

Modelo de utilização de sistemas ciber-físicos na implementação da metodologia WCM

Guilherme Louro Brezinski (PUCPR) guilherme.brezinski@pucpr.edu.br

André Luiz A. C. Venâncio (PUCPR) andre.venancio@pucpr.edu.br

Eduardo de Freitas Rocha Loures (PUCPR) eduardo.loures@pucpr.br

Fernando Deschamps (PUCPR) fernando.deschamps@pucpr.br

Resumo:

Com a utilização mais frequente de sistemas digitalmente integrados na manufatura, surge a necessidade de adequação de metodologias que já são utilizadas, e inclusive, consideradas referência em boa gestão e efetividade, a essas novas tecnologias cada vez mais presentes e consolidadas. A indústria 4.0 traz consigo a digitalização dos ativos e de toda a informação gerada no ambiente fabril, e isso impacta em todo o fluxo de trabalho, aumentando a transparência, produtividade e comunicação. Estes são, inclusive, os três principais objetivos da Manufatura de Classe Mundial (WCM), uma metodologia criada nos anos 80 visando a excelência industrial e largamente utilizada nos dias de hoje. Este trabalho visa, primeiramente, analisar o contexto em que o WCM está inserido e, após isso, prever uma inserção rápida e segura da principal tecnologia da indústria 4.0, os Sistemas Ciber-Físicos (CPS) em uma manufatura estrategicamente alinhada com a metodologia WCM e os impactos desta inserção, tanto na manufatura quanto na metodologia. Isso será desenvolvido em duas partes: 1) análise das definições pertinentes e 2) criação de um modelo de cooperação entre CPS e WCM.

Palavras chave: Sistemas Ciber-Físicos, Manufatura de classe mundial, Indústria 4.0.

Using cyber-physical systems in the WCM methodology implementation

Abstract

With more frequent use of digitally integrated systems in manufacturing, there is a need to adapt methodologies that are already used, and even considered as a reference in good management and effectiveness, to these new technologies that are increasingly present and consolidated. Industry 4.0 brings the digitalization of the assets and all the information generated in the factory environment, and this impacts the entire workflow, increasing transparency, productivity and communication. These are, in fact, the three main objectives of World Class Manufacturing (WCM), a methodology created in the 1980s for industrial excellence and widely used today. This work aims first to analyze the context in which WCM is inserted and, after that, to foresee a fast and safe insertion of the main technology of industry 4.0, the Cyber-Physical Systems (CPS) in a manufacture strategically aligned with the methodology WCM and the impacts of this insertion, both in manufacturing and methodology. This will be developed in two parts: 1) analysis of relevant definitions and 2) creation of a model of cooperation between CPS and WCM.

Key-words: Cyber Physical Systems, World Class Manufacturing, Industry 4.0.

1. Introdução

Desde que surgiu, o conceito de Indústria 4.0 tem se difundido em âmbito industrial como a

maior tendência tecnológica das últimas décadas. A digitalização total dos processos fabris e das informações geradas no chão de fábrica traz consigo um poder de controle operacional sem precedentes na história da manufatura.

Ser parte desta transformação digital, ao contrário do que pode se pensar, é inevitável. É esperado que a transformação seja de longo alcance, mas o ritmo da mudança seja mais lento do que na ruptura digital da Internet, por exemplo. Devido aos seus longos ciclos de investimento, as empresas tendem a ser conservadoras em suas decisões quando se trata de uma ruptura fundamental. Tecnologias disruptivas que, em muitos casos, não estão vinculadas a grandes atualizações de maquinário, permitirão ganhos de produtividade e novos modelos de negócios e alterarão fundamentalmente o cenário competitivo (MCKINSEY, 2015).

Uma questão bastante recorrente nos meios industriais diz respeito a implementação destas novas tecnologias atreladas a indústria 4.0 em ambientes fabris que já possuem uma filosofia de planejamento e de produção bastante embasada. Se, por exemplo, uma empresa trabalha com a filosofia de Manufatura Enxuta (Lean Manufacturing) ou com a metodologia Manufatura de Classe Mundial (World Class Manufacturing ou WCM) estará apta a receber estas novas tecnologias disruptivas sem necessitar passar por mudanças mais profundas em sua estrutura organizacional? Se estas mudanças alterarão todo o cenário competitivo, não é necessário alterar também as metodologias de execução?

Para responder estas questões, este trabalho busca, primeiramente no próximo capítulo, contextualizar o universo de trabalho. Para isso, trabalhamos com os conceitos fundamentais da indústria 4.0, com uma atenção especial para os Sistemas Ciber-físicos (Cyber-Physical Systems ou CPS) devido a sua singularidade de aplicação e seu potencial disruptivo (voltamos a falar sobre eles na seção 2.1). Outro ponto considerado também são as filosofias e metodologias mais praticadas atualmente nas empresas, como, por exemplo, o WCM. Neste artigo, abordamos melhor a perspectiva CPS + WCM, pois ambos possuem objetivos muito parecidos: Transparência, Produtividade e Comunicação. Após isso, no capítulo 3, é realizada uma discussão sobre a implementação do CPS em empresas que utilizam a metodologia WCM, com o impacto desta decisão e seus desafios. No capítulo 4, a partir das descobertas do capítulo 3, é desenvolvido um modelo de fácil implementação CPS que possa abranger toda a metodologia WCM. Por fim, no capítulo 5, são discutidos os resultados do trabalho, e propostas novas abordagens sobre o tema para estudos futuros.

2. Contexto

As tecnologias disruptivas da indústria 4.0 prometem fábricas inteligentes altamente eficientes e cada vez mais integradas, com uma troca de informação cada vez maior. A informação, aliás, é o ativo principal da quarta revolução industrial. A análise desta grande quantidade de dados gerada nestes equipamentos integrados possibilita uma mudança de patamar na criação de valor de toda a empresa. Um ponto forte da quarta revolução industrial é que, diferentemente da terceira revolução, esta terá um alto impacto, apesar da limitada substituição de equipamentos.

No entanto, segundo Batalha e Parli (2017), para liberar o potencial da Indústria 4.0, as empresas precisam entender as novas tecnologias e seus desafios e oportunidades. Portanto é vital que vários sistemas sejam totalmente integrados uns aos outros, caso contrário, apenas 40-60% do valor potencial será capturado.

Toda a atitude tradicional das empresas deverá ser modificada, introduzindo inclusive mudanças radicais (não apenas incrementais) já que, segundo Malavasi (2017) a Indústria 4.0 visa transferir os princípios da internet para o mundo industrial: a fábrica digital é construída

sobre o alicerce dos sistemas ciber-físicos e será obtida pela introdução de disruptivas inovações.

2.1. CPS

O termo sistemas ciber-físicos (CPS) foi definido como os sistemas em que aplicações naturais e idealizadas para o mundo físico estão intimamente integradas com sistemas computacionais, de comunicação e de controle (mundo digital ou cibernético) (BAGHERI et al., 2015). A evolução dos CPS é resultado da interação entre os avanços destas tecnologias e seus potenciais econômicos e sociais.

Os sistemas ciber-físicos são o produto do desenvolvimento contínuo e da utilização integrada de dois principais campos de inovação: sistemas de software embarcado e redes de dados globais como a internet, com sistemas de aplicativos distribuídos e interativos. Estes são capacitados por uma poderosa infraestrutura composta por sensores, atuadores e redes de comunicação que são empregados por empresas que atuam e cooperam em nível global (ACATECH, 2015).

Considerando avanços recentes e a ampla implementação de sensores, sistemas de aquisição de dados, redes de computadores e computação em nuvem tem preparado a infraestrutura para desenvolvimento e implementação de sistemas ciber-físicos. Por outro lado, a vasta utilização destes sensores e sistemas de controle na indústria gera uma quantidade imensa de dados. O gerenciamento de um volume tão grande de dados, que é chamado de Big Data, requer consideração específica (LEE et al., 2013). Neste ambiente, é importante ter uma forma sistemática de adquirir, gerenciar e administrar os dados para se obter as informações desejadas. Os CPS podem ser utilizados para solucionar este problema nas indústrias atuais trazendo controle autônomo e capacidades de autogerenciamento a máquinas industriais (NATIONAL INSTITUTE OF S. & TECHNOLOGY, 2013). Na Figura 1, um mapa do universo de aplicação dos sistemas ciber-físicos.



Figura 1 – Sistemas Ciber-físicos. Fonte: O Autor (2018) baseado em Acatech (2015)

Segundo Acatech (2015), estas são as tecnologias e tendências que atuam como principais impulsionadores dos sistemas ciber-físicos:

- a) O uso de poderosos sistemas embarcados inteligentes, serviços móveis e computação onipresente;
- b) O uso da Internet como uma rede de negócios, ou seja, como uma plataforma de cooperação econômica.
- c) O uso dos processos semânticos Web e Web 2.0 e o design interativo de serviços integrados (neste caso, não particularmente interessante para a aplicação de CPS em ambientes industriais, em um primeiro momento, sendo seu uso reservado a aplicações sociais e econômicas).

São algumas das principais características dos sistemas ciber-físicos:

- Utilizam sensores para capturar diretamente dados físicos e atuadores que afetam os processos físicos;
- Interpretam e armazenam dados que são utilizados como base para interações ativas ou reativas com os mundos físico e digital;
- Estão ligados uns aos outros através de redes digitais que pode ser sem fio ou com fio e local ou global;
- Utilizam dados e serviços disponíveis globalmente;
- Possuem uma gama de interfaces multimodais homem-máquina, oferecendo uma variedade de opções diferenciadas e dedicadas para comunicação e controle, por exemplo, usando comandos de voz e gestos.

2.2. WCM

O termo “manufatura de classe mundial” (ou *World Class Manufacturing*- WCM) foi utilizado pela primeira vez por Hayes e Wheelwright (1985) para descrever organizações que alcançaram uma vantagem competitiva global através do uso de suas capacidades de fabricação como arma estratégica. Eles citam uma série de práticas, incluindo o desenvolvimento da força de trabalho, desenvolvendo um grupo de gestão tecnicamente competente, competindo com qualidade, estimulando a participação dos trabalhadores e investindo em equipamentos e instalações de última geração (Flynn et al., 1997).



Figura 2 – Pilares WCM. Fonte: Da Silva (2016)

2.2.1. Pilares WCM

Como mencionado por Palucha (2012), o modelo WCM é baseado em 10 pilares técnicos interligados (relacionados ao processo de fabricação) conforme ilustrado na Figura 2. Abaixo, uma breve descrição de cada pilar individualmente.

- a) Segurança: Evitar acidentes, incorporando comportamento seguro e sua cultura na empresa;
- b) Desdobramento de Custos: Reduz o impacto dos problemas de uma perspectiva de desperdício e perda;
- c) Melhoria contínua: Melhora a qualidade e produtividade, e reduz custos usando métodos apropriados e corretos;
- d) Atividades Autônomas: Aumenta a competência dos funcionários do chão de fábrica pelo local de trabalho; layout organizacional em áreas de trabalho intensivo e manutenção autônoma em áreas de capital intensivo;
- e) Manutenção Profissional: Zero avarias e minimização dos custos de manutenção;
- f) Controle da Qualidade: Zero defeitos, zero desperdício;
- g) Logística: 100% de satisfação do cliente, eliminando estoque e maximizando o manuseio de material;
- h) Gestão Antecipada de Equipamento e Produtos: Lançamento de novos equipamentos ou produtos para ajudar na competitividade e minimizar os custos e o tempo do projeto;
- i) Desenvolvimento Pessoal: Educação e treinamento dos funcionários para tornar a WCM responsabilidade de todos;
- j) Meio Ambiente: Controle e redução de todo o impacto ambiental das operações.

3. Discussão

Com o advento da indústria 4.0, é inerente que a manufatura passará por grandes mudanças. Invariavelmente, empresas que adotaram o WCM, que é tido como uma das mais eficientes metodologias de produção que existe, sendo amplamente utilizado ao redor do planeta, precisarão também passar por estas mudanças. Sendo relativamente novo e de aplicação um tanto quanto complexa, simplesmente abandonar toda a metodologia assim que as tecnologias CPS comecem a ser implementadas não é o caminho mais prático, nem mais barato. É preciso fazer com que as novas definições e tecnologias atreladas aos sistemas ciber-físicos trabalhem em conjunto com os pilares já implementados da manufatura de classe mundial. De início, isso pode parecer um trabalho extenso e pouco embasado. Porém partindo da ideia de que ambos conceitos possuem objetivos parecidos, ou que se completam em busca de um ambiente fabril mais transparente, produtivo e comunicativo, é possível mapear mudanças que não apenas serão capazes de habilitar CPS para funcionamento conjunto com as metodologias WCM, como também potencializar as vantagens de utilização dos dois.

No tópico a seguir, discutimos a implementação de CPS em cada pilar técnico da manufatura classe mundial separadamente e suas consequências respondendo duas perguntas:

- 1) É possível realizar o “encaixe” entre o pilar e a tecnologia?
- 2) Este encaixe potencializa os conceitos?

As definições encontradas nesta discussão servirão de base para a modelagem no capítulo 4. Serão discutidos também os pilares que, por alguma razão, não se encaixam nas novas

tecnologias. No tópico 3.2 é realizada também uma análise de atuação dos sistemas legados nesta implementação.

3.1. Inserção das tecnologias CPS no contexto WCM

1) Segurança

É o pilar que envolve a redução dos fatores geradores de acidentes e ocorrências perigosas. Palucha (2012) diz que este pilar requer ações preventivas mais intensas e habilidades necessárias para eliminar eventos perigosos. Os sistemas ciber-físicos trabalham muito bem com ações preventivas, pois possuem a capacidade de analisar os dados gerados e tomar decisões (geralmente envolvendo cognição e inteligência artificial) em prol de ações mais seguras. Portanto, este pilar não apenas encaixa-se com os conceitos de CPS, como também os potencializa.

2) Desdobramento de Custos

Neste pilar, o fabricante deve apresentar um plano eficaz de redução de resíduos (desperdício). Segundo Palucha (2012), são realizadas atividades para identificar estes resíduos, determinar local de produção, identificar métodos de eliminação e etc. Assim como o pilar anterior, as tecnologias CPS podem auxiliar este processo por meio da análise quantitativa de dados, potencializando a tomada de decisão para eliminação dos desperdícios.

3) Melhoria Contínua

O principal objetivo aqui é eliminar os resíduos identificados no pilar de desdobramento de custos. Novamente, por meio da análise dos dados gerados no CPS é possível analisar o sucesso na redução de resíduos e eliminar atividades que não geram valor agregado, porém a curto prazo sem uma potencialização nas atividades do pilar.

4) Atividades Autônomas

Este é, sem dúvidas, o pilar mais afetado pela introdução dos sistemas ciber-físicos no ambiente fabril. As atividades autônomas são o centro da transformação ciber-física. A capacidade de se auto reparar e o envolvimento em um sistema de cooperação autônomo que capacita os sistemas a auto regulação e tomada de decisão são os fatores que tornam os CPS tão atraentes. Aqui não apenas o pilar é potencializado, como também é elevado ao posto de “estado da arte” possível da manufatura de classe mundial.

5) Manutenção Profissional

Segundo Palucha (2012) o escopo das atividades associadas a este pilar é resultado do número de falhas que ocorrem em muitos sistemas, falta de medidas preventivas sistemáticas e falta de cooperação entre os operadores das máquinas e a equipe de manutenção. Este pilar também é potencializado com a utilização de CPS na criação de medidas preventivas, já que torna a comunicação e transparência quanto ao status das máquinas muito mais acessíveis e claros.

6) Controle da Qualidade

Este pilar é geralmente projetado para fornecer aos clientes produtos de alta qualidade a um custo mínimo, para desenvolver condições adequadas de operação para sistemas de produção e para aumentar as habilidades de resolução de problemas de qualidade dos funcionários. O pilar também será afetado pela utilização de CPS, porém, não deve ter mudanças a curto prazo no modo de operação.

7) Logística

O objetivo aqui é criar condições favoráveis para o fluxo de materiais dentro da empresa e entre os fornecedores e a fábrica e reduzir o nível de estoque. Os CPS influenciam diretamente nestes objetivos, auxiliando a tomada de decisão quanto aos níveis de estoque e a utilização de matéria prima. Porém, sem total interoperabilidade entre o setor de produção e demais setores envolvidos na logística, este pilar é apenas afetado pela introdução de CPS.

8) Gestão Antecipada de Equipamento e Produtos

Outro pilar que, além de potencializado pela tecnologia CPS, acaba alcançando um nível de excelência operacional com a introdução destas tecnologias. A implementação eficiente de um novo equipamento permite a otimização de custos e a eliminação de perdas resultantes do período de inatividade, e isso é também um dos principais objetivos de possuir um sistema disponível em meios físicos e virtuais.

9) Desenvolvimento Pessoal

Segundo Palucha (2012), as atividades dentro deste pilar são garantir, por meio de um sistema estruturado de treinamento, habilidades e qualificações apropriadas para cada cargo. Em curto e médio prazo, as implementações CPS não possuem efeito visível neste pilar.

10) Meio Ambiente

O décimo pilar é utilizado para atender aos requisitos e padrões da gestão ambiental. A longo prazo, os sistemas ciber-físicos atenderão também estes requisitos. Mas por não ser objetivo principal da implementação, aqui consideraremos que em um primeiro momento este pilar também não é afetado.

3.2. Sistemas legados

É importante frisar também que na transição para sistemas ciber-físicos proporcionada pela Indústria 4.0 alguns sistemas naturalmente não possuirão as características necessárias para adequação. A esses sistemas, damos o nome de sistemas legados. São características dos sistemas legados: (i) possuem extrema relevância para a organização em matéria de negócios (valor de negócio); e (ii) suas características são obsoletas em relação as exigências técnicas dos demais sistemas da organização. Uma estratégia bem aceita no âmbito acadêmico é a adesão de uma camada sensorial a esses sistemas, para que seja possível a interação deles com o resto dos sistemas inteligentes na manufatura.

4. Modelagem

Depois de analisado cada caso de implementação das tecnologias ciber-físicas nos moldes estruturados pelos pilares da manufatura de classe mundial, é possível observar que a transformação tecnológica que trará os conceitos de digitalização e horizontalização dos meios de produção pode sim se desenvolver em um ambiente já ocupado por metodologias como o WCM. De fato, alguns pilares WCM parecem não apenas encaixar (juntar ou unir) corretamente com os conceitos dos sistemas ciber-físicos, como também ter seus objetivos e meios de realização potencializados (tornado mais eficaz, ativo, ou ter seus efeitos reforçados) por estes conceitos. No capítulo 3, foram definidos os papéis de cada um dos pilares e as consequências da evolução CPS. Além disso, foram respondidas as questões: “É possível realizar o “encaixe” (ou junção, união) entre o pilar e a tecnologia?” E “Este encaixe potencializa os conceitos?”. Na Tabela 1 é possível observar um compilado das respostas.

Pilar WCM	Aplicação CPS
Segurança	Potencializado
Desdobramento de Custos	Potencializado
Melhoria Contínua	Afetado
Atividades Autônomas	Potencializado
Manutenção Profissional	Potencializado
Controle da Qualidade	Afetado
Logística	Afetado
Gestão Antecipada	Potencializado
Desenvolvimento Pessoal	Não afetado
Meio Ambiente	Não afetado

Tabela 1 – Resultado da aplicação de CPS em cada pilar WCM

Com uma visão mais estratégica de como cada pilar WCM é afetado pela inserção das tecnologias CPS a curto prazo, é possível distinguir pontos de atenção e reformulação da metodologia. Alguns pilares parecem potencializar seus objetivos com a chegada desta digitalização, enquanto outros, em um primeiro momento, parecem não ser tão afetados. Isso gera um novo paradigma no acompanhamento do desenvolvimento do WCM dentro das empresas pois, com o CPS, alguns dos pilares acabarão se tornando autossustentáveis, enquanto outros continuarão seguindo um caminho pouco digital.

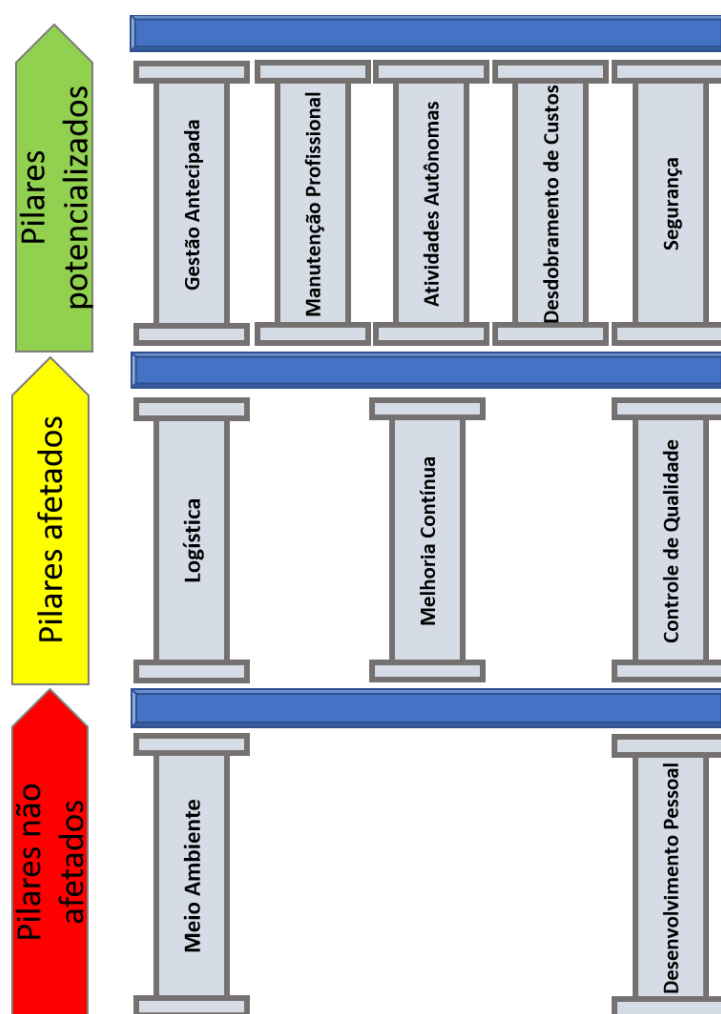


Figura 3 – Rearranjo dos pilares WCM com inserção de CPS a curto prazo

É importante salientar novamente que as análises foram realizadas idealizando um cenário a curto prazo. Cenários a médio e longo prazo tendem a ter diferentes resultados em cada análise, porém, este seria um caminho ainda muito nebuloso, tendo em vista que os próprios sistemas ciber-físicos encontram-se ainda em fase inicial de implementação e, portanto, ainda não é possível definir com certeza quais serão os caminhos do desenvolvimento destas tecnologias. Na Figura 3, foi realizada a modelagem de um novo padrão da estrutura WCM pelo nível de sensibilização que a implementação CPS trará ao ambiente em que a metodologia está inserida a curto prazo, tendo em vista que os pilares foram divididos em três grupos: Os pilares que serão potencializados pela transformação digital, os que serão apenas afetados e os que não sofrerão nenhum impacto.

5. Considerações Finais

Considerando que, à medida que a indústria 4.0 avança em implementação e robustez de seus conceitos, se faz necessária uma visão estratégica da consistência que os padrões atuais terão em um futuro cada vez mais inteligente e conectado. Este estudo traz significativas contribuições para esta visão.

Primeiramente, foi possível alinhar as estratégias atuais de desenvolvimento com previsões de evolução. Isso é importante porque nem sempre as novas tecnologias trazem consigo um plano de redefinição de conceitos já existentes. A metodologia WCM é complexa e, ao contrário de outras definições que acabaram sumindo com a evolução natural da tecnologia, merece evoluir para que seja possível acompanhar a indústria 4.0.

Além disso, é interessante constatar que algumas definições desta revolução tecnológica concebida em 2011 podem se encaixar tão bem a definições metodológicas criadas nos anos 80 e, em alguns casos, até mesmo potencializar pontos que serão de extrema importância nas fábricas do futuro.

Para pesquisas futuras, é possível ir mais a fundo no entendimento das mudanças causadas pelas novas tecnologias em metodologias já existentes, assim como traçar estratégias de desenvolvimento de um modelo WCM + CPS mais robusto a médio e longo prazo.

Referências

- ACATECH.** *Integrated research agenda Cyber-Physical Systems (agenda CPS)*. München, 2015.
- BATALHA, A. V.; PARLI, A. L.** *Industry 4.0 with a Lean perspective: Investigating IIoT platforms possible influences on data driven Lean*. 2017. Dissertação de mestrado- Uppsala University. Sweden, 2017.
- DA SILVA, E. M.** *WCM – World Class Manufacturing (Produção de Classe Mundial)*. 2016.
- DUBEY, R.** et al. *The impact of big data on world-class sustainable manufacturing*. The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology, [s.l.], v. 84, n. 1-4, p.631-645, 30 ago. 2015. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-015-7674-1>.
- FLYNN, B.; SCHROEDER, R.; FLYNN, J.; SAKAKIBARA, S.; BATES, K.** *World Class Manufacturing Project: Overview and Results*. International Journal of Operations & Production Management, Vol. 17 No. 7, p. 671-685, 1997.
- KOLBERG, D.; ZÜHLKE, D.** *Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies*. Ifac-papersonline, [s.l.], v. 48, n. 3, p.1870-1875, 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.359>.
- LEE, J.** *Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment*. Manufacturing Letters, 1, p.38–41, 2013.



VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Ponta Grossa, PR, Brasil, 05 a 07 de dezembro de 2018

MALAVASI, M. *Lean Manufacturing and Industry 4.0: an empirical analysis between Sustaining and Disruptive Change*. 2017. Dissertação de mestrado. Politecnico di Milano. Italia, 2017.

MCKINSEY Digital. *Industry 4.0: How to navigate digitization of the manufacturing sector*. 2015.

NATIONAL INSTITUTE OF S. AND TECHNOLOGY. *Foundations for Innovation in Cyber-Physical Systems*. 2013.

PALUCHA, K. *World Class Manufacturing Model in Production Management*. Archives of Materials Science and Engineering, v. 58, n. 2, p. 227-234, Dezembro 2016.

SANDERS, A.; ELANGESWARAN, C.; WULFSBERG, J. *Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing*. Journal Of Industrial Engineering And Management, [s.l.], v. 9, n. 3, p.811-833, 21 set.2016. Omnia Publisher SL.