



# ConBRepro

XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



01 a 03  
de dezembro 2021

## Estudo Da Aplicação De Ferramentas De Wcm No Projeto Baja Sae

**José Tomadon Júnior**

Departamento Acadêmico de Ciências Sociais e Humanas - Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Campus Cornélio Procópio

**Felipe de Oliveira**

Departamento Acadêmico de Mecânica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Cornélio  
Procópio

**Fernanda Malacarne Huff.**

Departamento Acadêmico de Elétrica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Cornélio  
Procópio

**Natalia Zani**

Departamento Acadêmico de Elétrica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Cornélio  
Procópio

**Resumo:** O trabalho focou-se no estudo e aplicação de ferramentas da metodologia World Class Manufacturing em um programa baja SAE (equipe Procobaja UTFPR-CP). Foi desenvolvido no trabalho três pilares da metodologia: desdobramento de custos, melhoria focada e desenvolvimento de pessoas. Estas ferramentas foram utilizadas para definir e priorizar um cronograma de capacitação para os membros da equipe, baseados nas perdas que mais impactaram seu desempenho nas últimas competições. Para isto, foram realizadas quatro etapas principais. Primeiro, foi desenvolvido um inventário de conhecimento, mapeado as competências necessárias à equipe e atualizado os respectivos níveis de conhecimento. Em seguida, mapeado e classificado as perdas nas últimas competições da equipe, através do pilar de desdobramento de custos. A seguir, foi identificado as competências relacionadas com cada perda e por último, desenvolvido um plano de capacitação para o time. Durante o trabalho, constatou-se que a equipe possui diversas lacunas de conhecimento que poderiam trazer melhores resultados nas competições. Espera-se que com a execução das capacitações do cronograma, haja uma diferença menor entre o conhecimento atual da equipe e as metas previstas no inventário de conhecimento.

**Palavras-chave:** Baja SAE. Desdobramento de custos. Melhoria focada. Desenvolvimento de pessoas. Manufatura de classe mundial.

# Study of the application of WCM tools in Baja SAE

**Abstract:** The purpose of this work is to study and apply tools from the WCM methodology in a baja SAE team. The team used to the study was Procobaja, that represents the Federal Technological University of Paraná, from Cornélio Procópio. Three pillars of the methodology were developed in the work: cost breakdown, focused improvement and people development. These tools were used to define and prioritize a training schedule for team members, based on the losses that most impacted their performance in recent competitions. For that, four main steps were carried out. First, a knowledge inventory was developed, mapping the skills needed by the team and updating the respective knowledge levels. Then, the losses in the team's last competitions were mapped and classified through the cost breakdown pillar. Next, the competencies related to each loss were identified and, finally, a training plan was developed for the team. During the work, it was found that the team has several knowledge gaps that could bring results in competitions. It is expected that with the execution of the schedule capabilities, there will be a smaller difference between the current knowledge of the team and the goals foreseen in the knowledge inventory.

**Keywords:** Baja SAE. Cost deployment. Focused Improvement. People Development. World Class Manufacturing.

## 1. Introdução

Com o objetivo de disseminar a tecnologia e o progresso da mobilidade, a SAE Brasil (Society of Automotive Engineers) é responsável por organizar simpósios, cursos, eventos técnicos e competições estudantis voltadas à engenharia da mobilidade. Dentre os programas administrados pela SAE, o Baja foi o primeiro programa estudantil organizado por tal instituição, com o objetivo de fomentar a aplicação de conhecimentos teóricos de engenharia através da construção de um veículo *off road*.

Atualmente são organizadas 2 competições oficiais por ano em âmbito nacional e regional. Estas competições avaliam a adesão dos projetos ao regulamento, o desempenho dos veículos em obstáculos, e os conceitos de engenharia utilizados no projeto onde são realizadas avaliações dinâmicas, de projeto e de áreas de suporte, como marketing, finanças e gestão da equipe.

O estudo em questão foi realizado na equipe Procobaja da Universidade Tecnológica Federal do Paraná no campus Cornélio Procópio que, atualmente, tem como foco de suas atividades a otimização de seu segundo protótipo, e a construção de fluxos para a melhoria da gestão de atividades.

A metodologia World Class Manufacturing é constituída por conceitos do *Lean Manufacturing*, *Total Productive Maintenance*, *Total Quality Control*, *Total Industrial Engineering* e *Just in Time*. Sua aplicação tem como foco as pessoas, para que assim sejam atingidos os zero defeitos, zero quebras e zero perdas. Sua estrutura é constituída em 10 pilares técnicos e 10 pilares gerenciais, que são divididos em diferentes áreas.

Dessa maneira o objetivo do trabalho foi a aplicação de 3 pilares da metodologia WCM: desdobramento de custos, melhoria focada e desenvolvimento de pessoas. Através do presente trabalho serão avaliados os níveis de conhecimento da equipe e identificadas as principais perdas da equipe durante as competições para que seja feita a construção de um cronograma de capacitação para a equipe.

## 2. Revisão de literatura

### 2.1 Manufatura enxuta

De acordo com o Lean Institute, a manufatura enxuta é uma estratégia de negócios que busca aprimorar a satisfação dos clientes por meio da melhor utilização de recursos, e fornecer mais valor com custos mais baixos através da melhoria dos fluxos produtivos.

O pensamento enxuto, presente na metodologia Lean, de acordo com o *Lean Institute*, tem cinco princípios base que resumem o seu significado: Valor, Fluxo de Valor, Fluxo Contínuo, Produção Puxada e Perfeição.

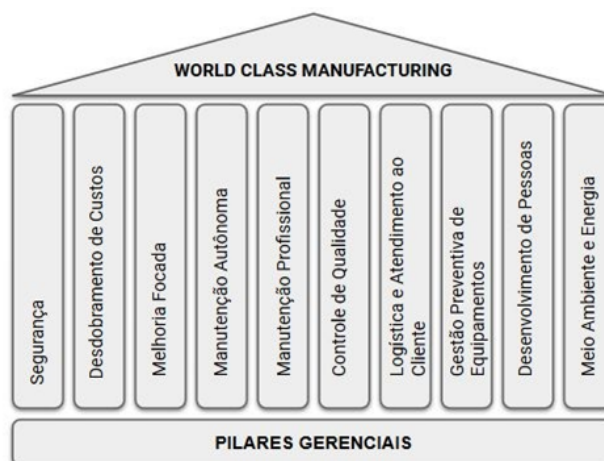
Além dos princípios que servem como base para a implementação da filosofia *Lean*, de acordo com Ohno (1997) foram definidos 7 tipos de desperdícios que podem ser identificados em um processo produtivo: produção em excesso, espera, processamento desnecessário, estoque, transporte, movimentação e correção.

### 2.2 Manufatura de Classe Mundial

Introduzido por Hayes e Wheelwright (1984), o termo “classe mundial” se refere às competências desenvolvidas pela indústria japonesa e alemã com a finalidade de competir nos mercados de exportação. Sendo que uma empresa considerada de classe mundial apresenta melhoria contínua e agilidade em todas as áreas (Schonberger (1986))

De acordo com Yamashina, a estrutura da metodologia World Class Manufacturing é composta por 10 pilares técnicos que são sustentados por 10 pilares gerenciais, como é possível observar na figura 1. Três destes pilares técnicos atuam como direcionadores para projetos de redução de custos, qualidade e segurança.

Figura 1 - Estrutura da metodologia World Class Manufacturing



Fonte: Adaptado de Yamashina (2012)

Dentro das técnicas utilizadas por cada pilar, estão conceitos amplamente utilizados como o *Total Quality Control* (TQC), *Total Productive Maintenance* (TPM), *Total Industrial Engineering* (TIE) e *Just in Time* (JIT). Estes conceitos atuam como base para a atuação dos principais pilares técnicos da metodologia.

De acordo com Yamashina (2012), os pilares técnicos trabalham através da utilização de ferramentas, que são classificadas entre básicas, intermediárias e avançadas, a escolha das ferramentas é definida a partir do entendimento dos objetivos e das características de

cada projeto. Além da utilização de ferramentas, os pilares possuem atividades sistêmicas, com a finalidade de alterar as condições e a cultura da área de atuação.

O trabalho terá como foco três pilares técnicos, desdobramento de custos, melhoria focada e desenvolvimento de pessoas. Segundo Yamashina (2012), estes pilares formam o *Golden Triangle*, responsável por priorizar, capacitar e apoiar a organização em projetos de melhoria.

O pilar de desdobramento de custos é responsável por direcionar os recursos de uma organização. Já o pilar de melhoria focada, é direcionado ao ataque das maiores perdas identificadas por desdobramento de custos, além disso, o pilar é responsável por apoiar a empresa com as ferramentas disponíveis para a realização de projetos. A missão do pilar de desenvolvimento de pessoas é capacitar os colaboradores de uma empresa com as competências adequadas, para que estas pessoas atuem de maneira autônoma na melhoria contínua de seus processos. Para uma capacitação efetiva, é necessário uma análise de perfil e estilo de aprendizagem, além de saber onde é necessário a capacitação, para isso, é utilizado o inventário de conhecimento, onde são designadas notas para cada item, sabendo-se assim onde é necessário a construção e desenvolvimento de treinamentos.

Sabe-se também que através do cumprimento de todos pilares gerenciais é esperado que a gestão esteja comprometida com a implementação das atividades do WCM, que os objetivos da implementação sejam claramente definidos e compartilhados com todos, e que a partir destes seja criado um plano de atividades de WCM. Além disso, a gerência deve garantir a alocação de pessoas capacitadas para cada área, com conhecimento para aplicar os métodos e ferramentas da metodologia de forma correta.

O compromisso gerencial também deve ser financeiro, para aplicação dos recursos de maneira correta. que os recursos necessários para transformação sejam alocados da maneira correta, levando em consideração o retorno que a metodologia traz para a empresa.

## 2.3 Ciclo LUTI

Ciclo LUTI é um método de aprendizagem que faz parte da metodologia World Class Manufacturing (Yamashina,2008) que significa:

- Aprender (*Learn*): As pessoas precisam ser introduzidas a um novo conhecimento através do ensino;
- Usar (*Use*): o uso faz com que haja uma evolução no conhecimento adquirido através do ensino teórico;
- Ensinar (*Teach*): Através do ensino de um determinado assunto, as pessoas atingem um novo nível de domínio sobre o mesmo;
- Inspeccionar (*Inspect*): após a detenção do domínio do assunto, as pessoas são inspeccionadas. Neste ponto procura-se identificar pontos de melhoria e assim inicia-se novamente o ciclo LUTI .

### 3 Materiais e métodos

O projeto foi elaborado em 5 etapas: Mapeamento do nível de conhecimento; Implementação do ciclo LUTI (Learn, Use, Inspect, Teach); Identificação e valorização das perdas; Definição das competências necessárias e Plano de capacitação.

#### 3.1 Mapeamento do nível de conhecimento

O método utilizado foi o inventário do conhecimento, utilizado na metodologia WCM. Inicialmente foram passados os conceitos do método para a gestão da equipe, que capacitou os líderes de cada subsistema, após a capacitação, todos os líderes identificaram as competências necessárias para a otimização do projeto.

Para a etapa de construção do inventário de conhecimento, inicialmente foram identificadas as competências necessárias para o desenvolvimento do projeto, no total foram mapeadas 113 competências organizadas em 11 grupos.

Após a definição das competências, foi iniciada a etapa de construção das metas de conhecimento para cada membro da equipe, com base nos cinco níveis de conhecimentos propostos pela metodologia WCM. Feito isto, cada membro da equipe recebeu uma meta individual baseada na função ocupada dentro do projeto.

Por fim, o inventário de conhecimento foi disponibilizado para todos os membros da equipe, que foram responsáveis por realizar uma autoavaliação do nível de conhecimento atual em cada competência mapeada. Com sua conclusão, foram realizadas análises, a fim de identificar pontos de melhoria relacionados ao nível de conhecimento da equipe. Inicialmente foram comparados os níveis de conhecimento atual e metas de todas as competências, através da Equação 1:

$$\text{Aderência a Meta} = (\sum Ca)/(\sum Cm) \quad (1)$$

*Sendo que:*

$Ca$  = *Nível de Conhecimento Atual*

$Cm$  = *Meta de Nível de conhecimento*

O fator  $Ca$  é calculado a partir da soma de todos os níveis de conhecimento atuais inseridos no inventário de conhecimento e o fator  $Cm$  é calculado a partir da soma de todas as metas de nível de conhecimento individual inseridas no inventário do conhecimento.

Com as competências já identificadas, foi possível construir uma planilha, onde foram armazenados os dados de todos os membros do time. Para cada membro, foram definidas metas de conhecimento de acordo com sua área de atuação e posição atual na equipe.

Por fim, foram feitas as atualizações, com o nível atual dos membros em cada competência, os níveis de conhecimento foram definidos inicialmente através de uma autoavaliação.

#### 3.2 Implementação do ciclo LUTI

Com a implementação do inventário de conhecimento, fez-se necessária a utilização do ciclo LUTI para a avaliação máxima em uma competência. Para que assim a disseminação do conhecimento entre a equipe ocorresse com maior frequência. Assim,

foram ministrados treinamentos onde foram explicados os conceitos e objetivos do ciclo, além disso, foi definido um modelo padrão que deve ser enviado para a gestão da equipe, com evidências que comprovem a conclusão do ciclo.

### 3.3 Identificação e Valorização das Perdas

Inicialmente, foi definido o período de aquisição das perdas, como o projeto baja SAE segue um modelo de produção semelhante ao *Engineer to Order* e tem seus projetos atualizados com frequência, foi definido o período de um ano para o mapeamento das perdas (02/2019 a 02/2020).

Durante o período definido a equipe participou de 3 competições, duas nacionais e uma regional. A identificação das perdas foi feita em conjunto com a equipe de gestão, através de *brainstorms*, que avaliou a criticidade, suas respectivas relações com outras perdas e seu impacto no desempenho do protótipo, seguindo a metodologia dos 4 passos iniciais do pilar de desdobramento de custos.

Após a identificação das perdas, a etapa de valoração foi executada, o critério utilizado para a quantificação foi o número de pontos perdidos pela equipe em razão da perda ocorrida, porque ao contrário de empresas tradicionais, onde o desempenho e o impacto são medidos financeiramente, a equipe tem foco nas competições, que tem seu desempenho avaliado por pontos.

**Tabela 1 - Distribuição de Pontos de uma Competição Baja SAE Brasil**

<b>Avaliação de Projeto - 320 Pontos</b>	
Relatório de Projeto	120 Pontos
Avaliação de Projeto Dinâmico	20 Pontos
Apresentação de Projeto + Final de Projeto	180 Pontos
<b>Eventos Dinâmicos - 280 Pontos</b>	
Aceleração	45 Pontos
Retomada	45 Pontos
Tração	45 Pontos
Super Prime	30 Pontos
Suspensão	70 Pontos
Manobrabilidade	45 Pontos
<b>Enduro de Resistência - 400 pontos</b>	
Pontuação total	1000 Pontos

**Fonte: SAE Brasil (2018)**

Para melhor ilustrar o método de valoração das perdas é possível citar o seguinte exemplo. Supõe-se que durante uma competição, uma falha mecânica na suspensão do protótipo fez com que a equipe não pudesse participar do enduro, nesta situação o valor adotado para a perda seria de 400 pontos, valor total de pontos perdidos pela equipe em razão da perda ocorrida.

Assim, foi possível gerar o gráfico de Pareto com as maiores perdas identificadas, e iniciar o trabalho para a construção do plano de capacitação dos membros da equipe.

### 3.4 Definição das competências necessárias

Antes da construção do plano de capacitação, fez-se necessária a identificação das competências necessárias para a resolução das perdas. Esta identificação foi feita através de discussões em conjunto com a equipe de gestão, utilizando as competências já mapeadas no inventário do conhecimento.

### 3.5 Plano de capacitação

Para a construção do plano de capacitação foram levados em consideração 3 critérios, a priorização da perda no gráfico de Pareto, o nível de conhecimento destas competências dentro da equipe e a quantidade de membros com necessidade de aprimoramento na competência.

O plano de treinamentos foi construído para o período de 4 meses, e foram levados em consideração os estilos de aprendizagem dos participantes, a fim de aumentar a retenção dos conhecimentos apresentados.

### 4. Análise de resultados

A análise do inventário do conhecimento nos permitiu calcular a aderência a meta, considerando o nível de conhecimento atual e a meta do nível de conhecimento,  $Ca = 2872$  e  $Cm = 3884$ , obteve-se uma aderência de 73,94%. Através deste valor é possível identificar a necessidade de desenvolvimento nos níveis de conhecimento da equipe. Além da análise geral de aderência às metas, foram realizadas análises pontuais em competências consideradas essenciais para o funcionamento do projeto e os resultados obtidos para a aderência a meta que podem ser observados na tabela 2:

**Tabela 2 – Aderência a meta de conhecimento**

<b>Competências</b>	<b>Ca</b>	<b>Cm</b>	<b>Aderência a Meta</b>
Dinâmica Veicular	104	152	68,88%
Regulamento Técnico e Administrativo	135	196	68,42%
Software CAD 3D SolidWorks	133	189	70,37%

Fonte: Autoria própria

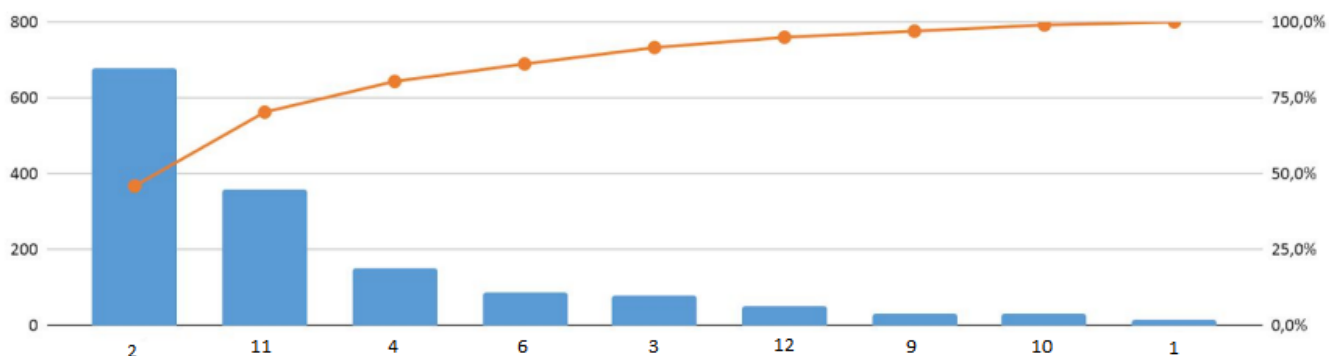
A análise dos dados mostra que mesmo em competências básicas existe uma divergência entre o nível de conhecimento considerado ideal (Meta) e o nível atual.

Na identificação das perdas foram mapeadas 12, sendo elas:

1. Falha no Motor (fundido);
2. Problemas dinâmicos (falta de altura);
3. Falha no conjunto de suspensão;
4. Falha de fabricação (Estrutura fora do Regulamento);
5. Desacoplamento do semi eixo;
6. Vazamento do Fluido de Freio;
7. Tubo estrutural interrompido;
8. Tubo amassado;
9. Queda da pastilha de freio;
10. Amassamento da bandeja dianteira traseira;
11. Cisalhamento da bandeja traseira inferior esquerda;
12. Quebra do tubo flexível do sistema de freio.

Para classificar estas perdas foram identificados os pontos perdidos devido a cada uma e através do gráfico de Pareto obtivemos o seguinte resultado (Figura 6).

**Figura 6 - Gráfico de pareto das perdas**



Fonte: Autoria Própria

A figura 6 nos mostra que as perdas com maior impacto no desempenho da equipe durante as competições, 80,4% da pontuação total mapeada são: Problemas dinâmicos (Altura Ineficiente), quebra da bandeja da suspensão e falha de fabricação (*Recheck Estrutural*). Estes problemas representaram a perda de 1.190 pontos de 3.000 disputados. A correção destes problemas representaria uma melhora significativa no desempenho da equipe durante as competições.

Com o inventário de conhecimento e a valoração de perdas foi possível relacionar as competências e perdas na tentativa de identificar a causa raiz das perdas. Como resultado, foram analisadas todas as 12 perdas mapeadas e relacionadas 14 competências, conforme apresentado na tabela 3:

Tabela 3 - Relação entre perdas identificadas e competências

Perda	Competência(s) Necessárias
Quebra da Bandeja Inferior Esquerda	5W1H, Análise de Elementos Finitos FMEA, Resistência dos materiais
Motor Fundido	Conhecimentos gerais de Motores à Combustão, Funcionamento do Motor Briggs & Stratton 10 HP
Problemas dinâmicos (Falta de altura)	Dinâmica Veicular, Geometria de Suspensão
Estrutura fora do Regulamento (Penalização)	Regulamento, Solda TIG, Lixadeira
Desacoplamento do semi eixo	Geometria de Suspensão, Software CAE
Vazamento do Fluido de Freio	Montagem do sistema de Freio, Mecânica dos Fluidos
Queda da Pastilha de Freio	Montagem do sistema de Freio.
Amassamento da Bandeja traseira superior direita	Geometria de suspensão. Diagrama de Ishikawa, Vibrações, Resistência dos Materiais
Cisalhamento da Bandeja traseira inferior esquerdo	Geometria de Suspensão, Diagrama de Ishikawa, Vibrações e Resistência dos Materiais.
Quebra de tubo flexível do sistema de Freio	Montagem do sistema de Freio, Mecânica dos Fluidos, Resistência dos Materiais

Fonte: Autoria própria

Com esta relação entre competências e perdas foram identificadas quais capacitações eram necessárias, e assim, possibilitar a construção do cronograma de capacitação. Para a construção do cronograma foram consideradas as perdas mais críticas identificadas no Gráfico de Pareto (Fig. XXXX) e informações presentes no inventário de conhecimento. Dessa forma 8 competências foram priorizadas:

- Dinâmica Veicular;
- Conceitos de Geometria de Suspensão;



- Utilização de Ferramentas (Lixadeira)
- Resistência dos Materiais;
- Vibrações Mecânicas;
- Regulamento RATBSB;
- Soldagem por Eletrodo;
- Soldagem MIG.

Após a priorização, foram feitas análises com a finalidade de identificar quais competências poderiam ser unificadas em um único treinamento. Tendo como base a quantidade de conteúdo que poderia ser apresentado e a relação entre os assuntos. Com isto, as competências de soldagem por eletrodo e MIG foram unificadas por se tratarem de assuntos correlatos.

Por fim, foram definidos 7 treinamentos para aumentar o nível de conhecimento da equipe em competências relacionadas às principais perdas. O cronograma desenvolvido está apresentado na tabela 4.

1. Dinâmica Veicular
2. Geometria de Suspensão
3. Resistência dos Materiais
4. Vibrações Mecânicas
5. Regulamento RATBSB
6. Soldagem
7. Processos de Fabricação

**Tabela 4 - Cronograma de atividades.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Data (mês)/ Treinamento	08				09				10				11
Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													

A diferença de tempo entre a conclusão do trabalho e a execução do cronograma de treinamento se dá devido a necessidade de desenvolvimento dos responsáveis por ministrar a capacitação. É esperado que até o período de execução dos treinamentos os responsáveis tenham realizado as duas etapas iniciais do ciclo LUTI, que são, aprender (Learn) e usar (Use). A finalização do ciclo irá ocorrer após a conclusão dos treinamentos, com a inspeção das pessoas recém capacitadas.

## 5. Conclusão

Com a realização do trabalho foi possível identificar através da utilização do inventário de conhecimento, que a equipe não possui pessoas com as competências consideradas essenciais para o desenvolvimento do projeto. E que através da utilização do inventário de conhecimento é possível identificar quais competências e pessoas precisam ser

desenvolvidas, através disto, se faz viável a contratação de pessoas ou serviços com conhecimentos específicos, previamente identificados no inventário.

Através do mapeamento e quantificação das perdas, foi possível identificar que o desempenho da equipe foi afetado em sua maioria por 3 perdas, em um total de 12 reconhecidas. Esta análise permitiu que, em um cenário onde os recursos são limitados, a equipe tivesse como prioridade as atividades relacionadas a estas principais perdas.

Com a execução do cronograma de capacitação construído, é esperado que o nível de conhecimento da equipe aumente, e exista uma diferença menor entre o conhecimento atual da equipe e as metas previstas no inventário de conhecimento.

Para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação de diferentes ferramentas do pilar de desdobramento de custos, como a utilização das matrizes E e F para o gerenciamento dos projetos de melhoria. Sugere-se também a utilização das ferramentas de análise e identificação de erros humanos nos problemas da equipe, a fim de entender quais são as causas raiz e tratá-las.

## Referências

CARVALHO, R. M. **Gestão do conhecimento aplicada ao modelo de World Class Manufacturing: proposta de método que suporte a gestão de quick-kaizens**. Centro Universitário UNA, 2017

CERQUEIRA, T.C.S. **Estilos de aprendizagem em universitários**. Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, Brasil, 2000.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 1997.

ORTIZ, Chris A. **Kaizen e Implementação de Eventos Kaizen**. Bookman. São Paulo, 2010.

PICCHI, F. **Entenda os “7 desperdícios” que uma empresa pode ter**. Disponível em: <https://www.lean.org.br/colunas/529/entenda-os-%E2%80%9C7desperdicios%E2%80%9D-d-que-uma-empresa-pode-ter.aspx>. Acesso em 25 out 2019.

RIBEIRO, Alan. **Utilização da manufatura de classe mundial (WCM) como uma ferramenta estratégica de diferenciação competitiva**. Monografia de Especialização em Engenharia de Produção - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2014.

SAE. **Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE Brasil**. São Paulo, 2018.

SCHONBERGER, R. J. **World Class Manufacturing - The Lessons of Simplicity Applied**, 1986.

SCHONBERGER, R. J. **World Class Manufacturing - The Lessons of Simplicity Applied**, 1986.

YAMASHINA, H. **WCM Audit Guide**. 2012.

YAMASHINA, H. **WCM – Cost Deployment**. 2018.