UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE SAÚDE COLETIVA
ESPECIALIZAÇÃO EM MEDICINA DO TRABALHO

RAFAEL GUIMARÃES BARROZO

SAÚDE OCUPACIONAL E ROBÓTICA: AS INTERFACES ROBÔ-TRABALHADOR EMERGENTES RELEVANTES PARA O MÉDICO DO TRABALHO

CURITIBA
2020

RAFAEL GUIMARÃES BARROZO

Saúde Ocupacional e Robótica: As interfaces robô-trabalhador emergentes relevantes para o médico do trabalho

Artigo apresentado a Especialização em Medicina Do Trabalho, do Departamento de Saúde Coletiva da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à conclusão do Curso.

Orientador(a): Prof. Me. Guilherme Murta

CURITIBA
2020

RESUMO

INTRODUÇÃO: O número de robôs instalados nos parques industriais de diversos países tem aumentado. Este aumento é percebido tanto em países desenvolvidos, quanto nas economias em desenvolvimento. As tecnologias robóticas mais modernas promovem uma interação cada vez maior entre o ser humano e o robô num mesmo espaço físico. Esta colaboração traz mudanças aceleradas nas atividades realizadas pelos trabalhadores, fazendo com que as normativas e regulamentações não acompanhem este ritmo. É neste hiato que reside a necessidade de se estudar quais são as interfaces robô-trabalhador emergentes relevantes para o médico do trabalho. MÉTODOS: Esta revisão de literatura se propõe a apresentar quais os tipos de robôs que são utilizados, quais as indústrias que os utilizam, quais são os tipos de interação humano-robô presentes no ambiente de trabalho, quais os tipos de trabalhadores influenciados pela utilização do robô e sobre qual tema esta influência foi abordada através da extração de dados de artigos selecionados após pesquisa por palavras-chave em bases indexadas. RESULTADOS: A maior frequência de publicação dos artigos ocorreu após 2002, o país com maior quantidade de publicações foram os Estados Unidos da América e a indústria da saúde foi a mais estudada. O robô de serviço foi amplamente o mais prevalente nesta pesquisa, a interação humano-robô do tipo mais colaborativa também foi a mais encontrada, assim como o trabalhador classificado como operador. Foram identificados sete temas relevantes para o médico do trabalho, em ordem decrescente de frequência: operação do robô, ergonomia, carga mental, segurança, mudança no perfil do serviço dos trabalhadores devido ao papel assumido pelo robô, reabilitação e treinamento. DISCUSSÃO: A frequência da publicação dos artigos pareceu acompanhar o índice de “Instalações anuais de robôs industriais – mundo”. Além disto, a distribuição dos estudos foi geograficamente desigual, predominando nos países desenvolvidos e mais industrializados. Entretanto, apesar do maior estoque mundial de robôs industriais, foram verificados mais estudos no setor de saúde e de robôs de serviço. A maior frequência de interações humano-robô tipo 2, mais colaborativos, refletiu a tendência de que aplicações colaborativas humano-robô irão complementar a robótica tradicional. Esta característica também foi notada nos tipos de trabalhadores influenciados pela presença do robô. A relevância de cada um dos temas identificados também foi abordada com alguns casos citados como exemplos. CONCLUSÃO: A revisão mostrou que diferentes tipos de interfaces robô-trabalhador emergentes são relevantes para o médico do trabalho. A crescente utilização em forma colaborativa, que promove mudança do perfil de trabalho do operador, programador e outros trabalhadores. O uso do robô em tarefas mais desagradáveis ou perigosas para humanos, mas que podem promover maior sobrecarga ergonômica e/ou de carga mental para o operador. Além disto, o estudo também identificou certo descompasso no ritmo da evolução tecnológica e das normas de segurança relacionadas, assim como alertou para uma possível mudança na cadeia produtiva global, de relevante impacto para os países em desenvolvimento.

Palavras-Chave: Saúde ocupacional. Robótica. Interação humano-robô.

ABSTRACT

INTRODUCTION: The number of robots installed in industrial parks in several countries has increased. This increase is seen both in developed countries and in developing economies. The most modern robotic technologies promote an ever greater interaction between the human being and the robot in the same physical space. This collaboration brings accelerated changes in the activities carried out by workers, making the rules and regulations not keep pace with these changes. It is in this gap that there is a need to study which are the emerging robot-worker interfaces relevant to the occupational physician. METHODS: This literature review proposes to present which types of robots are used, which industries use them, which types of human-robot interaction are present in the work environment, which types of workers are influenced by the use of robot and on what theme this influence was approached by extracting data from selected articles after searching for keywords in indexed databases. RESULTS: The highest frequency of publication of articles occurred after 2002, the country with the largest number of publications was the United States of America and the health industry was the most studied. The service robot was widely the most prevalent in this research, a collaborative human-robot interaction was also the most found, as was the worker more frequently classified as operator. Seven relevant topics to the occupational physician were identified, in decreasing order of frequency: operation of the robot, ergonomics, mental workload, safety, change in the service profile of workers due to the role assumed by the robot, rehabilitation and training. DISCUSSION: The frequency of publication of articles seemed to follow the index of “annual installations of industrial robots - world”. In addition, the distribution of studies was geographically uneven, predominantly in developed and more industrialized countries. However, despite the world’s largest stockpile of industrial robots, further studies in the health and service robots sector have been verified. The higher frequency of more collaborative human-robot type 2 interactions reflected the trend that collaborative human-robot applications will complement traditional robotics. This characteristic was also noticed in the types of workers influenced by the presence of the robot. The relevance of each of the identified themes was also addressed with some cases cited as examples. CONCLUSION: The review showed that different types of emerging robot-worker interfaces are relevant to the occupational physician. The growing use in a collaborative way, which promotes a change in the work profile of the operator, programmer and other workers. The use of the robot in more unpleasant or dangerous tasks for humans, but which can promote greater ergonomic and / or mental workload for the operator. In addition, the study also identified a certain mismatch in the pace of technological evolution and related safety standards, as well as alerting to a possible change in the global production chain, with a relevant impact for developing countries.

Key-Words: Occupational health. Robotics. Human-robot interaction.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 5
2 MÉTODOS 6
3 RESULTADOS 10
4 DISCUSSÃO 12
5 CONCLUSÃO 19
REFERÊNCIAS 21

1 INTRODUÇÃO

O surgimento de novas tecnologias como os robôs colaborativos tem trazido transformações aceleradas em diferentes setores industriais, causando impactos relevantes nas condições de trabalho e na forma de prestação de serviço em diversos países[1]. A utilização de robôs está crescendo tanto em países desenvolvidos, quanto nos em desenvolvimento[2]. Em 2014, a maior parte do estoque de robôs instalados se encontrava no Japão, Estados Unidos e nas maiores economias europeias, mas também em economias emergentes como China, índia e Brasil[2].

Em 2018, o Ministério do Trabalho do Brasil editou uma Nota Técnica trazendo, especificamente, esclarecimentos acerca de novas tecnologias de robôs[1]. Existem diversos tipos de robôs e graus crescentes de interação entre o robô e o trabalhador em um mesmo espaço físico[3]. Estas são as duas principais características que possibilitam a classificação dos tipos de robôs[3].

Os robôs colaborativos e os robôs industriais tradicionais em aplicações colaborativas estão aumentando no parque industrial brasileiro e a estimativa é de que sejam utilizados nos mais diversos segmentos econômicos[1]. Estes robôs são projetados para atuar ao lado dos seres humanos, promovendo uma interação direta com os trabalhadores[1].

Apesar de em 1984 a agência federal americana Instituto Nacional para Saúde e Segurança Ocupacional (NIOSH, National Institute for Occupational Safety and Health) já ter emitido um alerta solicitando assistência para prevenção de acidentes com robôs[4], o Ministério do Trabalho do Brasil alerta que a velocidade de tais mudanças supera o ritmo da regulamentação necessária para seu uso seguro[1].

É justamente neste hiato que se justifica a necessidade de se estudar quais são as interfaces robô-trabalhador emergentes relevantes para o médico do trabalho, uma vez que este profissional pode se deparar com uma relação humano-robô dentro da sua empresa que ainda não foi totalmente regulamentada ou padronizada.

2 MÉTODOS

Trata-se de uma revisão de literatura que teve como estratégia de pesquisa a busca por interfaces robô-trabalhador emergentes relevantes para o médico do trabalho sem limitação de data de publicação. As buscas foram realizadas nas bases de dados PubMed, Bireme, Scielo, utilizando as seguintes palavras chaves na língua inglesa: MAN MACHINE SYSTEM, ROBOTICS, OCCUPATIONAL HEALTH, WORKLOAD, SAFETY e as seguintes palavras chaves na língua portuguesa: Robótica, Sistemas Homem-Máquina, Saúde do trabalhador, Carga de Trabalho Segurança. A pesquisa, por sua característica metodológica, é dispensada de submissão ao Comitê de Ética.

As buscas foram realizadas mediante o uso dos Medical Subject Headings (MeSH) Terms. Foram usadas combinações relacionadas às palavras chaves através do emprego de operadores boleanos. As combinações foram organizadas relacionando um dos termos do campo semântico da robótica (MAN MACHINE SYSTEM, ROBOTICS, Robótica, Sistemas Homem-Máquina) através do operador boleano AND, com um dos termos do campo semântico do trabalhador (OCCUPATINOAL HEALTH, WORKLOAD, SAFETY, Saúde do trabalhador, Carga de Trabalho Segurança). A estratégia completa de busca foi implementada através das seguintes combinações: (man machine system[MeSH Terms]) AND (OCCUPATIONAL HEALTH[MeSH Terms]); (man machine system[MeSH Terms]) AND (workload[MeSH Terms]); (man machine system[MeSH Terms]) AND (safety[MeSH Terms]); (robotics[MeSH Terms]) AND (OCCUPATIONAL HEALTH[MeSH Terms]); (robotics[MeSH Terms]) AND (workload[MeSH Terms]); (robotics[MeSH Terms]) AND (safety[MeSH Terms]), “Robótica” AND “Saúde do Trabalhador”; “Robótica” AND “Carga de Trabalho”; “Robótica” AND “Segurança”; “Sistemas Homem-Máquina” AND “Saúde do Trabalhador”; “Sistemas Homem-Máquina” AND “Carga de Trabalho”; “Sistemas Homem-Máquina” AND “Segurança”.

Na base de dados Pubmed foram encontradas as seguintes quantidades de artigos por busca: (man machine system[MeSH Terms]) AND (OCCUPATIONAL HEALTH[MeSH Terms]) 32 artigos; (man machine system[MeSH Terms]) AND (workload[MeSH Terms]) 97 artigos; (man machine system[MeSH Terms]) AND (safety[MeSH Terms]) 112 artigos; (robotics[MeSH Terms]) AND (OCCUPATIONAL HEALTH[MeSH Terms]) 16 artigos; (robotics[MeSH Terms]) AND (workload[MeSH

Terms]) 72 artigos; (robotics[MeSH Terms]) AND (safety[MeSH Terms]) 283 artigos. Na base de dados Scielo foram encontradas as seguintes quantidades de artigos por busca: “Robótica” AND “Saúde do Trabalhador” 0 artigos; “Robótica” AND “Carga de Trabalho” 0 artigos; “Robótica” AND “Segurança” 8 artigos; “Sistemas Homem-Máquina” AND “Saúde do Trabalhador” 0 artigos; “Sistemas Homem-Máquina” AND “Carga de Trabalho” 1 artigos; “Sistemas Homem-Máquina” AND “Segurança” 0 artigos. Na base de dados Bireme foram encontradas as seguintes quantidades de artigo por busca: “Robótica” AND “Saúde do Trabalhador” 0 artigos; “Robótica” AND “Carga de Trabalho” 0 artigos; “Robótica” AND “Segurança” 13 artigos; “Sistemas Homem-Máquina” AND “Saúde do Trabalhador” 6 artigos; “Sistemas Homem-Máquina” AND “Carga de Trabalho” 2 artigos; “Sistemas Homem-Máquina” AND “Segurança” 8 artigos.

Todos os artigos encontrados foram exportados para o software gerenciador de referências Mendeley Desktop, sendo excluídos os duplicados. Após a exclusão de duplicados, restaram 520 artigos. Em seguida, foram analisados os títulos e resumos.

Nesta etapa de triagem, foram considerados elegíveis os artigos que continham em seu resumo a descrição de pelo menos um tipo de interface entre o robô e trabalhadores. A definição de robô utilizada foi a descrita na Norma ISO 8373:2012(en), “*Robots and robotic device. Robot: actuated mechanism programmable in two or more axes (4.3) with a degree of autonomy (2.2), moving within its environment, to perform intended tasks”* [3.]

Os artigos que descreviam apenas sistemas automatizados, ou com menos de 2 eixos de movimento, ou sem possibilidade de programação ou autonomia foram considerados não elegíveis. Os artigos que envolviam algum tipo de robô, mas que não descreviam os aspectos de sua utilização com humanos trabalhadores, também foram considerados inelegíveis.

O total de artigos elegíveis foi de 126. Na sequência, foi realizada a etapa de confirmação de elegibilidade através da leitura integral dos artigos.

As variáveis de interesse desta revisão foram: Título; Ano da publicação; País do estudo; Tipo Indústria; Tipo robô; Tipo de Interação Humano-Robô; Tipo de trabalhador; Tema relevante para o médico do trabalho abordado no artigo.

O título e o ano da publicação foram extraídos através dos campos “Title” e “Year” importados pelo software gerenciador de referências Mendeley. O país do

estudo foi extraído através da país mencionado nas credenciais do primeiro autor da linha de autores do respectivo artigo.

O tipo de indústria foi classificado, inicialmente, de acordo com a classificação presente na publicação da International Federation of Robotics, “Robots and the Workplace of the Future”, 2018, entre três categorias: manufatura, logística e saúde[5]. Após a extração dos dados, foi observada uma relevante quantidade de artigos do setor aeroespacial e militar e, portanto, foi criada esta quarta categoria na extração dos dados.

O tipo de robô foi classificado de acordo normativa específica da ISO (International Organization for Standardization), “*ISO 8373:2012(en), Robots and robotic device*”, entre robô industrial e robô de serviço[3]. O robô industrial é definido como aquele controlado automaticamente, reprogramável, multipropótiso, com manipular e programável em três ou mais eixos[3]. Os robôs de serviços são todos os outros que desenvolvem tarefas úteis para humanos, excluindo os de uso industrial, como, por exemplo, os de manufutura, inspeção, empacotamento e linhas de montagem[3]. Por exemplo, um robô multiarticulado usado numa linha de montagem é classificado como industrial, porém, este mesmo tipo de robô, se utilizado para servir clientes de uma lanchonete, torna-se de serviço[3].

O tipo de interação humano-robô foi classificado com base nas definições de “Human Robot Interaction” identificadas pela ISO[3] e nos tipos de colaboração de robôs sugeridos pela International Federation of Robotics na publicação “Demystifying Collaborative Industrial Robots”[3, 6] Ambas consideram um grau crescente de intersecção entre o espaço físico e a simultaneidade de trabalho do humano e do robô. Nestas referências, há o seguinte gradiente de interação: o robô totalmente isolado em uma célula fisicamente delimitada, seguido quatro graus de interação: coexistência, colaboração sequencial, cooperação, colaboração. A interação varia desde a coexistência (robô trabalhando ao lado do humano, mas sem dividir o mesmo espaço de trabalho), o menos integrado, até a colaboração (robô e humano trabalhando simultaneamente no mesmo produto e espaço de trabalho)[6]. Para a extração dos dados foram criadas duas categorias. A categoria 1 para as interações nas quais não há compartilhamento do mesmo espaço de trabalho (robô totalmente isolado em uma célula com barreira física e o primeiro grau de interação, denominado coexistência) e a categoria 2 para todos os subsequentes graus de maior interação (colaboração sequencial, cooperação, colaboração).

Os tipos de trabalhadores foram classificados de acordo com a ISO entre operador e programador[3]. Os que não se encaixavam nesta classificação, mas sofriam algum impacto pela presença do robô foram classificados como outros.

O dado “tema relevante para o médico do trabalho abordado no artigo” foi extraído nas seguintes classificações: operação, ergonomia, carga mental, segurança, mudança no perfil do serviço dos trabalhadores devido ao papel assumido pelo robô, reabilitação e treinamento.

A busca ocorreu no período de março a outubro de 2020.

A apresentação e discussão dos resultados encontrados foram feitas sob a ótica da relevância das interações identificadas para a atividade do médico do trabalho.

3 RESULTADOS

Foram encontrados 520 artigos. Após a confirmação de elegibilidade, restaram 126 artigos para extração de dados.

Dos 126 artigos incluídos nesta revisão, verificou-se que, em relação ao ano da publicação, o primeiro artigo datava de 1979[7]. Depois desta publicação, houve uma publicação em cada um dos anos de 1988, 1991, 1995, 1997, 1999 e 2001[8, 9, 10,11, 12, 13]. Em 2002 foram publicados 2 artigos[14,15] e, em 2003, quatro artigos [16, 17, 18, 19]. Em 2004, não houve publicações. A partir de 2005, todos os anos tiverem artigos publicados. Dois em 2005[20, 21], seis em 2006[22, 23, 24, 25, 26, 27], dois em 2007[28, 29], três em 2008[29, 30, 32], cinco em 2009[33, 34, 35, 36, 37], três em 2010[38, 39, 40], cinco em 2011[41, 42, 43, 49, 45], doze em 2012[46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57], onze em 2013[58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 67, 67, 68], doze em 2014[69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80], dez em 2015[81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90], dez em 2016[91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99], dezesseis em 2017[10, 102, 103, 104, 105, 102, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 15, 116], oito em 2018[117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124], sete em 2019[125, 126, 127, 128, 129, 130] e um e 2020[131].

Os estudos foram mais frequentes nos Estados Unidos da América, aonde cinquenta e nove estudos foram conduzidos. Na Alemanha, houveram nove estudos. Foram realizados sete estudos na Inglaterra, seis no Japão e cinco da Coréia do Sul. Na Itália e na França foram conduzidos quatro estudos em cada país. Canadá, Espanha e China com três estudos cada um. Com dois estudos por país seguiram-se Nova Zelândia, Malásia, Suíça, Polônia, Holanda, Austrália e Israel. Contribuíram com um estudo por país Taiwan, Suécia, Dinamarca, Irlanda, Hong Kong, Brasil, Áustria, Chipre e Rússia. Não foram encontrados estudos de nenhum país africano, o único continente não representado.

Em relação ao tipo de indústria, 88 artigos eram da indústria da saúde, 20 artigos da indústria aeroespacial/militar, 13 artigos da indústria de manufatura, 4 artigos da indústria da logística e um artigo se relacionava com dois tipos de indústria, manufatura e logística[125].

Na classificação dos tipos de robô, 112 artigos eram do tipo robô de serviço e 14 artigos do tipo robô industrial.

Quanto ao tipo de trabalhador, 92 artigos se referiam ao operador exclusivamente, 18 artigos se referiam ao operador e a outros, oito artigos ao programador e outros e mais oito artigos a outros trabalhadores, exclusivamente.

O tipo de interação humano-robô, classificado em duas categorias, foi identificada como tipo 2 em 91 artigos e como tipo 1 em 34 artigos. Um estudo se referia aos dois tipos[74].

Em relação ao dado “tema relevante para o médico do trabalho abordado no artigo”, o mais abordado foi a “operação”, presente em 93 artigos. O tema “ergonomia” foi abordado em 62 estudos. Em seguida, o tema “carga mental” foi identificado em 34 artigos e o tema “segurança” em 33. 23 artigos abordaram questões do tema “mudança no perfil do serviço dos trabalhadores devido ao papel assumido pelo robô”. O tema “reabilitação” foi mencionado em 19 artigos e “treinamento” em 7. Como diversos artigos abordaram mais de um tema ao mesmo tempo, o total de dados nesta classificação superou o somatório de 126 artigos elegíveis.

4 DISCUSSÃO

Apesar da busca não ter limitado a data das publicações, nota-se que o primeiro artigo publicado é de 1979[7]. Esta década é marcante, pois em 1970 foi organizado o primeiro Simpósio Internacional de Robótica, na cidade de Chicago, nos Estados Unidos da América, patrocinado pela Federação Internacional de Robótica (https://ifr.org/international-symposium-of-robotics). A Federação Internacional de Robótica promove pesquisa, desenvolvimento, uso e cooperação internacional em todo o campo da robótica, tendo sido estabelecida como uma organização sem fins lucrativos em 1987, representando mais de 60 membros oriundos de mais de 20 países (https://ifr.org/association). A relevância desta organização também é observada em publicação oficial do governo brasileiro, uma vez que o Ministério do Trabalho utiliza dados desta entidade como referência em notas técnicas[1].

Desde então, observou-se uma estagnação na frequência das publicações, que não ultrapassou a marca de um artigo por ano até 2002, quando dois artigos foram publicados. A partir deste ano, notou-se um aumento progressivo na frequência de publicações, tendo chegado a uma frequência máxima de 16 estudos publicados em 2017. Em 2018, este número caiu para 8, em 2019 para 7 e, em 2020, para 1.

Esta queda na frequência de publicações a partir de 2017 pode ser comparada ao índice de “Instalações anuais de robôs industriais – mundo”. Este dado foi apresentado na Conferência de Impressa da Federação Internacional de Robótica em setembro de 2020 e revelou que o número de instalações de novos robôs industriais no mundo atingiu a marca de 400 mil instalações pela primeira vez em 2017, foi seguido de um pequeno crescimento para 422 mil instalações em 2018 tendo caído para 373 mil instalações em 2019[133]. Apesar de ter sido encontrado um crescimento anual composto de 14% de novos robôs no mundo desde 2014, em 2019 houve uma queda de 12%[133].

Geograficamente, a distribuição das publicações foi desigual, estando concentrada nos Estados Unidos da América, com 59 artigos, o país com maior quantidade de estudos realizados. Em seguida, se identificou a Alemanha, com 9 estudos; a Inglaterra com sete; o Japão com seis; a Coréia do Sul com 5; a Itália e França com quatro estudos cada; a Espanha e o Canadá com 3. Estes foram os 10 países com maior quantidade de estudos. O total de países com estudos realizados foi de 26. Nenhum país africano foi identificado na amostra.

Nota-se que as sete nações mais industrializadas do mundo, que compõem a entidade “G7” (Estados Unidos da América, Alemanha, Reino Unido, Japão, Itália, França, Canadá) encontram-se dentro dos 10 países com maior quantidade de artigos publicados, sugerindo alguma correlação entre o grau de industrialização de um país e a quantidade de publicações elegíveis para esta revisão.

A quantidade de robôs instaladas por país também reflete certa correlação com a distribuição geográfica da quantidade de artigos encontrados. Em 2014, os dez países com maior quantidade de robôs eram em ordem decrescente: Japão, Estados Unidos, China, Coréia do Sul, Alemanha, Itália, Taiwan, França, Espanha e Reino Unido[2].

O Brasil ocupava a décima terceira posição nesta lista, sendo o mais bem colocado país latino-americano neste ranking[2]. Vale destacar que o Brasil foi o único país latino-americano com algum artigo selecionado para esta revisão.

Entre os 126 artigos selecionados, em relação a classificação por tipo de indústria, 88 eram do grupo da “Saúde”, o mais frequente, tendo predominado o robô de aplicação médica, e 5 do grupo “Logística”, o menos frequente. Entretanto, os robôs de serviço para uso profissional com maior volume de vendas em 2018 e 2019 foram os do setor de logística, na primeira colocação, tendo os robôs médicos ficado na oitava posição de volume de vendas[133]. Neste sentido, diferentemente dos dados de ano de publicação e de país dos estudos extraídos nesta revisão, notou-se uma inversão na distribuição entre e os tipos de indústria identificados nesta revisão e o volume de vendas de novos robôs de serviço por setor de aplicação[133]. Vale destacar, entretanto, que o setor aeroespacial/miliar foi identificado em 20 artigos, sendo o segundo mais frequente nesta revisão. No volume de vendas de novos robôs de serviço em 2018 e 2018 a aplicação de defesa ficou na terceira posição[133].

Em relação aos tipos de robôs identificados nos artigos selecionados, 112 eram robôs de serviço e 14 robôs industriais. Apesar do estoque mundial de robôs industriais ser muito maior que o de os de serviço[133], o volume de vendas de robôs de serviço, tanto em valor total de venda quanto em quantidade de unidades, cresce acima de 15% ao ano[133], enquanto o volume de venda de unidades de robôs industriais tradicionais evoluiu com queda a partir de 2018[133].

A interação humano-robô classificada como tipo 1 nesta revisão englobou os robôs mais tradicionais, os que não apresentavam compartilhamento do mesmo espaço físico de trabalho com o humano, tendo sido identificada em 34 artigos. A

interação humano-robô tipo 2 incluiu todas as formas nas quais houve algum grau compartilhamento do mesmo espaço físico de trabalho, tendo sido encontrada em 91 artigos. Um artigo abordou os dois tipos.

Esta distribuição com predominância do tipo 2 reflete uma das perspectivas de longo prazo identificadas na Conferência de Impressa de 2020 da Federação Internacional de Robótica, “aplicações colaborativas humano-robô irão complementar a robótica tradicional”[133]. Além disto, tecnologias de inteligência artificial e de aprendizado de máquina irão possibilitar que os robôs sintam e respondam ao ambiente, permitindo um suporte cada vez maior para os humanos tanto no trabalho quanto na vida privada[133].

Tais avanços tecnológicos também são previstos no Brasil. O número de robôs colaborativos vem aumentando no parque industrial brasileiro[1]. Em 2018, o Ministério do Trabalho publicou a Nota Técnica número 31, que contextualiza o uso dos robôs colaborativos à Norma Regulamentadora número 12, que versa sobre Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos[1]. Além disto, a entidade também estimou que tais robôs serão utilizados nos mais diferentes segmentos econômicos.

Em relação ao tipo de trabalhador, na norma ISO:8373:2012, a entidade os classificada em “operador” e “programador”[3]. Entretanto, durante a extração de dados, foi notado que outros trabalhadores, que não os operadores e programadores dos robôs, foram afetados pela presença do mesmo no ambiente de trabalho. Este grupo foi classificado como “outros”. Do total de artigos selecionados, 92 contemplaram o “operador”; 18 estudaram o “operador” e “outros”; 8 o “operador” e o “programador”; e 8 apenas o grupo “outros”.

A utilização de robôs no ambiente de trabalho é preconizada para atividades classificadas como “4D”, sigla decorrente do acrônimo da frase em inglês “*dull, dirty, dangerous and/or delicate*”, em português: maçante, sujo, perigoso e / ou delicado[133]. Além disto, os robôs são usados, geralmente, para tarefas inseguras, perigosas, altamente repetitivas e desagradáveis[134].

Portanto, foi observado na extração dos dados que a introdução do robô no ambiente de trabalho teve impacto, não somente na atividade de operação direta do robô e na atividade de sua programação, mas também para outros trabalhadores do ambiente que, mesmo não se envolvendo diretamente na operação ou programação, tiveram suas atividades modificadas.

Por exemplo, um artigo holandês de 2006 estudou o uso de um robô de serviço numa farmácia para o atendimento de clientes e constatou que as atividades assumidas pelo robô permitiram que os trabalhadores dedicassem maior tempo para atividades relacionadas ao cuidado[27]. Um artigo sueco de 2009, constatou que o uso de um robô para na pré-limpeza de um ambiente de criação de porcos reduziu a responsividade brônquica, o número total de células e de citocinas pró-inflamatórias no lavado nasal dos expostos a este ambiente[34].

Sendo assim, o impacto do robô no ambiente de trabalho pareceu ter extrapolado as figuras de seu operador e programador. Neste sentido, temas relevantes para o médico do trabalho abordados no artigos foram extraídos em sete categorias.

O tema mais frequente, presente em 93 artigos, se relacionou a “operação direta do robô”. Diversos artigos apresentaram o uso de robôs médicos em cirurgias. Outros descreveram a operação de controle de veículos não tripulados, como no setor aeroespacial/miliar. No setor de logística, também foi observada a operação de robôs na condução de veículos autônomos.

O segundo tema mais frequente foi a “ergonomia” abordada em 62 artigos. A maior parte destes artigos estudou questões ergonômicas para o médico operador de robôs cirúrgicos. Outros para o operador de veículos não tripulados. Entretanto, houve estudos para análises ergonômicas de robôs industriais[71, 83] e que consideraram o uso de exoesqueletos[94]. Atualmente, os robôs já assumiram diversas atividades perigosas[5]. Além disto, robôs colaborativos e exoesqueletos irão reduzir queixas decorrentes de tarefas ergonomicamente desfavoráveis, particularmente, na suspenção e carregamento de cargas[5]. No setor da logística, os robôs estão modificando o trabalho de seleção de produtos através de um modelo no qual os produtos são levados por prateleiras pelo robô até o trabalhador, ao invés do trabalhador ter que caminhar distâncias ao longo da jornada para coleta-los[5]. Esta nova metodologia pode diminuir em até 50% o trabalho de coleta manual em centros de distribuição[5].

A “carga mental” foi o terceiro tema mais frequente, presente em 34 artigos. Do mesmo modo que a ergonomia, a carga mental foi mais contemplada nos artigos que estudaram médicos e equipes de saúde na utilização de robôs para cirurgia e para operadores de veículos não tripulados no setor aeroespacial/miliar. Apenas um artigo tratou do estresse percebido na interação humano-robô num ambiente de manufatura

moderno[128]. Este estudo alemão de 2019 identificou como estressores: problemas técnicos, baixa usabilidade, baixa consciência da situação e aumento dos requerimentos de qualificação dos empregados[128].

O tema “segurança” foi extraído de 33 artigos. Além de presente, também, nos artigos que estudaram robôs cirúrgicos e veículos não tripulados, foram observadas publicações que trataram da segurança sob outros contextos. Um estudou a segurança da comunicação com o robô[124]. Outro estudou o limiar de dor pressórico para colisão de um humano contra parte de um robô colaborativo[125]. Também de interesse neste tema, um artigo concluiu que os humanos são percebidos como mais culpados que seus carros autônomos em eventuais acidentes[132]. Um artigo americano de 2008 utilizou uma mão robótica para estudar a permeabilidade de partes de luvas de proteção durante seu uso[31]. Um artigo canadense de 2011 estudou o uso de inteligência artificial para interações seguras entre humanos e robôs industriais em atividades de manufatura.

Em relação ao tema “mudança no perfil do serviço dos trabalhadores devido ao papel assumido pelo robô”, o mesmo foi identificado em 23 artigos. Na área de saúde, um estudo americano de 2005, mostrou a mudança no fluxo de trabalho de um laboratório de hematologia comparando robôs de primeira e terceira geração[20]. Outro artigo do mesmo país, publicado em 2009, tratou do incremento de segurança na dispensação de medicamentos num hospital geral quando implanto um robô na farmácia[35]. Em 2012 na Nova Zelândia, um estudo abordou as mudanças nas atitudes e preferências da equipe de trabalhadores quando introduzido um robô para auxílio numa comunidade de aposentados[46]. Um hospital australiano implantou um robô para limpeza e descontaminação de superfícies impregandas com iodo radioativo na ala de radioterapia, modificando a dinâmica de trabalho dos funcionários responsáveis pela limpeza[47]. Ainda em 2012, um artigo americano descreveu a utilização de robôs para preparação de medicação antineoplásica, impactando, também na dinâmica de trabalho do setor responsável[51]. Em 2016, um estudo sul-coreano, abordou o impacto na experiência de trabalho da equipe de enfermagem per-cirúrgica trazido com o uso de robô cirúrgico, que incluiu, por exemplo, a checagem constante do funcionamento do robô e situações inesperadas de erro e mal funcionamento do robô[96], atividades que antes não faziam parte das atribuições habituais.

A mudança de perfil de serviço possibilitada pelo uso de robôs é uma das perspectivas de longo prazo da Federação Internacional de Robótica[133]. Em 2018, a

entidade publicou um artigo sobre o local de trabalho do futuro, no qual prevê com certo grau de acurácia como a captação de robôs irá afetar os trabalhadores nos próximos 10 anos e que os robôs tornam o trabalho mais seguro e fisicamente menos demandante[5]. A maioria dos especialistas nas indústrias de manufatura, logística e saúde predizem um futuro no qual robôs e humanos trabalharão juntos[5]. Na conferência de impressa de 2020, a entidade descreve que as sociedades com envelhecimento de sua população irão sentir maior necessidade de aliviar os trabalhadores de tarefas físicas[133].

Numa visão mais macro, outro tópico interessante, revela que o uso de robôs nas pequenas e médias empresas irá torna-las mais competitivas e inseri-las na cadeia de suprimento global[5]. Entretanto, entre 2005 e 2014, os robôs causaram uma queda na taxa de emprego global de 1,4%[2]. Apesar de existir um aumento na quantidade de robôs tanto em países desenvolvidos, quanto nos em desenvolvimento[2], o impacto desta redução foi muito maior nos países em desenvolvimento, 14%, do que nos desenvolvidos, 0,54%[2]. O fenômeno é explicado pelo fato de que a robotização do parque industrial dos países desenvolvidos aumenta a produtividade local, melhora os custos e reduz a necessidade de deslocamento da produção para países com mão de obra mais barata[2]. Sendo assim, o efeito deletério dos robôs na taxa de emprego é mais acentuado nas economias em desenvolvimento[2].

Em um contexto individual, a robotização permite que mais tipos de trabalho se tornem disponíveis para pessoas cujo acesso ao mercado de trabalho tenha sido limitado por deficiências físicas ou pelo envelhecimento[5]. Esta característica pôde ser percebida na extração do tema “reabilitação”, que foi identificado em 19 artigos. O primeiro artigo selecionado, em ordem cronológica de publicação, datado de 1979, abordou, justamente, esta temática[7]. Neste estudo, foram selecionados indivíduos paraplégicos para operarem um braço robótico[7]. Um artigo sul-coreano de 2009 estudou o uso de robôs para reabilitação de marcha[37]. Quatro artigos trataram de robotização de cadeiras de rodas[38, 48, 66, 84]. Um estudo britânico de 2016 abordou o impacto para os cuidadores de pessoas com demência avançada com a utilização de ferramentas de robótica[92].

O sétimo tema extraído, “treinamento”, se referiu ao uso de robôs para treinamento de trabalhadores, tendo sido encontrado em 7 artigos. Estes estudos se concentraram no uso de robô para treinamento médico para cirurgias robóticas[53, 69,

[73, 97, 99]. Um artigo japonês de 2018, também da área da saúde, utilizou um robô simulador de paciente para treinamento de atitudes clínicas[119]. O único artigo com este tema identificado que não era do setor da saúde vinha da indústria aeroespacial/miliar[59]. Neste, foi estudo o auxílio co-adaptativo, no qual foi possibilitado através de programação do robô, que o sistema e o operador se adaptassem um ao outro, através de monitoramento psicofisiológico[59]. Especialistas preveem o incremento do uso da realidade aumentada para treinamento[5]. Citam como exemplo, trabalhadores de manutenção que podem receber as instruções de como reparar determinada peça enquanto olhado diretamente para o sistema que requer o reparo[5].

A revisão realizada neste trabalho não foi isenta de vieses, podendo ser atingida particularmente, pelos vieses de publicação, tempo, localização, citação e linguagem[13]. Como limitação relevante cita-se a existência de diversas organizações relevantes para o objetivo do estudo como OSHA, NIOSH e o Ministério do Trabalho do Brasil[134, 4, 1] que não possuem todas suas publicações indexadas nas base de dados utilizadas nesta revisão. Neste sentido, esta ausência de metodologia sistemática para busca na “literatura cinzenta”, também conhecida como “literatura não convencional”, que abarca os estudos não publicados em fontes formais como livros e revistas[135].

Além deste, outra limitação foi a inexistência de uma classificação exaustiva de todos dos temas que fazem parte da saúde ocupacional. Neste sentido, a revisão que tem como objetivo identificar temas de relevância para esta matéria, como esta revisão, apresentará uma limitação de inesgotabilidade.

Entretanto, tal limitação pode ser vista como uma oportunidade, uma vez que novos estudos e novas formas de sistematização do conhecimento relacionado à robótica e saúde ocupacional podem ser realizados.

5 CONCLUSÃO

A revisão mostrou que diferentes tipos de interfaces robô-trabalhador emergentes são relevantes para o médico do trabalho. O estudo revelou que há utilização de robôs industriais e colaborativos por trabalhadores de diversos países e em vários setores da indústria. Que os efeitos do robô no ambiente de trabalho não se restringem apenas a seu operador ou programador, mas também são percebidos em outros funcionários que tem seu perfil de serviço modificado. Além disto, a revisão também confirmou que existe um gradiente crescente de interação entre o robô e o trabalhador num mesmo espaço físico. Nestas interfaces, foram identificados desdobramentos em diversos temas já classicamente relevantes para o médico do trabalho, como, por exemplo, ergonomia, carga metal e segurança, mas que tiveram o robô como uma nova variável de interesse.

Objetivamente, a revisão sugeriu que o robô é uma ferramenta relevante e cada vez mais frequente no cenário industrial e de serviços. O mesmo parece ter uma utilização proveitosa em trabalhos mais pesados, monótonos, perigosos e desagradáveis, porém existe risco de sobrecarga ergonômica e de carga mental na sua operação. Neste contexto, chamou atenção a discussão acerca de sobrecarga mental no uso de veículos não tripulados. As atividades assumidas pelo robô modificaram o perfil de trabalho de seu operador, do seu programador e de outros funcionários que puderam direcionar sua capacidade produtiva para outras atividades. Na segurança, mereceu destaque o uso do robô para tarefas perigosas, como na limpeza de áreas radioativas, contendendo irritantes respiratórios e até para teste de equipamento de proteção individual. Além disto, o robô pareceu facilitar o ingresso de indivíduos com limitações físicas no mercado de trabalho através de reabilitação, fato relevante para o envelhecimento geral da população.

Entretanto, foi identificado um descompasso entre a velocidade de evolução desta tecnologia e das normas de segurança aplicáveis, sendo um ponto de destaque para o médico do trabalho se manter atento. Uma potencial modificação da cadeia produtiva global com retorno da mão de obra para os países mais industrializados e com perda de cargos de trabalho nos países em desenvolvimento, também foi sugerida com a crescente robotização. Mesmo sendo um efeito mais macroeconômico, este dado também é relevante para o médico do trabalho.

Entretanto, vieses e limitações foram notados e sugere-se que novos estudos sejam conduzidos para auxiliar na sistematização do conhecimento que faz a interface entre saúde ocupacional e robótica.

REFERÊNCIAS

(1) BRASIL. Ministério do Trabalho. **Nota técnica n° 31, de 19 de fevereiro de 2018.** Esclarecimentos quanto às novas tecnologias de robôs, denominados "ROBÔS COLABORATIVOS", e robôs tradicionais em "APLICAÇÕES COLABORATIVAS", [...]. Brasília, DF: Ministério do Trabalho, 2018.

(2) CARBONERO, F.; ERNST, E.; WEBER, E. Robots worldwide: The impact of automation on employment and trade. **ILO Working Paper,** n. 36, oct. 2018.

(3) INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8373: 2012.** Robots and robotic devices: Vocabulary. [S.l.]: ISO/TC 299 Robotics, 2012.

(4) NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. **Request for Assistance in Preventing the Injury of Workers by Robots.** Cincinnati: NIOSH Alert, 1984.

(5) IFR. International Federation of Robotics. **Robots and the Workplace of the Future.** Frankfurt: IFR, 2018.

(6) IFR. International Federation of Robotics. **Demystifying Collaborative Industrial Robots.** Frankfurt: IFR, 2019.

(7) GUITTET, J.; KWEE, H. H.; QUETIN, N.; YCLON, J. The Spartacus telethesis: manipulator control studies. **Bulletin of prosthetics research**, v. 16, n. 2, p. 69–105, 1979. United States.

(8) BRENNAN, J. E.; SEVERNS, M. L.; KLINE, L. M.; EPLEY, K. M. Considerations in the use of laboratory robots: aspects of safety and accuracy. **Vox sanguinis**, v. 54, n. 2, p. 115–122, 1988. England.

(9) DIJKERS, M. P.; DEBEAR, P. C.; ERLANDSON, R. F.; et al. Patient and staff acceptance of robotic technology in occupational therapy: a pilot study. **Journal of rehabilitation research and development**, v. 28, n. 2, p. 33–44, 1991. United States.

(10) BOUAZZA-MAROUF, K.; BROWBANK, I.; HEWIT, J. R. Robotic-assisted internal fixation of femoral fractures. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part H, Journal of engineering in medicine**, v. 209, n. 1, p. 51–58, 1995. England.

(11) VISARIUS, H.; GONG, J.; SCHEER, C.; HARALAMB, S.; NOLTE, L. P. Man-machine interfaces in computer assisted surgery. **Computer aided surgery : official journal of the International Society for Computer Aided Surgery**, v. 2, n. 2, p. 102–107, 1997. England.

(12) HOWE, R. D.; MATSUOKA, Y. Robotics for surgery. **Annual review of biomedical engineering**, v. 1, p. 211–240, 1999. United States.

(13) CHAN, A. H.; COURTNEY, A. J. Safety and ergonomics evaluation of hybrid systems in Hong Kong. **Accident; analysis and prevention**, v. 33, n. 4, p. 563–565, 2001. England.

(14) CARPENTER, D. Robotics. Paging Dr. C-3P0. **Hospitals & health networks**, jul. 2002. United States.

(15) KONDRASKE, G. V; HAMILTON, E. C.; SCOTT, D. J.; et al. Surgeon workload and motion efficiency with robot and human laparoscopic camera control. **Surgical endoscopy**, v. 16, n. 11, p. 1523–1527, 2002. Germany.

(16) GITELSON, J. I.; BARTSEV, S. I.; MEZHEVIKIN, V. V; OKHONIN, V. A. An alternative approach to solar system exploration providing safety of human mission to Mars. **Advances in space research : the official journal of the Committee on Space Research (COSPAR)**, v. 31, n. 1, p. 17–24, 2003. England.

(17) GRAVEZ, P. Surgical robotics, short state of the art and prospects. **Cancer radiotherapie : journal de la Societe francaise de radiotherapie oncologique**, v. 7 Suppl 1, p. 26s-32s, 2003. France.

(18) VIEYRES, P.; POISSON, G.; COURREGES, F.; MERIGEAUX, O.; ARBEILLE, P. The TERESA project: from space research to ground tele-echography. **The Industrial robot**, v. 30, n. 1, p. 77–82, 2003. England.

(19) SMITH, W. D.; BERGUER, R.; ROSSER, J. C. J. Wireless virtual instrument measurement of surgeons' physical and mental workloads for robotic versus manual minimally invasive surgery. **Studies in health technology and informatics**, v. 94, p. 318–324, 2003. Netherlands.

(20) WURM, J.; DANNENMANN, T.; BOHR, C.; IRO, H.; BUMM, K. Increased safety in robotic paranasal sinus and skull base surgery with redundant navigation and automated registration. **The international journal of medical robotics + computer assisted surgery : MRCAS**, v. 1, n. 3, p. 42–48, 2005. England.

(21) BARNES, P. W. Comparison of performance characteristics between first- and third-generation hematology systems. **Laboratory hematology : official publication of the International Society for Laboratory Hematology**, v. 11, n. 4, p. 298–301, 2005. United States.

(22) HAYASHIBE, M.; SUZUKI, N.; NAKAMURA, Y. Laser-scan endoscope system for intraoperative geometry acquisition and surgical robot safety management. **Medical image analysis**, v. 10, n. 4, p. 509–519, 2006. Netherlands.

(23) FODERO, K. 2ND; KING, H. H.; LUM, M. J. H.; et al. Control system architecture for a minimally invasive surgical robot. **Studies in health technology and informatics**, v. 119, p. 156–158, 2006. Netherlands.

(24) MOBACH, M. P. The merits of a robot: a Dutch experience. **Journal of pharmacy & pharmaceutical sciences : a publication of the**

Canadian Society for Pharmaceutical Sciences, Societe canadienne des sciences pharmaceutiques, v. 9, n. 3, p. 376–387, 2006. Canada.

(25) TVARYANAS, A. P.; THOMPSON, W. T.; CONSTABLE, S. H. Human factors in remotely piloted aircraft operations: HFACS analysis of 221 mishaps over 10 years. **Aviation, space, and environmental medicine**, v. 77, n. 7, p. 724–732, 2006. United States.

(26) LAI, F.; ENTIN, E. Integrating surgical robots into the next medical toolkit. **Studies in health technology and informatics**, v. 119, p. 285–287, 2006. Netherlands.

(27) BERGUER, R.; SMITH, W. An ergonomic comparison of robotic and laparoscopic technique: the influence of surgeon experience and task complexity. **The Journal of surgical research**, v. 134, n. 1, p. 87–92, 2006. United States.

(28) LAI, F.; LOUW, D. Surgical robotics for patient safety in the perioperative environment: realizing the promise. **Surgical innovation**, v. 14, n. 2, p. 77–82, 2007. United States.

(29) KALTEIS, M.; PISTRICH, R.; SCHIMETTA, W.; PÖLZ, W. Laparoscopic cholecystectomy as solo surgery with the aid of a robotic camera holder: a case-control study. **Surgical laparoscopy, endoscopy & percutaneous techniques**, v. 17, n. 4, p. 277–282, 2007. United States.

(30) KIKUCHI, T.; JIN, Y.; FUKUSHIMA, K.; AKAI, H.; FURUSHO, J. “Hybrid-PLEMO”, rehabilitation system for upper limbs with active / passive force feedback mode. **Conference proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual Conference**, v. 2008, p. 1973–1976, 2008. United States.

(31) DIETERICH, S.; PAWLICKI, T. Cyberknife image-guided delivery and quality assurance. **International journal of radiation oncology, biology, physics**, v. 71, n. 1 Suppl, p. S126-30, 2008. United States.

(32) PHALEN, R.; HEE, S. Q. A moving robotic hand system for whole-glove permeation and penetration: captan and nitrile gloves. **Journal of occupational and environmental hygiene**, v. 5, n. 4, p. 258–270, 2008. England.

(33) SPINOGLIO, G.; SUMMA, M.; PRIORA, F.; QUARATI, R.; TESTA, S. Robotic laparoscopic surgery with the da Vinci® system: an early experience. **Surgical technology international**, v. 18, p. 70–74, 2009. United States.

(34) BEPKO, R. J. J.; MOORE, J. R.; COLEMAN, J. R. Implementation of a pharmacy automation system (robotics) to ensure medication safety at Norwalk hospital. **Quality management in health care**, v. 18, n. 2, p. 103–114, 2009. United States.

(35) SEO, K.-H.; LEE, J.-J. The development of two mobile gait rehabilitation systems. **IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering : a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society**, v. 17, n. 2, p. 156–166, 2009. United States.

(36) CHEN, J. Y. C.; TERRENCE, P. I. Effects of imperfect automation and individual differences on concurrent performance of military and robotics tasks in a simulated multitasking environment. **Ergonomics**, v. 52, n. 8, p. 907–920, 2009. England.

(37) HIEL, D.; VON SCHÉELE, I.; SUNDBLAD, B.-M.; LARSSON, K.; PALMBERG, L. Evaluation of respiratory effects related to high-pressure cleaning in a piggery with and without robot pre-cleaning. **Scandinavian journal of work, environment & health**, v. 35, n. 5, p. 376–383, 2009. Finland.

(38) SCHLOSSER, J.; SALISBURY, K.; HRISTOV, D. Telerobotic system concept for real-time soft-tissue imaging during radiotherapy beam delivery. **Medical physics**, v. 37, n. 12, p. 6357–6367, 2010. United States.

(39) URDIALES, C.; FERNANDEZ-ESPEJO, B.; ANNICCHIARICCO, R.; SANDOVAL, F.; CALTAGIRONE, C. Biometrically modulated collaborative control for an assistive wheelchair. **IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering : a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society**, v. 18, n. 4, p. 398–408, 2010. United States.

(40) STEFANIDIS, D.; WANG, F.; KORNDORFFER, J. R. J.; DUNNE, J. B.; SCOTT, D. J. Robotic assistance improves intracorporeal suturing performance and safety in the operating room while decreasing operator workload. **Surgical endoscopy**, v. 24, n. 2, p. 377–382, 2010. Germany.

(41) DIETERICH, S.; CAVEDON, C.; CHUANG, C. F.; et al. Report of AAPM TG 135: quality assurance for robotic radiosurgery. **Medical physics**, v. 38, n. 6, p. 2914–2936, 2011. United States.

(42) NAJMAEI, N.; KERMANI, M. R. Applications of artificial intelligence in safe human-robot interactions. **IEEE transactions on systems, man, and cybernetics. Part B, Cybernetics : a publication of the IEEE Systems, Man, and Cybernetics Society**, v. 41, n. 2, p. 448–459, 2011. United States.

(43) GUZNOV, S.; MATTHEWS, G.; FUNKE, G.; DUKES, A. Use of the RoboFlag synthetic task environment to investigate workload and stress responses in UAV operation. **Behavior research methods**, v. 43, n. 3, p. 771–780, 2011. United States.

(44) LEE, S.; YU, S.; CHOI, J.; HAN, C. A methodology to quantitatively evaluate the safety of a glazing robot. **Applied ergonomics**, v. 42, n. 3, p. 445–454, 2011. England.

(45) STEFANIDIS, D.; HOPE, W. W.; SCOTT, D. J. Robotic suturing on the FLS model possesses construct validity, is less physically demanding, and is favored by more surgeons compared with laparoscopy. **Surgical endoscopy**, v. 25, n. 7, p. 2141–2146, 2011. Germany.

(46) BORTOT, D.; DING, H.; ANTONOPOLOUS, A.; BENGLER, K. Human motion behavior while interacting with an industrial robot. **Work (Reading, Mass.)**, v. 41 Suppl 1, p. 1699–1707, 2012. Netherlands.

(47) SEGER, A. C.; CHURCHILL, W. W.; KEOHANE, C. A.; et al. Impact of robotic antineoplastic preparation on safety, workflow, and costs. **Journal of oncology practice**, v. 8, n. 6, p. 344–9, 1 p following 349, 2012.

(48) GURUSAMY, K. S.; SAMRAJ, K.; FUSAI, G.; DAVIDSON, B. R. Robot assistant versus human or another robot assistant in patients undergoing laparoscopic cholecystectomy. **The Cochrane database of systematic reviews**, v. 9, n. 9, p. CD006578, 2012.

(49) CHEN, J. Y. C.; BARNES, M. J. Supervisory control of multiple robots in dynamic tasking environments. **Ergonomics**, v. 55, n. 9, p. 1043–1058, 2012. England.

(50) OPPOLD, P.; RUPP, M.; MOULOUA, M.; HANCOCK, P. A.; MARTIN, J. Design considerations to improve cognitive ergonomic issues of unmanned vehicle interfaces utilizing video game controllers. **Work (Reading, Mass.)**, v. 41 Suppl 1, p. 5609–5611, 2012. Netherlands.

(51) CHEN, J. Y. C.; BARNES, M. J. Supervisory control of multiple robots: effects of imperfect automation and individual differences. **Human factors**, v. 54, n. 2, p. 157–174, 2012. United States.

(52) CARROZZA, J. P. J. Robotic-assisted percutaneous coronary intervention--filling an unmet need. **Journal of cardiovascular translational research**, v. 5, n. 1, p. 62–66, 2012. United States.

(53) DULAN, G.; REGE, R. V; HOGG, D. C.; et al. Proficiency-based training for robotic surgery: construct validity, workload, and expert levels for nine inanimate exercises. **Surgical endoscopy**, v. 26, n. 6, p. 1516–1521, 2012. Germany.

(54) CARLSON, T.; DEMIRIS, Y. Collaborative control for a robotic wheelchair: evaluation of performance, attention, and workload. **IEEE transactions on systems, man, and cybernetics. Part B, Cybernetics : a publication of the IEEE Systems, Man, and Cybernetics Society**, v. 42, n. 3, p. 876–888, 2012. United States.

(55) WESTCOTT, E.; BROADHURST, A.; CROSSLEY, S.; et al. Benefits of automated surface decontamination of a radioiodine ward. **Health physics**, v. 102 Suppl, p. S4-7, 2012. United States.

(56) BROADBENT, E.; TAMAGAWA, R.; PATIENCE, A.; et al. Attitudes towards health-care robots in a retirement village. **Australasian journal on ageing**, v. 31, n. 2, p. 115–120, 2012. Australia.

(57) KLEIN, M. I.; WARM, J. S.; RILEY, M. A.; et al. Mental workload and stress perceived by novice operators in the laparoscopic and robotic minimally

invasive surgical interfaces. **Journal of endourology**, v. 26, n. 8, p. 1089–1094, 2012. United States.

(58) KIM, S. H.; KWAK, J. M. Robotic total mesorectal excision: operative technique and review of the literature. **Techniques in coloproctology**, v. 17 Suppl 1, p. S47-53, 2013. Italy.

(59) NGUYEN, A. V; NGUYEN, L. B.; SU, S.; NGUYEN, H. T. Shared control strategies for human-machine interface in an intelligent wheelchair. **Conference proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual Conference**, v. 2013, p. 3638–3641, 2013. United States.

(60) MIRHEYDAR, H. S.; PARSONS, J. K. Diffusion of robotics into clinical practice in the United States: process, patient safety, learning curves, and the public health. **World journal of urology**, v. 31, n. 3, p. 455–461, 2013. Germany.

(61) WANG, H.; XU, J.; GRINDLE, G.; et al. Performance evaluation of the Personal Mobility and Manipulation Appliance (PerMMA). **Medical engineering & physics**, v. 35, n. 11, p. 1613–1619, 2013. England.

(62) BATTLE, L. P.; SARKANI, S.; MAZZUCHI, T. A. The next challenge to interoperability? A first look at robotic system wireless interoperability in emergency response. **Journal of emergency management (Weston, Mass.)**, v. 11, n. 5, p. 333–337, 2013. United States.

(63) GEHRIG, T.; MEHRABI, A.; FISCHER, L.; et al. Robotic-assisted paraesophageal hernia repair--a case-control study. **Langenbeck's archives of surgery**, v. 398, n. 5, p. 691–696, 2013. Germany.

(64) LU, J.-L.; HORNG, R.-Y.; CHAO, C.-J. Design and test of a situation-augmented display for an unmanned aerial vehicle monitoring task. **Perceptual and motor skills**, v. 117, n. 1, p. 1187–1207, 2013. United States.

(65) CHRISTENSEN, J. C.; ESTEPP, J. R. Coadaptive aiding and automation enhance operator performance. **Human factors**, v. 55, n. 5, p. 965–975, 2013. United States.

(66) O'NEILL, G.; PATEL, H.; ARTEMIADIS, P. An intrinsically safe mechanism for physically coupling humans with robots. **IEEE ... International Conference on Rehabilitation Robotics : [proceedings]**, v. 2013, p. 6650510, 2013. United States.

(67) KRANZFELDER, M.; STAUB, C.; FIOLKA, A.; et al. Toward increased autonomy in the surgical OR: needs, requests, and expectations. **Surgical endoscopy**, v. 27, n. 5, p. 1681–1688, 2013. Germany.

(68) HUBERT, N.; GILLES, M.; DESBROSSES, K.; et al. Ergonomic assessment of the surgeon's physical workload during standard and robotic assisted laparoscopic procedures. **The international journal of medical robotics + computer assisted surgery : MRCAS**, v. 9, n. 2, p. 142–147, 2013. England.

(69) MARX, V. High-security labs: Life in the danger zone. **Nature**, v. 505, n. 7483, p. 437–441, 2014.

(70) SOOD, A.; GHANI, K. R.; AHLAWAT, R.; et al. Application of the statistical process control method for prospective patient safety monitoring during the learning phase: robotic kidney transplantation with regional hypothermia (IDEAL phase 2a-b). **European urology**, v. 66, n. 2, p. 371–378, 2014. Switzerland.

(71) DESAI, P. H.; LIN, J. F.; SLOMOVITZ, B. M. Milestones to optimal adoption of robotic technology in gynecology. **Obstetrics and gynecology**, v. 123, n. 1, p. 13–20, 2014. United States.

(72) ZULLO, M. D.; MCCARROLL, M. L.; MENDISE, T. M.; et al. Safety culture in the gynecology robotics operating room. **Journal of minimally invasive gynecology**, v. 21, n. 5, p. 893–900, 2014. United States.

(73) YAKUB, F.; MD KHUDZARI, A. Z.; MORI, Y. Recent trends for practical rehabilitation robotics, current challenges and the future. **International journal of rehabilitation research. Internationale Zeitschrift fur Rehabilitationsforschung. Revue internationale de recherches de readaptation**, v. 37, n. 1, p. 9–21, 2014. England.

(74) LI, H.; WICKENS, C. D.; SARTER, N.; SEBOK, A. Stages and levels of automation in support of space teleoperations. **Human factors**, v. 56, n. 6, p. 1050–1061, 2014. United States.

(75) AHMED, N.; DE VISSER, E.; SHAW, T.; et al. Statistical modelling of networked human-automation performance using working memory capacity. **Ergonomics**, v. 57, n. 3, p. 295–318, 2014. England.

(76) CHAPPELLE, W. L.; MCDONALD, K. D.; PRINCE, L.; et al. Symptoms of psychological distress and post-traumatic stress disorder in United States Air Force “drone” operators. **Military medicine**, v. 179, n. 8 Suppl, p. 63–70, 2014. England.

(77) MISSALA, T. Paradigms and safety requirements for a new generation of workplace equipment. **International journal of occupational safety and ergonomics : JOSE**, v. 20, n. 2, p. 249–256, 2014. England.

(78) SMILOWITZ, N. R.; MOSES, J. W.; SOSA, F. A.; et al. Robotic-Enhanced PCI Compared to the Traditional Manual Approach. **The Journal of invasive cardiology**, v. 26, n. 7, p. 318–321, 2014. United States.

(79) HELTON, W. S.; HEAD, J.; BLASCHKE, B. A. Cornering law: the difficulty of negotiating corners with an unmanned ground vehicle. **Human factors**, v. 56, n. 2, p. 392–402, 2014. United States.

(80) LEE, G. I.; LEE, M. R.; CLANTON, T.; et al. Comparative assessment of physical and cognitive ergonomics associated with robotic and traditional laparoscopic surgeries. **Surgical endoscopy**, v. 28, n. 2, p. 456–465, 2014. Germany.

(81) SCHRAIBMAN, V.; EPSTEIN, M. G.; MACCAPANI, G. N.; MACEDO, A. L. DE V. Single-port robotic cholecystectomy. Initial and pioneer experience in Brazil. **Einstein (Sao Paulo, Brazil)**, v. 13, n. 4, p. 607–610, 2015.

(82) STARK, M.; POMATI, S.; D'AMBROSIO, A.; GIRAUDI, F.; GIDARO, S. A new telesurgical platform--preliminary clinical results. **Minimally invasive therapy & allied technologies : MITAT : official journal of the Society for Minimally Invasive Therapy**, v. 24, n. 1, p. 31–36, 2015. England.

(83) BORTOLE, M.; VENKATAKRISHNAN, A.; ZHU, F.; et al. The H2 robotic exoskeleton for gait rehabilitation after stroke: early findings from a clinical study. **Journal of neuroengineering and rehabilitation**, v. 12, p. 54, 2015.

(84) DAVELER, B.; SALATIN, B.; GRINDLE, G. G.; et al. Participatory design and validation of mobility enhancement robotic wheelchair. **Journal of rehabilitation research and development**, v. 52, n. 6, p. 739–750, 2015. United States.

(85) BARBER, D. J.; REINERMAN-JONES, L. E.; MATTHEWS, G. Toward a tactile language for human-robot interaction: two studies of tacton learning and performance. **Human factors**, v. 57, n. 3, p. 471–490, 2015. United States.

(86) SAITO, T.; HOSHI, T.; IKEDA, H.; OKABE, K. Global harmonization of safety regulations for the use of industrial robots-permission of collaborative operation and a related study by JNIOSH. **Industrial health**, v. 53, n. 6, p. 498–504, 2015.

(87) TARR, M. E.; BRANCATO, S. J.; CUNKELMAN, J. A.; et al. Comparison of postural ergonomics between laparoscopic and robotic sacrocolpopexy: a pilot study. **Journal of minimally invasive gynecology**, v. 22, n. 2, p. 234–238, 2015. United States.

(88) MOORE, L. J.; WILSON, M. R.; MCGRATH, J. S.; et al. Surgeons' display reduced mental effort and workload while performing robotically assisted surgical tasks, when compared to conventional laparoscopy. **Surgical endoscopy**, v. 29, n. 9, p. 2553–2560, 2015. Germany.

(89) FELS, M.; BAUER, R.; GHARABAGHI, A. Predicting workload profiles of brain-robot interface and electromygraphic neurofeedback with cortical resting-state networks: personal trait or task-specific challenge? **Journal of neural engineering**, v. 12, n. 4, p. 46029, 2015. England.

(90) GURU, K. A.; SHAFIEI, S. B.; KHAN, A.; et al. Understanding Cognitive Performance During Robot-Assisted Surgery. **Urology**, v. 86, n. 4, p. 751–757, 2015. United States.

(91) COOPER, C.; PENDERS, J.; PROCTER, P. M. Dementia and Robotics: People with Advancing Dementia and Their Carers Driving an Exploration into an Engineering Solution to Maintaining Safe Exercise Regimes. **Studies in health technology and informatics**, v. 225, p. 545–549, 2016. Netherlands.

(92) GILL, A.; RANDELL, R. Robotic surgery and its impact on teamwork in the operating theatre. **Journal of perioperative practice**, v. 26, n. 3, p. 42–45, 2016. England.

(93) CATCHPOLE, K.; PERKINS, C.; BRESEE, C.; et al. Safety, efficiency and learning curves in robotic surgery: a human factors analysis. **Surgical endoscopy**, v. 30, n. 9, p. 3749–3761, 2016. Germany.

(94) GIACOMONI, A.; DI SANDRO, S.; LAUTERIO, A.; et al. Robotic nephrectomy for living donation: surgical technique and literature systematic review. **American journal of surgery**, v. 211, n. 6, p. 1135–1142, 2016. United States.

(95) KANG, M. J.; DE GAGNE, J. C.; KANG, H. S. Perioperative Nurses' Work Experience With Robotic Surgery: A Focus Group Study. **Computers, informatics, nursing : CIN**, v. 34, n. 4, p. 152–158, 2016. United States.

(96) O'SULLIVAN, O. E.; O'SULLIVAN, S.; HEWITT, M.; O'REILLY, B. A. Da Vinci robot emergency undocking protocol. **Journal of robotic surgery**, v. 10, n. 3, p. 251–253, 2016. England.

(97) DE LOOZE, M. P.; BOSCH, T.; KRAUSE, F.; STADLER, K. S.; O'SULLIVAN, L. W. Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. **Ergonomics**, v. 59, n. 5, p. 671–681, 2016. England.

(98) BANKS, V. A.; STANTON, N. A. Keep the driver in control: Automating automobiles of the future. **Applied ergonomics**, v. 53 Pt B, p. 389–395, 2016. England.

(99) MURASHOV, V.; HEARL, F.; HOWARD, J. Working safely with robot workers: Recommendations for the new workplace. **Journal of occupational and environmental hygiene**, v. 13, n. 3, p. D61-71, 2016.

(100) BENSIGNOR, T.; MOREL, G.; REVERSAT, D.; FUKS, D.; GAYET, B. Evaluation of the effect of a laparoscopic robotized needle holder on ergonomics and skills. **Surgical endoscopy**, v. 30, n. 2, p. 446–454, 2016. Germany.

(101) CAVUOTO, L. A.; HUSSEIN, A. A.; VASAN, V.; et al. Improving Teamwork: Evaluating Workload of Surgical Team During Robot-assisted Surgery. **Urology**, v. 107, p. 120–125, 2017. United States.

(102) ZATTONI, FABIO; MORLACCO, A.; CATTANEO, F.; et al. Development of a Surgical Safety Training Program and Checklist for Conversion during Robotic Partial Nephrectomies. **Urology**, v. 109, p. 38–43, 2017. United States.

(103) TAO, C.; YAN, Q.; LI, Y. Hierarchical Shared Control of Cane-Type Walking-Aid Robot. **Journal of healthcare engineering**, v. 2017, p. 8932938, 2017.

(104) KHOR, K. X.; CHIN, P. J. H.; YEONG, C. F.; et al. Portable and Reconfigurable Wrist Robot Improves Hand Function for Post-Stroke Subjects. **IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering : a**

publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, v. 25, n. 10, p. 1864–1873, 2017. United States.

(105) PAN, L.; SONG, A.; DUAN, S.; YU, Z. Patient-Centered Robot-Aided Passive Neurorehabilitation Exercise Based on Safety-Motion Decision-Making Mechanism. **BioMed research international**, v. 2017, p. 4185939, 2017.

(106) PINCUS, L. Robots in healthcare security and safety: the future is now. **Journal of healthcare protection management : publication of the International Association for Hospital Security**, v. 33, n. 1, p. 9–14, 2017. United States.

(107) FENG, Y.; WANG, H.; YAN, H.; et al. Research on Safety and Compliance of a New Lower Limb Rehabilitation Robot. **Journal of healthcare engineering**, v. 2017, p. 1523068, 2017.

(108) FAVARÒ, F. M.; NADER, N.; EURICH, S. O.; TRIPP, M.; VARADARAJU, N. Examining accident reports involving autonomous vehicles in California. **PloS one**, v. 12, n. 9, p. e0184952, 2017.

(109) REINERMAN-JONES, L.; BARBER, D. J.; SZALMA, J. L.; HANCOCK, P. A. Human interaction with robotic systems: performance and workload evaluations. **Ergonomics**, v. 60, n. 10, p. 1351–1368, 2017. England.

(110) ADAMIDES, G.; KATSANOS, C.; PARMET, Y.; et al. HRI usability evaluation of interaction modes for a teleoperated agricultural robotic sprayer. **Applied ergonomics**, v. 62, p. 237–246, 2017. England.

(111) DOISY, G.; RONEN, A.; EDAN, Y. Comparison of three different techniques for camera and motion control of a teleoperated robot. **Applied ergonomics**, v. 58, p. 527–534, 2017. England.

(112) MOSTAFAVI, S. M.; SCOTT, S.; DUKELOW, S.; MOUSAVI, P. Reduction of Assessment Time for Stroke-Related Impairments Using Robotic Evaluation. **IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering : a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society**, v. 25, n. 7, p. 945–955, 2017. United States.

(113) HOCRAFFER, A.; NAM, C. S. A meta-analysis of human-system interfaces in unmanned aerial vehicle (UAV) swarm management. **Applied ergonomics**, v. 58, p. 66–80, 2017. England.

(114) DALAGER, T.; SØGAARD, K.; BECH, K. T.; MOGENSEN, O.; JENSEN, P. T. Musculoskeletal pain among surgeons performing minimally invasive surgery: a systematic review. **Surgical endoscopy**, v. 31, n. 2, p. 516–526, 2017. Germany.

(115) LEE, M. R.; LEE, G. I. Does a robotic surgery approach offer optimal ergonomics to gynecologic surgeons?: a comprehensive ergonomics survey study in gynecologic robotic surgery. **Journal of gynecologic oncology**, v. 28, n. 5, p. e70, 2017.

(116) YU, D.; DURAL, C.; MORROW, M. M. B.; et al. Intraoperative workload in robotic surgery assessed by wearable motion tracking sensors and questionnaires. **Surgical endoscopy**, v. 31, n. 2, p. 877–886, 2017. Germany.

(117) CARLOS, G.; SAULAN, M. Robotic Emergencies: Are You Prepared for a Disaster? **AORN journal**, v. 108, n. 5, p. 493–501, 2018. United States.

(118) ZHANG, L.; GUO, S.; YU, H.; et al. Design and performance evaluation of collision protection-based safety operation for a haptic robot-assisted catheter operating system. **Biomedical microdevices**, v. 20, n. 2, p. 22, 2018. United States.

(119) ABE, S.; NOGUCHI, N.; MATSUKA, Y.; et al. Educational effects using a robot patient simulation system for development of clinical attitude. **European journal of dental education : official journal of the Association for Dental Education in Europe**, v. 22, n. 3, p. e327–e336, 2018. England.

(120) RAHEEM, S.; AHMED, Y. E.; HUSSEIN, A. A.; et al. Variability and interpretation of communication taxonomy during robot-assisted surgery: do we all speak the same language? **BJU international**, v. 122, n. 1, p. 99–105, 2018. England.

(121) WRIGHT, J. L.; CHEN, J. Y. C.; BARNES, M. J. Human-automation interaction for multiple robot control: the effect of varying automation assistance and individual differences on operator performance. **Ergonomics**, v. 61, n. 8, p. 1033–1045, 2018. England.

(122) TEO, G.; REINERMAN-JONES, L.; MATTHEWS, G.; et al. Enhancing the effectiveness of human-robot teaming with a closed-loop system. **Applied ergonomics**, v. 67, p. 91–103, 2018. England.

(123) GRUENWALD, C. M.; MIDDENDORF, M. S.; HOEPF, M. R.; GALSTER, S. M. Augmenting Human Performance in Remotely Piloted Aircraft. **Aerospace medicine and human performance**, v. 89, n. 2, p. 115–121, 2018. United States.

(124) WEBER, J.; CATCHPOLE, K.; BECKER, A. J.; SCHLENKER, B.; WEIGL, M. Effects of Flow Disruptions on Mental Workload and Surgical Performance in Robotic-Assisted Surgery. **World journal of surgery**, v. 42, n. 11, p. 3599–3607, 2018. United States.

(125) RODRIGUEZ-GONZALEZ, C. G.; HERRANZ-ALONSO, A.; ESCUDERO-VILAPLANA, V.; et al. Robotic dispensing improves patient safety, inventory management, and staff satisfaction in an outpatient hospital pharmacy. **Journal of evaluation in clinical practice**, v. 25, n. 1, p. 28–35, 2019. England.

(126) KREMER, L.; SEN, S.; BREIL, B. Relating Factors for Acceptance of Health Care Technology: Focus on Mental Workload. **Studies in health technology and informatics**, v. 264, p. 1953–1954, 2019. Netherlands.

(127) BAE, J.-H.; HWANG, S.-J.; MOON, I. Evaluation and Verification of A Novel Wrist Rehabilitation Robot employing Safety-related Mechanism. **IEEE ... International Conference on Rehabilitation Robotics : [proceedings]**, v. 2019, p. 288–293, 2019. United States.

(128) PARK, M. Y.; HAN, D.; LIM, J. H.; et al. Assessment of pressure pain thresholds in collisions with collaborative robots. **PloS one**, v. 14, n. 5, p. e0215890, 2019.

(129) FRACCZAK, L.; SZANIEWSKI, M.; PODSEDKOWSKI, L. Share control of surgery robot master manipulator guiding tool along the standard path. **The international journal of medical robotics + computer assisted surgery : MRCAS**, v. 15, n. 3, p. e1984, 2019.

(130) KÖRNER, U.; MÜLLER-THUR, K.; LUNAU, T.; et al. Perceived stress in human-machine interaction in modern manufacturing environments-Results of a qualitative interview study. **Stress and health : journal of the International Society for the Investigation of Stress**, v. 35, n. 2, p. 187–199, 2019. England.

(131) CATCHPOLE, K.; BISANTZ, A.; HALLBECK, M. S.; et al. Human factors in robotic assisted surgery: Lessons from studies “in the Wild”. **Applied ergonomics**, v. 78, p. 270–276, 2019.

(132) AWAD, E.; LEVINE, S.; KLEIMAN-WEINER, M.; et al. Drivers are blamed more than their automated cars when both make mistakes. **Nature human behaviour**, v. 4, n. 2, p. 134–143, 2020. England.

(133) IFR. International Federation of Robotics. **Welcome to the IFR Press Conference.** 24th. Frankfurt: IFR, 2020.

(134) UNITED STATES DEPARTMENT OF LABOR. Industrial Robots and Robot System Safety. Washington: Occupational Safety & Health Administration, 2020. Disponível em: <https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_iv/otm_iv_4.html#>. Acesso em: 12/10/2020.

(135) BRASIL. Ministério da Saúde. **Diretrizes metodológicas: elaboração de revisão sistemática e metanálise de ensaios clínicos randomizados**. Brasília, 2012.