



## ***LEAN ENGINEERING: UM ESTUDO DE CASO DE REDUÇÃO DE PROBLEMAS NA TROCA DE INFORMAÇÕES NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS***

Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren<sup>1</sup>

Valesca Alves Corrêa<sup>2</sup>

Edson Aparecida de Araújo Querido Oliveira<sup>3</sup>

Paulo Cesar Corrêa Lindgren<sup>4</sup>

### **Resumo**

A otimização dos processos é um desafio importante para o sucesso de uma empresa de engenharia. Para se atingir um desenvolvimento mais ágil e com menos “defeitos e retrabalhos”, optou-se por adotar a Filosofia *Lean*, originalmente desenvolvida na matriz da fabricante automobilística japonesa Toyota Motor Company, e que tem se mostrado muito eficiente não só na fabricação, mas também no desenvolvimento de produtos e serviços. Isto já não diz respeito somente ao fluxo de materiais nas operações produtivas, mas, principalmente, ao fluxo de “informações”. Embora existam diferenças entre a Produção *Lean* (*Lean Manufacturing*) e a

---

Recebimento: 10/7/2016 - Aceite: 19/8/2016

<sup>1</sup> Mestranda em Engenharia Mecânica - UNITAU - e-mail: rgn.lindgren@gmail.com

<sup>2</sup> Doutora - UNITAU - Fatec - Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba - e-mail: valesca.correa@unitau.com.br

<sup>3</sup> Pós-Doutor - UNITAU - e-mail: edsonaaqo@gmail.com

<sup>4</sup> Mestre - UNITAU - e-mail: professor.paulo.lindgren@gmail.com

Engenharia *Lean* (*Lean Engineering*), ambas aplicações da Filosofia *Lean* têm abordagens e objetivos muito semelhantes. Os processos e atividades que realmente conferem “valor”, ao produto, sob a ótica do cliente, durante sua transformação, são identificados como Adicionadores de Valor (VA - *Value Added*). Os problemas, no entanto, são identificados como “desperdícios” (*wastes*), devendo ser eliminados, ou, na pior das hipóteses, reduzidos ao mínimo aceitável. Aeronaves implicam na demanda por sistemas e produtos de elevada complexidade, os quais requerem, até por força de legislação específica, uma estrutura e organização particularmente adequadas no desenvolvimento de produtos. Para se atender à esta exigência, deu-se origem à abordagem de Engenharia de Sistemas (*SE - System Engineering*), a qual, quando combinada com os princípios da Engenharia *Lean* (*Lean Engineering*), resulta na Engenharia *Lean* de Sistemas (*Lean System Engineering*), um tema relativamente recente e pouco explorado na ciência e na prática industrial. Neste artigo buscou-se analisar os problemas no compartilhamento de informações entre Engenharia de Sistemas e Engenharia Mecânica/Eletrônica para efeitos de melhoria de processos no desenvolvimento de produtos complexos para aeronaves, em ambiente de Engenharia Simultânea, aplicando-se os métodos da *Lean Engineering*. Dentre os resultados obtidos, ressalta-se a identificação do desperdício de “Espera” como sendo o de maior impacto no fluxo de informações dos três projetos analisados, com dados oriundos das reuniões de Análise Crítica dos Projetos, também sendo identificadas e propostas possíveis soluções para sua eliminação.

**Palavras-chave:** Desenvolvimento de Produto; Desperdícios na Engenharia; *Lean Engineering*; *Lean Manufacturing*; Manufatura Enxuta; Produto Aeronáutico

## **LEAN ENGINEERING: A PRODUCT DEVELOPMENT CASE STUDY OF PROBLEM REDUCTION IN EXCHANGE OF INFORMATION.**

### **Abstract**

The optimization of processes is a major challenge to the success of an engineering company. To achieve a more agile development, with less “defects and reworks,” it was decided to adopt the Lean Philosophy, originally developed in the headquarter of the Japanese automobile

manufacturer Toyota Motor Company, which has proved very effective not only in manufacturing, but also in product and services development. This no longer applies only to the flow of materials in production operations, but mainly to the flow of information". Although there are differences between Lean Manufacturing and Lean Engineering, both are applications of Lean Philosophy and have very similar goals and approaches. The processes and activities that really bring "value" to the product, from the perspective of the customer, during their transformation are identified as VA - Value Added. The problems, however, are identified as "wastes" and should be eliminated or, at least, reduced to the minimum acceptable. Aircraft imply the demand for highly complex systems and products, which require, even due to specific legislation, particularly suitable structure and organization in product development. To meet this requirement, there has been rise to the SE - Systems Engineering approach, which, when combined with the principles of Lean Engineering, results in the Lean Systems Engineering, a relatively new and little explored theme in science and industrial practice. This study aimed the analysis of the problems in sharing information between Systems Engineering and Mechanical/Electronic Engineering / Electronics for the purpose of improving processes in the development of complex aircraft products, in a Concurrent Engineering environment, by applying the methods of Lean Engineering. Amongst the obtained results, it emphasizes the "Waiting" waste identification as of the highest impact on the flow of information, from the three analyzed projects, with data coming from the meetings of Project Critical Analysis, and also identifying and proposing possible solutions to eliminate the problem.

**Keywords:** Aeronautical Product; Lean Engineering; Lean Manufacturing; Product Development; Wastes in Engineering

## Introdução

A atual situação de forte concorrência global obriga às empresas a serem guiadas por outras forças que sustentem o seu desenvolvimento. Baseando-se no já consagrado “triângulo mágico” dos três essenciais elementos sob o ponto de vista do cliente/consumidor: qualidade (escopo), custo e tempo, tem-se que a característica “pontualidade” está desempenhando um papel de ressaltada importância na satisfação do cliente, principalmente se considerado o fator de se praticar “ciclos de desenvolvimento de produtos” cada vez mais reduzidos e rápidos. Se uma empresa conquista a habilidade de satisfazer, consistentemente, as expectativas de seus clientes no que tange a esta característica, ela passa a contar com uma grande vantagem competitiva frente a seus concorrentes. É sabido que a “pontualidade” exerce um efeito direto e de grandes dimensões sobre a duração (*lead time*) do processo de desenvolvimento de produtos, tanto que, por esta razão, se tem praticado, há vários anos, o método de Engenharia Simultânea. Ela consiste em se tornar concomitantes, paralelos, ao invés de consecutivos, sequenciais, os trabalhos executados nos diferentes departamentos envolvidos no processo de desenvolvimento de produtos, com o intuito de se reduzir os tempos de desenvolvimento. No entanto, a Engenharia Simultânea apresenta algumas importantes inconveniências, aumentando-se, por exemplo, o número de interfaces e, por decorrência, as exigências impostas à Comunicação Interdisciplinar. Por consequência, se faz necessário um robusto processo de gerenciamento de informações, pois muitas informações devem ser trocadas entre as diferentes disciplinas envolvidas no processo. Por outro lado, isto faz com que alguns problemas, como os que ocorrem durante as iterações, representem uma importante parcela de consumo de tempo, podendo, inclusive, representar causas, diretas ou indiretas, de aumento do risco à vida dos usuários dos produtos finais. No desenvolvimento da aviação, as fases de desenvolvimento dos produtos têm sido, comparativamente, mais longas, dado os igualmente longos ciclos de vida dos produtos (alguns com mais de 30 anos). Todos estes fatores, combinados, no desenvolvimento de produtos aeronáuticos, conferem uma grande e particular importância aos problemas que ocorrem na troca de informações entre os departamentos de uma empresa de desenvolvimento de produtos aeronáuticos, assunto abordado neste estudo.

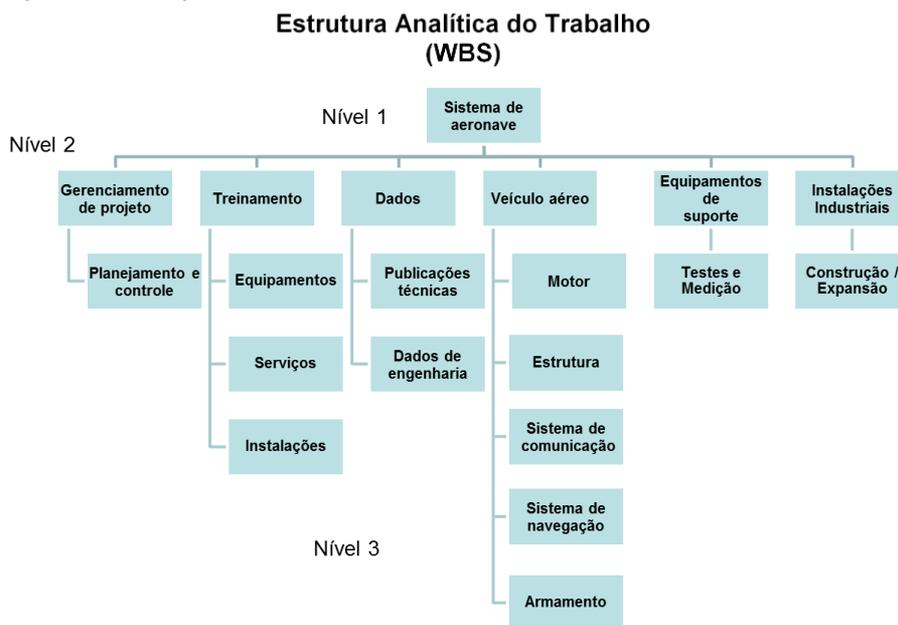
## Referencial teórico

## Processos de Desenvolvimento de Aeronaves - O Pensamento Sistêmico

Sistemas são classificados como populações dinâmicas, sendo constituídos por partes, as quais estão ligadas entre si e interagem (SEIDEL, 2001). Um sistema faz com que seja possível encontrar uma resposta para um problema complexo. Mas, primeiramente, se faz necessário garantir que as necessidades, os objetivos e as limitações do sistema estão claramente definidas junto ao cliente, sendo o fornecedor o ponto inicial do processo de projeto do produto. Dado o fato de que os elementos têm relações diferentes e complexas uns com os outros, tem-se que a definição de "sistema" é limitada. Um aparelho eletrodoméstico simples, como uma máquina de lavar, não pode ser considerado complicado o suficiente para que seja aplicada nele a engenharia de sistemas, segundo Kossiakoff *et al.* (2011). Um sistema é muito mais do que uma coleção de *hardware* e *software* e terá que comportar a descrição de mais recursos, como pessoal, material, instalações e dados. Uma característica importante dos sistemas é que eles podem ser divididos em subsistemas, quase que indefinidamente.

Esta hierarquia de sistemas, em que o bloco de sistema nos níveis mais altos tem um impacto sobre os blocos dos sistemas nos níveis abaixo, costuma ser a forma pela qual são analisados os sistemas mais complexos. Assim, por exemplo, se representam os blocos básicos de construção para os sistemas da aeronave, descendo para os blocos de subsistemas e, em níveis mais baixos, os blocos de componentes (bombas, válvulas, sensores, atuadores, etc.). Decidir o quão longe se pretende dividir um sistema em subsistemas depende da complexidade do sistema e da capacidade de se visualizar as funções e interfaces como um todo. O conceito de sistema pode ser utilizado na representação dos sistemas de tecnologias das aeronaves em uma Estrutura Analítica de Trabalho, ou WBS (*Work Breakdown Structure*), como ilustrado à Figura 1 (MOIR; SEABRIDGE, 2004).

Figura 1: Exemplo do Sistema de Aeronave



Fonte: Autora (2015)

## Fases de Desenvolvimento do Produto

Ao adotar-se a metodologia tradicional de desenvolvimento do produto, iniciando-se com a Fase de Conceito, seguida pela Fase de Definição e concluindo com a Fase de Desenvolvimento, é extremamente importante se trabalhar em estreita colaboração com todas as partes interessadas, os *stakeholders*, durante a fase de Conceito. Como resultado, podem ser evitadas grandes mudanças no projeto. Se o projeto for estabelecido, a viabilidade de montagem e os aspectos funcionais do sistema podem ser verificados por meio de um protótipo. Uma vez que o projeto tenha sido acordado, um teste de Verificação e Validação será realizado para confirmar que ele corresponde às especificações e objetivos da aeronave. Se um teste falhar, ou se as metas não forem atingidas, serão realizadas repetições. Isso pode, no entanto, afetar vários subsistemas. Repetições podem criar riscos e, eventualmente, colocar em perigo um projeto ótimo. O processo de verificação tem relações com atividades da qualidade, para se coletar dados para avaliação da confiabilidade e para demonstrar a robustez do projeto.

Em geral, a fase de Definição é a fase subsequente à de Conceito. Ela visa combinar os interesses de todos os grupos de desenvolvimento e suas interfaces. Toda informação que foi coletada durante a fase de Conceito é, geralmente, consolidada, para dar cumprimento aos requisitos do cliente. Abordagens típicas nesta fase são:

- Desenvolvimento do conceito por meio de uma definição firme da solução;

- Desenvolvimento das arquiteturas e configurações do sistema;

- Quantificação de medidas-chave de desempenho do sistema, tais

como:

- Massa;

- Volume;

- Resistência (em horas ou em ciclos).

- Identificação de riscos e introdução de planos de mitigação;

- A seleção e a confirmação das tecnologias apropriadas.

O resultado, ou “*output*”, dessa fase de Definição pode ser encontrado, geralmente, em relatórios de estudos de viabilidade, estimativas de desempenho ou em modelos de desempenho operacional. Se o resultado desta fase for bem-sucedido e a empresa decidiu-se pela continuidade do produto, ela irá para a próxima fase, a fase de Desenvolvimento. Isso pressupõe que a arquitetura e os desenhos esquemáticos (*drafts*) do produto já estejam desenvolvidos (MOIR, 2004).

### **Definição de Engenharia de Sistemas (SE - System Engineering)**

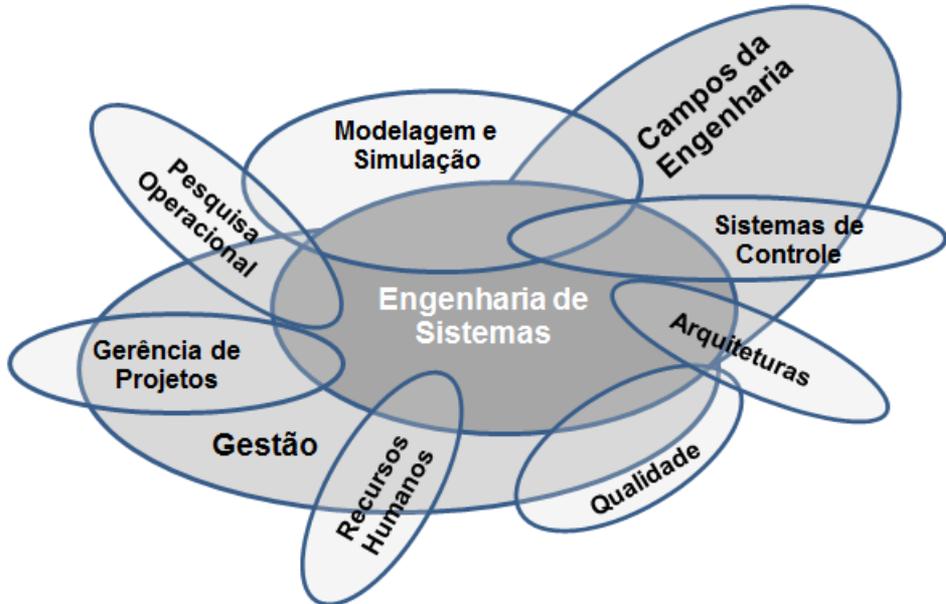
Conceituada, resumidamente, pela NASA como sendo “uma abordagem colaborativa interdisciplinar para desenvolver e verificar, de modo que as expectativas dos clientes satisfeitos e a aceitabilidade pública correspondam a uma solução de sistema para o ciclo de vida” (SEXTONE, 1998), tem-se que a Engenharia de Sistemas se concentra em definir as necessidades dos clientes e o cronograma das funcionalidades necessárias logo ao início do ciclo de desenvolvimento. As operações que são documentadas devem, então, ser ligadas à síntese de criação e a validação do sistema. O processo de SE é versátil, cobrindo e executando operações, desempenho, teste, produção, custo, treinamento, apoio e disposição/descarte.

A SE integra todas as disciplinas e grupos de especialização que, juntos, formam um processo de desenvolvimento estruturado (INCOSE, 2004).

Tem-se ainda que, segundo Kossiakoff *et al.* (2011), a SE concentra-se no sistema como um todo, enfatizando sua operação total. Ela analisa o

sistema a partir do exterior, isto é, nas suas interações com outros sistemas e com o meio ambiente, bem como a partir do interior.

**Figura 2:** Campos de aplicação da Engenharia de Sistemas



Fonte: Kossiakoff *et al.* (2011)

A Engenharia de Sistemas interliga as disciplinas técnicas tradicionais (ver Fig. 2). A desigualdade dos elementos em um sistema complexo exige que várias disciplinas de engenharia estejam envolvidas, tanto na sua concepção quanto no seu desenvolvimento. Em um sistema cada item deve agir, física e funcionalmente, em combinação com os outros elementos que integram o sistema. Então, os vários elementos não podem ser projetados de forma independente uns dos outros, caso se deseje, efetivamente, gerar um sistema de trabalho (KOSSIAKOFF *et al.*, 2011). O Quadro 1 provê um breve resumo da filosofia de sistema e a abordagem de SE.

### Quadro 1: Sistemas e Engenharia

Pensamento Sistêmico	Engenharia de Sistemas	Sistemas de Engenharia
Foco no Processo	Foco no Produto Completo.	Foco em ambos: Processo e Produto.
Consideração de questões	Resolver problemas técnicos complexos.	Resolver questões complexas interdisciplinares: técnicas, sócias e de gestão.
Avaliação de múltiplos fatores e influências	Desenvolver e testar soluções tangíveis de sistemas.	Influenciar políticas, processos e fazer uso da Engenharia de Sistemas para desenvolver soluções de sistemas.
Inclusão de padrões de relacionamentos e entendimento comum	Necessidade de atender requisitos, medir resultados e resolver problemas.	Integra dinâmicas e abordagens humanas e técnicas.

Fonte: Kossiakoff *et al.* (2011)

## Engenharia Lean (Lean Engineering)

### Histórico

A *Lean Manufacturing* foi idealizada originalmente pela Toyota, deste fato derivando o nome *Toyota Production System* (TPS). O TPS era um método para eliminar o desperdício, esforçando-se para produzir apenas o que o cliente queria. O Programa de Veículos a Motor Internacional (*IMVP - International Motor Vehicle Program*), uma iniciativa do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (*MIT - Massachusetts Institute of Technology*) chamou o conceito de *Lean Manufacturing* (Manufatura Enxuta ou Produção Enxuta), o qual representou uma mudança radical a partir da produção em massa (WOMACK *et al.*, 1992). A *Lean Manufacturing*, no entanto, transcendeu o espaço físico da fábrica, transformando-se em um novo modo de pensar, uma verdadeira Filosofia *Lean*. Muito da *Lean Manufacturing* depende do fluxo de informações entre o fabricante, o cliente e os fornecedores. Quanto mais visível este fluxo de informação, mais o fabricante produz o que o cliente realmente deseja (WOMACK *et al.*, 1992).

Ao Quadro 2 pode-se perceber como a Filosofia *Lean* foi movida para além do âmbito da produção, inserindo-se no campo de Desenvolvimento de Produtos e Serviços, decorrente do fato de, no passado, a empresas que adotaram a *Lean Manufacturing* terem obtido sucesso não só na produção, mas também em áreas como Processos e Logística (Entrega e Distribuição). Hoje em dia, pode se dizer que não existem áreas da sociedade em que os Princípio *Lean* não possam ser implementados na prática. Empresas *Lean* "entendem o que é valor para o cliente [...]. Em seguida, identificam todas as ações necessárias para levar o produto da concepção ao lançamento. Então, retiram todas as ações que não adicionam valor. Por fim, a empresa

analisa os resultados e continuamente renova o processo de avaliação." (WOMACK; JONES, 2004). Esta definição combina os cinco Princípios Lean e é válida para todas as empresas durante o seu Mapeamento do Fluxo de Valor (VSM - *Value Stream Mapping*). A Iniciativa *Lean Aeroespacial (LAI - Lean Aerospace Initiative)* no MIT tem aplicado, com sucesso, o que foi definido por Womack e Jones como "*Lean Thinking*", ou Mentalidade Enxuta.

## Quadro 2: *Lean Manufacturing* e *Lean* no Desenvolvimento de Produto

Princípios Lean	<i>Lean Manufacturing</i>	Comportamentos <i>Lean</i>	Aplicação no Desenvolvimento de Produtos
Valor	Valor é definido pelo Cliente / Consumidor Final.	Compreender os desejos e as expectativas das pessoas com as quais se interage.	Atender às expectativas do programa, superando os desafios técnicos enquanto se mantém firme compromisso com o cronograma.
Fluxo de Valor	Compreender todas as ações específicas necessárias para fabricar um produto, e eliminar os desperdícios.	Compreender o que as pessoas fazem e porque elas fazem.	Compreender a comunicação multifuncional necessária para se obter acesso contínuo à base de dados e conhecimento ao longo de todo o processo.
Fazer Fluir	Fazer com que as etapas que agregam valor ocorram continuamente, sem interrupção.	Comportar-se de forma a minimizar ou eliminar atrasos e paradas no trabalho, tanto próprio quanto executado por outros.	Assegurar que os <i>inputs</i> e o conhecimento são obtidos no momento adequado e comprometer-se a mantê-los com mudanças mínimas.
Puxar	Responder à demanda do Cliente / Consumidor.	Reconhecer que as pessoas operam sob muitos e diferentes modelos mentais, que requerem que ajustes frequentes nos estilos ou abordagens (comportamentais).	Capacidade de fornecer respostas oportunas (a tempo) e precisas às necessidades do programa.
Perfeição	Continuar, sistematicamente, a buscar a melhoria em valor, fluxo, produção puxada e eliminação de defeitos na produção.	Sistematicamente identificar e eliminar desperdícios "comportamentais".	Sistematicamente identificar e eliminar desperdícios no desenvolvimento de produtos.

Fonte: tradução livre de Garza, L.A., 2005

## Os Cinco Princípios Lean

### Valor para o Cliente

A identificação exata do valor, a partir da perspectiva do cliente, é o primeiro passo importante do Pensamento *Lean*.

O primeiro passo na Filosofia *Lean* começa com uma análise aprofundada e uma discussão detalhada com o cliente. Analisando o valor no desenvolvimento de produtos, a investigação está em se determinar conformidade com as expectativas do programa e os desafios técnicos. As decisões não podem ser tomadas sem se estar conectado às partes que irão

entregar o resultado. Se as expectativas são irrealistas ou não são apreciados pelas partes interessadas, elas precisam ser discutidas e negociadas ao início do processo (WOMACK; JONES, 2004).

Há vários exemplos bem-sucedidos de empresas mencionados por Womack e Jones, (2004), mas uma abordagem generalista, elaborada para várias empresas, faz com que a implementação do primeiro princípio *Lean* seja mais difícil, sendo a falta de orientação ao cliente, muitas vezes, a causa dos problemas encontrados na aplicação deste princípio. Além disso, existem significativas lacunas de informação em relação ao ambiente do cliente, bem como aos problemas e solicitações específicas dos clientes.

Finalmente, o Valor só pode ser determinado pelo cliente e só faz sentido se a empresa puder relacionar suas próprias habilidades com produtos específicos, para os quais tenha definido preços especialmente reconhecidos (como vantajosos) pelo cliente (WOMACK; JONES, 2004).

## **Identificar o Fluxo de Valor**

O próximo passo na Filosofia *Lean* é chamado de identificação do real Fluxo de Valor. Isso significa identificar todas as atividades, necessárias e específicas, para produzir o produto, independentemente de seus benefícios e seus serviços (WOMACK; JONES, 2004).

A fim de tornar visíveis os desperdícios, é necessária a identificação do Fluxo de Valor. Com os funcionários realizando todas as tarefas associadas, é necessário se identificar pontos de controle e outros fluxos físicos que sejam empregados para agregar valor sob o ponto de vista do cliente. Para este fim, a empresa tem que eliminar todas as atividades que não agregam valor, minimizar todas as atividades que não agregam valor, mas são necessárias, e otimizar as atividades que agregam valor. Na produção, a ênfase recai sobre o fluxo de material enquanto que, durante o desenvolvimento de produto, ela se concentra na área da informação. Para se resolver este problema, é particularmente importante se compreender a diferença entre a produção e o desenvolvimento de produtos.

Nesta análise podem ser encontrados, em geral, os seguintes três tipos de atividades (HINES, 2001):

- Atividades com Valor Agregado: são aquelas decisivas para as atividades do cliente, originando um benefício para ele, como no desenvolvimento de um novo Radar para uma aeronave militar.
- Atividades Necessárias, mas Sem Valor Agregado: embora essas atividades não criem valor e representam mais desperdício, elas não podem ser eliminadas imediatamente, sem que grandes mudanças sejam efetuadas no sistema como um todo. Isto ocorre devido às circunstâncias atuais e aos

limites das tecnologias disponíveis, tal como um teste adicional de garantia da qualidade.

- **Atividades que Não Agregam Valor:** essas atividades são um completo desperdício e devem ser eliminadas o mais rapidamente possível. Nesta classe devem se incluir, por exemplo, o processamento duplicado, tempos de espera e transporte desnecessário.

## Princípio de Fluxo

Após se ter identificado o Valor e terem sido eliminados os desperdícios, as etapas restantes de criação de valor devem “fluir”. As etapas de criação de valor, para se assemelharem ao fluxo de um rio, movendo-se incessantemente e sem interrupção a fim de otimizar o fluxo, demandam que seja planejada uma simultaneidade máxima de tarefas para o mais próximo possível da capacidade de execução da empresa. A aquisição de valor e o planejamento do programa são as duas condições necessárias para a subsequente execução de um programa *Lean* (OPPENHEIM *et al.*, 2010).

Repetições (*loops*) planejadas de tecnologia são sempre necessárias no desenvolvimento de produtos, mas elas tendem a consumir muito tempo se houver o envolvimento de mais disciplinas (como, por exemplo, na Engenharia de Sistemas) (MURMAN *et al.*, 2002). O objetivo do princípio de fluxo consiste em uma nova operação por funções, departamentos e empresas para fazer fluir a troca de informações. Isso permite a criação de valor e fornece uma resposta para todos os participantes do processo (WOMACK; JONES, 2004). Uma redefinição ou reconsideração bem-sucedida requer não apenas um grande foco no produto alvo, mas também métodos de trabalho e ferramentas tradicionais (WOMACK; JONES, 2004).

## Princípio de Puxar

A Filosofia *Lean* não se preocupa apenas com a questão de como a empresa pode satisfazer as necessidades de seus clientes, mas pode também como os produtos e serviços entregues aos clientes se comparam com os que estiverem disponíveis. O princípio de Puxar, portanto, não lida apenas com a realização do desejo dos clientes, mas também com a possibilidade de que a empresa possa, a qualquer momento, estar pronta (disponibilidade). Ao invés de impor produtos e serviços ao cliente, busca-se atender às exigências e necessidades dos clientes mesmo que manifestas no último instante possível (OPPENHEIM *et al.*, 2010).

## Buscando a Perfeição

O último princípio desta série é a busca pela Perfeição. Ele lembra que não há fim na busca crescente pela otimização de esforço, tempo, espaço e custos (WOMACK; JONES, 2004). Portanto, a força de trabalho sempre deve tentar encontrar uma melhor maneira de entregar valor ao cliente com um mínimo de recursos empregados, desde o contato inicial com o cliente.

Os processos de engenharia, dentre outros, devem ser incessantemente melhorados, na busca por condições mais competitivas para a empresa. Isso permite que se tornem visíveis os erros que estão ocultos no fluxo de informações (MORGAN; LIKER, 2006). Afinal, é de extrema importância para as empresas entender a distinção entre perfeição no processo e no produto, disponibilizando investimentos da melhor forma possível.

### **Engenharia Simultânea**

A Engenharia Simultânea pode ser definida, de acordo com Ernst, 2002, como sendo a abordagem de desenvolvimento integrado do produto para todas as partes interessadas (*stakeholders*), em forma paralela, ao invés de sequencial, no ciclo de desenvolvimento do produto.

Segundo o mesmo autor, as vantagens da Engenharia Simultânea são:

- O período (*lead time*) mais curto decorrido desde a idéia do produto até a comercialização do mesmo;
- A redução do tempo de desenvolvimento por meio da disposição em paralelo dos sub-processos.

No entanto, a crescente demanda na área de inovação, reduzindo os tempos de ciclo e encurtando os passos nos processos de manufatura, não pode ser satisfeita com o método habitual de engenharia no desenvolvimento de produto. No processo sequencial tradicional de desenvolvimento, o resultado de cada fase é passado para a fase seguinte, no próximo departamento. O fluxo de informação é possível apenas em uma direção, porque não é dada nenhuma possibilidade de realimentação. Se ocorrerem erros, será difícil descobri-los a tempo. Os erros são descobertos somente quando em contato com o cliente e a realização do necessário retrabalho, além de onerosa, acaba por, prolongar a duração do projeto. Na engenharia simultânea as relações de desenvolvimento em paralelo entre os departamentos são mais acentuadas e aceleradas, trazendo, segundo Ernst, 2002, benefícios em termos de tempo, custo e qualidade.

Entretanto, a Engenharia Simultânea não oferece somente vantagens, mas também traz desvantagens e riscos. Os três principais desafios são:

- **Qualificações:**

Tanto para o líder da equipe, quanto para a própria equipe, são exigidos altos níveis de qualificação. Os líderes de equipe precisam lidar com um alto esforço de coordenação, enquanto uma alta capacidade de trabalho em equipe é necessária para todos os envolvidos. "Sem essas habilidades a convivência é ameaçada e não se conseguem efeitos de integração" (ERNST, 2002).

- **Desafios humanos:**

"Graças à dedicação da equipe de SE, outros funcionários da empresa podem ter uma idéia do que desenvolver", entretanto, isso pode levar a rivalidades. Por isso, é possível que a equipe de SE não receba o total apoio das outras áreas dentro da empresa" (ERNST, 2002).

- **A incerteza das informações:**

Este terceiro ponto é muito relevante para este trabalho. Embora a realização de atividades em paralelo traga ganho direto em termos de tempo, com um início antecipado do processo de desenvolvimento, isto não ocorre sem inconvenientes. A implementação de duas atividades paralelas vai forçar os desenvolvedores a não compartilhar informações finalizadas. Se não houver nenhum paralelismo, a informação pode ser trocada na sua forma final. Se uma dependência está faltando, não há necessidade de se trocar informações. Não se obtendo uma informação ideal, esta é a consequência direta da interação entre disciplina, paralelismo e dependência (TERWIESCH *et al.*, 2002).

Quanto mais cedo um processo a jusante começar, tanto maior o risco de futuras mudanças, especialmente se os resultados de atividades a montante forem difíceis ou impossíveis de se prever. Neste caso, a paralelização de disciplinas traz o risco de gerar esforços técnicos adicionais sob forma de retrabalho. Isso pode consumir até 50% da capacidade de engenharia. (CLARK; FUJIMOTO, 1991 e SODERBERG, 1989).

## **O Papel da Informação no Desenvolvimento de Produtos**

Os processos de engenharia exigem criatividade e incluem atividades como projeto, análise de Engenharia e avaliações de desempenho. Na fase de Desenvolvimento, a Engenharia é largamente dependente de informação e relatórios, desenhos, modelos e manuais (COSTA; YOUNG, 2001). Hoje em dia, se faz necessária uma utilização mais eficaz da informação e do conhecimento, a fim de atender, de forma eficiente, os objetivos das organizações (DIETEL, 2000), (CHAFFEY; WOOD, 2004). Segundo Björk (2003), a busca por documentos digitais, armazenados em um computador corporativo, é muito mais complicada se comparada à pesquisa em um arquivo de pastas particulares. A gestão confiável, uniforme e duradoura de

informações dentro de uma empresa é de fundamental importância para os setores de engenharia. A informação é crucial nas áreas de projeto/*design*, produção e ciclo de vida de um produto. (ULLMAN, 2003), (CHRISTIAN; SEERING, 1995), (LOWE *et al.*, 2004).

### **Os problemas existentes no compartilhamento de informações**

As dificuldades na troca de informações têm sido apontadas como um dos maiores e mais impactantes problemas nos projetos atuais. Seguem alguns exemplos desses problemas, identificados a partir da literatura por Starck (2011) e Loch e Terwiesch (1998):

- **Acessibilidade**

Uma gestão complicada do acesso pode modificar os direitos de acesso de um usuário aos dados específicos do produto durante o ciclo de vida do produto. Desse modo, pode acontecer que um usuário que tinha o direito de obter e atualizar informações sobre o produto em desenvolvimento, em outro momento, não tenha mais acesso a essa informação. E, em um dado tempo, uma pessoa pode ter diferentes direitos de acesso a diferentes projetos e produtos. O acesso aos dados do produto pode ser ainda mais complicado, devido a aspectos de segurança de TI e pela introdução de novas aplicações.

- **Arquivamento**

Muitos dados do produto devem ser mantidos na indústria por um longo período de tempo. Os clientes podem, por exemplo, exigir que os dados sejam arquivados durante várias décadas.

- **Disponibilidade**

Informações sobre o produto devem estar disponíveis para os usuários onde e quando eles precisarem. Por exemplo, uma aeronave requer a opção de ser reparada em todas as partes do mundo. Então, as informações pertinentes devem estar disponíveis a qualquer momento, para qualquer tipo específico de configuração.

- **Confidencialidade**

Dados do produto são valiosos. Muitos destes são confidenciais e não devem ser editados ou sequer vistos por pessoas de outras organizações, como os concorrentes.

- **Intercâmbio/Troca**

Informações sobre o produto devem ser frequentemente “deslocadas” de um lugar para outro. Esta reorganização pode tanto ser transmitida de uma pessoa para outra, quanto pode ocorrer entre duas aplicações (ou representação ou proprietários) fins de substituição/atualização. A transferência de dados pode, por exemplo, seguir caminhos diferentes via apresentação dos meios de comunicação, correndo o risco de ser alterada no processo. Portanto, conversões precisas

são demandadas se os dados do produto forem transmitidos a partir de uma representação para outra, ou por meio de um meio de comunicação. No entanto, as conversões exatas são praticamente impossíveis de se obter, porque há sempre uma perda de qualidade.

Há muitos mais problemas com a troca de informações, os quais, no entanto, são impossíveis de se identificar sem a ajuda e o estudo da Engenharia *Lean*. Portanto, desenvolveu-se, neste trabalho, o conceito de análise e comparação de dados que permite uma melhor identificação e categorização destes problemas, com o auxílio das Práticas Capacitadoras *Lean* (*Lean Enablers*).

## Desperdícios no Desenvolvimento de Produtos

### Embasamento

Os processos de Desenvolvimento de Produtos criam valor por meio da geração de informações. Uma vez que a participação no desenvolvimento de sistemas complexos requer a troca de informações em uma grande variedade de formatos, entre muitas disciplinas diferentes, isto pode causar perdas por “transporte da informação” (equivalente aos “desperdícios”). O *Lean Thinking* trouxe resultados positivos em termos de eficiência e redução do tempo de processamento total (WOMACK; JONES, 2004). A transferência de princípios *Lean* para os processos de desenvolvimento de produto, trouxe, desta forma, efeitos positivos sobre o desempenho do processo (McMANUS *et al.*, 2005), (OPPENHEIM, 2004), (MURMAN *et al.*, 2002).

Em seu livro "*Lean Thinking*", de 2004, os autores Womack e Jones explicam que os princípios e ferramentas de produção enxuta podem ser transferidos para o campo de desenvolvimento de produto, como mostrado ao Quadro 3. O estudo de diferentes autores demonstra que mesmo os profissionais nesta área não têm as mesmas idéias e, portanto, focalizam em aspectos diferentes. Esta diferença de abordagem pode ser devida ao fato de que, diferentemente da produção, nenhum material físico é considerado no desenvolvimento de produtos, mas somente a informação.

**Quadro 3:** Manifestação dos Sete Desperdícios Originais da *Lean Manufacturing* no Desenvolvimento de Produtos (continua)

Manufatura	Como ocorrem no Desenvolvimento de Produto / SE	Possíveis Soluções (Sugestões de Malotiaux)
Superprodução (geração de excesso de material ou informação)	Recursos extras, Documentos não usados; Duas pessoas trabalhando na mesma informação; Entregar informação muito antecipadamente.	Priorizar as reais necessidades; Decidir o que não fazer.
Estoque (ter/manter mais material ou informação do que se necessita)	Trabalho parcialmente realizado; "Empilhar" informações.	Sincronização, <i>Just In Time</i> .
Manufatura	Como ocorrem no Desenvolvimento de Produto / SE	Possíveis Soluções (Sugestões de Malotiaux)

Transporte (movimentação de material ou informação)	Passar informações muitas vezes, de um para outro; Erro de comunicação; Transmissão ineficiente da informação; Reuniões grandes e muito longas; Transmissão ineficiente de e-mails para longas listas de distribuição.	Manter em mente: - Responsabilidade (o que fazer); - Conhecimento (como fazer); - Ação (fazer); - <i>Feedback</i> (aprender com os resultados).
Movimentação Desnecessária (mover pessoas para ter acesso a ou processar materiais ou informações)	Troca de Tarefas; Pessoas necessitando se mover para ganhar acesso a informação.	Estabelecer um máximo de duas tarefas em paralelo.
Espera (Esperar por materiais ou informação, ou material ou informação esperando para serem processados)	Atrasos; Pessoas aguardando por informação; Informação aguardando por pessoas; Processos paralelos não-sincronizados; Atividades de longo <i>lead time</i> ; Cronogramas não-realistas.	Reprojeto do Processo e/ou da organização.
Outputs Defeituosos (Erros ou enganos fazendo com que o esforço seja feito novamente para corrigir o problema)	Defeitos; Informação necessitando de retrabalho; Corrigir informação; Erros no projeto de componentes ou da arquitetura; Informação incorreta ou obsoleta passada para a próxima tarefa.	Prevenção.
Superprocessamento (Processar mais do que o necessário para produzir o <i>output</i> desejado)	Ineficiência do Projeto; Pensamento irrealista; Reinvenção; Diferentes sistemas de TI requerendo conversão de dados entre eles; "Excesso" de engenharia.	Conhecimento, experiência, revisões.

Fonte: Adaptado de UnicomALM2001Malotaux (Malotaux, N. 2011)

## Os Dez Desperdícios

Sobre o tema "desperdícios no desenvolvimento de produtos", contemplando tanto a revisão de literatura (OEHMEN; REBENTISCH, 2010) quanto o contexto da análise dos projetos estudados, são identificados dez tipos relevantes de desperdícios, acrescentando-se outros três aos sete tipos já abordados anteriormente e ilustrados no Quadro 3, quais sejam:

## Problemas na Comunicação da Informação

A comunicação de informações é muito importante para a cooperação em um processo. Ela permite a transparência do processo, ou seja, uma identificação mais clara dos papéis e responsabilidades dos participantes. Desta forma, uma comunicação eficaz e eficiente reveste-se

de grande importância para o sucesso dos projetos de desenvolvimento de produto. Os desperdícios ocasionados por comunicação ineficiente podem se manifestar sob a forma de:

- responsabilidades/funções pouco claras;
- barreiras de entendimento (em processos multinacionais e transculturais, por exemplo) que também dificultam a transferência de conhecimento e tecnologia.

### **Baixa Qualidade da Informação**

Este desperdício inclui todas as questões referentes à baixa qualidade da informação, como:

- formato inadequado;
- imprecisão;
- baixo grau de objetividade;
- informação de difícil compreensão, dentre outras.

### **Falta de Ferramentas/Sistemas de TI**

O desenvolvimento de novas tecnologias e ferramentas de informação tem aberto novas oportunidades na indústria durante os últimos 20 anos (como análise de “*Big Data*” a partir de extensos bancos de dados). No entanto, isto também tem criado novos problemas. A principal razão para esses problemas está na grande variedade de componentes de TI existentes no âmbito dos sistemas de informação. Sob o ponto de vista da tecnologia da informação, o desafio (no desenvolvimento de produtos) é mapear os resultados de todo o sistema de um único modelo de dados. Estes resultados deveriam ser obtidos usando ferramentas simples, úteis e de uso corrente. Entretanto, isso tem sido desnecessariamente complicado por novos desenvolvimentos em matéria de ferramentas de *software*, sistemas operacionais e sistemas de *hardware*. Além disso, a Engenharia Simultânea exige uma prática correspondência entre as diferentes ferramentas e disciplinas de TI. Para este fim, é fundamental a coordenação e a padronização de troca de dados. Como exemplos de manifestações deste Décimo Tipo de Desperdício tem-se as subcategorias de:

- Baixa Compatibilidade;
- Baixa Capacidade;
- Baixa Disponibilidade.

### **Práticas Capacitadoras Lean (Lean Enablers)**

Se os métodos de agregação valor, relevantes para o melhoramento necessário, estão adequadamente identificados no processo de

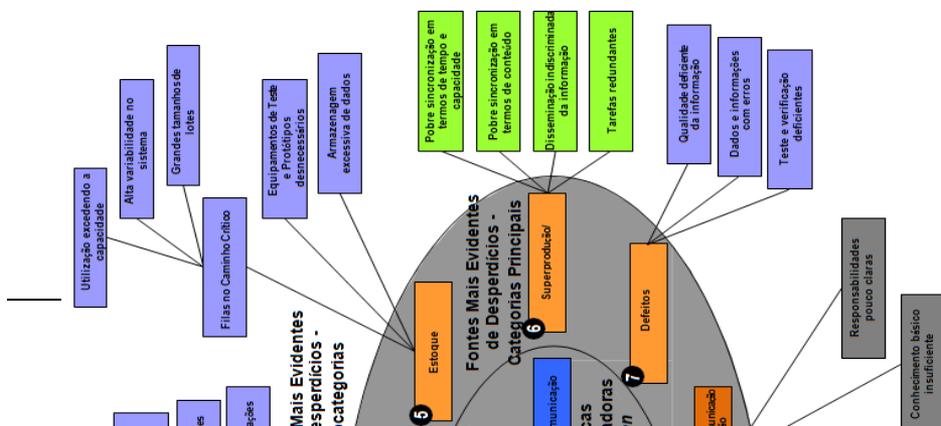
desenvolvimento de produto, mas não é óbvio como eles podem ser integrados à estratégia da empresa ou mesmo como podem ser especificamente implementados, pode-se lançar mão das chamadas Práticas Capacitadoras *Lean* (*Lean Enablers*), as quais explicam como o método de agregação de valor pode ser aplicado, como mencionado por Oehmen (2012), em “O Guia para Práticas Capacitadoras *Lean* no Gerenciamento de Programas de Engenharia.” (*The Guide to Lean Enablers for Managing Engineering Programs.*), do qual deriva a Figura 3, ilustrando as Práticas Capacitadoras *Lean* e os problemas que elas visam solucionar.

Dentre as Práticas mencionadas por Oehmen, as seguintes destacaram-se como aplicáveis nesta pesquisa:

- O Princípio de “Puxar”;
- A Padronização;
- A Comunicação;
- O Projeto depois de Testar (valorização da Prototipagem de Conceito);
- O “Fluxo”;
- A Matriz da Estrutura do Projeto (*DSM - Design Structure Matrix*).

Destas, a *DSM* é uma representação compacta da estrutura de informação de um processo de criação. Diferindo-se das tradicionais ferramentas de gerenciamento de projetos, este método se concentra na representação dos fluxos de informação de um projeto ao invés dos fluxos de trabalho (EPPINGER; BROWNING, 2012). Trata-se um método bastante útil para a análise de um processo de desenvolvimento de produtos, subsidiando a redução da quantidade de *loops* de realimentação (*feedback*) que aumentam o tempo de execução dos projetos. Esta metodologia demonstra como a sequência de tarefas de projeto pode ser representada por meio de uma rede de interações.

Figura 3: Desperdícios, suas fontes e práticas capacitadoras *Lean* (*Lean Enablers*)



## A Ferramenta Stage-Gate

Desenvolvida por Cooper, 1990, a ferramenta *Stage-Gate* se constitui em “uma prática de gestão que cria a disciplina necessária para impedir o desperdício de recursos em projetos de menor potencial. Os projetos são separados em diversos estágios (*Stages*) seguidos por pontos de decisão (*Gates*) onde se reavalia se o projeto deve ou não continuar em frente” (ELO Group, 2010).

Em síntese, trata-se de um processo estruturado por meio do qual o projeto é desenvolvido. Sendo composto por Estágios (*Stages*) intercalados por eventos de avaliação e tomada de decisão (*Gates*), tem-se que cada *Stage* abrange um conjunto de atividades de desenvolvimento com resultados entregáveis (*deliverables*) bem definidos. Um *Stage-Gate* padrão se inicia com *Stages* mais simples, com maior ênfase em planejamento,

evoluindo então para *Stages* de maior comprometimento e de cunho mais executivo.

Por sua vez, os chamados *Gates* se constituem tipicamente em reuniões nas quais a equipe de projeto realiza uma apresentação dos *deliverables*, desenvolvidos durante o *Stage* precedente, para uma comissão avaliadora. Tal comissão deve analisar e discutir, baseada em um conjunto de critérios previamente definidos, tanto os problemas elencados como obstáculos ao atingimento das metas de desempenho quanto se ao projeto será permitido prosseguir para o *Stage* seguinte. É recomendado por Cooper (1990) que a comissão avaliadora seja constituída por profissionais com diferentes formações e experiências, permitindo uma avaliação multidisciplinar do projeto. Além disso, é imprescindível que também integrem a comissão avaliadora todos os gestores que tenham uma quantidade significativa de recursos efetivamente comprometida com o desenvolvimento e a aprovação do projeto.

## **Materiais e métodos**

A pesquisa realizada emprega o método de estudo de caso único, lançando mão de uma abordagem de pesquisa eminentemente qualitativa, pois ilustra a aplicação de conceitos da Filosofia *Lean*, associados à Engenharia de Sistemas, na busca pela análise e solução de problemas encontrados nos processos de desenvolvimento de produtos complexos para aeronaves, sem abrir mão, entretanto, de técnicas estatísticas básicas, empregadas na redução de dados e análise dos resultados.

Tem-se que a estratégia de pesquisa classificada como estudo de caso tem tido crescente utilização como método de pesquisa, a exemplo do citado em Bertero, Binder e Vasconcelos, 2005; Hoppen e Meirelles, 2005; Pacheco, 2005 e Tonelli *et al.*, 2005. Considerado como “uma exploração de um sistema limitado ou de um caso, envolvendo uma coleta de dados em profundidade e com múltiplas fontes de informação, em determinado contexto”, o estudo de caso pode ter como objeto de estudo uma atividade, um evento ou até mesmo indivíduos, representando, desta forma, uma noção de sistema limitado, relacionada a tempo e espaço definidos (CRESWELL, 2007).

A pesquisa efetuada também pode ser classificada como sendo uma pesquisa-ação de natureza exploratória, “ampliando e aprofundando o conhecimento existente”, sem deixar de ser aplicada, pois “visa obter conhecimentos que poderão ser utilizados na aplicação prática e na solução de problemas das empresas envolvidas” (SILVA; MENEZES, 2005).

Também é de fundamental importância ressaltar que os dados utilizados no levantamento dos Desperdícios nos Projetos são oriundos de

respostas às Listagens de Verificação (*Check Lists*), desenvolvidas pela empresa de consultoria para seus trabalhos junto à empresa ALFA e respondidas, como anexos aos Relatórios de Engenharia e às Atas de Reunião de Análise Crítica dos Projetos, em uma abordagem consultiva a um “Painel de Especialistas”, em uma aplicação derivada da Técnica Delfos. A Técnica Delfos trata-se, segundo Gordon (1994), de um método para a busca de um consenso de opiniões de um grupo de especialistas a respeito de eventos futuros, demonstrando-se válido e adequado para efetuar, por exemplo, levantamentos de informações e diagnósticos socioeconômicos de uma empresa, de uma indústria, de uma região, de um município ou de um estado, porquanto permite fazer consultas organizadas, mediante a participação de um grupo de especialistas.

### **Empresa Estudada**

A empresa objeto deste estudo é uma subsidiária brasileira de empresa multinacional europeia, identificada nesta pesquisa como empresa ALFA, constituindo-se em uma das maiores fornecedoras de sistemas mecânicos e eletrônicos para a indústria aeronáutica internacional, atuando tanto no mercado civil quanto no militar e tendo participação na engenharia de programas aeroespaciais de significativa importância multinacional.

### **Aplicação Prática**

Esta pesquisa foi realizada por meio de análise das constatações feitas durante a execução dos trabalhos de consultoria junto à empresa ALFA, sob as óticas tanto teórica quanto prática, abrangendo as opiniões de especialistas, engenheiros e projetistas, manifestas em seus Relatórios de Engenharia e Atas de Reunião de Análise Crítica dos Projetos, documentos de caráter confidencial, referentes a três projetos de Desenvolvimento de Produtos de Sistemas de Aeronaves, envolvendo as disciplinas de Engenharia Mecânica e Eletrônica (E-M/E), ao longo de aproximadamente dezoito meses.

A maior parte do trabalho de condução e gestão dos projetos foi realizada pelo gerente de projetos, com participação efetiva do gerente de produtos e com o suporte de outras áreas, como engenharia, processos, finanças, vendas, qualidade, operações e tecnologia da informação, dentre outras. Estes projetos chegaram a mobilizar aproximadamente trinta profissionais da empresa, das diversas áreas participantes, com a missão de suportar todo o desenvolvimento dos produtos.

Visando tanto a adequada justificativa pelas eventuais dificuldades no atingimento de metas e cumprimento dos cronogramas dos projetos,

quanto a formação de um banco de dados de lições aprendidas (*lessons learned*), para suportar o desenvolvimento de futuros projetos e a implantação de um programa de Engenharia *Lean* de Sistemas (*Lean System Engineering*), foram incorporadas Listagens de Verificação (*Check Lists*) aos Relatórios de Engenharia e às Atas de Reunião de Análise Crítica dos Projetos, onde as equipes multifuncionais, compostas por especialistas representantes de todas as áreas envolvidas, registravam suas opiniões a respeito de quais Subcategorias de Fontes Mais Evidentes de Desperdícios, ilustradas à Figura 3, haviam atuado nos estágios dos trabalhos que foram completados até as respectivas datas de realização das Reuniões de Análise Crítica dos Projetos. Estas Subcategorias eram, então, tabuladas e registradas sob a forma das Dez Categorias Principais de Fontes Mais Evidentes de Desperdícios.

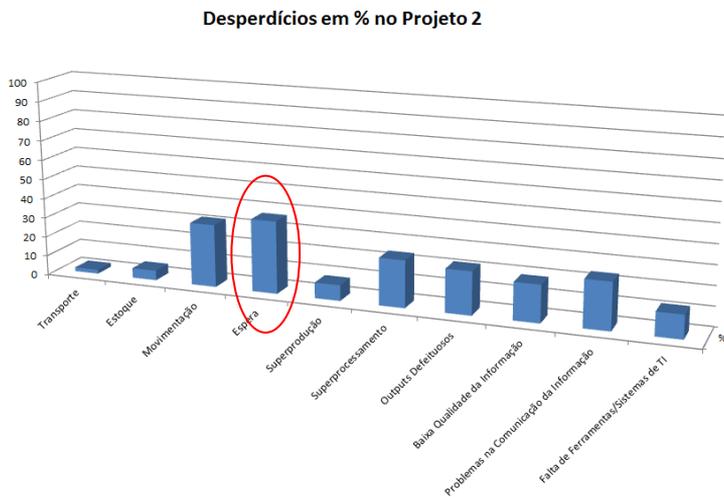
Os dados apurados em todos os *Check Lists* e suas análises preliminarmente efetuadas foram condensados na forma dos gráficos apresentados às Figuras 4, 5 e 6, as quais ilustram a representatividade de cada um dos Dez Desperdícios nos problemas apurados de troca de informações ocorridos nos três projetos analisados, relacionadas as manifestações percebidas (os sintomas) com os possíveis desperdícios que as originaram (as causas), para o que se valeu dos seminiais trabalhos desenvolvidos por Bauch, Oehmen, Graebisch e Lindemann (autores que fazem uma conexão entre as causas de um problema e os tipos de desperdícios).

**Figura 4:** Incidência de Desperdícios - Processos de Trocas de Informações no Projeto 1



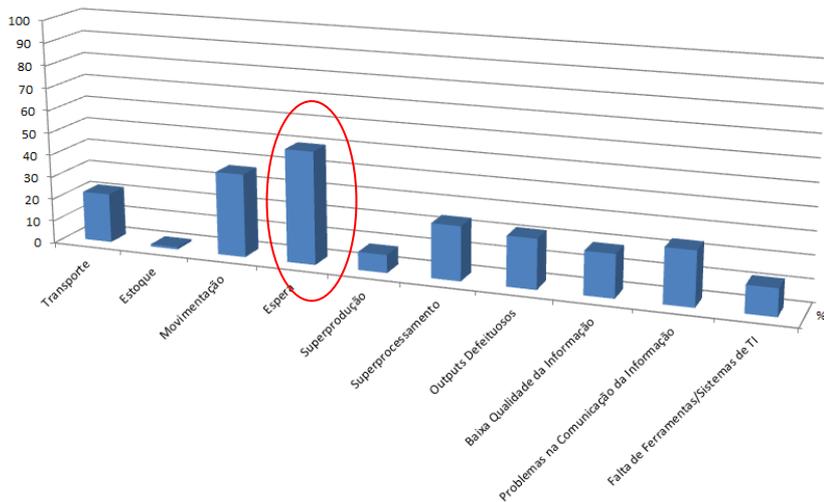
Fonte: Autora (2015)

**Figura 5:** Incidência de Desperdícios - Processos de Trocas de Informações no Projeto 2



Fonte: Autora (2015)

**Figura 6:** Incidência de Desperdícios - Processos de Trocas de Informações no Projeto 3

**Desperdícios em % no Projeto 3**

Fonte: Autora (2015)

**Análise e discussão dos resultados**

Procedendo-se às análises dos *Check Lists* preenchidos nos Relatórios de Engenharia e nas Atas de Reunião de Análise Crítica dos Projetos 1, 2 e 3 supramencionados, tem-se que, em sua totalidade, os itens assinalados como sendo mais impactantes no desempenho dos projetos foram os referentes ao Desperdício de Espera, ou seja, aqueles relativos às seguintes Subcategorias de Fontes Mais Evidentes de Desperdícios, quais sejam:

- Atrasos;
- Pessoas aguardando por informação;
- Informação aguardando por pessoas;
- Processos paralelos não-sincronizados;
- Atividades de longo “*lead time*”; e
- Cronogramas não-realistas.

As Reuniões de Análise Crítica do Projeto foram efetuadas com a participação de uma equipe multidisciplinar de até trinta especialistas, no máximo, com cada um deles preenchendo um *Check List* de Percepção de Impacto das Subcategorias de Fontes Mais Evidentes de Desperdícios, assinalando as alternativas que, em sua percepção, haviam tido maior responsabilidade pelo não-atingimento das metas de desempenho do

projeto, intermediárias e/ou finais, no que concerne a qualidade (escopo), custo e tempo.

Os resultados obtidos para o Projeto 1, representados graficamente à Figura 4, refletem que as Subcategorias referentes ao Desperdício de Espera foram assinaladas como sendo as mais impactantes em 50% dos *Check Lists* preenchidos pelos especialistas, seguidas por aquelas relativas ao Desperdício de Movimentação, assinaladas em 46% dos *Check Lists* e com aquelas concernentes ao Desperdício de Problemas na Comunicação da Informação ocupando a terceira posição, assinaladas em 26% dos *Check Lists*.

Para o Projeto 2, cujos resultados encontram-se representados à Figura 5, tem-se que em 37% dos *Check Lists* preenchidos, as Subcategorias pertinentes ao Desperdício de Espera foram assinaladas como sendo as de maior impacto, com 32% dos *Check Lists* elegendo as Subcategorias relativas ao Desperdício de Movimentação e, obtendo o mesmo percentual assinalado nos *Check Lists*, 24%, equipararam-se as Subcategorias concernentes ao Desperdício de Problemas na Comunicação da Informação àquelas que dizem respeito ao Desperdício de Superprocessamento.

Por sua vez, os resultados para o Projeto 3, representados graficamente à Figura 6, ressaltam, de forma mais evidente, a maior expressividade da participação das Subcategorias referentes ao Desperdício de Espera, com 50% de indicação nos *Check Lists* avaliados, seguindo-se, novamente, por aquelas concernentes ao Desperdício de Movimentação, presentes em 37% dos *Check Lists* analisados, terminando com um “empate técnico” no terceiro lugar, idêntico ao do Projeto 2, representado pelas Subcategorias dos Desperdícios de Superprocessamento e de Problemas na Comunicação da Informação, com 24% cada.

Nestes mesmos gráficos, pode-se perceber os benefícios que resultam da análise estatística para se obter uma imagem confiável de desperdícios nos processos, sendo a tendência exatamente a mesma para todos os três projetos analisados. O desperdício de “Espera” é mostrado como a principal razão da perda de valores no processo de troca de informações entre as disciplinas de engenharia envolvidas. Tal resultado parece estar alinhado com o apresentado na pesquisa realizada em 2014 pelo Estudo de *Benchmarking* em Gerenciamento de Projetos Brasil, segundo o qual, utilizando as respostas obtidas nas classes de frequência da ocorrência dos problemas em “sempre têm” e “têm na maioria das vezes”, 67% das organizações reconhecem ter problemas em alcançar os prazos de seus projetos, sendo que, da mesma forma, 50% tem problemas em não ultrapassar seus custos e finalmente, 32% apresentam problemas para alcançar os padrões de qualidade exigidos para seus projetos (PMI, 2014).

Em seguida, sobressaem-se nos gráficos analisados os desperdícios de "Movimentação", "Problemas na Comunicação da Informação" e "Superprocessamento", os quais também se constituem em seguras oportunidades de melhoria nos projetos vigentes, além de se constituírem em objetivos prioritários para o desenvolvimento e aplicação de medidas de contenção e prevenção de desperdícios.

Lançando-se as bases de uma possível solução para os problemas associados ao majoritário Desperdício de Espera, identificado como o de maior impacto nos três Projetos avaliados e evidenciado tanto em suas manifestações recorrentes quanto no consistente não-atingimento dos objetivos contratados de desempenho, em termos de qualidade (escopo), custo e, principalmente, tempo (*lead time*), tem-se na recomendação de Malotaux (2011), a principal vertente a ser seguida: o Reprojeto do Processo e/ou da organização (conforme ilustrado no Quadro 3).

A solução recomendada, de Reprojeto do Processo e/ou da organização, foi analisada com o suporte da Consultoria contratada para orientar a implementação da *Lean Engineering* na empresa ALFA, e que, com base em sua experiência na condução de processos similares em escala multinacional, recomendou à empresa ALFA a adoção da ferramenta *Stage-Gate*, desenvolvida por Cooper (1990), para que, combinadamente com as reuniões de Análise Crítica dos Projetos, se pudesse garantir uma forma mais cíclica e retroalimentada de se assegurar uma análise adequada de cada fase do desenvolvimento do projeto, garantindo um aumento de eficiência e eficácia no atingimento das metas de desempenho contratadas junto aos seus clientes, notadamente a adesão ao cronograma com estrito acompanhamento dos *lead times* das atividades e aplicação imediata de medidas corretivas e preventivas.

Com os três projetos ainda em andamento, a avaliação da eficácia da solução proposta pôde ser confirmada por meio do acompanhamento dos resultados parciais de desempenho, expressados na forma de percentual de desvio em relação às metas pretendidas em cada reunião de Análise Crítica efetuada. Em linhas gerais, os resultados parciais obtidos até o momento, antes e depois da implementação da ferramenta *Stage-Gate*, correspondem aos mostrados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Resultados Parciais de Desempenho: Antes e Depois da Aplicação de *Lean Engineering* e *Stage-Gate* (em % de Desvio em Relação às Metas)

	Projeto 1		Projeto 2		Projeto 3	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
Qualidade/Escopo	-20%	+5%	-25%	-5%	-15%	+10%
Custo	+15%	+10%	+20%	+5%	+15%	-5%
Tempo	+30%	+5%	+10%	0%	+35%	-10%

Fonte: Autora, 2015

Em linhas gerais, a implementação do *Stage-Gate*, após a aplicação das técnicas de *Lean Engineering* para identificação do principal Desperdício que impactava o desempenho nos três projetos analisados, trouxe melhorias significativas nos Resultados Parciais de Desempenho obtidos até o momento, quais sejam:

- Para o **Projeto 1** foram melhorados os resultados de Qualidade/Escopo em 25%, passando-se de uma avaliação de que o projeto, como um todo, estava 20% aquém das metas de desempenho, para uma avaliação de que o mesmo superou em 5% as metas estabelecidas para o período analisado. Da mesma forma, os resultados de Custo apresentaram uma redução de 5%, passando de um sobrecusto de 15% em relação às metas de desempenho para um sobrecusto de 10%, enquanto que os resultados de Tempo indicaram uma redução no *lead time* total, até o momento, de 25%, apesar do projeto ainda se apresentar 5% atrasado em relação ao prazo total contratado.

- Para o **Projeto 2** os resultados de Qualidade/Escopo apresentaram uma melhoria de 20%, partindo-se de uma avaliação de que o projeto se encontrava 25% aquém das expectativas de desempenho, para uma avaliação de que o mesmo ainda não atendia às metas estabelecidas em somente 5%, para o período analisado. Por sua vez, os resultados de Custo apresentaram uma significativa redução de 15%, reduzindo-se o sobrecusto inicial de 20% em relação às metas de desempenho para cerca de 5%, com uma igualmente significativa redução nos resultados de Tempo, recuperando-se o atraso inicialmente avaliado de 10% em relação ao *lead time* contratado.

- Em relação ao **Projeto 3** foram obtidos os melhores resultados em todos os indicadores de Desempenho avaliados, com uma melhoria de 25% nos resultados de Qualidade/Escopo, evoluindo-se de uma avaliação negativa de 15% para uma positiva de 10%, superando-se as metas estabelecidas para o período. Igualmente, os resultados de Custo totalizaram uma melhoria de 20%, não somente se eliminando um sobrecusto de 15% em relação às metas de desempenho como também atingindo uma redução de 5% em relação às metas para o período avaliado. Mas foi em relação aos resultados de Tempo que foram obtidos os valores de maior

impacto, indicando uma redução no *lead time* total, até o momento, de 45%, não somente se recuperando o atraso inicial de 35% mas ainda se conseguindo finalizar as atividades planejadas em prazos 10% menores do que aqueles originalmente contratados.

## Considerações finais

Hoje em dia é essencial se reduzir os tempos de desenvolvimento de produtos. Isso permite que a empresa esteja um passo à frente da concorrência e responda rapidamente às necessidades dos seus clientes. Para tanto, os processos de desenvolvimento de produto tiveram suas atividades colocadas em paralelo, executadas concomitantemente, usando-se a Engenharia Simultânea. No entanto, este método também implica em uma complexa troca de informações entre disciplinas e departamentos, o que pode se constituir em uma desvantagem.

Problemas de troca de informações têm um importante impacto sobre a eficiência dos engenheiros e projetistas que trabalham no processo de desenvolvimento do produto. Quanto mais problemas existirem no compartilhamento de informações, tanto mais longos serão os tempos de desenvolvimento de produtos que dependem das mesmas.

As causas possíveis são, por exemplo, iterações desnecessárias, a falta de comunicação e tarefas supérfluas, dentre outras. Se estes problemas de troca de informações não puderem ser precisamente identificados, implicarão na redução da eficiência da engenharia simultânea para o processo de desenvolvimento do produto.

A *Lean Manufacturing*, da Toyota, já se consagrou para a indústria. O desenvolvimento de produto não está interessado no manuseio de materiais, mas na geração e no processamento de informações. Por esta razão, o desenvolvimento de produtos é uma "fábrica geradora de informação" (BAUCH, 2004). Assim, foi importante se estabelecer, inicialmente, uma definição clara do papel da informação no desenvolvimento de produtos.

Um desafio para este trabalho foi a aplicação da Filosofia *Lean* e, em particular, a identificação das categorias de desperdícios, no Desenvolvimento de Produtos. De acordo com a literatura, existe uma relação entre os Desperdícios da *Lean Manufacturing* (com material) e os Desperdícios da *Lean Engineering* (com informações). As definições das categorias de desperdícios são, no entanto, diferentes, dependendo dos diferentes autores e dos igualmente diferentes tipos de indústrias e produtos. Portanto, dez categorias de desperdícios foram compiladas para utilização neste conceito, permitindo a categorização das causas dos problemas de intercâmbio de informações.

Para identificar as causas foi importante se definir, primeiramente, o método de coleta de dados, o qual levou em conta a opinião de engenheiros especialistas e projetistas manifesta em seus relatórios de engenharia e atas de reunião de Análise Crítica dos Projetos estudados, cujos “*check-lists*” respondidos se constituíram em valiosa fonte de dados para a consecução deste artigo.

Depois de várias análises dos três projetos estudados, os resultados foram classificados utilizando-se as categorias de desperdícios e exibidos em gráficos de barras. Nestes, o desperdício de “Espera” foi identificado como o principal problema na troca de informações entre as áreas das diferentes disciplinas envolvidas no processo de desenvolvimento de produtos complexos de sistemas aeronáuticos. O conceito permitiu a aplicação de métodos de Agregação de Valor para reduzir os desperdícios, ao identificá-los com os seus parâmetros. A aplicação das melhorias compreendeu as recomendações das práticas classificadas como Capacitadoras e Sub-capacitadoras para a *Lean Engineering*, em uma periodicidade ciclicamente melhor definida e com sistematização da retroalimentação, sugerindo-se a adoção da ferramenta *Stage-Gate*, de Cooper (1990), de modo a assegurar uma forma mais cíclica e retroalimentada para se analisar adequadamente cada fase do desenvolvimento do projeto. A análise comparativa dos Resultados Parciais de Desempenho nos Fatores de Sucesso (qualidade/escopo, custo e tempo) dos três projetos estudados, com dados de antes e depois da implementação das melhorias, ilustram os efeitos positivos da aplicação da *Lean Engineering* na identificação do principal desperdício (Espera) que originava os problemas na troca de informações no Desenvolvimento de Produtos Complexos, bem como na bem-sucedida indicação da Ferramenta *Stage-Gate* para se atuar, corretiva e preventivamente, no combate à causa-raiz destes problemas.

## Referências

- BAUCH, C.; **Lean product development: making waste transparent.** Munich, 2004. 140p. Tese (Doutorado) - Technical University of Munich.
- BERTERO, C. O.; BINDER, M. P.; VASCONCELOS, F. C. (2005). **Estratégia empresarial: a produção científica brasileira entre 1991 e 2002.** In C. O. Bertero, M. P. Caldas, & T. Wood Jr. *Produção científica em Administração no Brasil: O estado-da-arte* (pp. 18-34). São Paulo: Atlas.
- BJÖRK, B-C., 2003, **Electronic Document Management in Construction - Research Issues and Results.** ITcom Vol. 8.

CHAFFEY, D.; WOOD, S.; 2004, **Business Information Management: Improving Performance Using Information Systems**. FT Prentice Hall.

CHRISTIAN, A.D.; SEERING, W.P.; 1995, **A model of information exchange in the design process**.

CLARK, K.B.; FUJIMOTO, T.; **Product Development Performance: Strategy, Organization, and Management in the World Auto Industry**. Boston; Harvard Business School Press, 1991.

COOPER, R.G. **Stage-Gate System: a new tool for managing new products**. Business Horizons, v. 33, n. 3, p. 44-54, 1990.

COSTA, C.A.; YOUNG, R.I.M.; 2001, **Product range models supporting design knowledge reuse**.

CRESWELL, J. W.; 2007, **Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches**. 2<sup>nd</sup> ed. Thousand Oaks, CA: Sage. Denzin, NK.

DIETEL, J.E.; 2000, **Improving corporate performance through records audits, information management journal**.

EPPINGER, S. D.; BROWNING, T. R.; 2012, **Design Structure Matrix Methods and Applications**. The MIT Press, Cambridge.

ERNST, H.; 2002, **Success factors of new product development: A review of the empirical literature**. International Journal of Management Review, v.4, 1-40.

GARZA, L.A., **Integrating lean principles in automotive industries: breaking down barriers in culture and process**. M. Sc. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Thesis Supervisor: Deborah Nightingale, 2005.

GORDON, T. J.; **The Delphi Method**. AC/UNU Millennium Project, 1994.

GRAEBSCH, M.; 2005, **Information and communication in Lean product development**.

HINES, P.; 2001, **Value stream management: The next frontier in Supply Chain Management**. Taylor D. and Brunt D. (eds.) - Manufacturing Operations and Supply Management, Thomson Learning: 339-361.

HOPPEN, N.; MEIRELLES, F. S. (2005). **Sistemas de informação: a pesquisa científica entre 1990 e 2003**. In C. O. Bertero, M. P. Caldas, & T. Wood Jr. Produção científica em Administração no Brasil: O estado-da-arte (pp. 147-164). São Paulo: Atlas.

INCOSE; 2010, **Lean enablers for systems engineering**. Internet: <http://www.leanssc.org/files/201004/powerpoint/4.22%203.45pm%20Oppeheim%20LeanEnablersForSystemsEngineering.pdf>

INCOSE; 2004, **Systems Engineering Handbook v2a**, Version 2a.

KOSSIAKOFF, A.; SWEET, W.N.; SEYMOUR, S.J.; BIEMER, S.M.; 2011, **Systems Engineering principles and practice**. Second edition, John Wiley, CA.

LINDEMANN, U.; 2012, **Adaptiv Entwicklungsmethodik Wissenschaftliche Bachelorarbeit 61**. Internet URL: [http://www.pe.mw.tum.de/studium/vorlesungen/adaptiv-bionischelosungsprinzipien-fur-gebaudehullen-1/adaptiv\\_ose12\\_vo\\_02\\_entwicklungsmethodik.pdf](http://www.pe.mw.tum.de/studium/vorlesungen/adaptiv-bionischelosungsprinzipien-fur-gebaudehullen-1/adaptiv_ose12_vo_02_entwicklungsmethodik.pdf), acessado em Abril de 2015.

LOCH, C.; TERWIESCH, C.; 1998, **Product development and concurrent engineering**; INSEAD.

LOWE, A.; McMAHON, C.; CULLEY, S.; 2004, **Characterizing the requirements of engineering information systems**. Internet URL: <http://www.deepdyve.com/lp/elsevier/characterising-the-requirements-of-engineering-information-systems-pTk3hOaY2v/1>

MALOTAUX, N.; 2011, **Lean for Systems Engineering**. In SyEn newsletter #35. Internet URL: <http://www.ppi-int.com/newsletter/SyEN-035.php>

McMANUS, H.; HAGGERTY, H.; MURMANN, A.; 2005, **Lean Engineering: Doing the Right Thing Right**. Sciences, CEIAT, Queen's University Belfast.

MOIR, I.; SEABRIDGE, A.; 2004, **Design and development of aircraft systems, an introduction**.

MORGAN, J.M.; LIKER, J.K.; 2006, **The Toyota Product Development System Process and Technology**. Productivity Press, New York.

MURMAN, E.; ALLEN, T.; BOZDOGAN, K.; CUTCHER-GERSCHENFELF, J.; McMANUS, H.; NIGHTINGALE, D.; REBENTISCH, E.; SHIELDS, T.; STAHL, F.; WALTON, M.; 2002, **Lean Enterprise value: Insights from MIT's Lean Aerospace Initiative**.

OEHMEN, J.; REBENTISCH, E.; 2010, **Waste in Lean product development**.

OEHMEN, J. (Ed.); 2012, **The Guide to Lean Enablers for managing Engineering Programs, Version 1.0**. Cambridge, MA: Joint MIT-OMI-INCOSE Community of Practice on Lean in Program Management. URL: <http://hdl.handle.net/1721.1/70495>, acessado em Julho de 2015.

OPPENHEIM, B.W.; MURMAN, E.M.; SECOR, D.A.; 2010, **Lean enablers for systems engineering**.

OPPENHEIM, B.W.; 2004, **Lean Product Development Flow - Systems Engineering**, Vol.7, No.4., 2004, pp 352-376.

PACHECO, R. S. (2005). **Administração pública: a produção científica veiculada nas revistas especializadas - 1995-2002**. In C. O. Bertero, M. P. Caldas, & T. Wood Jr. *Produção científica em Administração no Brasil: O estado-da-arte* (pp. 86-99). São Paulo: Atlas.

PMI. **Estudo de Benchmarking em Gerenciamento de Projetos Brasil**. Chapters Brasileiros. Website: <http://www.pmsurvey.org>, 2014.

SEIDEL, R.; 2001, **Lerngruppe Marcopolo**, Systems Engineering.

SEXTONE, M.; 1998, **Systems Engineering's essentials (in Aerospace)**. NASA Langley Research Center.

SILVA, E.L.; MENEZES, E.M.; **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4ª. Ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

SODERBERG, L.G.; 1989, **Facing up to the engineering gap**. The McKinsey Quarterly, Spring: 3-23.

STARCK, J.; 2011, **Product lifecycle management**. 21<sup>st</sup> Century Paradigm Realisation, 2<sup>nd</sup> edition.

TERWIESCH, C.; LOCH, C.H.; DE MEYER, A.; 2002, **Exchanging preliminary information in concurrent engineering, alternative coordination strategies**. Journal

Organization Science, Volume 13 Issue 4, July 2002, pages 402-419, INFORMS Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS), Linthicum, Maryland.

TONELLI, M. J.; CALDAS, M. P.; LACOMBE, B. M. B.; TINOCO, T. (2005). **Recursos humanos: a produção científica no Brasil entre 1991 e 2000**. In C. O. Bertero, M. P. Caldas, & T. Wood Jr. *Produção científica em Administração no Brasil: O estado-da-arte* (pp. 50-66). São Paulo: Atlas.

ULLMAN, D.G.; **The mechanical design process**. The McGraw-Hill, Inc., 2003.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T. **A Mentalidade Enxuta nas Empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. RJ: Elsevier, 2004.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. RJ: Campus, 1992.