

Administração da Produção em Tempos de Revolução Industrial: Um Estudo Taxonômico do Sistema de Produção da Indústria 4.0

Anis Assad Neto (UFPR) anis.assad@gmail.com

Marcos Augusto Mendes Marques (UFPR) marquesammarcos@gmail.com

Mariana Kleina (UFPR) marianakleina11@gmail.com

Fabiano Oscar Drozda (UFPR) fabiano.drozda@gmail.com

Resumo:

Visto que a concepção de sistemas físicos cibernéticos promete provocar uma quarta revolução industrial, o projeto alemão de inovação Indústria 4.0 tem sido considerado por diversos segmentos da sociedade como a forma na qual a manufatura será caracterizada em um futuro próximo. No entanto, a maioria das pesquisas em torno do projeto se concentra em aspectos tecnológicos, e pouca atenção está sendo dada para a investigação de quais peculiaridades caracterizarão o sistema produtivo induzido por esta revolução. O objetivo deste trabalho é descrever e classificar este sistema de produção, com base na literatura disponível e por meio da definição de uma estrutura taxonômica proveniente de múltiplas fontes, capaz de analisar estratégias de inventário, controle de produção e fluxo de material, bem como aspectos operacionais de volume, variação, variedade e visibilidade. Os resultados mostram que o sistema de produção atrelado à Indústria 4.0 sinaliza uma mudança de estratégias de controle de inventário *make-to-stock* para estratégias *engineer-to-order*. Esse sistema deve tolerar extrema flexibilidade de produção e personalização de produto, ao mesmo tempo que mantém uma capacidade de volume estável. Esses resultados denunciam uma divergência em relação às configurações tradicionais da manufatura, indicando uma mudança iminente no conjunto de boas práticas da administração da produção, bem como orientando os próximos trabalhos necessários para o avanço da literatura.

Palavras chave: Indústria 4.0, Taxonomia, Sistemas de Produção.

Operations Management in the Context of Industrial Revolution: A Taxonomical Study of Industry 4.0 Production System

Abstract

As the introduction of cyber-physical systems promises to trigger a Fourth Industrial Revolution, the German government's innovation project Industry 4.0 is being viewed by a plethora of society institutions as the way manufacturing will be characterized in the near future. Nevertheless, most research around the project focuses on technological aspects, and little attention is being paid to investigate which traits will characterize the Industry 4.0 induced Production System. The goal of this paper is to describe and classify this production system, based on available literature and through the definition of a multi-source taxonomical structure, capable of analyzing inventory, production control and material flow strategies, as well as volume, variation, variety and visibility operational aspects. Results show that the upcoming Industry 4.0 production system signals a shift from *make-to-stock* to *engineer-to-order* inventory control strategies and will tolerate extreme production flexibility and product customization without drops in volume capacity. These results denounce a divergence from

traditional manufacturing settings, indicating an imminent change in operations management standard practices and guiding the next research steps required to advance the literature.

Key-words: Industry 4.0, Taxonomy, Production Systems.

1. Introdução

A chegada de uma quarta revolução industrial sinaliza uma mudança drástica no ambiente da manufatura, capaz de causar rupturas nos tradicionais modelos de negócios e métodos de gestão de processos (SCHWAB, 2016). Caracterizada pela introdução na indústria de sistemas de *hardware* e *software* que atrelam os mundos físico e digital - os chamados sistemas físicos cibernéticos (SFC) (COLOMBO et al., 2017) - essa revolução começa a experimentar diferentes identidades ao redor do mundo. Uma síntese das quatro revoluções industriais, como são usualmente apresentadas, pode ser visualizada na Figura 1.

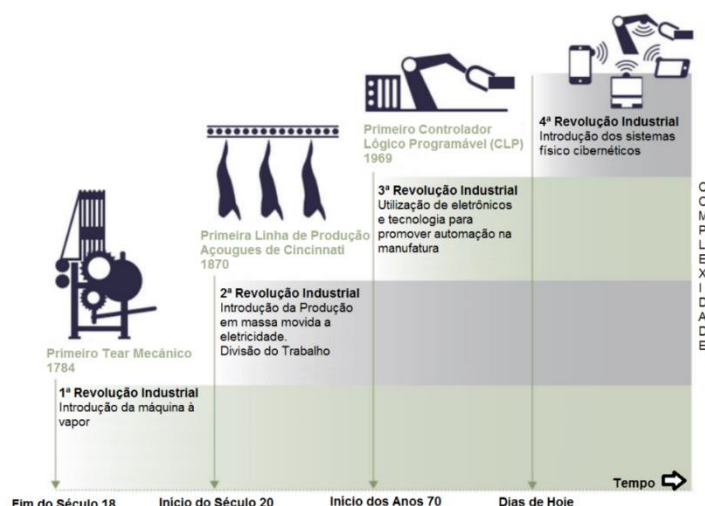


Figura 1 – As quatro revoluções industriais. Fonte: Adaptado de DFKI, 2013

O desenvolvimento do projeto alemão Indústria 4.0, a partir da ação conjunta entre agentes governamentais, corporativos e da academia, é um exemplo da ampla gama de soluções possibilitadas pelo uso de tecnologias SFC. O principal objetivo da iniciativa é explorar o potencial econômico e inovador da utilização de tecnologias de informação e comunicação na manufatura. Por ser um dos primeiros e mais bem estruturados projetos dentro do contexto da quarta revolução industrial, a Indústria 4.0 se tornou objeto de discussão em diversos setores da sociedade. Modelos tem sido propostos por bancos, empresas de consultoria e outras instituições, com intuito de identificar quais são seus princípios e tecnologias, como pode ser observado em DB (2014), Botha e Theron (2016) e Scalabre (2016).

Contudo, apesar do entusiasmo da sociedade frente à possibilidade de inovação, os conceitos em torno da Indústria 4.0 continuam imprecisos e sem definições plenamente estabelecidas (HOFMANN e RÜSCH, 2017). No âmbito da administração da produção, os esforços de pesquisa em torno deste tema são ainda escassos. Pesquisas acadêmicas têm tido maior foco em aspectos da Engenharia Elétrica, Eletrônica e Computacional, de modo que tópicos como computação em nuvem, sensoriamento e protocolos de transmissão de dados são pauta comum de discussão (LU, 2017; LIU e XU, 2017). Menor atenção é dada, portanto, para a investigação

de quais características irão constituir o sistema de produção que deve acompanhar a implantação dessas tecnologias.

A partir desse contexto, o objetivo deste trabalho é compreender quais características devem constituir o sistema de produção atrelado à Indústria 4.0. Para isso, uma série de taxonomias foram propostas para classificar sistemas produtivos sob diferentes perspectivas. Por fim, essas taxonomias foram utilizadas para classificar e por consequência compreender o sistema de produção da Indústria 4.0.

A importância deste trabalho reside: primeiro, na necessidade de esclarecer qual forma tomarão os sistemas de produção em meio à muito aguardada, mas ainda difusa Indústria 4.0; segundo, no fato de que tanto os pesquisadores quanto os gerentes industriais se beneficiam de uma melhor compreensão de como as práticas tradicionais de manufatura se comportarão diante de mais uma revolução tecnológica.

2. Metodologia para a definição e aplicação de taxonomias

Uma taxonomia corresponde a uma estrutura para a classificação de entidades com base em suas similaridades. O processo taxonômico identifica atributos de diferentes entidades para desenvolver uma classificação. Um *taxon* (*taxa* para o plural) é a nomenclatura dada ao grupo de entidades que são unidas por serem suficientemente similares entre si, bem como suficientemente diferentes de entidades colocadas em outros grupos. O mecanismo de classificação segue uma hierarquia de níveis categóricos (ou *rankings* taxonômicos) onde se encontram os *taxa*. No nível mais alto, se encontra um único *taxon* que agrupa todas as entidades. No nível mais baixo, se encontram os *taxa* que não possuem divisões posteriores. O subsídio técnico para a construção de classificações entre entidades pode ter origem teórica (taxonomia teórica) ou empírica (taxonomia empírica). Diferentes taxonomias são observadas na literatura para classificar as mesmas entidades sob diferentes perspectivas ou aspectos (MCCARTHY, 1995).

O estudo taxonômico tem origem nas ciências biológicas, onde a classificação de entidades tem um viés mais objetivo (*e.g.* classificação dos animais). No âmbito da manufatura, por outro lado, McCarthy (1995) observa que classificar sistemas produtivos é uma tarefa mais subjetiva e complexa. Nesse contexto, para este trabalho adotou-se uma metodologia de dois passos.

Em primeiro lugar, com base em trabalhos encontrados na literatura, uma série de taxonomias para a classificação de sistemas produtivos foram propostas e tiveram seus conceitos revisados. A tipologia clássica “4V” de Slack, Chambers e Johnston (2015) foi utilizada para classificar aspectos operacionais de volume, variedade, variação de demanda e visibilidade. Para classificar as estratégias de controle de estoque e estratégias de controle de produção, foi utilizada uma adaptação da taxonomia multidisciplinar de Esmaeilian, Behdad e Wang (2016) para sistemas de manufatura. Por fim, para classificar a estratégia de fluxo de material, foi empregada uma versão modificada da classificação de manufatura de Porter et al. (1999). Esta etapa de definição de taxonomias para a classificação de sistemas de produção é apresentada no capítulo 3.

Por fim, cada uma dessas estruturas taxonômicas propostas foi empregada para classificar o sistema de produção atrelado à Indústria 4.0, de acordo com a literatura vigente acerca do tema. No capítulo 4 podem ser encontradas todas essas classificações acompanhadas de suas respectivas discussões.

3. Taxonomias para a classificação de sistemas de produção

3.1 Tipologia das operações

A primeira estrutura taxonômica apresentada neste trabalho foi desenvolvida por Slack, Chambers e Johnston (2015). Os autores propuseram uma classificação dos sistemas de produção em quatro diferentes aspectos operacionais: volume de produção, variedade de produção, variação de demanda e visibilidade do cliente para o processo de produção. A decisão de tipologia de operação pode ser vista como um *trade-off* entre flexibilidade e eficiência de custos. Um sistema de produção com alto volume, baixa variedade, baixa variação e baixa visibilidade geralmente está relacionado a menores custos unitários, mas também a menor flexibilidade operacional. Por outro lado, um sistema de produção com baixo volume, alta variedade, alta variação e alta visibilidade pode ser mais flexível, mas com custos unitários mais elevados Slack, Chambers e Johnston (2015).

3.2 Estratégia de controle de estoques

Esmailian, Behdad e Wang (2016) propuseram uma taxonomia para a compreensão das diferentes formas pelas quais uma empresa pode administrar seus estoques e suas modalidades de pedidos. Dentre as estratégias apresentadas, quatro possuem maior destaque, são elas: *engineer-to-order* (ETO), *make-to-order* (MTO), *assembly-to-order* (ATO) e *make-to-stock* (MTS). Sob esta classificação, a definição da estratégia está sujeita a um *trade-off* entre customização do produto e responsividade do sistema produtivo (MEREDITH e AKINC, 2007).

A estratégia ETO oferece a maior personalização. Nesse caso, um pedido do cliente possui especificações que penetram na fase de projeto do produto (GOSLING e NAIM, 2009). Portanto, o ETO pode ser visto como um processo de desenvolvimento de produto (CHEN, 2006). A estratégia MTS, pelo contrário, oferece tempo de resposta imediato ao cliente, através do uso de estoque de produtos acabados. No entanto, praticamente nenhuma personalização é possível (MEREDITH e AKINC, 2007). Neste caso, os produtos são fabricados e montados de acordo com uma previsão de demanda. Os pedidos dos clientes são, portanto, limitados aos itens disponíveis no estoque (CHEN, 2006).

Para equilibrar o tempo de resposta e o nível de personalização, estratégias intermediárias podem ser implantadas. Em ambientes MTO, por exemplo, os clientes escolhem a partir de um conjunto pré-definido de produtos, e a fabricação só começa quando um pedido do cliente é recebido (PORTER et al., 1999).

Já no ambiente ATO, os componentes do produto são fabricados e armazenados. No entanto, a montagem final é realizada somente depois que o produto é pedido e personalizado através de uma série de especificações disponíveis (PORTER et al., 1999). Essa estratégia oferece uma resposta mais rápida ao cliente quando comparada às alternativas ETO e MTO, mas com personalização limitada.

É interessante observar que o nível de capacidade de resposta e personalização oferecido por essas estratégias é definido pelo quão longe no processo está posicionado um ponto de desacoplamento, até o qual o estoque está disponível para os próximos processos.

3.3 Estratégia de controle de produção

A Estratégia de controle de produção se refere à forma como os pedidos são liberados no processo de produção. Esmailian, Behdad e Wang (2016) classificam essas estratégias em 3

diferentes alternativas: controle empurrado, controle puxado e controle híbrido empurrado-puxado.

Com o controle empurrado, o início de produção de um item específico é programado em uma data, calculada a partir da subtração do *lead time* de produção do prazo de entrega ou montagem do produto (SPEARMAN e ZAZANIS, 1992). A produção empurrada está intimamente relacionada à fabricação integrada por computador e ao desenvolvimento dos sistemas MRP (*material requirement planning*).

Os sistemas puxados, por outro lado, estão relacionados principalmente às técnicas de manufatura japonesas, como o *just-in-time* (JIT). No controle puxado, as estações de trabalho obtêm estoque de operações anteriores, conforme necessário para concluir suas tarefas atuais. A produção é então conduzida para reabastecer o estoque de saída, o que é indicado por qualquer tipo de sinal ou *Kanban* (SPEARMAN e ZAZANIS, 1992). Esse protocolo específico é conhecido como estratégia *Kanban*, o método mais comum de controle puxado (ZHENG et al., 2010). Smalley (2004), no contexto da manufatura enxuta, definiu essa mesma estratégia como puxada por reposição ou reabastecimento.

Outra forma de executar o controle puxado é por meio da estratégia *constant work-in-process* (CONWIP). Em vez de puxar a produção em cada estação de trabalho, o CONWIP puxa apenas na frente da linha (SPEARMAN e ZAZANIS, 1992), colocando um limite superior no nível de inventário do sistema de produção (GERAGHTY e HEAVEY, 2004). Os outros processos operam de acordo com a estratégia de controle empurrada (SPEARMAN e ZAZANIS, 1992). Smalley (2004) descreveu uma estratégia um pouco semelhante, definida como puxada sequencial, em que as definições do produto são enviadas para o primeiro processo, sem a utilização de um sistema puxado por *kanban*.

Estratégias que combinam técnicas de puxar e empurrar para usar suas vantagens são conhecidas como controle híbrido empurrado-puxado (COCHRAN e KIM, 1998; GERAGHTY e HEAVEY, 2004). Esses sistemas podem ser classificados entre vertical e horizontalmente integrados (COCHRAN e KIM, 1998). Os sistemas integrados verticalmente possuem 2 níveis: um controle empurrado no nível superior e um controle puxado de nível inferior, geralmente envolvendo uma sinergia entre MRP e JIT. O nível superior pode se referir a um escopo de operação mais amplo do que o nível mais baixo ou um horizonte de planejamento mais amplo (COCHRAN e KIM, 1998). Sistemas integrados horizontalmente têm apenas um nível, mas alguns estágios de produção são controlados de forma empurrada e outros de forma puxada (COCHRAN e KIM, 1998; GERAGHTY e HEAVEY, 2004).

3.4 Estratégia de fluxo de materiais

A estratégia de fluxo de material especifica a maneira como os materiais fluem pelo processo. De acordo com Porter et al. (1999), 5 categorias principais podem ser identificadas. As duas principais distinções são entre fluxos contínuos (por exemplo, processos químicos) e discretos (por exemplo, produção mecânica). A fabricação discreta pode ser ainda dividida entre produção de fluxo, produção em lote, produção através de *jobbing* e produção complexa. A estratégia de fluxo de material envolve um *trade-off* entre o volume de produção e a variedade de produtos (PORTER et al., 1999).

A produção de fluxo é caracterizada por altos volumes de produção e *mix* de produtos limitado. As instalações de produção são altamente dedicadas e possuem roteiros de processo fixos. A produção de *jobbing*, por outro lado, suporta volumes menores, mas uma gama maior de produtos. Nesse caso, os roteiros dentro da instalação são flexíveis e mutáveis, e o arranjo físico é baseado nos processos de fabricação. A produção em lote pode ser vista como uma opção intermediária quando comparada às duas estratégias anteriores. Volumes pequenos ou médios são compatíveis com uma faixa de produtos de tamanho médio. Os lotes devem ser completamente processados antes que uma nova operação seja iniciada. Finalmente, a produção complexa refere-se à criação de produtos únicos, seguindo as exigências do cliente (PORTER et al., 1999).

Uma representação visual do esquema completo de taxonomias proposto para este trabalho pode ser observada na Figura 2.

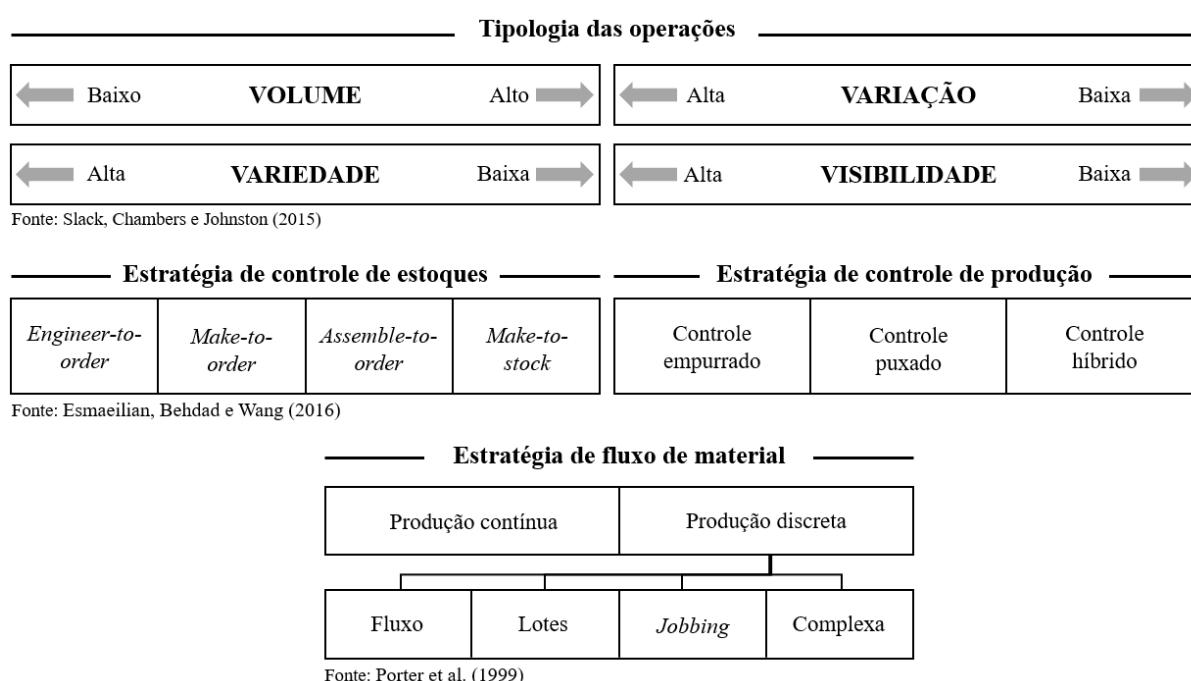


Figura 2 – Taxonomias para sistemas de produção. Fonte: Os autores, 2018

4. Sistema de produção da Indústria 4.0

4.1 Tipologia de operações

A classificação de alto ou baixo volume de produção é um tanto subjetiva, devido às diferentes realidades do mercado para cada setor industrial. A mensagem importante, no entanto, é que no sistema de produção atrelado à Indústria 4.0, espera-se um aumento generalizado na variação da produção e na variedade de produtos sem necessariamente uma queda na capacidade total do volume.

O aumento na variação da demanda é originado devido ao conceito de integração vertical. Wang et al. (2016) descreveram essa integração vertical como uma combinação de sistemas de manufatura que pertencem a diferentes hierarquias na mesma empresa, permitindo sistemas de produção flexíveis e reconfiguráveis na Indústria 4.0. O aumento na variedade de produtos, por sua vez, está ligado a outro tipo de integração: a integração de engenharia ponta a ponta,

descrevida por Wang et al. (2016) como a possibilidade de customização total do produto através da ligação entre cada estágio diferente do desenvolvimento do produto, permitindo níveis extremos de customização.

Tradicionalmente, um aumento de flexibilidade para suportar maior variação de demanda e variedade de produtos está associado a uma redução compensatória na capacidade de volume (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2015). No entanto, a atual literatura referente à Indústria 4.0 não indica que possíveis restrições de volume sejam esperadas como contrapartida a esse aumento de flexibilidade.

Por fim, se espera que a Indústria 4.0 ofereça um alto nível de visibilidade do processo para clientes e tomadores de decisão chave. Este fenômeno deve ser possibilitado pelo conceito de integração horizontal proposto na Indústria 4.0. Wang et al. (2016) descrevem a integração horizontal como uma rede entre empresas parceiras e indivíduos interessados, onde informações fluem perfeitamente, com total transparência.

4.2 Estratégia de controle de estoques

Os requisitos de flexibilidade resultantes da integração de engenharia de ponta a ponta apontam para um futuro em que é possível questionar a viabilidade da estratégia de controle de estoque MTS, devido a seus limites de personalização. Além disso, somente as estratégias ETO concederão uma personalização completa de ponta a ponta, como esperado na Indústria 4.0. No momento, porém, menos da metade da indústria trabalha nesse ambiente específico. 25% das fábricas americanas tinham, em 2014, o ETO como sua estratégia de controle de estoques (GRABENSTETTER e USHER, 2014). A mudança para o ETO pode afetar, em particular, segmentos da indústria que operam com alto volume e variedade limitada.

4.3 Estratégia de controle de produção

A integração de engenharia de ponta a ponta pode inviabilizar o controle empurrado de produção, devido à existência de um número ilimitado de variantes de produtos, impossibilitando a previsão do *mix* de clientes. No entanto, estratégias de controle puxado também podem ser impraticáveis, devido aos níveis mais altos de variação de demanda associados à integração vertical. A estratégia *kanban*, em particular, é conhecida por sofrer quando associada a ambientes de grandes e imprevisíveis flutuações na demanda (HUANG e KUSIAK, 1998). Além disso, experiências bem-sucedidas de adaptação de estratégias de controle puxado para ambientes de alta variedade, como observado em Bokhorst e Slomp (2010), só se mostraram efetivas em ambientes de baixo volume produtivo. Nesse sentido, é interessante observar que esses pontos revelam divergências entre as necessidades do sistema de produção da Indústria 4.0 e as boas práticas da manufatura enxuta.

A solução pode residir no uso de uma nova classe de controles híbridos, onde a tecnologia SFC é implantada para melhorar os métodos de controle atuais. Nesse sentido, Kolberg e Zühlke (2015), ao discutir a integração do *Lean Automation* e Indústria 4.0, descrevem os “planejadores inteligentes” como aplicativos baseados em SFC que transformam os sistemas *Kanban* em ferramentas de controle dinâmico, capazes de atender aos requisitos mais flexíveis dessa nova realidade industrial.

4.4 Estratégia de fluxo de material

Não são esperadas alterações em fluxos contínuos, devido às suas características particulares e exclusivas. Em fluxos discretos, a personalização completa também move os sistemas de produção na direção de fluxos de materiais “únicos”, onde cada produto tem o potencial de ser

diferente de todos os outros fabricados, devido ao alto nível de customização. Nesse ambiente, a produção de fluxo e a produção de lotes podem se tornar impraticáveis devido às restrições de variedade de produtos. *Jobbing* e produção complexa podem acomodar uma variedade maior, mas as restrições de volume dessas estratégias podem se tornar um obstáculo para certos setores da indústria.

De forma específica, a produção por fluxo tem direta correlação com os arranjos físicos lineares, utilizados em ambientes de produção de alto volume (*e.g.* linhas de montagem automotivas). Nesse sentido, tentativas de substituição de linhas de montagem no setor automotivo já foram experimentadas no passado, denunciando os principais problemas deste arranjo físico, como limitação de flexibilidade e ergonomia de trabalho inadequada. As experiências do Grupo Volvo na fábrica da Kalmar nos anos 1970 e alguns anos depois na fábrica de Udevalla são exemplos excelentes dessas tentativas. Durante essas experiências, a empresa aboliu o fluxo único de linhas de montagem em favor de fluxos paralelos, onde os produtos eram fabricados em um número reduzido de estações de trabalho (JONSSON, MEBDO e ENGSTRÖM, 2004). No entanto, durante os primeiros anos do século XXI, todos os sistemas alternativos já haviam sido abandonados pela empresa, e as linhas de montagem foram reintroduzidas devido à melhor eficiência e também como resultado de esforços para padronizar sistemas de produção em todo o mundo (JONSSON, MEBDO e ENGSTRÖM, 2004). A chegada de novas tecnologias da Indústria 4.0, aliada a demandas crescentes de flexibilidade, pode finalmente permitir a ascensão de um arranjo físico substituto para as linhas de montagem.

Em uma possibilidade mais extrema, Chen e Tsai (2017) descreveram uma experiência onde a fabricação pode existir sem qualquer tipo de arranjo físico, oferecendo uma possibilidade nova de estratégia de fluxo de materiais. A experiência consiste em um sistema da empresa LEGO, onde impressoras distribuídas em todo o mundo imprimem modelos em 3D solicitados online pelos clientes, que só precisam se deslocar para a instalação mais próxima de sua localização e obter o produto desejado.

5. Conclusões

Os efeitos da quarta revolução industrial provavelmente só serão sentidos nos próximos anos, para que conclusões mais tangíveis possam ser discutidas em torno dos reais efeitos da Indústria 4.0 nas metodologias de administração da produção. No entanto, através de um estudo taxonômico foi possível esclarecer algumas características do sistema de produção que deve acompanhar esta nova era de tecnologias SFC aplicadas a processos industriais.

Em especial, foram levantadas algumas preocupações que podem guiar futuros esforços de pesquisa:

- Qual a viabilidade de sistemas produtivos capazes de atender a um mercado que exige alto volume, alta flexibilidade de produção e alta customização de produto?
- Qual o nível de preparação da indústria para adoção de ambientes ETO em detrimento da estratégia MTS mais comumente adotada, para possibilitar uma integração de engenharia ponta a ponta?
- Observa-se a necessidade do desenvolvimento de novas metodologias de controle de produção mais refinadas, potencialmente através do emprego de tecnologias SFC, as quais consigam suportar uma quantidade ilimitada de variantes de produtos.
- Qual a viabilidade da produção em lotes e em fluxo, intimamente ligada aos arranjos físicos lineares, visto que se observa um aumento na variedade de produtos?

Por fim, pesquisas futuras podem se beneficiar das taxonomias propostas e das discussões apresentadas neste trabalho, que podem servir como uma bússola para futuras descobertas.

6. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, ao PPGEPP - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Paraná e ao GIMA – Grupo de Inteligência em Manufatura, pela concessão das bolsas de estudo e estrutura para pesquisa.

Referências

- BOKHORST, J. A. C.; SLOMP, J.** *Lean Production Control at a High-Variety, Low-Volume Parts Manufacturer*. Interfaces. Vol. 40, n. 4, p. 303 – 312, 2010.
- BOTHA, T.; THERON, P.** *How are companies around the world really embracing digital?* Disponível em: < <https://bit.ly/2Hf5q7S> >. Acesso em: 30 set. 2018.
- CHEN, C. S.** *Concurrent Engineer-To-Order operation in the Manufacturing Engineering Contracting industries*. International Journal of Industrial and Systems Engineering, v. 1, n. 1–2, p. 37–58, 2006.
- CHEN, T.; TSAI, H. R.** *Ubiquitous manufacturing: Current practices, challenges, and opportunities*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. Vol. 45, p. 126 – 132, 2017.
- COCHRAN, J. K.; KIM, S. S.** *Optimum junction point location and inventory levels in serial hybrid push/pull production systems*. International Journal of Production Research, Vol. 36, n.4, p. 1141–1155, 1998.
- COLOMBO, A. W.; KARNOUSKOS, S.; KAYNAK, O.; SHU, Y.; YIN, S.** *Industrial Cyberphysical Systems*. IEEE Industrial Electronics Magazine, p. 6 – 16, 2017.
- DB.** *Industry 4.0: Upgrading of Germany's industrial capabilities on the horizon*. Disponível em: < <https://bit.ly/2GQkhCq> >. Acesso em: 30 set. 2018.
- DFKI.** *Industry 4.0: The Semantic Product Memory as a Basis for Cyber-Physical Production Systems*. 2013. Disponível em: < <https://bit.ly/2HqRq8U> >. Acesso em: 30 set. 2018.
- ESMAELIAN, B.; BEHDAD, S.; WANG, B.** *The evolution and future of manufacturing : A review*. Journal of Manufacturing Systems, Vol. 39, p. 79–100, 2016. The Society of Manufacturing Engineers.
- GERAGHTY, J.; HEAVEY, C.** *A review and comparison of hybrid and pull-type production control strategies*. OR Spectrum. Vol. 27 , p. 435–457, 2005.
- GERWIN, D.** *An Agenda For Research on the Flexibility of Manufacturing Processes*. International Journal of Operations & Production Management, Vol. 25, n. 12, p. 1171–1182, 1987.
- GOSLING, J.; NAIM, M. M.** *Engineer-to-order supply chain management: A literature review and research agenda*. International Journal of Production Economics, Vol. 122, n. 2, p. 741–754, 2009.
- GRABENSTETTER, D. H.; USHER, J. M.** *Developing due dates in an engineer-to-order engineering environment*. International Journal of Production Research, Vol. 52, n.21, p. 6349–6361, 2014.
- HOFMANN, E.; RÜSCH, M.** *Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics*. Computers in Industry, Vol. 89, p. 23 – 34, 2017.
- HUANG, C. C.; KUSIAK, A.** *Manufacturing control with a push-pull approach*. International Journal of Production Research, Vol. 36, n.1, p. 251–276, 1998.
- JONSSON, D.; MEBDO, L.; ENGSTRÖM, T.** *Some considerations relating to the reintroduction of assembly lines in the Swedish automotive industry*. International Journal of Operations & Production Management. Vol. 24, n. 8. p.754 – 772. 2004.
- KOLBERG, D.; ZÜHLKE, D.** *Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies*. IFAC-Papers Online. Vol.48, n. 3, p. 1870 – 1875, 2015.
- LIU, Y.; XU, X.** *Industry 4.0 and Cloud Manufacturing: A Comparative Analysis*. Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 139, p. 1 – 7, 2017.
- LU, Y.** *Industry 4.0: A Survey on Technologies, Applications and Open Research Issues*. Journal of Industrial Information Integration, p. 1 – 40, 2017.
- MCCARTHY, I.** *Manufacturing classification: Lessons from organizational systematics and biological taxonomy*. Integrated Manufacturing Systems. Vol. 6, n. 6, p. 37 – 48, 1995.
- MEREDITH, J.; AKINC, U.** *Characterizing and structuring a new make-to-forecast production strategy*. Journal of Operations Management, Vol. 25, n. 3, p. 623–642, 2007.
- PORTER, K.; LITTLE, D.; PECK, M.; ROLLINS, R.** *Manufacturing classifications: relationships with production control systems*. Integrated Manufacturing Systems, Vol. 10, n. 4, p. 189–199, 1999.



VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

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

SCALABRE, O. *Embracing Industry 4.0—and Rediscovering Growth*. Disponível em: < <https://on.bcg.com/2HoL4qw> >. Acesso em: 30 set. 2018.

SCHWAB, K. *A Quarta Revolução Industrial*. 1. ed. São Paulo: EDIPRO, 2016.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da Produção*. 4ª edição. Brasil: Editora Atlas S.A., 2015.

SMALLEY, A. *Creating Level Pull*. Estados Unidos: Lean Enterprise Institute, 2004.

SPEARMAN, M. L.; ZAZANIS, M. A. *Push and Pull Production Systems: Issues and Comparisons*. Operations Research, Vol. 40, n. 3, p. 521–532, 1992.

WANG, S.; WAN, J.; LI, D.; ZHANG, C. *Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook*. International Journal of Distributed Sensor Networks, Vol. 2016, 2016.

ZHENG, W.; MA, Y.; ZHENG, Y.; SHI, X.; LI, B.; JIANG, Y. *The research of pull production strategy and method*. In 2010 International Conference on Management and Service Science, MASS 2010, p. 1–4, 2010.