

Utilização de membros protéticos fabricados a partir de impressão 3D para amputados

The use of prosthetic limbs fabricated from 3D printing for amputees

Renan Alves Rodrigues¹, Thiago Domingues Stocco²

RESUMO

Introdução: As próteses são definidas como dispositivos destinados a suprir a funcionalidade completa ou parcial de um membro ausente, de forma a prover independência ao indivíduo amputado, além de melhorar aspectos psicológicos e sociais. Portanto, a escolha da prótese adequada tem um papel fundamental no processo de reabilitação desses pacientes. Nesse contexto, a tecnologia de impressão tridimensional (3D) aplicada na área da saúde tem agregado novas possibilidades na fabricação de próteses. **Objetivo:** Analisar as evidências da utilização de próteses fabricadas utilizando a tecnologia de impressão 3D em amputados. **Métodos:** Trata-se de uma revisão de literatura de artigos científicos indexados nas bases de dados MEDLINE, SciELO e LILACS. A pesquisa foi realizada sem restrição de data ou idioma, com base na combinação das palavras-chave: amputação, próteses, impressão tridimensional e membros artificiais. Resultados: A análise foi desenvolvida utilizando 13 artigos que apresentaram como principais vantagens das próteses fabricadas em impressão 3D o baixo custo e menor tempo de fabricação, personalização, manutenção barata, próteses mais leves, modelos digitais de próteses disponíveis gratuitamente e possibilidade de agregar outros sistemas como polias e sistemas mioelétricos. As desvantagens incluem próteses com materiais menos duráveis, menos rígidos, com pouca estabilidade térmica, além de apresentarem baixa força de preensão manual e necessidade de mais profissionais qualificados para o processo de fabricação. **Conclusão:** As próteses desenvolvidas utilizando a tecnologia de impressão 3D melhoram a qualidade de vida em indivíduos com deficiência física, permitindo-os executar ações perdidas pela ausência do membro. Embora exista alguns obstáculos e desvantagens, a tecnologia de impressão 3D tem emergido como potencial ferramenta para construção de próteses personalizadas e mais acessíveis.

Palavras-Chave: Amputação; Próteses e Implantes; Impressão Tridimensional; Membros Artificiais

ABSTRACT

Introduction: Prostheses are defined as devices intended to supply the complete or partial functionality of an absent member to provide independence to the amputee, in addition to improving psychological and social aspects. Therefore, the choice of the appropriate prosthesis has a fundamental role in the rehabilitation process with these patients. In this context, 3D-printing applications had added new possibilities in the medical field regarding the manufacture of prostheses. **Objective:** To analyse the evidence of the use of 3D-printed prosthetic limbs to amputees. **Methods:** This is a literature review based on scientific articles indexed in the MEDLINE, SciELO and LILACS databases. The research was performed without restriction of date or language, based on the combination of **Results:** The analysis was developed using 13 articles that presented as the main advantages of 3D-printing manufactured prostheses the following: low cost and shorter manufacturing time, customization, low-cost maintenance, lighter prostheses, free-of-charge available digital models of prostheses and the possibility of adding other systems such as pulleys and myoelectric systems. The disadvantages include prostheses with fewer durable materials, fewer rigid devices, with little thermal stability, in addition to having low handgrip strength. **Conclusion:** The use of 3D-printed prosthetic limbs improved the quality of life of individuals with physical disabilities, allowing them to perform activities of daily living mainly lost due to missing limb. Although there are some obstacles and disadvantages regarding 3D printing technology, it has emerged as a potential tool for building personalized and more affordable prostheses.

Keywords: Amputation; Prostheses and Implants; Printing; Three-Dimensional; Artificial Limbs

Contribuição dos autores: RAR delineamento do estudo, discussão dos achados, elaboração e redação do manuscrito. TDS orientação do projeto, delineamento do estudo, elaboração e redação do manuscrito.

Contato para correspondência: Thiago Domingues Stocco

E-mail: tdstocco@live.com

Conflito de interesses: Não

Financiamento: Não há

Recebido: 30/05/2019
Aprovado: 30/11/2020



INTRODUÇÃO

A amputação é definida como a ausência parcial ou total de um membro, sendo um procedimento muitas vezes realizado como forma de tratamento para diversas doenças, cujo intuito é melhorar a qualidade de vida do paciente¹⁻². Números do Sistema de Informações

Hospitalares do SUS (SIH/SUS) demonstram que no Brasil, no período de janeiro de 2014 a junho de 2018, ocorreram nos ambientes hospitalares do SUS, 107.096 e 129.004 internações, envolvendo procedimentos de amputações de membros superiores e inferiores, respectivamente³. O processo de amputação tem um alto custo

para os cofres públicos com despesas, implicando longos períodos de internação, exames, medicamentos, processo cirúrgico, além de outros custos menores. Estima-se que os valores relacionados desde início da internação do indivíduo até após a cirurgia da retirada do membro, estão entre R\$ 1.211,54 e R\$ 12.357,60 por paciente⁴.

As causas de amputações são diversas e incluem fatores, como osteomielite, embolização periférica, trombozes e infecções necróticas de tecidos moles⁴. Casos de acidentes com instalações elétricas de alta tensão podem afetar profundamente estruturas anatômicas e neuromusculares e, nesses casos, a amputação pode se apresentar como o único procedimento viável para o tratamento inicial⁵. Ferimentos por projéteis de arma de fogo, colisões entre veículos motorizados, dispositivos de corte, pedestres atingidos por veículos também estão entre as causas mais comuns de amputações⁷. Acidentes com esmagamento de membro, ocasionando lesões que resultam em amputação de dedos, mão ou antebraço, são frequentes no ambiente de trabalho que envolvem máquinas e ferramentas metálicas⁸. Vale destacar que, além das amputações, indivíduos que nascem com malformações congênitas das extremidades, também podem apresentar ausência parcial ou total do membro⁹.

A ausência de membros afeta o aspecto individual e social do indivíduo, pois os membros têm grande influência na execução de funções motoras, como locomoção, gestuais e atividades funcionais do nosso dia a dia¹⁰⁻¹⁴. Os indivíduos que passam por essa experiência, comumente apresentam dificuldades nas atividades diárias, como perda de independência, problemas relativos ao bem-estar, alterações negativas em sua vida profissional e afetiva e mudanças de identidade¹⁵. Ansiedade, depressão e desconforto social são apontados como conseqüências frequentes do processo de amputação¹⁶. As alterações físicas podem se tornar mais complexas, como o surgimento de deformidades em flexão, excesso de tecidos moles, neuromas dolorosos, irregularidades ósseas, cicatrização inadequada e comprometimento vascular¹⁷.

A reabilitação de pacientes amputados tem como objetivo alcançar a maior independência e a reincorporação, o mais breve possível, às atividades da vida cotidiana¹⁸. É nesse contexto que as próteses estão inseridas. As próteses, por definição, são dispositivos destinados a suprir a ausência completa ou parcial de um membro¹⁹. O conceito de protetização está relacionado à independência funcional do amputado, influenciando também na melhora do aspecto autoimagem e relação social. Durante o processo de reabilitação, a protetização deve ocorrer de forma funcional e gradualmente progredir em complexidade, assim como as tarefas realizadas deverão abordar objetivos específicos²⁰.

A escolha da prótese dependerá desde as condições físicas do amputado, como as condições do coto e controle motor da musculatura, até as condições financeiras, cognitivas e objetivos individuais²¹. O tempo de espera pela prótese é outro fator a ser levado em consideração e deverá ser o menor possível²².

A ampla gama de dispositivos protéticos disponíveis pode ser dividida entre próteses ativas ou passivas. Estruturas comumente abrangendo sistemas eletrônicos, motores, cabos e eletrodos que fornecem energia externa ao corpo e, portanto, movimento ao segmento corporal, são consideradas próteses ativas. A prótese mioelétrica é um exemplo de prótese ativa, na qual o dispositivo é ativado a partir de sinais musculares e gera movimentação do membro²³. Embora ofereçam maior desempenho e maior funcionalidade, as próteses ativas representam um sistema de alta complexidade. Por outro lado, nas próteses passivas não ocorre movimento a partir das próteses, oferecendo apenas funcionalidades básicas e, dessa forma, sendo utilizadas com finalidade mais estética do que funcional²⁴.

Atualmente, com avanço da tecnologia, existem próteses que possibilitam vantagens quanto às funções realizadas, porém, o custo elevado desses dispositivos é um obstáculo para sua aquisição²⁵. O mercado possui vários modelos avançados das próteses ativas, com preços variando de quatro mil a setenta mil dólares, tornando-as pouco acessíveis²⁶. No caso de criança, as necessidades protéticas são ainda mais complexas, em função do seu tamanho pequeno e crescimento constante, influenciando em diversas trocas de próteses durante a fase de desenvolvimento infantil¹⁴.

O desenvolvimento das próteses deve levar em consideração diversos aspectos práticos, dentre eles, o peso do dispositivo protético²⁷. Assim, o material utilizado na confecção dos dispositivos certamente influencia no desempenho e funcionalidade da prótese. Tradicionalmente, os principais materiais utilizados para o desenvolvimento das próteses são o aço, titânio, alumínio e fibra de carbono²⁸. Polímeros termoplásticos, tais como o Poliláctico Láctico (PLA) e o Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS), têm surgido como potenciais materiais para a fabricação de próteses, principalmente a partir da tecnologia de impressão tridimensional (3D)²⁹.

A impressão 3D, ou manufatura aditiva, é um método de fabricação de objetos tridimensionais, em que materiais são fundidos ou depositados, normalmente em camadas, sob controle de um computador³⁰. A tecnologia de impressão 3D possui várias técnicas de impressão, tais como a Estereolitografia (SLA), *Polyjet*, Sinterização Seletiva a Laser (SLS) e a Fabricação com Filamento Fundido (*Fused Deposition Modeling*, FDM)³¹. A FDM é a técnica de impressão 3D mais comumente difundida e utilizada, uma vez que possui baixo custo, capacidade de construir objetos rapidamente e com boa precisão, tornando-a uma tecnologia de fabricação de objetos com ótima relação de custo-benefício. Resumidamente, neste método, um filamento de polímero termoplástico é aquecido e depositado em camadas por um bico extrusor na plataforma de construção, criando um objeto a partir de um modelo 3D digital³².

A impressão 3D no ambiente da medicina está agregando novas possibilidades para a reabilitação de indivíduos com ausência de membros, uma vez que permite a criação de próteses personalizadas, com rápida impressão, baixo custo e maior acessibilidade²⁵. A tecnologia de impressão 3D, aplicada à fabricação de próteses para amputados possibilitaria a utilização de próteses mais adequadas para um período de transição, sendo uma importante vantagem em crianças na fase de crescimento^{31,34-35}.

Nesse cenário, em virtude da crescente incidência de indivíduos com ausência de membros, à urgente necessidade do desenvolvimento de novos dispositivos protéticos e ao potencial da tecnologia de impressão 3D, torna-se relevante uma discussão sobre a aplicação dessa promissora tecnologia na construção de próteses. Dessa forma, este trabalho tem por objetivo desenvolver uma análise das evidências encontradas na literatura científica da aplicação de próteses fabricadas a partir da tecnologia de impressão 3D.

MÉTODOS

O trabalho corresponde a um estudo de revisão de literatura integrativa, de artigos científicos oriundos das bases de dados eletrônicas MEDLINE, SciELO, e LILACS, sem restrição de datas e idiomas. Para a pesquisa foram adotadas as seguintes palavras-chave de acordo com os Descritores em Ciências da Saúde (DeCS): Amputação, Próteses, Impressão Tridimensional e Membros Artificiais, na língua portuguesa; e *Amputation, Prosthesis, Printing, Three-Dimensional, Artificial Limbs*, na língua inglesa.

Como critérios de inclusão foram selecionados artigos que abordaram a aplicação de próteses, tanto ativas como passivas, desenvolvidas a partir da tecnologia de impressão 3D em indivíduos com ausência de

membros. Foram excluídos da pesquisa artigos de revisão de literatura, artigos sobre próteses fabricadas por impressão 3D, mas sem evidenciar sua aplicação ou que aplicaram em indivíduos com membros normais.

A coleta de dados foi realizada no período de março a junho de 2020. Após a seleção dos artigos, estes foram lidos e analisados, conforme os objetivos da pesquisa.

RESULTADOS

Foram encontrados 30 artigos científicos, dos quais 13 estavam de acordo com os critérios de inclusão estabelecidos para esta revisão, distribuídos em relato de caso, séries de caso e estudos experimentais. A pesquisa foi desenvolvida com seis estudos envolvendo crianças, cinco estudos envolvendo homens acima de 40 anos e dois estudos sem informações da idade dos indivíduos (Tabela Suplementar).

A Tabela 1 apresenta os principais testes funcionais utilizados para avaliar o desempenho das próteses utilizadas nos estudos incluídos. Um resumo das conclusões obtidas nos testes avaliativos também está incluído na tabela.

Tabela 1. Testes avaliativos aplicados para análise do desempenho das próteses fabricadas com impressão 3D por meio de execução de tarefas.

Autor	Testes avaliativos	Conclusão dos testes
(Yoshikawa et al. 2015) ⁴³	Teste de Procedimento de Avaliação da Mão de Southampton (SHAP)	Melhor desempenho em atividades de praxia fina; limitação da prótese com atividades com objetos pesado.
(Lee et al. 2017) ²⁵	Teste de caixa e blocos, teste de nove furos de Pegboard, teste de força.	Melhor desempenho na destreza manual com o uso da prótese; baixa força de preensão da prótese.
(ZUNIGA et al. 2017b) ³⁵	Teste de força.	Pouca preensão e força do dispositivo protético.
(Alvial et al. 2018) ³⁹	Jebsen Hand Function Test (JHFT).	Melhor desempenho ao utilizar as próteses ao realizar as tarefas de virar o cartão, levantar e segurar objetos pequenos, na alimentação simulada e na manipulação de objetos grandes e leves.
(Lee et al. 2018) ⁴²	Teste da função manual de Jebsen-Taylor, Teste de caixa e blocos	Melhor desempenho ao utilizar a prótese para as tarefas de virar o cartão, levantar e segurar objetos pequenos, alimentação simulada e na manipulação de objetos grandes e leves. Melhor desempenho na destreza manual com uso da prótese
(Swartz et al. 2018) ⁴⁰	Teste de caixa e blocos	Melhor desempenho na destreza manual com o uso da prótese.

DISCUSSÃO

A presente pesquisa encontrou artigos sobre próteses feitas com a tecnologia de impressão 3D, aplicadas diretamente em indivíduos com amputação adquirida ou com doenças congênitas em membros, sendo esses estudos em indivíduo isolados, ou em pequeno grupo de indivíduos. As etapas para o desenvolvimento das próteses com a tecnologia de impressão 3D são similares às próteses tradicionais, porém, realizadas com recursos e métodos diferentes (Figura 1).

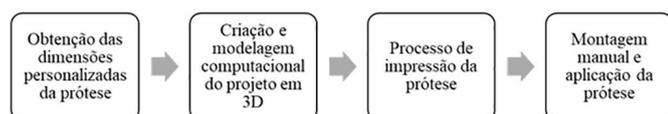


Figura 1. Resumo das etapas de desenvolvimentos das próteses fabricadas a partir da tecnologia de impressão 3D

As próteses de impressão 3D com sistema de polias permitiram ao usuário ganho de funções pelo sistema de fechamento da prótese. As próteses passivas, fabricadas a partir de impressão 3D, mesmo não realizando movimento, auxiliaram nas atividades, melhorando a destreza manual. As próteses de impressão 3D com sistema mioelétrico permitiram melhor controle no movimento da prótese, porém, com custo mais elevado quando comparado com as próteses passivas.

Na pesquisa, foram encontradas cinco próteses de antebraço, três de mão, quatro de dedos e uma de ombro. A ausência de próteses de membros inferiores pode ser explicada, em virtude da baixa propriedade mecânica dos materiais utilizados na confecção dos dispositivos protéticos, que não possuem resistência suficiente para aguentar altas cargas de peso corporal sobre o material. As próteses foram desenvolvidas a partir de materiais termoplásticos, ABS e PLA (Tabela 1). No entanto, embora esses materiais possuam menor rigidez e resistência, quando comparados a outros materiais tradicionais da construção de próteses, principalmente quando há fatores externos como impacto e altas temperaturas, esses polímeros apresentam menor custo e, em função de sua flexibilidade, permitem o desenvolvimento de peças complexas. O PLA é considerado um polímero reciclável, biodegradável, bioabsorvível e biocompatível, tornando-o um dos biopolímeros mais promissores⁴⁵.

Os estudos analisados encontraram como desvantagens das próteses fabricadas por impressão 3D, a durabilidade dos materiais, as limitações quanto a temperatura e resistência, influenciando em quebras e danificações dos dispositivos protéticos, necessitando de trocas de peças após um período de uso. Os estudos relataram baixa força de preensão manual das próteses de membro superiores. A preensão manual é um dos fatores mais levados em consideração pelos usuários das próteses e pode ser considerada uma grande desvantagem desse tipo de dispositivo. Essa limitação impede que os pacientes realizem tarefas simples como levantar objetos mais pesados ou segurar um objeto por um período maior de tempo, com isso, o usuário sente-se menos confiante para utilizar o dispositivo^{29,34,35,38-41,43}.

Com relação à avaliação do desempenho das próteses, existem testes funcionais quantitativos, que envolvem tarefas a ser executadas com as próteses, nas quais tempo, quantidade e qualidade são tópicos que influenciam no *feedback* de funcionalidade da prótese para o amputado^{23,46}. Dessa forma, a aplicação das próteses deve ser realizada em conjunto de testes avaliativos, a fim de analisar o desempenho do indivíduo em tarefas específicas e, com isso, permitir realizar melhorias no desenvolvimento de novos dispositivos protéticos. Foi observado que mais da metade dos artigos não realizaram testes avaliativos das próteses utilizadas, sendo, portanto, uma importante limitação dos trabalhos.

Alguns estudos abordam a possibilidade de utilizar os recursos da impressão 3D para fornecer próteses de transição para crianças em desenvolvimento. O baixo custo do material e a rápida fabricação se encaixam nas necessidades das crianças, em função da fase de crescimento e complexidade de encaixe das próteses^{29,34,38}. Resultados demonstraram que a utilização das próteses de transição fabricadas por impressão 3D, permite melhor relação de custo-benefício, possibilita restaurar e preservar a função, força e mobilidade articular^{29,34,38}.

As próteses de impressão 3D apresentadas nos estudos, possuem variações de custos justificadas pela variedade de tipos de próteses, como uma prótese para polegar, mão ou antebraço. No entanto, independentemente da prótese, a impressão 3D possibilita próteses com custo bem inferior às próteses tradicionais⁴¹. As próteses de antebraços dos estudos analisados, obtiveram valores que variaram entre US\$20,00 e US\$1,250,00^{14,25,37,41,43}. É importante esclarecer que o valor mais alto encontrado se justifica, em razão do sistema eletrônico inserido na prótese⁴³. Dessa forma, próteses construídas com a tecnologia de impressão 3D, são grandes alternativas de dispositivos para melhorar a qualidade de vida de indivíduos com necessidades de prótese de membros superiores, possibilitando maior acessibilidade aos grupos que não possuem boas condições financeiras para próteses de alto custo.

Uma das principais etapas de desenvolvimento de uma prótese, a partir da tecnologia de impressão 3D, é a criação e modelagem 3D da prótese em um *software* de computador como um arquivo digital. Os programas facilitam o desenvolvimento dos projetos, em consequência da dinâmica da modelagem digital, na qual arquivos dos projetos 3D podem ser armazenados e continuados a qualquer momento, realizando alterações e melhorias no *design* e medidas. Existem inúmeras alternativas de programas disponíveis para a impressão 3D, tanto programas pagos quanto gratuitos. Como exemplo, os estudos analisados nesta pesquisa, utilizaram os programas de licença paga: Autodesk Inventor, Zbrush, Geomagic Freeform, Autodesk Fusion 360 e Solidworks; e os programas de licença gratuita: Blender, 123D Catch e MakerWare. A evolução dos programas de Desenho Assistido por Computador (CAD) gratuitos, melhorou o processo de desenvolvimento dos dispositivos protéticos de maneira mais fácil e com um custo menor³⁵. O desenvolvimento de próteses de impressão 3D, por meio de arquivos digitais de código aberto, permite acessibilidade maior para os usuários, uma vez que facilita o processo de fabricação das próteses.

Os estudos compõem-se de variedades de modelos de impressoras 3D, demonstrando a ampla gama de opções da tecnologia. São diversos os modelos de impressoras 3D disponíveis no mercado, sendo diferenciadas principalmente pela técnica de impressão, materiais compatíveis, menor custo do produto, e resolução de impressão. As impressoras 3D utilizadas nos estudos (Tabela Suplementar), todas com a técnica de FDM, obtiveram valores que variaram entre R\$3.500 a R\$23.500 (segundo informações colhidas no site oficial dos fabricantes).

Adicionalmente, analisamos a influência do acompanhamento profissional durante a protetização dessas novas próteses. De forma geral, o acompanhamento do fisioterapeuta para preparação da musculatura residual, parece ter grande importância no controle de próteses de impressão 3D. Há evidências de que a ausência ou acompanhamento ineficiente de um programa de pré e pós protetização interfere no desempenho do controle da prótese fabricada a partir da impressão 3D³⁷. Dois estudos demonstraram melhores resultados com uso da prótese, com um período maior de acompanhamento profissional durante a reabilitação, sendo observadas mudanças nos aspectos de força da musculatura residual e amplitude de movimento articular^{34,38}.

Os estudos ainda relataram a importância de profissionais qualificados para a fabricação das próteses com esse tipo de tecnologia. A ausência do profissional tecnicamente apto, dificulta o desenvolvimento das próteses de impressão 3D e cria um obstáculo para a difusão dessa nova tecnologia em projetos de dispositivos protéticos^{34,37,38}.

CONCLUSÃO

As próteses fabricadas utilizando a tecnologia de impressão 3D, têm potencial para melhorar os aspectos funcionais e emocionais de indivíduos que sofrem com deficiência, permitindo executar ações perdidas pela falta do membro. Essas próteses são uma opção viável para diminuir o problema de acessibilidade das próteses à população com menores condições financeiras.

Embora as vantagens da tecnologia de impressão 3D justifiquem seu uso na fabricação de dispositivos protéticos, as evidências ainda apresentam limitações em alguns aspectos, com destaque para a baixa força de prensão manual, menor durabilidade e rigidez, e baixa estabilidade térmica dos materiais utilizados na confecção dos dispositivos, quando comparado às próteses convencionais. Dessa forma, pesquisas futuras são fundamentais na busca de melhorias no uso da técnica da impressão 3D no desenvolvimento de novas

próteses, assim como novos estudos relacionados à aplicação dessas próteses nos membros inferiores e em outras patologias específicas de membros superiores.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Saúde. Diretrizes de Atenção à Pessoa Amputada. 2013, p. 36. [acesso em 10 out 2018]. Disponível em: http://bvsm.sau.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes_atencao_pessoa_amputada.pdf.
- Albuquerque LAF. Imagem corporal em indivíduos amputados. *Rev Digit - Buenos Aires* 2009; 14: 131.
- DATASUS. Ministério da Saúde - Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS). [acesso em 10 out 2018] Disponível em: <http://datasus.sau.gov.br/informacoes-de-saude/tabnet/assistencia-a-saude> (2019).
- De Oliveira MC, Boaretto ML, Vieira L, et al. A percepção do cuidador familiar de idosos dependentes sobre o papel do profissional da saúde em sua atividade. *Semin Ciências Biológicas e da Saúde* 2014; 35: 81.
- Bhuvaneshwar CG, Epstein LA, Stern TA. Reactions to Amputation: Recognition and Treatment. *Prim Care Companion J Clin Psychiatry* 2007; 09: 303–308.
- Oliveira RA de, Bersan ML, Dupin AE, et al. Abordagem de queimadura elétrica em membro superior. Relato de Caso. *Rev bras queimaduras* 2013; 12: 187–191.
- Borne A, Porter A, Recicar J, et al. Pediatric Traumatic Amputations in the United States: A 5-Year Review. *Journal of Pediatric Orthopaedics* 2017; 37: 104–107.
- Lai CH, Tsui KL, Kam CW. Work-related crushing injuries with amputations of digits, hands and forearms. *Hong Kong Journal of Emergency Medicine* 2007; 14: 22–28.
- Carla Afonso, João P. Coelho, Ana Cadete LA, Ana Vasconcelos IB. Amputações e Malformações Congênitas do Membro Superior na População Pediátrica - Revisão de 27 Anos. *Revista da Sociedade Portuguesa de Medicina Física e de Reabilitação* 2009; 17: 26–29.
- Cordella F, Ciancio AL, Sacchetti R, et al. Literature review on needs of upper limb prosthesis users. *Frontiers in Neuroscience* 2016; 10: 1–14.
- Cassefo V, Nacaratto DC, Chamlian TR. Perfil epidemiológico dos pacientes amputados do Lar Escola São Francisco – estudo comparativo de 3 períodos diferentes. *Acta Fisiatrica* 2000; 10: 67–71.
- Belanger WD, Livani B, Angelini AJ, et al. Amputação dos membros inferiores na criança: relato e experiência em 21 casos. *Acta Ortopédica Bras* 2001; 9: 6–10.
- Freeland AE, Psonak R. Traumatic below-elbow amputations. *Orthopedics* 2007; 30: 120–126.
- Gretsch KF, Lather HD, Peddada K V., et al. Development of novel 3D-printed robotic prosthetic for transradial amputees. *Prosthet Orthot Int* 2016; 40: 400–403.
- Leite NA BM. Vivências de pessoas com diabetes e amputação de membros. *Rev Bras Enferm* 2012; 65: 244–250.
- Senra H, Oliveira RA, Leal I, et al. Beyond the body image: A qualitative study on how adults experience lower limb amputation. *Clin Rehabil* 2012; 26: 180–191.
- Padovani MT, Martins MRI, Venâncio A, et al. Anxiety, depression and quality of life in individuals with phantom limb pain. *Acta Ortop Bras* 2015; 23: 107–110.
- Hernández Pretel I, Cuenca González C, Monleón Llorente L, et al. Soluciones protésicas para una amputación parcial de la mano: a propósito de un caso. *Rehabilitacion* 2018; 52: 137–141.
- Lianza S. Tratamento Protético do Adolescente. In: Lianza S. Medicina de Reabilitação - Associação Brasileira de Medicina Física e Reabilitação. 4ª Ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2007..
- Robinson V, Sansam K, Hirst L, et al. Major lower limb amputation - what, why and how to achieve the best results. *Orthop Trauma* 2010; 24: 276–285.
- Pastre CM, Salioni JF, Oliveira B A F, et al. Fisioterapia e amputação transtibial. *Arq Ciências da Saúde* 2005; 12: 120–124.
- Junior P, Mello M, Monnerat E. Tratamento fisioterapêutico na fase pré-protetização em pacientes com amputação transtibial unilateral. *Fisioter Bras* 2009; 10: 294–299.
- Salminger S, Mayer JA, Sturma A, et al. Prothetische Rekonstruktion der oberen Extremität. *Unfallchirurg* 2016; 119: 408–413.
- Maat B, Smit G, Plettenburg D, et al. Passive prosthetic hands and tools: A literature review. *Prosthet Orthot Int* 2018; 42: 66–74.
- Lee KH, Bin H, Kim KB, et al. Hand functions of myoelectric and 3D-printed pressure-sensored prosthetics: A comparative study. *Ann Rehabil Med* 2017; 41: 875–880.
- Resnik L, Meucci MR, Lieberman-Klinger S, et al. Advanced upper limb prosthetic devices: Implications for upper limb prosthetic rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil* 2012; 93: 710–717.
- Belter JT, Segil JL, Dollar AM, et al. Mechanical design and performance specifications of anthropomorphic prosthetic hands: A review. *J Rehabil Res Dev* 2013; 50: 599.
- Pavani R, Pavani G, Ribeiro J. Ressignificando o Uso de Materiais em Próteses Totais de Membros Inferiores. In: *ENEBI – Encontro Nacional de Engenharia Biomecânica*. 2015, p. 5.
- Zuniga J, Katsavelis D, Peck J, et al. Cyborg beast: A low-cost 3d-printed prosthetic hand for children with upper-limb differences. *BMC Research Notes* 2015; 8: 10.
- Schubert C, Van Langeveld MC, Donoso LA. Innovations in 3D printing: A 3D overview from optics to organs. *Br J Ophthalmol* 2014; 98: 159–161.
- Burn MB, Ta A, Gogola GR. Three-dimensional printing of prosthetic hands for children. *J Hand Surg Am* 2016; 41: 103–109.
- Tappa K, Jammalamadaka U. Novel biomaterials used in medical 3D printing techniques. *Journal of Functional Biomaterials* 2018; 9: 17.
- ten Kate J, Smit G, Breedveld P. 3D-printed upper limb prostheses: a review. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology* 2017; 12: 300–314.

34. Zuniga JM, Peck JL, Srivastava R, et al. Functional changes through the usage of 3D-printed transitional prostheses in children. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology* 2017; 8: 1–7.
35. Zuniga JM, Carson AM, Peck JM, et al. The development of a low-cost three-dimensional printed shoulder, arm, and hand prostheses for children. *Prosthet Orthot Int* 2017; 41: 205–209.
36. Takagaki LK. Tecnologia de impressão 3d. *Rev Inovação Tecnológica* 2012; 2: 28–40.
37. Wu PH, Shieh JS. 3D printed prosthetic hands. *2016 Int Conf Commun Probl ICCP* 2016; 1–2.
38. Zuniga JM, Peck J, Srivastava R, et al. An open source 3D-printed transitional hand prosthesis for children. *J Prosthetics Orthot* 2016; 28: 103–108.
39. Alvial P, Bravo G, Bustos MP, et al. Quantitative functional evaluation of a 3D-printed silicone-embedded prosthesis for partial hand amputation: A case report. *J Hand Ther* 2018; 31: 129–136.
40. Swartz AQ, Turner K, Miller L, et al. Custom, rapid prototype thumb prosthesis for partial-hand amputation: A case report. *Prosthet Orthot Int* 2018; 42: 187–190.
41. Xu G, Gao L, Tao K, et al. Three-dimensional-printed upper limb prosthesis for a child with traumatic amputation of right wrist. *Med (United States)* 2017; 96: 1–20.
42. Lee KH, Kim SJ, Cha YH, et al. Three-dimensional printed prosthesis demonstrates functional improvement in a patient with an amputated thumb: A technical note. *Prosthet Orthot Int* 2018; 42: 107–111.
43. Yoshikawa M, Sato R, Higashihara T, et al. Rehand: Realistic electric prosthetic hand created with a 3D printer. *Proc Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc EMBS* 2015; 2470–2473.
44. Day SJ, Riley SP. Utilising three-dimensional printing techniques when providing unique assistive devices: A case report. *Prosthet Orthot Int* 2018; 42: 45–49.
45. Singhvi MS, Zinjarde SS, Gokhale DV. Polylactic acid: synthesis and biomedical applications. *J Appl Microbiol* 2019; 127: 1612–1626.
46. Wang S, Hsu CJ, Trent L, et al. Evaluation of Performance-Based Outcome Measures for the Upper Limb: A Systematic Review. 2018; 10: 951–962.