

Prospecção tecnológica sobre exoesqueleto robótico de assistência à locomoção humana

RESUMO

O número de pessoas com redução da capacidade funcional devido ao acidente vascular cerebral (AVC), à lesão da medula espinhal (LME), dentre outras causas, tem crescido rapidamente em todo o mundo. Este fato requer o desenvolvimento de dispositivos de Tecnologia Assistiva para auxiliar na mobilidade e reabilitação das pessoas afetadas. Nessa perspectiva, este estudo teve como objetivo realizar uma prospecção tecnológica sobre exoesqueletos robóticos de assistência à locomoção humana. O método empregado consistiu em buscas estruturadas nas bases de dados do *Espacenet* e do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), nas quais foram identificados 366 depósitos de patentes entre 1995 e 2020. O *Espacenet* agrupou 99,18% dos depósitos relacionados à tecnologia de interesse, sendo as Instituições Científicas, Tecnológicas e de Inovação (ICTs) as que mais se destacaram no quantitativo de depósitos (60,93%). Além disso, ficou evidente o domínio da China no mercado de exoesqueletos robóticos, pois respondeu por 74,6% dos registros realizados em todo o mundo. Diante do cenário analisado, percebeu-se que os exoesqueletos robóticos foram aprimorados ao longo dos anos, e que tais avanços tecnológicos têm possibilitado o surgimento de novos meios de locomoção e a transformação do cotidiano das pessoas com distúrbios de mobilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Distúrbio de mobilidade. Deficiência física. Exoesqueleto robótico. Patentes.

José Barreto Netto

ibarretonetto@hotmail.com

Mestre em Ciência da Propriedade Intelectual
Universidade Federal de Sergipe,
São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

José Wendel dos Santos

wendel@email.com

Mestre em Ciência da Propriedade Intelectual
Universidade Federal de Sergipe,
São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

Cristiane Monteiro de Farias Rezende

chrysmont@gmail.com

Mestre em Ciência da Propriedade Intelectual
Universidade Federal de Sergipe,
São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

Cristiane Toniolo Dias

cristonidias@academico.ufs.br

Doutora em Ciência da Propriedade Intelectual
Universidade Federal de Sergipe,
São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

Mário Jorge Campos dos Santos

mikampos@gmail.com

Doutor em Recursos Florestais
Universidade Federal de Sergipe,
São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

Ana Karla de Souza Abud

ana.abud@gmail.com

Doutora em Engenharia Química
Universidade Federal de Sergipe,
São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

INTRODUÇÃO

O número de pessoas com distúrbios de mobilidade causados por acidente vascular cerebral (AVC), lesão da medula espinhal (LME) e outras condições relacionadas está aumentando rapidamente em todo o mundo. Dados da Organização Mundial da Saúde (OMS) estimam que mais de um bilhão de pessoas no mundo sofram de alguma forma de deficiência, das quais quase 200 milhões apresentam graves dificuldades funcionais. A perda das funções motoras e sensoriais dos membros inferiores reduz significativamente a expectativa de vida e traz riscos secundários como osteoporose, atrofia muscular, obesidade, doença coronariana, entre outros (OMS, 2011; CHEN, 2016).

No Brasil, segundo levantamento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2019, pelo menos 45 milhões de pessoas têm algum tipo de deficiência, o que representa 25% da população do país (EBC, 2020). Desse percentual, 7% dos entrevistados disseram ter dificuldade para se locomover (IBGE, 2021). É para parte da população desse percentual que dispositivos de Tecnologia Assistiva são projetados, visando auxiliar a locomoção e a reabilitação motora.

Nas últimas décadas, universidades, institutos de pesquisa e empresas têm conduzido ativamente pesquisas para o desenvolvimento de dispositivos de Tecnologia Assistiva. O primeiro registro de uma prótese de membro humano possui mais de 2,6 mil anos. Trata-se de um dedo artificial, encontrado em um pé de uma múmia egípcia, transformando os egípcios em pioneiros nesse quesito. Já o primeiro registro de patente de um exoesqueleto aconteceu em 1890, nos Estados Unidos, a partir da solicitação do cidadão russo Nicholas Yagn. O exoesqueleto tinha a intenção de facilitar a marcha, a corrida e o salto para diminuir a fadiga (COUTINHO *et al.*, 2017).

Em 1910, Theodor Büdingen registrou a patente de uma máquina acionada por um motor elétrico que tinha como proposta orientar e apoiar pacientes com doenças cardíacas em seus movimentos. Em 1930, Richard Scherb desenvolveu um aparelho para auxílio no movimento das articulações na terapia ortopédica, acionado por cabos. Em 1970, foram introduzidos os primeiros exoesqueletos na reabilitação terapêutica e, em 1994, foram desenvolvidos robôs de reabilitação para membros inferiores, tornando possível criar estruturas para a reabilitação de membros superiores (PLENTZ; BLAUTH, 2021).

Os exoesqueletos robóticos são dispositivos utilizados para auxiliar a locomoção e reabilitação dos membros inferiores. Eles são projetados tendo em mente a anatomia do corpo humano, e o posicionamento adequado dos atuadores nas articulações do quadril, joelho e tornozelo é fundamental para garantir sua eficácia (WANG *et al.*, 2022). A reabilitação assistida por exoesqueleto robótico apresenta vantagens em relação à fisioterapia convencional, pois reduz o esforço intensivo e repetitivo e é mais conveniente para avaliar quantitativamente o grau de recuperação do movimento (CHEN, 2016).

No Brasil, a área de engenharia de reabilitação ainda enfrenta dificuldades, o que a coloca em desvantagem em relação a outros países. A fabricação de exoesqueletos requer o uso de dispositivos robóticos de última geração para

aumentar a força e a velocidade da marcha, razão pela qual, muitas vezes, tais produtos não sejam encontrados no Brasil. Dessa forma, a alta complexidade do projeto e os altos custos dos componentes são alguns dos maiores obstáculos ao seu desenvolvimento no país (ALVES *et al.*, 2014; COUTINHO *et al.*, 2017).

Atualmente, os exoesqueletos usados nos centros de reabilitação são volumosos e fixos, pesando mais de 200 kg, sendo compostos por esteiras, barras de apoio e estruturas de sustentação do paciente, além de motores, sensores e equipamentos de informática. Um dos mais vendidos no mundo é o modelo *Lokomat*[®], da empresa suíça Hocoma. No Brasil, é utilizado no Instituto de Medicina Física e Reabilitação do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da USP (FM-USP), na Associação de Assistência à Criança Deficiente (AACD), e no Centro Estadual de Reabilitação e Readaptação Dr. Henrique Santillo (CRER) (ZAPAROLLI, 2021).

Apesar das melhorias promovidas pelo uso desses dispositivos em diversos processos de reabilitação motora, algumas lacunas ainda são observadas, principalmente relacionadas ao alto custo de aquisição e manutenção (PINTO *et al.*, 2020), bem como aos aspectos ergonômicos (CHOI *et al.* 2020). Nessa perspectiva, este estudo teve como objetivo realizar uma prospecção tecnológica sobre exoesqueletos robóticos que auxiliem na reabilitação motora de pessoas com deficiência física. Ao analisar o estado da técnica da tecnologia, pode-se verificar os avanços tecnológicos e apoiar a formulação de rotas estratégicas para o aprimoramento das tecnologias existentes.

A prospecção tecnológica efetuada por meio de documentos de patentes viabiliza a inclusão da informação na gestão da tecnologia, através da identificação de tendências tecnológicas e econômicas em um determinado ramo do mercado, bem como dos concorrentes e, eventualmente, até das operações empresariais como fusões e aquisições (AMPARO; RIBEIRO; GUARIEIRO, 2012).

MÉTODOS

Trata-se de uma pesquisa descritiva, quantitativa e documental (GIL, 2017). Esse enquadramento metodológico resulta da descrição do objeto de estudo a partir da utilização de técnicas de quantificação, tanto na coleta quanto no tratamento dos dados. O caráter documental advém da utilização de dados primários de fontes institucionais, subsidiando a realização da prospecção tecnológica sobre exoesqueletos robóticos que auxiliam na reabilitação motora de pessoas com deficiência física. As principais etapas empregadas neste estudo podem ser visualizadas na Figura 1.

Figura 1 – Etapas empregadas na prospecção tecnológica



Fonte: Elaborada pelos autores

As bases de patentes do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) e da Espacenet[®] foram selecionadas para realizar a prospecção tecnológica. O INPI

é o principal órgão responsável pela proteção dos ativos de propriedade intelectual no Brasil, e seu banco de dados inclui documentos de patentes protegidas no país e pelo Tratado de Cooperação em matéria de Patentes (PCT). A base de dados Espacenet é mantida pelo *European Patent Office* (EPO) e reúne mais de 130 milhões de documentos de patentes de todo o mundo (INPI, 2021; EPO, 2021).

Após leituras preliminares de artigos científicos e documentos de patentes relacionados à tecnologia investigada, foi possível definir os seguintes termos de busca para a base Espacenet®: *exoskeleton, paraplegic, handicapped, triplegic, tetraplegic, walk, hemiplegic, amputated* e *rehabilitation*. Os mesmos termos em português foram utilizados na base do INPI. As buscas foram realizadas em outubro de 2021 no módulo de busca avançada das bases de dados.

Para otimizar a recuperação de documentos de patentes, foi utilizada a Classificação Internacional de Patentes (CIP) em todas as buscas. A CIP oferece um sistema de código hierárquico que agrupa patentes em diferentes áreas tecnológicas. Assim, pode-se realizar a busca de documentos com mais precisão. O código A61H3/00 foi utilizado para agrupar documentos de patente que divulgam dispositivos que auxiliam na locomoção de pessoas com deficiência física. Os operadores booleanos “AND” e “OR” também foram utilizados em ambas as bases de dados, além do caractere de truncamento à direita do tipo (*) para recuperar registros a partir da raiz dos termos de interesse. A Equação (1) refere-se a expressão de busca resultante.

$$((\text{ntxt} = \text{"Exoskeleton"}) \text{ AND } (\text{ntxt} = \text{"paraplegic"} \text{ OR } \text{ntxt} = \text{"handicapped"} \text{ OR } \text{ntxt} = \text{"triplegic"} \text{ OR } \text{ntxt} = \text{"tetraplegic"} \text{ OR } \text{ntxt} = \text{"walk*"} \text{ OR } \text{ntxt} = \text{"hemiplegic"} \text{ OR } \text{ntxt} = \text{"amputated"} \text{ OR } \text{ntxt} = \text{"rehabilitation"}) \text{ AND } (\text{ipc} = \text{"A61H3/00"}) \quad (1)$$

As buscas retornaram um total de 546 documentos de patentes que, após triagem para exclusão de duplicações e adequação ao escopo do estudo, foi reduzido para 366 documentos. Os dados dos documentos elegíveis foram exportados para planilhas eletrônicas no *Microsoft Office Excel*® 2019, nas quais foram realizadas análises estatísticas. As variáveis selecionadas para análise foram a evolução anual dos depósitos de patentes relacionadas à tecnologia de interesse, país de origem, CIPs, perfil do depositante, principais titulares e inventores.

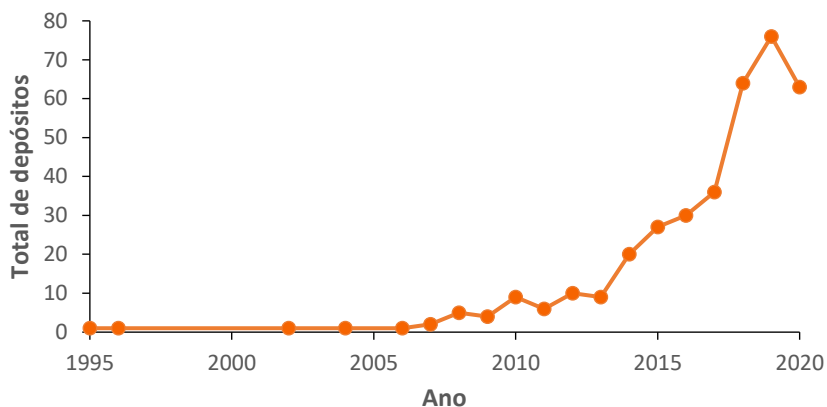
Além disso, o *software Iramuteq*® foi utilizado para realizar a análise de similitude do *corpus* textual contendo os resumos das patentes selecionadas. Essa análise permitiu identificar as coocorrências entre as palavras e como elas se relacionavam no documento, possibilitando a interpretação dos avanços tecnológicos de exoesqueletos de assistência à locomoção humana. Na árvore de conexão construída, o tamanho do vértice foi proporcional à frequência dos elementos evocados no texto, enquanto a espessura da aresta representou a força de conexão e coocorrência entre eles (IRAMUTEQ, 2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estratégia de busca utilizada permitiu a recuperação de 366 documentos de patentes sobre exoesqueletos de assistência à locomoção humana, sendo 363 oriundos da Espacenet® e 3 do INPI. Quanto ao ano de depósito dos pedidos de patentes, observa-se que o primeiro pedido foi feito em 1995, com um intervalo

entre 1997 e 2002, quando houve apenas um pedido. Ademais, nota-se que o pico de depósitos se dá em 2019, no qual foram efetuados 76 pedidos. A retração em 2020 deveu-se ao período de sigilo de 18 meses que os pedidos permanecem após o depósito (Figura 2).

Figura 2 – Evolução anual de depósitos de patentes (1995-2020)

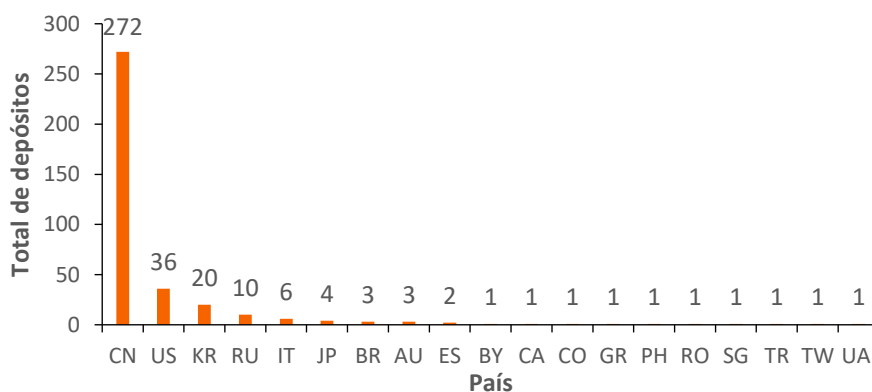


Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do INPI e Espacenet (2021)

Embora os primeiros esforços para desenvolver exoesqueletos robóticos para auxiliar a locomoção humana tenham iniciado há muitos anos, o interesse mundial pela tecnologia foi renovado no final dos anos 2000 devido ao progresso da microeletrônica e inteligência artificial. O aumento do número de AVCs e LMEs causados pelo envelhecimento da população também tem demandado o desenvolvimento de soluções para melhorar a qualidade de vida das pessoas acometidas. A capacidade de compensar a perda das funções motoras e possibilitar a execução de atividades que antes eram impossíveis é o que tem impulsionado o crescimento desse mercado (LI *et al.*, 2021; WANG *et al.*, 2022).

Em relação aos países onde foi feito o depósito, mais de 95% dos registros provêm da China, dos Estados Unidos, da Coreia do Sul, da Rússia, da Itália e do Japão. Além disso, observou-se a existência de 1 patente em cada um dos seguintes países: Bielorrússia, Canadá, Colômbia, Grécia, Filipinas, Romênia, Singapura, Turquia, Taiwan e Ucrânia (Figura 3).

Figura 3 – Distribuição de patentes por país de prioridade unionista (N= 366)



Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do INPI e Espacenet (2021)

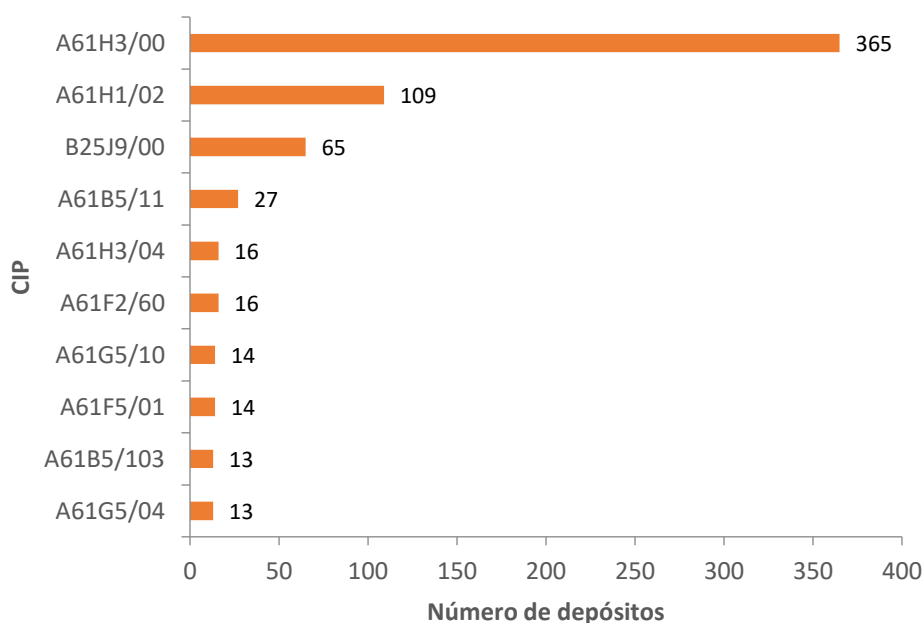
Nota: China (CN); Estados Unidos (US); Coreia do Sul (KR); Rússia (RU); Itália (IT); Japão (JP); Brasil (BR); Austrália (AU); Espanha (ES); Bielorrússia (BY); Canadá (CA); Colômbia (CO); Grécia (GR); Filipinas (PH); Romênia (RO); Singapura (SG); Turquia (TR); Taiwan (TW); Ucrânia (UA).

É evidente o domínio da China nos depósitos de patentes de exoesqueletos de assistência à locomoção humana, uma vez que responde por 74,6% dos depósitos realizados em todo o mundo. Esse achado coaduna com a literatura, pois a maior parte dos estudos de como robôs podem ajudar idosos costumam ser conduzidos na Europa e no Leste Asiático, em países como China e Japão (SHISHEHGAR; KERR; BLAKE, 2018), bem como os escritórios europeu, chinês e estadunidense possuem os maiores números de depósitos de patentes relacionadas a exoesqueletos e órteses (MEDA-GUTIÉRREZ *et al.*, 2021).

O Brasil foi responsável por apenas 3 depósitos patentes, o que corresponde a 0,8% dos documentos analisados. Esse baixo desempenho pode ser explicado pela necessidade de importação de dispositivos robóticos utilizados em exoesqueletos, o que acaba elevando os custos e os investimentos na produção dessas estruturas (ALVES *et al.*, 2014). A morosidade na apreciação do pedido de patente pelo INPI, os custos associados e a redução, desde 2015, dos investimentos em Ciência e Tecnologia (C&T) e Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I), também, podem ser fatores desestimulantes para que as invenções sejam protegidas legalmente no país. Dessa forma, criam-se obstáculos para a evolução tecnológica e ao desenvolvimento econômico do país (ARNOLD; SANTOS, 2016; GARCEZ JR.; MOREIRA, 2017; MCTIC, 2019).

Em relação às CIPs, foram identificados 905 códigos diferentes nos documentos de patentes. As 10 CIPs com maior ocorrência nos documentos de patentes são apresentadas na Figura 4. Observa-se que a maioria pertence à seção A (Necessidades humanas), com destaque para A61H3/00, que aparece em 365 registros, seguido de A61H1/02 em 109 documentos e B25J9/00 em 65 documentos.

Figura 4 – Total de depósitos de patentes por CIP (N = 366)



Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do INPI e Espacenet (2021)

O Quadro 1 organiza os significados das 1 CIPs com maior ocorrência em documentos de patentes identificados.

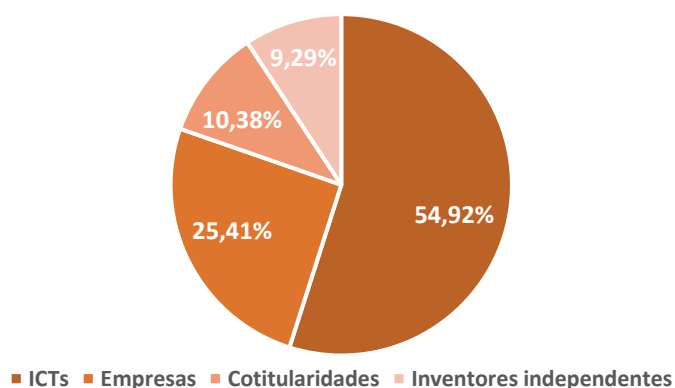
Quadro 1 – Descrição das CIPs (N = 366)

CIP	Descrição
A61H3/00	Aparelhos para auxiliar a locomoção de pacientes ou pessoas com deficiência física.
A61H1/02	Aparelhos extensores ou de curvamento para exercícios.
B25J9/00	Manipuladores controlados por programa.
A61B5/11	Medição do movimento do corpo inteiro ou suas partes.
A61H3/04	Acessórios de rodas para ajudar pessoas com deficiência física a andarem.
A61F2/60	Pernas ou pés artificiais ou suas partes.
A61G5/10	Peças, detalhes ou acessórios de cadeiras ou transportes pessoais especialmente adaptadas para pacientes ou pessoas com deficiência física.
A61F5/01	Dispositivos ortopédicos, p. ex. dispositivos de mobilização a longo prazo ou de pressionamento direto para o tratamento de ossos quebrados ou deformados tais como talas, moldes ou suportes.
A61B5/103	Dispositivos para detecção, medição ou registro para verificar a forma, padrão, tamanho ou movimento do corpo ou suas partes para fins de diagnóstico.
A61G5/04	Cadeiras ou transportes pessoais especialmente adaptadas para pacientes ou pessoas com deficiência física acionadas por motor.

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do INPI e Espacenet (2021)

Na análise dos depositantes, observa-se o predomínio das Instituições Científicas, Tecnológicas e de Inovação (ICTs), com 54,92% dos depósitos encontrados, seguidas pelas empresas, com 25,41%, e pelos inventores independentes, com 9,29%. Além disso, observou-se que 10,38% dos depósitos foram realizados em regime de cotitularidade (Figura 5).

Figura 5 – Percentual de depósitos por tipo de depositante (N = 366)



Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do INPI e Espacenet (2021)

Em relação aos titulares dos depósitos de patentes analisados, realçam-se os 13 titulares com maior número na Tabela 1. Dentre os 366 depósitos de patentes, a *Hebei University of Technology* (HEBUT) é titular em 12. A HEBUT foi fundada em 1903 como *Beiyang Technical School* e está localizada na cidade de Tianjin, na

província de Hebei, China. A instituição tem cooperado sucessivamente com grandes empresas nacionais e estrangeiras para o desenvolvimento de tecnologias. A maioria dessas tecnologias foi colocada no mercado, criando benefícios econômicos para o país que superam 156,4 bilhões de dólares. Essa conquista se deve à estruturação do Centro de Transferência de Tecnologia HEBUT, criado em 2007, para integrar diversos recursos científicos e tecnológicos no desenvolvimento de patentes voltadas para o mercado (HEBUT, 2021).

Tabela 1 – Titulares com maior número de depósitos de patentes (N = 366)

Titular	Quantidade de depósitos
<i>Hebei University of Technology</i>	12
<i>Shenzhen Milebot Robot Technology Co Ltd</i>	9
<i>Southern University of Science & Technology</i>	9
<i>Shenzhen Institute of Advanced Technology</i>	7
<i>Harbin Institute of Technology</i>	7
<i>University of Electronic Science and Technology of China</i>	7
<i>Tianjin University</i>	7
<i>Nanjing Vishee Medical Technology Co Ltd</i>	6
<i>Nanjing Institute of Technology</i>	6
<i>Beijing Institute of Technology</i>	6
<i>University of Science and Technology of China</i>	6
<i>University of Shanghai for Science and Technology</i>	6
<i>Zhejiang University</i>	6

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do INPI e Espacenet (2021)

Importante destacar, também, que todos os titulares acima se encontram na China, bem como, dentre os 13, é possível observar que 2 consistem em empresas, quais sejam *Shenzhen Milebot Robot Technology Co Ltd* e *Nanjing Vishee Medical Technology Co Ltd*, e 11 em ICTs. No tocante aos inventores, os 12 com maior número de depósitos de patentes são apresentados na Tabela 2. Como se pode observar, Fu Chenglong se destacou com 11 depósitos.

Tabela 2 – Inventores com maior número de depósitos de patentes (N = 366)

Inventor	Quantidade de depósitos	(%)
Fu Chenglong	11	3
Chen Gong	9	2,5
Ye Jing	9	2,5
Zhang Xu	9	2,5
Cheng Hong	8	2,2
Huang Guan	7	1,9
Kazerooni Homayoon	7	1,9
Leng Yuquan	7	1,9
Li Zhijun	7	1,9
Ma Liang	7	1,9
Qiu Jing	7	1,9
Zhang Liancun	7	1,9

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do INPI e Espacenet (2021)

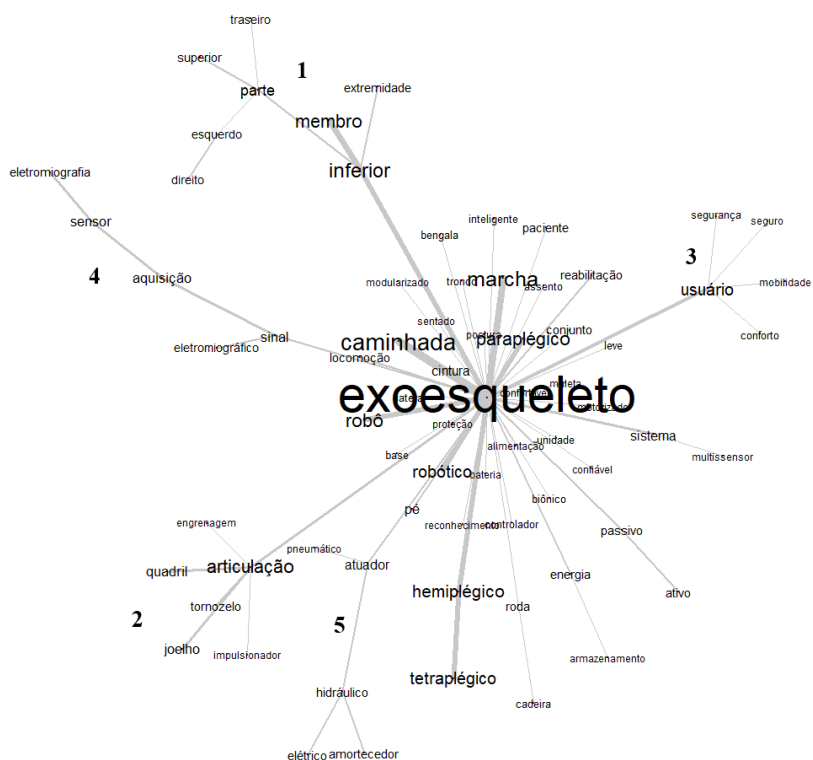
Fu Chenglong é professor da *Southern University of Science and Technology* (SUSTech), localizada na China. Atualmente, suas áreas de interesse em pesquisa são “caminhada dinâmica, robôs bípedes e humanoides, próteses motorizadas,

exoesqueleto de membros inferiores e interação de robôs humanos”. Suas últimas produções têm versado sobre o desenvolvimento de equipamentos para auxílio na locomoção e na realização de atividades cotidianas, merecendo destaque o artigo intitulado “Avaliação preliminar de um exoesqueleto baseado em sinergia postural para reabilitação pós-AVC”, publicado em agosto de 2021 (SUSTech, 2021).

De fato, o número crescente de AVCs, LMEs e o envelhecimento da população intensificou as pesquisas sobre exoesqueletos robóticos de assistência à locomoção humana. Os avanços e tendências tecnológicas nesse campo podem ser verificados pela relação de coocorrência entre as palavras presentes nos resumos dos documentos de patentes. Na análise de similitude, obteve-se 187.965 ocorrências de palavras, sendo 35.476 ativas e 152.489 suplementares. Na Figura 6, encontra-se a árvore de conexões entre as 75 palavras com frequência de coocorrências superior a 50 no *corpus* textual. A palavra “exoesqueleto” apresentou 2245 coocorrências e forte conexão com as palavras “paraplégico” (1590), “marcha” (377), “caminhada” (964), “robótico” (305), destacando-se como eixo central nos documentos das patentes.

Observa-se também a formação de grupos adjacentes ao eixo central, o que indica que as palavras neles contidas refletem temas idênticos. O primeiro grupo é representado pelas palavras “membro inferior” e “parte” e está relacionado à localização espacial do exoesqueleto no corpo do usuário (524 coocorrências). O segundo e o terceiro grupos englobam palavras relacionadas às “articulações” (213) presentes no exoesqueleto e aos benefícios quando utilizadas pelo “usuário” (147), respectivamente. O quarto grupo refere-se ao sistema de controle da locomoção do exoesqueleto, pois inclui palavras como sinal (223), eletromiografia (120) e sensor (195). O quinto grupo apresenta os principais mecanismos de “atuação” (315) para gerar movimento.

Figura 6 – Coocorrências das palavras nos documentos de patentes (N = 366)



Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados do INPI e Espacenet (2021)

Os exoesqueletos divulgados nos documentos de patentes integram inteligência artificial, robótica, biônica, ergonomia e outras tecnologias de diferentes campos tecnológicos. Por exemplo, a patente BR102017018035-2A2 divulga um exoesqueleto de membro inferior para reabilitação de pacientes com dificuldade de locomoção devido a AVCs. A principal vantagem está nas três articulações localizadas no quadril, joelhos e tornozelos que permitem ao usuário realizar movimentos básicos como caminhar, subir e descer escadas, sentar e levantar.

O aumento do número de articulações presentes no exoesqueleto também foi proposto em várias patentes. Quando as articulações são posicionadas estrategicamente paralelas às do usuário, permitem um maior número de movimentos e facilitam sua locomoção. As patentes CN106806094A, CN106901949A e KR101996920B1 descrevem exoesqueletos dotados de articulações de abdução e rotação, que permitem a abertura das pernas paréticas e rotação do quadril dos pacientes paraplégicos ou amputados de maneira conveniente e segura.

Alguns exoesqueletos podem sobrecarregar o sistema musculoesquelético dos membros inferiores devido ao seu volume e peso. A patente BR102013031645-8A2 descreve um exoesqueleto com sistema de amortecedores de molas que garante a redução significativa do desgaste muscular e fadiga nos músculos das pernas dos usuários.

A patente CN110251370A divulga um exoesqueleto leve e que não precisa de nenhum impulso de uma fonte de energia externa. Seu movimento depende inteiramente da própria movimentação do paciente, a partir do autobalanceamento do torque gerado pela carga nas articulações do aparelho. Um sistema semelhante também é proposto na patente CN113181009A. Essa invenção tem um suporte para manter o equilíbrio dos movimentos de pessoas com hemiplegia e tetraplegia, visto que essa condição requer uma certa medida de força nos membros superiores para ficar em pé, andar e sentar.

Outro ponto de melhoria diz respeito ao uso de exoesqueletos unilaterais por pacientes com paralisia cerebral e hemiplegia. Os exoesqueletos tradicionais possuem estruturas simétricas, tornando seu uso inviável, pois interferem no peso e na inércia da perna saudável. Por isso, as patentes CN203954118U e CN104825311A fornecem um exoesqueleto unilateral de membro inferior com um design altamente adaptável para ajudar os pacientes hemiplégicos a manter o equilíbrio e se mover com eficiência. Com o mesmo mecanismo, as patentes US10912666B2 e CN112472529A são destinadas a crianças e idosos, respectivamente.

O modelo de utilidade CN110974631A divulga um exoesqueleto robótico assimétrico de membro inferior, que também pode ser usado em pacientes com paralisia cerebral e hemiplegia. Esse dispositivo permite a movimentação ativa e passiva ao mesmo tempo, pois possui uma perna para aquisição dos dados de movimento das articulações dos membros inferiores e outra perna motorizada. Assim, os dados de referência coletados pelos sensores de pressão plantar são fornecidos à perna motorizada, que fornece energia suficiente para a locomoção do usuário.

Muitos exoesqueletos usam dispositivos semelhantes a botões para acionamento de comandos robóticos, como na invenção relatada na patente CN208926954U. A patente US10369071B2 também discorre sobre um exoesqueleto com mecanismo de acionamento manual, mas os movimentos das articulações das pernas são proporcionais aos movimentos das articulações do braço. A BR102014017342-0B1 relata um exoesqueleto para pacientes paraplégicos composto por um mecanismo paralelo que combina os movimentos de um sistema de manivela para reproduzir o movimento da marcha humana.

Para contornar os problemas de uso exacerbado das mãos/braços e acionamentos acidentais, a patente CN109498375A propõe um dispositivo de controle para o reconhecimento da intenção do movimento humano, a partir de um módulo para adquirir informações em tempo real sobre o movimento do braço para pacientes paraplégicos ou amputados. Uma melhoria na tecnologia de detecção de intenção de movimento também foi proposta nas patentes CN104224498A e CN106176149A, que substituem a detecção de sinal eletromiográfico por sensores inteligentes de percepção cinemática.

A patente JP2019205819A fornece um exoesqueleto que pode ser usado sozinho ou acoplado a uma cadeira de rodas motorizada. Este sistema possui um controlador inteligente que coordena vários movimentos sincronizados entre a cadeira de rodas motorizada e o exoesqueleto. A vantagem relatada baseia-se na possibilidade de o usuário sentar-se em uma cadeira de rodas motorizada, levantar-se da posição sentada quando estiver fora da cadeira de rodas motorizada ou utilizá-la como andador.

Levando em consideração que nem todos os lugares são acessíveis com cadeira de rodas, as patentes WO2021084579A1, CN105105986B e CN109846682A visam superar essa desvantagem com um exoesqueleto híbrido, ou seja, integrado à cadeira de rodas. Essas patentes descrevem exoesqueletos que permitem que usuários paraplégicos alternem seu uso para caminhada bípede e cadeiras de rodas de avanço rápido, apenas deformando sua estrutura. A versatilidade desse tipo de invenção tem sido objeto de interesse mundial, pois alia o conforto de uma cadeira de rodas à liberdade e independência que o exoesqueleto pode proporcionar.

Diante desse cenário, percebe-se que o exoesqueleto vem sendo aprimorado ao longo dos anos, possibilitando o surgimento de novos meios de locomoção e desempenhando um papel fundamental na transformação do cotidiano das pessoas com distúrbios de mobilidade, através do ganho de qualidade de vida e saúde, bem como da promoção de mais acessibilidade e de maior independência nas atividades da vida diária (AVDs). Além disso, também contribui para melhorar o ambiente de trabalho e aumentar a eficiência produtiva do ser humano.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A grande incidência de distúrbios de mobilidade em pessoas levou ao desenvolvimento, pela ciência, de dispositivos que possam auxiliar e melhorar a qualidade de vida destes seres humanos, como é o caso dos exoesqueletos. Há uma predominância da China na produção destes equipamentos, com 272 depósitos, tendo sido observado, ainda, um baixo desempenho do Brasil, que possui apenas 3 depósitos dentre os 366 detectados.

Além disso, foi possível identificar um crescimento no depósito patentário destas tecnologias a partir de 2007, tendo o seu pico em 2019, com 76 ocorrências. Dentre os depositantes, por sua vez, encontrou-se uma maior parte de ICTs ocupando posição de destaque, com 60,93% dos depósitos.

O trabalho apontou para um crescente interesse no estudo e no desenvolvimento de exoesqueletos robóticos para auxílio na mobilidade de pessoas, o que pode trazer resultados positivos não apenas para o campo da saúde, mas também para a melhoria do ambiente de trabalho e aumento da eficiência produtiva do ser humano.

Os resultados aqui delineados ratificam a importância da prospecção tecnológica como ferramenta eficiente de monitoramento tecnológico, a partir da qual empresas, ICTs e inventores independentes podem direcionar esforços e investimentos de PD&I com maior precisão e desenvolver abordagens eficazes de reabilitação.

Sugere-se, assim, que novas pesquisas sejam realizadas em outras bases de dados de patentes e que outras terminologias sejam utilizadas. Além disso, os próximos estudos podem se debruçar sobre as razões pelas quais a China predomina neste setor, bem como quais as consequências que o uso prolongado desse tipo de tecnologia pode trazer.

Technological Prospecting on robotic exoskeleton to assist human locomotion

ABSTRACT

The number of people with mobility problems due to stroke, spinal cord injury (SCI) and other related diseases is growing rapidly worldwide. This fact requires the development of assistive technologies to aid in the mobility and rehabilitation of affected people. In this perspective, this study aimed to perform a technological prospection about robotic exoskeletons to assist human locomotion. The method employed consisted of structured searches in the Espacenet and the Brazilian National Institute of Industrial Property (NIIP) databases, in which 366 patent applications were identified between 1995 and 2020. Espacenet grouped 99.18% of the deposits related to the technology of interest, being the Scientific, Technological and Innovation Institutions (STIs) the ones that stood out in the quantity of deposits (60.93%). Furthermore, China's dominance in the robotic exoskeleton market was evident, as it accounted for 74.6% of the registrations made worldwide. Given the scenario analyzed, it was noticed that robotic exoskeletons have been improved over the years, and that such technological advances have enabled the emergence of new means of locomotion and the transformation of the daily lives of people with mobility disorders.

KEYWORDS: Mobility disorder. Physical disability. Patents. Robotic exoskeleton.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

ALVES, W. G.; BROSCO, M. C.; CAMILLO, V.; COSTA, F.O.; SILVA, M.C.; SILVA, L.A.; KUNKEL, M.E. Protótipo de exoesqueleto para reabilitação de membros superiores. In: XXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA, 2014, Uberlândia, MG. **Anais [...]**. Uberlândia, MG, 2014.

AMPARO, K. K. S.; RIBEIRO, M. C. O.; GUARIEIRO, L. L. N. Estudo de caso utilizando mapeamento de prospecção tecnológica como principal ferramenta de busca científica. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 17, n. 4, p. 195-209, 2012.

ARNOLD, F.; SANTOS, C. A concessão de patentes no Brasil: um estudo exploratório. Programa de Apoio à Iniciação Científica, v. 17, n 1, p. 101-115, 2016. CHEN, B. *et al.* Recent developments and challenges of lower extremity exoskeletons. **Journal of Orthopaedic Translation**, v. 5, n. 1, p. 26–37, 2016.

CHOI, H.; NA, B.; LEE, J.; KONG, K. A User Interface System with See-Through Display for WalkON Suit: A Powered Exoskeleton for Complete Paraplegics. **Applied Sciences**, v. 8, n. 11, e2287, 2018.

COUTINHO, K. D. *et al.* **Desenvolvimento de exoesqueleto: uma revisão bibliográfica**. Anais do I Simpósio de Inovação em Engenharia Biomédica-SABIO, 2017, p. 37.

EBC. **Dia internacional das pessoas com deficiência: avanços e desafios no Brasil**. Revista Brasil, 2020. Disponível em: <<https://radios.ebc.com.br/revista-brasil/2020/12/dia-internacional-das-pessoas-com-deficiencia-avancos-e-desafios-no-brasil>> Acesso em: 16/11/2021.

EPO. **Espacenet patent search**. Disponível em: <<https://www.epo.org/searching-for-patents/technical/espacenet.html>>. Acesso em: 24/11/2021.

GARCEZ JR., S. S.; MOREIRA, J. J. S. O backlog de patentes no Brasil: o direito à razoável duração do procedimento administrativo. **Revista Direito GV**, v. 13, n. 1, p. 171-203, 2017.

GIL. A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6ª ed. São Paulo: Atlas. 2017.

HEBUT. **Cooperação em pesquisa científica**, 2021. Disponível em: <<https://www.hebut.edu.cn/kxyj/kyhz/index.htm>>. Acesso em: 28/11/2021.

IBGE. **Pessoas com deficiência**. IBGE Educa Jovens, 2021. Disponível em: <<https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/20551-pessoas-com-deficiencia.html>>. Acesso em: 17/11/2021.

INPI. **Patentes.** Disponível em: <<https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/patentes>>. Acesso em: 22/10/2021.

INPI. **Tratado de Cooperação em matéria de Patentes (PCT).** Disponível em: <<https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/patentes/Como-proteger-patente-no-exterior/pct/tratado-de-cooperacao-em-materia-de-patentes-pct>>. Acesso em: 24/11/2021.

IRAMUTEQ. **Documentation.** Disponível: <<http://www.iramuteq.org/documentation>>. Acesso em: 24/11/2021.

LI, Y. *et al.* Efficacy of a Novel Exoskeletal Robot for Locomotor Rehabilitation in Stroke Patients: A Multi-center, Non-inferiority, Randomized Controlled Trial. **Frontiers in Aging Neuroscience**, v. 13, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnagi.2021.706569>

MCTIC. **Indicadores Nacionais de ciência Tecnologia e Inovação - 2019.** Disponível em: <https://antigo.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/indicadores/arquivos/Indicadores_CTI_2019.pdf>. Acesso em: 28/11/2021.

MEDA-GUTIÉRREZ, J. R.; ZÑIGA-AVILÉS, L. A.; VILCHIS-GONZÁLEZ, A. H.; ÁVILA-VILCHIS, J. C. Knee Exoskeletons Design Approaches to Boost Strength Capability: a review. **Applied Sciences**, v. 11, n. 21, e9990, 2021.

NUSSBAUM, M. A.; LOWE, B. D.; LOOZE, M.; HARRIS-ADAMSON, C.; SMETS, M. An Introduction to the Special Issue on Occupational Exoskeletons. **IISE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors**, v. 7, n. 3–4, p. 153–162, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/24725838.2019.1709695>

OMS. **World report on disability.** Disponível em: <https://www.who.int/disabilities/world_report/2011/report.pdf>. Acesso em: 28/11/2021.

PINTO, D. *et al.* Budget impact analysis of robotic exoskeleton use for locomotor training following spinal cord injury in four SCI Model Systems. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, v. 17, n. 4, 2020.

PLENTZ, R. D. M.; BLAETH, A. G. **Reabilitação robótica em fisioterapia no Brasil: da ficção para a realidade.** In: Associação Brasileira de Fisioterapia Cardiorrespiratória e Fisioterapia. Martins *et al.* (Org.). PROFISIO Programa de Atualização em Fisioterapia Cardiovascular e Respiratória: Ciclo 7. Porto Alegre: Artmed Panamericana, 2021. p. 9–35. (Sistema de Educação Continuada a Distância, v. 3).

SHISHEHGAR, M.; KERR, D.; BLAKE, J. A systematic review of research into how robotic technology can help older people. **Smart Health**, v. 7-8, p. 1-18, 2018.

SUSTech. **Chenglong Fu, 2021.** Disponível em: <<https://faculty.sustech.edu.cn/fucl/en/>>. Acesso em: 28/11/2021.

WANG, T. et al. A Review on the Rehabilitation Exoskeletons for the Lower Limbs of the Elderly and the Disabled. **Electronics**, v. 11, n. 3, e388, 2022. <https://doi.org/10.3390/electronics11030388>

WIPO. **International Patent Classification (IPC)**. Disponível em: <<https://www.wipo.int/classifications/ipc/en/>>. Acesso em: 28/11/2021.

ZAPAROLLI, D. **Robôs que ajudam a andar, 2021**. Disponível em: <<https://www.nexojournal.com.br/externo/2021/04/01/Rob%C3%B4s-que-ajudam-a-andar>>. Acesso em: 20/10/2021.

Recebido: 10/05/2022
Aprovado: 24/02/2023
DOI: 10.3895/rts.v19n56.15474

Como citar:

BARRETO NETTO, J.; DOS SANTOS, J. W.; REZENDE, C. M. F. et al. Prospecção tecnológica sobre exoesqueleto robótico de assistência à locomoção humana. **Rev. Technol. Soc.**, Curitiba, v. 19, n. 56, p.112-127, abr./jun., 2023. Disponível em: <https://periodicos.utfr.edu.br/rts/article/view/15447>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

