Robótica Colaborativa à luz da Gestão da Produção: Revisão de Literatura e Oportunidades para Pesquisas Futuras

Juliano Endrigo Sordan julianosordan@yahoo.com.br UFSCar
Pedro Carlos Oprime pedro@dep.ufscar.br UFSCar
Marcio Lopes Pimenta pimenta@ufu.br UFU
Yasmine Tomasella Rodrigues yasmine.trc@gmail.com FATEC
Clesio Aparecido Marinho clesiomarinho@yahoo.com.br UFSCar

Resumo

O presente artigo tem como proposta compreender as especificidades inerentes à robótica colaborativa no contexto da Indústria 4.0, assim como identificar oportunidades para pesquisas futuras sobre o tema. Para alcançar os objetivos deste estudo, foi conduzida uma revisão sistemática de literatura abrangendo 84 artigos científicos, publicados no período entre 1997 a 2018 e disponibilizados nas bases de dados Scopus™ e Web of Science®. A análise do referencial teórico revela os assuntos mais abordados nas pesquisas dedicadas aos robôs colaborativos (COBOTs), os trabalhos mais citados e as abordagens de pesquisa adotadas. Além disso, são apresentadas algumas especificidades a respeito da aplicação e desenvolvimento dos COBOTs, suas vantagens e restrições. Por fim, as oportunidades para pesquisas futuras, também identificadas no referencial teórico, foram agrupadas em seis temas centrais.

Palavras chaves

Robótica colaborativa, COBOT, indústria 4.0, revisão sistemática de literatura.

1. Introdução

O paradigma da quarta revolução industrial, também conhecido como “Indústria 4.0” representa um importante desafio para as organizações que almejam converter seus atuais processos de fabricação para o modelo de manufatura digital, com o propósito de obter vantagens competitivas por meio da atualização tecnológica. Neste cenário, surgem novas oportunidades e desafios na gestão da manufatura ao possibilitar o uso e integração de tecnologias como Internet Industrial das Coisas (IIoT), Simulação, robótica avançada, computação em nuvem, manufatura aditiva e realidade aumentada (RÜßMANN et al., 2015; TAMÁS et al., 2016; SCHWAB, 2017). Neste contexto, a ideia que um robô industrial possa atuar de forma colaborativa com os operadores e servir de ferramenta auxiliar no desenvolvimento de uma atividade constitui uma condição importante para expressar o conceito de fábrica inteligente, onde robôs e humanos trabalharão cada vez mais próximos KULL, 2015; WEISS et al., 2016; ROBLA-GÓMEZ et al., 2017).

Embora o emprego de robótica em processos de fabricação seja uma característica inerente à terceira revolução industrial, o novo paradigma produtivo propõe otimizar esse tipo de tecnologia por meio da evolução dos robôs tradicionais para robôs inteligentes, capazes de aprenderem e colaborarem com os seres humanos. Sendo assim, robôs industriais autônomos estão sendo desenvolvidos de modo a aumentar a segurança, flexibilidade, versatilidade e colaboração no chão de fábrica, sem a necessidade de isolar uma área de trabalho (BAHRIN

et al., 2016). Outras tecnologias associadas ao novo paradigma industrial, incluindo inteligência artificial, Internet of Things (IoT), computação em nuvem e Big Data, alterarão a aplicação dos robôs nos processos industriais nos próximos anos (ROBLA-GÓMEZ et al., 2017).

Além dos aspectos relativos à produtividade dos processos de fabricação, a segurança representa um fator crucial na implementação da robótica industrial. A publicação da especificação técnica ISO/TS 15066:2016 (ISO, 2016) tem como objetivo atualizar os padrões internacionais de segurança para a adoção de Robôs Colaborativos (Collaborative Robots - COBOTs), detalhando os requisitos de projeto e avaliação de risco e seus principais impactos para partes específicas do corpo humano. Considerando o fato que os robôs industriais podem ser grandes, pesados e moverem-se a altas velocidades, a implementação dessa tecnologia deve ser capaz de evitar potenciais impactos entre o robô e um humano dentro de uma estação de trabalho automatizada. Neste contexto, já é possível evidenciar soluções voltadas à segurança do trabalho incluindo sistemas de confiabilidade mecânica, estruturas de peso leve, dispositivos de detecção de contato, sistemas de visão artificial, entre outros (ROBLA-GÓMEZ et al., 2017).

Estudos sobre robótica colaborativa podem ser justificados não apenas devido a razões de segurança no intuito de reduzir as lesões de operadores durante a produção, mas também devido à necessidade de produção mais rápida e ganhos econômicos (BAYRAM e İNCE, 2018). Assim, considerando a relevância do tema para o aperfeiçoamento dos processos industriais, surgem as seguintes questões de pesquisa: (QP1) *"Quais são as especificidades inerentes aos COBOTs?"*; e (QP2) *"Quais temas poderão ser trabalhados em estudos futuros envolvendo a robótica colaborativa?*". Desde modo, o presente artigo busca compreender as especificidades sobre o tema robótica colaborativa a partir de uma Revisão Sistemática de Literatura com base nos publicados nas bases Scopus™ e Web of Science®, no período de 1997 a 2018. Além de aspectos descritivos sobre referencial teórico selecionado, o artigo também apresenta alguns temas para trabalhos futuros sobre a temática dos COBOTs.

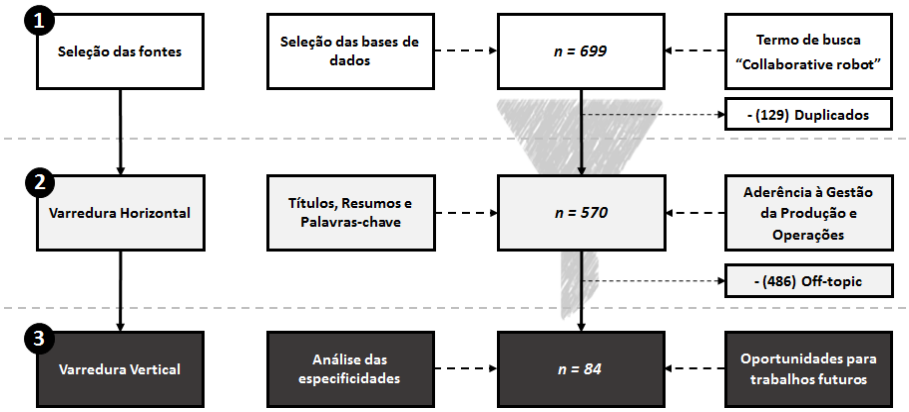
Este artigo encontra-se estruturado da seguinte forma: na seção 2 são apresentados os procedimentos de pesquisa adotados no estudo; na seção 3 são apresentadas as especificidades sobre o tema evidenciadas no referencial teórico analisado, assim como uma breve análise descritiva dos assuntos abordados; na seção 4 são apresentadas algumas oportunidades de pesquisa futura; e finalmente, na seção 5 são apresentadas as considerações finais.

2. Procedimentos metodológicos

Com o propósito de encontrar respostas às questões de pesquisa apresentas na introdução deste artigo, o método adotado para o estudo foi a Revisão Sistemática de Literatura, seguindo os procedimentos apresentados por (DA SILVA et al., 2015). Tal método de pesquisa fornece uma base sólida para pesquisas futuras e contribui para o desenvolvimento de teorias, alinha o conhecimento sobre pesquisas existentes e descobre áreas onde estudos potenciais são necessários (WEBSTER e WATSON, 2002).

Seguindo o procedimento apresentado na figura 1, o primeiro passo da revisão de literatura foi realizado no mês de janeiro de 2019 e consistiu na seleção das bases de dados, onde foram escolhidas as bases Scopus™ e Web of Science®, levando em consideração a relevância dos artigos indexados em periódicos com fator de impacto e a facilidade de acesso e estratificação dessas publicações. O termo *"collaborative robot"* foi definido como a *string* de busca, visto que a maioria das publicações nessas bases estão disponíveis no idioma inglês e a expressão engloba os termos "robótica colaborativa" e "robôs colaborativos". Assim, foram identificados 551 artigos na base Scopus™ e 148 artigos na base Web of Science®.

Figura 1 – Método de revisão de literatura



Fonte: Adaptado de Silva *et al.*, (2015)

Após a remoção de 129 artigos duplicados, um segundo critério foi aplicado para filtrar o volume das publicações (varredura horizontal) por meio da leitura dos elementos: título, resumo e palavras-chave. É importante destacar que parte dos trabalhos selecionados nesta etapa da pesquisa ressaltavam apenas aspectos técnicos e operaconais dos COBOTs, incluindo especificações, uso de algoritimos e linguagem de programação, além de aplicações fora do contexto da manufatura, como por exemplo, engenharia civil, ensino, medicina, entre outras. Deste modo, após a remoção de 486 artigos fora do escopo deste estudo, foi possível conduzir uma análise minuciosa (varredura vertical) dos 84 artigos selecionados, publicados no período de 1997 a 2018, com relação às especificidades inerentes à robótica colaborativa e temas para pesquisas futuras envolvendo a robótica colaborativa.

3. Revisão de Literatura

3.1 Análise inicial

Uma primeira análise dos trabalhos selecionados buscou a identificação dos assuntos mais destacados observados nos títulos e nas palavras-chave de cada artigo, limitando-se a registrar, no máximo, cinco assuntos mais expressivos em cada trabalho. A título de exemplo, no artigo *"Legibility and Predictability of Robot Motion"* (DRAGAN et al., 2013), foram identificados três temas centrais: (i) análise de movimentos; (ii) planejamento de trajetória; e (iii) reconhecimento de gestos. Para não sobrecarregar a relação dos assuntos abordados, vários termos com a mesma denotação ao tema desta pesquisa, tais como "*collaborative robots*", "COBOTs", "*collaborative work*", "*human-machine interaction*" etc., foram excluídos da relação de temas. Além disso, termos relacionados aos métodos de pesquisa empregados nos estudos também foram desconsiderados, visto que serão analisados mais adiante. Assim, os assuntos mais expressivos, que foram observados em mais de um artigo, estão classificados por ordem de frequência observada e apresentados no Quadro 1.

Ao observar esses assuntos verifica-se que os cinco temas mais abordados, quando somados, representam 77,38% das publicações recuperadas e retratam aspectos referentes à saúde e segurança do ambiente de trabalho, aplicações em linhas de montagem, assim como aspectos técnicos dos COBOTs, incluindo análise de movimentos, cinemática e sistemas de sensoriamento. Contudo, considerando os aspectos voltados à gestão da produção e operações, dos 34 assuntos identificados, 8 assuntos estão diretamente relacionados com questões pertinentes à segurança e saúde ocupacional (segurança, análise de risco, reconhecimento de gestos, aspectos sociais da robótica, ergonomia, trabalho em equipe, ambiente de trabalho e ISO 10218) e 3 assuntos estão conexos ao recente paradigma da quarta revolução industrial (indústria 4.0, Sistemas Cyber-físicos e Smart Factory).

Quadro 1 – Principais assuntos evidenciados.

Assuntos	Artigos	%	Assuntos	Artigos	%
Segurança	18	21,43	Ergonomia	3	3,57
Linha de montagem	17	20,24	Algoritmos	2	2,38
Sensoriamento	11	13,10	Sistemas de garras	2	2,38
Análise de movimentos	11	13,10	Sistemas de manipulação	2	2,38
Análise de risco	8	9,52	Trabalho em equipe	2	2,38
Arquitetura	7	8,33	Normatização	2	2,38
Cinemática	6	7,14	Indústria 4.0	2	2,38
Automação industrial	6	7,14	Sistemas Cyber-físicos	2	2,38
Robô Baxter	5	5,95	*Smart Factory*	2	2,38
Mobilidade	5	5,95	Ambiente de trabalho	2	2,38
Learning systems	4	4,76	ISO 10218	2	2,38
Planejamento de trajetória	4	4,76	Multi-agent system	2	2,38
Sistemas visuais	4	4,76	Sistema Fuzzy	2	2,38
Reconhecimento de gestos	3	3,57	Robustez	2	2,38
Aspectos sociais da robótica	3	3,57	Detecção de objetos	2	2,38
Framework	3	3,57	Realidade virtual	2	2,38
Robô manipulador	3	3,57	Projeto de máquina	2	2,38

Fonte: Pesquisa bibliográfica.

Com relação à segurança dos ambientes colaborativos, percebe-se que os estudos abordam aspectos relacionados à operação dos COBOTs, tais como velocidade de trabalho, proximidade dos operadores a fim de evitar colisões, reconhecimento entre operadores e materiais e monitoramento da distância entre os operadores (ŠURDILOVIĆ *et al*., 2003; MATTHIAS *et al.*, 2011; AALTONEN et al., 2018). Dentre os assuntos evidenciados acima, apenas um remete ao tipo de solução comercial para COBOTs. O robô Baxter, que ocupa a nona posição no Quadro 1, é um robô desenvolvido pela Rethink Robotics, equipado com dois braços e uma tela que executa a função de um rosto para que o operador possa se comunicar com o robô e que mostra quando o mesmo está aprendendo ou executando uma operação. Além disso, os robôs Baxter são equipados com uma plataforma de software que permite que eles desenvolvam uma sequência de tarefas complexas, como por exemplo, o manuseio de um componente e a instrução por sinal de uma estação de inspeção do tipo "aprovado" ou "reprovado", até o empilhamento do material (BRIODY, 2013).

Outra importante característica pertinente ao estado da arte sobre robótica colaborativa diz respeito ao enfoque metodológico e cientifico dos estudos conduzidos em torno do tema. Neste sentido, o Quadro 2 apresenta a distribuição das publicações observadas em relação ao enfoque de pesquisa adotado. Tal distribuição foi estratificada em quatro períodos, sendo que foi atribuída maior amplitude aos dois primeiros períodos, considerando que o tema ganhou maior relevância a partir dos conceitos de robótica avançada e indústria 4.0, ambos disseminados a partir de 2011 e, portanto, com maior frequência esperada.

Quadro 2 – Abordagens de pesquisa adotadas nos artigos analisados.

Período	Nº	%	Abordagem de Pesquisa (%)				
			Modelagem	Experimento	Simulação	Estudo Teórico	Estudo de Caso
1997-2003	3	3,57	0	1	1	1	0
2004-2010	10	11,90	0	5	1	4	0
2011-2014	12	14,29	1	7	0	3	1
2015-2018	59	70,24	2	28	4	11	14
Total	84	100	3	41	6	19	15

Fonte: Pesquisa bibliográfica.

A maior parte dos estudos pertinentes aos COBOTs têm como abordagem de pesquisa a condução de experimentos, representando 48,81% de todas as publicações recuperadas. Também se destacam a realização de estudos teóricos e empíricos (estudos de caso), que juntos, representam 40,48% dos artigos analisados. É importante ressaltar que os trabalhos publicados no período entre 2011 e 2018 correspondem a 84,53% da amostra, o que revela a contemporaneidade do tema ao lado das tecnologias associadas à indústria 4.0. Também merece destaque, o fato de não serem evidenciados estudos de levantamento (survey) e pesquisa-ação.

Com o objetivo de identificar os estudos mais prolíficos sobre os COBOTs, foi elaborado o Quadro 3, que ordena os artigos de acordo com o número de citações recebidas até a data da pesquisa. Além disso, o quadro também apresenta as abordagens de pesquisa adotadas e a contribuição central da publicação.

Quadro 3 – Os 10 artigos mais citados na amostra e suas contribuições.

Ordem	Autor(es)/Ano	Nº de Citações	Abordagem de Pesquisa	Contribuição
1	Peshkin *et al.*, 2001	178	Estudo Teórico	Explanação sobre a cinemática de cobots e aspectos operacionais sobre a transmissão entre os cobots convencionalmente atuados e COBOTs não-holonômicos empregados no processo de montagem de automóveis.
2	Dragan *et al.*, 2013	120	Experimento	Os resultados do experimento evidenciam que a Previsibilidade e a legibilidade dos COBOTs são propriedades de movimento fundamentalmente diferentes e muitas vezes contraditórias.
3	Roy & Dudek, 2001	83	Simulação	O artigo apresenta uma solução em algoritmos para a comunicação entre agentes por longas distâncias permitindo que dois robôs se encontrem de modo a explorar de forma colaborativa um ambiente desconhecido.
4	Andersson & Nygards, 2008	49	Simulação	Desenvolvimento de um algoritmo para alinhar e unir mapas e trajetórias em um sistema multi-robô, onde as informações de trajetória podem ser reutilizadas para verificar um possível caminho em uma região desconhecida.
5	Merchán-Cruz & Morris, 2006	41	Simulação	Apresentam um algoritmo genético fuzzy para abordar o problema do planejamento de trajetória de dois robôs manipuladores compartilhando um espaço de trabalho comum, cuja trajetória ou comportamento é desconhecido e imprevisível.
6	Krüger *et al.*, 2006	39	Experimento	Proposição de um sistema para COBOTs capaz de compartilhar o espaço de trabalho com o operador e colaborar com ele através do contato físico direto. As funções de orientação do caminho e amplificação de potência, podem ser realizadas por este sistema.
7	Šurdilović *et al*., 2003	36	Experimento	O artigo apresenta um novo sistema para COBOTS com transmissão variável contínua. Estruturas básicas, modelos cinemáticos e dinâmicos, bem como algoritmos de controle, também são brevemente apresentados no estudo.
8	Matthias *et al.*, 2011	32	Estudo Teórico	O trabalho discute o processo de certificação de segurança para a robótica colaborativa industrial utilizando procedimentos para a avaliação de risco. Também analisa os possíveis eventos de contato entre um robô e o ser humano.
9	Rozo *et al.*, 2016	30	Experimento	Proposição de um framework para que um operador ensine COBOTs a partir de demonstrações, combinando aprendizado probabilístico, sistemas dinâmicos e estimativa de rigidez para codificar o comportamento do robô ao longo da tarefa.
10	Romero *et al.*, 2016	29	Estudo Teórico	O artigo apresenta o conceito 'Operador 4.0', entendido como um operador inteligente e habilidoso que realiza o trabalho cooperativo com robôs, por meio de sistemas Cyber-físicos para alcançar a simbiose homem-máquina em sistema de trabalho.

Fonte: Pesquisa bibliográfica.

3.2 Especificidades inerentes aos COBOTs

Uma forma de compreender as especificidades a respeito das tecnologias voltadas aos processos de fabricação é encontrar respostas para quatro questões específicas que ajudam a diferenciar uma tecnologia de outra (Slack *et al.*,1999). São elas: (i) O que faz a tecnologia?; (ii) Como ela se desenvolve?; (iii) Quais vantagens essa tecnologia oferece?; e (iv) Que restrições a tecnologia traz para a produção? Deste modo, essas quatro perguntas foram utilizadas para compreender as especificidades inerentes à robótica colaborativa na tentativa de encontrar respostas à primeira questão de pesquisa apresentada na introdução deste artigo.

Com relação à aplicação dos COBOTs, ou seja, o que eles são capazes de fazer, a literatura revela que a robótica industrial é recomendada para ambientes onde o ser humano é exposto em atividades com risco significativo e também onde a eficiência é maior quando comparada com as tarefas executadas pelos humanos. Assim, os robôs industriais são tradicionalmente direcionados para as atividades denominadas 3D's (*dirty*, *dangerous* e *dull*), ou seja, sujas, perigosas e tediosas (MURPHY et al., 2000; Bloem et al., 2014). Sendo assim, a robótica industrial pode ser empregada em uma variedade de setores, tais como automotivo e aeroespacial, médico, bens de consumo e eletrônicos, entre outros, sendo que as aplicações mais comuns abrangem atividades de soldagem, teste, rotulagem, perfuração, corte, pintura, moldagem, remoção e movimentação de materiais (THOMOPOULOS, 2014).

Os COBOTs, por outro lado, são robôs industriais especificamente projetados para realizar uma variedade de tarefas repetitivas e não ergonômicas e cooperar de forma direta e segura com operadores, podendo utilizar recursos de detecção de força e colisão (ROMERO et al., 2016). A portabilidade é uma característica-chave desse tipo de tecnologia, visto que é fundamental que o operador seja capaz de programar a operação desses robôs de forma simples e segura (DJURIC e URBANIC, 2018).

Para compreender como essa tecnologia se desenvolve, é importante observar que um robô industrial é um manipulador automático reprogramável, capaz de manusear objetos com diversos graus de liberdade por meio de movimentos programados para o desempenho de uma variedade de tarefas (SLACK *et al*., 1999). Neste sentido, a operacionalização dos COBOTs requer um projeto de local de trabalho adaptado para essa tecnologia, seleção de um sistema de controle e criação de um programa de controle com uso de algoritmos relacionados com tarefas cinemáticas (SÁGA *et al.*, 2016).

A principal vantagem inerente aos COBOTs é que essa tecnologia permite que robôs possam colaborar com humanos em um espaço de trabalho compartilhado de modo a desempenhar as atividades produtivas com maior produtividade e eficiência (LASOTA e SHAH, 2015). Além disso, os COBOTs também podem ser um recurso alternativo aos convencionais dispositivos de manuseio de materiais, tais como braços articulados, elevadores, guinchos etc., visto que tais recursos apresentam problemas ergonômicos gerando fadiga ao operador, estresse e distúrbios muscoesqueléticos (ŠURDILOVIĆ *et al.*, 2003; KRÜGER *et al.*, 2006).

A principal restrição ao uso dos COBOTs diz respeito à segurança necessária ao ambiente de trabalho, onde o operador é exposto diretamente ao contato com robôs. Assim, as regras de segurança associadas aos COBOTs geralmente incluem aspectos técnicos do projeto mecânico para o manipulador e medidas de controle para a uma operação segura do robô visando a eliminação dos riscos de ferimentos ao operador humano, tais como força de impacto exercida sobre o operador, configuração dos elementos de fixação e outros perigos relacionados à interação homem-robô (MATTHIAS *et al.*, 2011). Contudo, além das questões pertinentes à segurança, a implementação dos COBOTs em processo de fabricação

apresentam algumas limitações que incluem (KRÜGER *et al.*, 2006; BAYRAM e İNCE, 2018):

- Altos custos de aquisição e implementação da tecnologia;
- Restrições e necessidades de adaptação em ambientes variáveis e não-estruturados;
- Programação complexa, que pode demandar profissionais qualificados;
- Deficiências do trabalho colaborativo em um mesmo espaço de trabalho.
- Necessidade de reconfiguração dos robôs para se adaptarem em novas atividades;
- Problemas relacionados ao moral dos trabalhadores;
- Disponibilidade de linha insuficiente;
- Natureza da atividade produtiva que pode exigir produção variável e redução.

4. Oportunidades para estudos futuros

Com o propósito de responder à segunda questão de pesquisa deste estudo, foram analisadas as principais sugestões e propostas para trabalhos futuros, contidas nas seções de conclusão dos artigos selecionados. Essas informações foram agrupadas por afinidades resultando em seis temas centrais descritos a seguir.

- *Tema 1: Segurança.* Sendo o tema mais expressivo em torno da pesquisa sobre os COBOTs, a segurança é um assunto com diversas possibilidades de estudos futuros. Matthias *et al.,* (2011) sugerem a condução de análises sobre o risco de lesões, podendo incluir, por exemplo, a técnica de Análise de Modo e Efeitos de Falhas (Failure Mode and Effects Analysis – FMEA) em situações de contato a partir de simulações e determinação de valores limítrofes e escala de lesões. Maurice et al., (2014) indicam a condução de análises de indicadores para avaliar os parâmetros ergonômicos inerentes à robótica colaborativa.
- *Tema 2: Moral.* Considerando que os assuntos “aspectos sociais da robótica”, “trabalho em equipe” e “ambiente de trabalho” foram evidenciados no Quadro 1, é possível compreender que o moral dos trabalhadores em ambientes compartilhados por COBOTs merecem atenção. Neste sentido, Aaltonen *et al*., (2018) apontam a necessidade de desenvolvimento de métricas para avaliar a experiência da colaboração e a produtividade dos trabalhadores na interação com os COBOTs.
- *Tema 3: Normatização.* Foram evidenciadas na literatura algumas normas específicas para a normatização da robótica colaborativa. Estudos futuros poderiam investigar diversos aspectos desses padrões, tais como níveis de maturidade, fatores críticos de sucesso, diagnósticos, entre outros. Destacam-se aqui, as seguintes normas: ISO 102018-1: Robôs e dispositivos robóticos, que estabelece requisitos e diretrizes de segurança para o projeto de robôs industriais e ISO 102018-2: Robôs e dispositivos robóticos, que normatiza os sistemas robotizados e integração (ŠURDILOVIĆ *et al*., 2003; VIRK et al., 2008; MATTHIAS *et al.,* 2011); ISO/TS 15066: *Robots and Robotic devices*, que fornece diretrizes para a implementação de um espaço de trabalho colaborativo; ISO/TC 184 – Sistemas de Automação e Integração, que fornece requisitos para a automação industrial (VIRK et al., 2008; BOGUE, 2017); e ISO 13482: Robôs e Dispositivos Robóticos, que fornece requisitos de segurança para os operadores que trabalham com robôs (BOGUE, 2017).

- *Tema 4: Análise comparativa de desempenho entre diferentes tipos de robôs.* O mercado da robótica industrial abrange diversas soluções em COBOTs fornecidas por empresas consolidadas no mercado, tais como ABB (FRIDA), Rethink Robotics (Baxter), Universal Robots (UR10), Bosch (YuMi), entre outras. Sob esse aspecto, Cremer *et al.*, (2016) sugerem estudos comparativos entre o desempenho dos robôs Baxter com outros robôs quanto à flexibilidade de controle dos braços e planejamento de trajetória.
- *Tema 5: Integração dos COBOTs com as tecnologias da indústria 4.0.* Com o aperfeiçoamento e integração das tecnologias da informação e automação industrial, novas oportunidades para a otimização dos COBOTs surgem no contexto da manufatura digital. As novas configurações inerentes aos sistemas Cyber-físicos exigirão que os robôs colaborativos sejam mais eficientes e capazes de interagir com outras tecnologias, tais como a comunicação remota usando a Internet Industrial das Coisas – IIoT, Cloud Computing e Cybersecurity (BRIZZI et al., 2013; BAYRAM e İNCE, 2018).
- *Tema 6: Tecnologias dedicadas à interação homem-robô*. Estudos futuros poderão almejar o aumento da eficiência da comunicação inerente ao trabalho colaborativo entre operadores e robôs. Barattini *et al.*, (2012) sugerem a incorporação de comandos por áudio e expansão das técnicas de reconhecimento por gestos para os dedos. Lasota e Shah (2015) propõem estudos para avaliar como o desempenho de uma equipe usando robôs autoconscientes pode mudar de acordo com diferentes níveis de acurácia de predição dos robôs.

5. Considerações finais

O presente artigo buscou compreender algumas especificidades inerentes à robótica colaborativa no contexto da Indústria 4.0, assim como identificar temas centrais que representam oportunidades para trabalhos futuros sobre os COBOTs. Observa-se que o estado da arte sobre o tema é orientado para a melhoria da produtividade e eficiência das atividades produtivas, bem como para a qualidade do trabalho, uma vez que a interação entre homem-máquina reduz a tensão ergonômica. Contudo há ressalvas em sua aplicabilidade, já que aspectos inerentes à implementação dos COBOTs demandam uma estrutura física adaptada, bem como alto custo de implementação, além de requerer pessoal capacitado para operacionalização.

A segunda questão de pesquisa permitiu a identificação de seis oportunidades para trabalhos futuros cobrindo os temas: segurança, moral, normatização, análise comparativa de desempenho entre diferentes tipos de robôs, integração com as tecnologias da indústria 4.0, e finalmente, tecnologias dedicadas à interação homem-robô. Outra consideração importante diz respeito aos cinco temas mais abordados, estes representam 77,38 % das publicações recuperadas, e versam sobre questões atinentes à saúde e segurança do ambiente de trabalho, aplicações em linhas de montagem, assim como aspectos técnicos dos COBOTs. Por fim, observa-se que a maioria dos estudos analisados adotaram a condução de experimentos como principal abordagem de pesquisa e que estudos empíricos na forma de pesquisa-ação e estudos de levantamento *survey* representam lacunas de pesquisa sobre o tema.

Referências

AALTONEN, I., SALMI, T., & MARSTIO, I. (**Refining levels of collaboration to support the design and evaluation of human-robot interaction in the manufacturing industry**. Procedia CIRP, 72. 2018. 93-98.

ANDERSSON, L. A., & NYGARDS, J. C-SAM: **Multi-robot SLAM using square root information smoothing. In Robotics and Automation, ICRA 2008.** IEEE International Conference on. 2008. p. 2798-2805). IEEE.

BAHRIN, M. et al. **Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic.** Jurnal Teknologi, 78(6-13), 137-143, 2016.

BARATTINI, P., MORAND, C., & ROBERTSON, N. M). **A proposed gesture set for the control of industrial collaborative robots.** In RO-MAN, IEEE. 2012. p. 132-137.

BAYRAM, B., & İNCE, G. **Advances in Robotics in the Era of Industry 4.0.** In Industry 4.0: Managing The Digital Transformation. 2018. p. 187-200. Springer, Cham.

BLOEM, J. et al. **The Fourth Industrial Revolution.** Things Tighten. 2014.

BOGUE, R. Robots that interact with humans: a review of safety technologies and standards. **Industrial Robot**: An International Journal, 44(4), 395-400, 2017.

BRIODY, B. **The Robot Reality**: Service Jobs are Next to Go [Online]. Fiscal Times, 2013.

Available at: http://www.thefiscaltimes.com/Articles/2013/03/26/The-Robot-RealityService-Jobs-are-Next-to-Go [Accessed: 4 April 2015].

BRIZZI, P. et al. **Bringing the Internet of Things along the manufacturing line: A case study in controlling industrial robot and monitoring energy consumption remotely.** In Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA), 2013 IEEE 18th Conference . 2013. p. 1-8). IEEE.

CREMER, S., MASTROMORO, L., & POPA, D. O. (2016, August). **On the performance of the Baxter research robot.** In Assembly and Manufacturing (ISAM), 2016 IEEE International Symposium. 2016. p. 106-111). IEEE.

DA SILVA, G. G. M. P., TUBINO, D. F., & SEIBEL, S. (2015). **Linhas de montagem: revisão da literatura e oportunidades para pesquisas futuras.** Production Journal, 25(1), 170-182.

DJURIC, A., & URBANIC, R. J. **Using collaborative robots to assist with travel path development for material deposition based additive manufacturing processes.** Computer-Aided Design and Applications, 15(4). 2018. p. 542-555.

DRAGAN, A. D., LEE, K. C., & SRINIVASA, S. S.). **Legibility and predictability of robot motion.** In Proceedings of the 8th ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction. 2013. p. 301-308. IEEE Press.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **Robots and Robotic Devices Collaborative Robots**, document ISO/TS 15066, 2016.

KRÜGER, J. et al. **Intelligent assist systems for flexible assembly.** CIRP Annals-Manufacturing Technology, 55(1). 2006. p.29-32.

KULL, H. **Mass customization: Opportunities, methods, and challenges for manufacturers.** Apress, 2015.

LASOTA, P. A., & SHAH, J. A. **Analyzing the effects of human-aware motion planning on close-proximity human–robot collaboration.** Human factors, 57(1). 2015. p. 21-33.

MATTHIAS, B. et al. **Safety of collaborative industrial robots: Certification possibilities for a collaborative assembly robot concept.** In Assembly and Manufacturing (ISAM), 2011 IEEE International Symposium. 2011. p. 1-6. IEEE.

MAURICE, P. et al.. **Automatic selection of ergonomie indicators for the design of collaborative robots: A virtual-human in the loop approach.** In Humanoid Robots (Humanoids), 2014 14th IEEE-RAS International Conference. 2014. p. 801-808. IEEE.

MERCHÁN-CRUZ, E. A., & MORRIS, A. S. **Fuzzy-GA-based trajectory planner for robot manipulators sharing a common workspace.** IEEE Transactions on Robotics, 22(4). 2006. p. 613-624.

MIGUEL, P. A. C. et al. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MURPHY, R., MURPHY, R. R., & ARKIN, R. C. **Introduction to AI robotics.** MIT press. 2000.

PESHKIN, M. A. et al. **Cobot architecture.** IEEE Transactions on Robotics and Automation, 17(4). 2001. p. 377-390.

ROBLA-GÓMEZ, S. et al. (2017). **Working together: a review on safe human-robot collaboration in industrial environments.** IEEE Access, 5, 26754-26773, 2017.

ROMERO, D. et al. (2016, October). **Towards an operator 4.0 typology: a human-centric perspective on the fourth industrial revolution technologies.** In INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING (CIE46). 2016. p. 1-11.

ROY, N., & DUDEK, G. **Collaborative robot exploration and rendezvous: Algorithms, performance bounds and observations.** Autonomous Robots, 11(2). 2001. p. 117-136.

ROZO, L. et al (2016). **Learning physical collaborative robot behaviors from human demonstrations.** IEEE Transactions on Robotics, 32(3). 2016. p. 513-527.

ROZO, L. et al. **Learning physical collaborative robot behaviors from human demonstrations.** IEEE Transactions on Robotics, 32(3). 2016. p. 513-527.

RÜßMANN, M. et al. **Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries**. Boston Consulting Group, 9, 2015.

SÁGA, M. et al. Optimisation Algorithms in Mechanical Engineering Applications. 2016.

SCHWAB, K. **The fourth industrial revolution.** New York: Crown Business, 2017.

SLACK, N. et al. **Administração da produção.** São Paulo: Editora Atlas, 1999.

ŠURDILOVIĆ, D., BERNHARDT, R., & ZHANG, L. **New intelligent power-assist systems based on differential transmission.** Robotica, 21(3). 2003. p. 295-302. DOI:10.1017/S0263574702004800.

TAMÁS, P.; ILLÉS, B.; DOBOS P. **Waste reduction possibilities for manufacturing systems in the industry 4.0.** 20th Innovative Manufacturing Engineering and Energy Conference - IManEE, 2016.

THOMOPOULOS, N. T. **Assembly line planning and control.** Springer International Publishing. 2014.

VIRK, G. S., MOON, S., & GELIN, R. ISO standards for service robots. In **Advances In Mobile Robotics** (pp. 133-138), 2008.

WEBSTER, J., & WATSON, R. T. **Analyzing the past to prepare for the future: Writing a literature review.** MIS quarterly. 2002.

WEISS, A. et al**. First Application of Robot Teaching in an Existing Industry 4.0 Environment: Does It Really Work?**. Societies, 6(3), 20, 2016.