

## DECISÃO POR MÚLTIPLOS CRITÉRIOS NA ANÁLISE DO LEAN MANUFACTURING EM DIFERENTES PROCESSOS

Natalia da Silva Ribeiro, [nsribeiro2@gmail.com](mailto:nsribeiro2@gmail.com)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro Universitário Salesiano de Lorena UNISAL, Rua Dom Bosco, 284 - Centro - Lorena/SP - 12600-100

*Resumo: A gestão adequada dos processos no Lean manufacturing é essencial para suprir as necessidades produtivas, reduzir os desperdícios e consequentemente os custos associados. Avaliar o desempenho de processos é um problema de decisão multicritério pois envolve diferentes critérios qualitativos e quantitativos. Este trabalho descreve uma pesquisa que teve como objetivo identificar o processo com melhor desempenho de práticas do Lean manufacturing, modelado como um problema multicritério. Foi considerado como critérios de análise o nível de estoque, o número de retrabalhos e o lead time de entrega dos resultados. Aplicou-se o método Analytic Hierarchy Process (AHP) para obter o resultado referente ao desempenho de cada processo considerado. Os resultados quantificaram o laboratório L3 com a maior maturidade nos conceitos do lean manufacturing quando comparado aos demais processos, demonstrando que a modelagem matemática é essencial para auxiliar no processo de tomada de decisão.*

*Palavras-chave: Lean manufacturing, Decisão multicritério, Analytic Hierarchy Process, melhoria contínua.*

## MULTIPLE CRITERIA DECISION IN ANALYSIS OF LEAN MANUFACTURING IN DIFFERENT PROCESS

*Abstract: Proper management of the processes in Lean manufacturing is essential to meet the production needs, reducing waste and costs associated. Evaluate the performance of processes is a multi-criteria decision problem because it involves different qualitative and quantitative criteria. This paper describes a study that aimed to identify the process with better performance Lean manufacturing practices, modeled as a multi-criteria problem. Was considered as criteria for analyzing the stock level, the number of reworks and delivery lead-time results. It used the Analytic Hierarchy Process (AHP) to obtain the results for the performance of each process considered. The results quantify the L3 laboratory with greater maturity in the lean manufacturing concepts when compared to other processes, shown that mathematical modeling is essential to assist in the decision-making process.*

*Keyword: Lean manufacturing, multi-criteria decision, Analytic Hierarchy Process, continuous improvement.*

## 1. INTRODUÇÃO

O objeto de estudo deste trabalho são cinco laboratórios de controle de qualidade de produtos em processo. Como parte do processo de melhoria continua a empresa implementou conceitos do *lean manufacturing* com o objetivo de reduzir os custos das atividades ao diminuir as perdas associadas. Os processos de análise de cada laboratório seguem as mesmas linhas de procedimentos, porém eles não são lineares e apresentam diferenças entre si. A problematização associada a este trabalho está relacionada com a identificação do laboratório que possui o melhor desempenho de práticas do Lean, para tanto será utilizado o método de auxílio a decisão multicritério AHP (*Analytic Hierarchy Process*) considerando como critérios o nível de estoque, o número de retrabalhos e o lead time de entrega dos resultados.

Este trabalho tem como objetivo geral identificar o processo com melhor desempenho de práticas do *Lean manufacturing* através do método de tomada de decisão multicritério AHP (*Analytic Hierarchy Process*). De acordo com Susilawati et al (2015) medir o grau de implementação do *Lean manufacturing* não é uma prática comum entre os pesquisadores, porém é fundamental para identificar os pontos fracos do processo. Susilawati et al (2015) utiliza a lógica *fuzzy* para mensurar o grau de aplicação do *Lean manufacturing* em seis áreas produtivas diferentes. A lógica *fuzzy* é utilizada para eliminar a imprecisão do julgamento humano e os resultados indicam uma variação significativa no grau de implementação entre as áreas.

O termo Lean, que significa enxuto, surgiu na literatura através de um estudo realizado por Womack e Jones (1992), para os autores aplicar o conceito do Lean otimiza o sistema produtivo eliminando os desperdícios e gera valor ao produto. Com o estudo de Womack e Jones concluiu-se que o conceito apresentado por Taiichi Ohno no Sistema Toyota de produção tornava o sistema produtivo mais eficiente e eficaz. O conceito se popularizou e é aplicado em muitos sistemas produtivos. A avaliação da eficiência de um processo quanto a sua maturidade em lean muitas vezes é feita de forma qualitativa, baseando-se no julgamento humano, que é impreciso.

Os métodos de auxílio a decisão são utilizados em situações que envolve múltiplos critérios e auxilia para tornar a decisão menos imprecisa. O método AHP é utilizado com o objetivo de resolver problemas complexos que envolve múltiplos critérios e alternativas. A utilização do *lean manufacturing* como objeto de estudo na aplicação do AHP se justifica pois as práticas lean quando aplicadas tem como objetivo reduzir os custos e aumentar a eficiência do processo, o AHP é utilizado para mensurar a funcionalidade do lean e identificar qual processo tem o melhor desempenho na redução de desperdícios e aumento da eficiência.

No desenvolvimento desse trabalho, para atender o objetivo proposto será utilizado a modelagem matemática, classificando a pesquisa como quantitativa. A modelagem compreende o uso de técnicas matemáticas para descrever um processo (MIGUEL, 2011). A aplicação do AHP depende da identificação dos critérios e alternativas assim como os pesos de decisão. Na primeira etapa da pesquisa realizou-se o levantamento teórico sobre o *Lean manufacturing* e métodos de auxílio a decisão, a pesquisa bibliográfica deu o embasamento necessário para a aplicação do AHP. Entendendo os conceitos necessários a etapa seguinte consistiu na definição dos critérios a serem considerados no AHP. Com os resultados obtidos após a aplicação do AHP foi possível identificar o laboratório com melhor desempenho nas práticas do *lean manufacturing*, assim como o laboratório onde a aplicação das práticas é menos eficiente. Com os dados obtidos cabe ao tomador de decisão escolher as medidas necessárias para melhorar o processo que não está bom.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Conceito Lean

A tradução de Lean para o português significa enxuto, para este estudo será utilizado o termo Lean. Nesta seção serão abordados os conceitos sobre o Lean, seu surgimento como sistema Toyota de Produção e detalhes sobre a filosofia.

Após a segunda guerra mundial na Toyota Motor Company, Eiji Toyoda e Taiichi Ohno baseados nos conceitos de produção em massa de Henry Ford incorporaram outras técnicas a fim de reduzir os desperdícios e deram início a uma nova abordagem denominada de Sistema Toyota de Produção.

Segundo o Léxico Lean (2007) o sistema Toyota de Produção é formado sobre dois pilares, Just- in- Time e Jidoka, conforme mostra a figura 1.



Figura 1. Pilares do Sistema Toyota de Produção Adaptado do Léxico *Lean* (2007).

O desenvolvimento do sistema Toyota de produção se deu no período posterior a segunda guerra mundial por Taiichi Ohno, chefe de produção da Toyota na época. O sistema começou a ser desenvolvido nas operações de usinagem e foi liderado por Ohno nas décadas de 1950 e 1960, nas décadas de 1960 e 1970 começou a ser disseminado na cadeia de fornecedores. Em 1984 o sistema começou a ser disseminado fora do Japão com o Joint venture Toyota-General Motors (LÉXICO LEAN, 2007).

O conceito do Lean manufacturing, que traduzido significa produção enxuta, objetiva o combate ao desperdício e eliminação das atividades que não geram valor ao produto. Para Womack e Jones (1992) desperdício é qualquer atividade que absorve recurso, mas que não agrega valor ao produto.

O princípio da produção enxuta é buscar a minimização de perdas dentro do processo, para Ohno (1998) quando se reduz as perdas no processo a produção torna-se muito mais econômica e eficiente. Segundo George (2002) com aplicação dos conceitos da produção enxuta é possível conquistar um baixo custo de produção combinado com alta qualidade e velocidade.

A abordagem do Lean Manufacturing busca produzir mais utilizando menos equipamentos, menos espaço, menos tempo e menos esforço humano, gerenciando a cadeia de fornecedores, desenvolvimento de produtos e operações de produção para oferecer aos clientes exatamente o que eles desejam no tempo certo e com a qualidade esperada (WOMACK; JONES, 2004). Para Womack e Jones (1992) o Lean manufacturing proporciona ao processo produtivo:

- Menos esforço humano para projetar e produzir;
- Menos investimentos por unidade de capacidade de produção;
- Número menor de fornecedores;
- Menos peças em estoque nas etapas do processo produtivo;
- Menos defeitos;
- Menos acidentes de trabalho;
- Menor lead time.

Na literatura vários autores definem o sistema do lean manufacturing e seu objetivo. As definições são muito próximas e seguem a mesma visão de Ohno (1998) de eliminar os desperdícios. O quadro 1 apresenta o objetivo do lean manufacturing e seus benefícios para diferentes autores.

Quadro 1 – Lean

Autores	Definição
Shingo (1996)	A principal característica do Sistema <i>Lean</i> é a busca pela eliminação de desperdícios através da identificação de processos que geram perdas.
Sharma (2003)	Objetivo do <i>Lean Manufacturing</i> é eliminar custos com atividades que não agregam valor e geram desperdícios, e investi-lo novamente no negócio.
Bhuiyan e Baghel (2005)	O <i>Lean Manufacturing</i> tem como objetivo a eliminação de desperdícios em cada área da produção incluindo a relação com cliente, design de produto, rede de fornecedores e gestão da fábrica.
Dennis (2007)	O objetivo da implantação do lean é criar valor para o cliente reduzindo as perdas no processo

Manufacturing

O conceito Lean evoluiu com o tempo mas não perdeu o princípio de eliminar os desperdícios e agregar valor ao produto. Ohno (1998) apresentou sete fontes de desperdícios encontrados em sistemas de produção. São eles:

- Excesso de produção: Produzir mais que a demanda necessária.
- Espera: Tempo de espera pela próxima etapa de processamento.
- Transporte: O transporte desnecessário de materiais entre processos ou fabricas.
- Excesso de processamento: Processamento desnecessário de peças devido ao projeto inadequado de ferramentas e produtos.
- Estoques: Manter estoque acima do mínimo necessário.
- Movimentos: Excesso de movimentos desnecessários dos funcionários durante o processo
- Peças defeituosas: Produzir peças que não geram lucro.

Dentro do conceito de eliminar os desperdícios e agregar valor ao produto, Hines e Taylor (2000) definem as atividades de um sistema produtivo em três grupos:

- Atividades que geram valor: Atividades que tornam o produto mais atraente para os clientes, são atividades das quais o cliente está disposto a pagar.
- Atividades que não geram valor: Atividades que não tornam o produto mais atraente aos olhos do cliente, o cliente não está disposto a pagar por estas atividades que devem ser eliminadas.
- Atividades que não geram valor mas que são necessárias: Atividades que não tornam o produto mais atraente aos olhos do cliente, mas que são necessárias para se obter as características básicas do produto.

Para Hines e Taylor (2000) em um sistema produtivo o tempo gasto nos três grupos de atividades seguem a proporção:

- 5% em atividades que geram valor.
- 60 % em atividades que não geram valor.
- 35% em atividades que não geram valor mas que são necessárias.

Para Womack e Jones (2004) somente com a eliminação dos desperdícios e a adição de valor para o cliente final o sistema produtivo pode ser considerado enxuto. Para os autores o sistema Lean deve seguir cinco princípios:

1. Definir o que gera valor: Determinar qual a necessidade dos clientes e quais atividades no processo agrega valor sob a ótica do cliente final. Atividades que geram valor são aquelas que os clientes estão dispostos a pagar para usufruir do produto.
2. Identificar a cadeia de valor: O conjunto de todas as atividades para cada família de produto, do desenvolvimento ao produto final.
3. Criar fluxos contínuos: Manter as atividades que agregam valor eliminando as que não agregam valor em cada processo.
4. Produção Puxada: A produção se inicia a partir do ponto de pedido do cliente minimizando os desperdícios encontrados no sistema de produção empurrado.
5. Buscar a melhoria contínua: Integrar os quatro princípios anteriores de modo a reduzir de maneira contínua os desperdícios e atingir a perfeição do processo.

Para Houshmand e Jamshidnezhad (2006) as pressões do mercado obriga as empresas a buscarem permanentemente métodos de melhoria da produtividade. A implementação dos princípios do lean manufacturing torna-se uma poderosa arma para garantir a competitividade perante os concorrentes. O Lean manufacturing, como uma teoria da produção, deve realizar três ações comuns (HOUSHMAND; JAMSHIDNEZHAD, 2006):

- Projetar o sistema de produção com nível de ação gerencial.
- Controlar o sistema de produção afim de alcançar os objetivos desejados.
- Liderar a melhoria do sistema de produção.

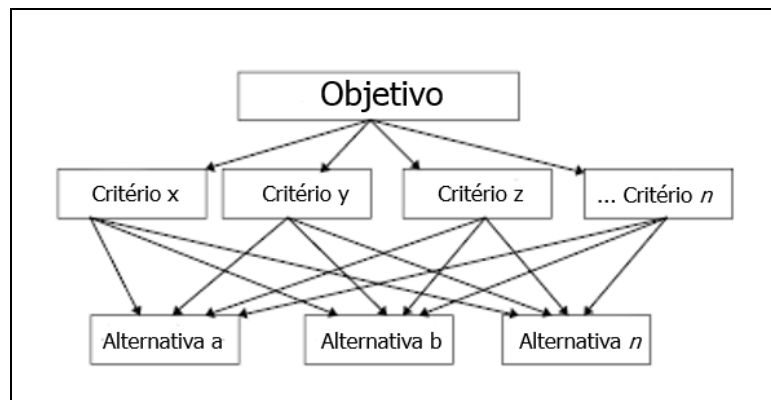
Para Womack e Jones (2004) a medida que as organizações começarem a definir o que gera valor e eliminar as atividades desnecessárias, identificar o fluxo de valor e deixarem que os clientes puxem a produção o sistema produtivo estará atingindo o estágio da perfeição. Desde o surgimento do Lean manufacturing até os dias de hoje, o conceito é amplamente aplicado na indústria de transformação, sendo considerado um dos métodos mais eficazes para a melhoria da eficiência operacional (SUSILAWATI et al., 2015). De acordo com Fullerton; Kennedy e Widener (2014) para se obter sucesso com a aplicação das práticas do lean o sistema não pode ser pensado em partes e sim como um sistema completo.

## 2.2 AHP - Analytic Hierarchy Process

A decisão considerando múltiplos critérios é uma área da pesquisa operacional, os métodos de decisão multicritério é amplamente utilizado quando é necessário fazer escolhas onde as alternativas possuem pontos positivos e negativos. O método hierárquico de tomada de decisão foi desenvolvido por Thomas L. Saaty na década de 70 e hoje é amplamente utilizado na tomada de decisão em diversas áreas.

O método AHP mede os graus de importância entre os critérios e alternativas, as comparações são feitas em pares linguísticos convertidos em pares numéricos (JALAO; WU; SHUNK, 2014). De acordo com Goossens e Basten, (2015) a metodologia do AHP é uma abordagem utilizada na tomada de decisão multicritério tanto no meio acadêmico quanto na indústria. Para os autores o método permite integrar a informação subjetiva e objetiva, criando uma profunda compreensão do problema. A análise hierárquica faz a decomposição das relações entre os critérios de forma a priorizar seus indicadores e identificar a melhor alternativa, reduzindo as falhas no processo de tomada de decisão (SAATY, 1990).

O modelo proposto por Saaty (1980) determina que para a aplicação do AHP é necessário definir o objetivo, os critérios e as alternativas, conforme a estrutura hierárquica proposta por Saaty (1990).



**Figura 2. Estrutura Hierárquica adaptado de Saaty (1990)**

Após definição da hierarquia o tomador de decisão faz uma comparação em pares dos critérios e alternativas da hierarquia. Esta comparação é feita utilizando a escala fundamental de Saaty onde os pesos variam de 1 a 9.

**Tabela 1. Escala fundamental de**

<i>Valores numéricos</i>	<i>Termos verbais</i>	<i>Explicação</i>
1	Igual importância	Dois alternativas contribuem igualmente para o objetivo.
3	Moderadamente mais importante	Experiência e julgamento favorecem levemente uma alternativa em relação a outra.
5	Fortemente mais importante	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma alternativa em relação a outra.
7	Muito fortemente mais importante	Alternativa fortemente favorecida em relação a outra e sua dominância é demonstrada na prática.
9	Extremamente mais importante	A evidência favorece uma alternativa em relação a outra, com grau de certeza mais elevado.
2, 4, 6 e 8	Valores importantes intermediários	Quando se procura uma condição intermediária entre duas definições.

Saaty.

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

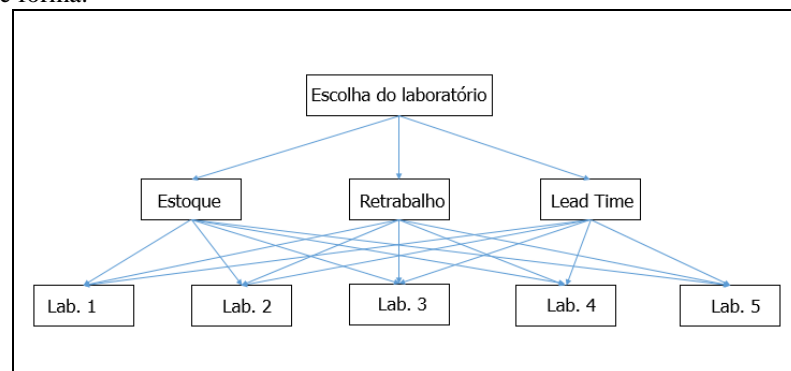
### 3. MODELAGEM DO PROBLEMA

A tabela 2 apresenta os dados fornecidos pela empresa para os laboratórios estudados neste trabalho considerados os critérios nível de estoque, número de retrabalhos e lead time de entrega dos resultados.

**Tabela 2. Valores dos critérios**

Laboratório	Estoque	Retrabalho	Lead Time (horas)
L1	Alto	9	6
L2	Médio	6	6
L3	Médio	4	3
L4	Baixo	7	4
L5	Médio	4	5

Considerando que o objetivo da aplicação do AHP é identificar o laboratório com melhor desempenho para os critérios nível de estoque, número de retrabalhos e lead time de entrega dos resultados, a estrutura hierárquica do problema é dada da seguinte forma:

**Figura 3. Estrutura hierárquica do problema.**

Sendo o critério retrabalho julgado como mais importante em relação aos demais critérios, a tabela 3 ilustra a matriz de critérios para o problema proposto.

**Tabela 3 – Matriz de critérios**

	Estoque	Retrabalho	Lead Time	A.Vetor	Peso
Estoque	1	1/5	3	0.84	22.26%
Retrabalho	5	1	3	2.47	65.09%
Lead Time	1/3	1/3	1	0.48	12.65%
$\Sigma$	6.33	1.53	7.00	3.79	100.00%

De acordo com Roberto; Alves; Murta (2015) o método AHP é baseado no julgamento humano que pode ocasionar inconsistências nos julgamentos dos critérios, desta forma, para validar os julgamentos e garantir que eles são consistentes deve-se calcular o índice de consistência (IC) e razão de consistência (RC) de acordo com as equações 1 e 2 respectivamente, propostas por Saaty (1990).

$$IC = \frac{|\lambda_{\text{máx}} - n|}{n - 1} \quad (1)$$

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (2)$$

Para os julgamentos serem considerados consistentes o valor RC deve ser menor que 10 %. Na equação 2 o índice randômico (IR) é obtido em função do número de fatores considerados na matriz do problema. O valor de IR é obtido através de tabela 4, proposta por Saaty (1990)

**Tabela 4- Índices de consistência randômicos (IR)**

Matriz (n)	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor de IR	0	0.58	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.5

Para o problema estudado foi encontrado uma razão de consistência de 3,10 %, conforme ilustra as equações 3 e 4. Com este resultado podemos concluir que os julgamentos são coerentes.

$$IC = \frac{|3.035 - 3|}{3 - 1} \quad (3)$$

$$RC = \frac{0.018}{0.58} = 3,10 \% \quad (4)$$

#### 4. RESULTADOS

Após a modelagem do problema e verificação da coerência dos julgamentos, foram geradas pontuações matemáticas para cada laboratório estudado, sendo a maior pontuação o processo com melhor desempenho de práticas do Lean manufacturing. As tabelas 5,6 e 7 ilustram a comparação matemática entre os processos estudados para os critérios considerados, a tabela 8 ilustra o resultado global de acordo com o peso do julgamento dado a cada critério, o maior índice obtido indica o melhor processo.

**Tabela 5 - Comparação normalizada para o critério estoque**

	Estoque	Peso	Normalizado	
L1	Alto	2	0.4	0.11
L2	Médio	4	0.8	0.21
L3	Médio	4	0.8	0.21
L4	Baixo	5	1	0.26
L5	Médio	4	0.8	0.21

**Tabela 6 – Comparação normalizada para o critério Retrabalho**

	Retrabalho	Harmonizado	Normalizado
L1	9	3.33	0.12
L2	6	5.00	0.18
L3	4	7.50	0.27
L4	7	4.29	0.16
L5	4	7.50	0.27

**Tabela 7 – Comparação normalizada para o critério Lead Time**

	Lead Time	Harmonizado	Normalizado
L1	6	4.00	0.15
L2	6	4.00	0.15
L3	3	8.00	0.30
L4	4	6.00	0.22
L5	5	4.80	0.18

**Tabela 8 - Matriz global**

Critérios	Estoque 22.26%	Retrabalho 65.09%	Lead Time 12.65%	Índice global
L1	0.11	0.12	0.15	12.09%
L2	0.21	0.18	0.15	18.36%
L3	0.21	0.27	0.30	26.14%
L4	0.26	0.16	0.22	18.79%
L5	0.21	0.27	0.18	24.63%

Pode-se observar na matriz global que o laboratório L3 possui o maior índice de desempenho (26,14%), este valor indica que o laboratório L3 está melhor alinhado aos conceitos do Lean manufacturing se comparado aos demais processos avaliados.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o objetivo geral de identificar o processo com melhor desempenho de práticas do Lean manufacturing através do método de tomada de decisão multicritério AHP (Analytic Hierarchy Process), verificou-se para cada processo estudado os níveis de estoque, número de retrabalhos realizados e o lead time de cada processo. Os dados coletados foram utilizados como variáveis de entrada no método AHP para auxiliar na identificação do nível de qualidade de cada processo. Os resultados quantificam o laboratório L3 com a maior maturidade nos conceitos do lean



manufacturing quando comparado aos demais processos, desta forma a gestão realizado no processo L3 é considerada referência para os demais. Quantitativamente podemos dizer que o laboratório L3 está melhor adequado as práticas lean quando comparado aos demais laboratórios, todavia o processo requer melhorias na redução dos níveis de estoque e número de retrabalhos realizados. Com a análise dos resultados obtidos cabe ao tomador de decisão adequar os processos em busca da melhoria continua.

A modelagem matemática demonstrou-se ser fundamental para auxiliar no processo de tomada de decisão em várias áreas do conhecimento ao converter variáveis subjetivas em dados objetivos, sendo importante o conhecimento na formação do engenheiro.

## 6. REFERÊNCIAS

- BHUIYAN, N.; BAGHEL, A. **An Overview of Continuous Improvement: from the past to the present.** Management Decision, 2005. v.43, p. 761 – 771.
- DENNIS, Pascal. Fazendo acontecer a coisa certa: um guia de planejamento e execução para líderes. São Paulo: **Lean Institute Brasil**, 2007.
- GEORGE, M. L. Lean Six Sigma: **Combining Six Sigma Quality with Lean Production Speed.** EUA: McGraw-Hill , 2002. 322p
- HOUSHMAND, M.; JAMSHIDNEZHAD, B. An Extended Model of Design process of Lean Production Systems by Means of Process Variables. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v.22, p.1-16, 2006
- FULLERTON, R. R.; KENNEDY, F. A.; WIDENER, S. K. Lean manufacturing and firm performance: The incremental contribution of lean management accounting practices. **Journal of Operations Management**, v. 32, n. 7, p. 414–428, set. 2014.
- GOOSSENS, A. J. M.; BASTEN, R. J. I. Exploring maintenance policy selection using the Analytic Hierarchy Process; an application for naval ships. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 142, p. 31–41, maio 2015.
- JALAO, E. R.; WU, T.; SHUNK, D. A stochastic AHP decision making methodology for imprecise preferences. **Information Sciences**, v. 270, p. 192–203, jun. 2014.
- MIGUEL, P. A. C. **Metodologia De Pesquisa Em Engenharia De Produção E Gestão De Operações.** 2ª. ed, 2011.
- ROBERTO, J.; ALVES, X.; MURTA, J. Definição de localidade para instalação industrial com o apoio do método de análise hierárquica ( AHP ). **Production**, v. 25, n. 1, p. 13–26, 2015.
- SUSILAWATI, A. et al. Fuzzy logic based method to measure degree of lean activity in manufacturing industry. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 34, p. 1–11, jan. 2015.
- SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process.** N. York, USA: McGraw-Hill, 1980.
- SAATY, T. L. **Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World.** Second ed. Pittsburgh, Pa.: University of Pittsburgh, 1990.
- SHARMA, U. Implementing Lean Principles with the Six Sigma Advantage: How a Battery Company Realized Significant Improvements. **Journal of Organizational Excellence**, v.22, n.3, p. 43 – 51, Mar. 2003.
- SHINGO, Shigeo. O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da engenharia de produção. Porto Alegre: Bookman, 1996.
- WOMACK, J.P.; JONES D.T. **A máquina que mudou o mundo**, 14. Ed. Rio de Janeiro: Campus, 1992.
- WOMACK, J.P.; JONES D.T. **Mentalidade Enxuta nas empresas: Lean Thinking** . 4.ed. Rio de Janeiro: Campus, 2004. 432p.