

# AVALIAÇÃO E MENSURAÇÃO DE SISTEMA DE PRODUÇÃO CIBER-FÍSICO (SPFC) EM UMA EMPRESA DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS

**João Victor Araújo de Freitas**  
victorfreitasrc@hotmail.com

**Franciel Andrade de Oliveira**  
fao.engpro@gmail.com

**Lindara Hage Anunciacao Dessimoni Pinto**  
lindarahage@hotmail.com

**Moisés Andrade Coelho**  
moises.acoelho@gmail.com



*Este estudo tem como objetivo avaliar e mensurar o sistema de produção ciber-físico em uma empresa do Polo Industrial de Manaus. Caracteriza-se como quali-quantitativo, quanto à abordagem do problema e no que tange aos objetivos, considera-se como exploratória. No caso do delineamento (design), a pesquisa caracteriza-se como estudo de caso e a delimitação do universo desta pesquisa foi uma empresa do setor químico localizada no Polo Industrial de Manaus. Como técnicas de pesquisa foram utilizadas: (1) a documentação indireta (pesquisa documental e bibliográfica); (2) a observação direta intensiva (observação in loco e entrevista estruturada aberta); e (3) observação direta extensiva (aplicação de formulário). Entre os principais resultados mencionam-se: (1) avaliação qualitativa e mensuração quantitativa das práticas na empresa estudada; (2) por meio de instrumento (formulário) capaz de identificar níveis de atendimento aos preceitos; e (3) a possibilidade desse levantamento ser utilizado como base para futuras intervenções organizacionais. A relevância do estudo está em apresentar um instrumento que possibilite a aplicação industrial de forma que possa auxiliar as organizações no processo de transformação digital.*

*Palavras-chave: Sistemas de produção, Ciber-físico, Setor químico, Polo Industrial de Manaus, Amazonas*



**XXXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**  
"A Engenharia de Produção e suas contribuições para o desenvolvimento do Brasil"

Maceió, Alagoas, Brasil, 16 a 19 de outubro de 2018.

## 1 Introdução

O mundo viveu duas ondas de inovação: A primeira, a revolução industrial que trouxe máquinas, fábricas, ferrovias, eletricidade e viagens aéreas; e a segunda, a revolução da internet, que trouxe o poder da computação, redes de dados e o acesso sem precedentes à informação e comunicação. Atualmente, vivemos a era da internet industrial que possui três características fundamentais: (1) reunião de máquinas inteligentes, (2) analítica avançada e a (3) criatividade das pessoas no trabalho (ANNUNZIATA, 2013).

A nova era da máquina está mais relacionada com a criação de conhecimento do que com a produção física, ela é digital, exponencial e combinatória. Quanto a primeira característica, quando os produtos são digitais podem ser reproduzidos com perfeita qualidade, custo zero e entregues instantaneamente. A segunda característica, exponencial, tem relação com a velocidade que os computadores ou os robôs possuem para aprender, tornando as fábricas cada vez mais produtivas e os serviços mais rápidos, baratos e eficazes. Finalizando, a terceira característica, combinatória, trata que cada inovação cria sustentação para mais inovações; individualmente as três características seriam causadoras de mudanças no jogo, todavia ao colocá-las juntas as três características criam uma onda de descobertas surpreendentes (BRYNJOLFSSON, 2013).

Para Schwab (2015), estamos à beira de uma revolução tecnológica que alterará fundamentalmente a forma como vivemos, trabalhamos e nos relacionamos. A primeira revolução industrial utilizou a água e o vapor para mecanizar a produção; a segunda utilizou a eletricidade para criar a produção em massa; a terceira utilizou os eletrônicos e a tecnologia de informação para automatizar a produção; por fim, a quarta revolução está construindo em cima da terceira a revolução digital que ocorre desde a metade do último século.

Os Sistemas Ciber-Físicos (SCF) são o próximo passo para o futuro em desenvolvimento, trará mais funcionalidade, autonomia, integração de multiáreas, possui aplicação em todos os setores como indústria, sistemas médicos, relação entre serviço/usuário, entre outros

(BAHETI & GILL, 2011). Os SCFs são caracterizados pela robustez, segurança e proteção (SHA *et al.*, 2008).

Neste contexto, este estudo tem como objetivo avaliar e mensurar o sistema de produção ciber-físico em uma empresa do Polo Industrial de Manaus. O trabalho está estruturado em três partes: (1) revisão da literatura, (2) metodologia e (3) análise dos resultados, discussão, considerações finais e referências.

## 2 Revisão da Literatura

### 2.1 Indústria 4.0

Países como os Estados Unidos estão passando por um processo cada vez mais rápido de digitalização de sua economia. A digitalização está mudando a dinâmica de muitas indústrias, novos mercados estão proliferando, cadeias de valores estão se quebrando e polos de lucratividade estão se ajustando. A digitalização acelerada está criando grandes oportunidades de crescimento da produtividade, principalmente em três áreas potenciais: (1) plataformas online de talentos, (2) big data análises e (3) internet das coisas. Estima-se que a digitalização adicionará aproximadamente U\$ 2,2 trilhões de dólares ao PIB em 2025 (McKINSEY, 2015).

No caso do Reino Unido, os negócios tecnológicos digitais tornaram-se o coração da economia do país. As empresas tecnológicas digitais estão transformando o emprego, direcionando a produtividade e reconceituando as indústrias tradicionais. Essas empresas cresceram 32% a mais em relação aos setores tradicionais entre 2010 e 2014, além de movimentar aproximadamente 161 bilhões de libras em 2014. Os negócios tecnológicos digitais são mais lucrativos, empregam mão de obra mais qualificada e paga melhores salários (NESTA, 2016).

Os modelos de negócios estão evoluindo, mas ainda persiste o problema das linhas de

negócios entre fabricantes, distribuidores, usuários finais e recicladores que não são claras e essa dificuldade, em parte, é resultado da velocidade com que esses novos modelos tem sido implementados, visto que as visualizações tradicionais sobre a fabricação, incluindo no domínio de design, enfocam principalmente a melhoria da eficiência de fabricação por intermédio de avanços transformadores em tecnologias. No entanto, não consideram de forma abrangente, a via completa de desenvolvimento de produtos e as oportunidades comerciais que existem ao longo do ciclo de vida do produto, de modo que a empresa deveria se concentrar em oferecer experiência de produto ao invés de apenas produtos ou serviços tangíveis (ESMAEILIAN *et al.*, 2016).

A computação em nuvem tem sido aplicada em várias funções de fabricação. Desenvolvimento de produtos, processos de fabricação e gerenciamento de sistemas de manufatura são as três principais funções que são altamente influenciadas pela tecnologia de nuvem. Apesar do uso da nuvem ter sido benéfico em termos de redução do custo de produção e tempo, no que tange à qualidade do produto, ainda existem barreiras à sua adoção, bem como no desenvolvimento de produtos, a colaboração entre os diferentes serviços pode ainda não apresentar eficiência em determinados casos (MOURTZIS & VLACHOU, 2016).

O desenvolvimento da indústria é um processo integrado de complexidade e agilidade entre humanos e máquinas. A indústria 4.0 aumenta a digitalização da manufatura com o SCF, no qual redes conectadas de humanos e robôs interagem e trabalham juntas com informações compartilhadas e analisadas, apoiadas por big data e computação em nuvem ao longo de cadeias de valor industriais inteiras. De modo que a produção flexível e eficiente se torna possível na Indústria 4.0 (YANG, 2017).

A indústria 4.0 aumenta a eficiência de custo e tempo e melhora a qualidade do produto, associada às tecnologias, métodos e ferramentas de capacitação. Como resultado, a Indústria 4.0 acelerará a indústria para atingir níveis sem precedentes de eficiência

operacional e crescimento da produtividade (YANG, 2017).

## 2.2 Sistemas de Produção Ciber-físicos

Conforme Erdmann (2007), a produção é compreendida como resultado de uma atividade oriunda de um conjunto de funções ou de esforços empregados. O sistema de produção consiste em uma série de inter-relações que desencadeiam uma soma de processos e operações que permitem a elaboração de um produto (bem ou serviço).

Os sistemas de produção beneficiam desde tecnologias disruptivas, passando pelo aumento da produtividade e redução dos custos. Diversos setores econômicos têm gerado enormes impactos econômicos após o surgimento da internet onde diversas indústrias líderes mundiais estão buscando transformações com amplo valor estimado (MILMANN, 2015).

Sistemas de produção tradicionais tendem a focar em automação e controle e usualmente a atividade de produção para cada máquina segue uma abordagem *top-down* sem considerar as condições de funcionamento das máquinas. O custo de manter uma enorme rede de ativos pode ser elevado. Na perspectiva de manutenção de ativos e gerenciamento de operações, as despesas vêm principalmente da perda de produção devido ao tempo de inatividade, manutenção redundante e estoque de peças sobressalentes (LEE *et al.*, 2017).

Sistemas ciber-físicos foram introduzidos por Helen Gill da *National Science Foundation* nos Estados Unidos em 2006 (GILL, 2008). Baseado em sua definição, "ciber" se refere à computação virtual e processo analítico que tem sido desenvolvido para controlar e manipular entidades físicas para o desempenho de atividades predefinidas. Em publicação, Sha *et al.* (2008) pontuaram a complexidade natural de como subsistemas interagem com outros em um ambiente ciber-físico possível.

Os SCFs representam uma área de pesquisa emergente que tem atraído a atenção de muitos pesquisadores mediante as expectativas de que os SCFs desempenhem um papel

importante no projeto e desenvolvimento de futuros sistemas de engenharia (SANISLAV & MICLEA, 2012).

A pesquisa e as aplicações dos sistemas ciber-físicos (SCF) continuarão nos próximos anos, não apenas pelos problemas não resolvidos, mas também pela natureza complexa e intrigante dos problemas. Isso é especialmente verdadeiro quando o SCF é aplicado na fabricação do futuro, onde a manufatura auto-organizada, o controle ciente de contexto e situação e a colaboração simbiótica entre homem e robô podem desempenhar um papel importante em transformar as fábricas atuais em fábricas do futuro com maior estabilidade e segurança (WANG *et al.*, 2015).

Em trabalho, Hu *et al.* (2016), propuseram um conceito para sistemas ciber-físicos resilientes e integrados denominado de design orientado-3S onde existem três padrões, a saber: estabilidade, segurança e sistematicidade.

Em sistemas de produção ciber-físicos (SPCF), o modelo gerado para a previsão em ciber espaços incorporam dados de redes de sensores para cada ativo crítico visando refletir mudanças, memorizar a história da máquina e prever o status dos ativos para apoiar o processo decisório na produção. Os autores apontam uma arquitetura 5C como guia de desenvolvimento ciber-físico para aplicação industrial, a saber (LEE *et al.*, 2017):

1. Nível de conversão: considera a análise inteligente visando identificar o status dos componentes e máquinas e sua correlação com dados em nível multidimensional;
2. Nível ciber: pondera os modelos de máquinas e componentes a partir dos tempos das máquinas para identificação da variação e história;
3. Nível cognição: integra simulação e síntese, visualização remota para o ser-humano e agrupamento para similaridade em mineração de dados;
4. Nível conexão: cogita o uso de plug & play, comunicação livre e frequente e rede de sensores;

5. Nível configuração: Configuração própria para resiliência, auto-ajuste para as variações e auto-otimização para os distúrbios.

Os SPCFs são redes online de máquinas sociais que estão organizadas de uma forma similar para redes sociais interligando tecnologia da informação com componentes mecânicos e eletrônicos que se comunicam entre si via uma rede utilizando tecnologia RFID (*Radio Frequency Identification*), por exemplo (DELLOITE, 2015).

O SPCF pode ser considerado um passo extremamente importante no desenvolvimento da futura fabricação. No entanto, a fim de concretizar pelo menos uma parte das expectativas, que são relativamente exageradas, são necessárias atividades ainda mais significativas em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I). Paralelamente, os aspectos sociais e éticos também devem ser exaustivamente investigados (MONOSTORI *et al.*, 2016).

As questões de manutenção da produção podem ser mapeadas em dois espaços: visível e invisível. As questões visíveis incluem, mas não limitam, máquinas defeituosas, produtos com defeitos, tempos de ciclo limitados, longo tempo de espera e queda na eficiência geral do equipamento. As questões invisíveis podem ocorrer com a degradação das máquinas e equipamentos, falhas desconhecidas entre outras (LEE *et al.*, 2013).

### 3 Metodologia

#### 3.1 Caracterização da Pesquisa

Este estudo caracteriza-se como quali-quantitativo, quanto à abordagem do problema. Nessa abordagem possibilita um entendimento melhor dos problemas de pesquisa que cada uma das abordagens (quantitativa e qualitativa) permitiria separadamente. A combinação possibilita que as vantagens e desvantagens de cada abordagem sejam amenizadas. Sendo assim, trabalha-se com questões de pesquisa mais amplas que não seriam atendidas usando uma delas isoladamente (MIGUEL, 2012).

No que tange aos objetivos, considera-se como exploratória, A pesquisa exploratória tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses (SILVA & MENEZES, 2005). No que tange o delineamento (design), a pesquisa caracteriza-se como estudo de caso. O estudo de caso permite explorar situações reais cujos limites não estão claramente definidos (GIL, 2002).

### 3.2 Procedimentos para Coleta de Dados

A delimitação do universo desta pesquisa foi uma empresa do setor químico localizada no Polo Industrial de Manaus. Utilizou-se formulário para identificação das características organizacionais, baseado em Guérin *et al.* (2011) e dos aspectos relacionados aos SPCFs, baseado em PWC (2014), EP (2016), GTAI (2014), Delloite (2015) e Lee *et al.* (2017).

Como técnicas de pesquisa foram utilizadas, conforme a classificação de Marconi e Lakatos (1990): (1) a documentação indireta (pesquisa documental e bibliográfica); (2) a observação direta intensiva (observação in loco e entrevista estruturada aberta); e (3) observação direta extensiva (aplicação de formulário).

O estudo ocorreu em quatro momentos: (1) entrevista estruturada aberta (VERGARA, 2009) a partir de um roteiro, baseado em Guérin *et al.* (2001), onde se identificaram informações fundamentais para o complemento dos formulários aplicados na empresa, posteriormente; (2) ocorreu a pesquisa documental tendo em vista a coleta de dados preliminares em documentos escritos (jornais, revistas e demais publicações externas e internas da empresa) e a observação estruturada (VERGARA, 2009); sucedeu a (3) aplicação do formulário com os responsáveis da organização (posterior a observação e as entrevistas); e concluindo, (4) realizou-se a análise e a tabulação dos dados quantitativos e qualitativos.

### 3.3 Procedimentos para Análise de Dados

Os dados qualitativos e quantitativos obtidos das respostas do roteiro foram tabulados em quadro-resumo, agrupadas conforme o conteúdo e estratificado segundo a estrutura do formulário de avaliação e mensuração de sistemas de produção ciber-físicos. As informações documentais levantadas no segundo momento foram integradas e trianguladas com as informações coletadas pelas entrevistas com o objetivo de garantir a racionalização e a validação construída.

## 4 Resultados

### 4.1 Elaboração do Formulário de Avaliação e Mensuração de Sistema de Produção Ciber-físico (SPCF)

Para elaboração do Formulário de Avaliação e Mensuração de Sistema de Produção Ciber-Físico (SPC) foram consideradas as características apresentadas em PWC (2014), EP (2016), GTAI (2014), Delloite (2015) e Lee *et al.* (2017). O Formulário tem como objetivo avaliar e medir o estado atual do sistema produtivo da empresa com relação ao tema; ao todo são 12 métricas e 37 questões abertas com o objetivo de proporcionar uma avaliação adequada do sistema produtivo avaliado (Tabela 1).

**Tabela 1:** Métricas, questões e autores abordados no formulário

Métricas	Número de questões	Autores
Organização das máquinas	2	Delloite (2015)
Integração das máquinas e do processo produtivo	2	
Sensores e elementos de controle	1	
Troca de dados e controle em tempo real	2	PWC (2014)

Interoperabilidade do sistema	2	EP (2016)
Nível de autonomia	2	
Integração vertical	7	GTAI (2014)
Conexão	2	Lee et al. (2017)
Conversão	4	
Ciber	4	
Cognição e otimização do processo	7	
Configuração - inteligência artificial e aprendizagem de máquina	2	

Fonte: Autores.

Ademais, cada uma das questões recebeu uma pontuação de acordo com as evidências que foram apresentadas pela empresa em uma escala entre 1 e 4 com o intuito de mensurar de maneira adequada o sistema produtivo avaliado. As pontuações são: 1 – Não ocorre; 2 – Nível básico de implantação de SPCF; 3 - Nível intermediário de implantação de SPCF, alta; 4 - Nível avançado de implantação de SPCF.

#### 4.2 Caracterização da Empresa Estudada

Este trabalho ocorreu em uma empresa do setor químico, sendo uma das mais conhecidas e respeitadas empresas fabricantes de produtos de higiene e limpeza do mundo, a empresa iniciou suas atividades no segmento de ceras, expandindo para outras categorias como higiene e limpeza, cuidados pessoais, inseticidas e mais recentemente, armazenagem doméstica, sempre se destacando pela inovação.

A primeira subsidiária brasileira surgiu em 1960, localizada no Rio de Janeiro. Em 2008, foi inaugurada a fábrica de Manaus (AM). Atualmente, a sede administrativa permanece no Rio de Janeiro e conta com o ponto de apoio do Escritório Comercial e da Distribuidora, ambos em São Paulo, e laboratórios em São Paulo e Santa Catarina. Hoje a

Companhia possui cerca de 320 funcionários no Amazonas. A Figura 1 apresenta a planta baixa da fábrica.

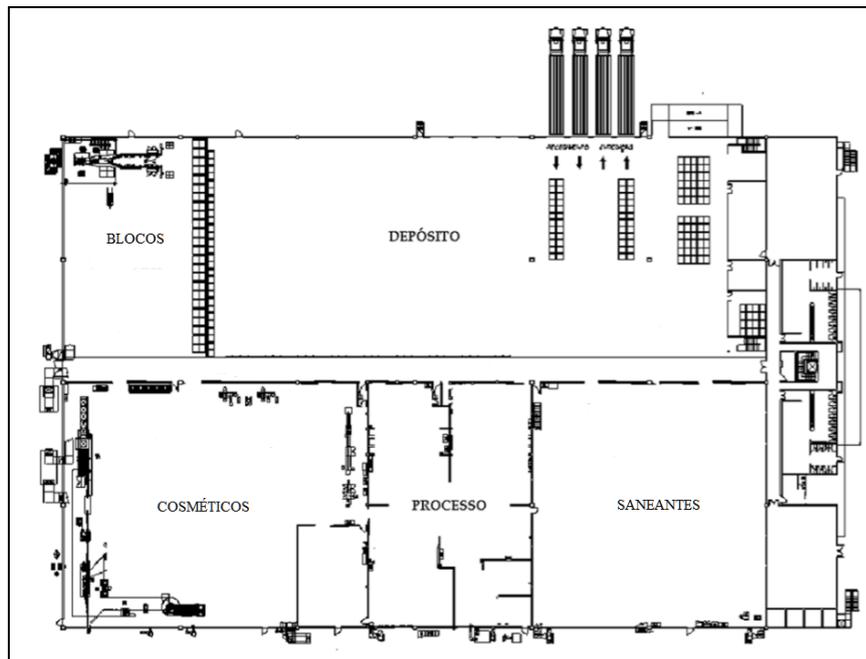


Figura 1: Planta baixa da Fábrica - Manaus. Fonte: Autores.

#### 4.3 Aplicação do Formulário de Avaliação e Mensuração de Sistema de Produção Ciberfísico (SPCF)

Com relação à organização das máquinas em rede, a empresa informou que as máquinas da empresa não estão organizadas em redes e também não utilizam tecnologia RFID ou outro tipo de tecnologia. As máquinas não compartilham informações entre elas, tais como, níveis de estoque, problemas ou falhas, mudanças nos pedidos ou níveis de demanda, ou seja, não são remotas.

A coordenação do processo produtivo objetivando a eficiência e a eficácia acontece

por meio do processo de Gestão de TPM (planejamento das operações, reuniões diárias nas áreas produtivas e acompanhamento dos resultados). Apesar das máquinas não estarem em rede, a cadeia de valor é planejada conforme o *payback* produtos versus projetos com a finalidade de integrar à cadeia de valor e ao ciclo de vida dos produtos. Na empresa não existem sensores ou elementos de controle que permitem as máquinas/equipamentos estarem conectadas à planta fabril, frotas, redes de trabalho e seres humanos.

A troca de dados por toda a cadeia de valor da empresas acontece por meio de *inputs* manuais, planilhas e pelo sistema ERP - SAP. Não existe o controle em tempo real do processo produtivo, não ocorre o processo de interoperabilidade, ou seja, a conexão e comunicação entre homens e dispositivos inteligentes disponíveis (real e virtual), as máquinas/equipamentos não tomam decisões por conta própria.

O nível de automação adotado pela empresa é baixo considerando a indústria 4.0, tendo em vista que o único produto e seu respectivo processo de automação industrial é no processo de fabricação de semi granel, onde se realiza apenas por ação humana a verificação dos níveis de produtos.

A integração vertical (fornecedores, empresa e consumidores) se sucede a partir da rede de máquinas/equipamentos utilizando o ERP – SAP. A interação do sistema com a segurança digital ocorre mediante leitura digital e sistema de controle de incêndio; com relação à interação do sistema com o processo de padronização e normas decorre da utilização do Isodoc - software interno para cadastro de padrões. Por fim, a garantia da qualidade dos produtos em tempo real acontece mediante a inspeção realizada a cada hora.

Não existe um protocolo de comunicação padronizado entre as máquinas/equipamentos e os sistemas de dados, não existe método orientado por dados para sua conversão em informações, as informações não são categorizadas e também não existe responsável pela análise dos dados gerados pelos sistemas.

Quanto ao monitoramento do processo produtivo utilizando sensores ou sistemas de controles, ocorrem em nível de interface, ou seja, sistema de enchimento, sistema de encaixotamento que aparece no CLP da máquina. A previsão de desempenho e depreciação

para possíveis falhas ou erros das máquinas/equipamentos do processo produtivo acontece mediante a utilização de planilha onde são lançados os dados a cada hora.

Desta forma, considerando as informações coletadas e mencionadas pela empresa com relação ao tema sistema de produção ciber-físico elaborou-se o gráfico radar (Figura 2) apresentando a mensuração no que diz respeito à adoção de práticas relacionadas ao tema. Observa-se que os níveis cyber, cognition e configuration apontados no trabalho de Lee et al. (2017) não são contemplados pela empresa. O desempenho geral da empresa no que tange aos sistemas de produção ciber-físicos obteve média 1,2, com média de 1,44 para os aspectos relacionados organização das máquinas; integração das máquinas e do processo produtivo; sensores e elementos de controle; troca de dados e controle em tempo real; interoperabilidade do sistema; nível de autonomia e integração vertical. O *connection level* obteve média de 1,5 e o *conversion level* média de 1,25. *Cyber, cognition e configuration* obtiveram média 1,0.

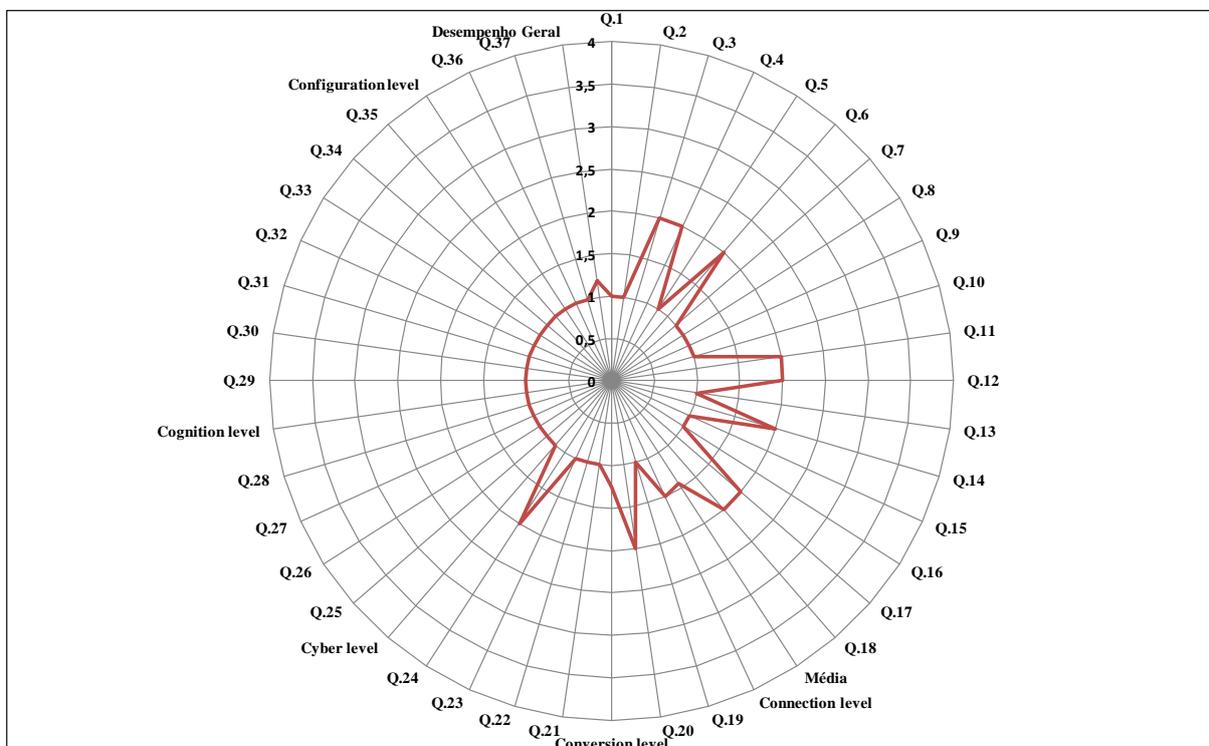


Figura 2: Desempenho da empresa estudada. Fonte: Autores.

## Conclusão

Os SPCF proporcionam a integração entre redes de máquinas interligando tecnologia da informação, componentes mecânicos e eletrônicos, além da interação entre homem-máquina. Logo, acredita-se que o objetivo desse estudo foi atingido ao realizar uma análise quali-quantitativa das práticas relacionadas ao conceito de SPCF.

Entre os principais resultados mencionam-se: (1) avaliação qualitativa e mensuração quantitativa das práticas na empresa estudada; (2) por meio de instrumento (formulário) capaz de identificar níveis de atendimento aos preceitos; e (3) a possibilidade desse levantamento ser utilizado como base para futuras intervenções organizacionais.

O estudo demonstrou que a empresa analisada encontra-se em um estágio inicial dentro do processo de desenvolvimento e implementação de um SPCF. Sendo assim, a empresa estaria classificada no *connection level* proposto por Lee *et al.* (2017). A metodologia utilizada permitiu a avaliação do ponto de vista qualitativo e a mensuração do ponto de vista quantitativo da adoção de práticas de SPCF de modo que possa auxiliar a organização no desenvolvimento e no planejamento de ações voltadas à adequação à indústria 4.0 e mais especificamente em termos de SPCF.

Como limitações da pesquisa, tem-se a aplicação em apenas uma empresa de modo que se torna fundamental a utilização do formulário em outras empresas do mesmo setor ou não para futuros estudos.

Concluindo, com o advento da indústria 4.0 e o processo de digitalização e automação dos processos produtivos se faz necessário o diagnóstico do nível de adequação das empresas a essa nova realidade com o intuito de promover o desenvolvimento industrial de uma região. A relevância do estudo está em apresentar um instrumento que possibilite a aplicação industrial de forma que possa auxiliar as organizações no processo de transformação digital.

## Referências

- ANNUNZIATA, M. (2013, outubro). **Welcome to the age of the industrial internet**. TED@BCG São Francisco – Califórnia: TED. Retrieved from:  
[http://www.ted.com/talks/marco\\_annunziata\\_welcome\\_to\\_the\\_age\\_of\\_the\\_industrial\\_internet](http://www.ted.com/talks/marco_annunziata_welcome_to_the_age_of_the_industrial_internet)
- BAHETI, R.; GILL, H. Cyber-physical systems. **The Impact of Control Technology**, p. 161-166, 2011.
- BRYNJOLFSSON, E. (2013, abril). **The key to growth? Race with the machines**. TED Talks. Long Beach, Califórnia: TED. Retrieved from:  
[http://www.ted.com/talks/erik\\_brynjolfsson\\_the\\_key\\_to\\_growth\\_race\\_em\\_with\\_em\\_the\\_machines.html](http://www.ted.com/talks/erik_brynjolfsson_the_key_to_growth_race_em_with_em_the_machines.html)
- DELLOITTE. **Industry 4.0: challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies**. Suíça: Deloitte, 2015.
- EP – European Parliament. **Industry 4.0**. Bruxelas: EP, 2016.
- ERDMANN, R. H. **Administração da Produção: planejamento, programação e controle**. Florianópolis: Papa-livro, 2007.
- ESMAELIAN, Behzad; BEHDAD, Sara; WANG, Bem. The evolution and future of manufacturing: a review. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 39, p. 79-100, 2016.
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- GILL, H. **From vision to reality: cyber-physical systems**. Present. HCSS Natl. Work. New Res. Dir. High Conf. Transp. CPS Automotive, Aviat. Rail, 2008.
- GTAI – Germany Trade & Invest. **Industrie 4.0**. Germany, GTAI, 2014.
- GUÉRIN et al. **Compreender o trabalho para transformá-lo: a prática da ergonomia**. São Paulo: Blücher: Fundação Vanzolini, 2001.
- HU, F. et al. **Robust Cyber-Physical Systems: Concept, models, and implementation**. *Futur Gener Comput Syst*, v. 56, pp. 449–475, 2016.
- LEE, J.; LAPIRA, E.; BAGHERI, B.; KAO, H. Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment. **Manuf Lett**, v. 1, n. 1; pp. 38–41, 2013.
- \_\_\_\_\_; JIN, C.; BAGHERI, B. Cyber physical systems for predictive production systems. **Production Engineering**, v. 11, n. 2, pp. 155-65, 2017.

- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados**. 2a ed. São Paulo: Atlas, 1990.
- MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick (Org.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012.
- MILLMAN, N. **Big data to unlock value from the industrial internet of things**. Dublin: Accenture, 2015.
- MONOSTORI, L.; et al. Cyber-physical systems in manufacturing. **CIRP ANNALS – Manufacturing Technology**, v. 65, p. 621-641, 2016.
- MOURTZIS, Dimitris; VLACHOU, Ekaterini. Cloud-based cyber-physical systems and quality of services. **The TQM Journal**, v. 28, n. 5, p. 704-733, 2016.
- NESTA. **Tech Nation 2016: transforming UK industries**. UK: Nesta, 2016.
- PWC – PricewaterhouseCoopers. **Industry 4.0: opportunities and challenges of the industrial internet**. Germany: PWC, 2014.
- SCHWAB, Klaus. (2015, December 12). **The fourth industrial revolution: what it means and how to respond**. Retrieved January 10, 2016, from <https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-12-12/fourth-industrial-revolution>
- McKinsey Global Institute. **Digital America: a tale of the haves and have-mores**. EUA: McKinsey, 2015.
- SANISLAV, Teodora; MICLEA, Liviu. Cyber-Physical Systems - Concept, Challenges and Research Areas. **CEAI**, v. 14, n. 02, p. 28-33, 2012.
- SHA, L.; GOPALAKRISHNAN, S.; LIU, X.; WANG, Q. Cyber-Physical Systems: A New Frontier. In: 2008 **IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing** (suc 2008), pp 1–9, 2008.
- SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005.
- VERGARA, Sylvia C. **Métodos de coleta de dados no campo**. São Paulo: Atlas, 2009.
- WANG, Lihui; TORNGREN, Martin; ONORI, Mauro. Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 37, p. 517-527, 2015.
- YANG, Lu. Industry 4.0: A survey on Technologies, application and open research. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 6, p. 1-10, 2017.



**XXXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**  
"A Engenharia de Produção e suas contribuições para o desenvolvimento do Brasil"

Maceió, Alagoas, Brasil, 16 a 19 de outubro de 2018.