

PARÂMETROS PARA AVALIAÇÃO DE CÉLULAS DE MANUFATURA QUE UTILIZAM A FILOSOFIA *LEAN*: UMA REVISÃO DA LITERATURA

PARAMETERS TO EVALUATE MANUFACTURING CELLS THAT USE *LEAN* PHILOSOPHY: A LITERATURE REVIEW

Izabela S. Rampasso* E-mail: izarampasso@gmail.com

Rosley Anholon* E-mail: rosley@fem.unicamp.br

*Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, São Paulo, Brasil

Resumo: No ambiente competitivo atual, as empresas são forçadas a elevar constantemente o grau de competitividade de sua produção e, nesse sentido, a filosofia *lean* é de grande valia. Entretanto, é escasso na literatura o número de referências que possuam como foco a análise do nível de maturidade de células que operam de acordo com a referida filosofia. Devido à importância dessa temática, o presente artigo tem como objetivo realizar uma revisão da literatura procurando evidenciar quais são os parâmetros relevantes para avaliar a maturidade de células de manufatura que operam segundo a filosofia *lean*. Para isso, foram analisados diversos artigos e uma lista foi estruturada. Tais parâmetros foram divididos em grupos de acordo com suas similaridades. Entre os parâmetros levantados, destacam-se as ergonômias física e cognitiva e a sustentabilidade. Os parâmetros obtidos como resultado desta pesquisa podem ser utilizados como um ponto de partida para a avaliação de células de manufatura *lean*.

Palavras-chave: Produção Enxuta. Células de Manufatura. Parâmetros. Avaliação.

Abstract: In the current competitive environment, companies are being forced to increase constantly their production competitiveness level and, in this sense, lean philosophy is of great value. However, it is scarce in the literature the number of references which is focused on the analysis of the maturity level of manufacturing cells that operate according to the referred philosophy. Due to the relevance of this theme, the present article aims to review the literature in order to define which parameters must be considered to evaluate the maturity of lean manufacturing cells. To this end, articles were analyzed and a list of important parameters to evaluate lean cells was structured. These parameters were divided in groups according to their similarities. Among these parameters, it highlights the physical and cognitive ergonomics and the environmental sustainability. The obtained parameters as a result in this research can be used as a starting point to an evaluation of lean manufacturing cells.

Keywords: Lean Production. Manufacturing Cells. Parameters. Evaluation.

1 INTRODUÇÃO

Em um mercado dinâmico e com participantes inovadores, o grau de competição é cada vez maior. Por isso, a escolha das estratégias certas e o aumento da eficiência das organizações são essenciais para se obter vantagem competitiva (DERELI, 2015; LOSONCI; DEMETER; JENEI, 2011), destacando-se neste contexto a filosofia *lean* (DEIF; ELMARAGHY, 2014). A referida filosofia auxilia

na otimização do uso de recursos, eliminando desperdícios (KARIM; ARIF-UZ-ZAMAN, 2013; PINHEIRO; SCHELLER; MIGUEL, 2013). A importância do *lean* atualmente é comparável à importância da produção em massa no início do século XX, sendo aplicada em diversos setores da economia (DEIF, 2012a; FORNO et al., 2014).

Um conceito de extrema importância dentro da filosofia *lean* refere-se à manufatura celular (PAMPANELLI; FOUND; BERNARDES, 2014). Porém, apesar de sua importância, muitos engenheiros industriais ainda não conhecem os elementos essenciais que possibilitam o máximo desempenho da mesma (BLACK, 1999). Para Susilawati et al. (2015), ainda é pequeno o número de pesquisas que meçam o grau *lean* em células em seus diferentes aspectos, existindo inclusive necessidade de aprofundamento nos aspectos humanos, de treinamento e de gestão do conhecimento. Adicionalmente, Aalaei e Davoudpour (2016) destacam a inadequação de alguns modelos existentes para avaliar o desempenho de células produtivas. Por outro lado, é apontado na literatura que modelos de maturidade, visando o todo ou elementos específicos do *lean*, são essenciais para que as empresas possam conhecer suas fragilidades e se tornar mais competitivas (MAASOUMAN; DEMIRLI, 2016).

Mediante ao contexto apresentado, evidencia-se que estudos associados ao grau de maturidade de células que atuam segundo a filosofia *lean* são de grande valia e pouco explorados. Visando contribuir com a temática, este artigo almeja realizar uma revisão da literatura a fim de estruturar uma lista com parâmetros essenciais para avaliar a maturidade das referidas células. Tal lista poderá ser utilizada por pesquisadores em futuras pesquisas e por profissionais de mercado.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Filosofia *lean* e manufatura celular

Este tópico será dedicado a uma rápida explanação sobre os princípios da filosofia *lean* e definições iniciais sobre manufatura celular. A listagem completa dos parâmetros essenciais para avaliação da maturidade de células *lean* será caracterizada como resultado desta pesquisa e, em função disto, será apresentada no item 4 denominado Resultados e debates.

Foi a partir da publicação do livro “*The Machine that Changed the World: The Story of Lean Production*” que o *lean* ficou conhecido de forma mais abrangente (BÜYÜKÖZKAN; KAYAKUTLU; KARAKADILAR, 2015; FAVONI; GAMBI; CARETA, 2013). O *lean* tem como objetivo produzir itens de alta qualidade e da forma mais eficiente possível, procurando assim reduzir os níveis de utilização de esforço humano, estoque, espaço e tempo (KARIM; ARIF-UZ-ZAMAN, 2013). Entre os benefícios do *lean* estão a redução dos custos produtivos, a maior eficiência das operações, a maior flexibilidade em relação ao volume e à variabilidade da produção (BORTOLOTTI; BOSCARI; DANESE, 2015; BÜYÜKÖZKAN; KAYAKUTLU; KARAKADILAR, 2015; COPETTI; SAURIN; SOLIMAN, 2016; LIMA et al., 2016). Trabalhos como o de Losonci e Demeter (2013) corroboram os benefícios mencionados e comprovam a correlação positiva entre a aplicação da filosofia *lean* e o desempenho empresarial. Os referidos autores também mostram que sua implantação pode proporcionar ganhos significativos nos custos, tempos produtivos, giro de estoque, qualidade, produtividade, utilização do espaço e flexibilidade.

Os princípios do *lean*, segundo Shingo (1996) e Womack e Jones (2006) são baseados na melhoria contínua do fluxo produtivo, produção puxada pelo cliente, flexibilidade, eliminação de desperdícios, zero defeito, gestão visual, manufatura celular, ambiente de trabalho seguro e ordenado e busca pela melhoria contínua. Nesta revisão, em especial, será dada maior atenção ao tema manufatura celular.

Nos últimos anos, muitas organizações têm demonstrado um interesse especial pela manufatura celular (SAKHAI et al., 2016). A manufatura celular é a aplicação da tecnologia de grupo (DEEP; SINGH, 2015; SAKHAI et al., 2016; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011), segundo a qual peças com similaridades de produção podem ser agrupadas visando a otimização do sistema produtivo (SAKHAI et al., 2016). Dessa forma, as células são arranjos físicos de máquinas e equipamentos com a finalidade de produzir uma família de produtos, determinada a partir da tecnologia de grupo. Visando utilizar ao máximo o potencial dos operadores, aumentando e, ao mesmo tempo, enriquecendo suas tarefas, os funcionários de uma célula devem se tornar polivalentes (BLACK, 1999; METTERNICH; BECHTLOFF; SEIFERMANN, 2013).

São características principais de células a produção puxada, o fluxo de uma única peça (*one piece flow*), a autonomia por parte dos colaboradores para a tomada

de determinadas decisões, os programas para a redução dos tempos dos setups, o balanceamento equânime das atividades realizadas pelos colaboradores e a flexibilidade produtiva (ROTHER; SHOOK, 2012).

A manufatura celular reduz o tempo de *setup*, o *lead time* total dos produtos, assim como a flexibilidade em termos de *mix* de produção, a taxa de defeitos e o espaço necessário para a produção (BAYRAM; ŞAHIN, 2016; DEEP; SINGH, 2015; MARODIN; SAURIN, 2013; SAKHAIL et al., 2016). Esse tipo de *layout* também aumenta a flexibilidade em relação ao tamanho dos lotes de produção e ao número de trabalhadores (*Shojinka*), reduz as distâncias de transporte, o fluxo de materiais e o estoque, além de aumentar a satisfação dos trabalhadores e a produtividade da empresa (ANGRA; SEHGAL; NOORI, 2008; BAYRAM; ŞAHIN, 2016; MONDEN, 2015). Existem diferentes configurações de células. A célula em formato de U é caracterizada pelo fato de o início e o fim da célula estarem na mesma posição. Os formatos côncavo e circular são variações na forma da célula (MONDEN, 2015).

A formação de células a partir de famílias de produtos, a definição dos *layouts* das células, o planejamento das operações das células e, por fim, a alocação de recursos, como operadores e materiais são importantes para se projetar um Sistema de Manufatura Celular (RAFIEE et al., 2011; SAKHAIL et al., 2016).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Inicialmente, torna-se importante classificar a pesquisa apresentada por este artigo. Por se estabelecer conclusões a partir de premissas verdadeiras, ela será classificada como dedutiva, como aponta Gauch Junior (2003). A abordagem será qualitativa, visto que toma por base informações de livros, normas e artigos científicos pesquisados, e o procedimento técnico será caracterizado por uma revisão da literatura, como estratégia de pesquisa principal (GIL, 2010). Por fim, focando-se a natureza, a mesma será classificada como aplicada e exploratória (GAUCH JUNIOR, 2003).

Com relação ao método, foram realizadas pesquisas em livros, normas e em diversas bases internacionais sobre o tema escolhido ao longo de três meses, chegando-se a uma amostra inicial de 95 artigos. Salienta-se desde já que as bases consultadas apresentam credibilidade no meio acadêmico e seus artigos são

amplamente referenciados por outros pesquisadores. Os livros utilizados são amplamente reconhecidos no mundo acadêmico e empresarial. As normas utilizadas são da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), órgão responsável pelo estabelecimento de normas em diversas áreas no Brasil. É importante ressaltar que os parâmetros analisados por esta revisão tocam em muitos pontos do *lean*, mas não se restringem somente a ele. Pontos importantes para a avaliação da maturidade de células tangenciados em algumas obras que não tinham como foco central o *lean* também foram analisados.

A pesquisa para seleção dos artigos correlatos foi realizada a partir dos termos: “*Lean cells*”, “*Manufacturing cells*”, “*Lean production*”, “*Lean maturity model*”. Dentre as 95 referências selecionadas, observou-se que 70 apresentavam correlação com o tema e foram consideradas para a análise. Salienta-se que nesta análise os autores deste artigo procuraram analisar parâmetros que podem ser aplicados a todos os tipos de células de produção, excluindo aqueles muito específicos a um determinado tipo de célula. Como exemplo, cita-se a função *water spider* (ou *mizusumashi*), restrita a necessidade de células de montagem de algumas empresas. Depois das exclusões, restaram 38 parâmetros que foram estratificados nos seguintes grupos a fim de permitir maior facilidade na apresentação dos resultados: 1) Habilidade dos colaboradores que atuam na célula; 2) Conhecimento dos Colaboradores que atuam na célula; 3) Aspectos decorrentes da existência de líderes na célula; 4) Grau de autonomia conferido aos colaboradores da célula; 5) Comunicação e compartilhamento de informações entre colaboradores; 6) Qualidade e Melhoria Contínua da célula; e 7) Configuração da célula.

Apesar de todas as referências citadas nos quadros abordarem o tema à que estão conectadas, apenas uma parte dessas referências foi utilizada para elaborar os parágrafos explicativos em função da extensão deste relato de pesquisa.

4 RESULTADOS E DEBATES

A seguir será feita uma explanação geral a respeito dos parâmetros integrantes de cada um dos grupos mencionados no item anterior. São analisados aspectos técnicos e sociais da manufatura celular. De acordo com Pampanelli,

Found e Bernardes (2014, p. 20), a “essência do pensamento enxuto está no envolvimento pessoas” e, por essas razões, muitos parâmetros estudados foram relacionados aos colaboradores. No final de cada item apresentado há um quadro contendo os parâmetros referentes ao grupo.

4.1 Habilidade dos colaboradores que atuam na célula

Um primeiro ponto importante em relação a capacitação dos trabalhadores são as **técnicas para a solução de problemas**, sendo este um ponto chave na manufatura enxuta. A finalidade dessa abordagem é detectar a raiz do problema, solucioná-lo e melhorar continuamente a produtividade (OHNO, 1997).

Outra questão importante é a **polivalência dos colaboradores**. O trabalhador multifuncional é o recurso mais importante da célula. A polivalência possibilita que os operadores sejam responsáveis pelas atividades de manutenção, limpeza e controle de qualidade, além de possibilitar o desenvolvimento de um operário apto a identificar oportunidades de melhorias (HUNTER; BLACK, 2007; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011).

Outro ponto importante relacionado à polivalência, que impacta diretamente na produção são os **incentivos concedidos aos colaboradores**. Incentivos para o colaborador atrelados ao nível de sua polivalência funcionam na medida em que igualam os objetivos da empresa com os objetivos dos operários. A partir do estabelecimento de incentivos para que se aumente o nível de polivalência dos trabalhadores, a organização consegue aumentar a flexibilidade de suas equipes (ALONY; JONES, 2008). O quadro 1 apresenta a lista completa de referências que abordam os parâmetros citados.

Quadro 1 - Parâmetros para o grupo “Habilidade dos colaboradores que atuam na célula”

Parâmetros	Referências
Colaboradores da célula são totalmente capacitados em técnicas para a solução de problemas	(CULLINANE et al., 2014; DETTY; YINGLING, 2000; HUNTER; BLACK, 2007; KACH et al., 2014; OHNO, 1997; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011)
Colaboradores possuem polivalência e podem trabalhar em diferentes funções na célula	(ALONY; JONES, 2008; CULLINANE et al., 2014; HASLE, 2014; HASLE et al., 2012; HUNTER; BLACK, 2007; KACH et al., 2014; MARODIN; TORTORELLA; SAURIN, 2014; MCDONALD et al., 2009; MCWILLIAMS; TETTEH, 2009; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011)
Existem incentivos para o desenvolvimento da polivalência dos colaboradores	(ALONY; JONES, 2008; CORIAT, 1994; HELOANI, 2012)

Fonte: Autores

4.2 Conhecimento dos Colaboradores que atuam na célula

Na manufatura celular, a tecnologia de grupo é utilizada para agrupar famílias de produtos em uma mesma célula (METTERNICH; BECHTLOFF; SEIFERMANN, 2013; SAKHAI et al., 2016). Por isso, é fundamental que os **colaboradores conheçam de forma exata a família de produtos que passam pela célula.**

Na literatura, a polivalência, citada no item anterior, é contestada a partir da percepção de que o que realmente acontece é um alargamento das tarefas executadas pelo trabalhador. O operário passa a ser encarregado de uma gama maior de tarefas que, para serem executadas, exigem pouco treinamento. Dessa forma, o que ocorre é a multitarefa e não a polivalência (PARKER, 2003). Como resultado, há um aumento da carga de trabalho e da pressão sobre os trabalhadores, o que gera resistência à implantação do *lean* (ALONY; JONES, 2008). Em função disto, **a polivalência deve gerar não só um alargamento de funções, mas também o enriquecimento dos colaboradores** (HUNTER; BLACK, 2007).

Os conceitos de **takt-time, tempo padrão e tempo de ciclo**, são conceitos importantes na manufatura celular. Por isso, os colaboradores devem dominar esses conceitos. Ressaltando, o tempo de ciclo é o tempo transcorrido entre a geração de dois produtos conformes em uma célula (ROTHER; SHOOK, 2012), enquanto o *takt-time* está relacionado diretamente ao ritmo da demanda (MONDEN, 2015; ROTHER;

SHOOK, 2012). Assim como os conceitos apresentados anteriormente, o nivelamento da produção (LIKER, 2005; OHNO, 1997; ROTHER; SHOOK, 2012) e o balanceamento (PEINADO; GRAEML, 2007) são de grande importância para a manufatura celular e, em razão disto, os **colaboradores precisam dominar técnicas para nivelar e balancear a célula**.

Em relação aos objetivos da produção, no *lean*, é o cliente final que determina o que é valor (ALONY; JONES, 2008) e o sistema produtivo deve satisfazer suas necessidades (CULLINANE et al., 2014; RODRÍGUEZ et al., 2016). A manufatura celular, por sua vez, tem este mesmo objetivo (MCWILLIAMS; TETTEH, 2009) e, por isso, os **funcionários devem conhecer os requisitos exigidos pelo cliente final em relação ao produto que está produzindo**.

A ausência de um funcionário pode comprometer o ritmo de produção e, conseqüentemente, a satisfação do cliente final (WOMACK; JONES; ROOS, 2004). Em função disto, é importante que sempre exista um **profissional capaz de substituir um operário ausente**. De acordo com Saurin, Marodin e Ribeiro (2011), essa função pode ser assumida pelo líder da equipe. O quadro 2 apresenta a lista completa de referências que abordam os parâmetros citados.

Quadro 2 - Parâmetros para o grupo “Conhecimento dos Colaboradores que atuam na célula”

Parâmetros	Referências
Colaboradores conhecem de forma exata a família de produtos que passam pela célula	(AALAEI; DAVOUDPOUR, 2016; AGHAZADEH et al., 2011; ANGRA; SEHGAL; NOORI, 2008; ARORA; HALEEM; SINGH, 2013; BAYRAM; ŞAHIN, 2016; CHANG; WU; WU, 2013; DEEP; SINGH, 2015; FARDIS; ZANDI; GHEZAVATI, 2013; MCWILLIAMS; TETTEH, 2009; MOHAMMADI; FORGHANI, 2014; NOURI, 2016; PAPAIOANNOU; WILSON, 2010; PATTANAİK; SHARMA, 2009; RAFIEE et al., 2011; RAMINFAR et al., 2013; ROTHER; SHOOK, 2012; SAKHAIL et al., 2016; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011)
A polivalência procura gerar não só um alargamento de funções, mas também o enriquecimento das habilidades dos colaboradores	(ALONY; JONES, 2008; PARKER, 2003)
Colaboradores dominam os conceitos associados à filosofia <i>lean</i> de tempo padrão, tempo de ciclo e <i>takt-time</i> .	(AALAEI; DAVOUDPOUR, 2016; DEIF, 2012a; MONDEN, 2015; PEINADO; GRAEML, 2007; RAFIEE et al., 2011; ROTHER; SHOOK, 2012; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011)
Colaboradores dominam os conceitos associados à filosofia <i>lean</i> de balanceamento de células e de nivelamento das células	(AGHAZADEH et al., 2011; LIKER, 2005; MARODIN; TORTORELLA; SAURIN, 2014; MCWILLIAMS; TETTEH, 2009; METTERNICH; BECHTLOFF; SEIFERMANN, 2013; NOURI, 2016; OHNO, 1997; PATTANAİK; SHARMA, 2009; SHINGO, 1996)
Os colaboradores conhecem os requisitos exigidos pelo cliente final em relação ao produto que está sendo produzido	(ALONY; JONES, 2008; CULLINANE et al., 2014; MCWILLIAMS; TETTEH, 2009; RODRÍGUEZ et al., 2016)
Existe um colaborador capacitado para assumir qualquer função dentro da célula em situações especiais	(MARODIN; TORTORELLA; SAURIN, 2014; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011; WOMACK; JONES; ROOS, 2004)

Fonte: Autores

4.3 Aspectos decorrentes da existência de líderes na célula

Em relação ao ambiente organizacional, são feitas críticas ao *lean* no sentido de que o ritmo intenso de trabalho prejudica a harmonia e a convivência das equipes (ALONY; JONES, 2008). Em função disto, deve existir uma preocupação constante com o desenvolvimento e a manutenção de um **relacionamento harmônico nas equipes de trabalho**.

Em relação às habilidades, devido ao número de tarefas que um colaborador pode desenvolver, faz-se necessário um **gerenciamento das habilidades existentes e das necessárias para o desenvolvimento de cada colaborador**. Saurin, Marodin e Ribeiro (2011) apontam para a necessidade de haver um controle formal das habilidades de cada trabalhador.

Entretanto, as atribuições dos líderes não se restringem apenas a questões relacionadas aos trabalhadores, os resultados da produção também estão entre as atribuições dos líderes. As variabilidades podem ser consequência de variações no tempo de processamento, da necessidade de retrabalho, entre outros. São muitos os problemas decorrentes da existência de variabilidades na produção, entre eles estão *lead times* mais longos e maiores níveis de estoque (DEIF, 2012b). Por estas razões, é importante que **os líderes das equipes conheçam as variabilidades plausíveis em termos de outputs de cada célula**. O quadro 3 apresenta a lista completa de referências que abordam os parâmetros citados.

Quadro 3 - Parâmetros para o grupo “Aspectos decorrentes da existência de líderes na célula”

Parâmetros	Referências
O relacionamento entre os colaboradores que atuam na célula é harmônico	(ALONY; JONES, 2008)
Os líderes das equipes conhecem bem as variabilidades plausíveis em termos de <i>outputs</i> da célula	(DEIF, 2012b)
Os líderes das equipes gerenciam as habilidades existentes e as necessárias para o desenvolvimento de cada colaborador	(MARODIN; TORTORELLA; SAURIN, 2014; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011)

Fonte: Autores

4.4 Grau de autonomia conferido aos colaboradores da célula

Em relação à autonomia dos trabalhadores, o *lean* utiliza o conceito de autonomação (*jidoka*), que possibilita a parada do trabalho em caso de ocorrência de anormalidades (CORIAT, 1994). No ocidente, tal sistema está diretamente relacionado ao conceito de *empowerment* (delegação de poder) (MONDEN, 2015). A falta de *empowerment* é apontada como uma das barreiras para a implantação do *lean* (JADHAV; MANTHA; RANE, 2014). Dessa forma, a **autonomia dos colaboradores para parar ciclos de trabalho caso evidenciem problemas** é um dos pontos-chave da manufatura celular.

Com relação à autonomia dos trabalhadores para reconfigurar os ciclos de trabalho, os **colaboradores devem possuir autorização para reconfigurar os mesmos caso notem que um estágio está em defasagem**. Adicionalmente, é apontada na literatura a necessidade de haver apoio aos trabalhadores em atividades como melhorias e resolução de problemas (SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011). Para que esse suporte seja efetivo, **os funcionários devem saber de maneira clara até que ponto possuem autonomia para a tomada de decisões**. O quadro 4 apresenta a lista completa de referências que abordam os parâmetros citados.

Quadro 4 - Parâmetros para o grupo “Grau de autonomia conferido aos trabalhadores da célula”

Parâmetros	Referências
Os colaboradores sabem de maneira clara até que ponto possuem autonomia para a tomada de decisões	(JADHAV; MANTHA; RANE, 2014; MARODIN; TORTORELLA; SAURIN, 2014; PAMPANELLI; FOUND; BERNARDES, 2014; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011; WOMACK; JONES; ROOS, 2004)
Colaboradores têm autonomia para parar ciclos de trabalho caso evidenciem problemas	(MARODIN; TORTORELLA; SAURIN, 2014; MONDEN, 2015; OHNO, 1997; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011)
Colaboradores possuem autonomia para reconfigurar ciclos de trabalho sempre que notarem problemas ou defasagem	(BHAT, 2008)

Fonte: Autores

4.5 Comunicação e compartilhamento de informações entre colaboradores

A comunicação é um fator importante para o sucesso do *lean*. **Um bom nível de comunicação entre os colaboradores que atuam na célula** deve ser assegurado pela organização. Saurin, Marodin e Ribeiro (2011) ressaltam a importância da comunicação entre os trabalhadores dentro da célula.

Além disso, a célula exige que o funcionário tenha a capacidade de se comunicar melhor do que em outra configuração produtiva (MOLLEMAN; SLOMP; ROLEFES, 2002). Como consequência da boa comunicação têm-se um **compartilhamento satisfatório de informações entre os colaboradores da célula**. O acesso a informações como status dos pedidos, especificações e metas de produção é fundamental para que ocorra o aumento da produtividade. Porém, não basta apenas ter a informação, é necessário que ela seja completa, precisa e que chegue ao destinatário na hora certa (HYER; BROWN, 1999).

Fatores como o tamanho da célula, o treinamento recebido pelos operários, acesso visual a todas as atividades da célula e sistemas de controle de gerenciamento têm impacto direto sobre o compartilhamento de informações dentro da célula (HYER; BROWN, 1999). O quadro 5 apresenta a lista completa de referências que abordam os parâmetros citados.

Quadro 5 - Parâmetros para o grupo “Comunicação e Compartilhamento de Informações entre os colaboradores”

Parâmetros	Referências
O nível de comunicação entre os colaboradores que atuam na célula é excelente	(AGHAZADEH et al., 2011; HYER; BROWN, 1999; MOLLEMAN; SLOMP; ROLEFES, 2002; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011)
O nível de compartilhamento de informações entre os colaboradores que atuam na célula é excelente	(HYER; BROWN, 1999)

Fonte: Autores

4.6 Melhoria Contínua e Qualidade na célula

Um parâmetro que visa a melhoria contínua e também visa assegurar a qualidade são os **Círculos de Controle da Qualidade (CCQs), que devem ser**

realizados voluntariamente. Os CCQs são constituídos por um grupo de poucas pessoas reunidas para fazer o controle de qualidade por meio de atividades voluntárias (ISHIKAWA, 1993). Entretanto, a questão do voluntariado é delicada na medida em que são concedidos benefícios, em algumas empresas, para os trabalhadores que participam dos CCQs (HELOANI, 2012).

Ao longo do processo produtivo, não são todas as atividades executadas que agregam valor ao produto. É importante que se identifique as atividades que não agregam valor ao produto para que sejam feitas melhorias a fim de minimizá-las (LIKER, 2005).

Por essa razão, são apontados na literatura nove tipos de **desperdício**, como segue: superprodução, espera, transporte desnecessário, superprocessamento, excesso de inventários, movimentação desnecessária, fabricação de produtos defeituosos, desperdício da elaboração de projetos de mercadorias e serviços que não estão de acordo com o que o cliente final deseja e desperdício da criatividade dos funcionários (LIKER, 2005; OHNO, 1997; WOMACK; JONES, 1998).

Outra forma de reduzir as perdas na produção é melhorando o local de trabalho por meio do **programa 5S**, que possibilita a organização do ambiente de trabalho e contribui para o aumento da produtividade (RODRÍGUEZ et al., 2016).

Também contribui para uma melhor produtividade o **desenvolvimento de trabalhos sinérgicos entre determinados processos e seus respectivos “clientes internos” e “fornecedores internos”**. Usando a concepção de Juran (2009), dentro de um sistema produtivo, cada processo deve entender seu processo posterior como um cliente e, desta forma, procurar a melhor maneira de atendê-lo. Isto se faz igualmente verdadeiro na concepção de uma célula de produção, na qual projetos de melhoria contínua devem ser desenvolvidos de forma sinérgica entre aqueles que fornecem produtos/peças para a célula e aqueles que recebem os produtos/peças decorrentes do trabalho da célula (HUNTER; BLACK, 2007).

Nas células, os trabalhadores ficam em pé, andam e são polivalentes (HUNTER; BLACK, 2007; HUNTER; BULLARD; STEELE, 2004), tornando o sistema produtivo mais otimizado (HUNTER; BLACK, 2007). Porém, são apontados pela literatura problemas relacionados às **ergonomias física e cognitiva** sendo necessária uma análise cuidadosa de critérios relacionados a estas áreas. Entre esses problemas estão o aumento do stress e do cansaço dos operadores, maior

exposição a movimentos repetitivos, intensificação do trabalho, falta de autonomia, pouco controle sobre a produção e precarização das condições de vida e trabalho (AREZES; DINIS-CARVALHO; ALVES, 2015; HASLE, 2014; STERLING; BOXALL, 2013; VIDAL, 2011; WOMACK; ARMSTRONG; LIKER, 2009).

Dentro das possibilidades de melhorias plausíveis de serem alcançadas dentro de uma célula de produção, destacam-se aquelas relacionadas à **sustentabilidade ambiental**. Além da crescente preocupação ambiental no meio empresarial, as leis que visam proteger o meio ambiente estão se tornando cada vez mais rigorosas (ABNT, 2015). O desperdício ambiental nas empresas está relacionado à utilização de recursos produtivos desnecessários e à contaminação do ar, da terra ou do solo por substâncias que prejudiquem o meio ambiente ou o ser humano (EPA, 2007). De certa forma, a adoção da filosofia *lean* contribui de maneira decisiva para um melhor desempenho ambiental das organizações, pois ao se enxugar um processo produtivo, enxuga-se também desperdícios relacionados ao consumo de matérias primas, energia elétrica, entre outros fatores (PAMPANELLI; FOUND; BERNARDES, 2014). Dando-se maior foco em relação às células de produção, as mesmas devem ser avaliadas em relação à sustentabilidade ambiental.

Além dos parâmetros associados à filosofia de melhoria contínua, outros conceitos, ferramentas e programas de qualidade contribuem para o alcance de bons resultados no *lean*.

A existência de **procedimentos padrões atualizados a serem utilizados em caso de dúvidas** em cada posto de trabalho da célula também tem como finalidade assegurar um controle de qualidade maior, reduzindo a probabilidade de erros.

Informações como o *takt-time*, o tempo de ciclo, a sequência de produção e a configuração da célula devem estar contidas nas folhas com os procedimentos padrões atualizados. A partir da análise dessas folhas, também é possível determinar a quantidade de trabalhadores necessários para determinada atividade (HUNTER; BLACK, 2007; MAASOUMAN; DEMIRLI, 2016; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011). Entre os benefícios gerados pela existência de procedimentos padronizados estão uma produção mais eficiente e a redução de problemas operacionais como erros, acidentes e produtos com defeito (LIKER, 2005).

Esses procedimentos padrões devem estar sempre atualizados, visíveis para o líder da equipe e devem ser **auditados regularmente**. Além disso, as instruções

dos procedimentos padrões devem ser claras e precisas (MAASOUMAN; DEMIRLI, 2016; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011).

Visando garantir maior produtividade, **a manutenção dos equipamentos utilizados na célula deve ser realizada de forma planejada por meio do programa TPM** (*Total Productive Maintenance*). A manutenção de todos os equipamentos de uma célula deve ser executada de forma preventiva, proativa e preditiva, com procedimentos padronizados (MAASOUMAN; DEMIRLI, 2016; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011; SHEN, 2015). O quadro 6 apresenta a lista completa de referências que abordam os parâmetros citados.

Quadro 6 - Parâmetros para o grupo “Melhoria Contínua e Qualidade na célula” (continua)

Parâmetros	Referências
O grupo de colaboradores que atua na célula desenvolve CCQs de forma totalmente voluntária	(BLAGA; JOZSEF, 2014; HASLE et al., 2012; HELOANI, 2012; ISHIKAWA, 1993; MONDEN, 2015)
São constantemente realizadas melhorias na célula em função dos princípios do 5S e desperdícios segundo a filosofia <i>lean</i>	(CHAUHAN, 2012; LIKER, 2005; RODRÍGUEZ et al., 2016; SHINGO, 1996; WOMACK; JONES, 1998)
Os projetos de melhoria contínua desenvolvidos na célula procuram envolver de forma sinérgica processos clientes e processos fornecedores	(ALONY; JONES, 2008; CONTI et al., 2006; HASLE, 2014; HASLE et al., 2012; HUNTER; BLACK, 2007; JADHAV; MANTHA; RANE, 2014; JURAN, 2009; LI; FOUND, 2016; PAMPANELLI; FOUND; BERNARDES, 2014; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011; WOMACK; ARMSTRONG; LIKER, 2009)
A célula de produção é constantemente avaliada em relação à sustentabilidade ambiental	(ABNT, 2015; EPA, 2007; PAMPANELLI; FOUND; BERNARDES, 2014)
Todos os postos de trabalho da célula apresentam à disposição dos funcionários procedimentos padrões atualizados para serem utilizados em caso de dúvidas	(HASLE, 2014; HASLE et al., 2012; HUNTER; BLACK, 2007; LIKER, 2005; MAASOUMAN; DEMIRLI, 2016; MARODIN; TORTORELLA; SAURIN, 2014; MONDEN, 2015; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011; WOMACK; ARMSTRONG; LIKER, 2009)

Quadro 6 - Parâmetros para o grupo “Melhoria Contínua e Qualidade na célula” (conclusão)

Parâmetros	Referências
São realizadas auditorias regulares para verificar a conformidade da célula com os procedimentos padrões estabelecidos segundo princípios da qualidade e filosofia <i>lean</i>	(SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011)
A manutenção dos equipamentos utilizados na célula toma por base os princípios do TPM (<i>Total Productive Maintenance</i>)	(BAKRI et al., 2012; CALADO, 2011; CONTI et al., 2006; CULLINANE et al., 2014; MAASOUMAN; DEMIRLI, 2016; MARODIN; TORTORELLA; SAURIN, 2014; RODRÍGUEZ et al., 2016; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011; SHEN, 2015; WOMACK; ARMSTRONG; LIKER, 2009)

Fonte: Autores

4.7 Configuração da célula

Este tópico tem por objetivo apresentar os parâmetros relevantes à configuração da célula. A célula deve ter como objetivo **trabalhar perfeitamente com o conceito do "one piece flow"**. Esse conceito, conforme foi destacado, consiste em produzir uma só peça de cada vez, não havendo, dessa forma, estoque entre as estações de trabalho (SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011). O *one piece flow* proporciona suavidade para a produção (DEIF, 2012a).

Outros dois aspectos importantes são: a necessidade de **ciclos de trabalho pré-definidos que possibilitam atender a diferentes tempos *takt*** e de **atender a diferentes *pitch* de produção do cliente**. A incerteza e a variedade da demanda estão crescendo devido aos mercados cada vez mais internacionalizados e a sofisticação cada vez maior dos clientes (YANG; GAO, 2016). Por estar relacionado diretamente à demanda, o *takt-time* varia. Com isso, existe a necessidade de haver ciclos de trabalho pré-definidos que possibilitam atender a diferentes tempos *takt* e, desta forma, adequar-se à demanda corrente.

O *pitch* de produção é obtido a partir da multiplicação do *takt-time* pelo número de peças que compõe uma embalagem (ROTHER; SHOOK, 2012). Com a variação da demanda citada acima, a **capacidade da célula em atender diferentes *pitch* de produção do cliente também é fundamental**. Além disso, para conseguir

adequar a produção à esta demanda, **a célula deve ser capaz de produzir diferentes produtos da mesma família em um mesmo turno (Heijunka).**

Os três aspectos supracitados têm como objetivo final proporcionar flexibilidade para a célula e, com eles, permitir que a célula proporcione a **flexibilidade necessária ao sistema produtivo.** De acordo com Hunter e Black (2007), um sistema de manufatura flexível é aquele capaz de se adaptar de forma rápida a alterações na demanda e no produto (HUNTER; BLACK, 2007).

Na literatura, é apontado que tanto o *lean* quanto a configuração celular tendem a aumentar a flexibilidade da produção (ARORA; HALEEM; SINGH, 2013; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011). Com a finalidade de aumentar essa flexibilidade, as células são projetadas em formato de U pois, desta forma, os trabalhadores precisam andar pequenas distâncias para executar suas tarefas (HUNTER; BLACK, 2007). Outro ponto importante é a **determinação das operações restritivas da célula.** Estas operações deverão ser cuidadosamente analisadas, pois os tempos de ciclo estarão por limitados por elas (PEINADO; GRAEML, 2007).

Para auxiliar no monitoramento das atividades da célula, os **quadros de gestão à vista** devem ser utilizados. O quadro para o controle da produção deve conter informações atualizadas a respeito da produção na célula. O que foi planejado, o que foi feito, ações para corrigir os erros e as justificativas para o não cumprimento do que foi planejado estão entre as informações que devem constar nestes quadros (SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011). O controle visual permite que se perceba de forma imediata a existência de desvios em relação ao padrão estabelecido (LIKER, 2005).

A presença do *kanban*, por sua vez, é essencial para que a célula atue de maneira puxada (BHAT, 2008). Por isso, a **alimentação dos componentes para a célula de manufatura deve ser disparada por meio de *kanbans*** (HUNTER; BLACK, 2007).

Devido à maior autonomia que os trabalhadores devem possuir na célula de manufatura *lean*, é importante que a **célula possua dispositivos visuais (*Andon*) para chamar o líder da equipe ou equipes de suporte, em momentos pertinentes.** Porém, conforme ressaltado por Ohno (1997), é importante que os operários não tenham medo de acionar o *Andon* quando necessário.

Em relação ao maquinário, bem como aos postos de trabalho, é importante que eles tenham **dispositivos à prova de erro (*poka-yoke*)**. Este atributo dispensa a necessidade de monitoramento constante das máquinas, ao não permitir que a produção continue se existir algum problema (SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011). Outras vantagens dele são a menor necessidade de inspeção dos produtos, devido à inspeção que ocorre durante a produção, e o aumento na qualidade da produção (AGHAZADEH et al., 2011; CONTI et al., 2006; LIKER, 2005).

Por fim, a **definição correta das áreas de operação, circulação e corredores de movimentação** é mais um parâmetro relacionado à configuração da célula. A existência desse parâmetro deve-se a importância do conhecimento das especificações da área física necessária para a produção (PEINADO; GRAEML, 2007). O quadro 7 apresenta a lista completa de referências que abordam os parâmetros citados.

Quadro 7 - Parâmetros para o grupo "Configuração da célula" (continua)

Parâmetros	Referências
A célula trabalha perfeitamente com o conceito de fluxo unitário de peças (" <i>one piece flow</i> ")	(DEIF, 2012a; MARODIN; TORTORELLA; SAURIN, 2014; MCWILLIAMS; TETTEH, 2009; METTERNICH; BECHTLOFF; SEIFERMANN, 2013; PATTANAİK; SHARMA, 2009; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011)
Os tempos padrões definidos a priori são observados na prática nos processos que constituem a célula	(PEINADO; GRAEML, 2007)
O <i>layout</i> projetado para a célula demonstra-se adequado para diferentes ciclos produtivos desenvolvidos pelos colaboradores	(AALAEI; DAVOUDPOUR, 2016; ARORA; HALEEM; SINGH, 2013; CHANG; WU; WU, 2013; DEEP; SINGH, 2015; HUNTER; BLACK, 2007; METTERNICH; BECHTLOFF; SEIFERMANN, 2013; MOYANO-FUENTES; SACRISTÁN-DÍAZ, 2012; PAPAIOANNOU; WILSON, 2010; RAFIEE et al., 2011; RAMINFAR et al., 2013; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011; TANIMIZU; ISHII; YOKOTANI, 2014)
Os processos mais críticos da célula (operações restritivas) são conhecidos e constantemente gerenciados	(BROWN, 2015; ERENAY et al., 2015; PEINADO; GRAEML, 2007)

Quadro 7 - Parâmetros para o grupo “Configuração da célula”

(conclusão)

Parâmetros	Referências
A célula consegue produzir diferentes produtos da mesma família em um mesmo turno (<i>Heijunka</i>)	(ANGRA; SEHGAL; NOORI, 2008; DEIF, 2012a; KACH et al., 2014; MARODIN; TORTORELLA; SAURIN, 2014; MOYANO-FUENTES; SACRISTÁN-DÍAZ, 2012; OHNO, 1997; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011; WOMACK; ARMSTRONG; LIKER, 2009)
Sempre existem ciclos de trabalho pré-definidos que possibilitam atender a diferentes <i>takt-times</i> na célula	(ROTHER; HARRIS, 2008; ROTHER; SHOOK, 2012; YANG; GAO, 2016)
A célula sempre consegue atender a diferentes <i>pitches</i> de produção do cliente	(ROTHER; SHOOK, 2012)
Existem quadros de gestão à vista por meio do qual colaboradores podem acompanhar o desempenho da célula em questão de forma global e comparativa	(DEIF, 2012a; MARODIN; TORTORELLA; SAURIN, 2014; MOYANO-FUENTES; SACRISTÁN-DÍAZ, 2012; PAMPANELLI; FOUND; BERNARDES, 2014; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011)
A célula atua por meio da disparada de <i>kanbans</i>	(BHAT, 2008; CULLINANE et al., 2014; HASLE, 2014; HASLE et al., 2012; HUNTER; BLACK, 2007; KACH et al., 2014; MCWILLIAMS; TETTEH, 2009; OHNO, 1997; ROTHER; SHOOK, 2012; SHINGO, 1996)
A célula possui dispositivos visuais (<i>Andon</i>) que permitem paralisar a operação e mobilizar equipes em prol de soluções	(LIKER, 2005; OHNO, 1997; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011; WOMACK; JONES; ROOS, 2004)
Análises em relação a possibilidades de aplicação de dispositivos à prova de erro são feitas e, quando pertinentes, tais dispositivos são aplicados	(AGHAZADEH et al., 2011; CONTI et al., 2006; HASLE, 2014; HASLE et al., 2012; KACH et al., 2014; LIKER, 2005; MAASOUMAN; DEMIRLI, 2016; MARODIN; TORTORELLA; SAURIN, 2014; OHNO, 1997; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011; WOMACK; ARMSTRONG; LIKER, 2009)
As áreas de operação, circulação e corredores de movimentação são corretamente definidas	(PEINADO; GRAEML, 2007; SAURIN; MARODIN; RIBEIRO, 2011)

Fonte: Autores

6 CONCLUSÃO

Em um mercado cada vez mais competitivo, a escolha correta das estratégias e a eficiência da produção têm uma importância crescente dentro das organizações (DERELI, 2015; LOSONCI; DEMETER; JENEI, 2011). Nesse contexto, o *lean production* pode ser um importante aliado para as empresas, visto que, por meio

dele, é possível reduzir desperdícios e otimizar o uso de recursos (KARIM; ARIF-UZ-ZAMAN, 2013).

Apesar da aplicação do *lean* em células de manufatura ser bastante difundida na literatura, são escassos os modelos que se propõe a mensurar a maturidade dessas células. A partir dessa constatação, os autores desse artigo propuseram uma lista de parâmetros que podem ser utilizados na estruturação de ferramentas ou modelos para mensurar a maturidade de células que utilizam a filosofia *lean*.

Foram identificados, a partir de uma extensa revisão da literatura, 38 parâmetros e os mesmo foram agrupados em 7 categorias. A análise destas 7 categorias permite verificar que existem possibilidades de estudos pontuais acerca de alguns parâmetros específicos ou na própria elaboração de modelos de maturidade. A grande contribuição do presente artigo está relacionada à apresentação dos referidos parâmetros que podem ser utilizados como ponto de partida por outros pesquisadores e/ou profissionais de mercado.

Como trabalhos futuros, sugere-se a utilização destes parâmetros na estruturação de um modelo para mensurar a maturidade de células *lean*, tema este que vem sendo trabalhado pelos autores deste artigo.

7 AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo financiamento concedido, o qual foi em parte utilizado para a realização desta pesquisa. Também agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos de mestrado da autora Izabela Simon Rampasso.

REFERÊNCIAS

- AALAEI, A.; DAVOUDPOUR, H. Revised multi-choice goal programming for incorporated dynamic virtual cellular manufacturing into supply chain management: A case study. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 47, p. 3–15, jan. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2015.04.005>
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ISO 14001**: Sistemas da gestão ambiental - Requisitos com orientações para uso. 2015.

- AGHAZADEH, S.-M. et al. The influence of work-cells and facility layout on the manufacturing efficiency. **Journal of Facilities Management**, v. 9, n. 3, p. 213–224, 2011. <https://doi.org/10.1108/14725961111148117>
- ALONY, I.; JONES, M. Lean supply chains, JIT and cellular manufacturing - the human side. **Issues in Informing Science and Information Technology**, v. 5, p. 165, 2008.
- ANGRA, S.; SEHGAL, R.; NOORI, Z. S. Cellular manufacturing-A time-based analysis to the layout problem. **International Journal of Production Economics**, v. 112, n. 1, p. 427–438, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.04.007>
- AREZES, P. M.; DINIS-CARVALHO, J.; ALVES, A. C. Workplace ergonomics in lean production environments: A literature review. **Work**, v. 52, n. 1, p. 57–70, 19 ago. 2015. <https://doi.org/10.3233/WOR-141941>
- ARORA, P. K.; HALEEM, A.; SINGH, M. K. Recent development of cellular manufacturing systems. **Sadhana**, v. 38, n. 3, p. 421–428, 2013. <https://doi.org/10.1007/s12046-013-0139-z>
- BAKRI, A. et al. Boosting Lean Production via TPM. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 65, n. 65, p. 485–491, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.11.153>
- BAYRAM, H.; ŞAHİN, R. A comprehensive mathematical model for dynamic cellular manufacturing system design and Linear Programming embedded hybrid solution techniques. **Computers & Industrial Engineering**, v. 91, p. 10–29, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.10.014>
- BHAT, S. The effect of ordering policies for a manufacturing cell changing to lean production. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, v. 222, n. 11, p. 1551–1560, 2008. <https://doi.org/10.1243/09544054JEM1216>
- BLACK, J. T. Design and Implementation of Lean Manufacturing Systems and Cells. In: **Handbook of Cellular Manufacturing Systems**. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 1999. p. 453–496. <https://doi.org/10.1002/9780470172476.ch15>
- BLAGA, P.; JOZSEF, B. Human Resources, Quality Circles and Innovation. **Procedia Economics and Finance**, v. 15, n. 14, p. 1458–1462, 2014. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00611-X](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00611-X)
- BORTOLOTTI, T.; BOSCARI, S.; DANESE, P. Successful lean implementation: Organizational culture and soft lean practices. **International Journal of Production Economics**, v. 160, p. 182–201, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.10.013>
- BROWN, J. R. A capacity constrained mathematical programming model for cellular manufacturing with exceptional elements. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 37, p. 227–232, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2014.09.005>
- BÜYÜKÖZKAN, G.; KAYAKUTLU, G.; KARAKADILAR, İ. S. Assessment of Lean Manufacturing Effect on Business Performance using Bayesian Belief Networks. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 19, p. 6539–6551, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.04.016>
- CALADO, R. D. **Método de Diagnóstico de Empresa: uma abordagem segundo os princípios Lean**. [s.l.] Universidade de Campinas, 2011.

CHANG, C. C.; WU, T. H.; WU, C. W. An efficient approach to determine cell formation, cell layout and intracellular machine sequence in cellular manufacturing systems. **Computers and Industrial Engineering**, v. 66, n. 2, p. 438–450, 2013.

<https://doi.org/10.1016/j.cie.2013.07.009>

CHAUHAN, G. Measuring parameters of lean manufacturing realization. **Measuring Business Excellence**, v. 16, n. 3, p. 57–71, 2012.

<https://doi.org/10.1108/13683041211257411>

CONTI, R. et al. The effects of lean production on worker job stress. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 26, n. 9, p. 1013–1038, 2006.

<https://doi.org/10.1108/01443570610682616>

COPETTI, F. DE A.; SAURIN, T. A.; SOLIMAN, M. Gestão de barreiras na implantação da produção enxuta: um estudo no setor automobilístico. **Produção Online**, v. 16, n. 1, p. 313–341, 2016. <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v16i1.2157>

CORIAT, B. **Pensar pelo avesso: o modelo japonês de trabalho e organização**. Rio de Janeiro: UFRJ/ Revan, 1994.

CULLINANE, S.-J. et al. Job design under lean manufacturing and the quality of working life: a job demands and resources perspective. **The International Journal of Human Resource Management**, v. 25, n. 21, p. 2996–3015, 2014.

<https://doi.org/10.1080/09585192.2014.948899>

DEEP, K.; SINGH, P. K. Design of robust cellular manufacturing system for dynamic part population considering multiple processing routes using genetic algorithm. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 35, p. 155–163, abr. 2015.

<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2014.09.008>

DEIF, A. M. Dynamic analysis of a lean cell under uncertainty. **International Journal of Production Research**, v. 50, n. 4, p. 1127–1139, 2012a.

<https://doi.org/10.1016/j.procir.2012.07.002>

DEIF, A. M. Assessing lean systems using variability mapping. **Procedia CIRP**, v. 3, n. 1, p. 2–7, 2012b. <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.556154>

DEIF, A. M.; ELMARAGHY, H. Cost performance dynamics in lean production leveling. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 33, n. 4, p. 613–623, 2014.

<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2014.05.010>

DERELI, D. D. Innovation Management in Global Competition and Competitive Advantage. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 195, p. 1365–1370, 2015.

<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.323>

DETTY, R. B.; YINGLING, J. C. Quantifying benefits of conversion to lean manufacturing with discrete event simulation : A case study. **International Journal of Production Research**, v. 38, n. 2, p. 429–445, 2000. <https://doi.org/10.1080/002075400189509>

EPA. **United States Environmental Protection Agency**. Disponível em: <www.epa.gov/lean/lean-environment-toolkit>. Acesso em: 25 jan. 2016.

- ERENAY, B. et al. Comparison of layered cellular manufacturing system design approaches. **Computers & Industrial Engineering**, v. 85, p. 346–358, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.02.021>
- FARDIS, F.; ZANDI, A.; GHEZAVATI, V. Stochastic extension of cellular manufacturing systems: a queuing-based analysis. **Journal of Industrial Engineering International**, v. 9, n. 1, p. 20, 2013. <https://doi.org/10.1186/2251-712X-9-20>
- FAVONI, C.; GAMBI, L.; CARETA, C. Oportunidades de implementação de conceitos e ferramentas de produção enxuta visando melhoria da competitividade de empresas do APL calçadista de Jaú/SP. **Produção Online**, v. 13, n. 3, p. 1118–1142, 2013. <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v13i3.1404>
- FORNO, A. J. D. et al. Value stream mapping: A study about the problems and challenges found in the literature from the past 15 years about application of Lean tools. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 72, n. 5–8, p. 779–790, 2014. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-5712-z>
- GAUCH JUNIOR, H. G. **Scientific method in practice**. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- GIL, A. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Editora Atlas, 2010.
- HASLE, P. et al. Lean and the working environment: a review of the literature. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 32, n. 7, p. 829–849, 2012. <https://doi.org/10.1108/01443571211250103>
- HASLE, P. Lean Production: an evaluation of the possibilities for an employee supportive lean practice. **Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries**, v. 24, n. 1, p. 40–53, 2014.
- HELOANI, R. **Gestão e organização no capitalismo globalizado: história da manipulação psicológica no mundo do trabalho**. São Paulo: Atlas, 2012.
- HUNTER, S. L.; BLACK, J. T. Lean Remanufacturing: a Cellular Case Study. **Journal of Advanced Manufacturing Systems**, v. 6, n. 2, p. 129–144, 2007. <https://doi.org/10.1142/S0219686707000954>
- HUNTER, S. L.; BULLARD, S.; STEELE, P. H. Lean production in the furniture industry: The double D assembly cell. **Forest Products Journal**, v. 54, n. 4, p. 32–38, 2004.
- HYER, N. L.; BROWN, K. A. Discipline of real cells. **Journal of Operations Management**, v. 17, n. 5, p. 557–574, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(99\)00003-0](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(99)00003-0)
- ISHIKAWA, K. **Controle de qualidade total: a maneira japonesa**. Rio de Janeiro: Campus, 1993.
- JADHAV, J. R.; MANTHA, S. S.; RANE, S. B. Exploring barriers in lean implementation. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 5, n. 2, p. 122–148, 2014. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-12-2012-0014>
- JURAN, J. M. **A qualidade desde o projeto**. Boston: Cengage Learning, 2009.

KACH, S. C. et al. **Implementação do Método Kanban em Célula de Montagem dos Componentes Plásticos para Linha de Implementos Agrícolas**. XI Simpósio de excelência em gestão e tecnologia. **Anais...**2014

KARIM, A.; ARIF-UZ-ZAMAN, K. A methodology for effective implementation of lean strategies and its performance evaluation in manufacturing organizations. **Business Process Management Journal**, v. 19, n. 1, p. 169–196, 2013. <https://doi.org/10.1108/14637151311294912>

LI, A. Q.; FOUND, P. Lean and Green Supply Chain for the Product-Services System (PSS): The Literature Review and A Conceptual Framework. **Procedia CIRP**, v. 47, p. 162–167, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.057>

LIKER, J. K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

LIMA, D. F. S. DE et al. Mapeamento do fluxo de valor e simulação para implementação de práticas lean em uma empresa calçadista. **Produção Online**, v. 16, n. 1, p. 366–392, 2016. <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v16i1.218>

LOSONCI, D.; DEMETER, K. Lean production and business performance: international empirical results. **Competitiveness Review: An International Business Journal incorporating Journal of Global Competitiveness**, v. 23, n. 3, p. 218–233, 2013. <https://doi.org/10.1108/10595421311319816>

LOSONCI, D.; DEMETER, K.; JENEI, I. Factors influencing employee perceptions in lean transformations. **International Journal of Production Economics**, v. 131, n. 1, p. 30–43, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.12.022>

MAASOUMAN, M. A.; DEMIRLI, K. Development of a lean maturity model for operational level planning. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 83, n. 5, p. 1171–1188, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7513-4>

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MARODIN, G. A.; SAURIN, T. A. A influência das práticas de produção enxuta nos atributos qualificadores das células de manufatura. **Revista Produção Online**, v. 13, n. 4, p. 1252–1275, 19 nov. 2013. <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v13i4.1207>

MARODIN, G.; TORTORELLA, G. L.; SAURIN, T. **Fatores que afetam à implantação de práticas de produção enxuta em células de manufatura**. Fatores que afetam à implantação de práticas de produção enxuta em células de manufatura. **Anais...SIMPOI**, 2014

MCDONALD, T. et al. Development and application of a worker assignment model to evaluate a lean manufacturing cell. **International Journal of Production Research**, v. 47, n. 9, p. 2427–2447, 2009. <https://doi.org/10.1080/00207540701570174>

MCWILLIAMS, D. L.; TETTEH, E. G. Managing lean DRC systems with demand uncertainty: An analytical approach. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 45, n. 9–10, p. 1017–1032, 2009. <https://doi.org/10.1007/s00170-009-2030-y>

METTERNICH, J.; BECHTLOFF, S.; SEIFERMANN, S. Efficiency and economic evaluation of cellular manufacturing to enable lean machining. **Procedia CIRP**, v. 7, p. 592–597, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.06.038>

MOHAMMADI, M.; FORGHANI, K. A novel approach for considering layout problem in cellular manufacturing systems with alternative processing routings and subcontracting approach. **Applied Mathematical Modelling**, v. 38, n. 14, p. 3624–3640, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2013.11.058>

MOLLEMAN, E.; SLOMP, J.; ROLEFES, S. The evolution of a cellular manufacturing system-a longitudinal case study. **International Journal of Production Economics**, v. 75, p. 305–322, 2002.

MONDEN, Y. **Sistema Toyota de Produção: uma abordagem integrada ao just-in-time**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

MOYANO-FUENTES, J.; SACRISTÁN-DÍAZ, M. Learning on lean: a review of thinking and research. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 32, n. 5, p. 551–582, 2012. <https://doi.org/10.1108/01443571211226498>

NOURI, H. Development of a comprehensive model and BFO algorithm for a dynamic cellular manufacturing system. **Applied Mathematical Modelling**, v. 40, n. 2, p. 1514–1531, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2015.09.004>

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

PAMPANELLI, A. B.; FOUND, P.; BERNARDES, A. M. A Lean & Green Model for a production cell. **Journal of Cleaner Production**, v. 85, p. 19–30, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.014>

PAPAIIOANNOU, G.; WILSON, J. M. The evolution of cell formation problem methodologies based on recent studies (1997-2008): Review and directions for future research. **European Journal of Operational Research**, v. 206, n. 3, p. 509–521, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.10.020>

PARKER, S. K. Longitudinal effects of lean production on employee outcomes and the mediating role of work characteristics. **Journal of Applied Psychology**, v. 88, n. 4, p. 620–634, 2003. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.88.4.620>

PATTANAİK, L. N.; SHARMA, B. P. Implementing lean manufacturing with cellular layout: A case study. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 42, n. 7–8, p. 772–779, 2009. <https://doi.org/10.1007/s00170-008-1629-8>

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da Produção (Operações Industriais e de Serviços)**. Curitiba: UnicenP, 2007.

PINHEIRO, T. H.; SCHELLER, A. C.; MIGUEL, P. A. C. Integração do six sigma com o lean production: uma análise por meio de múltiplos casos. **Produção online**, v. 13, n. 4, p. 1297–1324, 2013. <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v13i4.1291>

RAFIEE, K. et al. A new approach towards integrated cell formation and inventory lot sizing in an unreliable cellular manufacturing system. **Applied Mathematical Modelling**, v. 35, n. 4, p. 1810–1819, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2010.10.011>

- RAMINFAR, R. et al. An integrated model for production planning and cell formation in cellular manufacturing systems. **Journal of Applied Mathematics**, v. 2013, 2013.
- RODRÍGUEZ, D. et al. Impact of Lean Production on Perceived Job Autonomy and Job Satisfaction: An Experimental Study. **Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries**, v. 26, n. 2, p. 159–176, 2016.
- ROTHER, M.; HARRIS, R. **Criando fluxo contínuo: um guia de ação para gerentes, engenheiros e associados da produção**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2008.
- ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2012.
- SAKHAI, M. et al. A robust optimization approach for an integrated dynamic cellular manufacturing system and production planning with unreliable machines. **Applied Mathematical Modelling**, v. 40, n. 1, p. 169–191, 2016.
- SAURIN, T. A.; MARODIN, G. A.; RIBEIRO, J. L. D. A framework for assessing the use of lean production practices in manufacturing cells. **International Journal of Production Research**, v. 49, n. 11, p. 3211–3230, 2011. <https://doi.org/10.1080/00207543.2010.482567>
- SHEN, C. C. Discussion on key successful factors of TPM in enterprises. **Journal of Applied Research and Technology**, v. 13, n. 3, p. 425–427, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jart.2015.05.002>
- SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da engenharia de produção**. 2. ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.
- STERLING, A.; BOXALL, P. Lean production, employee learning and workplace outcomes: A case analysis through the ability-motivation-opportunity framework. **Human Resource Management Journal**, v. 23, n. 3, p. 227–240, 2013. <https://doi.org/10.1111/1748-8583.12010>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2014.09.007>
- TANIMIZU, Y.; ISHII, S.; YOKOTANI, T. A study on development of a work instruction system for assembly cells based on analysis of learning processes. **Journal of advanced mechanical design, systems, and manufacturing**, v. 8, n. 4, p. 1–9, 2014. <https://doi.org/10.1299/jamdsm.2014jamdsm006>
- VIDAL, M. Reworking postfordism: Labor process versus employment relations. **Sociology Compass**, v. 5, n. 4, p. 273–286, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1751-9020.2011.00366.x>
- WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. Rio de Janeiro: Campus, 1998.
- WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Soluções enxutas: como empresas e clientes conseguem juntos criar valor e riqueza**. Rio de Janeiro: Campus, 2006.
- WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro: Campus, 2004.

WOMACK, S. K.; ARMSTRONG, T. J.; LIKER, J. K. Lean Job Design and Musculoskeletal Disorder Risk: A Two Plant Comparison. **Human Factors and Ergonomics in Manufacturing**, v. 19, n. 4, p. 279–293, 2009. <https://doi.org/10.1002/hfm.20159>

YANG, C.; GAO, J. Balancing mixed-model assembly lines using adjacent cross-training in a demand variation environment. **Computers and Operations Research**, v. 65, p. 139–148, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2015.07.007>

YIN, R. K. **Case Study Research: design and methods**. 5. ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, Inc., 2014.



Artigo recebido em 07/12/2016 e aceito para publicação em 04/10/2017

DOI: <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v17i4.2637>