

OS IMPACTOS DA INDÚSTRIA 4.0 NA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

MARQUES, Renan Pasini¹
de LIMA, José Airton Gonçalves²

RESUMO

A automação industrial já existe há muitos anos, estando em constante evolução para trazer cada vez mais vantagens para as plantas industriais em que é aplicada. Nesse contexto, este trabalho foi delimitado em relação aos impactos que a indústria 4.0 pode trazer. Desse modo, a seguinte pergunta foi usada como base para este artigo: As tecnologias da indústria 4.0 trazem mais impactos positivos ou negativos para a automação industrial? Diante disso, o objetivo deste artigo foi caracterizar os impactos trazidos por tecnologias da indústria 4.0 para a automação industrial. A metodologia definida para a produção deste trabalho foi a revisão bibliográfica. Os resultados deste trabalho mostraram que em geral, as tecnologias da indústria 4.0 proporcionam muitas vantagens para as plantas industriais em que são aplicadas. No entanto, ainda existem barreiras a serem superadas para que essas tecnologias sejam largamente utilizadas, como os altos custos e a falta de profissionais qualificados. Em vista disso, pode-se concluir que com a diminuição das barreiras, a indústria 4.0 possui um grande potencial de aplicação que trará muitos benefícios para a automação das empresas.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Automação industrial. Desenvolvimento industrial.

1 INTRODUÇÃO

O setor industrial é de grande importância para um país, geralmente sendo significativamente responsável pelo PIB de uma nação. Por isso, a produtividade das indústrias é constantemente buscada em todo mundo. Nesse contexto, a automação

¹ Renan Pasini Marques RU: 1316184

² Especialista em Novas Tecnologias no Ensino de Matemática pela UNICESUMAR, Especialista em Engenharia de Produção pelo Centro Universitário UNINTER, Licenciatura Plena em Matemática pela UNICESUMAR, Bacharel em Engenharia Elétrica, Orientador de TCC no Centro Universitário UNINTER, Professor na rede pública de ensino, Professor corretor de provas discursivas EAD e presencial no Centro Universitário UNINTER.

industrial, tema do presente artigo, possui grande relevância no cenário nacional e internacional.

No entanto, a automação industrial é um campo de estudo amplo, que inclui várias áreas do conhecimento humano de forma interdisciplinar. Por isso, este trabalho foi delimitado em relação ao impacto que novas tecnologias, especificamente as que fazem parte da indústria 4.0, podem trazer à automação industrial (COLANTUONO, 2015). Diante disso, a problematização definida para este trabalho foi a seguinte: As tecnologias da indústria 4.0 trazem mais impactos positivos ou negativos para a automação industrial?

Em vista disso, o objetivo geral deste artigo foi caracterizar os impactos que a indústria 4.0 pode trazer à automação industrial (BAHRIN *et al.*, 2016). Enquanto os objetivos específicos foram: descrever o desenvolvimento industrial até o século XXI (COELHO, 2016); caracterizar a automação industrial; e apresentar as tecnologias de maior impacto na automação industrial da indústria 4.0 (BAHRIN *et al.*, 2016).

A indústria 4.0 abrange tecnologias capazes de trazer uma grande evolução para o setor industrial do século XXI (FENERICK; VOLANTE, 2020). Isso porque um dos princípios base da indústria 4.0 é o fato de trazer a mudança de paradigma de células fabris automatizadas para sistemas automatizados integrados, com isso, tem-se maior velocidade, flexibilidade e produtividade para as organizações (HOFMANN *et al.*, 2017). Desse modo, analisar se os impactos trazidos pelas tecnologias da indústria 4.0 serão positivos ou negativos é justificável a partir do ponto que se reconhece que muitas empresas já implantam algumas dessas inovações, enquanto outras organizações esperam resultados mais concretos antes de investir em nessas novas tecnologias (FENERICK; VOLANTE, 2020).

A sociedade passou por várias transformações ao longo do tempo. Uma das mais importantes se deu nos sistemas industriais por conta do uso de métodos e equipamentos que trouxeram um meio de controlar processos de forma automática (COELHO, 2016). Assim, a automação se mostrou como essencial para o desenvolvimento de várias áreas do planeta (COLANTUONO, 2015). Já no início do século XXI tem-se um conjunto de novas tecnologias que promete trazer uma integração nunca antes vista nos sistemas industriais, que é a indústria 4.0 (BAHRIN, *et al.*, 2016).

Esse artigo foi formado por uma descrição da evolução da indústria, seguida da caracterização da automação industrial (COELHO, 2016). Após isso, as principais tecnologias da indústria 4.0 que podem trazer maior impacto para a automação industrial foram apresentadas (FENERICK; VOLANTE, 2020). Por fim, a metodologia para a execução do projeto foi descrita e os resultados foram apresentados, seguidos das considerações finais.

2 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

O setor industrial possui inegável relevância no contexto do desenvolvimento econômico e social dos países em geral. Por conta disso, a própria evolução do setor industrial é de suma importância socioeconômica. Assim, a evolução industrial é um processo contínuo que a cada Revolução Industrial traz novas tecnologias e geralmente novos paradigmas (COLANTUONO, 2015).

2.1 DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL

A primeira Revolução Industrial foi iniciada na Europa no século XVIII, especificamente entre 1760 e 1840 na Inglaterra. A primeira revolução industrial foi caracterizada pela substituição de métodos de trabalho artesanal pelo uso de máquinas e ferramentas (COELHO, 2016).

Nessa época a produção artesanal, que tinha o ritmo determinado pelos artesãos, passou a ser substituída pela produção baseada em maquinário, em que os trabalhadores estavam submetidos à péssimas condições e deveriam seguir o ritmo ditado pelas máquinas. Além disso, a mão de obra tornou-se barata, o que trouxe um grande impacto social na época (FENERICK; VOLANTE, 2020). Com isso fica evidente que a mudança foi impactante especialmente para os trabalhadores, que deixaram de definir suas próprias condições de trabalho.

Esse período foi também um importante marco para o capitalismo. A produção cresceu de forma nunca antes vista, com grande aumento de produtividade e velocidade, revolucionando também a economia (FENERICK; VOLANTE, 2020). Essa velocidade de

produção permitiu uma queda no valor de várias mercadorias, permitindo que várias pessoas tivessem acesso a produtos antes de valor muito alto. A energia utilizada passou a ser o vapor, a partir da queima de carvão e madeira (COELHO, 2016). Com a força do vapor inúmeras evoluções tecnológicas foram possibilitadas, trazendo benefícios para praticamente todos os setores da sociedade.

Até por volta do século XIX, várias foram as evoluções do setor industrial que culminaram na segunda Revolução Industrial. A descoberta da eletricidade foi determinante para avanços tecnológicos em meios de transporte, comunicação, no desenvolvimento da indústria química, no uso do aço, entre outros benefícios (FENERICK; VOLANTE, 2020).

Com base em grandes barcos de aço movidos a motores a vapor, o transporte de mercadorias foi revolucionado. Novas técnicas de produção também foram desenvolvidas, criando as linhas de produção, que permitiam a produção em massa e de baixo custo (COELHO, 2016).

A terceira Revolução Industrial se deu entre as décadas de 1950 e 1970, que ficou conhecida também como a revolução digital. A principal característica dessa fase do setor industrial foi o início do uso de tecnologia da informação nas indústrias. Foram aplicados inúmeros dispositivos como semicondutores, computadores, microcontroladores, entre outros, que permitiram um nível de automação inédito. Com isso, a produtividade industrial teve um novo salto positivo (COELHO, 2016).

Já no início do século XXI, com o desenvolvimento da internet e miniaturização de dispositivos eletrônicos, o processamento digital de informações teve uma grande evolução, mantendo custos viáveis em geral (COELHO, 2016). Mesmo ainda estando em andamento, as inovações dessa nova etapa da evolução têm um potencial tão grande que essa é considerada a quarta Revolução Industrial, ou Indústria 4.0. Tais tecnologias são baseadas em computação em nuvem, em robótica, entre outras que são aplicadas na automação industrial (BAHRIN *et al.*, 2016). A figura 1 mostra um resumo das Revoluções industriais.

Figura 1 - Resumo das revoluções Industriais



Fonte: Coelho (2016).

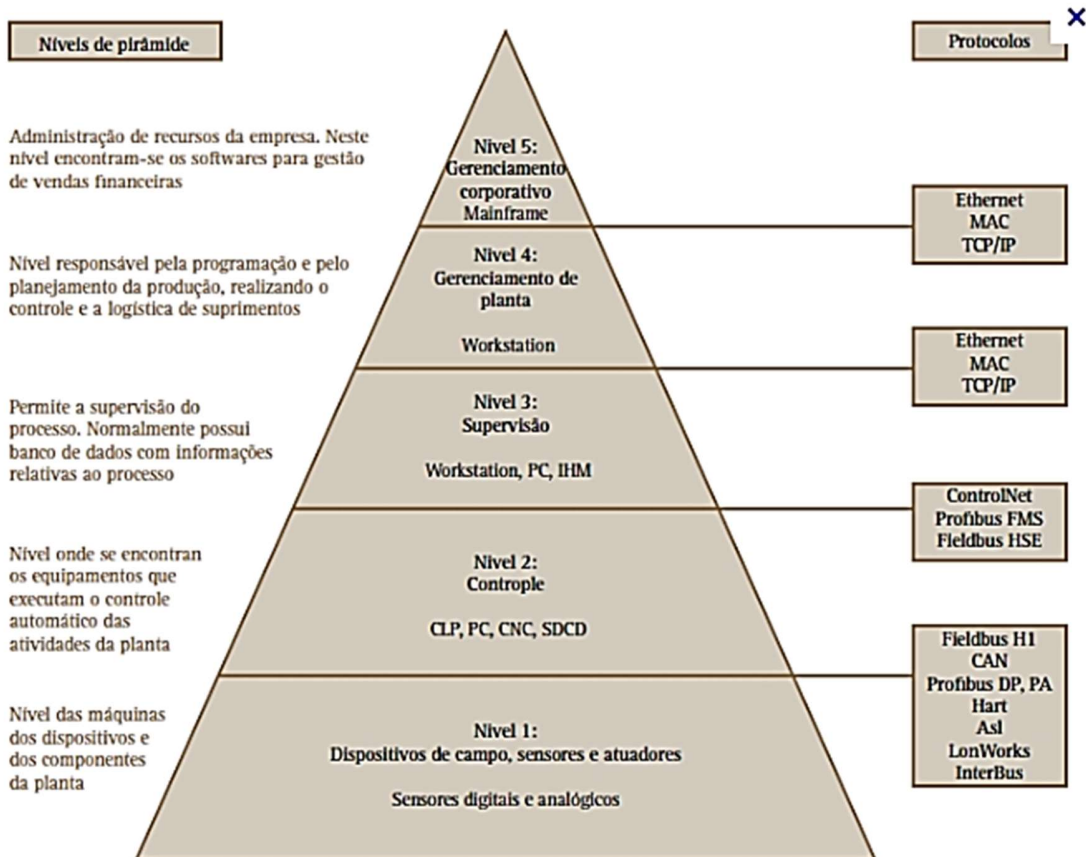
2.2 CARACTERIZAÇÃO DA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

A automação pode ser caracterizada como qualquer processo que é capaz de realizar tarefas de forma autônoma, ou que auxilia o ser humano na realização de suas atividades (ROSÁRIO, 2012). Por isso, a automação torna os processos industriais mais velozes e eficazes, aumentando a produtividade, além de diminuir os riscos de certas atividades, ao deixar de usar a força humana de forma direta (SILVA, 2010).

No entanto, a aplicação da automação industrial tornou os processos e sistemas industriais mais complexos, e com isso, a automação precisou ser compartimentalizada para que seu gerenciamento fosse mais fácil e eficiente (SILVA, 2010). A compartimentalização é essencial para que sistemas de maior complexidade sejam melhor entendidos. Assim, nas empresas em geral, os sistemas de automação são divididos em níveis, conforme as suas responsabilidades no processo produtivo (MORAIS; CASTRUCCI, 2007). Essa divisão facilita ainda a criação de tecnologias específicas para um dos níveis do processo produtivo.

Assim, a figura 2 mostra os níveis de automação divididos em forma de pirâmide, uma maneira comum de representá-los. A figura 2 também ilustra as funções gerenciais relacionadas a cada nível de responsabilidade, assim como as redes de comunicação por nível.

Figura 2 - Pirâmide da automação industrial



Fonte: Moraes e Castrucci (2007).

A figura 2 mostra que o nível 1 é o chamado chão de fábrica, nível em que estão as máquinas que efetivamente realizam as transformações industriais. Nesse nível da pirâmide os dispositivos usados são os sensores e atuadores, em que os primeiros recebem informações direto dos processos industriais e os atuadores podem realizar ações de ligar, desligar, abrir, etc., conforme foram programados (SILVA, 2010).

O nível 2 é composto pelos elementos de controle da planta fabril. Alguns desses dispositivos são os Controladores Lógico Programáveis (CLPs). Já o nível 3 é onde ocorre a supervisão, sendo por isso composto por sistemas supervisórios responsáveis pelo controle do processo produtivo da planta. No quarto nível ocorre a programação e o planejamento da produção, como o controle e a logística de suprimentos. E por fim, no nível 5 está o gerenciamento geral, onde ocorre a tomada de decisão sobre a administração da empresa (MORAIS; CASTRUCCI, 2007).

2.3 A AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL NA INDÚSTRIA 4.0

A indústria 4.0 possui ênfase na ideia de digitalização, com a vinculação de todas as unidades produtivas em uma rede. Para isso, vários tipos de tecnologias são necessários como a *Internet of Things* (IoT) ou internet das coisas, a computação em nuvem ou *cloud computing*, a cibersegurança ou *cybersecurity*, *big data*, manufatura aditiva ou impressão 3D, realidade aumentada, simulação e robótica. Tais tecnologias sustentam a integração vertical e horizontal dos sistemas (CHEN *et al.*, 2017).

Por ser um paradigma capaz de fundir o mundo virtual com o mundo físico a partir de sistemas ciberfísicos, a indústria 4.0 também é conhecida como “indústria inteligente” (BAHRIN *et al.*, 2016). Assim, pode-se dizer que a indústria 4.0 realiza a integração segura e total de sistemas ciberfísicos, como a robótica, como uma tecnologia central, a partir do uso de IoT para fundamentar o ambiente operacional da Interface Homem-Máquina (IHM), com o uso de big data para embasar a tomada de decisão (CHEN *et al.*, 2017).

No entanto, mesmo que traga muitas vantagens, a indústria 4.0 não pode ser implantada de forma ampla rapidamente, mas suas tecnologias devem ser aplicadas por partes, trazendo transformações que poderão servir de base para outras mais avançadas (HOFMANN *et al.*, 2017).

Um dos impactos que a indústria 4.0 pode trazer é o aumento da complexidade dos sistemas industriais, pois para ser completamente aplicada essa inovação exige combinação de múltiplas tecnologias. Com isso, as empresas vão precisar repensar em como gerir seus negócios de forma a se ajustar às novas necessidades do mercado (COELHO, 2016).

3 METODOLOGIA

No presente artigo foi desenvolvida uma pesquisa que pode ser considerada descritiva, uma vez que “o interesse é descrever um fato ou fenômeno” (SANTOS, 1999, p. 26). Devido a isso, foi realizado um levantamento sobre o desenvolvimento da

indústria, culminando com a Indústria 4.0, de modo a identificar os impactos que tal inovação trará para a automação industrial.

Uma pesquisa bibliográfica sobre o tema foi a base para este artigo. As fontes a serem utilizadas foram livros, dissertações, artigos acadêmicos e teses obtidos em bases de dados como Google Acadêmico, IEEE, Scielo, entre outras fontes acadêmicas confiáveis.

De forma a manter o aprofundamento adequado sem obter informações possivelmente desatualizadas, as obras que foram consultadas foram escolhidas dentro de um período de 10 anos. Portanto, esta pesquisa foi classificada como uma revisão bibliográfica, que analisou dados previamente organizados de modo a alcançar o objetivo de pesquisa proposto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As tecnologias de automação da indústria 4.0 podem trazer grandes benefícios para as indústrias, mas ainda não existe uma aplicação em larga escala de tais tecnologias, sendo mais comum a aplicação de uma ou mais tecnologias desse tipo em uma planta industrial (LINS *et al*, 2018). Desse modo, é preciso analisar projetos de aplicação de tecnologias da indústria 4.0 em relação as suas vantagens e desvantagens.

A partir da aplicação de automação baseada em inovações da indústria 4.0, especialmente a robótica, Schröder *et al.* (2015) foram capazes de obter vários benefícios ao processo produtivo. Das duas linhas de produção da planta industrial analisada, uma delas foi automatizada com tecnologias da indústria 4.0, por isso, um dos benefícios foi o aumento da produtividade em 23%, em relação à outra linha com automação tradicional. Com isso, ficou evidente que essa aplicação de tecnologias, como a robótica trouxe uma melhora de desempenho com consequente aumento da eficiência à empresa estudada.

Em relação aos trabalhadores de ambas as linhas de produção, Schröder *et al.* (2015) afirmam que a linha em que a robótica foi implantada como base, a quantidade de operadores diminuiu. Pode-se dizer que foi um efeito positivo ao elevar a eficiência por usar máquinas e eliminar grande parte da incerteza associada à operação humana. Uma

vez que o número de postos de trabalho da organização não diminuiu, esses trabalhadores foram realocados em outros setores, evitando um efeito social negativo de desemprego.

Schröder *et al.* (2015) verificaram que os trabalhadores que permaneceram na linha e passaram a operar o maquinário em conjunto a robôs, também tiveram uma melhora na produtividade por operador e elevação da qualidade dos produtos dessa linha. Conforme os autores, o trabalho conjunto com robôs foi benéfico para os indivíduos, que passaram a realizar as tarefas com maior segurança. Nesse sentido, é perceptível que a associação dos trabalhadores com robôs foi benéfica tanto para esses indivíduos como para a empresa e os clientes, pois os operadores passaram a ter maior segurança, ou seja, os riscos do trabalho foram diminuídos, a empresa passou a contar com uma maior produtividade, o que resulta em maiores lucros, enquanto os clientes receberam produtos de maior qualidade.

Além da robótica usada como base do projeto, Schröder *et al.* (2015) implantaram também outras tecnologias, como sensores RFID, com o intuito de aperfeiçoar ainda mais a produção. Com isso, a empresa teve um aumento em sua produtividade, com redução ainda maior de perdas e refugos. Com o uso de RFID várias rotinas que antes eram manuais foram eliminadas, além de contribuir com a minimização das falhas dos operadores (Schröder *et al.*, 2015). Desse modo, fica evidente que as tecnologias da indústria 4.0, ao serem aplicadas em conjunto, são capazes de trazer uma melhora ainda mais expressiva para a planta industrial.

A redução do retrabalho também foi observada por Schröder *et al.* (2015), com uma porcentagem de 60% menor em comparação com a linha que usa automação tradicional. Segundo os autores, o uso de RFID trouxe uma maior uniformidade para a operação, o que contribuiu diretamente para padronização dos produtos. O retrabalho, que nada mais é do que realizar a mesma tarefa mais de uma vez, indica uma baixa qualidade dos produtos, e com a redução desse índice, há uma clara economia de tempo de trabalho para os operadores, o que contribui com a elevação da produtividade por indivíduo.

No entanto, os custos de aplicação de tecnologias da indústria 4.0 permanecem altos em relação ao mercado de automação tradicional. Por isso, Lins *et al.* (2018)

destacam o conceito de *retrofitting*, que é a atualização e adaptação de equipamentos industriais às novas tecnologias.

No contexto de aplicação do *retrofitting*, Stock e Seliger (2016) desenvolveram uma solução para um equipamento a partir de um método abrangente. O método é iniciado com uma análise da situação, depois ocorre a definição da estratégia de monitoramento, seguida do processamento de dados e finalizando com o equipamento sendo implantado como um sistema cyber-físico.

A solução para o equipamento estudado por Stock e Seliger (2016) foi que o mesmo deveria ser monitorado em relação aos seus estados operacionais, como desligado, ligado, ocioso e falha. Foi implantada uma IHM para a visualização dos referidos estados e a mesma foi posteriormente implementada como um sistema *cyber-físico*. Conforme os autores, foi possível obter vantagens com uma melhora no controle da produção, em um custo aceitável. Desse modo, fica evidente que esse sistema foi capaz de otimizar a automação tradicional da empresa a partir do uso de tecnologias da indústria 4.0.

Conforme Rosendahl *et al.* (2015), uma das principais preocupações da habilitação da indústria 4.0 são os sistemas de automação legados, cuja acessibilidade dos dados deve ser mantida da melhor forma possível, para que os processos de obtenção de informações não afetem as funções das instalações. Portanto, a infraestrutura de comunicação deve ser modificada para uma arquitetura mais transparente. Assim, muito do sistema original deve ser mantido, em um projeto que concretize o princípio da pirâmide de automação.

Nesse contexto, Rosendahl *et al.* (2015) elaboraram uma estratégia para adaptação de uma planta industrial para tecnologias da indústria 4.0. Nesse caso, os sensores e atuadores são conectados aos acopladores de barramento *Modbus* diferentes e associados a sinais discretos. O mapeamento de sinais e as rotinas básicas estão contidos em uma estrutura de dados em conformidade com o sistema. Os algoritmos de sequenciamento e controle serão fornecidos por blocos de função em conformidade com o CLP, no entanto, para que os custos sejam menores, uma alternativa de baixo custo baseada em computadores *RaspberryPi* foi instalada com tempos de execução de CLP. Para suportar uma arquitetura multicamadas e para vincular os softwares disponíveis,

como a IHM e demais ferramentas de planejamento, os algoritmos foram escritos em Java com uma pilha de protocolos *Modbus* interna, com uma configuração IO bidirecional do *Modbus*. A partir dessa configuração, é possível alterar a topologia dos componentes em tempo de execução, pela reconfiguração das conexões lógicas entre diferentes controladores na rede. (ROSENDAHL *et al.*, 2015).

A partir desse exemplo que incorpora tecnologias tradicionais a inovações trazidas pela indústria 4.0 pode-se inferir que no caso de muitas empresas, em que existe uma barreira por conta do alto custo de implantação de tecnologias como a robótica e IoT, existe a possibilidade de implantar sistemas que apliquem o *retrofitting* de forma que tenham grande preocupação com os sistemas legados. Com isso, pode ser viável, tanto no âmbito técnico como no financeiro, que máquinas já existentes sejam “atualizadas” para fazer parte de sistemas cyber-físicos, de modo que a modificação de parte do sistema produtivo seja possível sem interferir negativamente com os sistemas legados, trazendo uma maior integração para a empresa.

Kagermann *et al.* (2013) afirmam que são múltiplos os benefícios trazidos pela indústria 4.0, tais sistemas de automação podem melhorar a qualidade do produto, ao mesmo tempo em que tornam os processos de fabricação mais eficientes. A tendência de implantação de sistemas da indústria 4.0 vem crescendo ao longo dos últimos anos em todo planeta, sendo que em certos países essa automação está mais avançada.

De acordo com Shrouf *et al.* (2014), uma pesquisa da *American Society for Quality* (ASQ) realizada no mesmo ano, expôs que 82% das organizações que afirmam ter implementado tecnologias de *smart factory* declararam que experimentaram aumento de eficiência, 49% experimentaram menos defeitos de produto e 45% alcançaram maior satisfação do cliente. Assim, fica evidente que a aplicação de tecnologias da indústria 4.0 é capaz de trazer muitas vantagens para as empresas em que são implantadas, com destaque para a eficiência, o indicador que aumentou em mais de 80% dos casos analisados.

Hofmann e Rüsç (2017) destacam vários dos benefícios que a indústria 4.0 trouxe para empresas em que foi implementada. Alguns deles são: menor tempo de processamento do produto; redução do custo de fabricação; melhoria da coordenação de cadeias de suprimento, aumento da flexibilidade dos processos; melhor atendimento ao

cliente; maior customização do produto; entre outros. Conforme os autores, tais benefícios podem oferecer resultados para muitas áreas dentro do gerenciamento de operações, especialmente no gerenciamento de tecnologia, porque a maioria é focada na automação de processos. Nesse sentido, a automação industrial pode ser grandemente beneficiada pela indústria 4.0, na medida em que muitas das tecnologias implantadas tem como foco a otimização da automação.

Além disso, Hofmann e Rüsç (2017) afirmam que o uso de tecnologias da Indústria 4.0 pode transformar as competências essenciais das empresas, funcionando como um facilitador de algumas estratégias de gestão de operações, como manufatura ágil e customização em massa. Desse modo, fica evidente que a aplicação da indústria 4.0 pode trazer benefícios não só para a automação de uma empresa, mas para a sua gestão, o que indica o quanto esse tipo de inovação é importante para o setor industrial.

Entretanto, Tortorella e Fettermann (2018) destacam que ainda existem muitas barreiras para a adoção da Indústria 4.0 nas empresas de manufatura. Segundo os autores, em geral, o processo de implementação dessas tecnologias demanda um nível bastante intensivo de dispêndio de capital, o que frequentemente reduz a atratividade desse tipo de empreendimento. Logo, os custos elevados ainda se mostram como a principal barreira para esse tipo de inovação tecnológica, por isso, espera-se que a evolução tecnológica traga um barateamento dos componentes elétricos e eletrônicos para que tais custos sejam mais atrativos aos empresários.

A gestão e o controle das operações integradas na Indústria 4.0 também exigem trabalhadores qualificados. Esta demanda particular por mão de obra altamente qualificada também é mencionada como um dos maiores desafios para a expansão das tecnologias da Indústria 4.0, especialmente nas economias em desenvolvimento (TORTORELLA; FETTERMANN, 2018). Nesse contexto, pode-se esperar uma melhora de qualificação da força de trabalho, como por exemplo no caso brasileiro, com maiores incentivos para cursos superiores, técnicos, de especialização, entre outros.

Fica evidente que a aplicação de tecnologias da indústria 4.0 na automação de plantas industriais pode trazer vários benefícios para as organizações. No entanto, certas barreiras ainda devem ser transpostas para que este tipo de tecnologia se expanda ao redor do mundo, especialmente no Brasil.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme visto nos resultados deste trabalho, uma indústria é significativamente afetada com a aplicação de tecnologias da indústria 4.0. No caso específico da automação, as tecnologias da indústria 4.0 trazem significativas vantagens, que podem inclusive refletir em outros âmbitos da organização, como a gestão.

Em vista disso, o objetivo de demonstrar os impactos que a indústria 4.0 pode trazer para uma planta industrial, de tal modo, que foi comprovado que os impactos tendem a serem positivos. No entanto, mesmo que a indústria 4.0 traga vantagens para as empresas, ainda existem barreiras como os altos custos e falta de pessoal qualificado.

Por isso, com a diminuição de barreiras como os altos custos desse tipo de tecnologia, a falta de pessoal qualificado e a falta de incentivo à inovações desse tipo, existe um grande potencial para que a automação industrial seja beneficiada por tecnologias da indústria 4.0.

REFERÊNCIAS

BAHRIN, M. A. K.; OTHMAN, M. F.; AZLI, N. H. N.; TALIB, M. F. Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. **Jurnal Teknologi**, v. 78, n. 6-13, 2016.

CHEN, J. Y.; TAI, K. C.; CHEN, G. C. Application of programmable logic controller to build-up an intelligent industry 4.0 platform. **Procedia CIRP**, v. 63, p. 150-155, 2017.

COELHO, P. M. N. **Rumo à indústria 4.0**. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de Coimbra. 2016.

COLANTUONO, A. C. S. Desenvolvimento industrial brasileiro: história e perspectiva. **Semina: Ciências Sociais e Humanas**, v. 36, n. 2, p. 95-110, 2015.

FENERICK, J. A.; VOLANTE, C. R. A EVOLUÇÃO DAS INDÚSTRIAS, OS BENEFÍCIOS DA AUTOMAÇÃO E AS PERSPECTIVAS DO MERCADO DA ROBÓTICA NO BRASIL E NO MUNDO. **Revista Interface Tecnológica**, v. 17, n. 1, p. 734-745, 2020.

HOFMANN, E.; RÜSCH, M. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. **Computers in industry**, v. 89, p. 23-34, 2017.

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

LINS, T. *et al.* Industry 4.0 Retrofitting. In: **2018 VIII Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering (SBESC)**. IEEE, 2018. p. 8-15.

MORAIS, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de controle industrial**. 2º ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

ROSÁRIO, J. M. **Automação industrial**. Editora Baraúna, 2012.

ROSENDAHL, R.; SCHMIDT, N.; LÜDER, A.; RYASHENTSEVA, D. Industry 4.0 value networks in legacy systems. In: **2015 IEEE 20th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA)**. IEEE, 2015. p. 1-4.

SANTOS, A. R. **Metodologia científica**: a construção do conhecimento. Rio de Janeiro: DP&A editora, 1999.

SANTOS, B. P.; CELES, L. A.; BORGES, J. B., NETO, B. S. P., VIEIRA, M. A. M., ... & LOUREIRO, A.. Internet das coisas: da teoria à prática. In: **Simpósio Brasileiro De Redes De Computadores E Sistemas Distribuídos**, Salvador. 2016.

SCHRÖDER, R.; NUNES, F. L.; VIERO, C. F.; MENEZES, F. M. Análise da implantação de um processo automatizado em uma empresa calçadista: um estudo de caso a luz do

sistema hyundai de produção e a indústria 4.0. **Revista ESPACIOS| Vol. 36 (Nº 18) Año 2015**, 2015.

SHROUF, F.; ORDIERES, J.; MIRAGLIOTTA, G. Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm. In: **2014 IEEE international conference on industrial engineering and engineering management**. IEEE, 2014. p. 697-701.

SILVA, J. O. **Estudo comparativo dos benefícios da automação do processo discreto de carbonatação em uma empresa de carbonato de cálcio precipitado situada em Arcos-MG**. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia de Produção. UNIFOR - MG, Formiga - MG. 2010.

STOCK, T.; SELIGER, G. Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. **Procedia Cirp**, v. 40, p. 536-541, 2016.

TORTORELLA, G. L.; FETTERMANN, D. Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2975-2987, 2018.