.abimaq.org.br/site.aspx/Imprensa-Clipping-Tendencias-detalhe?DetalheClipping=1129> Acesso em: 08 de jun. 2016.
- ABRAMAT; FGV. Associação Brasileira da Indústria de Materiais de Construção - Fundação Getúlio Vargas. **Perfil da cadeia produtiva da construção e da indústria de materiais e equipamentos**. São Paulo: Abramat, 2011.
- BACK, N; OGLIARI, A.; DIAS, A; SILVA, J. C. da. **Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem**. São Paulo: Manole, 2008.
- BITENCOURT, Antonio C. P. **Desenvolvimento de uma metodologia de reprojeção de produto para o meio ambiente**. 2001, 159 f. dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2001.
- BLANCHARD, B.S.; FABRICKY, W.J. **System Engineering and Analysis**. New Jersey: Prentice-Hall, Inc, 2006.
- BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P. **Product Design for Assembly**. Wakerfield: Boothroyd and Dewhurst, Inc., 1989.
- BRALLA, J.G.. **Handbook of Product Design for Manufacturing**. New York: McGraw-Hill, 1999.
- CASE COMPANY. **A Case: História**, 2016. Disponível em: [http://www.casece.com/pt\\_br/Why-Case/Pages/Heritage.aspx](http://www.casece.com/pt_br/Why-Case/Pages/Heritage.aspx)> Acesso em: 20 Jan. 2016.
- CARNEVALLI J. A.; SOUZA J. E. R.; BENEDICTO S. C.; SALERNO M. S.; CAUCHICK P. A. M.. Modularidade em montadoras de automóveis: uma análise sob a ótica da estratégia. **Produção Online**. v.15, n. 2, p.433-457, abr./jun. 2015
- CATERPILLAR. **Escavadeira hidráulica 336D**. Piracicaba: Caterpillar, 2008.
- CATERPILLAR COMPANY. Empresa. **Empresa: Histórico**, 2015. Disponível em: <http://www.caterpillar.com/pt/company/history.html>> Acesso em: 09 Jan. 2016.
- CATERPILLAR COMPANY. **Equipamento: 950H**. 2016. Disponível em: [http://www.cat.com/pt\\_BR/products/new/equipment/wheel-loaders/medium-wheel-loaders/18384155.html](http://www.cat.com/pt_BR/products/new/equipment/wheel-loaders/medium-wheel-loaders/18384155.html)> Acesso em: 09 Jan. 2016.
- CATERPILLAR COMPANY. **Our Legacy**. 2016. Disponível em: <http://www.caterpillar.com/pt/company/history.html>> Acesso em: 09 Jan. 2016.

CHIARELO, Sandro R. **Manufatura customizada personalização de produtos**. 2008. 66 f. Monografia (Especialista em Gestão de Desenvolvimento de Produto) – Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

COLENSO, K. **Creating the Work Breakdown Structure**. New York: Artemis Management Systems, 2000. Disponível em: <<http://pmpofy.com/files/625/wbs.pdf>> Acesso em: 04 Jun. 2016.

COSTA, Mila B. L. C. As Relações de Trabalho, A Máquina e o Fato. **Escola Judicial TRT- 3ª Região**. v.51, n.81, p.91-105, jan./jun.2010.

DUFOUR, C. A. **Estudo do processo e das ferramentas de reprojeto de produtos industriais, como vantagem competitiva e estratégia de melhoria constante**. 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 1996.

FISCHER, U.; GOMERINGER, R.; HEINZELER, M.; KILGUS, R.; NAHER, F.; OESTERLE, S.; PAETZOLD, H.; STEPHAN, A. **Manual de Tecnologia Metal Mecânica**. 43ª Ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2008.

GAITHER, N.; FRAZIER, G. **Administração da Produção e Operações**. 8 ed. São Paulo: Thomson, 2002.

GIRARDI, D. **A terceirização como estratégia competitiva das organizações**. São Paulo: Gelre, 2006.

HAYCRAFT, W. R. History of Construction Equipment. **Journal of Construction Engineering and Management**. v.137-10, p. 720-723, 2011.

HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES. **Sobre HHIB**, 2016. Disponível em: <<http://www.hhib.com.br/pt/a-hyundai/>> Acesso em 25 Jan. 2016.

JCB BRASIL. **Sobre a JCB: Nossa História**, 2013. Disponível em: <<http://www.jcbbrasil.com.br/Sobre/A-empresa.aspx>> Acesso em: 25 Jan. 2016.

JOHN DEERE & COMPANY. **A nossa empresa: História**, 2016. Disponível em: <[https://www.deere.com.br/pt\\_BR/our\\_company/about\\_us/history/history.page](https://www.deere.com.br/pt_BR/our_company/about_us/history/history.page)> Acesso em: 04 Jan. 2016.

KOMATSU COMPANY. **Company Inf: History**, 2005. Disponível em: <<http://www.komatsu.com/CompanyInfo/profile/>> Acesso em: 25 Jan. 2016.

NEW HOLLAND CONSTRUCTION. **Linha do tempo**, 2016. Disponível em: <<http://construction.newholland.com/lar/pt/Pages/SobreNos.aspx#sthash.iAU5M5Q0.D5Au12Za.dpbs>> Acesso em: 30 Jan. 2016.

OJA, H. An approach to incremental innovation. Theories and methods in industrial product development. **Proceeding of the International Conference on Engineering Design, ICED 07**, 28-31 August 2007, Paris-France, p. 1-9.

OTTO, K. N. de; WOOD K.L. **Product Design: techniques in reverse engineering and New Product Development**. 1 ed. Nova Jersey: Prentice Hall, Inc., 2000.

OXFORD DICTIONARIES. **Concise Oxford English Dictionaries**. 14<sup>th</sup> ed. London: Oxford University Press, 2011.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. **Projeto na Engenharia: Fundamentos do Desenvolvimento Eficaz de Produtos – Métodos e Aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

PRAHALAD, C.K.; HAMEL, G. The core competence of the corporation. **Harvard Business Review**, v. 68, n. 3, p. 79-91, May – June 1990.

RODRIGUES, P. C. C; OLIVEIRA, O. J. Engineering- to-order versus make-to-stock strategy: an analysis at two printing companies. **Independent Journal of Management and Production**, v. 1, n. 1, p. 1-23, Jul-Dec. 2010.

ROZENFELD, H., FORCELLINI, F. A., AMARAL, D. C., DE TOLEDO, J. C., DA SILVA, S. L., ALLIPRANDINI, D. H., SCALICE, R. K. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos – Uma Referência para a Melhoria do Processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

SIEVÄNEN, M. What is Customization? **9<sup>th</sup> International Annual Conference on European Operations Management Association**, Copenhagen, Denmark. June 2-4, 2002. pp. 1-12.

SIMON, H.; DOLAN, R. J. Price Customization. **Marketing Management**.v. 7-3. p. 11-17, 1998.

SMITH, S.; SMITH, G.; SHEN, Y. Redesign for product innovation. **Department of Mechanical Engineering National Taiwan University**, Taipei, September -33 (2012) 160-184.

SPRING, M.; DALRYMPLE, J.F. Product Customization and Manufacturing Strategy. **International Journal of Operations and Production Management**.v. 20-4. p. 441-467, 2000.

THIOLLENT, Michel. **Metodologia da Pesquisa-ação**. 7<sup>o</sup> ed. São Paulo: Cortez; 1996.

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product Design and Development**. 5<sup>th</sup> ed. New York: McGraw-Hill Educational, 2011.

VIDOR, G.; FOGLIATTO, F. S.. Identificação dos Tipos de Controle de Qualidade para a Customização em Massa. **Produção Online**. v. 13-1, p. 134-161, jan/mar, 2013.

VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT. **Produtos**, 2007. Disponível em:<<http://www.volvoce.com/CONSTRUCTIONEQUIPMENT/BRAZIL/BR-PT/PRODUCTS/Pages/introduction.aspx>> Acesso em: 20 Jan. 2016.