



PRINCIPAIS INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS DA INDÚSTRIA 4.0 E SUAS APLICAÇÕES E IMPLICAÇÕES NA MANUFATURA

MARCOS RONALDO ALBERTIN - albertin@ufc.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC

MARIA LUIZA BUFALARI ELIENESIO - malu.bufalari@gmail.com
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC

ALINE DOS SANTOS AIRES - alinesantosaires@hotmail.com
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC

HERÁCLITO LOPES JAGUARIBE PONTES - hjaguaribe@ufc.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC

DMONTIER PINHEIRO ARAGÃO JUNIOR - dmontier@ot.ufc.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC

Área: 8 - GESTÃO DO CONHECIMENTO ORGANIZACIONAL
Sub-Área: 8.2 - GESTÃO DA TECNOLOGIA

Resumo: COM O CONTÍNUO AVANÇO NO DESENVOLVIMENTO DE NOVAS TECNOLOGIAS, SURTIU NA ALEMANHA O CONCEITO DA INDÚSTRIA 4.0, OU QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL, CUJA BASE É A AUTOMAÇÃO DOS PROCESSOS PRODUTIVOS E A INCORPORAÇÃO DA DIGITALIZAÇÃO DE TODA A CADEIA DE VALOR, FAZENDO UMA FUSÃO ENTRE O MUNDO REAL E O MUNDO VIRTUAL. SEGUNDO O BOSTON CONSULTING GROUP, ESSA EVOLUÇÃO É BASEADA EM NOVE PILARES TECNOLÓGICOS: INTERNET DAS COISAS, REALIDADE AUMENTADA, ROBÔS AUTÔNOMOS, SIMULAÇÃO, MANUFATURA ADITIVA, BIG DATA, A TECNOLOGIA DE NUVEM, CYBERSECURITY E INTEGRAÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL DE SISTEMAS E SOFTWARES. ESSE ARTIGO FOI DESENVOLVIDO COM O OBJETIVO DE EXPOR, POR MEIO DE PESQUISA BIBLIOGRÁFICA, AS DEFINIÇÕES E AS CARACTERÍSTICAS DE CADA UM DESSES PILARES, BEM COMO SUAS APLICAÇÕES E IMPLICAÇÕES NA INDÚSTRIA. ESSA PESQUISA MOSTRA QUE NEM TODAS AS TECNOLOGIAS ESTUDADAS POSSUEM APLICAÇÃO EFETIVA NA INDÚSTRIA AINDA, MAS TODAS TÊM O POTENCIAL DE TRAZER CONTRIBUIÇÕES QUE RESULTARÃO NUMA MAIOR FLEXIBILIDADE, VELOCIDADE, PRODUTIVIDADE OU QUALIDADE DOS SISTEMAS PRODUTIVOS, IMPACTANDO NA FORMA DE PLANEJAR, ORGANIZAR E CONTROLAR A PRODUÇÃO.

Palavras-chaves: INDÚSTRIA 4.0; PRINCIPAIS TECNOLOGIAS; APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA.

MAJOR TECH INNOVATIONS IN INDUSTRY 4.0 AND ITS APPLICATIONS AND IMPLICATIONS IN MANUFACTURING

Abstract: *WITH THE CONTINUOUS ADVANCE IN THE DEVELOPMENT OF NEW TECHNOLOGIES, A NEW CONCEPT WAS BORN IN GERMANY: THE INDUSTRY 4.0, ALSO KNOWN AS THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION. THIS CONCEPT OF THE FUTURE OF MANUFACTURING IS BASED ON THE AUTOMATION OF THE PRODUCTIVE PROCESSES AND THE INCORPORATION OF DIGITALIZATION IN THE ENTIRE VALUE CHAIN, MERGING THE REAL WORLD AND THE VIRTUAL WORLD. ACCORDING TO THE BOSTON CONSULTING GROUP, THIS EVOLUTION IS BASED ON NINE TECHNOLOGICAL PILLARS: INTERNET OF THINGS, AUGMENTED REALITY, AUTONOMOUS ROBOTS, SIMULATION, ADDITIVE MANUFACTURING, BIG DATA, CLOUD TECHNOLOGY, CYBERSECURITY AND HORIZONTAL AND VERTICAL INTEGRATION OF SYSTEMS AND SOFTWARE. THE OBJECTIVE OF THIS ARTICLE IS TO EXPOSE, THROUGH A BIBLIOGRAPHIC RESEARCH, THE DEFINITIONS AND CHARACTERISTICS OF EACH OF THESE PILLARS, AS WELL AS THEIR APPLICATIONS IN THE INDUSTRY AND WHAT IMPLICATIONS THEY WILL HAVE. THIS RESEARCH SHOWS THAT NOT ALL THE TECHNOLOGIES STUDIED HAVE EFFECTIVE APPLICATION IN THE INDUSTRY YET, BUT ALL OF THEM HAVE THE POTENTIAL OF BRINGING CONTRIBUTIONS THAT WILL RESULT IN GREATER FLEXIBILITY, SPEED, PRODUCTIVITY OR QUALITY OF THE PRODUCTIVE SYSTEMS, AFFECTING HOW TO PLAN, ORGANIZE AND CONTROL PRODUCTION.*

Keyword: *INDUSTRY 4.0; MAJOR TECHNOLOGIES; APPLICATIONS IN INDUSTRY.*

1. Introdução

O termo Indústria 4.0, também conhecido como quarta revolução industrial, manufatura inteligente, indústria da internet ou indústria integrada (HOFMANN *et al.*, 2017) surgiu a partir de iniciativas estratégicas do governo da Alemanha para consolidar o país como líder na área de tecnologia e fortalecer sua competitividade global (KAGERMANN *et al.*, 2013). Dessa forma, em abril de 2013 na maior feira de tecnologia industrial “Feira de Hannover”, foi lançado oficialmente o projeto *Industrie 4.0* com as primeiras recomendações para sua implementação. O termo foi descrito por Kagermann *et al.* (2013) como “uma realidade em que as redes globais são estabelecidas pelas empresas sob a forma de Sistemas Físico-Cibernéticos (CPS – *Cyber-Physical Systems*) que incorporam máquinas, sistemas de armazenagem e instalações de produção que são capazes de trocar informação e cooperar de forma autônoma através da Internet das Coisas (*IoT - Internet of Things*) desencadeando ações e controlando uns aos outros de forma independente”.

O diferencial da Indústria 4.0 está no fato de que o processo de fabricação vai evoluindo de uma única célula automatizada para sistemas totalmente automatizados e integrados que se comunicam com outros, contribuindo para maior flexibilidade, velocidade, produtividade e qualidade dos sistemas produtivos. A feira de Hannover de 2017 teve como tema principal a Indústria 4.0 e a aplicação de suas tecnologias. Ela mostrou que a implementação destas tecnologias já é realidade e está acontecendo “passo a passo”, transformando significativamente a forma de projetar, produzir, entregar e remunerar a produção (Hofmann *et al.*, 2017).

Esta realidade só é possível devido aos crescentes avanços tecnológicos da área da tecnologia da informação e da engenharia. De acordo com o Boston Consulting Group (BCG) em seu estudo "Indústria 4.0: o futuro da produtividade e crescimento em indústrias manufatureiras" (*Industry 4.0: the future of productivity and growth in manufacturing industries*), isso deve-se à ascensão e ao avanço de novas tecnologias digitais para indústria.

Esta pesquisa bibliográfica foi realizada para definir e caracterizar as principais tecnologias utilizadas na Indústria 4.0. Foram pesquisados artigos, livros e reportagens sobre as tecnologias envolvidas, suas aplicações e implicações potenciais no setor industrial.

2. Desenvolvimentos Tecnológicos

A seguir, serão discutidos nove pilares tecnológicos da Indústria 4.0 definidos pelo *Boston Consulting Group* (BCG). Esses pilares são: internet das coisas, realidade aumentada,

robôs autônomos, simulação, manufatura aditiva, *big data*, a tecnologia de nuvem, *cybersecurity* e integração horizontal e vertical de sistemas e softwares.

2.1 Internet das Coisas

O termo Internet das Coisas, do inglês *Internet of Things* (IoT), teve seu primeiro uso em 1999 quando Kevin Ashton usou esse termo em uma apresentação na Procter & Gamble para falar sobre o uso de RFID na cadeia de suprimentos (Ashton, 2009). Desde então, o termo vem sendo amplamente usado em diversos contextos, mas sempre com a mesma ideia de integrar objetos físicos e virtuais em redes conectadas a Internet permitindo a coleta, troca e armazenagem de dados que, após processados e analisados, gerem informações que possam otimizar o relacionamento entre humanos com objetos e máquinas.

A integração entre Internet das Coisas e a Internet dos Serviços (*Internet of Services - IoS*) no processo de manufatura foi o que deu início a quarta revolução industrial (Kagermann *et al.*, 2013, p. 5 citado por Hermann *et al.*, 2015). Segundo Giusto *et al.* (2010), essa tecnologia permite que “coisas” e “objetos” como sensores, atuadores e telefones celulares interajam entre si e cooperarem com os componentes “inteligentes” ao seu redor para alcançar um objetivo comum. As indústrias podem utilizar a IoT em várias aplicações, entre elas pode-se citar o uso para o setor industrial/manufatura, o uso para a construção de cidades inteligentes, o uso para o setor de transportes, o uso para o comércio e uso para o setor de cuidados com a saúde. A computação em nuvem é um dos principais meios de serviço, infraestrutura, plataforma de software e análise de dados da IoT, ou seja, a Computação em Nuvem e Internet das Coisas caminham juntas para estabelecer um novo cenário de tecnologia mundial.

Dessa forma, a Internet das Coisas representa uma grande oportunidade para o mundo, incluindo os países em desenvolvimento, para os próximos anos. O Brasil está preocupado em desenvolver essa tecnologia e, por isso, o BNDES (Banco Nacional do Desenvolvimento), de acordo com sua missão de promover o desenvolvimento sustentável e competitivo da economia brasileira, em parceria com o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) está apoiando um estudo para o diagnóstico e a proposição de um plano de ação estratégico para o país em Internet das Coisas.

2.2 Realidade Aumentada (RA)

A tecnologia de Realidade Aumentada surgiu para revolucionar a maneira como os seres humanos interage com as máquinas (e as máquinas com os seres humanos). Azuma

(1997) define Realidade Aumentada (RA) como uma variação de ambientes virtuais (ou realidade virtual como é comumente conhecido). Enquanto as tecnologias de Realidade Virtual fazem uma imersão total do usuário dentro de um ambiente sintético impedindo o usuário de ver o mundo real ao seu redor enquanto imerso, a RA já permite ao usuário ver o mundo real, com objetos virtuais sobrepostos ou compostos com o mundo real.

Com a adequação das indústrias na realidade de Indústria 4.0, cada vez mais tarefas e procedimentos em postos de trabalhos manuais são aumentados por algum tipo de componente digital e o uso da realidade aumentada ajuda a criar uma interface entre os colaboradores e os produtos digitais, criando assim postos de trabalho interativos. Dessa forma, a RA pode ser empregada para aumentar a produtividade em quase todas as atividades do setor fabril, desde atividades básicas no chão de fábrica até suporte para processos de manutenção e treinamento.

A estratégia na indústria 4.0 é integrar toda a cadeia de valor para atender uma demanda crescente da indústria mundial e a RA é uma das principais novas tecnologias abordadas por esse conceito por ajudar os processos industriais a se tornarem mais inteligentes, principalmente nas operações que requerem procedimentos, na manutenção e assistência remota, no treinamento dos colaboradores, no controle da qualidade, na gestão de riscos, no design de produtos e na logística. Kolberg e Zühlke (2015) citam o uso da Realidade Aumentada como uma das tecnologias da Indústria 4.0 que permitem a automação *lean*, que mescla as tecnologias de automação com os conceitos de produção enxuta (*lean production*). Nesse caso, a RA é utilizada para que os colaboradores possam ser “operadores inteligentes” de tal forma que eles possam obter informações sobre tempo de ciclo restante dentro de seus campos visuais, apoiando o processo *just-in-time* de produção.

2.3 Robôs Autônomos

A utilização de robôs autônomos na indústria, também conhecidos como robôs inteligentes ou colaborativos (Cobots), não é um conceito novo pois eles já são utilizados em muitas indústrias para realizar tarefas complexas. Mas, na Indústria 4.0 eles ganham habilidades além dos seus antecessores, eles estão se tornando mais autônomos, flexíveis e cooperativos. Segundo Bekey (2005), robôs são máquinas que sentem, pensam e agem e autonomia refere-se a sistemas capazes de operar no ambiente do mundo real sem qualquer tipo de controle externo por longos períodos de tempo. Com esses conceitos, o autor define robôs autônomos como máquinas inteligentes capazes de executar tarefas no mundo por si só, sem controle humano explícito.

A indústria 4.0, que tem como uma de suas premissas fazer a conexão entre a fábrica da vida real com a realidade virtual, vem desempenhando um papel cada vez mais importante na indústria global. Cobots fáceis de usar e acessíveis estão reduzindo a barreira de automação de modo extremamente significativo, permitindo a automação em áreas anteriormente consideradas muito complexas ou inacessíveis.

Segundo a Pesquisa Mundial de Robótica (*World Robotic Survey*) de 2016, emitida pela Federação Internacional de Robótica (*International Federation of Robotics - IFR*), os robôs industriais estão revolucionando a economia global e até 2019, mais de 1,4 milhão de novos robôs industriais serão instalados em fábricas ao redor do mundo. Esses robôs ajudam a enfrentar o desafio de produção de curto prazo enfrentado por muitas empresas, superando assim o gap entre as linhas de montagem totalmente manuais e as linhas de fabricação totalmente automatizadas. Até mesmo a indústria automotiva, que tem uma longa história de uso de robôs tradicionais, agora também está usando robôs de novas maneiras. Um exemplo recente é a BMW, que está implantando robôs autônomos para automatizar uma linha de montagem que era predominantemente trabalho manual no passado. (IFR,2016)

2.4 Simulação

Simulação é uma metodologia para resolução de problemas indispensável para a solução de muitos problemas da vida real. Banks (1998) a define como a imitação da operação de um processo ou sistema da vida real ao longo do tempo envolvendo a geração de uma história artificial do sistema onde, a partir da observação dessa história, possa extrair inferências sobre as características operacionais do sistema real que está sendo representado. Dessa forma, o uso de simulação computacional é essencial para garantir a qualidade e eficiência no desenvolvimento de produtos, pois permite que dados em tempo real sejam utilizados para espelhar o mundo físico em um modelo virtual, que pode incluir máquinas, produtos e humanos.

A utilização de softwares de simulação avançado para prototipagem virtual é um dos principais pontos da Indústria 4.0, mesmo que a utilização dessas ferramentas em pequenas e médias empresas, ainda esteja nos estágios iniciais. As técnicas modulares de simulação e modelagem permitem que as unidades descentralizadas alterem de forma flexível os produtos e, assim, possibilitem uma rápida inovação de produtos. (Friederichsen, Brettel, Keller and Rosenberg, 2014)

A crescente demanda por qualidade nos produtos faz com que seja necessárias simulações intensivas para criar processos estáveis e confiáveis. Esses processos inovadores

podem abordar os aspectos do produto em todas as fases da cadeia produtiva, desde estágios iniciais como no design do material (e.g., simulações de metalurgia para laminagem a quente), na própria fabricação (e.g., corte a laser), na montagem (e.g. manipulação de peças grandes baseadas em robôs) até estágios mais avançados como na gestão logística (e.g. logística de fábrica e gerenciamento de cadeia de suprimentos). (Calero Valdeza, Braunera, Schaara, Holzingerb, and Zieflea 2015).

A cópia virtual de uma cadeia de valor completa permite o uso de simulações como suporte à tomada de decisão. Como o espaço da solução é frequentemente muito grande, complexo e variável para uma única pessoa supervisionar e entender completamente, as simulações esclarecem o espaço de decisão e oferecem a possibilidade de melhorar consideravelmente a qualidade da tomada de decisão através da criação rápida e fácil de cenários. (Schuh, Potente, Wesch-Potente, Weber and Prote, 2014).

2.5 Manufatura Aditiva

Gibson, Rosen and Stucker (2010) definem Manufatura Aditiva como uma técnica automatizada para a conversão direta de dados CAD 3D em objetos físicos usando uma variedade de abordagens. As indústrias utilizam essa tecnologia para reduzir os tempos de ciclo de desenvolvimento de seus produtos e obtê-los no mercado de forma mais rápida, com maior custo efetivo e maior valor agregado devido à incorporação de recursos personalizáveis. Percebendo o potencial das aplicações da manufatura aditiva, diversos processos foram desenvolvidos permitindo o uso de vários materiais que vão desde plásticos até metais para desenvolvimento dos produtos.

Segundo Coan (2016) a manufatura aditiva permite entregar uma variedade de produtos, com diferentes customizações, em diversos lugares, utilizando novas tecnologias como a impressão em 3D. Aditivo vem do processo de produzir (imprimir) produtos e/ou componentes por meio da adição de materiais em camadas, ao invés dos processos tradicionais de forjamento, estampagem, fundição, torneamento e soldagem.

Novas empresas estão chegando ao mercado e se integrando aos ecossistemas de produção, assim como as antigas estão reescrevendo a sua história. A Audi trabalha em conjunto com a NASA no uso da impressão 3D para futura colonização lunar, utilizando a areia da própria Lua, rica em minerais, para produzir uma série de componentes, como estruturas, *drones*, etc. A New Balance imprime a sola de seus novos tênis. A indústria da construção imprime blocos e estruturas de suporte muito mais resistentes e leves. A indústria

alimentícia imprime chocolates e doces utilizando filamentos de açúcares, e avança para novos ramos, como a sintetização de alimentos. (Coan, 2016).

2.6 Big Data

Tamás & Illés (2016) descreveram a essência de Big Data como a "determinação de probabilidades com métodos e procedimentos matemáticos" baseada em enormes quantidades de dados, o que permitirá que as decisões sejam tomadas sem conhecer os efeitos de causa.

No contexto da Indústria 4.0, as enormes quantidades de dados se referem ao grande número de informações e dados relacionados à produção, que serão produzidos pelo equipamento de fabricação inteligente durante o processo de produção. Para obter processos eficientes de operação de alta qualidade, essa informação de dados precisa ser coletada e deve ser dado um *feedback* a todos os aspectos da produção (Hongmin, 2016 citado em Lin et al., 2016), é aqui que os Sistemas Físico-Cibernéticos (CPS – *Cyber-Physical Systems*) e a Internet das Coisas aparece. Como Tamás & Illés (2016) afirmaram, esses três componentes - Big Data, CPS e IoT - estão intimamente relacionados um com o outro: "Não podemos falar de sistemas físico-cibernéticos e grandes dados sem IoT".

A análise e gestão de grandes quantidades de dados está permitindo a otimização da produção e o até mesmo a redução do consumo de energia. Em um contexto de Indústria 4.0, a coleta e avaliação abrangente de dados de várias fontes diferentes em tempo hábil vai se tornar procedimento padrão para apoiar a tomada de decisões em tempo real. (Rüßmann *et al.*, 2015).

Um exemplo da aplicação dessa tecnologia é o caso de uma mina de ouro africana que encontrou maneiras de capturar mais dados de seus sensores. Esses novos dados mostraram flutuações insuspeitas nos níveis de oxigênio durante um processo chave, a lixiviação. A correção dessa flutuação resultou em um aumento da produção equivalente a US \$ 20 milhões por ano (Baur & Wee, 2015).

2.7 A Nuvem

Segundo Zeng *et al.* (2009), o armazenamento em nuvem provê recursos e serviços de armazenamento baseados em servidores remotos que utilizam os princípios da computação em nuvem. No contexto da Indústria 4.0, a própria nuvem é implementada na Internet das Coisas e dos Serviços (Stock & Seliger, 2016).

As principais características básicas dessa tecnologia possibilitam alcançar dois requisitos: alta escalabilidade e alta usabilidade (Deng *et al.*, 2010). Além disso, a nuvem permite também aumentar a disponibilidade e precisão dos dados (Rüßmann *et al.*, 2015).

Com essas características, o armazenamento em nuvem facilita um maior compartilhamento de dados em diferentes localidades e em sistemas que vão além do servidor da empresa, fornecendo uma grande redução de custos e uma maior flexibilidade de reação a mudanças esperadas e inesperadas, de modo que se poderá atingir tempos de reação de apenas alguns milissegundos (Rüßmann *et al.*, 2015).

Além disso, a nuvem possibilitará também a comunicação e o intercâmbio de dados inteligentes entre os fatores de criação de valor (equipamentos, ser humano e produto) entre os sistemas físico-cibernéticos, os equipamentos de transporte, assim como entre os diferentes níveis de agregação de valor e as diferentes atividades da cadeia de valor (Stock & Seliger, 2016).

2.8 Cybersecurity

Em maio de 2017, empresas em mais de 70 países sofreram um ataque cibernético que sequestrou informações de computadores e servidores, bloqueando o acesso até que um resgate fosse pago. Segundo especialistas em segurança, sem a capacidade de descriptografar seus dados por conta própria, as vítimas do ataque que não haviam realizado *backup* de seus dados foram confrontadas com uma escolha: viver sem seus dados ou pagar. (Perlroth & Sanger, 2017).

Diante deste acontecimento, fica clara a importância da cibersegurança tanto para a indústria atual e como para a indústria do futuro. Fábricas com Manufatura 4.0 irão trabalhar com protocolos padrão de comunicação e alta conectividade entre todos os links da cadeia de criação de valor, o que significa que a necessidade de proteger os sistemas industriais e linhas de fabricação críticos contra ameaças de cibersegurança vai aumentar drasticamente. Dentro desse contexto, comunicações confiáveis e seguras, bem como identidades sofisticadas e gestão de acesso de máquinas e de usuários serão essenciais. (Rüßmann *et al.*, 2015).

2.9 Integração horizontal e vertical de Sistemas e Softwares

A maioria dos sistemas de tecnologia da informação existentes hoje não são totalmente integrados. Mas, com a Indústria 4.0, as empresas, os departamentos, as funções e os recursos se tornarão muito mais coesos, à medida que as redes de integração de dados universais e entre empresas evoluam e possibilitem cadeias de valor verdadeiramente

automatizadas (Rüßmann *et al.*, 2015).

Entende-se integração horizontal como a integração dos vários sistemas de TI para o apoio e a implementação de diferentes processos de agregação de valor (tais como fabricação, logística, vendas, engenharia e serviço), tanto dentro da empresa produtora, como além das fronteiras da empresa (*Plattform Industrie 4.0*, 2015).

Dentro de uma rede integrada, os riscos podem ser equilibrados e os recursos combinados podem expandir a gama de oportunidades de mercado (Schuh *et al.* citado por Brettel *et al.*, 2014; Chien & Kuo citado por Brettel *et al.*, 2014). A organização em redes multiplica as capacidades disponíveis sem a necessidade de novos investimentos. Assim, as empresas em redes integradas podem se adaptar a mercados voláteis e reduzir os ciclos de vida dos produtos com alta agilidade (Jaehne *et al.* citado por Brettel *et al.*, 2014).

Como exemplo de futura aplicação, a logística de entrada e de saída de e para as fábricas como parte da logística inteligente será caracterizada por equipamentos de transporte capazes de reagir de forma ágil a eventos imprevistos, como mudança de tráfego ou clima e que possa operar de forma autônoma entre o ponto de início e de destino. Os equipamentos de transporte de uso autônomo, como os Veículos Guiados Automatizados (AGVs - *Automated Guided Vehicles*), serão utilizados para realizar o transporte interno ao longo do fluxo de material. Todo o equipamento de transporte estarão fazendo troca de dados inteligentes com os módulos de criação de valor, a fim de realizar uma coordenação descentralizada de suprimentos e produtos com os sistemas de transporte. Para este fim, os suprimentos e produtos irão conter sistemas de identificação, ex. Chips RFID ou códigos QR., que permitirão uma identificação e localização sem fio de todos os materiais na cadeia de valor (Stock & Seliger, 2016).

Por integração vertical, entende-se a integração dos vários sistemas de TI nos diferentes níveis hierárquicos de um sistema de produção, como nível de atuadores e de sensores, o nível de controle, o nível de gerenciamento da produção, o nível de fabricação e execução, e o nível de planejamento de recursos corporativos (*Plattform Industrie 4.0*, 2015).

Essa integração permite um sistema de fabricação flexível e reconfigurável, uma vez que as máquinas inteligentes formam um sistema auto-organizado que pode ser reconfigurado dinamicamente para se adaptar a diferentes tipos de produtos, e as grandes quantidades de informações são coletadas e processadas para tornar o processo de produção transparente.

Os equipamento de fabricação, como ferramentas mecânicas ou ferramentas de montagem, usarão sistemas de sensores para identificar e localizar os fatores de criação de

valor, como os produtos ou os seres humanos, bem como para monitorar os processos de fabricação, como os processos de corte, montagem ou transporte. Dependendo dos dados inteligentes monitorados, os atuadores aplicados no equipamento de fabricação poderão reagir em tempo real a mudanças específicas do produto, humanos ou processos (Stock & Seliger, 2016).

3. Considerações finais

Em uma fábrica da Indústria 4.0, a troca de informações entre os membros da linha de produção e entre unidades de produção (ou mesmo entre diferentes empresas) levará a uma otimização atualmente inimaginável na logística e nos sistemas produtivos. Também estabelecerá uma maior conexão entre os links da cadeia de produção, que, em troca, aumentará a produtividade e a eficiência no uso de recursos. Isso significa um crescimento de flexibilidade nas linhas de produção, o que permitirá uma eficiente customização em massa de produtos de acordo com as preferências e necessidades de diferentes clientes (CNI, 2016).

Os novos desenvolvimentos tecnológicos permitirão agregação de valor em várias aplicações apoiado por diversos fatores. Os equipamentos (exemplo robôs) trabalharão de forma colaborativa com os operadores e com os processos necessárias para realização do produto. No trabalho humano será enfatizado tarefas de programação e monitoramento de equipamentos e produtos que se comunicam entre si. As tarefas serão mais automatizadas, customizadas, contínuas e integradas na cadeia de valor. O aumento da complexidade dos sistemas de manufaturas implicará em decisões descentralizadas realizadas pelos equipamentos e pessoas da organização baseado em quantidades *big data* disponíveis em nuvens. A manufatura aditiva permitirá desenvolvimentos industriais mais rápidos, com maiores precisões, formas mais complexas, em escalas maiores e com custos menores. Os produtos poderão ser produzidos individualizados com ganhos de escala e serão oferecidos com novas formas de serviço.

Cada uma das tecnologias apresentadas anteriormente possui um papel necessário e único a cumprir para que esta realidade da Indústria 4.0 ganhe vida. Conclui-se, no entanto, que nem todas as tecnologias, encontram-se na mesma fase de desenvolvimento. Enquanto algumas já possuem uma versão inicial em aplicação na indústria, como a manufatura aditiva, simulação e internet das coisas, mesmo sendo uma aplicação primitiva em relação ao nível de avanço idealizado para a Indústria 4.0, outros pilares, como a integração horizontal e vertical de sistemas e softwares, ainda não possuem uma aplicação viável.

Sugere-se que tanto o poder público quanto a iniciativa privada continuem com programas e investimentos nessas áreas de desenvolvimento científico e também em infraestrutura, de modo a tornar cada vez mais viável tecnológica- e economicamente a utilização prática e a expansão dos componentes citados neste artigo.

Referências

- ASHTON, K. *That 'Internet of Things' Thing. In the real world things matter more than ideas.* **RFID Journal**, 2009. Disponível em <<http://www.rfidjournal.com/articles/pdf?4986>> Acesso em 8 abr. 2017
- AZUMA, R. T. *A Survey of Augmented Reality.* **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, vol. 6, no. 4, pp. 355-385, 1997.
- BANKS, J. (1998). *Handbook of simulation*. New York: Wiley, p.3.
- BAUR, C. & WEE, D. *Manufacturing's next act.* **McKinsey&Company**. 2015. Disponível em:<<http://testingsites.cloudapp.net/mckinsey/wp-content/uploads/pdf/Manufacturing/Manufacturingsnextact.pdf>> Acesso em: 29 jun. 2017.
- BEKEY, G. A. *Autonomous Robots.* **Massachusetts Institute of Technology Press**. 2005.
- BNDES. (2017). *Estudos de IoT - Chamada pública.* Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/estudos/chamada-publica-internet-coisas/estudo-internet-das-coisas-um-plano-de-acao-para-o-brasil>> Acesso em 30 jun. 2017.
- BRETTEL, M. *et al. How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective.* **International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering**. Disponível em < <http://www.waset.org/publications/9997144>> Acesso em 2 jul. 2017.
- CALERO VALDEZA, A., BRAUNERA, P., SCHAARA, A., HOLZINGERB, A. AND ZIEFLEA, M. (2015). Reducing Complexity with Simplicity - Usability Methods for Industry 4.0. *Proceedings 19th Triennial Congress of the IEA, Melbourne 9-14 August 2015 1.*
- CHIEN, C.-F. & KUO, R.-T. *Beyond make-or-buy: cross-company short-term capacity backup in semiconductor industry ecosystem.* *Flex. Serv. Manuf. J.*, vol. 25, no. 3, pp. 310–342, 2013. Citado por: BRETTEL, M. *et al. How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective.* **International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering**, vol. 8, no. 1, 2014.
- COAN, J. *Manufatura 4.0 e a quarta revolução industrial.* **Technology Leadership Council Brazil - IBM Academy of Technology Affiliate**, ano 11, no. 264. 2016. Disponível em < <https://www.ibm.com/developerworks/community/blogs/tlcbbr/entry/mp264?lang=en>> Acesso em 2 jul. 2017
- KOLBERG, D. & ZÜHLKE, D. *Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies.* 2015
- DENG, J. *et al. Research and Application of Cloud Storage.* **Intelligent Systems And Applications (ISA)**. 2010.
- GIBSON, I., ROSEN, D. AND STUCKER, B. *Additive Manufacturing Technologies.* New York: **Springer**. 2010.
- GIUSTO, D., A. IERA, G. MORABITO AND L. ATZORI: *The Internet of Things.* 2010.
- HOFFMANN, H. *Technische Graswurzelrevolution.* **Frankfurter Allgemeine Zeitung**, Verlagsspezial. Alemanha, 2017.
- HOFMANN, E. & RÜSCH, M. *Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics.* **Computers in Industry.** Elsevier, 2017.
- INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS (IFR) **World Robotics Survey 2016.** 2016. Disponível em < <https://ifr.org/>> acesso em 02 de julho de 2017.

JAEHNE, D. M. *et al.* *Configuring and operating global production networks*. *Int. J. Prod. Res.*, vol. 47, no. 8, pp. 2013–2030, 2009. Citado por: BRETTEL, M. *et al.* *How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective*. **International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering**, vol. 8, no. 1, 2014.

KAGERMANN, H. *et al.* *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group*. 2013.

PERLROTH, N. & SANGER, D. E. *Hackers Hit Dozens of Countries Exploiting Stolen N.S.A. Tool*. **The New York Times**. 2017. Disponível em: < <https://www.nytimes.com/2017/05/12/world/europe/uk-national-health-service-cyberattack.html> > Acesso em 29 jun. 2017.

PLATTFORM INDUSTRIE 4.0. *Umsetzungsstrategie Industrie 4.0 - Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0*. **BITKOM**. 2015. Disponível em < <https://www.bitkom.org/noindex/Publikationen/2015/Leitfaden/Umsetzungsstrategie-Industrie-40/150410-Umsetzungsstrategie-0.pdf> > Acesso em 02 jul. 2017.

RÜBMAN, M. *et al.* *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*. **Boston Consulting Group**. 2015. Disponível em: < http://www.inovasyon.org/pdf/bcg.perspectives_Industry.4.0_2015.pdf > Acesso em 29 jun. 2017.

SCHUH, G. *et al.* *Collaboration Mechanisms to Increase Productivity in the Context of Industrie 4.0*. **Procedia CIRP**, 19, pp.51-56. 2014.

SCHUH, G. *et al.* *Produktionsnetzwerke – Das Beispiel der Virtuellen Fabrik*. Kooperationsmanagement, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. 2005. Citado por: BRETTEL, M. *et al.* *How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective*. **International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering**, vol. 8, no. 1, 2014.

SHIYONG, W. *et al.* *Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook*. **International Journal of Distributed Sensor Networks**. 2016. Disponível em <<http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1155/2016/3159805>> Acesso em 02 jul. 2017.

STOCK, T. & SELIGER, G. *Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0*. **13th Global Conference on Sustainable Manufacturing - Decoupling Growth from Resource Use**. 2016.

TAMÁS, P. & ILLÉS, B.: *Process Improvement Trends for Manufacturing Systems in Industry 4.0*. **Academic Journal of Manufacturing Engineering**, 2016.

ZENG, W. *et al.* *Research on cloud storage architecture and key technologies*. **International Conference on Interaction Sciences: Information Technology, Culture and Human**. 2009.