



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

**FACULDADE ARQUITETURA, ARTES, COMUNICAÇÃO E DESIGN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

**MATERIAIS PARA IMPRESSÃO 3D NO DESENVOLVIMENTO DE
PRÓTESES DE MEMBRO SUPERIOR: ANÁLISE DO DESEMPENHO
MECÂNICO E FUNCIONAL**

Amanda Coelho Figliolia

Bauru – 2021

AMANDA COELHO FIGLIOLIA

**MATERIAIS PARA IMPRESSÃO 3D NO DESENVOLVIMENTO DE
PRÓTESES DE MEMBRO SUPERIOR: ANÁLISE DO DESEMPENHO
MECÂNICO E FUNCIONAL**

Dissertação de mestrado apresentada em exame de qualificação pelo Programa de Pós-graduação em Design, da Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design da UNESP - Campus de Bauru, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Design - linha de Pesquisa Ergonomia.

Orientador: Prof. Dr. Fausto Orsi Medola

Bauru – 2021

F472m Figliolia, Amanda Coelho
Materiais para impressão 3D no desenvolvimento de próteses de membro superior : Análise do desempenho mecânico e funcional / Amanda Coelho Figliolia. -- Bauru, 2021
147 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, Bauru
Orientador: Fausto Orsi Medola

1. Tecnologia Assistiva. 2. Design Ergonômico. 3. Prototipagem Rápida. 4. Resistência Mecânica. 5. Preensão manual. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, Bauru. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Bauru



ATA DA DEFESA EM SESSÃO FECHADA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE AMANDA COELHO FIGLIOLIA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN, DA FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES, COMUNICAÇÃO E DESIGN - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 15 dias do mês de setembro do ano de 2021, às 09:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de AMANDA COELHO FIGLIOLIA, intitulada **MATERIAIS PARA IMPRESSÃO 3D NO DESENVOLVIMENTO DE PRÓTESES DE MEMBRO SUPERIOR: ANÁLISE DO DESEMPENHO MECÂNICO E FUNCIONAL**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. FAUSTO ORSI MEDOLA (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Programa de Pos-graduacao em Design / FAAC/UNESP/Bauru, Prof. Titular LUIS CARLOS PASCHOARELLI (Participação Virtual) do(a) Programa de Pós-graduação em Design / FAAC/UNESP/Bauru, Prof. Dr. GILBERTO DE MAGALHÃES BENTO GONÇALVES (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / FEB/UNESP/Bauru. Após a exposição pela mestrande e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. FAUSTO ORSI MEDOLA

COMISSÃO EXAMINADORA**TITULARES**

Prof Dr. Fausto Orsi Medola

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – FAAC Bauru/SP

Orientador

Prof. Titular Luis Carlos Paschoarelli

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – FAAC Bauru/SP

Prof. Dr. Gilberto de Magalhães Bento Gonçalves

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – FEB Bauru/SP

SUPLENTES

Dr. Hamilton José de Mello

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – FEB Bauru/SP

Prof. Dr. João Eduardo Guarnetti dos Santos

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – FAAC Bauru/SP

DEDICATÓRIA

Dedico este projeto à minha família, em especial a meus pais Suzana e José Mauro e ao meu irmão Pedro por todo o incentivo, carinho, apoio, conhecimentos e valores ensinados. E por sempre confiarem no meu potencial e apoiarem as minhas escolhas profissionais.

Ao meu irmão por todo o carinho, companheirismo e paciência. E por me ensinar a ter determinação e coragem.

Ao meu sobrinho Eduardo que me desafia tanto a ser criativa e me incentiva a ser uma pessoa melhor todos os dias.

À Sara e à Luna que me ensinam o significado de amor incondicional e resiliência.

A todos os pesquisadores que dedicam parte de sua vida buscando tornar a vida de outras pessoas melhor

E a todas as pessoas que acreditam, confiam e apoiam a ciência.

AGRADECIMENTOS

À minha família por todo o apoio e incentivo.

Ao meu irmão por todo o companheirismo, paciência e auxílio no desenvolvimento deste projeto e sempre que precisei.

Ao prof Dr. Fausto Orsi Medola, por toda a orientação desde a minha iniciação científica e por todos os ensinamentos e oportunidades proporcionados neste período.

Ao professor Frode Eika Sandes pela orientação durante e após o intercâmbio, não apenas sobre o projeto desenvolvido, mas também pelas lições de vida.

Ao prof. Dr. Luis Carlos Paschoarelli por todos os ensinamentos e auxílio no desenvolvimento deste projeto e na minha formação acadêmica.

Ao prof. Dr. Gilberto de Magalhães Bento Gonçalves pela parceria e auxílio no desenvolvimento desta pesquisa, mesmo sendo um momento tão incerto com a pandemia, e por toda a paciência e disposição em me auxiliar e ensinar.

À Erica Tiemi Tobaró por toda a parceria, auxílio e companheirismo no desenvolvimento deste projeto.

Ao Hamilton por toda a paciência e auxílio no desenvolvimento desta pesquisa.

À profa Dra Luciana Ramos Baleotti pelo apoio e incentivo.

À Brit Balgaard por todo auxílio durante a minha estadia na Noruega.

A todos os professores e educadores que contribuíram para a minha formação pessoal e profissional.

Aos profissionais do Departamento de Design, do PPGDesign, do ERAPI e do Comitê de Ética em Pesquisa da UNESP - Bauru por todo o auxílio durante a minha formação.

Aos colegas de laboratório que sempre estiveram me auxiliando e incentivando a sermos melhores pessoas e pesquisadores.

Aos participantes do estudo de caso, pois sem eles essa etapa da pesquisa não seria possível.

À dona Elsa por todo o auxílio mantendo o laboratório um local agradável de se trabalhar e pelas conversas e incentivo.

Aos meus amigos por estarem sempre presentes e por todo o apoio emocional e incentivo nos mais variados momentos.

À Oslo Metropolitan University (OsloMet) e ao projeto Collaborative Design and Prototyping of Assistive Technologies and Products for the Independent Living financiado pela DIKU (Norwegian Agency for International Cooperation and Quality Enhancement in Higher Education) - UTFORSK grant UTF2016 - long term/10053 por tornarem possível a minha

pesquisa, estadia na Noruega e financiarem minha participação e apresentação de artigos em congressos internacionais.

À agência de fomento CAPES (PROEX – 88887.371981/2019-00) pelo financiamento desta pesquisa.

E por fim, a todas as pessoas e animais que passaram por minha vida e que de alguma forma contribuíram para a minha formação profissional e pessoal.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.

Madre Teresa de Calcuta

RESUMO

A amputação possui impacto direto tanto no desempenho de atividades diárias de um indivíduo quanto na forma como ele é visto perante a sociedade e por si próprio. Uma forma de minimizar esse impacto é com o uso de próteses ortopédicas, dispositivos de Tecnologia Assistiva que auxiliam seu usuário a ter uma maior independência. Por serem dispositivos específicos para cada usuário, as próteses devem ser personalizadas e desenvolvidas considerando aspectos práticos, estéticos e simbólicos, envolvendo diferentes áreas de conhecimento. Atualmente, uma das crescentes formas de desenvolvimento de próteses personalizadas é através dos arquivos virtuais CAD, modelos virtuais que podem ser criados ou encontrados em plataformas virtuais e prototipados através da impressão 3D. Embora seja um campo em crescimento, poucos estudos puderam ser encontrados sobre os parâmetros ergonômicos e de impressão 3D, juntamente com estudos avaliando as propriedades mecânicas das próteses 3D e a influência dos materiais usados no processo de fabricação. Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo verificar o efeito de diferentes materiais e parâmetros de impressão no desempenho mecânico e funcional (preensão manual de objetos) de próteses desenvolvidas por impressão 3D e analisar a experiência de uso da prótese e desempenho de diferentes modelos somados à satisfação do usuário. Com as avaliações, busca-se levantar dados para comparação e análise do desempenho das próteses fabricadas por métodos de impressão 3D, a fim de verificar a viabilidade do uso dessas novas tecnologias no desenvolvimento de produtos mais adequados ao usuário e compreender melhor os efeitos funcionais na vida da pessoa amputada. Foram testados diferentes materiais (PLA, ABS e PETG) e números de camadas de impressão (3 e 5) no desempenho mecânico, em ensaios de flexão e tração, e na preensão manual das próteses; e comparando diferentes modelos de próteses 3D. Os resultados indicaram que o tipo de material e o número de camadas são fatores que influenciam na resistência da peça, com o PLA apresentando melhor resistência mecânica que o PETG e o ABS. Em relação à preensão manual, o desempenho foi satisfatório (resultado geral de 69,69% e 72,72%), exceto na preensão de garrafas (10% e 20%), o que foi solucionado com a adição de um material auxiliar, como dedal de silicone e tecido emborrachado antiderrapante, sendo 87,87% o menor resultado geral. O estudo de caso demonstrou que há influência da experiência prévia de uso de próteses, inclusive na aceitação de um novo dispositivo e que a falta de acessibilidade no ambiente, como o de trabalho, pode gerar desconfortos.

Palavras-chave: Tecnologia Assistiva, Design Ergonômico, Prototipagem Rápida, Resistência Mecânica, Preensão manual.

ABSTRACT

Materials for 3D printing in the development of upper limb prosthesis: mechanical and functional performance analysis

Amputation has a direct impact on both the performance of daily activities of an individual and in the way he sees himself and is seen by society. A way to minimize this impact is to use orthopedic prostheses, an Assistive Technology device which allows their users to have more independence. Since they are devices specifically designed for each user, they must be customized and developed considering practical, aesthetic, and symbolic aspects, and different areas of knowledge. Nowadays, one of the growing ways of developing customized prostheses is through virtual CAD files, which can be modeled or found in open source virtual platforms, and then prototyped through 3D printing. Even though it is a growing field, few studies were found in the literature regarding recommendations for ergonomic parameters and 3D printing, along with studies evaluating the mechanical properties of 3D prostheses and the influence of materials used in the manufacturing process. Thus, the objectives of the present study are: to evaluate the effect of different materials and printing parameters in the mechanical and functional performance (handgrip) of prostheses developed by three-dimensional printing; and to analyze the experience of using the prosthesis and the performance of different models added to user satisfaction. With the evaluations, we seek to collect data to compare and evaluate the performance of prostheses manufactured by 3D printing methods, to verify the feasibility of using these new technologies in the development of products that are more suitable for the user, and to better understand the functional aspects in the life of the amputee. Different materials (PLA, ABS, and PETG) and number of printing layers (3 and 5) were tested for mechanical performance, flexion and traction tests, and manual gripping of the prostheses; and for comparing different models of 3D prostheses. The results indicated that the type of material and the number of layers are factors that influence the strength of the piece, with PLA showing better mechanical strength than PETG and ABS. Regarding the hand grip, the performance was satisfactory (overall result of 69.69% and 72.72%), except for the bottle grip (10% and 20%), which was solved with the addition of an auxiliary material, such as silicone thimble and non-slip rubberized fabric, resulting in a lowest overall result of 87.87%. The case study has shown that there is an influence of the previous experience of using prosthesis, including in the acceptance of a new device; and that the discomfort experienced can be related to accessibility, such as in the work environment.

Keywords: Assistive Technology, Ergonomic Design, Rapid Prototyping, Mechanical Resistance, Hand grip.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. GRÁFICO DE PROPORÇÃO DE PESSOAS QUE NASCERAM COM A DEFICIÊNCIA FÍSICA E PROPORÇÃO DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIA ADQUIRIDA POR DOENÇA OU ACIDENTE, NA POPULAÇÃO TOTAL, COM INDICAÇÃO DO INTERVALO DE CONFIANÇA DE 95%, SEGUNDO AS GRANDES REGIÕES - 2013	30
FIGURA 2. GRÁFICO DE PROPORÇÃO DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIA FÍSICA ADQUIRIDA POR DOENÇA OU ACIDENTE, NA POPULAÇÃO TOTAL, COM INDICAÇÃO DO INTERVALO DE CONFIANÇA DE 95%, SEGUNDO O SEXO, OS GRUPOS DE IDADE, A COR OU RAÇA E O NÍVEL DE INSTRUÇÃO - BRASIL - 2013	30
FIGURA 3. GRÁFICO DE PROPORÇÃO DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIA FÍSICA, NA POPULAÇÃO TOTAL, COM INDICAÇÃO DO INTERVALO DE CONFIANÇA DE 95%, SEGUNDO O SEXO, OS GRUPOS DE IDADE, A COR OU RAÇA E O NÍVEL DE INSTRUÇÃO - BRASIL - 2013	31
FIGURA 4. FREQUÊNCIA DE PROCEDIMENTOS DE AMPUTAÇÃO NO SUS POR CAUSA.	33
FIGURA 5. NÍVEIS DE AMPUTAÇÃO PARA MMSS E MMII.	33
FIGURA 6. PRÓTESE ROBOHAND.	38
FIGURA 7. PRÓTESE RIT ARM	39
FIGURA 8. PRÓTESE ARM PO.	39
FIGURA 9. PRÓTESE CUSTOMIZADA PELA AUTORA.	40
FIGURA 10. PRÓTESE PROSTEASY.	41
FIGURA 11. PRÓTESE 3D DESENVOLVIDA PELA MAO3D.	41
FIGURA 12. PRÓTESE DESENVOLVIDA PELA ASSOCIAÇÃO DAR A MÃO	42
FIGURA 13. PRÓTESE INFANTIL DESENVOLVIDA POR MARCELO BOTELHO EM 2014.	43
FIGURA 14. CORPOS DE PROVA - ENSAIO DE TRAÇÃO - ASTM D638.	47
FIGURA 15. CORPOS DE PROVA - ENSAIO DE FLEXÃO - ASTM D790.	48
FIGURA 16. FUNDADOR DA E-NABLE E ALGUNS DOS MODELOS DE PRÓTESES PROTOTIPADAS.	48
FIGURA 17. PRÓTESE UNLIMBITED ARM V. 1.7 - ISABELLA EDITION.	49
FIGURA 18. PRÓTESE UNLIMBITED ARM V.2.1 - ALFIE EDITION	49
FIGURA 19. INSTRUÇÃO DAS MEDIDAS A SEREM COLETADAS.	50
FIGURA 20. ARQUIVO DO ANTEBRAÇO NO CUSTOMIZER, NO THINGIVERSE.	50
FIGURA 21. PRÓTESE KWAWU ARM 2.0.	51
FIGURA 22. PRÓTESE KWAWU ARM - THERMOFORMED VERSION.	52
FIGURA 23. TRÊS DIFERENTES MODELOS DA PRÓTESE KWAWU ARM - SOCKET VERSION.	52
FIGURA 24. PRÓTESE KWAWU ARM - SOCKET VERSION - PEÇAS PROTOTIPADAS.	53
FIGURA 25. CORPOS DE PROVA PARA OS TESTES MECÂNICOS, EM ABS, PLA E PETG, IMPRESSOS 3D NAS VARIÁVEIS P1 E P2.	60
FIGURA 26. TESTE DE RESISTÊNCIA A FLEXÃO À TRÊS PONTOS (INÍCIO DO TESTE).	61
FIGURA 27. TESTE DE RESISTÊNCIA A FLEXÃO À TRÊS PONTOS (APÓS INÍCIO DA DEFORMAÇÃO DO CP).	61

FIGURA 28. TESTE DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (INÍCIO).	62
FIGURA 29. TESTE DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (ROMPIMENTO).	62
FIGURA 30. CP APÓS O ROMPIMENTO NO TESTE DE TRAÇÃO.	62
FIGURA 31. FOTOS DOS MATERIAIS AUXILIARES, SENDO OS DEDAIS DE SILICONE, TECIDO EMBORRACHADO NO DEDO E FALANGE, E TECIDO EMBORRACHADO NO DEDO, FALANGE E PALMA DA MÃO RESPECTIVAMENTE.	64
FIGURA 32. SUPORTE DE BANCADA PARA REALIZAÇÃO DO TESTE DE PREENSÃO MANUAL.	65
FIGURA 33. (ESQ) SUPORTE DO TESTE DE PREENSÃO MANUAL COM O DISPOSITIVO ACOPLADO. (DIR) EXEMPLIFICAÇÃO DO TESTE DE PREENSÃO MANUAL UTILIZANDO UM TUBO DE PVC.	65
FIGURA 34. OBJETOS COTIDIANOS (1): COLHER DE MADEIRA, PINCEL, CANETA MARCADOR E CANETA ESFEROGRÁFICA.	66
FIGURA 35. OBJETOS COTIDIANOS (2): CUBO IMPRESSO 3D, EMBALAGEM RETANGULAR, LATA DE CAFÉ E EMBALAGEM DE LEITE.	66
FIGURA 36. OBJETOS COTIDIANOS (3): COPO PLÁSTICO VAZIO E APARELHO CELULAR.	67
FIGURA 37. GARRAFAS PLÁSTICAS PREENCHIDAS COM ÁGUA (1).	67
FIGURA 38. GARRAFAS PLÁSTICAS PREENCHIDAS COM ÁGUA (2).	67
FIGURA 39. GARRAFAS PLÁSTICAS PREENCHIDAS COM ÁGUA (3).	68
FIGURA 40. CILINDROS	68
FIGURA 41. ESFERAS.	69
FIGURA 42. PRISMAS DE BASE TRIANGULAR E RETANGULAR.	69
FIGURA 43. PREENCHIMENTO TRIANGULAR DO ARQUIVO CAD DA PALMA DA MÃO SECCIONADO NO CURA.	70
FIGURA 44. PEÇAS IMPRESSAS 3D DA PRÓTESE UNLIMBITED.	71
FIGURA 45. PEÇAS DA PRÓTESE UNLIMBITED POSICIONADAS NA DIAGONAL.	71
FIGURA 46. GABARITO (JIG).	71
FIGURA 47. TERMOMOLDAGEM DA BRAÇADEIRA E ANTEBRAÇO.	73
FIGURA 48. BRAÇADEIRA EM PETG DEFORMADA APÓS TENTATIVA DE TERMOMOLDAGEM.	73
FIGURA 49. AQUECIMENTO DA BRAÇADEIRA COM A MESA AQUECIDA E TERMOMOLDAGEM.	74
FIGURA 50. TERMOMOLDAGEM DO ANTEBRAÇO COM O SOPRADOR TÉRMICO.	74
FIGURA 51. PALMA DISTENSIONADA COM OS ELÁSTICOS DENTAL.	75
FIGURA 52. FIOS DE NYLON TENSIONADORES.	75
FIGURA 53. SIMULAÇÃO DOS ENCAIXES E JUNÇÕES DA PRÓTESE.	75
FIGURA 54. SIMULAÇÃO DOS ENCAIXES E JUNÇÕES DA PRÓTESE.	75
FIGURA 55. PRÓTESE FINALIZADA POSIÇÃO NEUTRA.	76
FIGURA 56. PRÓTESE FINALIZADA POSIÇÃO TENSIONADA.	76
FIGURA 57. APRESENTA O TESTE DE PREENSÃO MANUAL DA GARRAFA 9: INSUCESSO COM O DEDAL DE SILICONE (ESQUERDA) E SUCESSO COM O TECIDO EMBORRACHADO NOS DEDOS E FALANGES (DIREITA).	77

FIGURA 58. PRÓTESES FINALIZADAS NAS CONDIÇÕES: NEUTRA, COM DEDAL DE SILICONE, COM TECIDO EMBORRACHADO NO DEDO E FALANGE E COM TECIDO EMBORRACHADO NO DEDO, FALANGE E PALMA.	77
FIGURA 59. CONFECÇÃO DO ACESSÓRIO DE TECIDO EMBORRACHADO.	78
FIGURA 60. PRÓTESE KWAWU ARM 2.0 - THERMOFORMED VERSION, VISÃO FRONTAL E TRASEIRA.	80
FIGURA 61. PRÓTESE KWAWU ARM 2.0 - SOCKET VERSION, VISÃO FRONTAL E TRASEIRA.	80
FIGURA 62. PRÓTESE UNLIMBITED ARM V 2.1 - ALFIE EDITION, VISÃO FRONTAL E TRASEIRA.	80
FIGURA 63. TESTE DA CAIXA E BLOCO COM A PRÓTESE UNLIMBITED ARM V.2.1 - ALFIE EDITION, PALMA ABERTA.	82
FIGURA 64. TESTE DA CAIXA E BLOCO COM A PRÓTESE UNLIMBITED ARM V.2.1 - ALFIE EDITION, PALMA FECHADA.	82
FIGURA 65. TESTE COM OBJETOS COTIDIANOS USANDO A PRÓTESE UNLIMBITED ARM V.2.1 - ALFIE EDITION, SEGURANDO UM COPO DE PLÁSTICO.	83
FIGURA 66. (A) TESTE COM USUÁRIO UTILIZANDO A PRÓTESE UNLIMBITED ARM V.2.1 - ALFIE EDITION, INÍCIO DO MOVIMENTO DE PREENSÃO DO GUIDÃO DE UMA CADEIRA DE RODAS. (B) PREENSÃO DO GUIDÃO	83
FIGURA 67. TESTE COM USUÁRIO UTILIZANDO A PRÓTESE UNLIMBITED ARM V.2.1 - ALFIE EDITION, PREENSÃO DE UM GARFO.	84
FIGURA 68. TESTE COM USUÁRIO UTILIZANDO A PRÓTESE KWAWU ARM SOCKET, PREENSÃO DE UM CILINDRO (GUIDÃO).	84
FIGURA 69. GRÁFICO DO TESTE DE FLEXÃO: MATÉRIA CP1 VERSUS TENSÃO À FLEXÃO (MPA).	88
FIGURA 70. GRÁFICO DO TESTE DE FLEXÃO: MATERIAL CP2 VERSUS TENSÃO À FLEXÃO (MPA).	89
FIGURA 71. GRÁFICO DO TESTE DE FLEXÃO: PLA CP2 (ROSA E BRANCO) VERSUS TENSÃO À FLEXÃO (MPA).	89
FIGURA 72. GRÁFICO DO TESTE DE TRAÇÃO: MATÉRIA CP1 VERSUS TENSÃO À FLEXÃO (MPA).	90
FIGURA 73. GRÁFICO DO TESTE DE TRAÇÃO: MATERIAL CP2 VERSUS TENSÃO À FLEXÃO (MPA).	91
FIGURA 74. GRÁFICO DO TESTE DE TRAÇÃO: PLA (ROSA E BRANCO) VERSUS TENSÃO À FLEXÃO (MPA).	92
FIGURA 75. (ESQ. SUPERIOR E INFERIOR) TODOS OS CPS DE TRAÇÃO APÓS O ROMPIMENTO. (DIREITA SUPERIOR E INFERIOR) TODOS OS CPS DE FLEXÃO DE TRÊS PONTOS APÓS O ROMPIMENTO.	95
FIGURA 76. GRÁFICO DO TESTE DE PREENSÃO MANUAL DE OBJETOS: RESULTADO GERAL DAS PRÓTESES NEUTRAS - MATERIAL VERSUS PORCENTAGEM DE SUCESSO.	97
FIGURA 77. FOTO DOS 10 OBJETOS DA CATEGORIA GARRAFAS PLÁSTICAS.	97
FIGURA 78. GRÁFICO DO TESTE DE PREENSÃO MANUAL DE OBJETOS: RESULTADO GERAL DA PREENSÃO DAS 10 GARRAFAS PELAS PRÓTESES NEUTRAS - MATERIAL VERSUS PORCENTAGEM DE SUCESSO.	98
FIGURA 79. FOTO DOS SEIS OBJETOS DA CATEGORIA CILINDROS.	98

FIGURA 80. GRÁFICO DO TESTE DE PREENSÃO MANUAL DE OBJETOS: RESULTADO GERAL DA PREENSÃO DOS 6 CILINDROS PELAS PRÓTESES NEUTRAS - MATERIAL VERSUS PORCENTAGEM DE SUCESSO.	99
FIGURA 81. FOTO DOS TRÊS OBJETOS DA CATEGORIA ESFERAS.	99
FIGURA 82. GRÁFICO DO TESTE DE PREENSÃO MANUAL DE OBJETOS: RESULTADO GERAL DA PREENSÃO DAS 3 ESFERAS PELAS PRÓTESES NEUTRAS - MATERIAL VERSUS PORCENTAGEM DE SUCESSO.	100
FIGURA 83. FOTO DOS QUATRO OBJETOS DA CATEGORIA PRISMAS.	100
FIGURA 84. GRÁFICO DO TESTE DE PREENSÃO MANUAL DE OBJETOS: RESULTADO GERAL DA PREENSÃO DOS 4 PRISMAS PELAS PRÓTESES EM TODAS AS 4 CONDIÇÕES - MATERIAL VERSUS PORCENTAGEM DE SUCESSO.	101
FIGURA 85. FOTO DOS DEZ OBJETOS DA CATEGORIA DE OBJETOS COTIDIANOS.	102
FIGURA 86. GRÁFICO DO TESTE DE PREENSÃO MANUAL DE OBJETOS: RESULTADO GERAL DA PREENSÃO DOS 10 OBJETOS COTIDIANOS PELAS PRÓTESES NEUTRAS - MATERIAL VERSUS PORCENTAGEM DE SUCESSO.	102
FIGURA 87. GRÁFICO DO TESTE DE PREENSÃO MANUAL DE OBJETOS: RESULTADO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO DO INSUCESSO VERSUS A CONDIÇÃO DO PLA 3 CAMADAS: 10 OBJETOS.	104
FIGURA 88. GRÁFICO DO TESTE DE PREENSÃO MANUAL DE OBJETOS: RESULTADO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO DO INSUCESSO VERSUS A CONDIÇÃO DO PLA 5 CAMADAS: 10 OBJETOS.	105
FIGURA 89. GRÁFICO DO TESTE DE PREENSÃO MANUAL DE OBJETOS: RESULTADO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO DO INSUCESSO VERSUS A CONDIÇÃO DO ABS 3 CAMADAS: 10 OBJETOS.	106
FIGURA 90. GRÁFICO DO TESTE DE PREENSÃO MANUAL DE OBJETOS: RESULTADO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO DO INSUCESSO VERSUS A CONDIÇÃO DO ABS 5 CAMADAS: 9 OBJETOS.	107
FIGURA 91. GRÁFICO DO TESTE DE PREENSÃO MANUAL DE OBJETOS: RESULTADO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO DO INSUCESSO VERSUS A CONDIÇÃO DO PETG 5 CAMADAS: 10 OBJETOS.	108
FIGURA 92. GRÁFICO DO TESTE DE PREENSÃO MANUAL DE OBJETOS: RESULTADO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO DO INSUCESSO VERSUS A CONDIÇÃO DO PLA 3 CAMADAS: 8 OBJETOS.	109
FIGURA 93. SUCESSO AO SUSTENTAR A GARRAFA 4 NA CONDIÇÃO NEUTRA (ESQUERDA) E SUCESSO NA PREENSÃO DA GARRAFA 10 COM O TECIDO EMBORRACHADO NOS DEDOS, FALANGES E PALMA (DIREITA).	109
FIGURA 94. GRÁFICO DO TESTE DE PREENSÃO MANUAL DE OBJETOS: RESULTADO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO DO INSUCESSO VERSUS A CONDIÇÃO DO PLA 5 CAMADAS: 9 OBJETOS.	110
FIGURA 95. GRÁFICO DO TESTE DE PREENSÃO MANUAL DE OBJETOS: RESULTADO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO DO INSUCESSO VERSUS A CONDIÇÃO DO ABS 3 CAMADAS: 9 OBJETOS.	110
FIGURA 96. GRÁFICO DO TESTE DE PREENSÃO MANUAL DE OBJETOS: RESULTADO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO DO INSUCESSO VERSUS A CONDIÇÃO DO ABS 5 CAMADAS: 8 OBJETOS.	111
FIGURA 97. GRÁFICO DO TESTE DE PREENSÃO MANUAL DE OBJETOS: RESULTADO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO DO INSUCESSO VERSUS A CONDIÇÃO DO PETG 5 CAMADAS: 8 OBJETOS.	112

FIGURA 98. SUCESSO NA PREENSÃO DA ESFERA COM O TECIDO EMBORRACHADO NAS DUAS CONDIÇÕES.	112
FIGURA 99. GRÁFICO DO TESTE DE PREENSÃO MANUAL DE OBJETOS: RESULTADO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO DO INSUCESSO NA PREENSÃO DA ESFERA II PELO MATERIAL PETG 5 E PLA 3 VERSUS A CONDIÇÃO.	113
FIGURA 100. GRÁFICO DO TESTE DE PREENSÃO MANUAL DE OBJETOS: RESULTADO DA PORCENTAGEM DE SUCESSO DO INSUCESSO NA PREENSÃO DA EMBALAGEM DE LEITE PELO MATERIAL VERSUS A CONDIÇÃO.	113
FIGURA 101. PREENSÃO DA EMBALAGEM DE LEITE NAS CONDIÇÕES COM O TECIDO EMBORRACHADO.	114
FIGURA 102. GRÁFICO DO TESTE DE PREENSÃO MANUAL DE OBJETOS: RESULTADO GERAL DA PORCENTAGEM DE SUCESSO NA PREENSÃO DAS GARRAFAS PELAS PRÓTESES NAS DIFERENTES CONDIÇÕES.	115
FIGURA 103. GRÁFICO DO TESTE DE PREENSÃO MANUAL DE OBJETOS: RESULTADO GERAL DA PORCENTAGEM DE SUCESSO NA PREENSÃO DOS CILINDROS PELAS PRÓTESES NAS DIFERENTES CONDIÇÕES.	115
FIGURA 104. GRÁFICO DO TESTE DE PREENSÃO MANUAL DE OBJETOS: RESULTADO GERAL DA PORCENTAGEM DE SUCESSO NA PREENSÃO DAS ESFERAS PELAS PRÓTESES NAS DIFERENTES CONDIÇÕES.	116
FIGURA 105. GRÁFICO DO TESTE DE PREENSÃO MANUAL DE OBJETOS: RESULTADO GERAL DA PORCENTAGEM DE SUCESSO NA PREENSÃO DOS PRISMAS PELAS PRÓTESES NAS DIFERENTES CONDIÇÕES.	116
FIGURA 106. GRÁFICO DO TESTE DE PREENSÃO MANUAL DE OBJETOS: RESULTADO GERAL DA PORCENTAGEM DE SUCESSO NA PREENSÃO DOS OBJETOS COTIDIANOS PELAS PRÓTESES NAS DIFERENTES CONDIÇÕES.	117

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. INFORMAÇÕES SOBRE O PREÇO E PESO DAS PRÓTESES.	64
TABELA 2. ESPECIFICAÇÕES DO TEMPO DE IMPRESSÃO E QUANTIDADE DE MATERIAL USADO.	72
TABELA 3. RESULTADOS DE PREENSÃO DAS PRÓTESES NEUTRAS.	103
TABELA 4. TESTE DE PREENSÃO MANUAL DE OBJETOS: RESULTADO DO SUCESSO OU INSUCESSO DE TODAS AS PRÓTESES EM TODAS AS DIFERENTES CONDIÇÕES.	119
TABELA 5. PESO DAS PRÓTESES	140
TABELA 6. ESPECIFICAÇÕES DOS OBJETOS COTIDIANOS USADOS NO TESTE DE PREENSÃO MANUAL	140
TABELA 7. RESULTADOS DA TENSÃO DE FLEXÃO.	142
TABELA 8. RESULTADOS DA PORCENTAGEM DE VARIAÇÃO ENTRE OS DIFERENTES MATERIAIS.	142
TABELA 9. RESULTADOS DA TENSÃO DE TRAÇÃO.	142
TABELA 10. RESULTADOS DA PORCENTAGEM DE VARIAÇÃO ENTRE OS DIFERENTES MATERIAIS.	143

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

APÊNDICE B. Protocolo de Identificação

APÊNDICE C. Questionário sobre o desempenho da prótese durante o teste da caixa e bloco

APÊNDICE D. Tabela com as informações sobre os materiais e o peso

APÊNDICE E. Tabelas com os resultados dos testes mecânicos

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABERGO	Associação Brasileira de Ergonomia
ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AM	Manufatura aditiva, de <i>Additive Manufacturing</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CADEP	Centro Avançado de Desenvolvimento de Produtos
CAT	Comitê de Ajudas Técnicas
CER	Centro Especializado em Reabilitação – UNESP Marília
CIF	Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde
CP	Corpo de prova
DCU	Design Centrado no Usuário, de <i>User-Centered Design (UCD)</i>
DTA	Dispositivos de tecnologia assistiva
E.G.	Do latim <i>exempli gratia</i> , ou seja, por exemplo
FAAC	Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design
FFF	Fabricação por Filamento Fundido
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
LEI	Laboratório de Ergonomia e Interfaces
OMS ou WHO	Organização Mundial de Saúde, de <i>World Health Organization</i>
OsloMet	Oslo Metropolitan University
PcD	Pessoa com deficiência
PETG	Politereftalato de etileno modificado com glycol
PLA	Poliácido láctico
RP	Prototipagem Rápida, de <i>Rapid Prototyping</i>
SORRI	Centro Especializado em Reabilitação SORRI - BAURU
SUS	Sistema Único de Saúde
TA	Tecnologia Assistiva
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TO	Terapeuta Ocupacional
UNESP	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Sumário

<i>COMISSÃO EXAMINADORA</i>	5
<i>DEDICATÓRIA</i>	6
<i>AGRADECIMENTOS</i>	7
<i>RESUMO</i>	10
<i>ABSTRACT</i>	11
<i>LISTA DE FIGURAS</i>	12
<i>LISTA DE TABELAS</i>	17
<i>LISTA DE APÊNDICES</i>	18
<i>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</i>	19
1. INTRODUÇÃO	23
1.1. Justificativa	25
1.2. Questões de Pesquisa	26
1.3. Hipótese	26
1.4. Objetivos	27
1.4.1. Objetivos Gerais	27
1.4.2. Objetivos Específicos	27
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	29
2.1. DEFICIÊNCIA E TECNOLOGIA ASSISTIVA	29
2.1.1. Deficiência	29
2.1.2. Tecnologia Assistiva	32
2.2. AMPUTAÇÃO E PRÓTESES	32
2.2.1. Amputação	32
2.2.2. Próteses	34
2.3. DEMANDAS PARA APRIMORAMENTO NO DESIGN DE PRÓTESES DE MEMBRO SUPERIOR	35
2.4. IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL E PRÓTESES DE MEMBRO SUPERIOR	36
2.4.1. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DA IMPRESSÃO 3D NO DESENVOLVIMENTO DE PRÓTESES DE MEMBRO SUPERIOR ATRAVÉS DE PROJETOS DE CÓDIGO ABERTO	38

2.4.1.1.	Robohand _____	38
2.4.1.2.	RIT Arm _____	38
2.4.1.3.	ArmPO _____	39
2.4.1.4.	Personalização de próteses desenvolvidas na UNESP _____	40
2.4.1.5.	Mao 3D _____	41
2.4.1.6.	Associação Dar a Mão _____	42
2.4.1.7.	Prótese desenvolvida pelo Marcelo Botelho _____	42
2.5. DESIGN ERGONÔMICO, DESIGN EMOCIONAL E O DESENVOLVIMENTO E CUSTOMIZAÇÃO DE PRÓTESES _____		43
3. MATERIAIS E MÉTODOS _____		45
3.1. Aspectos éticos _____		46
3.2. Participante _____		46
3.3. Artefatos de estudo _____		46
3.3.1.	Corpos de provas _____	47
3.3.2.	UnLimbited Arm V. 2.1 - Alfie Edition _____	48
3.3.3.	Kwawu Arm 2.0 _____	51
3.3.3.1.	Thermoform Version _____	51
3.3.3.2.	Socket Version _____	52
3.4. Materiais _____		53
3.5. Procedimentos metodológicos _____		54
3.6. Estudo de caso _____		55
3.6.1. Material específico _____		55
3.6.1.1.	Protocolos _____	55
3.6.1.1.1.	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) _____	55
3.6.1.1.2.	Protocolo de identificação _____	55
3.6.1.1.3.	Protocolo de desempenho da prótese durante o teste de Caixa e Blocos _____	56
3.6.2. Procedimentos metodológicos _____		56
3.7. Estudo da resistência mecânica entre os diferentes materiais impressos 3D por FFF _____		57
3.7.1.	Material específico _____	57
3.7.2.	Procedimentos metodológicos _____	57
3.8. Estudo da preensão manual de objetos _____		63
3.8.1.	Material específico _____	63

3.8.2. Procedimentos metodológicos _____	69
3.9. Análise de dados _____	78
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES _____	79
4.1. Estudo de caso _____	79
4.1.1. Participante 1 _____	79
4.1.2. Resultados e discussão _____	81
4.1.3. Síntese dos resultados _____	87
4.2. Estudo de resistência mecânica entre os diferentes materiais impressos 3D por FFF _____	88
4.2.1. Síntese dos resultados _____	96
4.3. Estudo do desempenho das próteses no teste de prensão manual de objetos _____	96
4.3.1. Resultados gerais observados nas próteses _____	96
4.3.2. Sucesso dos insucessos das próteses neutras observados após uso dos materiais nas condições 2 a 4 organizados por tipo de material _____	104
4.3.3. Detalhamento do sucesso dos insucessos das próteses neutras observados após uso dos materiais nas condições 2 a 4 _____	108
4.3.4. Síntese dos resultados gerais de todas as próteses em todas as condições _____	114
4.3.5. Síntese dos resultados _____	117
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS _____	121
REFERÊNCIAS _____	125
APÊNDICES _____	131
APÊNDICE A. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido _____	131
APÊNDICE B. Protocolo de Identificação _____	137
APÊNDICE C. Questionário sobre o desempenho da prótese durante o teste da caixa e bloco _____	139
APÊNDICE D. Tabela com as informações sobre os materiais e o peso _____	140
APÊNDICE E. Tabelas com os resultados dos testes mecânicos _____	142
ANEXOS _____	144
ANEXO A. Parecer Comitê de Ética _____	144

1. INTRODUÇÃO

A Organização Mundial de Saúde (OMS ou World Health Organization - WHO) classifica a deficiência como sendo “uma perda ou anormalidade de uma estrutura do corpo ou de uma função fisiológica (incluindo funções mentais)” (Anexo 1 - Questões de taxonomia e de terminologia da Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde - CIF). Em 2004, a OMS declarou que 25.5 milhões de pessoas necessitavam de próteses/aparelhos ortopédicos no mundo, representando 80% das pessoas que possuem alguma deficiência; que poderia ser minimizada ou corrigida através do uso de Tecnologias Assistivas (TAs), como as próteses, proporcionando maior funcionalidade e independência ao usuário (WHO, 2004).

Já no Brasil, de acordo com a nota técnica 01/2018 - Releitura dos dados de pessoas com deficiência no Censo Demográfico 2010 à luz das recomendações do Grupo de Washington emitida pelo IBGE, sobre a análise dos dados coletados na Cartilha do Censo 2010 - Pessoas com Deficiência (IBGE, 2010), cerca de 6,7% (12,7 milhões) da população possui algum tipo de deficiência, sendo ela visual, auditiva, motora, mental ou intelectual, sendo a deficiência motora a de segunda maior ocorrência (2,3%) e possível de ser minimizada com a utilização de tecnologias assistivas. Ainda em relação às deficiências motoras, 46,8% declararam possuir um elevado grau de limitação ou não conseguir realizar alguma atividade habitual. Tais dados comprovam a necessidade de mais estudos e investigações acerca de dispositivos de TA e dos impactos da deficiência motora na qualidade de vida do indivíduo.

Dentre as causas da deficiência motora, destaca-se a amputação decorrente de acidentes ou doenças e, de acordo com as Diretrizes de Atenção à Pessoa Amputada (2013), estima-se que as amputações do membro inferior correspondem a 85% de todas as amputações de membros, apesar de não haver informações precisas sobre este assunto no Brasil, assim como dados sobre a utilização de prótese no país também não foram encontrados.

Um importante fator no desenvolvimento de TAs consiste no seu processo de desenvolvimento e nas novas tecnologias utilizadas, que vem contribuindo com a melhoria da qualidade dos dispositivos e facilitando sua personalização. Vale ressaltar que uma dessas novas tecnologias consiste no uso de tecnologias de Prototipagem Rápida (RP), como a impressão 3D, que tem contribuído para o desenvolvimento de próteses personalizadas e mais adequadas ao usuário, conseqüentemente melhorando a aceitação e satisfação do usuário (GIBSON, 2005), o que auxilia na diminuição do abandono do dispositivo pelo usuário.

A personalização do dispositivo influi diretamente nas questões relacionadas à satisfação do usuário e na sua adaptação ou não ao dispositivo. No entanto, ainda que existam muitos projetos de personalização de prótese, inclusive de código aberto – como The UnLimbited Arm (Thingiverse), são poucos os estudos que podem ser encontrados, até o momento, que relacionam o processo de produção de próteses com impressão 3D e a eficiência e usabilidade desses produtos. Alguns estudos foram realizados por Arizi et. al. (2020), Figliolia et. al (2020) e Silva et. al. (2019). Existem alguns estudos sobre as propriedades dos materiais utilizados na impressão 3D, como os estudos desenvolvidos por Santana et. al. (2018) e Guo et. al. (2017; 2018) em que também foi apontada a necessidade de mais estudos sobre o assunto. No entanto nenhum específico com ampla avaliação em relação à aplicação desses materiais de forma a terem resistência mecânica adequada à sua aplicação no design de próteses (A Yu Perelygina et. al., 2020). O que comprova a necessidade de mais estudos para contribuir no design ergonômico e RP da prótese personalizada, evitando o abandono do dispositivo. Com relação ao abandono, existe uma lacuna na literatura e nenhum dado oficial brasileiro foi encontrado até o exato momento.

Este projeto teve como objetivo estudar o design de próteses em suas funções práticas, estéticas e simbólicas a partir da perspectiva do usuário e da composição e fabricação do dispositivo, juntamente com a investigação da experiência de uso da prótese. Buscou-se avaliar questões relacionadas à percepção do usuário de prótese em relação à funcionalidade e usabilidade dos dispositivos e, a partir destes estudos, discutiu-se como as tecnologias de prototipagem rápida e o desenho paramétrico contribuem para a confecção das próteses personalizadas. Também é buscado estudar a influência dos materiais e parâmetros de impressão tridimensional de forma a encontrar os valores mais adequados a serem utilizados na confecção de próteses e espera-se gerar contribuições para que outros profissionais da área possam utilizar esses valores como diretrizes no desenvolvimento e prototipagem de suas próteses.

Portanto, para cumprir estes objetivos, o presente projeto (I) buscou investigar experiência de uso da prótese, desempenho dos diferentes modelos de próteses 3D e a satisfação do usuário com o dispositivo através de um estudo de caso em que o participante testou diferentes próteses transradiais mecânica confeccionadas através da técnica de Fabricação por Filamento Fundido (FFF) de impressão tridimensional a fim de avaliar a satisfação e o desempenho de três modelos de próteses de código aberto, (II) realizou a avaliação mecânica e investigação da influência do material e do processo de fabricação no desempenho do produto, em que inicialmente foram estudados e realizados testes mecânicos, de resistência dos materiais à tração e flexão e (III) então serem aplicados testes de preensão manual e desempenho dos dispositivos, assim como estudos dos parâmetros ergonômicos e

de impressão 3D para gerar diretrizes e parâmetros que contribuam para o desenvolvimento do dispositivo. Dessa forma, o projeto buscou valorizar a participação multidisciplinar de diferentes áreas, como design, saúde e engenharia (RP) e foi desenvolvido no Laboratório de Ergonomia e Interfaces (LEI) e no Centro Avançado de Desenvolvimento de Produtos (CADEP), ambos da UNESP – Bauru, participando do “COLLABORATIVE DESIGN AND PROTOTYPING OF ASSISTIVE TECHNOLOGIES AND PRODUCTS FOR INDEPENDENT LIVING”, um projeto de colaboração internacional entre UNESP e Oslo Metropolitan University (OsloMet, Noruega), que inclusive permitiu que a pesquisadora realizasse um intercâmbio de sete meses estudando na OsloMet e desenvolvendo outras pesquisas sobre Tecnologias Assistivas e experiência do usuário (UX, de *User Experience*); e também no Centro Especializado em Reabilitação (CER) da UNESP - Marília e na Oficina Mecânica da Faculdade de Engenharia da UNESP - Bauru.

1.1. Justificativa

Toda pessoa deveria ter direito a ter uma boa condição e qualidade de vida. Portanto, qualquer fator que interfira na qualidade de vida do indivíduo deve ser estudado, visando melhores condições de vida à pessoa, principalmente quando esses fatores influenciam negativamente. Uma condição que interfere significativamente é a deficiência motora, podendo ser decorrente tanto da má-formação de algum membro quanto de uma amputação. A amputação, em muitos casos por si só, representa um evento traumático e que requer adaptação da pessoa amputada à sua nova condição física. Mas os efeitos da amputação não são apenas físicos, interferindo no desempenho da pessoa em suas atividades diárias, mas também na percepção do indivíduo sobre sua autoimagem e autoestima, além da forma como a sociedade o vê, ou seja, a relação indivíduo-sociedade pode ser alterada, afetando sua qualidade de vida, mas que pode ser melhorada através do uso de tecnologias assistivas. Portanto, é imprescindível a investigação desses efeitos e influências, de forma a contribuir com uma melhor compreensão sobre eles e a buscar identificar possíveis características, abordagens e efeitos que não são bem compreendidos ou levados em consideração pela sociedade e/ou profissionais de reabilitação e desenvolvimento de próteses.

Ao desenvolver a prótese, assim como qualquer outro produto, é imprescindível desenvolver a prótese utilizando materiais e parâmetros no processo de fabricação que sejam adequados ao uso do produto, de forma que o dispositivo seja funcional, tenha resistência, um bom desempenho e seja confortável e agradável

de ser utilizado. Para isso é necessário ter maiores conhecimentos sobre o comportamento dos materiais, os efeitos do processo de fabricação e a influência dessas duas variáveis no desempenho da prótese.

Em relação a importância da personalização de tecnologias assistivas, em específico das próteses, muitos estudos foram encontrados, inclusive estudos em que essa personalização é feita com a utilização da impressão 3D. A personalização do dispositivo influi diretamente em questões relacionadas à satisfação do usuário e à adaptação ou não ao dispositivo. No entanto, são poucos os estudos encontrados até o presente momento que relacionem o processo de produção de próteses com impressão 3D e a eficiência e usabilidade desses produtos.

Portanto, justifica-se a necessidade de mais estudos nessas áreas. O presente estudo busca identificar os parâmetros ergonômicos e de impressão 3D, e compreender o comportamento mecânico dos materiais a fim de gerar fundamentos no âmbito da Ergonomia, do Design e da Engenharia para servir de referência para a produção de melhores próteses personalizadas e possivelmente diminuir a rejeição do dispositivo pelo usuário, contribuindo com as áreas de TA, design, saúde, engenharia e fabricação dos dispositivos e seus profissionais. Também busca avaliar a influência do design, material e processo de fabricação da prótese em relação à usabilidade e aspectos estéticos e simbólicos, através da produção e avaliação comparativa entre diferentes modelos de código aberto que utilizam a impressão 3D como processo de fabricação e dos testes mecânicos e de prensão manual.

1.2. Questões de Pesquisa

O tipo de material e cor (pigmento), somado ao número de camadas no processo de fabricação (impressão 3D no presente estudo) influencia na resistência mecânica e no desempenho de próteses de membro superior produzidas por impressão 3D?

1.3. Hipótese

- O desempenho e resistência das próteses impressas são influenciados pelos parâmetros e materiais utilizados no processo de desenvolvimento e na prototipagem, que afetam a qualidade do produto e a satisfação do usuário. O que será avaliado através dos testes mecânicos e de prensão manual.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivos Gerais

Este projeto apresenta três principais objetivos que consistem na (I) investigação da experiência de uso da prótese, desempenho dos diferentes modelos de próteses 3D e a satisfação do usuário com o dispositivo através de um estudo de caso, (II) na avaliação mecânica da influência dos materiais e parâmetros de impressão no desempenho da prótese, em que inicialmente foram estudados e prototipados corpos de prova a fim de realizar testes mecânicos de resistência dos materiais e (III) na análise do desempenho na preensão manual do dispositivo com foco nas próteses fabricadas por prototipagem rápida por tecnologia aditiva de impressão tridimensional – tecnologia de fabricação por filamento fluído (FFF). Com os resultados dos testes mecânicos, foram definidas diretrizes para o desenvolvimento e prototipagem de próteses de membro superior personalizadas e então avaliado o desempenho dos dispositivos através de testes de preensão manual. Gerando assim diretrizes e parâmetros de impressão 3D que visam contribuir para o desenvolvimento do dispositivo.

1.4.2. Objetivos Específicos

Para isto, destacam-se os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar a influência dos materiais e parâmetros de impressão 3D na resistência mecânica à flexão e tração;
- Investigar a influência dos materiais utilizados na impressão 3D no desempenho da preensão manual de próteses;
- Explorar os aspectos estéticos, práticos e simbólicos do design das próteses;
- Averiguar a influência do design da prótese no desempenho de execução de atividades comuns da vida diária;
- Estudar e comparar os parâmetros de impressão 3D no processo de prototipagem de próteses;
- Pesquisar, sob o ponto de vista do usuário, de que forma o design das próteses influencia o estigma e a usabilidade destes produtos. Para isso, serão desenvolvidos três diferentes modelos de próteses de código aberto customizadas;

- Definir os parâmetros mais indicados no desenvolvimento da prótese personalizada, de forma a obter melhores resultados e diminuir a necessidade de readequação do design da prótese, visando contribuir para o melhor desempenho do dispositivo e para a possível diminuição da taxa de rejeição e de abandono do dispositivo pelo usuário.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. DEFICIÊNCIA E TECNOLOGIA ASSISTIVA

2.1.1. Deficiência

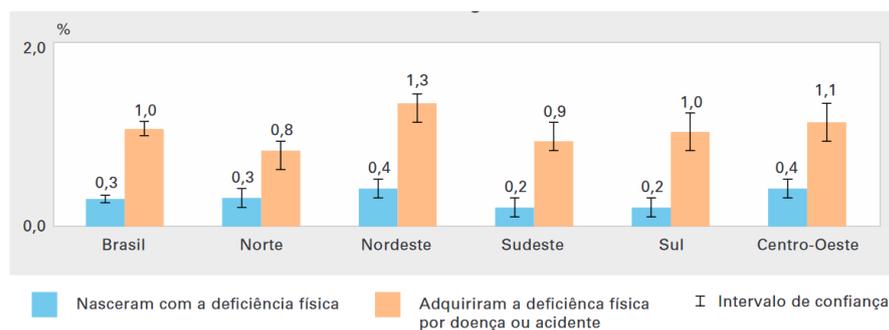
A Organização Mundial de Saúde (OMS ou *World Health Organization* - WHO) define no Anexo 1 - Questões de taxonomia e de terminologia da Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde (CIF) que

Deficiência é uma perda ou anormalidade de uma estrutura do corpo ou de uma função fisiológica (incluindo funções mentais). Na CIF, o termo anormalidade refere-se estritamente a uma variação significativa das normas estatisticamente estabelecidas (i.e. como um desvio de uma média na população obtida usando normas padronizadas de medida) e deve ser utilizado apenas neste sentido. (CIF, 2003, p.222)

Os dados no Brasil são coletados e analisados pelo IBGE, sendo descritos na Cartilha do Censo 2010 - Pessoas com Deficiência (IBGE, 2010), a qual afirma que 23,9% da população possui algum tipo de deficiência (visual, auditiva, motora e mental ou intelectual), sendo a motora a de segunda maior ocorrência e que pode ser minimizada com a utilização de tecnologias assistivas. Entretanto, de acordo com a nota técnica 01/2018 - Releitura dos dados de pessoas com deficiência no Censo Demográfico 2010 à luz das recomendações do Grupo de Washington emitida pelo IBGE, sobre a análise dos dados coletados na Cartilha do Censo 2010 - Pessoas com Deficiência (IBGE, 2010), essa porcentagem foi alterada, e sugere-se que cerca de 6,7% da população possui algum tipo de deficiência, em que a deficiência motora continua sendo a de segunda maior ocorrência, detendo 2,3%. Essa nova porcentagem é resultante de uma modificação na análise dos dados coletados em 2010 pelo IBGE, visando adequar essa análise em acordo com os padrões internacionais.

Ainda de acordo com a nota técnica 01/2018, sugere-se que 1% da população com deficiência física teve sua condição adquirida por doença ou acidente, assim como representado na Figura 1.

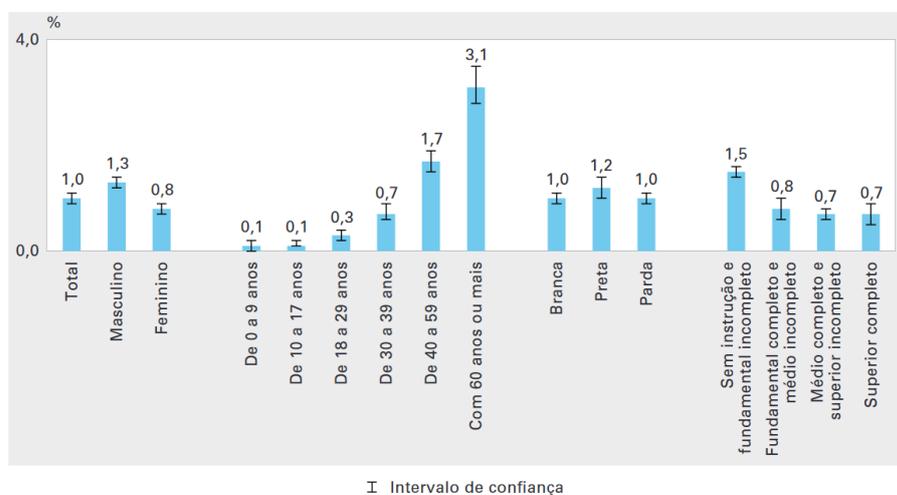
Figura 1. Gráfico de Proporção de pessoas que nasceram com a deficiência física e proporção de pessoas com deficiência adquirida por doença ou acidente, na população total, com indicação do intervalo de confiança de 95%, segundo as Grandes Regiões - 2013



Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Trabalho e Rendimento, Pesquisa Nacional de Saúde 2013.

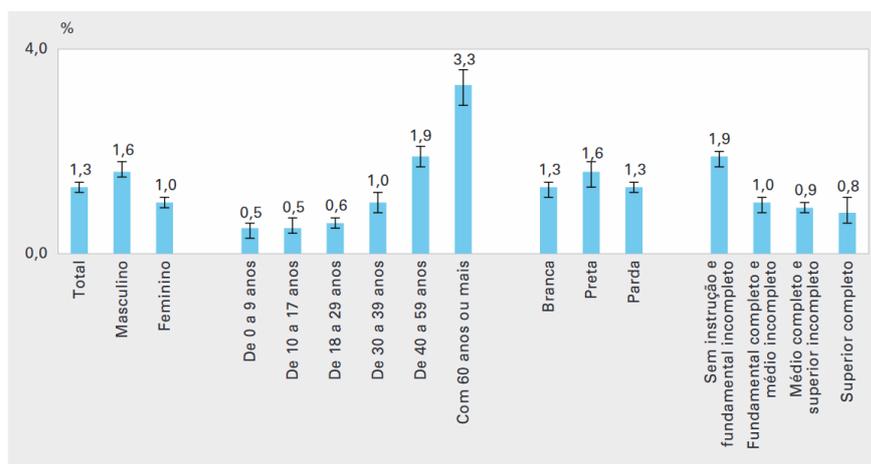
Em que a região nordeste se destacou, apresentando a maior porcentagem. Observa-se na Figura 2 que em relação às pessoas com deficiência física adquiridas por doença ou acidente, as maiores porcentagens são representadas pelo gênero masculino, pela faixa etária com 60 anos ou mais, pela raça preta e sem instrução e fundamental incompleto. Tais resultados, porém com diferentes valores, também foram encontrados em relação às pessoas que nasceram com deficiência física, como mostra a Figura 3.

Figura 2. Gráfico de Proporção de pessoas com deficiência física adquirida por doença ou acidente, na população total, com indicação do intervalo de confiança de 95%, segundo o sexo, os grupos de idade, a cor ou raça e o nível de instrução - Brasil - 2013



Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Trabalho e Rendimento, Pesquisa Nacional de Saúde 2013.

Figura 3. Gráfico de Proporção de pessoas com deficiência física, na população total, com indicação do intervalo de confiança de 95%, segundo o sexo, os grupos de idade, a cor ou raça e o nível de instrução - Brasil – 2013



I Intervalo de confiança

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Trabalho e Rendimento, Pesquisa Nacional de Saúde 2013.

A OMS sugere que o uso de tecnologias assistivas pode minimizar algumas limitações e desconfortos decorrentes de deficiências, especialmente em relação às deficiências físicas.

Entretanto, não foram encontrados dados específicos sobre o uso de próteses e amputação no Brasil. A OMS publicou em 2015 o WHO global disability action plan 2014-2021, documento onde foram estabelecidos uma série de objetivos, entre eles, a remoção de barreiras ao acesso à serviços de saúde, reabilitação e dispensação de dispositivos de TA.

No Brasil, iniciativas para atender a esses objetivos vêm sendo tomadas. A 3ª Conferência Nacional dos Direitos da Pessoa com Deficiência aprovou propostas que enfatizam a importância das TAs, através de medidas que visam o setor produtivo, como a ampliação de investimentos na área, criação de novos centros de TA, disponibilização de recursos para pesquisas e para a produção de produtos nacionais de qualidade e durabilidade, que atendam as necessidades características físicas e necessidades dos usuários, bem como assegurem o acesso a manutenção desses produtos; até mecanismos que facilitem os acesso da população a esses recursos, como a criação de um sistema para monitorar o acesso à reabilitação e às TAs de forma a ampliar e facilitar a concessão desses dispositivos, para que dessa forma, a concessão de órteses e próteses garantam não só o bem estar físico, mas também psicológico e mental dos usuários (BRASILIA, 2013).

2.1.2. Tecnologia Assistiva

A Tecnologia Assistiva (TA), é classificada pelo Comitê de Ajudas Técnicas (CAT), Ata 7 de 14 de dezembro de 2007, como sendo

Uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação, de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social. (CAT, 2007, p.7)

As tecnologias e dispositivos assistivos caracterizam-se por serem desde hardwares e softwares especializados (com objetivo de melhorar a visão ou audição, como por exemplo o Screen Reader e funções de acessibilidade presentes em *smartphones*), permitindo ao usuário uma melhor experiência e resultado ao utilizar o computador e dispositivos móveis, contribuindo assim para uma comunicação mais efetiva e independente; até os dispositivos que auxiliam a visão, postura e comunicação, como óculos, lentes oculares graduadas, as órteses, próteses, cadeiras de roda, muletas e cadernos ilustrados de comunicação.

Dois dispositivos que são comumente confundidos são as órteses e próteses. De acordo com Boccolini F. (2000), a órtese pode ser classificada como sendo “todo aparelho destinado a sustentar todo ou parte do peso do corpo, corrigir deformidades, evitar deformidades, imobilizar ou limitar movimentos de parte ou de todo o membro”. Já as próteses são os dispositivos assistivos cuja função é a de substituir um membro amputado ou que sofreu alguma deformação.

2.2. AMPUTAÇÃO E PRÓTESES

2.2.1. Amputação

A amputação é classificada pelas Diretrizes de Atenção à Pessoa Amputada (BRASIL, 2013), como sendo “o termo utilizado para definir a retirada total ou parcial de um membro, sendo este um método de tratamento para diversas doenças”.

Os dados mais recentes encontrados no Brasil, datam de 2011, em que cerca de 94% das amputações realizadas no SUS foram no membro inferior e

as frequências de causas de amputação registradas estão descritas na Figura 4.

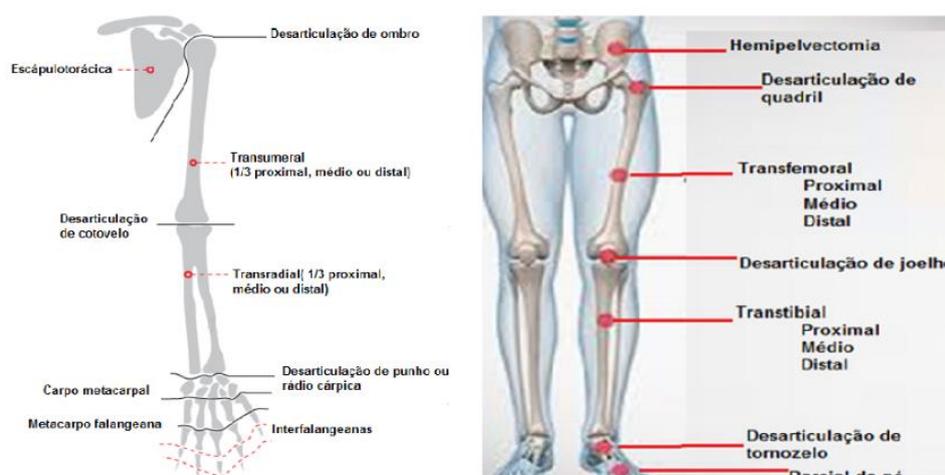
Figura 4. Frequência de procedimentos de amputação no SUS por causa.

	Causas	Frequência	%
1	Causas externas	16.294	33,1%
2	Algumas doenças infecciosas e parasitárias	8.808	17,9%
3	Doenças do aparelho circulatório	7.905	16,1%
4	Diabetes	6.672	13,6%
5	Gangrena (não classificada em outra parte)	5.136	10,4%
6	Doenças do sistema osteomuscular e do tecido conjuntivo	2.961	6,0%
7	Neoplasias	957	1,9%
8	Doenças da pele e do tecido subcutâneo	230	0,5%
9	Malformações congênitas, deformidades e anomalias cromossômicas	202	0,4%
	Total	49.165	100%

Fonte: SIHSUS, 2011

Os níveis de amputação são apresentados abaixo na Figura 5.

Figura 5. Níveis de amputação para MMSS e MMII.



Fonte: <https://extra268.files.wordpress.com/2017/10/rs611presinssmanual1.pdf>

2.2.2. Próteses

A prótese é definida pela *World Health Organization* como sendo um dispositivo aplicado externamente utilizado para substituir total ou parcialmente um segmento de membro (braço ou perna) ausente ou deficiente (WHO, *Standards for prosthetics and orthotics - Part 1. Standards*, 2017).

São encontrados diferentes tipos de próteses, que variam de acordo com a função do membro que irá substituir. Dentre elas, destacam-se as próteses auditivas - cuja função é ampliar o som permitindo o usuário identificar sons e sinais de alerta; a dentária - substituindo um ou mais dentes, é classificada em fixa ou removível, e ambos os tipos variam entre parcial ou total; a ocular - substituindo o globo ocular; a estética ou passiva - cuja função é estética, pois ela não substitui a função motora do membro amputado; a endoesquelética ou modular ou tubular; exoesquelética ou convencional. As próteses endoesqueléticas e exoesqueléticas podem ser classificadas como próteses ativas e de acordo com a forma que obtêm energia serem classificadas em: endoenergética ou mecânica ou de propulsão muscular e exoenergética ou de propulsão artificial (mioelétrica e pneumática). Caso a prótese obtenha energia de forma motora e por fonte externa, ela passa a ser considerada híbrida.

No caso das próteses funcionais que substituem um membro do corpo, elas devem cumprir a função motora desse membro. Mas ao serem projetadas, é necessário que o profissional leve em consideração o conforto do usuário, lembrando que o dispositivo substitui um membro e passará a fazer parte do corpo do usuário. Portanto, o usuário deve se sentir confortável tanto física como psicologicamente ao utilizá-lo. Outro importante aspecto a ser considerado durante o desenvolvimento do produto é a sua personalização. Tal necessidade é indicada pela grande importância e influência na vida do usuário. Portanto, as dimensões devem ser adequadas ao usuário e os aspectos estéticos devem satisfazê-lo, contribuindo assim em uma melhora no desempenho das atividades cotidianas, satisfação do usuário para com o dispositivo e inclusive na melhora da percepção de autoestima e da qualidade de vida.

2.3. DEMANDAS PARA APRIMORAMENTO NO DESIGN DE PRÓTESES DE MEMBRO SUPERIOR

Considerando que as próteses substituem um membro amputado passando a ser parte do corpo do usuário, é necessário que o dispositivo seja personalizado e esteja de acordo com os critérios ergonômicos, de usabilidade e estéticos de forma a estar de acordo com as dimensões do corpo do usuário e com as suas necessidades. Favorecendo assim a aceitação e satisfação do usuário para com o produto, ou seja, contribuindo para uma melhor adaptação do usuário ao produto, conseqüentemente diminuindo a taxa de rejeição da prótese e melhorando a qualidade de vida do usuário.

Em estudos anteriores a nível global realizados por Phillips & Zhao (1993) e Riemer-Reiss & Wachter (2000), foi apresentado que um total de 30% dos DTA são abandonados entre o primeiro e o quinto ano de uso. Em nível nacional, há um estudo desenvolvido por Sugawara et. al. (2018) conduzido em São Paulo, em que a taxa de abandono dos dispositivos de tecnologia assistiva encontrada foi de 19,38%, sendo que a maior taxa de abandono de dispositivo foi em relação às próteses de membro superior com 53,3%, devido a fatores negativos, podendo ser resultado de serem dispositivos não funcionais.

Sugere-se que a taxa de rejeição e abandono do uso dos dispositivos de tecnologia assistiva diminuam consideravelmente com a personalização dos dispositivos, pois como apresentado em alguns estudos (Silva, 2016; Costa et. al. 2015), esses dispositivos costumam ser abandonados em grande parte devido à:

Problemas com o estado físico do usuário; falta de informação e treinamento tanto de profissionais quanto de usuários; dor; limitações funcionais; preferência por outro DTA ou utilização de capacidades remanescentes; peso elevado; alterações nas condições do DTA; dificuldade de uso; insatisfação; desconforto; inadequação/inapropriação, e “muito barulho”. (Costa et. al., 2015, p. 611)

Tais informações comprovam a necessidade da prótese ser desenvolvida de forma personalizada e envolvendo o usuário durante o design e desenvolvimento do projeto mesmo em suas etapas iniciais. Dessa forma a não adaptação do usuário ao produto é minimizada.

Ao desenvolver um produto, é importante considerar as suas três funções: prática, estética e simbólica, propostas por Lobach (2001). Mas com frequência, é principalmente levado em consideração apenas as características funcionais. E de acordo com Taylor et al. (1999), o produto além de ser satisfatoriamente funcional, deve apresentar características simbólicas que sejam adequadas aos respectivos usuários e ambiente. Ele também sugere a importância das respostas emotivas e psicossociais ao design, ao apresentar uma pesquisa realizada na Loughborough University, UK, analisando o valor agregado e qualidade percebida das características semânticas de produtos eletrônicos. Sabe-se que a relação entre usuário-produto é complexa e é influenciada por diversos fatores, e.g. culturais, contexto de uso e idade.

2.4. IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL E PRÓTESES DE MEMBRO SUPERIOR

A Prototipagem Rápida (RP, de *Rapid Prototyping*) é caracterizada por diferentes tecnologias, como as aditivas e subtrativas, que tem por objetivo fabricar protótipos e “peças físicas com informações obtidas diretamente de um modelo geométrico tridimensional (3D) obtido por um sistema CAD (*Computer Aided Design*).” (Volpato, 2006). A RP permite que o processo de prototipagem seja realizado mais rapidamente do que o processo convencional.

Dentre as suas tecnologias, destaca-se a manufatura aditiva (AM, de *Additive Manufacturing*), também conhecida como impressão tridimensional (3D) que é um processo de fabricação caracterizado pela adição do material em camadas planas sucessivas.

A primeira etapa do processo requer um modelo virtual CAD do produto a ser prototipado, que através do uso de um *software* específico para a tecnologia, irá fatiar em camadas esse modelo virtual, convertendo-o para a linguagem da máquina de prototipagem. Após essas etapas e a preparação da máquina, o protótipo ou produto final será formado através da adição do material camada por camada.

A personalização da prótese vem cada vez mais ganhando espaço e diferentes implementações através da impressão 3D, devido a esse processo de fabricação envolver necessariamente um arquivo virtual 3D e permitir maior variação e customização da geometria do produto a ser impresso. A tecnologia mais utilizada é a de Fabricação por Filamento Fundido (FFF ou anteriormente

denominada Modelagem por Fusão e Deposição, FDM) em que “o material utilizado [...] encontra-se no estado sólido, podendo estar na forma de filamento, lâmina, ou então não ter uma forma específica, pois será fundido (liquefeito) para ser depositado.” (VOLPATO, 2007). Nesse processo o material sólido é aquecido até fundir e então extrudado e depositado na bandeja formando a peça. Os materiais utilizados são polímeros termoplásticos, em que os mais usados são o ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno) e o PLA (Ácido Polilático). Esse processo de desenvolvimento, torna a relação do usuário com o seu produto mais presente desde a etapa de projeto, não apenas durante o brainstorming, mas também no uso do produto final. Além disso, agiliza o processo de produção, tornando-o mais otimizado e rápido, se comparado ao modo tradicional de produção de próteses. Além de minimizar os custos de produção.

Com o aumento do desenvolvimento de próteses fabricadas através da impressão 3D e a facilidade de acesso e divulgação dos modelos de próteses de código aberto disponibilizados gratuitamente na internet - UnLimbited Arm V. 2.1. Alfie Edition (e-NABLE), Kwawu Arm 2.0 Socket e Thermoformed versions (Buchanan & e-NABLE), sendo ambas versões desenvolvidas em 2018, diversas próteses vêm sendo desenvolvidas e estudadas, inclusive na academia, com destaque aos projetos de Figliolia (2020) e Silva (2019), desenvolvidos na UNESP - Bauru no Centro Avançado de Desenvolvimento de Produtos (CADEP) e no Laboratório de Ergonomia e Interfaces (LEI), em parceria com o Centro Especializado em Reabilitação SORRI - Bauru.

É importante ressaltar que, mesmo tendo um aumento significativo na aplicação e estudo de customização de próteses 3D, dos modelos de código aberto disponíveis e em relação à impressão 3D, considerando a resistência dos materiais e a influência dos parâmetros, mas pouca informação é encontrada nos meios científicos a respeito da influência dos parâmetros de impressão 3D, da resistência dos materiais (polímeros usados na impressão 3D) e especialmente a aplicação dessas influências na prototipagem de próteses 3D. E assim como apresentado em alguns estudos (Lovo et al., 2016; Santana et al., 2018, Guo et al., 2018, Coutinho; , 2016), tais parâmetros influenciam na resistência do material e consequentemente afetam a resistência, durabilidade e desempenho das próteses. Portanto é importante que haja mais estudos sobre os materiais e a influência dos parâmetros, de forma a se ter maior conhecimento científico e prático do comportamento e

resistência dos materiais, a fim de produzir próteses mais seguras, duráveis e adequadas ao usuário.

2.4.1. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DA IMPRESSÃO 3D NO DESENVOLVIMENTO DE PRÓTESES DE MEMBRO SUPERIOR ATRAVÉS DE PROJETOS DE CÓDIGO ABERTO

2.4.1.1. Robohand

A Robohand (Figura 6) foi desenvolvida por Richard Van As em 2011, pois ele não encontrou um modelo de prótese que suprisse suas necessidades e tivesse um preço acessível, após perder os quatro dedos de sua mão dominante em decorrência de um acidente de trabalho de carpintaria.

Figura 6. Prótese Robohand.



Fonte: <https://www.makerbot.com/stories/engineering/robohand/>

2.4.1.2. RIT Arm

Foi desenvolvida em 2014 por membros da E-NABLE e do RIT (*Rochester Institute of Technology*) para um menino de 9 anos chamado Derek. Além das peças impressas 3D é necessário alguns outros componentes como um cano de PVC e o redimensionamento da prótese é feito utilizando os softwares de modelagem tridimensional após download dos arquivos virtuais.

Figura 7. Prótese RIT Arm



Fonte: <http://enablingthefuture.org/wp-content/uploads/2014/10/NEWRITARM.jpg>

2.4.1.3. ArmPO

A Arm PO foi desenvolvida em 2016 pelo time PO Paraguay, trata-se de uma prótese transradial inspirada na técnica de termoformagem da Unlimbited Arm, juntamente no sistema de antebraço Funmove, o braço flexível GiveMeFive, as obras de Christian Silva e na FlexyHand da GyrobotUK.

Figura 8. Prótese Arm PO.



Fonte: <http://e-nablebrasil.org/wp/po-arm/>

2.4.1.4. Personalização de próteses desenvolvidas na UNESP

Foram desenvolvidas duas próteses transradiais 3D customizadas para pacientes da SORRI – BAURU por alunas da UNESP – Bauru, graduação em design, através de uma parceria com a SORRI. O modelo utilizado como base para a customização foi o UnLimbited Arm V2.1 - Alfie Edition.

A autora do presente projeto desenvolveu uma prótese transradial 3D customizada para um adolescente paciente da SORRI - BAURU (Figliolia, 2020; Figliolia, 2018). O adolescente havia recebido uma prótese desenvolvida pelo SUS, entretanto ele abandonou o dispositivo pela má-adaptação devido ao desconforto e ruídos durante o uso. Então uma prótese customizada foi desenvolvida com abordagem de UCD e de acordo com as necessidades e preferências do usuário, facilitando assim a sua adaptação e melhorando seu grau de satisfação para com o dispositivo.

Figura 9. Prótese customizada pela autora.



Fonte: A autora.

Outra prótese desenvolvida foi a Prosteasys por Silva (2017) na UNESP para uma paciente criança da SORRI - BAURU.

Figura 10. Prótese Prosteasy.



Fonte: Silva (2017).

2.4.1.5. Mao 3D

A Mao3D é um projeto de extensão da Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP criado com o objetivo de fornecer próteses de membro superior para a população. As próteses são desenvolvidas inspiradas nos projetos da e-NABLE e Team UnLimbited e o projeto conta com doações de recursos e materiais.

Figura 11. Prótese 3D desenvolvida pela Mao3D.



Fonte: <https://www.mao3d.com.br/>

2.4.1.6. Associação Dar a Mão

A Associação Dar a Mão atua em conjunto com o Núcleo de Pesquisa POTA - Produtos Orientados para Tecnologia Assistiva do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, entre outros parceiros, auxiliando crianças, adolescentes e qualquer pessoa com deficiência física de membro superior ou inferior, além de auxiliarem a família. A associação fornece próteses customizadas em que utilizam modelos como a UnLimbited Arm.

Figura 12. Prótese desenvolvida pela Associação Dar a Mão

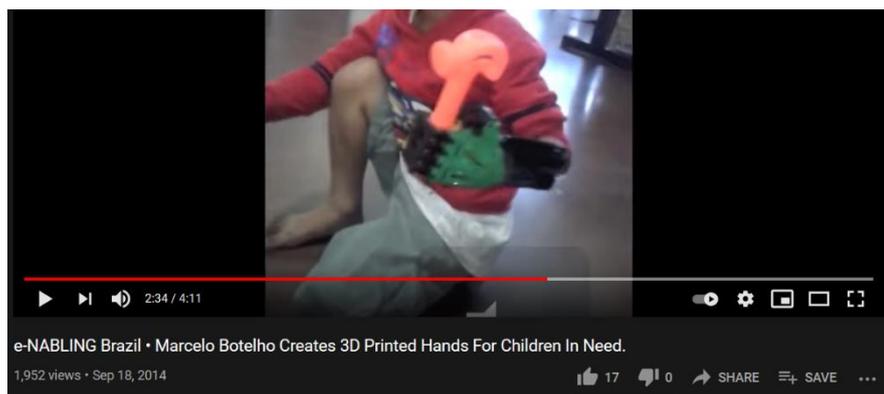


Fonte: <https://www.instagram.com/p/CSXQP6-LFIU/>

2.4.1.7. Prótese desenvolvida pelo Marcelo Botelho

Em 2014 Marcelo Botelho, então estudante de engenharia, desenvolveu uma prótese baseada nas próteses da e-NABLE para um menino que tinha má-formação na mão.

Figura 13. Prótese infantil desenvolvida por Marcelo Botelho em 2014.



Fonte: <https://enablingthefuture.org/2014/09/18/e-nabling-brazil-%e2%80%a2-super-heroes-around-the-world/>

2.5. DESIGN ERGONÔMICO, DESIGN EMOCIONAL E O DESENVOLVIMENTO E CUSTOMIZAÇÃO DE PRÓTESES

Assim como a TA, a Ergonomia é uma área interdisciplinar que contribui para melhorar a vida cotidiana (IIDA, 2016). Apresentada nos estudos de Paschoarelli (2006) a Ergonomia incorporada ao Design, caracteriza a metodologia do ergodesign ou Design Ergonômico, que “tem por princípio a aplicação do conhecimento ergonômico no projeto de dispositivos tecnológicos. Suas metodologias baseiam-se na compreensão e na predição da interação homem/tecnologia.”, tendo “como principais características, a análise ergonômica da atividade como foco da problematização, e a determinação de critérios ergonômicos e de usabilidade como diretrizes para o desenvolvimento do produto” (SILVA et. al., 2010).

Ao desenvolver produtos, os aspectos práticos são relevantes na usabilidade do produto, e sugere-se que os aspectos estéticos e simbólicos influenciam na aceitação e satisfação do produto pelo usuário. Um processo que relaciona esses três aspectos é a personalização do dispositivo.

O processo de personalização da prótese através da impressão 3D, descrito na seção acima (2.4. Impressão tridimensional e próteses de membro superior), facilita uma abordagem de design centrado no usuário no desenvolvimento do projeto, permitindo que o usuário do produto seja envolvido em etapas imprescindíveis do processo, o que torna a relação entre usuário-produto mais presente desde as primeiras etapas do projeto, não apenas durante o *brainstorming* e utilização do produto. Além disso, mesmo

tornando o processo de desenvolvimento da prótese um pouco mais demorado (por conta da interação entre o designer e o futuro usuário do produto), a probabilidade de maior adaptação do produto e satisfação do usuário tornam-se maiores, além da prototipagem rápida agilizar o processo de produção, tornando-o mais otimizado e rápido, se comparado ao modo tradicional de produção de próteses.

O termo design centrado no usuário (DCU ou *UCD*, de *User-Centered Design*) surgiu com Donald Norman nos anos 1980 e consiste em uma metodologia na qual torna o usuário do produto uma peça central no processo de desenvolvimento do produto. Diversos autores (NORMAN; DRAPER (1986); LOWDERMILK (2013); AZEVEDO; GIBERTONI (2020); PAGNAN et. al. (2019); PORSANI (2020); FIGLIOLIA et al. (2020) e FIGLIOLIA (2018)) contribuem com pesquisas e aplicações dessa metodologia inclusive mostrando alguns benefícios de sua aplicação, pois ao envolver o usuário final no processo, o desenvolvedor adquire maior clareza e conhecimento das reais necessidades do usuário, assim como antecipa e em alguns casos evita futuras dificuldades no uso do produto/sistema ao realizar os testes com o usuário, contribuindo assim para que o usuário tenha uma melhor experiência de uso do produto/sistema.

Uma importante ressalva ao abordar o design centrado no usuário e a personalização no desenvolvimento da prótese é em sua relação com o design emocional, contemplando a investigação dos aspectos simbólicos e o valor emocional e psicológico relacionados ao uso da prótese e a relação entre usuário-prótese, envolvendo as experiências e os aspectos psicológicos.

O design emocional é explicado por Donald Norman em sua palestra no TED (2003), em que ele define os três níveis de design que um produto necessita possuir para ter sucesso: o visceral - o “instinto” caracterizado pelas experiências sensoriais que o usuário vivencia; o comportamental - em que “o design comportamental é sentir-se no controle, o que inclui usabilidade, compreensão, mas também o sentir e o peso”; e o reflexivo - o superego, relacionado à como o usuário se sente utilizando o produto e também ao status social.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa foi estruturada visando investigar a tecnologia assistiva mais indicada após a amputação de membro superior, a prótese transradial, avaliando os aspectos práticos do dispositivo (desempenho do dispositivo e a influência dos materiais e parâmetros de confecção).

Ela foi composta em três etapas: na primeira foi realizado o estudo de caso. Em seguida, foram realizados os ensaios mecânicos e, com os resultados dos ensaios, foram prototipadas as próteses para a terceira etapa, caracterizada pelos testes de preensão manual. As etapas estão descritas a seguir.

Etapa I: Estudo de caso para avaliar a experiência de uso da prótese e o desempenho de três diferentes modelos de próteses 3D de código aberto impressas em PLA, sendo eles a *UnLimbited Arm*, *Kwawu Arm* nas versões *Socket* e *Thermoformed*. O teste com as diferentes próteses foi realizado de forma presencial no CER em Marília, por um participante idoso que possui amputação transradial e está há 31 anos sem utilizar prótese, mas utilizou um dispositivo por aproximadamente 16 anos e possui recomendação para voltar a usar

Etapa II: avaliação da influência da impressão 3D por FFF (dos materiais, parâmetros e processo) na resistência mecânica dos materiais visando encontrar os melhores parâmetros e materiais a serem usados na confecção da prótese 3D. Para tal, foram realizados ensaios de tração e flexão à 3 pontos, em que os corpos de provas foram impressos seguindo respectivamente as normas D638 e D790, nos materiais ABS, PETG e PLA e com diferentes números de camadas (três e cinco).

Etapa III: verificação do desempenho na preensão manual da prótese modelo *UnLimbited Arm* nos três diferentes materiais (ABS, PETG e PLA), com três e cinco camadas de impressão e em quatro diferentes condições (prótese neutra, com dedal de silicone, com tecido emborrachado nos dedos e falanges e com tecido emborrachado nos dedos, falanges e palma). Foram avaliadas ao todo 5 próteses (ABS com 3 e 5 camadas, PETG com 5 camadas e PLA com 3 e 5 camadas) nas quatro condições seguindo a ordem descrita acima. Para cada um dos 33 objetos (descritos na seção 3.8.1 Material específico), se a prótese o sustentasse por no mínimo 60s, era considerado um sucesso na preensão.

Nos tópicos a seguir serão apresentados com mais detalhes a metodologia empregada e os materiais utilizados, assim como explanados os aspectos éticos da pesquisa.

3.1. Aspectos éticos

Por se tratar de um experimento que envolve seres humanos, na etapa do estudo de caso, o presente estudo foi elaborado de acordo com a Resolução 466 (12/12/2012) do Conselho Nacional de Saúde - Ministério da Saúde (CONSELHO NACIONAL DE SAÚDE, 2012) e o Código de Deontologia do Ergonomista Certificado - Norma ERG BR 1002 (ABERGO, 2003). O presente projeto de pesquisa foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design (FAAC), da Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Bauru - SP, no parecer 4.803.663 de 24 de junho de 2021 (ANEXO A).

Foi elaborado o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), para que, antes de iniciado qualquer procedimento da pesquisa, o participante fosse informado sobre os objetivos e procedimentos do estudo e as atividades não fossem invasivas e apresentassem baixos riscos, como algum desconforto decorrente de ajustes da prótese e algum desconforto ou constrangimento ao responder os questionários. Após a leitura do termo, a pessoa que concordou em participar da pesquisa assinou o termo para então iniciar a coleta de dados.

3.2. Participante

Para a avaliação da experiência de uso da prótese, desempenho dos diferentes modelos de próteses 3D e a satisfação do usuário com o dispositivo, investigados no estudo de caso, foram aplicados questionários com um participante maior de 18 anos que possui amputação transradial com 15 anos de uso de prótese e que realizou o teste de desempenho dos diferentes modelos de prótese e satisfação do usuário para com o dispositivo.

O participante é um homem idoso, que sofreu uma amputação de membro superior direito em um acidente de trabalho e atualmente não utiliza mais a prótese, mas possui prescrição de uso do dispositivo especialmente para auxílio ao desempenhar atividades no trabalho.

3.3. Artefatos de estudo

Foram selecionados para a análise de desempenho do dispositivo do estudo de caso três modelos de próteses transradiais de código aberto. Na avaliação da preensão manual, foi utilizado apenas o modelo UnLimbited Arm, prototipado de

acordo com os parâmetros com melhores resultados observados nos testes mecânicos e prototipado nos três polímeros em estudo. Tais modelos são descritos a seguir, juntamente com a descrição dos corpos de prova (CP).

Vale destacar que esses modelos foram anteriormente utilizados em um teste de prensão manual desenvolvido como parte do projeto de Iniciação Científica da estudante de design Erica Tiemi Tobaró em 2020 vinculado ao presente projeto de mestrado.

3.3.1. Corpos de provas

Os Corpos de provas (CPs) usados no ensaio de resistência à tração, seguem a norma ASTM D638 (ASTM, 2014), tipo IV, com dimensão de 115 mm x 19 mm e 3,3 mm de espessura e possuindo uma seção resistiva retangular de 6,0 mm x 3,5 mm. (Figura 14).

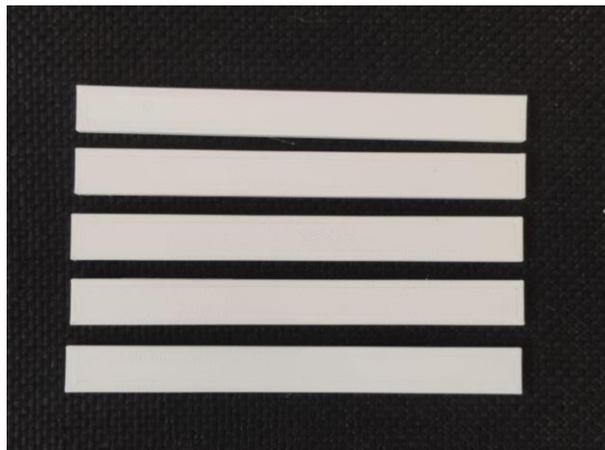
Figura 14. Corpos de prova - ensaio de tração - ASTM D638.



Fonte: A autora.

Os CPs usados no ensaio de resistência à flexão à 3 pontos, seguem a norma ASTM D790 (ASTM, 2017), na dimensão 127 mm x 12,7 mm e 3,2 mm de espessura (Figura 15).

Figura 15. Corpos de prova – ensaio de flexão - ASTM D790.



Fonte: A autora.

Todos os CPs foram impressos com os seguintes parâmetros de impressão: preenchimento com 35% e padrão triangular, 0,2 mm de espessura da camada, 60 mm/s de velocidade de impressão e uso da mesa de impressão aquecida. A variável de comparação dos parâmetros é o número de camadas de contorno, topo e base (*shells*), portanto os CPs foram impressos com 3 e 5 camadas.

3.3.2. UnLimbited Arm V. 2.1 - Alfie Edition

Em 2014 Steve Davies e Drew Murray se uniram, formando o grupo e-NABLE com o objetivo de produzir uma mão esquerda impressa 3D (Figura 16).

Figura 16. Fundador da e-NABLE e alguns dos modelos de próteses prototipadas.



Fonte: <https://www.teamunlimbited.org/about>.

Em 2015, desenvolveram a UnLimbited Arm v. 1.7 - Isabella Edition (Figura 17), uma prótese transradial customizada para uma criança de sete anos que mais tarde foi aprimorada.

Figura 17. Prótese UnLimbited Arm v. 1.7 - Isabella Edition.



Fonte: <https://enablingthefuture.org/team-unlimbited-arm/> .

Então, em 2018, o grupo e-NABLE e Team UnLimbited desenvolveu esse novo modelo de prótese transradial 3D aprimorado, a UnLimbited Arm v. 2.1 - Alfie Edition (Figura 18), que continua sendo o modelo mais atual e está disponível para customização no website do Thingiverse no Customizer.

Figura 18. Prótese UnLimbited Arm v.2.1 - Alfie Edition

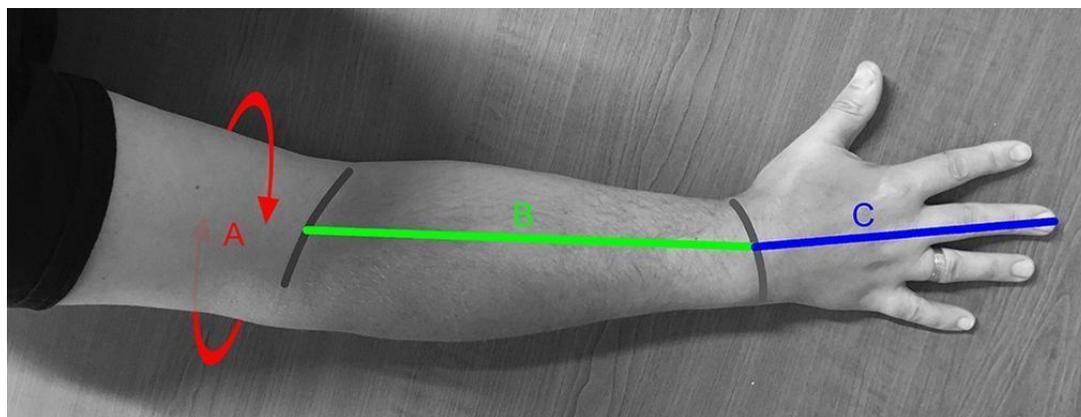


Fonte: <https://www.teamunlimbited.org/arms>.

Esse modelo de prótese utiliza além da impressão 3D a técnica de termoformagem (moldagem do material através do seu aquecimento), em algumas de suas peças, como o antebraço e o “cuff” (braçadeira). Em relação à customização, é necessário coletar três medidas do paciente (Figura 19), sendo a circunferência do bíceps (A), comprimento do antebraço (B) do

membro complementar ao membro amputado e o comprimento da mão (C) do membro complementar.

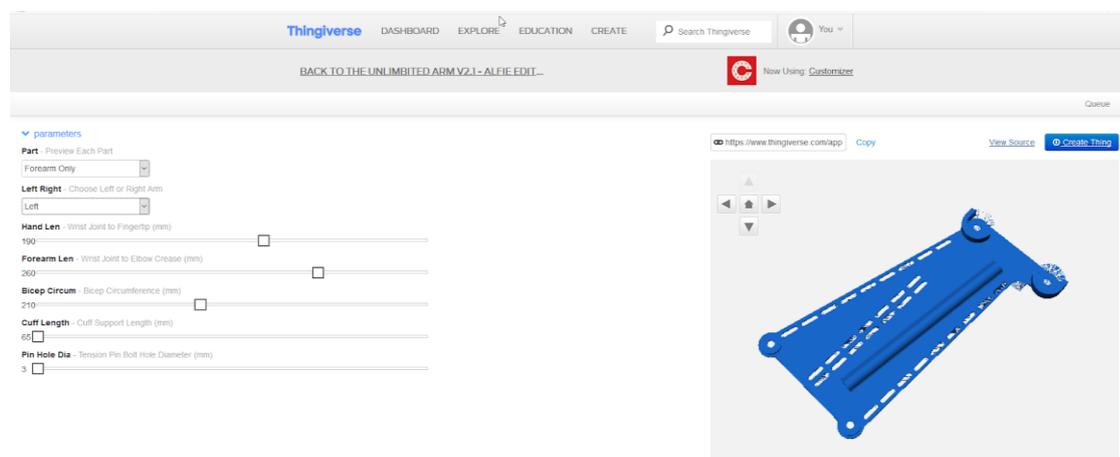
Figura 19. Instrução das medidas a serem coletadas.



Fonte: <https://www.thingiverse.com/thing:167238>.

Tendo conhecimento das medidas do futuro usuário da prótese, esses valores são especificados no aplicativo *Customizer* (Figura 20), assim como a informação referente ao membro ser do lado esquerdo ou direito. E então os arquivos são gerados e disponibilizados para download e em seguida serem impressos 3D.

Figura 20. Arquivo do antebraço no Customizer, no Thingiverse.



Fonte: A autora, disponível em: https://www.thingiverse.com/apps/customizer/run?thing_id=1672381

3.3.3. Kwawu Arm 2.0

Inicialmente foi desenvolvida para Kwawu John Mensah, por Jacquin Buchanan pela e-NABLE Ghana em 2016 (Figura 21). Seu design foi baseado na junção entre o design do pulso e braço da Flexi Arm 2 desenvolvida por Christian Silva e os designs dos dedos da Flexi Hand 2 de Steve Wood, de forma a facilitar o processo de impressão 3D e por ter uma aparência mais natural.

Figura 21. Prótese Kwawu Arm 2.0.



Fonte: <https://www.thingiverse.com/thing:194701>.

Em 2018, foi lançado o novo modelo da Kwawu Arm, o modelo 2.0, tendo duas versões que serão descritas a seguir e ambas foram selecionadas como artefato de estudo da pesquisa. Ambos os modelos estão disponíveis no website Thinkverse e é possível adequar as dimensões do modelo da prótese às medidas do usuário, mas tal alteração deve ser realizada utilizando o software de código aberto *OpenSCAD*. As informações sobre a configuração do software e sobre a impressão 3D e montagem das próteses estão disponíveis em um manual de instruções disponível para download no mesmo site.

3.3.3.1. Thermoform Version

Essa versão é indicada para as pessoas que possuem o membro residual (coto) longo e assim como na UnLimbited, é necessário haver a termoformagem de algumas das partes da prótese: o antebraço e o “*cuff*” (braçadeira).

Figura 22. Prótese Kwawu Arm - Thermoformed version.

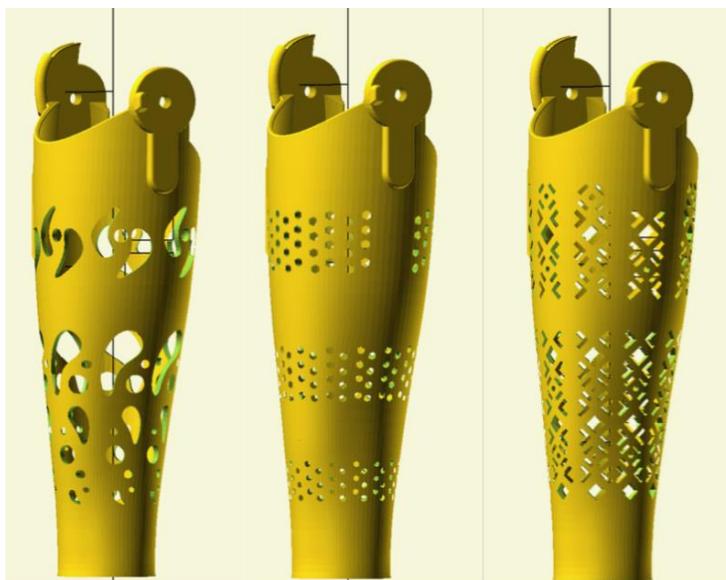


Fonte: <https://www.thingiverse.com/thing:2841296>.

3.3.3.2. Socket Version

Essa versão é indicada para as pessoas que possuem o membro residual (coto) curto. Nesse modelo ainda se faz necessário a termoformagem do “*cuff*” (braçadeira), mas o antebraço é totalmente revestido, como se fosse uma capa de prótese e é impresso no seu formato final. É possível escolher entre três modelos de antebraço, em que há alterações na estética e ventilação do dispositivo (Figuras 23 e 24).

Figura 23. Três diferentes modelos da prótese Kwawu Arm - Socket version.



Fonte: <https://www.thingiverse.com/thing:2841281>

Figura 24. Prótese Kwawu Arm - Socket version - peças prototipadas.



Fonte: https://cdn.thingiverse.com/assets/b6/05/7a/8f/9b/Using_OpenSCAD_to_Render_Kwawu_Arm_2.0_-_Socket_Version.pdf

3.4. Materiais

Os materiais utilizados em ambas as etapas estão descritos abaixo nesta seção. Contudo, os objetos específicos usados em cada uma das três etapas estão descritos seção “Material específico” nos tópicos a seguir, sendo respectivamente 3.6. Estudo de caso, 3.7. Estudo da resistência mecânica entre os diferentes materiais impressos 3D por FFF e 3.8. Estudo da preensão manual de objetos.

Foi utilizado referencial teórico e prático, e como objeto de estudo, corpos de prova para os testes mecânicos de flexão e tração, além de próteses 3D. A prototipagem se deu pelo processo de impressão 3D por FFF, utilizando a impressora Moust Builder Mega 2, presente no CADEP e os seguintes materiais: ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), PLA (Poliácido láctico) e o PETG (Politereftalato de etileno modificado com glycol).

Os softwares utilizados no desenvolvimento desse projeto são o Autodesk Fusion 360, software de código aberto, para a criação dos corpos de prova, o Materialize Magics (licença de uso pelo CADEP) e o Ultimaker Cura 4.5 (licença de uso estudantil para o preparo da impressão 3D).

Para a realização dos registros fotográficos e vídeos durante o desenvolvimento do projeto e na realização dos testes, foi utilizado o cronômetro e câmera do celular Xiaomi Mi 9 SE e câmera Nikon D3100.

3.5. Procedimentos metodológicos

A pesquisa possui caráter exploratório, pois segue uma metodologia em que será realizada pesquisa, aplicação de testes e questionários, fornecendo resultados e gerando conhecimento científico. Também será realizado um teste de preensão manual para melhor compreensão e avaliação dos aspectos práticos da prótese (desempenho do dispositivo). As questões de caráter prático (de desempenho), além da relação entre usuário-dispositivo serão avaliadas através dos testes e questionário. A abordagem utilizada nesta pesquisa é qualiquantitativa, em que a etapa do estudo de caso é qualitativa e a abordagem nas demais etapas (testes mecânicos e de preensão manual) é quantitativa.

Inicialmente foi realizada pesquisa na literatura científica e definição dos modelos de próteses a serem estudados, assim como dos parâmetros de impressão 3D a serem utilizados nas próteses e de estudos similares que realizaram testes mecânicos em polímeros plásticos (ABS, PLA e PETG) com aplicação na impressão 3D.

Os testes foram realizados em três etapas distintas, por terem objetivos e metodologias diferentes. Dessa forma foram explicados detalhadamente na seção “Procedimentos metodológicos” dos tópicos 3.6 Estudo de caso, 3.7 Estudo da resistência mecânica entre os diferentes materiais impressos 3D por FFF e 3.8. Estudo da preensão manual de objetos.

Após os testes, deu-se início a análise dos dados e a discussão dos resultados encontrados, de forma a gerar referências no desenvolvimento e prototipagem de próteses personalizadas impressas 3D além de apresentar os resultados obtidos na comparação entre os dispositivos e fornecer maior conhecimento científico a respeito do comportamento e resistência mecânica dos polímeros mais usados na fabricação de próteses 3D.

Por conta da pandemia de COVID-19, diversas alterações no projeto foram realizadas, visto que o projeto foi seriamente prejudicado pela impossibilidade de acesso aos laboratórios para prototipagem dos corpos de provas e próteses e na realização dos testes mecânicos e contato com o usuário, de forma a respeitar todos os protocolos sanitários relacionados à pandemia e as normas de suspensão das atividades na UNESP (Portaria Unesp nº111, de 18 de março de 2020 e Comunicado GAC - Nº 004/2021, de 05 de março de 2021).

Portanto, algumas etapas foram reduzidas como a pesquisa relacionada à satisfação do usuário, influência do design e da usabilidade da prótese aos efeitos da amputação, em que o número de sujeitos foi reduzido para um participante.

3.6. Estudo de caso

3.6.1. Material específico

Nesta etapa de avaliação, os aspectos relacionados à satisfação do usuário, influência do design e da usabilidade da prótese foram avaliados através dos questionários descritos na seção a seguir (3.6.1.1 Protocolos).

3.6.1.1. Protocolos

3.6.1.1.1. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), desenvolvido em acordo com a resolução 196/1996 pelo Conselho Nacional de Saúde, do Ministério da Saúde, informa os objetivos e procedimentos da pesquisa, assim como o deixa ciente das atividades não apresentarem riscos ao participante. É através do TCLE que a pessoa consente sua participação no estudo de forma voluntária e caso o voluntário queira desistir durante a sua participação, sua decisão será acatada e ele não sofrerá nenhum ônus. Os TCLEs utilizados no estudo encontram-se ao final da dissertação no APÊNDICE A.

3.6.1.1.2. Protocolo de identificação

O protocolo de identificação foi desenvolvido para a coleta de dados gerais da amostra, em que importantes informações foram obtidas, sendo estas relacionadas à amputação (nível, causa e tempo decorrido), à acompanhamento na reabilitação e ao uso da prótese (APÊNDICE B).

3.6.1.1.3. Protocolo de desempenho da prótese durante o teste de Caixa e Blocos

O Teste da Caixa e Blocos tem como objetivo avaliar a destreza manual grossa e é amplamente utilizado por Terapeutas Ocupacionais (TO) (Mendes et. al. 2001 e Guimarães, 2008). O teste consiste em uma caixa separada por uma divisória em duas partições, em que os blocos são posicionados em uma delas e devem ser transportados para a outra divisória um por um até completar 60 segundos de teste. Inicialmente o teste é realizado com a mão dominante e em seguida com a não dominante. Ao final do teste o número total de blocos transportados em cada etapa é contabilizado e levado em consideração para verificar o desempenho (Mathiowetz et. al. 1985).

De forma a analisar o desempenho dos diferentes modelos de prótese durante a execução do Teste de Caixa e Blocos, foi elaborado um breve questionário, com duas perguntas em que o sujeito deveria determinar (I) o quão satisfeito esteve com o dispositivo e (II) o grau de conforto que sentiu ao utilizar o dispositivo. As respostas se deram por uma escala *Likert*, tendo os valores variando entre 0 (Nem um pouco satisfeito) e 10 (Totalmente satisfeito) (APÊNDICE C).

3.6.2. Procedimentos metodológicos

Para o estudo, foram selecionados três diferentes modelos de próteses disponíveis de código aberto que foram testadas pelo participante a fim de comparar o desempenho dos dispositivos e a satisfação do usuário em relação aos diferentes modelos.

O teste foi realizado no Centro Especializado em Reabilitação (CER) da UNESP - Campus Marília e foi iniciado após o participante compreender os objetivos e etapas da pesquisa e ter assinado o TCLE concordando em participar.

Inicialmente seria realizado o teste de caixa e blocos. Mas devido às limitações experienciadas durante o teste, ele foi substituído para um teste de desempenho utilizando objetos de uso cotidiano.

Após a realização do teste, o participante responderia o questionário de avaliação do desempenho da prótese e então a prótese seria trocada e a

atividade realizada novamente de forma que o participante utilizasse as três próteses e respondesse o questionário logo após o uso.

Finalizada essa etapa, o participante responderia aos questionários de identificação.

3.7. Estudo da resistência mecânica entre os diferentes materiais impressos 3D por FFF

3.7.1. Material específico

Os corpos de prova (CPs) foram impressos usando ABS, PLA e o PETG. Os CPs foram impressos na cor branco e o PLA, foi impresso em branco e rosa, para avaliar se o pigmento altera o comportamento do material influenciando sua resistência mecânica. Tal teste foi realizado apenas com o PLA, pois é o material mais empregado na prototipagem rápida com impressão 3D para confecção de próteses e devido às limitações decorrentes à situação de pandemia do COVID-19. Para cada parâmetro a ser avaliado, foi impresso 5 CPs, cujo formato e dimensão seguiram as normas ASTM D638 (ASTM, 2014), tipo IV com dimensão de 115 mm x 19 mm x 3,3 mm e possuindo uma seção resistiva retangular de 6,0 mm x 3,5 mm para o teste de tração e a norma ASTM D790 (ASTM, 2017) na dimensão 127 mm x 12,7 mm x 3,2 mm para o teste de flexão. Todos os filamentos plásticos foram adquiridos da empresa bauruense Mousta, sendo produzidos pela marca 3DFila e possuem 1,7 mm de diâmetro.

O equipamento utilizado nos testes mecânicos de tração e flexão é a Máquina de Ensaio modelo DL-2000 da EMIC – Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda., presente no Laboratório de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia de Bauru (FEB), da UNESP, com as seguintes configurações empregadas: célula de carga de 200 kg e velocidade de deslocamento de 2 mm/min.

3.7.2. Procedimentos metodológicos

Com o intuito de investigar a influência dos materiais e parâmetros de impressão 3D na resistência mecânica da prótese, efetuou-se uma etapa na pesquisa em que inicialmente foi investigada a relação entre os materiais e os parâmetros de impressão 3D para assim avaliar qual seriam os melhores

materiais e parâmetros a serem aplicados no desenvolvimento de prótese customizada fabricada por impressão 3D, tipo FFF. Após a investigação da influência dos materiais e parâmetros de impressão, os resultados mais satisfatórios foram empregados na prototipagem de um modelo de prótese impresso em três diferentes materiais que foram avaliados em um teste de prensão manual, fornecendo assim dados ao pesquisador para avaliar a resistência mecânica e desempenho do dispositivo em diferentes materiais e compará-los entre si.

Como descrito anteriormente, a necessidade desta investigação surgiu durante a realização de um projeto anterior de customização de prótese 3D em que foram encontradas várias informações de recomendação, mas pouco estudo e investigação acerca das propriedades mecânicas, portanto foi identificada essa lacuna de conhecimento e mostrando a necessidade de mais investigações.

Os autores Lovo et al. (2016), Sugawara et al. (2018), Santana et al. (2018), Guo et al. (2018) e Coutinho (2016) reforçam essa importância ao demonstrarem que os parâmetros de impressão influenciam na resistência do material e conseqüentemente no desempenho da prótese e em alguns estudos inclusive afirmam ser necessário mais estudos investigando essas relações (A Yu Perelygina et. al., 2020).

Esses testes iniciais tiveram como primeira etapa a busca na literatura científica e na internet a respeito das recomendações dos materiais e parâmetros, de estudos similares, dos tipos de testes mecânicos a serem realizados e das normas técnicas a serem seguidas.

Para a realização dos testes, os corpos de prova seriam impressos no CADEP - UNESP Bauru sendo que esta etapa da pesquisa tinha seu início definido para março de 2020 e infelizmente com o início da quarentena no Brasil essa etapa foi adiada. Mas durante esse período as buscas continuaram e outras etapas da pesquisa foram acontecendo paralelamente.

Com o prolongamento da quarentena foi avaliado algumas modificações no projeto permitindo que a pesquisa ocorresse dentro das atuais condições.

Inicialmente seriam avaliados diversos parâmetros, entretanto observou-se que o nível de complexidade da pesquisa seria muito elevado, sendo necessário maior conhecimento sobre engenharia, além de mais tempo, integrantes da área de engenharia e uma pesquisa totalmente focada na investigação dos parâmetros. Mas devido à grande importância dessa investigação no desempenho da prótese, a pesquisa foi mantida de forma

simplificada. Os parâmetros a serem analisados foram reduzidos e outro fator que influenciou nessa tomada de decisão foi o acesso aos equipamentos e laboratórios devido a pandemia.

Portanto foram definidos pelos pesquisados os parâmetros, materiais, testes mecânicos a serem realizados (sendo o de flexão e o de tração) e as normas técnicas a serem seguidas. Após a definição das variáveis do estudo e dos testes a serem realizados, foram impressos 3D os corpos de provas (CPs) iniciais para um pré-teste, tendo como objetivo averiguar se os resultados seriam relevantes e se as dimensões dos CPs seriam adequadas. O pré-teste apresentou resultados satisfatórios então foram impressos os demais CPs necessários para o estudo.

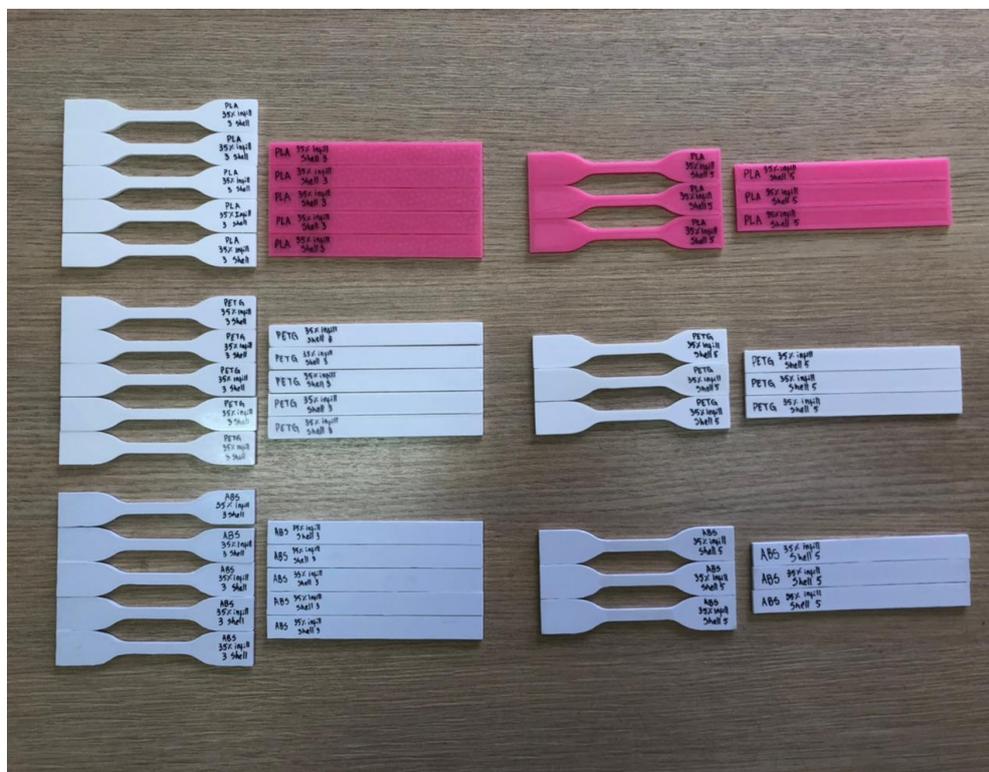
Os CPs possuem as seguintes características:

- Para o ensaio de tração, as dimensões e formatos foram definidos de acordo com a norma ASTM D638 (ASTM, 2014), tipo IV, no formato retangular com dimensão de 115 mm x 19 mm.
- Para o ensaio de flexão, as dimensões e formatos foram definidos de acordo com a norma ASTM D790 (ASTM, 2017), na dimensão 127 mm x 12,7 mm.
- Em ambos os testes foram impressos CPs em dois parâmetros de comparação variando o número de camadas de contorno, topo e base, entre 3 e 5. os outros parâmetros não foram alterados, ou seja, a porcentagem de preenchimento foi de 35%, velocidade de impressão 60 mm/s e 0,2 mm de espessura da camada.

Inicialmente foram usadas duas configurações diferentes de uma das variáveis (número de camada, ou shells, variando entre 3 e 5), sendo que cada CP foi impresso cinco vezes e em três diferentes materiais (ABS, PLA e PETG) e foram impressos dois diferentes modelos de CP (um para cada tipo de teste mecânico, sendo eles o de tração e o de flexão). Totalizando 77 CPs, sendo 4 utilizados no pré-teste, 33 no teste de flexão e 40 no teste de tração. A divergência entre a quantidade de CPs utilizadas no teste de tração e flexão se deve às limitações do estudo, devido a dificuldades do comportamento do material e equipamento que inviabilizaram a prototipagem de 7 CPs a serem usados no teste de flexão. Vale ressaltar que para cada variável em estudo 5 CPs foram prototipados, totalizando 10 CPs por material. Entretanto, foi

adicionado um teste complementar a fim de analisar a diferença nas propriedades mecânicas do material PLA em relação à pigmentação, portanto para os CPs em PLA, foram usadas as cores rosa e branco. Já os CPs de ABS e PETG foram prototipados na cor branca (Figura 25).

Figura 25. Corpos de prova para os testes mecânicos, em ABS, PLA e PETG, impressos 3D nas variáveis P1 e P2.



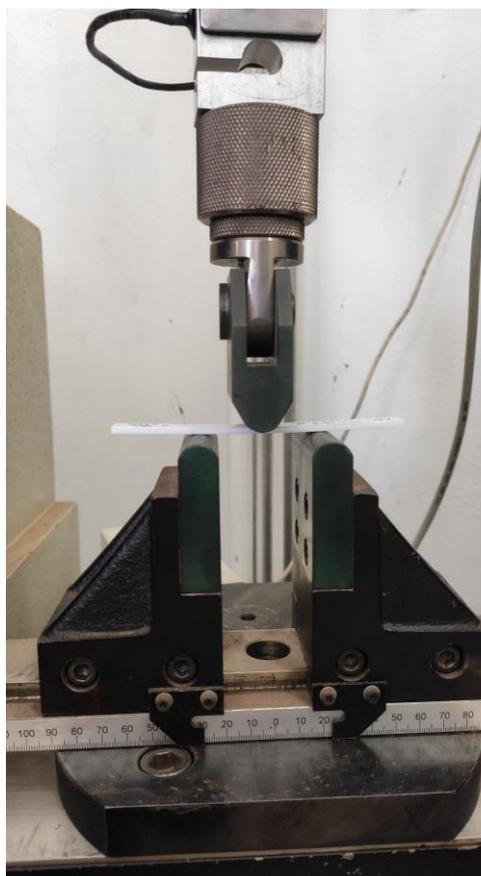
Fonte: A autora.

Finalizada a prototipagem, os CPs foram submetidos aos testes de tração e flexão no Laboratório de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia de Bauru (FEB) realizados pela Máquina de Ensaio modelo DL-2000 da EMIC – Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda. utilizando uma célula de carga de 200 kg e velocidade de deslocamento de 2 mm/min.

O teste de flexão fornece os valores da força de resistência à flexão em ensaio de flexão a três pontos e o gráfico apresenta a relação entre a força (N) e a deformação (mm), enquanto o teste de tração fornece a força e tensão de ruptura sob tração, a porcentagem de alongamento do material e a força de escoamento e o módulo elástico dos materiais e o gráfico apresenta a tensão de ruptura (MPa) e a deformação específica (mm/mm).

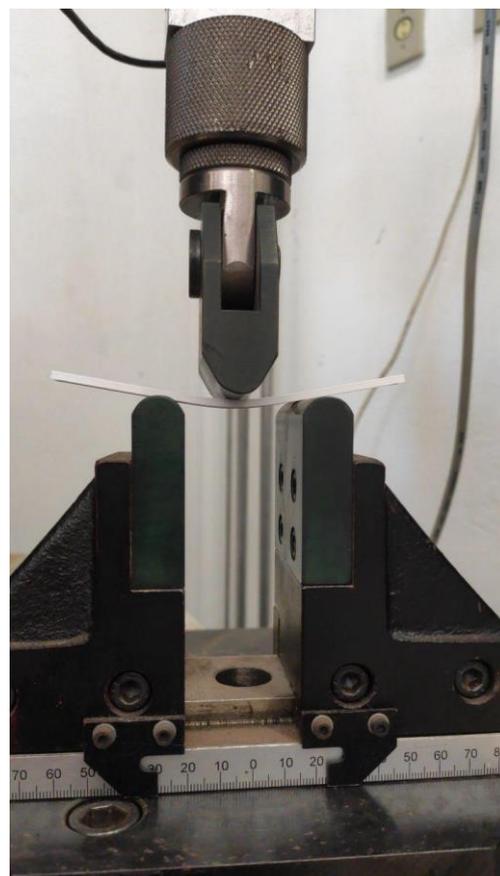
O primeiro ensaio realizado foi o teste de flexão (Figuras 26 e 27), em que os CPs foram submetidos a um ensaio de flexão de três pontos para avaliar a resistência dos materiais em estudo à flexão. Ao todo foram utilizados 33 CPs, sendo 10 ABS na cor branca, 8 PETG na cor branca (seriam 10, mas por algumas limitações durante o processo de impressão dos CPs e de acesso aos laboratórios, o teste foi realizado apenas com 5 CPs de P1 e 3 CPs de P2), 10 PLA na cor rosa e 5 CPs na cor branca (foram testados apenas os 5 CPs de P2, por conta da mesma limitação ocorrida com os CPs de PETG). Os CPs de PLA foram impressos em duas cores, pois alguns estudos sugerem que há influência da cor do filamento no desempenho e propriedade dos materiais. Foi escolhido testar apenas com o PLA, pois este material é o mais recomendado pelos desenvolvedores de próteses de código aberto (objeto de estudo da presente pesquisa) e devido à complexidade em realizar mais testes e com diferentes materiais durante a pandemia de COVID-19.

Figura 26. Teste de resistência a flexão à três pontos (início do teste).



Fonte: A autora.

Figura 27. Teste de resistência a flexão à três pontos (após início da deformação do CP).



Fonte: A autora.

O segundo ensaio realizado foi o teste de tração (Figuras 28 a 30), em que os CPs foram submetidos a um ensaio de tração para avaliar a tensão de ruptura sob tração dos materiais em estudo. Ao todo foram utilizados 40 CPs, sendo 10 ABS na cor branca, 10 PETG na cor branca, 10 PLA na cor rosa e 10 CPs de PLA na cor branca. Assim como explicado no parágrafo anterior, os CPs de PLA foram impressos em duas cores, devido a estudos sugerirem que há influência da cor do filamento nas propriedades dos materiais e por ser o material mais utilizado na prototipagem de próteses 3D.

Figura 28. Teste de resistência à tração (início).



Fonte: A autora.

Figura 29. Teste de resistência à tração (rompimento).



Fonte: A autora.

Figura 30. CP após o rompimento no teste de tração.



Fonte: A autora.

Após os testes, os dados foram analisados e definidos os melhores parâmetros para a impressão 3D das próteses a serem usadas no teste de prensão manual.

3.8. Estudo da preensão manual de objetos

3.8.1. Material específico

Foi utilizada a prótese 3D modelo virtual de código aberto *UnLimbited Arm V. 2.1*, impressa cinco vezes conforme as variáveis avaliadas nos testes mecânicos: número de camadas (3 e 5 camadas); e tipo de material (ABS, PLA e PETG).

Para a montagem das próteses foram usados equipamentos complementares como um soprador térmico Gamma 1500W, temperatura variando entre 300 e 550°C, cola quente, elástico dental de 5/16", fio de nylon usado para pesca com 0,6 mm de diâmetro, espuma emborrachada antiaderente de 5,07 mm de espessura e parafusos de rosca cabeça chata de 3x30mm sendo usados 3 unidades por prótese.

A Tabela 1 apresenta o peso das próteses impressas para o teste de preensão e o valor estimado de custo de produção levando em conta o peso após as próteses estarem finalizadas e o valor do rolo de filamento de 1kg. O preço do rolo de filamento está de acordo com o valor pago pela UNESP no início do projeto em março de 2019 quando foram comprados os materiais para a pesquisa. Vale ressaltar que: o preço estimado presente na tabela não leva em consideração o valor de custo dos materiais auxiliares como elásticos e parafusos, a energia elétrica consumida pela impressora 3D e o excesso de material gasto no caso da necessidade de reimpressões de peças; e a quantidade de material (g) apresentada na tabela corresponde à quantidade estimada de material necessária para a impressão e tal valor é informado pelo software Cura durante a preparação do arquivo a ser impresso.

Tabela 1. Informações sobre o preço e peso das próteses.

UnLimbited Arm v.2.1					
Material	ABS		PETG	PLA	
Valor de 1kg do material (R\$) *	120,00		110,00	140,00	
Nº de camadas de impressão	3	5	5	3	5
Quantidade de material (g)	386	487	487	386	487
Peso (g)	239,0	294,5	346,0	297	358,5
Valor estimado (R\$)	35,16	35,34	38,06	41,58	50,19

* custo do material em março de 2019

Fonte: A autora.

Os materiais auxiliares (Figura 31) usados no intuito de aprimorar o desempenho das próteses foram os dedais de silicone com peso de 4,5 g, o tecido emborrachado do dedo e falange pesando entre 2 e 2,5 g e o tecido emborrachado no dedo, falange e palma da mão com aproximadamente 8,5 e 9 g.

Figura 31. Fotos dos materiais auxiliares, sendo os dedais de silicone, tecido emborrachado no dedo e falange, e tecido emborrachado no dedo, falange e palma da mão respectivamente.

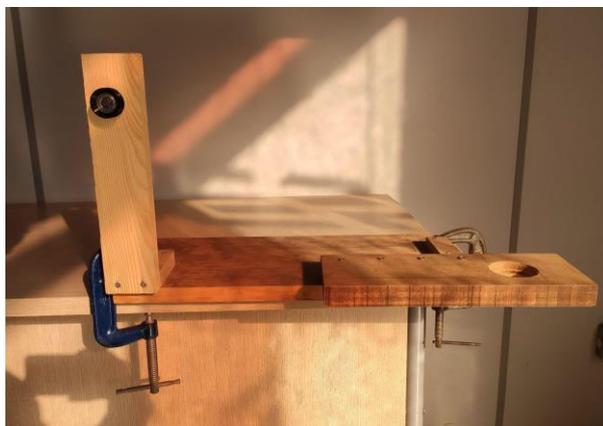


Fonte: A autora.

O teste de prensão manual utilizou um suporte de bancada para fixar e estabilizar a prótese, permitindo a realização do teste (Figura 32). Por ser uma prótese transradial mecânica, a prensão manual ocorre quando o usuário do dispositivo flexiona o antebraço. Portanto, foram utilizados dois pesos de carga totalizando 1,689 kg sustentados por um cordão conectado à região

central da braçadeira do antebraço, de forma a padronizar a força acionadora do movimento de preensão do dispositivo.

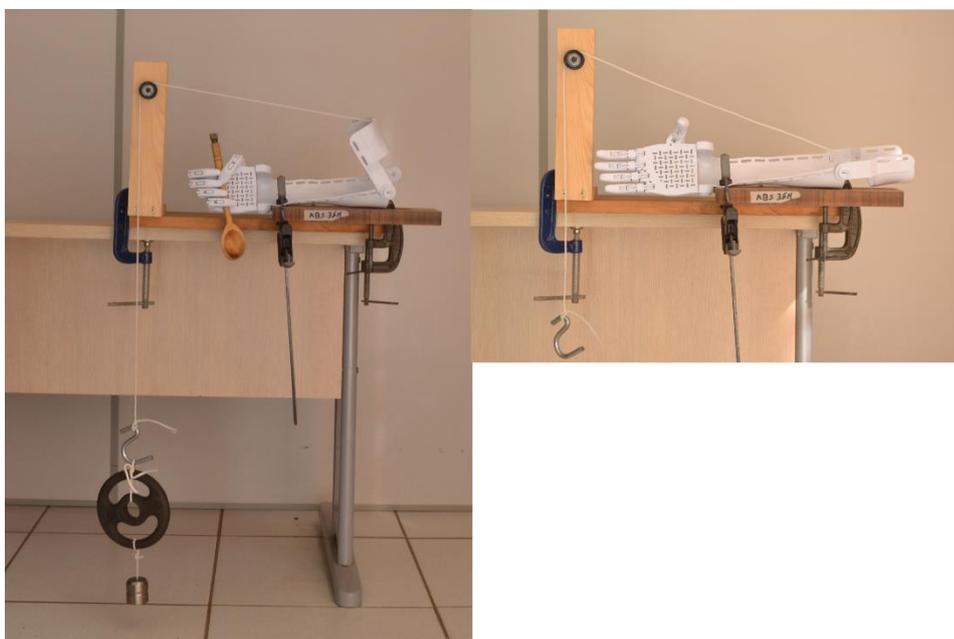
Figura 32. Suporte de bancada para realização do teste de preensão manual.



Fonte: A autora.

O teste teve como objetivo verificar a capacidade de preensão do dispositivo posicionando diferentes objetos no centro da palma da mão através da medição de tempo, em que o resultado foi considerado satisfatório apenas quando a prótese excedeu 60s de sustentação do objeto (Figura 33).

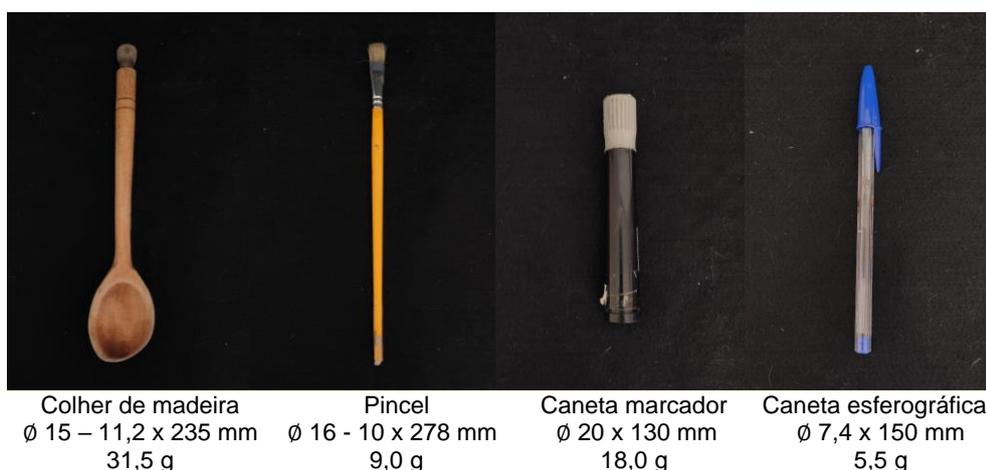
Figura 33. (esq) Suporte do teste de preensão manual com o dispositivo acoplado. (dir) exemplificação do teste de preensão manual utilizando um tubo de PVC.



Fonte: A autora

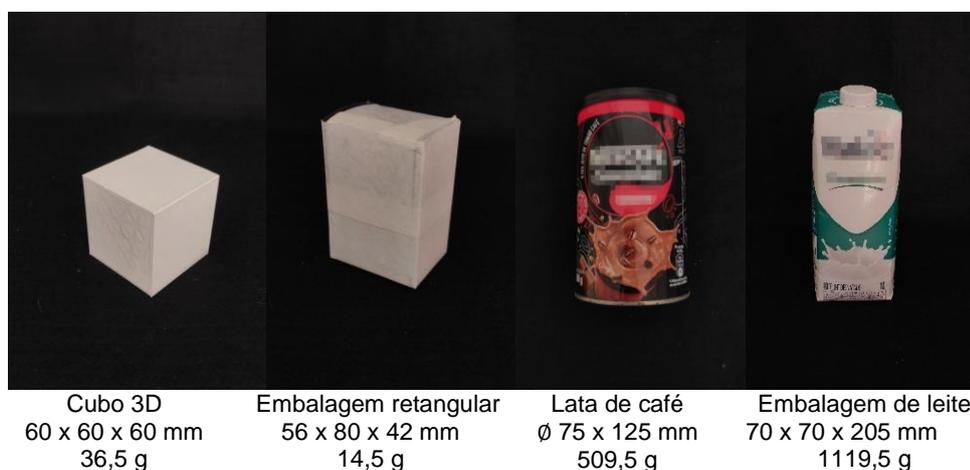
Os objetos selecionados são de uso cotidiano ou que possuam estrutura semelhante a objetos cotidianos (Figuras 34, 35 e 36), caracterizados por diferentes formatos, pesos e texturas, como por exemplo: canetas, utensílios domésticos, garrafas plásticas (Figuras 37, 38 e 39), caixas de embalagens, copo, cubo, cilindros (tubos de PVC) (Figura 40), esferas (Figura 41) e prismas triangulares e retangulares (Figura 42). O detalhamento das informações sobre peso das próteses e dos objetos usados é apresentado no Apêndice D. É importante ressaltar que dentre os objetos utilizados, todas as dez garrafas, a embalagem de leite e a lata de café estavam preenchidas com água, no entanto o copo e a embalagem retangular estavam vazios.

Figura 34. Objetos cotidianos (1): colher de madeira, pincel, caneta marcador e caneta esferográfica.



Fonte: A autora

Figura 35. Objetos cotidianos (2): Cubo impresso 3D, embalagem retangular, lata de café e embalagem de leite.



Fonte: A autora

Figura 36. Objetos cotidianos (3): Copo plástico vazio e aparelho celular.



Copo vazio	Celular
Ø boca 85 x Ø base 58 x 105 mm - 300 ml 55,5 g	70,5 x 147,5 x 7,5 mm 172,5 g

Fonte: A autora

Figura 37. Garrafas plásticas preenchidas com água (1).



Garrafa 1 - PET 63 x 63 x 169 mm 450 ml 462,5 g	Garrafa 2 - PET Ø70 x 212 mm 600 ml 611,5 g	Garrafa 3 - PET Ø 70 x 234 mm 600 ml 611,05 g	Garrafa 4 - PET Ø 60 x 228 mm 500 ml 511,5 g
--	--	--	---

Fonte: A autora

Figura 38. Garrafas plásticas preenchidas com água (2).



Garrafa 5 - PET Ø70 x 234 mm - 600 ml 611,5 g	Garrafa 6 - PET Ø 60 x 233 mm - 510 ml 515,0 g	Garrafa 7 - PEAD 60 x 60 x 195 mm – 500 ml 525,5 g	Garrafa 8 - PET 50 x 50 x 160 mm - 300 ml 319,0 g
---	---	---	--

Fonte: A autora

Figura 39. Garrafas plásticas preenchidas com água (3).



Garrafa 9 - PET
80 x 70 x 240 mm -
1000 ml
1023,0 g

Garrafa 10 - PET
60 x 60 x 178 mm
- 300 ml
523,5 g

Fonte: A autora.

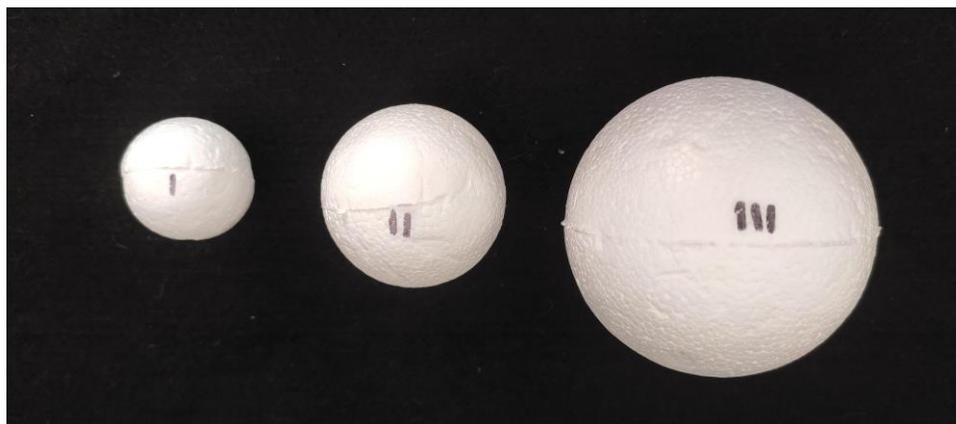
Figura 40. Cilindros



Cilindro 1	Cilindro 2	Cilindro 3	Cilindro 4	Cilindro 5	Cilindro 6
Ø 20 X 150	Ø 25 x 150	Ø 32 x 150	Ø 40 x 150	Ø50 x 150	Ø 75 x 150
mm	mm	mm	mm	mm	mm
21,5 g	28,5 g	39,5 g	31,5 g	58,5 g	91,0 g

Fonte: A autora

Figura 41. Esferas.



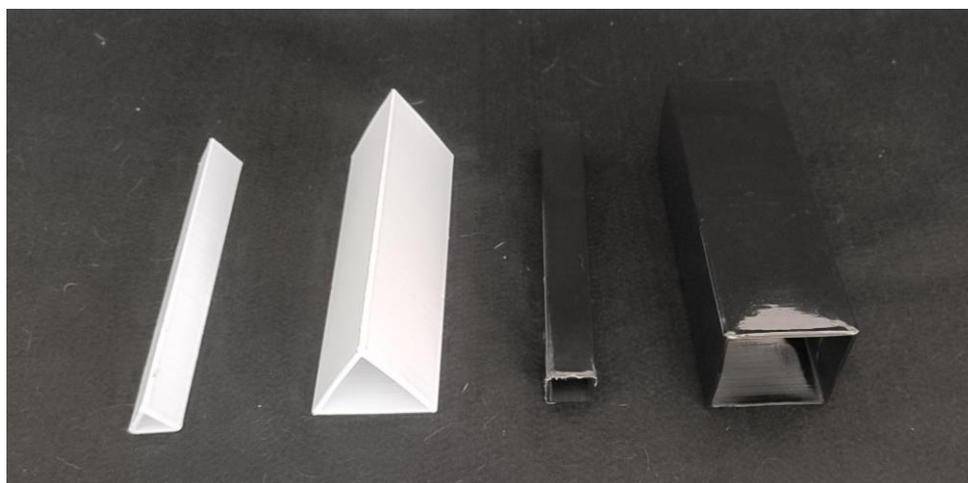
Esfera I - Isopor
 \varnothing 30 mm
 1,0 g

Esfera II - Isopor
 \varnothing 50 mm
 1,5 g

Esfera III - Isopor
 \varnothing 75 mm
 5,5 g

Fonte: A autora

Figura 42. Prismas de base triangular e retangular.



Prisma triangular P
 PLA
 20 x 20 x 150 mm
 14,0 g

Prisma triangular G
 PLA
 50 x 50 x 150 mm
 39,0 g

Prisma retangular P
 PLA
 20 x 20 x 150 mm
 19,5 g

Prisma retangular G
 PLA
 50 x 50 x 150 mm
 50,0 g

Fonte: A autora

3.8.2. Procedimentos metodológicos

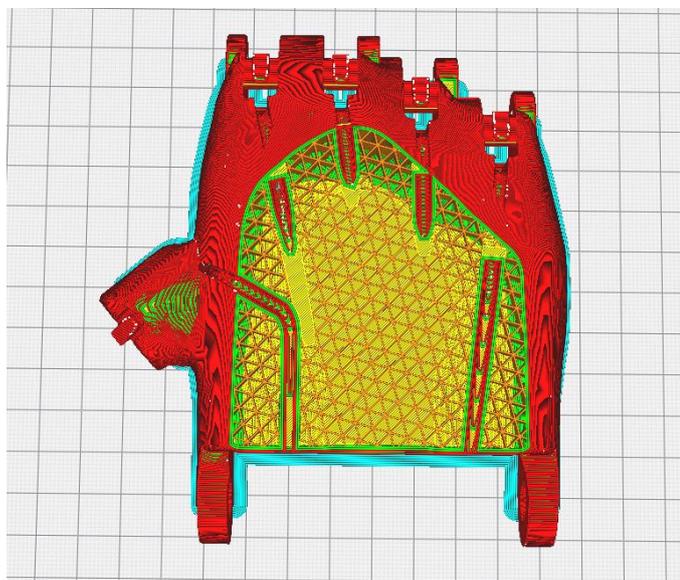
Inicialmente foi definido o modelo de prótese a ser avaliado e comparado o desempenho dos dispositivos. Em seguida foram prototipados cinco próteses nos três materiais do estudo, sendo duas próteses em PLA, duas em ABS e uma em PETG, variando um dos parâmetros de impressão, o número de camadas

(*shells*), entre três e cinco. Exceto o PETG que foi impresso apenas uma prótese com cinco camadas, pois a prótese que seria impressa em PETG com três camadas foi excluída do estudo devido às limitações do material (filamento PETG) e do processo de impressão 3D.

O modelo de prótese escolhido foi a *UnLimbited Arm v.2.1* e o software utilizado para fatiar os arquivos 3D (CAD) transformando-os em um arquivo pronto para a impressão 3D foi o software Ultimaker Cura 4.10.0.

Os parâmetros de impressão usados estão de acordo com os parâmetros sugeridos pelo desenvolvedor e com os parâmetros usados nos corpos de prova para realização dos testes de resistência mecânica, sendo 0,2 mm de altura de camada, 35% de preenchimento e 60 mm/s de velocidade de impressão. O padrão de preenchimento sugerido é o honeycomb, frequentemente empregado na impressão 3D devido à sua boa resistência mecânica, mas no software usado para fatiar e preparar o arquivo para a impressão 3D, não está disponível esse tipo de preenchimento. Dentre os tipos disponíveis, o triangular (Figura 43) foi escolhido pois apresenta maior resistência, como verificado por Cho et. al. (2019). Já em relação às temperaturas de impressão elas variaram de acordo com o material, ou seja, a temperatura do bico de impressão foi de 235°C para o ABS e PETG e de 210°C para o PLA; e a temperatura da mesa de impressão foi de 100°C para o ABS, 45°C para o PLA e 80°C para o PETG.

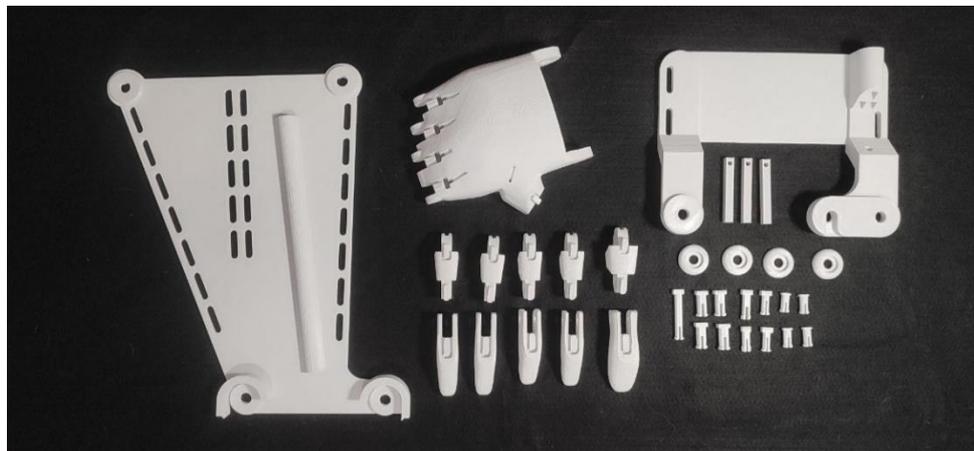
Figura 43. Preenchimento triangular do arquivo CAD da palma da mão seccionado no Cura.



Fonte: A autora.

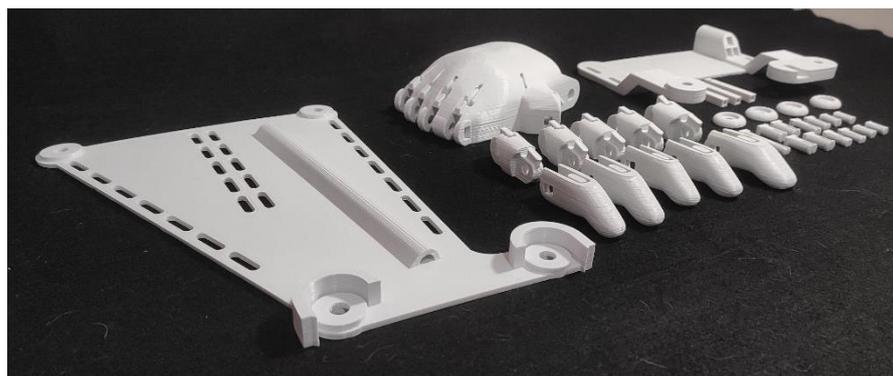
Cada prótese composta por 34 peças (Figuras 44 e 45) leva ao todo cerca de 39h36min e utiliza 487g de material (para a configuração de 5 camadas) ou 34h e 386g de material (para a configuração de 3 camadas), usando 33 peças para sua montagem e incluindo uma peça de gabarito (*jig*) usada para a termoformagem da braçadeira (Figura 46).

Figura 44. Peças impressas 3d da prótese UnLimbited.



Fonte: A autora.

Figura 45. Peças da prótese UnLimbited posicionadas na diagonal.



Fonte: A autora.

Figura 46. Gabarito (jig).



Fonte: A autora.

Como as próteses impressas possuem o mesmo tamanho, não havia necessidade de reimprimir o *jig* e como ele já havia sido impresso anteriormente para a confecção das três próteses usadas na avaliação com o usuário essa peça foi reutilizada. A Tabela 2, apresentada abaixo, especifica as peças impressas e o tempo de impressão e quantidade de material utilizado, respectivamente.

Tabela 2. Especificações do tempo de impressão e quantidade de material usado.

UnLimbited Arm v.2.1				
Nº de camadas de impressão	5		3	
Peças	Tempo de impressão	Quantidade de material (g)	Tempo de impressão	Quantidade de material (g)
Braçadeira e pinos tensionadores	6h51min	85	5h59min	68
Antebraço	8h14min	100	6h12min	70
Palma	10h	118	8h16min	88
Falanges e dedos	6h08min	73	5h20min	55
Pinos e travas circulares	1h11min	13	1h01min	10
Gabarito (<i>jig</i>)	7h39min	98	7h12min	95
Total	39h36min	487	34h	386

Fonte: A autora.

Finalizada a etapa de impressão das próteses foi iniciada a montagem dos dispositivos. Primeiramente foi realizada a termoformagem do antebraço e da braçadeira. Os polímeros plásticos usados possuem diferentes propriedades e resistência à temperatura, portanto para o PLA foi possível realizar a termoformagem apenas utilizando água fervente. A água fervente foi depositada em um recipiente cuja profundidade permitia que as peças fossem totalmente imersas na água. Após alguns instantes as peças estavam maleáveis e então foram posicionadas sob o gabarito (a braçadeira) e sob um objeto cilíndrico (o antebraço). Essa é a moldagem inicial (Figura 47). Mas para que as peças se encaixassem adequadamente, foi necessário amolecer

novamente as extremidades da braçadeira e do antebraço para então realizar o encaixe entre as duas peças e a palma da mão.

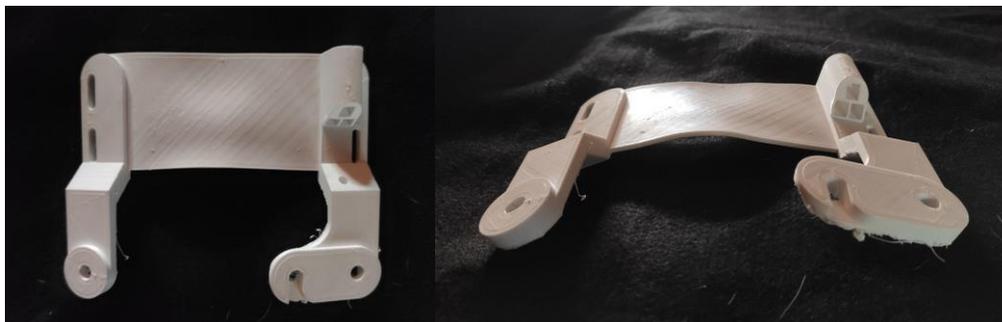
Figura 47. Termomoldagem da braçadeira e antebraço.



Fonte: A autora.

Em relação ao PETG e ABS, esses materiais exigem uma maior temperatura para torná-los maleáveis, portanto, foi inicialmente realizado um teste com duas peças extras, em que apenas o PETG obteve sucesso tendo sido levemente amolecido com a água fervente, mas de forma desigual (Figura 48). Portanto foi utilizado uma base aquecida de vidro em 120°C para aquecer a parte inferior das peças junto com um soprador térmico aquecendo a parte superior das peças. Dessa forma foi possível aquecer uniformemente as peças tornando-as maleáveis e possibilitando a termoformagem (Figuras 49 e 50).

Figura 48. Braçadeira em PETG deformada após tentativa de termomoldagem.



Fonte: A autora.

Figura 49. Aquecimento da braçadeira com a mesa aquecida e termomoldagem.



Fonte: A autora.

Figura 50. Termomoldagem do antebraço com o soprador térmico.



Fonte: A autora.

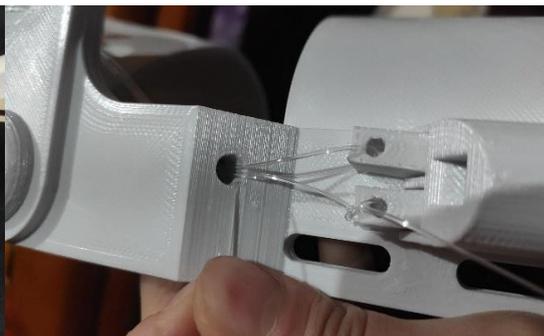
Tendo todas as peças moldadas, foi efetuada a montagem de acordo com as instruções fornecidas pelo desenvolvedor e utilizando alguns materiais auxiliares, sendo eles: o elástico dental de 5/16" nas articulações dos dedos para auxiliar o movimento do dedo de forma que ele retorne a sua posição inicial de extensão após a prótese ser distensionada (Figura 51); o fio de nylon, normalmente utilizado para pesca, de 0,6 mm de diâmetro imprescindível para criar a tensão (Figura 52); três parafusos que são encaixados nos pinos tensionadores e auxiliam no ajuste da tensão; e cola quente para fixar o nó dos fios de nylon. Todas as peças utilizam os pinos como trava e alguns encaixes também precisam da adição das travas circulares. As Figura 53 e 54 mostram a representação da junção das peças e de todos os encaixes.

Figura 51. Palma distensionada com os elásticos dental.



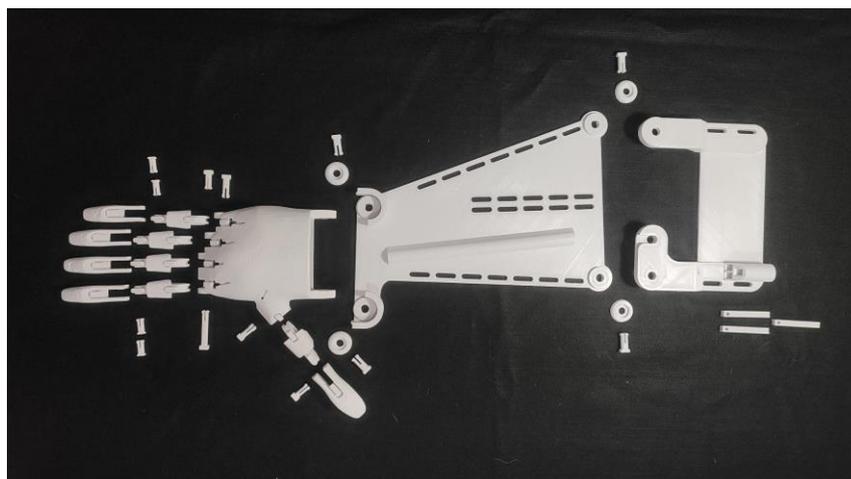
Fonte: A autora.

Figura 52. Fios de nylon tensionadores.



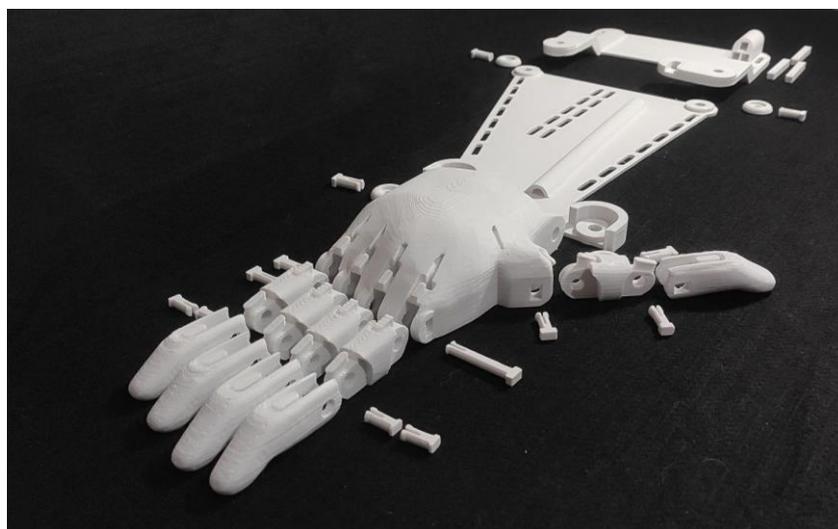
Fonte: A autora.

Figura 53. Simulação dos encaixes e junções da prótese.



Fonte: A autora.

Figura 54. Simulação dos encaixes e junções da prótese.



Fonte: A autora.

Após a montagem da prótese é necessário realizar um ajuste para que a palma da mão forme um ângulo de 90° em relação à braçadeira. Portanto, as próteses foram aquecidas na região do pulso e então moldadas novamente. Para as próteses de PLA foi utilizado um secador de cabelo convencional, e para as próteses em ABS e PETG foi usado um soprador térmico.

As próteses finalizadas e prontas para o teste de preensão estão exibidas nas Figuras 55 e 56.

Figura 55. Prótese finalizada posição neutra.



Fonte: A autora.

Figura 56. Prótese finalizada posição tensionada.



Fonte: A autora.

Finalizada a etapa de impressão e montagem das próteses, iniciou-se a avaliação dos dispositivos em relação ao desempenho no teste de preensão manual de modo a comparar a influência do material no desempenho dos dispositivos e executado em laboratório. Para a realização do teste, as próteses foram posicionadas em um suporte, sendo acionadas por uma anilha de peso equivalente à 1,686 kg e que deveria sustentar por ao menos 60s cada um dos 33 objetos cotidianos selecionados para o teste (Figura 57). Dessa

forma foi identificado qual material obteve maior sucesso, além de observar quais os objetos e geometrias de insucesso e que inviabilizaram a preensão pelas próteses.

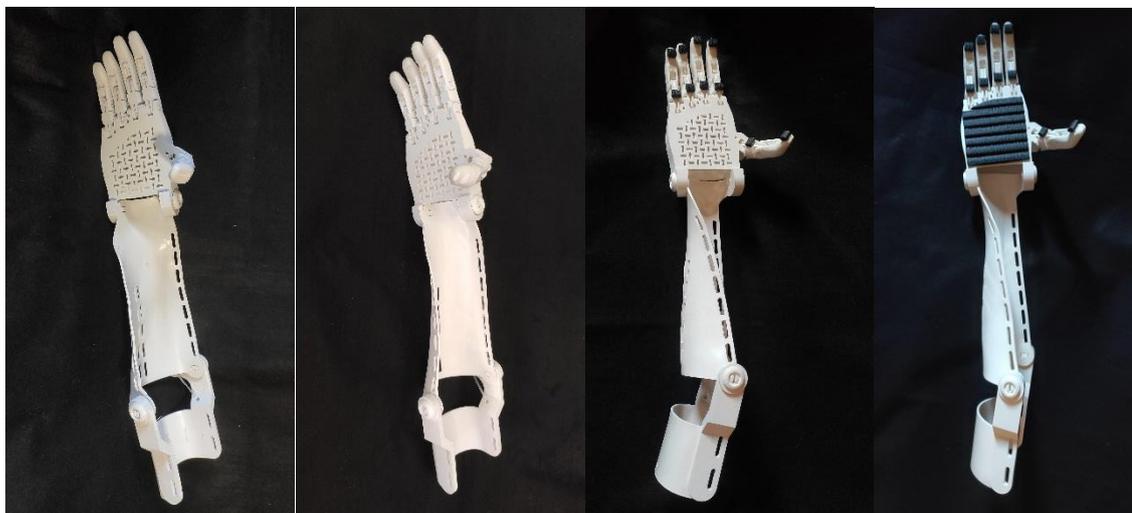
Figura 57. Apresenta o teste de preensão manual da garrafa 9: insucesso com o dedal de silicone (esquerda) e sucesso com o tecido emborrachado nos dedos e falanges (direita).



Fonte: A autora.

O teste foi realizado quatro vezes com cada prótese em diferentes condições, sendo a primeira neutra, com o dispositivo sem nenhum acessório ou tratamento de superfície, a segunda com o uso dos dedais de silicone, a terceira com um tecido emborrachado colado nas pontas dos dedos e falanges e por último o tecido emborrachado nos dedos, falanges e na palma da mão (Figura 58).

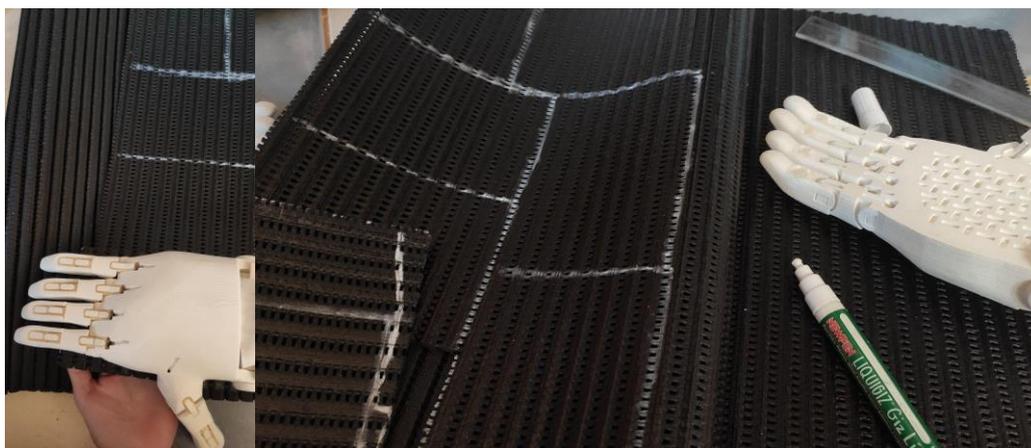
Figura 58. Próteses finalizadas nas condições: neutra, com dedal de silicone, com tecido emborrachado no dedo e falange e com tecido emborrachado no dedo, falange e palma.



Fonte: A autora.

O tecido emborrachado é facilmente encontrado, inclusive em lojas de utilidades domésticas, como material antiderrapante, sendo uma espuma de 5.07mm de espessura. Para seu uso na prótese foram cortados em quadrados de 1 cm (posicionados nos dedos e falanges) e em uma geometria com medidas de 7,5 cm de comprimento e largura variando entre 6,7 cm (extremidade interna) e 7,7 cm (extremidade externa) de formato similar ao da palma da mão e sem sobrepor as áreas de rotação dos dedos. A adesão dos tecidos emborrachados foi feita com o uso de cola quente. O processo de confecção está representado na Figura 59.

Figura 59. Confecção do acessório de tecido emborrachado.



Fonte: A autora.

3.9. Análise de dados

Os dados coletados no estudo de caso através dos questionários, somados às anotações realizadas na entrevista e observações durante o teste presencial, foram tabulados no Google Sheets e Microsoft Excel e as análises estatísticas descritivas.

Na análise dos testes de resistência mecânica e preensão manual de objetos foram usados os softwares do equipamento utilizado nos testes mecânicos e a tabulação será feita no Google Sheets e Microsoft Excel.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Estudo de caso

Buscando investigar a satisfação do usuário, influência do design e da usabilidade da prótese, foi elaborado um teste e questionários, incluindo um questionário de identificação e de avaliação do desempenho do dispositivo durante a realização dos testes. Tais informações foram apresentadas e descritas no tópico 3.6.1.1. Protocolos.

Foi selecionado um participante para essa etapa e os procedimentos e resultados serão discutidos detalhadamente nos tópicos a seguir.

4.1.1. Participante 1

Com o objetivo de analisar a experiência de uso e comparação entre os diferentes modelos de próteses transradiais mecânicas de código aberto, foram selecionadas três diferentes modelos de próteses transradiais prototipadas por impressão 3D (FFF), em que ambos os modelos estão disponíveis online para utilização.

Como critério de seleção dos modelos, era necessário que eles fossem disponibilizados online (modelos de arquivos de código aberto) e gratuitamente, além de serem próteses desenvolvidas para fabricação por impressão 3D utilizando a técnica de Fabricação com Filamento Fundido (FFF) e ser possível a customização (redimensionamento) do modelo da prótese. Tais critérios foram definidos, pois o projeto visa investigar não só a influência do design da prótese, mas também a questão do custo, acessibilidade e alcance dos modelos, de forma que mais pessoas tenham acesso a próteses customizadas. Com o estudo, era buscado encontrar resultados que auxiliem o desenvolvedor e o futuro usuário a definirem qual modelo se adequa mais às necessidades e condições do usuário e uma maior compreensão do desempenho dos diferentes dispositivos.

Os modelos definidos para o estudo encontram-se descritos no tópico 3.3 Artefatos de estudo, mas a seguir encontram-se fotos dos artefatos utilizados no estudo (Figuras 60, 61 e 62).

Figura 60. Prótese Kwawu Arm 2.0 - Thermoformed version, visão frontal e traseira.



Fonte: Tobaró, 2020.

Figura 61. Prótese Kwawu Arm 2.0 - Socket version, visão frontal e traseira.



Fonte: Tobaró, 2020.

Figura 62. Prótese UnLimbited Arm V 2.1 - Alfie Edition, visão frontal e traseira.



Fonte: Tobaró, 2020.

As próteses foram impressas utilizando os parâmetros de impressão e materiais sugeridos pelo desenvolvedor de cada um dos modelos, disponíveis nos *websites* e manuais disponibilizados pelo mesmo, sendo as seguintes: o material utilizado foi o PLA, com 35% de preenchimento, altura da camada de impressão de 0,2 mm, 3 camadas de impressão (topo, base e contorno), padrão de preenchimento triangular, velocidade de impressão de 60 mm/s e temperatura do bico de impressão de 210°C e 50°C para a temperatura da mesa de impressão. Esta etapa de impressão e montagem das três próteses foi realizada por Érica Tobaró em 2020 como parte de seu projeto de iniciação científica desenvolvido em conjunto com o presente projeto de mestrado.

4.1.2. Resultados e discussão

Inicialmente foi realizada a seleção dos três diferentes modelos de próteses a serem avaliadas e então realizada a impressão 3D e montagem das próteses. Com os dispositivos prontos, foi iniciada uma busca por pessoas usuárias ou não de prótese transradial mecânica que pudessem utilizar esses modelos durante o teste para a avaliação do desempenho dos diferentes modelos na execução de atividades da rotina diária. Ao entrar em contato com o Centro Especializado em Reabilitação (CER) da UNESP - Campus Marília foi sugerido o contato com um paciente que atualmente não utiliza próteses, mas que possui prescrição de uso do dispositivo para participar do estudo de caso (teste de avaliação dos diferentes modelos de próteses).

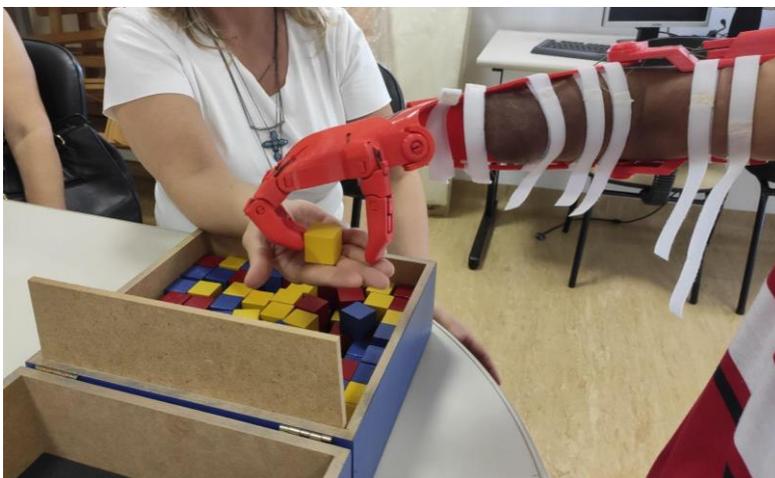
O participante é um homem idoso que sofreu um acidente de trabalho ocasionando a amputação do seu membro superior direito e atualmente é residente em Marília. Foi realizado o teste no CER da UNESP-Marília em dezembro de 2020.

Antes de iniciar o teste, foi explicado ao participante os objetivos da pesquisa e todos os procedimentos, assim como foram apresentadas as próteses 3D e explicado o seu funcionamento e processo de customização, assim como as possibilidades de customização que o participante poderia requerer futuramente.

Então foi preparado o ambiente para a realização do teste da caixa e bloco e explicado ao participante, entretanto não foi possível dar continuidade a este teste pois o tamanho das peças usadas é muito pequeno em relação às próteses, o que estava interferindo na atividade e desempenho, gerando certo

desconforto ao participante, além de não fornecer dados eficazes. Segue imagens abaixo (Figuras 63 e 64).

Figura 63. Teste da caixa e bloco com a prótese UnLimbited Arm V.2.1 - Alfie Edition, palma aberta.



Fonte: A autora.

Figura 64. Teste da caixa e bloco com a prótese UnLimbited Arm V.2.1 - Alfie Edition, palma fechada.



Fonte: A autora.

Portanto, o teste de caixa e bloco foi cancelado e adaptado para um teste com objetos de uso na vida cotidiana. É bom ressaltar que o CER possui diversos equipamentos e objetos que permitem a realização de testes e treinamentos simulando atividades da vida diária, inclusive há uma sala que simula os principais cômodos de uma residência permitindo que esses testes e imersões sejam realizados em um ambiente controlado e mais próximo de um ambiente domiciliar real.

Durante este teste, utilizou-se objetos como: copos, talheres e caneta e para adequar o teste à real necessidade do paciente (auxílio para segurar o guidão e guiar o carrinho de sorvetes que é utilizado durante o trabalho do participante o dia todo) foram elaborados cilindros com papel com o diâmetro aproximado do cilindro do guidão do carrinho de sorvete. O participante também tentou segurar o guidão de uma cadeira de rodas e empurrá-la (Figuras 65 a 68).

Figura 65. Teste com objetos cotidianos usando a prótese UnLimbited Arm V.2.1 - Alfie Edition, segurando um copo de plástico.



Fonte: A autora.

Figura 66. (a) Teste com usuário utilizando a prótese UnLimbited Arm V.2.1 - Alfie Edition, início do movimento de preensão do guidão de uma cadeira de rodas. (b) preensão do guidão



Fonte: A autora.

Figura 67. Teste com usuário utilizando a prótese UnLimbited Arm V.2.1 - Alfie Edition, preensão de um garfo.



Fonte: A autora.

Figura 68. Teste com usuário utilizando a prótese Kwawu Arm Socket, preensão de um cilindro (guidão).



Fonte: A autora.

Com esses testes foi possível observar que os modelos de prótese escolhidos apresentam certa dificuldade em auxiliar na necessidade do

participante, pois esta prótese tem como mecanismo fechar a palma da mão por meio da flexão de cotovelo, e abri-la quando realiza o movimento de extensão. O que inviabilizaria o uso, pois ao guiar o carro de sorvete é necessário manter a mão fechada com o cotovelo em extensão. Algumas possíveis soluções foram discutidas, como adaptar o guidão de forma que ao participante realizar o movimento de segurar e empurrar o carrinho, seu braço esteja em um ângulo que flexione a prótese fazendo com que a mão permaneça fechada.

O objetivo do teste seria de que o participante usasse os três modelos de prótese e avaliasse cada um após as atividades, entretanto o participante se recusou a utilizar uma das próteses. E pediu para refazer o teste utilizando a prótese que percebeu ser mais confortável.

Foi possível observar pela pesquisadora e profissionais que estavam auxiliando e acompanhando a coleta de dados que o participante esperava uma prótese similar à prótese que ele usou anteriormente e inclusive a prótese que ele descreveu ser mais confortável e agradável foi a Kwawu Socket, que visualmente mais se assemelha à sua prótese anterior. Mas o modelo que ele percebeu ter melhor desempenho, devido ao melhor formato e abertura da palma da mão, foi o modelo que ficou em segunda posição de preferência, a UnLimbited Arm. Sugere-se que isso ocorra devido aos aspectos emocionais e psicológicos do participante, especialmente devido a sua prévia experiência com o dispositivo. Assim como observado por Lobach (2001) e Taylor et. Al. (1999), os produtos possuem valor emocional e simbólico que influenciam na relação usuário-produto. A pesquisadora e profissionais concordaram com essa percepção, pois durante o teste o participante mencionou diversas vezes sobre a prótese antiga, constantemente a comparava com os modelos dos testes e inclusive o participante questionou a resistência de um dos modelos da prótese 3D, pois disse parecer que "quebraria fácil", quando se referiu ao modelo da UnLimbited Arm. Neste modelo, a prótese tem contato com o braço e o coto do usuário na lateral, pois a prótese é basicamente uma superfície plana termoformada, que adquire o formato curvo do corpo do usuário. Já nos outros modelos o formato da prótese é um cone no qual o usuário posiciona o coto no interior do dispositivo.

Em relação ao questionário sobre o desempenho da prótese durante o teste da caixa e bloco, o modelo UnLimbited Arm apresentou melhores resultados, em que o participante descreveu que o grau de satisfação com o

dispositivo durante o teste foi de grau 8 e acrescentou uma observação de que esse modelo “fecha bem os dedos” da palma da mão da prótese; e informou grau 0 (nenhum desconforto) ao usar o dispositivo. Já em relação ao outro modelo de dispositivo que o participante testou, a Kwawu Arm 2.0 Socket Version, o grau de desconforto informado foi de 8 e em relação a satisfação com a prótese durante o teste foi descrito grau 5, pois “os dedos não fecham suficientemente”. A escala das questões varia entre 0 (nem um pouco satisfeito e nenhum desconforto) e 10 (totalmente satisfeito e máximo desconforto).

Foi mencionado pelo participante durante a entrevista que mesmo após decorrido décadas desde a amputação, o participante ainda experimenta sensação no membro fantasma uma vez ao ano e que quando sofreu a amputação sempre se sentia ansioso sobre sua aparência em público, mas que com o passar do tempo ele passou a se incomodar raramente.

Destaca-se a importância da avaliação dos dispositivos pelo usuário ou futuro usuário através de testes com objetos cotidianos de forma que os profissionais de desenvolvimento da prótese e de reabilitação possam avaliar o uso do dispositivo e auxiliando na adaptação e desenvolvimento de um produto mais adequado ao seu usuário. Como observado por Figliolia (2018) e Alcará (2017) ao desenvolverem próteses customizadas através da metodologia do UCD e avaliando o desempenho nos testes com o protótipo e com o modelo final. Outras contribuições no desenvolvimento de próteses customizadas com abordagem de UCD e CoD (co-design) foram percebidas nos estudos de Porsani (2020) e Silva (2020) e demonstraram efeitos positivos melhorando a relação usuário-prótese.

Outro importante fator no desenvolvimento de próteses é compreender o uso ao qual se destina o objeto e quais as necessidades e preferências do futuro usuário (Costa, 2019). Dessa forma o dispositivo é customizado e mais adequado ao usuário, reduzindo a probabilidade de abandono do dispositivo, pois muitos casos de rejeição do dispositivo verificado por McFarland et. al. (2010) e Datta et. al. (2002) foram em decorrência de desconfortos, dor, funcionalidade inadequada e tipo de dispositivo.

Logo, essa etapa da pesquisa foi encerrada, e os resultados são relevantes para o estudo, contribuindo na maior compreensão da relação entre usuário e dispositivo, influência da experiência prévia do usuário com a prótese anterior e dos fatores emocionais decorrentes dessa experiência prévia.

4.1.3. Síntese dos resultados

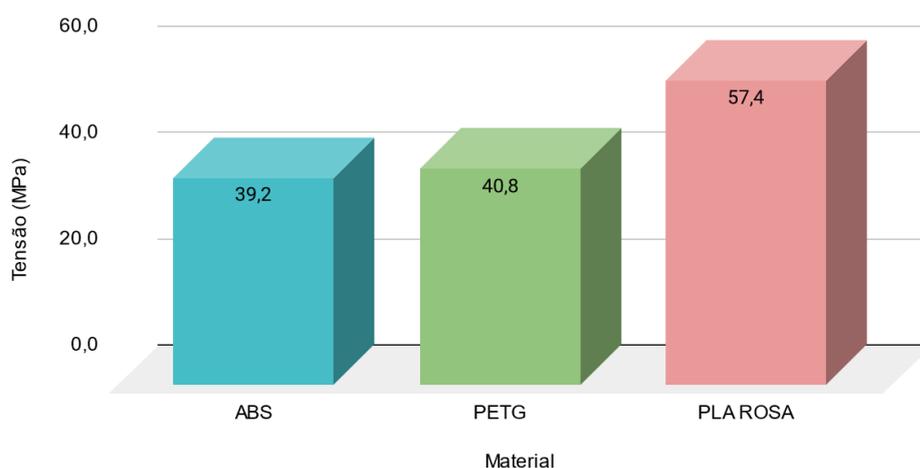
Embora esta etapa da pesquisa tenha uma grande limitação caracterizada pela amostragem de apenas um participante, sugere-se que os resultados encontrados sejam relevantes e que tenham contribuído na maior compreensão da prótese no desempenho de atividades cotidianas manuais e no trabalho. Dentre os resultados encontrados, vale ressaltar que assim como observado por Costa (2019), May J.B. (2002) e Cotton e Ham (1991) a amputação por si só é um acontecimento traumático que afeta física e psicologicamente a pessoa com deficiência (PcD), e as pessoas próximas. A forma como essas pessoas, próximas ou não, impactam a pessoa amputada e/ou protetizada é significativa e deve ser objeto de estudo, pois infelizmente pouco se encontra sobre. Portanto, destaca-se a importância de estudos sobre essa relação, visando compreender com maior profundidade os efeitos na pessoa amputada/protetizada e disseminando esse conhecimento buscando conscientizar e educar as pessoas não amputadas para haver maior respeito, acessibilidade e evitando assim situações constrangedoras e desconfortáveis.

Também foi observado o quanto a experiência prévia e a memória emocional afetaram a percepção do usuário em relação ao desempenho, preferência e aceitação no uso de tecnologias assistivas. O que foi assistido com o teste de desempenho entre os três diferentes modelos de próteses transradiais mecânicas 3D, no qual o participante se recusou a avaliar uma das próteses, e declarou preferir o modelo cuja estrutura era mais semelhante de sua prótese antiga, mesmo com os resultados no teste terem mostrado que o outro modelo teve um melhor desempenho, o que foi confirmado pelo próprio participante. Sugere-se que essa observação seja muito importante pois indica que a prótese não se trata de apenas um produto funcional que promove maior autonomia ao seu usuário, mas sim de um produto com um grande valor simbólico, em que a experiência prévia e a percepção do usuário em relação à estética influenciam significativamente na aceitação, rejeição e uso do dispositivo, podendo ter um valor maior atribuído à essas características ao invés do seu valor prático e funcional.

4.2. Estudo de resistência mecânica entre os diferentes materiais impressos 3D por FFF

O primeiro ensaio realizado foi o teste de resistência à flexão de três pontos, nele observa-se que o ABS ($39,2 \text{ MPa} \pm 0,33$) P1, ou seja, com 3 *shells* (nº de camadas) em comparação ao PETG ($40,8 \text{ MPa} \pm 1,51$) e ao PLA na cor rosa ($57,4 \text{ MPa} \pm 1,29$) apresenta pior tensão à flexão do que ambos os materiais. Quanto maior o valor da tensão de flexão, maior será a resistência à flexão do material. Portanto, observa-se que o PLA rosa apresentou melhor resistência à flexão do que o ABS e o PETG. E em relação ao PETG, o material apresentou melhor resultado do que o ABS, mas pior resultado em comparação ao PLA rosa. A variação em todos os materiais foi significativa, apresentando as seguintes porcentagens: 3,9% (ABS - PETG), 31,7% (ABS - PLA rosa) e 28,92% (PETG - PLA rosa). Tais resultados mostram a média dos valores dos CPs de cada material e estão presentes na Figura 69.

Figura 69. Gráfico do teste de flexão: matéria CP1 versus tensão à flexão (MPa).

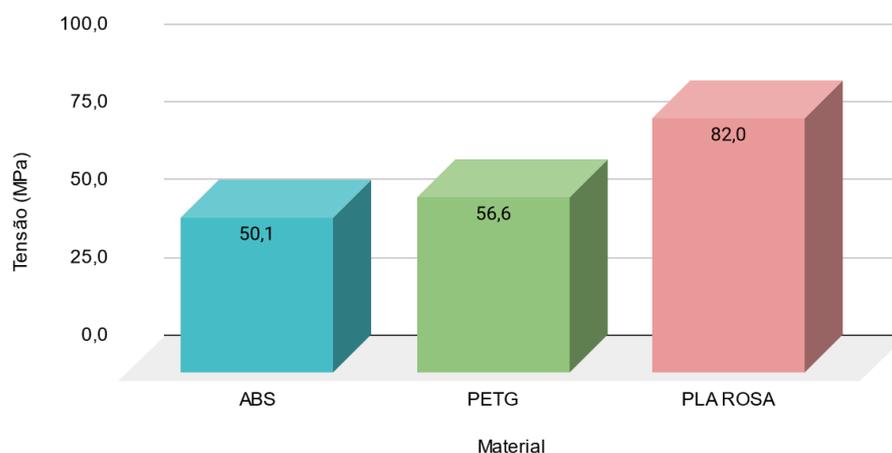


Fonte: A autora.

Em relação ao teste com P2, ou seja, CPs com 5 camadas de impressão (*shells*), observa-se que o ABS ($50,1 \text{ MPa} \pm 0,65$) em comparação ao PETG ($56,6 \text{ MPa} \pm 0,82$) e ao PLA na cor rosa ($82,0 \text{ MPa} \pm 1,02$) apresenta pior resistência à flexão do que ambos os materiais. Observa-se que o PLA rosa apresentou melhor resistência à flexão do que o ABS e o PETG. E em relação ao PETG, o material apresentou melhor resultado do que o ABS, mas pior resultado em comparação ao PLA rosa. Tais resultados mostram a média dos valores dos CPs de cada material e estão presentes na Figura 70.

Constata-se que a variação no valor de resistência à tensão de flexão entre os materiais está de acordo com a variação ocorrida nos CPs do P1. A variação em todos os materiais foi significativa, apresentando as seguintes porcentagens: 11,48% (ABS - PETG), 38,9% (ABS - PLA rosa) e 30,98% (PETG - PLA rosa).

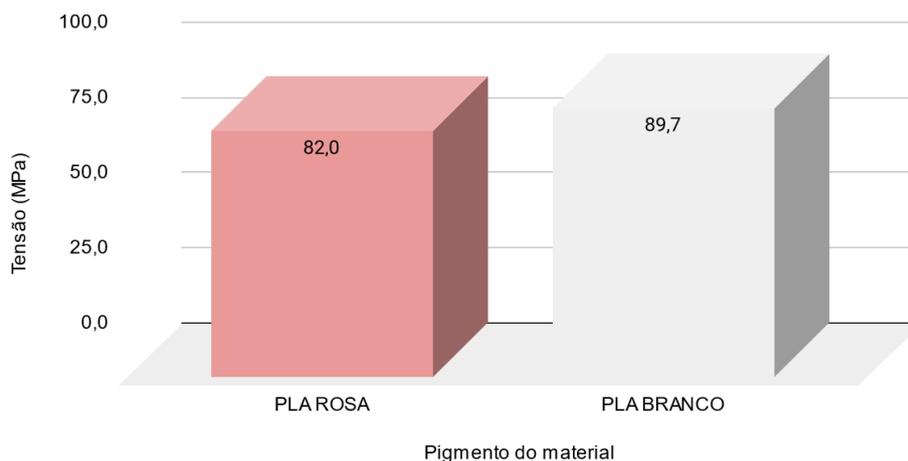
Figura 70. Gráfico do teste de flexão: material CP2 versus tensão à flexão (MPa).



Fonte: A autora.

No teste com os CPs P2 de PLA, comparando as cores de filamento rosa e branco, foi observado que o PLA branco (89,7 MPa \pm 3,49) em comparação ao PLA rosa (82,0 MPa \pm 1,02) apresentou maior resistência. A variação dos valores constata que há influência do pigmento (cor) nas propriedades do material. A variação teve uma porcentagem de 8,58%. Os resultados mostram a média dos valores dos CPs de cada material e estão presentes na Figura 71.

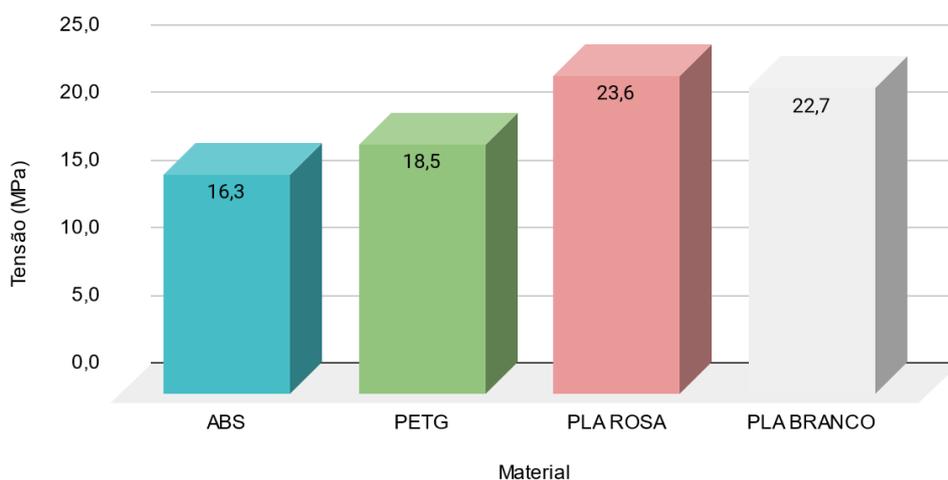
Figura 71. Gráfico do teste de flexão: PLA CP2 (Rosa e Branco) versus tensão à flexão (MPa).



Fonte: A autora.

Em seguida realizou-se o teste de resistência à tração, sobre a tensão de ruptura sob tração, observa-se que o ABS (16,3 MPa \pm 0,12) P1, ou seja, com 3 *shells* (nº de camadas) em comparação ao PETG (18,5 MPa \pm 0,46) e ao PLA na cor rosa (23,6 MPa \pm 0,15) e ao PLA na cor branco (22,7 MPa \pm 0,11) apresenta pior resistência à tração do que ambos os materiais. Quanto maior o valor da tensão de ruptura sob tração, maior será a resistência à tração do material. Portanto, observa-se que o PLA rosa apresentou melhor resistência à tração do que o PLA branco, ABS e o PETG. Em relação aos materiais na mesma cor (ABS, PLA e PETG), o PLA branco continua sendo o material com maior resistência. E em relação ao PETG, o material apresentou melhor resultado do que o ABS, mas pior resultado em comparação ao PLA rosa e PLA branco. A variação em todos os materiais foi significativa, apresentando as seguintes porcentagens: 11,89 % (ABS - PETG), 30,93% (ABS - PLA rosa), 41,15% (ABS - PLA branco), 21,61% (PETG - PLA rosa), 33,21% (PETG - PLA branco) e 14,80% (PLA branco - PLA rosa). Tais resultados mostram a média dos valores dos CPs de cada material e estão presentes na Figura 72.

Figura 72. Gráfico do teste de tração: matéria CP1 versus tensão à flexão (MPa).

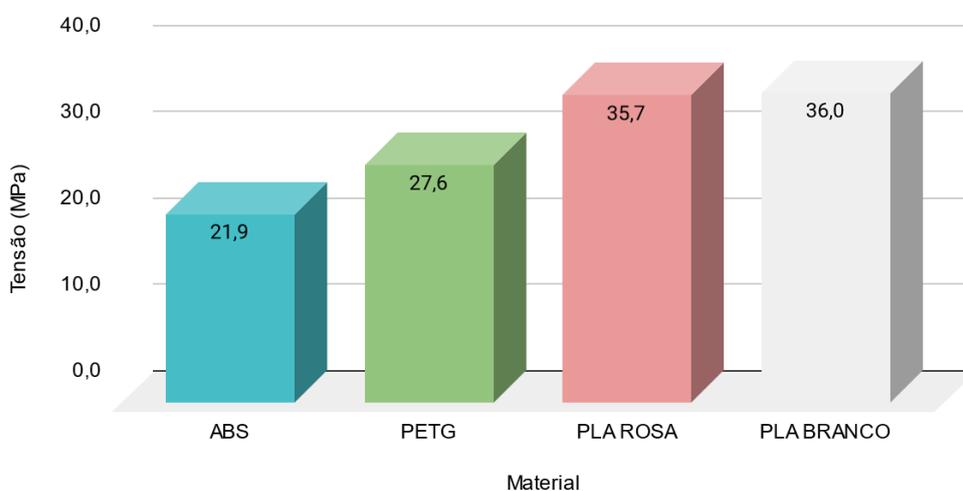


Fonte: A autora.

Em relação ao teste com P2, ou seja, CPs com 5 camadas de impressão (*shells*), observa-se que o ABS (21,9 MPa \pm 0,23) em comparação ao PETG (27,6 MPa \pm 0,36), ao PLA na cor rosa (35,7 MPa \pm 0,08) e ao PLA na cor branco (36,0 MPa \pm 0,26) apresenta pior resistência à tração do que ambos os materiais. Observa-se que o PLA branco apresentou melhor

resistência à tração do que o PLA rosa, o ABS e o PETG. Em relação aos materiais na mesma cor (ABS, PLA e PETG), o PLA branco continua sendo o material com maior resistência. E em relação ao PETG, o material apresentou melhor resultado do que o ABS, mas pior resultado em comparação ao PLA rosa e PLA branco. Em relação à variação entre PLA branco e rosa, observa-se que a variação foi muito pouca. Tais resultados mostram a média dos valores dos CPs de cada material e estão presentes na Figura 73. Constata-se que a variação no valor de resistência à tensão de flexão entre os materiais está de acordo com a variação ocorrida nos CPs do P1. A variação em todos os materiais foi significativa, apresentando as seguintes porcentagens: 20,65% (ABS - PETG), 38,65% (ABS - PLA rosa), 39,16% (ABS - PLA branco), 22,68% (PETG - PLA rosa), 23,33% (PETG - PLA branco) e 0,83% (PLA branco - PLA rosa).

Figura 73. Gráfico do teste de tração: material CP2 versus tensão à flexão (MPa).

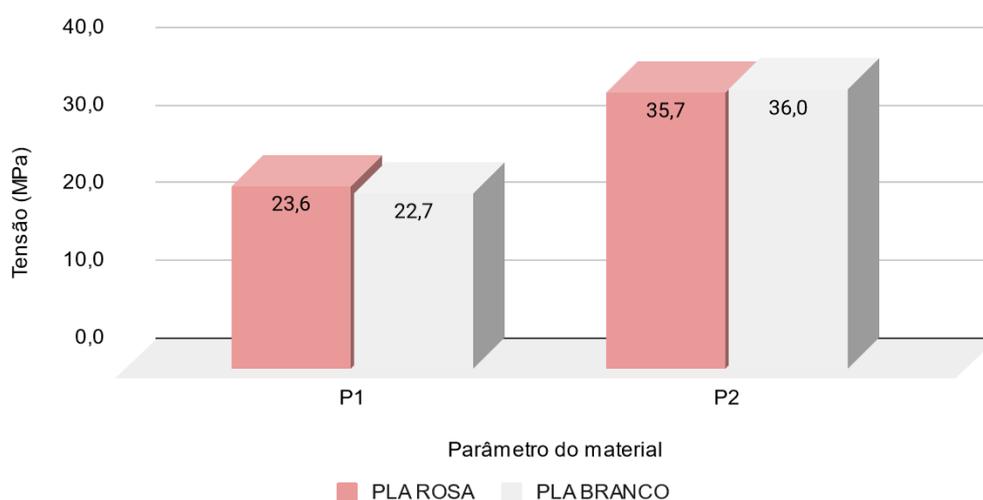


Fonte: A autora.

No teste com os CPs de PLA, comparando as cores de filamento rosa e branco, foi observado que os CPs P1 em PLA rosa ($23,6 \text{ MPa} \pm 0,15$) em comparação ao PLA branco ($22,7 \text{ MPa} \pm 0,11$) apresentou maior resistência à força de tração. Entretanto, nos testes de P2, observou-se o contrário, PLA branco ($36,0 \text{ MPa} \pm 0,26$) em comparação ao PLA rosa ($35,7 \text{ MPa} \pm 0,08$) apresentou maior resistência à força de tração. Tal resultado é muito interessante pois mostra que os materiais sofrem alterações diferentes dependendo do pigmento, sendo que no rosa, a variação foi maior (33,89%) comparado ao branco (23,05%). Vale ressaltar que a variação ocorrida entre

os CPs com diferentes pigmentos (PLA rosa - PLA branco) no CP1 foi 14,80% e no CP2 0,83%. Tal resultado é muito interessante, pois mostra que há uma variação significativa no CP1, entretanto, no CP2 a variação é muito baixa. A variação dos valores constata que há influência do pigmento (cor) nas propriedades do material. Os resultados mostram a média dos valores dos CPs de cada material e estão presentes na Figura 74.

Figura 74. Gráfico do teste de tração: PLA (Rosa e Branco) versus tensão à flexão (MPa).



Fonte: A autora.

Portanto, o estudo sugere que o ABS apresentou menor resistência mecânica à flexão e à tração e o PLA apresentou maior resistência e em todos os testes o número de camadas (*shells*), influenciou nos resultados e consequentemente contribui para o material ter maior resistência. A comparação entre os pigmentos rosa e branco no material PLA, apresentou um comportamento interessante, em que no P1 (3 camadas) o PLA rosa apresentou maior resistência, mas no P2 (5 camadas) o PLA branco apresentou melhores resultados, inclusive no teste de flexão, realizado apenas com os CPs de P2, o branco continuou apresentando maior resistência.

Todos os valores apresentados acima estão descritos no APÊNDICE E.

Dentre os resultados encontrados, em comparação do PLA com o PETG estão de acordo com o estudo de Santana et. al. (2018), em que foram realizados testes de tração com material injetado e impresso por FDM (atualmente tecnologia FFF) e de caracterização térmica. Nas duas condições

(impresso 3D e injetado) o PLA apresentou maior rigidez e resistência mecânica. No entanto, em relação à caracterização térmica, o PETG demonstrou maior estabilidade e resistência à degradação.

Já Martinez et. al. (2019) realizou ensaios de flexão a três pontos utilizando um extensômetro na comparação entre o PLA e ABS e novamente obteve resultados similares, em que o PLA demonstrou resistência mecânica significativamente superior ao ABS, possuindo o momento fletor máximo, tensão de flexão de ruptura e de cisalhamento e o esforço cortante superiores. No entanto, o módulo de elasticidade encontrado no ABS foi superior ao apresentado pelo PLA.

No entanto, a maioria dos estudos encontrados relatam ensaios que avaliam a resistência mecânica e comportamento de apenas um material e alguns avaliam os parâmetros de impressão 3D propriamente ditos. Mas poucos comparam diferentes materiais e estudam a fundo a relação da impressão 3D com a resistência dos materiais. O que confirma a necessidade de mais investigações e mais completas.

Avaliando apenas o comportamento do PLA, destaca-se os estudos de Letcher e Waytashek (2014) que avaliou a tensão, fadiga e resistência à flexão do filamento e do material impresso em diferentes ângulos de impressão. Uma interessante contribuição do estudo é a de que os resultados possam contribuir futuramente para a reciclagem e reutilização do material, pois em determinadas condições o resultado do material impresso foi semelhante ao apresentado pelo filamento. Huynh et. al. (2019) realizaram ensaio de tração com o PLA investigando a velocidade de impressão, espessura de camada e temperatura de extrusão. Dentre os parâmetros estudados, a temperatura demonstrou maior variação aumentando a tensão ao ser elevada de 200°C para 220°C. E um interessante resultado é o observado com a velocidade de impressão que apresentou variação não linear conforme a espessura da camada.

Chacón et. al. (2017) investigaram a influência da posição e velocidade de impressão e espessura da camada no PLA em testes de tração e flexão e confirmaram que a maleabilidade diminui conforme a espessura da camada e velocidade aumentam.

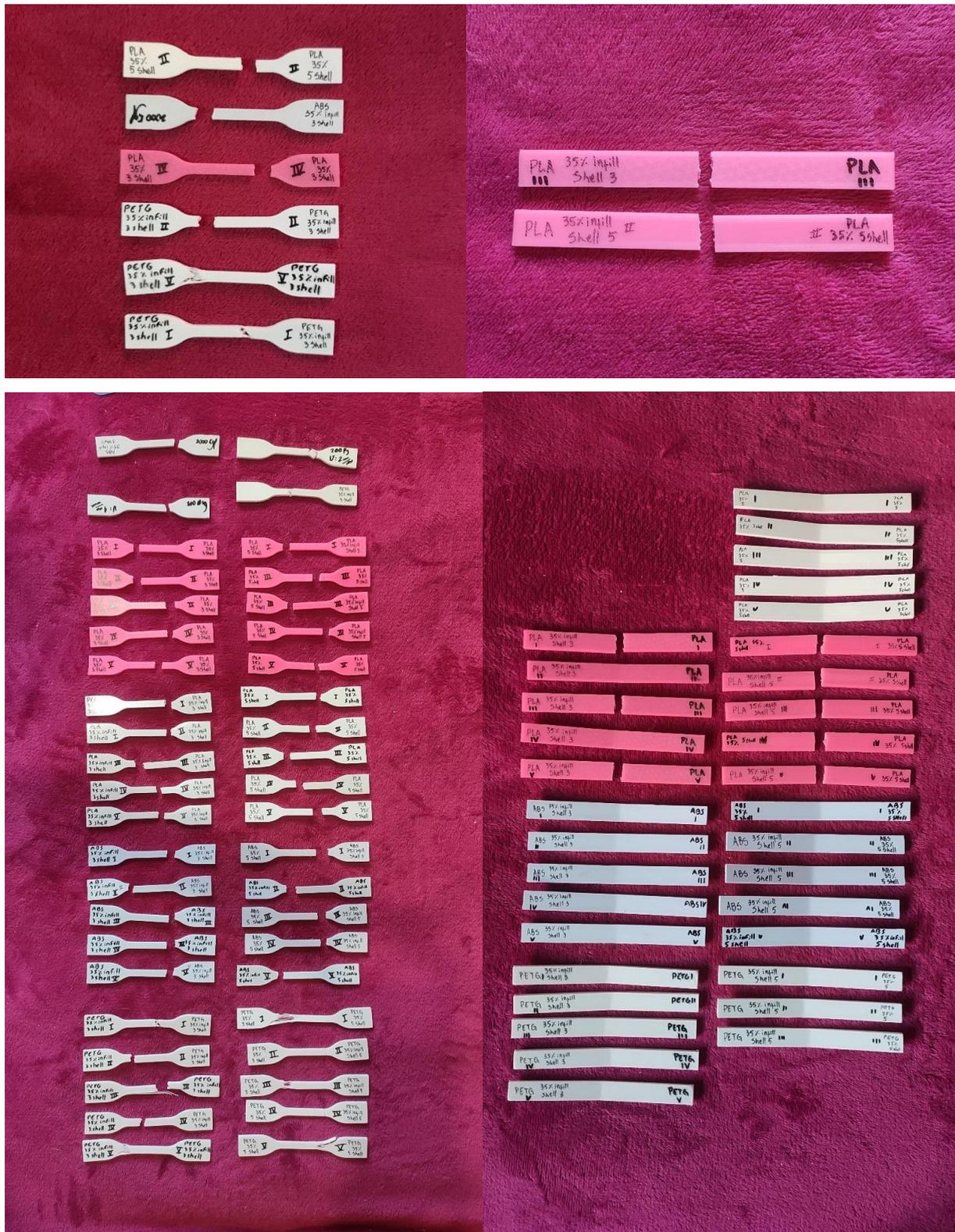
Em relação à porcentagem de preenchimento, Renganathan e Saritha (2021) demonstraram melhores propriedades mecânicas com 100% do que com 20% e 50%.

Ao submeter o PLA a ensaios de flexão a três pontos, Coutinho (2017) observou que os parâmetros estudados não tiveram efeito estatisticamente significativo na resistência à flexão. Os parâmetros avaliados foram: a espessura de camada, velocidade de impressão e ângulo de impressão.

Pereira et. al. (2016) investigou os aspectos termomecânicos do PLA avaliando os CPs impressos 3D por FFF em ensaios de resistência à tração em decorrência do pigmento (cor) para futura aplicação nos DTAs próteses e órteses. As cores avaliadas foram o natural (sem pigmentação), amarelo e azul, sendo 3 CPs para cada cor. As maiores variações ocorreram no módulo elástico (30% no filamento amarelo e 27% no azul, ambos em comparação ao filamento natural). Na resistência à tração a variação permeou 10%. Dessa forma, verificou-se que o pigmento influencia no comportamento mecânico do PLA, tornando-o mais rígido. Tais variações no comportamento mecânico do material foram observadas nos ensaios realizados na presente pesquisa.

Nos ensaios de resistência à tração e flexão a três pontos, observa-se que a ruptura dos CPs ocorreu majoritariamente na mesma posição (Figura X), assim como observado em estudos similares (Lovo et. al., 2016; Mohamed et al., 2016; Torrado; Roberson, 2016; Coutinho, 2017 e Martinez et. al., 2019) em que a ruptura ocorreu nas junções das camadas ou nas áreas de vazio de impressão (*airs gaps*). Esses vazios de impressão e falhas na prototipagem são consequências do processo de impressão 3D por FFF devido a possíveis falhas na junção do material entre as camadas e caracterizam limitações do processo de prototipagem. Sugere-se que ocorram as rupturas nessas posições, pois as limitações fragilizam o material, tornando-o menos resistente e mais suscetível a rupturas. A Figura 75 apresenta todos os CPs utilizados nos testes mecânicos.

Figura 75. (esq. superior e inferior) Todos os CPs de tração após o rompimento. (direita superior e inferior) Todos os CPs de flexão de três pontos após o rompimento.



Fonte: A autora.

4.2.1. Síntese dos resultados

A investigação acerca do comportamento mecânico dos polímeros plásticos ABS, PETG e PLA verificou as resistências à tração e à flexão de três pontos dos materiais com três e cinco camadas de impressão. Foi realizado um ensaio extra tendo como variável o pigmento (cor), avaliando a influência do pigmento branco e rosa na resistência à tração do PLA.

Os ensaios constataram que o número de camadas de impressão influencia o comportamento mecânico dos materiais. Um maior número de camadas fortalece o material aumentando consideravelmente a tensão necessária para que os materiais sofram deformação e se rompam. Os melhores resultados obtidos foram com o PLA, seguido pelo PETG e ABS que possuem resultados proporcionais e mais próximos. Em relação ao pigmento, foi verificada variação na resistência à tensão de tração do PLA. No entanto, a variação assistida foi bem sutil. Sendo recomendado novos testes com um maior número de CPs e mais variação nos pigmentos avaliados.

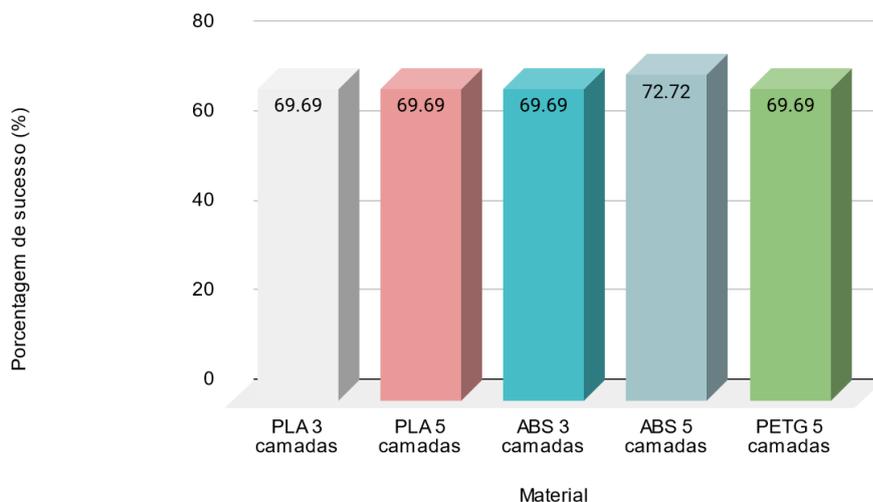
Contudo, a escolha do material deve levar em consideração não apenas as propriedades mecânicas do material, mas também a função do produto que será produzido e as possíveis condições de impacto e climáticas que o produto será exposto durante o uso, pois essas informações são importantes na decisão da escolha do material e do processo de fabricação. No caso dos polímeros plásticos em estudo, a resistência à temperatura dos materiais varia bastante, então o PLA se exposto a temperaturas acima de 90° sofre bastante deformação, o que não ocorre com o ABS que precisa de temperaturas mais elevadas próximas de 110 a 120°C. E o PETG sofre deformação com temperaturas intermediárias às observadas no PLA e ABS.

4.3. Estudo do desempenho das próteses no teste de preensão manual de objetos

4.3.1. Resultados gerais observados nas próteses

Os resultados iniciais descritos na Figura 76 mostram a porcentagem de sucesso geral comparando as cinco próteses na condição neutra. Observa-se que o ABS 5 camadas obteve maior sucesso com uma porcentagem de 72,72%, equivalente à sustentação de 24 dos 33 objetos. As demais próteses obtiveram porcentagem semelhante de 69,69% referente à 23 objetos sustentados com sucesso.

Figura 76. Gráfico do teste de prensão manual de objetos: Resultado geral das próteses neutras - Material versus percentagem de sucesso.



Fonte: A autora.

Os 33 objetos foram divididos em cinco categorias: garrafas, cilindros, esferas, prismas e objetos cotidianos. De modo a facilitar a análise e comparação do desempenho. A seguir estão descritos os resultados gerais por categoria.

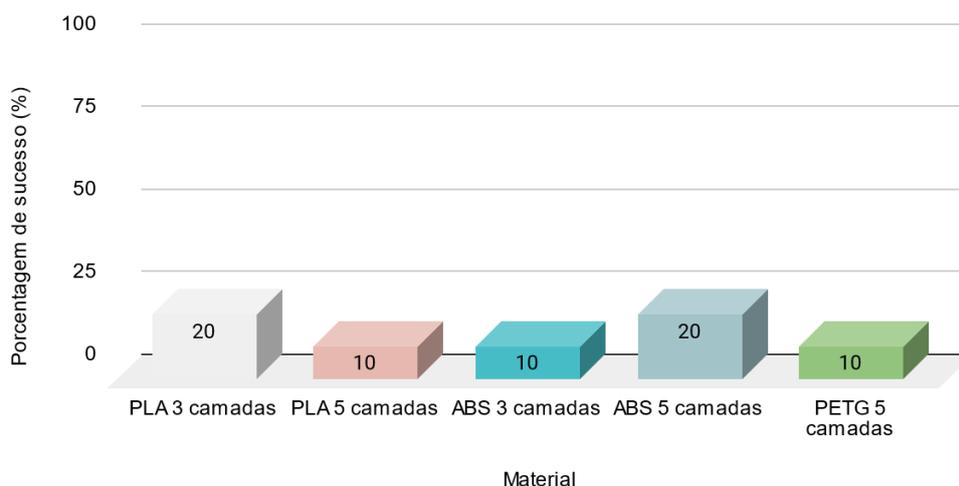
Na categoria das garrafas, são 10 objetos (Figura 77) e o sucesso na prensão foi significativamente baixo na condição neutra, em que as próteses de PLA 3 camadas e ABS 5 camadas atingiram a maior percentagem de 20%, ou seja 8 entre 10 garrafas foram sustentadas, e as demais próteses apenas 10%, ou seja, sucesso em apenas 1 objeto. Os resultados estão apresentados na Figura 78.

Figura 77. Foto dos 10 objetos da categoria garrafas plásticas.



Fonte: A autora.

Figura 78. Gráfico do teste de prensão manual de objetos: Resultado geral da prensão das 10 garrafas pelas próteses neutras - Material versus porcentagem de sucesso.



Fonte: A autora.

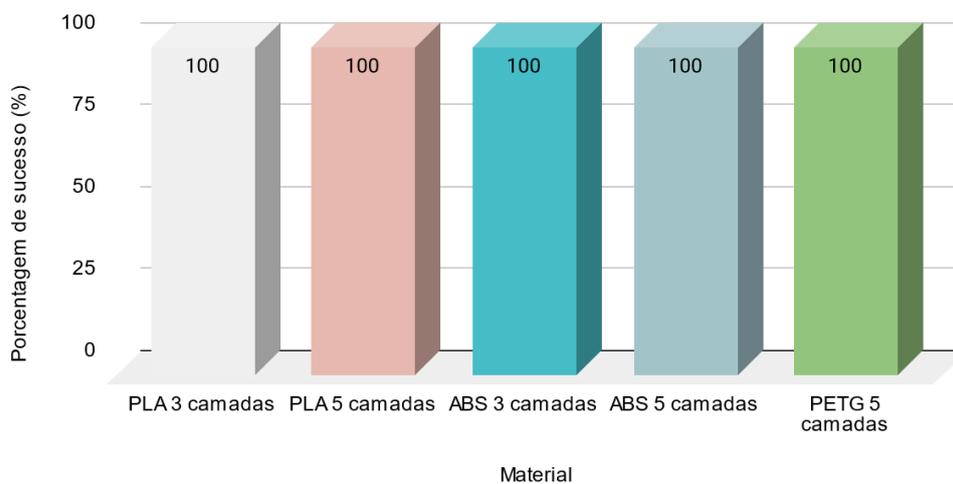
A segunda categoria, dos cilindros, 6 objetos ao todo (Figura 80), apresentou um alto desempenho, em que todas as cinco próteses avaliadas alcançaram 100% de sucesso (Figura 81). Esse resultado foi observado não só na prótese neutra, mas em todas as demais condições.

Figura 79. Foto dos seis objetos da categoria cilindros.



Fonte: A autora.

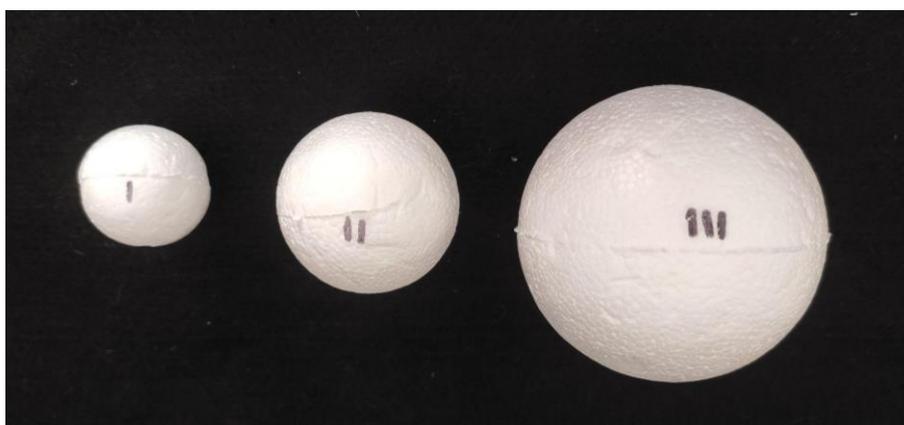
Figura 80. Gráfico do teste de prensão manual de objetos: Resultado geral da prensão dos 6 cilindros pelas próteses neutras - Material versus porcentagem de sucesso.



Fonte: A autora.

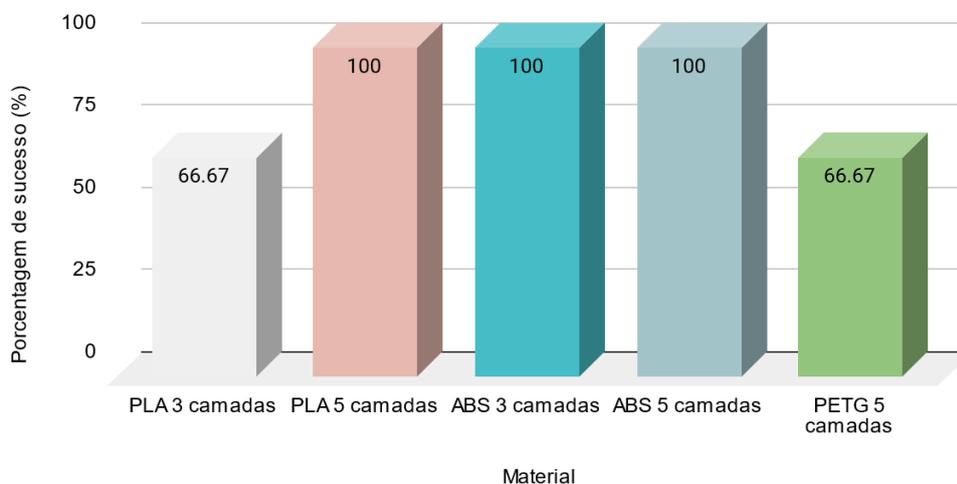
Na terceira categoria, das esferas (diâmetros de 30mm, 50mm e 75mm) (Figura 81), o sucesso assistido foi positivo, correspondendo à 100% no PLA 5, ABS 3 e 5 camadas e 66,67% no PLA 3 e PETG 5 camadas, devido à falha na prensão da esfera II (Figura 82).

Figura 81. Foto dos três objetos da categoria esferas.



Fonte: A autora.

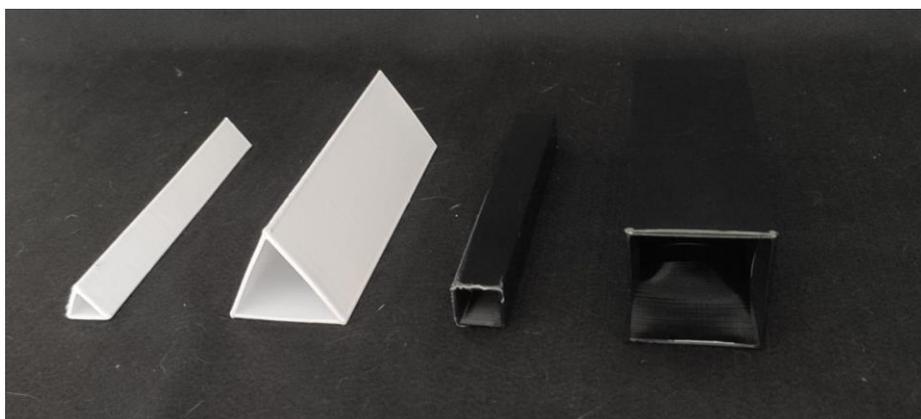
Figura 82. Gráfico do teste de prensão manual de objetos: Resultado geral da prensão das 3 esferas pelas próteses neutras - Material versus porcentagem de sucesso.



Fonte: A autora.

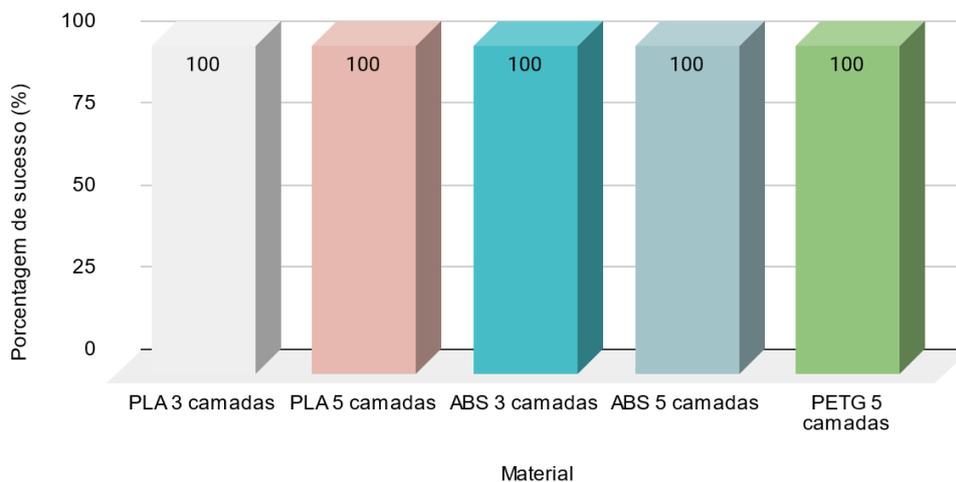
Na categoria dos prismas (de base quadrangular com 20mm e 50mm e triangular equilátero de 20mm e 50mm) (Figura 83), o desempenho foi elevado, atingindo 100% de sucesso dos cinco dispositivos e em todas as quatro condições avaliadas (Figura 84). É importante ressaltar que a prótese de ABS 5 camadas apresentou uma certa dificuldade na prensão do prisma triangular menor (20mm), no qual o sucesso ocorreu na terceira tentativa na condição neutra, e na segunda tentativa com o tecido emborrachado no dedo e falange.

Figura 83. Foto dos quatro objetos da categoria prismas.



Fonte: a autora.

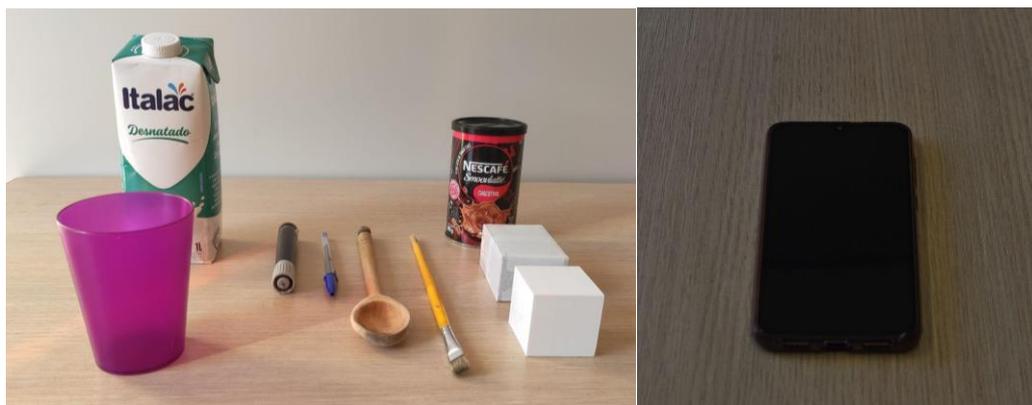
Figura 84. Gráfico do teste de prensão manual de objetos: Resultado geral da prensão dos 4 prismas pelas próteses em todas as 4 condições - Material versus porcentagem de sucesso.



Fonte: A autora.

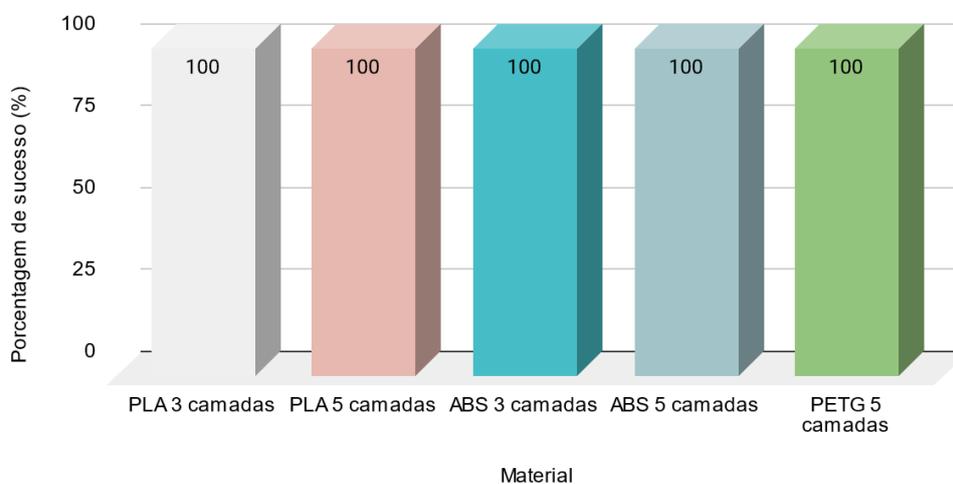
A última categoria formada pelos 10 objetos cotidianos (Figura 85), apresentou uma elevada porcentagem de sucesso com o PETG 5 camadas atingindo valor máximo de 100%, enquanto as demais próteses atingiram 90% na condição neutra pelo insucesso na prensão da embalagem de leite (Figura 86). Nas demais condições, o PLA 5, ABS 3 e ABS 5 camadas apresentaram resultados semelhantes à condição neutra. Já o PLA 3, apresentou insucesso nas condições neutra e com o dedal de silicone, mas nas duas condições com o tecido emborrachado foi obtido sucesso. E em relação ao PETG 5, na condição neutra e com o tecido emborrachado no dedo e falange o resultado foi positivo, entretanto, com o dedal de silicone e emborrachado no dedo, falange e palma da mão o resultado foi negativo. É interessante frisar que a prensão do pincel pelo ABS 3 camadas se deu na segunda tentativa.

Figura 85. Foto dos dez objetos da categoria de objetos cotidianos.



Fonte: A autora.

Figura 86. Gráfico do teste de prensão manual de objetos: Resultado geral da prensão dos 10 objetos cotidianos pelas próteses neutras - Material versus percentagem de sucesso.



Fonte: A autora.

Os objetos de insucesso foram majoritariamente as garrafas (1 - 10), a esfera II e a embalagem de leite e estão discriminados na Tabela 3. Observa-se que as garrafas 3, 4 e 8 obtiveram sucesso em algumas tentativas representando a percentagem de respectivamente 40% (em 2 das 5 próteses), 80% e 20%, assim como 60% para a esfera II e 20% para a embalagem de leite. Uma possibilidade que justificaria esses resultados é em relação à textura da ponta dos dedos, que auxilia no atrito e sustentação de objetos, assim como os diferentes formatos dos instrumentos. No caso da embalagem de leite, acredita-se que o PETG 5 camadas obteve sucesso na sustentação devido à embalagem ter se encaixado à prótese durante a queda. Em relação às

porcentagens gerais de sustentação das esferas por cada tipo de prótese, foram observados que o PLA 5, ABS 3 e ABS 5 obtiveram 100% de sucesso, diferentemente do PLA 3 e PETG 5 cuja porcentagem de sucesso foi de 66,67% devido ao insucesso na preensão e sustentação da esfera II (diâmetro de 50 mm).

É importante ressaltar que todas as peças avaliadas tiveram três tentativas, e o insucesso foi atribuído apenas quando a preensão e sustentação por 60s falhou nas três tentativas. E os objetos foram posicionados ao centro da prótese, mas sem apoio, sendo apenas segurado no topo ou base (no caso das esferas, devido ao seu formato) de modo que o peso da anilha (responsável pela tensão do fio que ocasionou a flexão do dispositivo) e a soltura do objeto fossem realizados simultaneamente. Dessa forma os resultados não teriam nenhuma interferência acidental por parte dos pesquisadores.

Tabela 3. Resultados de preensão das próteses neutras.

Objeto	PLA 3	PLA 5	ABS 3	ABS 5	PETG 5
Garrafa 1	INSUCESSO	INSUCESSO	INSUCESSO	INSUCESSO	INSUCESSO
Garrafa 2	INSUCESSO	INSUCESSO	INSUCESSO	INSUCESSO	INSUCESSO
Garrafa 3	SUCESSO	INSUCESSO	INSUCESSO	SUCESSO	INSUCESSO
Garrafa 4	SUCESSO	SUCESSO	SUCESSO	INSUCESSO	SUCESSO
Garrafa 5	INSUCESSO	INSUCESSO	INSUCESSO	INSUCESSO	INSUCESSO
Garrafa 6	INSUCESSO	INSUCESSO	INSUCESSO	INSUCESSO	INSUCESSO
Garrafa 7	INSUCESSO	INSUCESSO	INSUCESSO	INSUCESSO	INSUCESSO
Garrafa 8	INSUCESSO	INSUCESSO	INSUCESSO	SUCESSO	INSUCESSO
Garrafa 9	INSUCESSO	INSUCESSO	INSUCESSO	INSUCESSO	INSUCESSO
Garrafa 10	INSUCESSO	INSUCESSO	INSUCESSO	INSUCESSO	INSUCESSO
Esfera II	INSUCESSO	SUCESSO	SUCESSO	SUCESSO	INSUCESSO
Embalagem de leite	INSUCESSO	INSUCESSO	INSUCESSO	INSUCESSO	SUCESSO

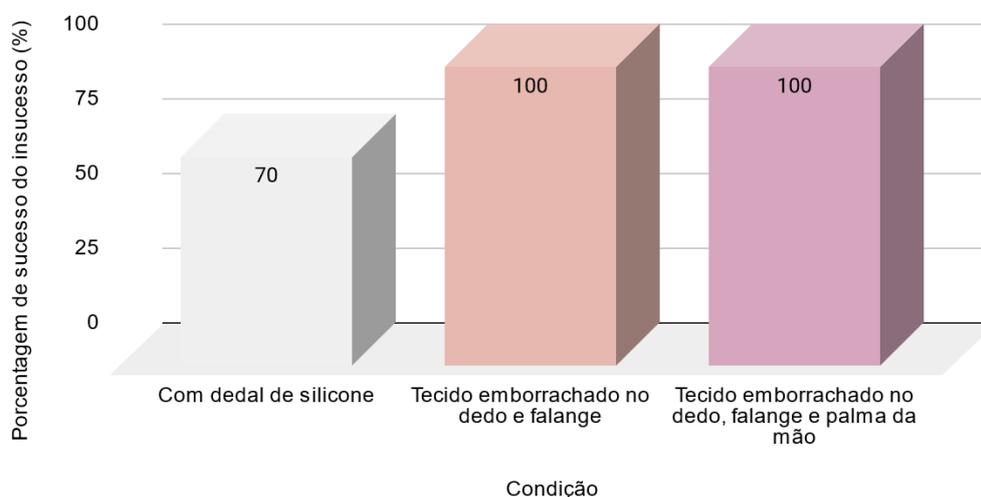
Fonte: A autora.

Com o intuito de solucionar o insucesso desses objetos e verificar a influência da textura da ponta dos dedos foram realizados outros três testes com dois diferentes materiais anexados nos dispositivos, totalizando quatro condições de teste, sendo elas respectivamente: neutra, com dedal de silicone (dedeira de silicone usada para tocar instrumentos musicais de corda, e.g. violão), tecido emborrachado inserido nos dedos e falanges e tecido emborrachado nos dedos, falanges e palma da mão.

4.3.2. Sucesso dos insucessos das próteses neutras observados após uso dos materiais nas condições 2 a 4 organizados por tipo de material

A prótese de PLA 3 camadas neutra com 69,69% de sucesso na preensão teve insucesso em 10 objetos, sendo as garrafas 1, 2 e 5 a 10, a esfera II e a embalagem de leite. Com o uso do dedal de silicone a porcentagem de sucesso dentre os 10 objetos de insucesso foi de 70%, em que apenas a garrafa 9, a esfera II e a embalagem de leite não obtiveram sucesso. Já em relação ao uso do tecido emborrachado, nas duas condições o sucesso foi de 100%. Entretanto, a garrafa 9 obteve sucesso com o tecido emborrachado no dedo, falange e palma apenas na segunda tentativa. Os resultados, apresentados na Figura 87, comprovam que o uso desses materiais aperfeiçoou o desempenho de preensão do dispositivo de forma significativa, correspondendo a um aumento de 21,21% e 30,31% respectivamente.

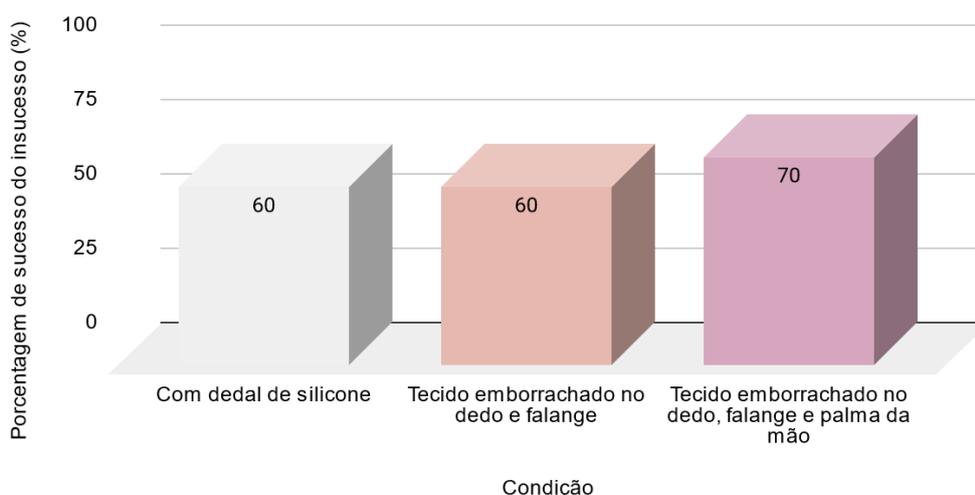
Figura 87. Gráfico do teste de preensão manual de objetos: Resultado da porcentagem de sucesso do insucesso versus a condição do PLA 3 camadas: 10 objetos.



Fonte: A autora.

A prótese de PLA 5 camadas neutra com 69,69% de sucesso na preensão teve insucesso em 10 objetos, sendo as garrafas 1, 2, 3 e 5 a 10, e a embalagem de leite. A garrafa 4 obteve sucesso apenas na terceira tentativa de preensão. Com o uso do dedal de silicone a porcentagem de sucesso dentre os 10 objetos de insucesso foi de 60%, em que as garrafas 7, 9 e 10, e a embalagem de leite não obtiveram sucesso, sendo que as garrafas 1 e 4 obtiveram sucesso na segunda tentativa. Em relação ao uso do tecido emborrachado, na primeira condição (emborrachado no dedo e falange) o resultado foi semelhante ao apresentado com o uso do dedal de silicone. Diferentemente do observado com o uso do emborrachado nos dedos, falanges e palmas em que o sucesso obtido foi de 70%, no qual a preensão das garrafas 7 e 9 e da embalagem de leite foi inviável e a garrafa 3 obteve sucesso na segunda tentativa. Os resultados, apresentados na Figura 88, comprovam que o uso desses materiais aperfeiçoou o desempenho de preensão do dispositivo de forma significativa, correspondendo a um aumento de 18,18% e 21,21% respectivamente.

Figura 88. Gráfico do teste de preensão manual de objetos: Resultado da porcentagem de sucesso do insucesso versus a condição do PLA 5 camadas: 10 objetos.

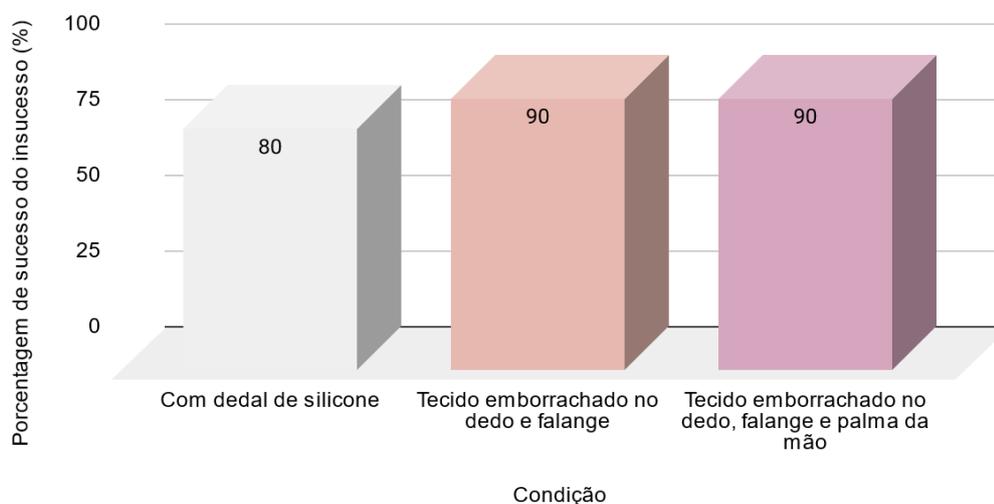


Fonte: A autora.

A prótese de ABS 3 camadas neutra com 69,69% de sucesso na preensão teve insucesso em 10 objetos, sendo as garrafas 1, 2, 3 e 5 a 10, e a embalagem de leite. Com o uso do dedal de silicone a porcentagem de

sucesso dentre os 10 objetos de insucesso foi de 80%, em que apenas a garrafa 9, e a embalagem de leite não obtiveram sucesso. Já em relação ao uso do tecido emborrachado, nas duas condições o sucesso foi de 90% devido a inviabilidade na prensão da embalagem de leite. Entretanto, a garrafa 9 obteve sucesso com o tecido emborrachado no dedo e falange apenas na terceira tentativa e a garrafa 10, apenas na segunda tentativa quando avaliada pelo emborrachamento no dedo, falange e palma. Os resultados, apresentados na Figura 89, comprovam que o uso desses materiais aperfeiçoou o desempenho de prensão do dispositivo de forma significativa, correspondendo a um aumento de 24,24% e 27,27% respectivamente.

Figura 89. Gráfico do teste de prensão manual de objetos: Resultado da porcentagem de sucesso do insucesso versus a condição do ABS 3 camadas: 10 objetos.

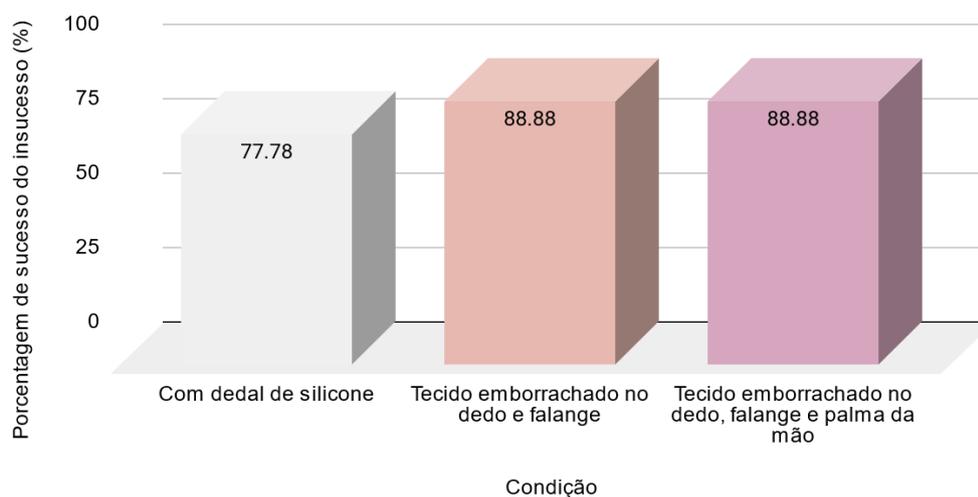


Fonte: A autora.

A prótese de ABS 5 camadas neutra com 72,72% de sucesso na prensão teve insucesso em 9 objetos, sendo as garrafas 1, 2, 5 a 7, 9 e 10, e a embalagem de leite. Com o uso do dedal de silicone a porcentagem de sucesso dentre os 9 objetos de insucesso foi de 77,78%, em que apenas a garrafa 9, e a embalagem de leite não obtiveram sucesso. Já em relação ao uso do tecido emborrachado, nas duas condições o sucesso foi de 88,88% devido ao insucesso na prensão da embalagem de leite. Entretanto, com o uso do tecido emborrachado no dedo e falange, a garrafa 3 atingiu sucesso apenas na segunda tentativa e a garrafa 9 apenas na terceira tentativa. Com o emborrachamento no dedo, falange e palma, as garrafas 7 e 9 obtiveram

sucesso na segunda tentativa. Os resultados, apresentados na Figura 90, comprovam que o uso desses materiais aperfeiçoou o desempenho de preensão do dispositivo de forma significativa, correspondendo a um aumento de 21,21% e 24,24% respectivamente.

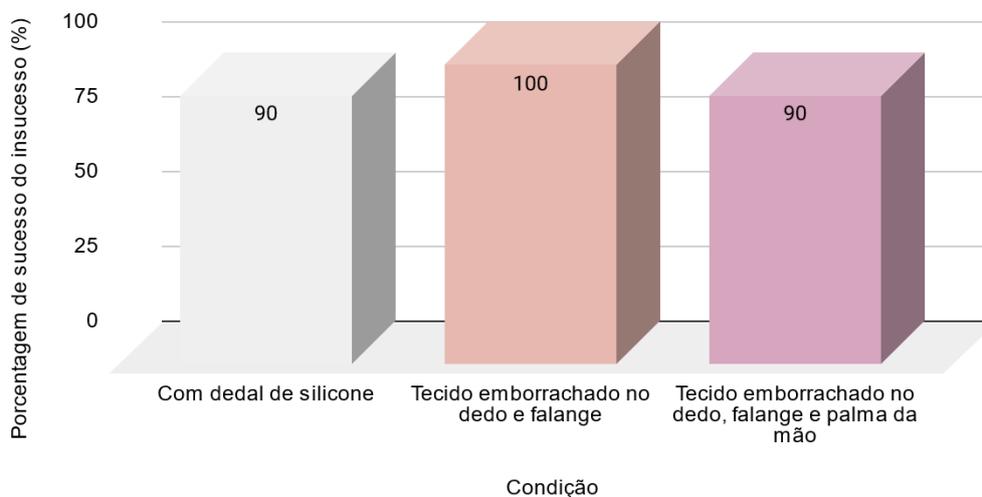
Figura 90. Gráfico do teste de preensão manual de objetos: Resultado da porcentagem de sucesso do insucesso versus a condição do ABS 5 camadas: 9 objetos.



Fonte: A autora.

A prótese de PETG 5 camadas neutra com 69,69% de sucesso na preensão teve insucesso em 10 objetos, sendo as garrafas 1, 2, 3 e 5 a 10, e a esfera II. Com o uso do dedal de silicone a porcentagem de sucesso dentre os 10 objetos de insucesso foi de 90%, em que apenas a garrafa 9 não obteve sucesso. Já em relação ao uso do tecido emborrachado, o sucesso foi de 100% com o emborrachado no dedo e falange, e de 90% com o emborrachado no dedo, falange e palma da mão, em que a preensão da garrafa 7 falhou. Entretanto, nessa mesma condição (do tecido emborrachado no dedo, falange e palma) a garrafa 10 alcançou sucesso apenas na segunda tentativa. Os resultados, apresentados na Figura 91, comprovam que o uso desses materiais aperfeiçoou o desempenho de preensão do dispositivo de forma significativa, correspondendo a um aumento de 24,24% e 30,31% respectivamente.

Figura 91. Gráfico do teste de prensão manual de objetos: Resultado da porcentagem de sucesso do insucesso versus a condição do PETG 5 camadas: 10 objetos.



Fonte: A autora.

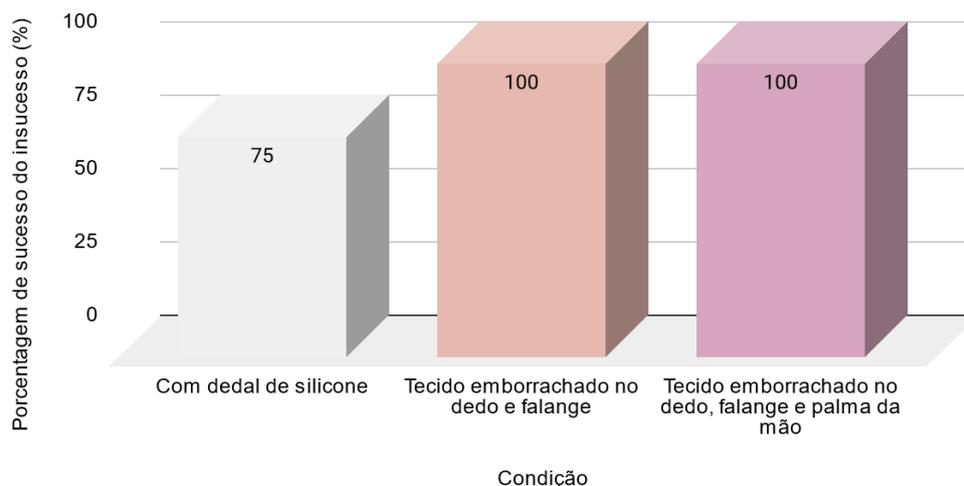
4.3.3. Detalhamento do sucesso dos insucessos das próteses neutras observados após uso dos materiais nas condições 2 a 4

Nesta sessão, os gráficos apresentam os resultados obtidos com os testes dos materiais nas condições 2, 3 e 4, ou seja, utilizando o material auxiliar (dedal de silicone e tecido emborrachado) unido às próteses, separados por categoria dos objetos. Enfatiza-se que as categorias dos cilindros e prismas não se encontram nesta seção, pois os testes de todos os dispositivos nas quatro condições resultaram em 100% de sucesso.

A categoria das garrafas evidenciou a maior variação dos resultados e apresentou a menor porcentagem de desempenho na prótese em condições neutras, no entanto, o uso do material auxiliar mostrou melhora significativa na prensão e será detalhado a seguir.

Na condição neutra, o PLA 3 camadas apresentou 20% de sucesso devido a prensão das garrafas 3 e 4. Após o uso do silicone, a prensão foi bem-sucedida em todas as garrafas exceto a de número 9. Contudo, nas duas condições de tecido emborrachado o desempenho obtido foi de 100% (Figura 92). Evidenciando que os materiais auxiliares contribuíram positivamente na prensão dos objetos.

Figura 92. Gráfico do teste de prensão manual de objetos: Resultado da porcentagem de sucesso do insucesso versus a condição do PLA 3 camadas: 8 objetos.



Fonte: A autora.

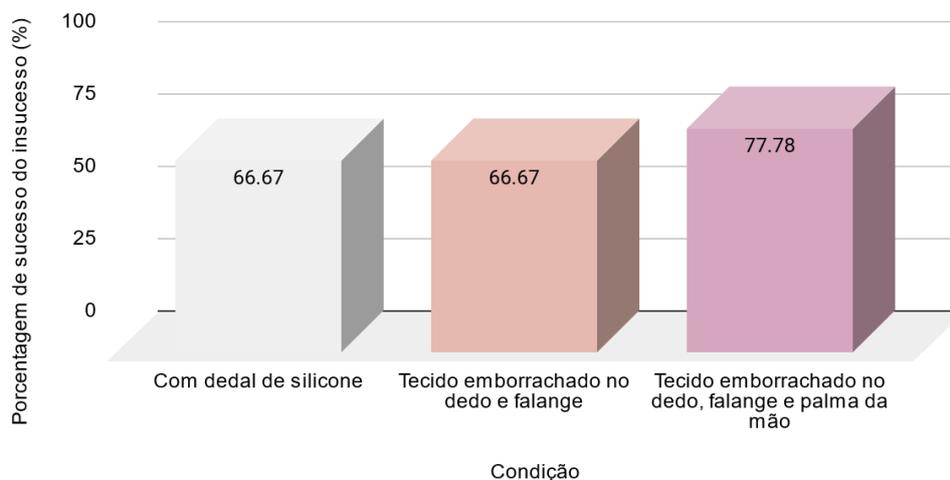
O PLA 5 camadas detém o pior desempenho em todas as condições. Inicialmente obteve apenas 10% de sucesso ao sustentar a garrafa 4 (Figura 93 esquerda). Essa porcentagem aumentou para 70% com o uso do silicone, sustentando as garrafas número 1 a 6 e a 8. A prensão utilizando o tecido emborrachado nos dedos e falanges foi similar à prensão com o silicone. No entanto, ao incluir o tecido emborrachado na palma da mão o desempenho aumentou para 80%, incluindo a prensão da garrafa 10 com sucesso (Figura 93 direita). Os resultados encontram-se na Figura 94.

Figura 93. Sucesso ao sustentar a garrafa 4 na condição neutra (esquerda) e sucesso na prensão da garrafa 10 com o tecido emborrachado nos dedos, falanges e palma (direita).



Fonte: A autora.

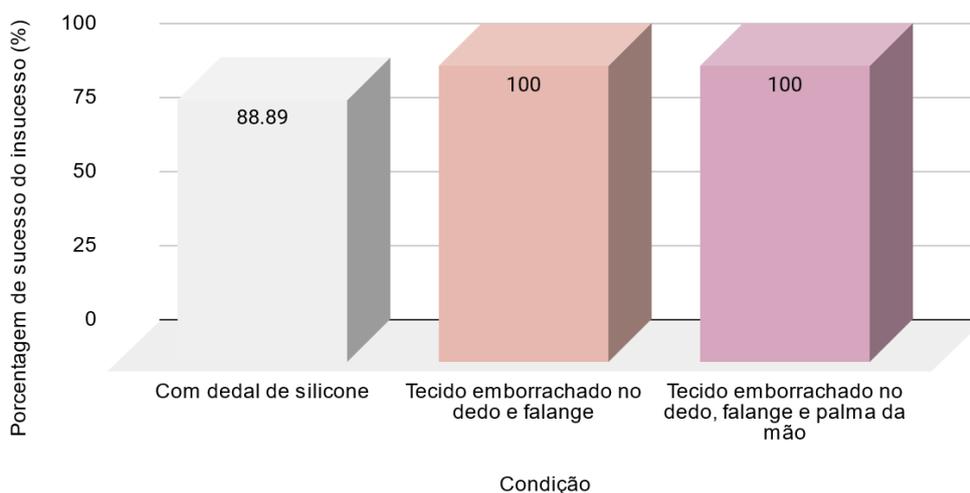
Figura 94. Gráfico do teste de prensão manual de objetos: Resultado da porcentagem de sucesso do insucesso versus a condição do PLA 5 camadas: 9 objetos.



Fonte: A autora.

Os resultados observados com o ABS 3 camadas o colocaram na terceira posição de melhor desempenho geral. Na condição neutra teve sucesso de 10% na prensão da garrafa 4, que foi melhorada com o uso do silicone alcançando 90% de sucesso, em que o único insucesso foi na prensão da garrafa 9. Nas outras duas condições com o tecido emborrachado houve melhora significativa alcançando desempenho elevado de 100% (Figura 95).

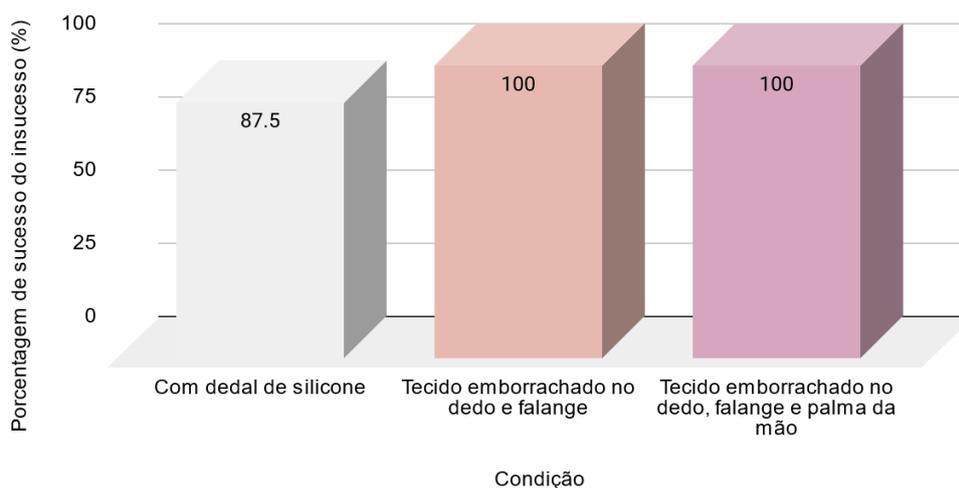
Figura 95. Gráfico do teste de prensão manual de objetos: Resultado da porcentagem de sucesso do insucesso versus a condição do ABS 3 camadas: 9 objetos.



Fonte: A autora.

Assim como evidenciado nos testes com o PLA 3, o ABS 5 apresentou resultados semelhantes, em que a única diferença se deu no desempenho da prótese na condição neutra no qual os sucessos foram com as garrafas 3 e 8 (Figura 96). Os demais testes apresentaram a mesma porcentagem de sucesso e objeto de insucesso (garrafa 9).

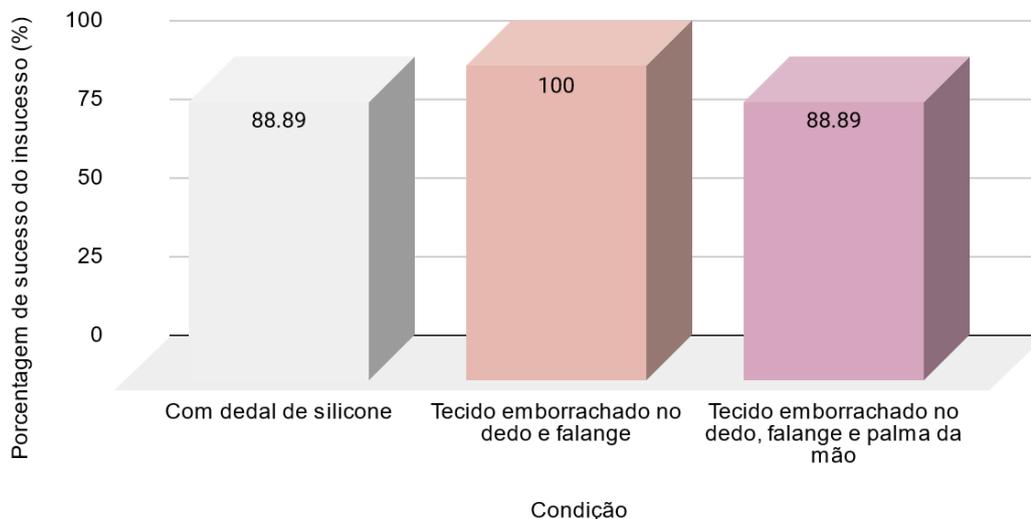
Figura 96. Gráfico do teste de prensão manual de objetos: Resultado da porcentagem de sucesso do insucesso versus a condição do ABS 5 camadas: 8 objetos.



Fonte: A autora.

Contudo, no PETG 5 camadas, inicialmente o sucesso foi em 10% devido à prensão da garrafa 4, aumentando para 90% com o uso do silicone tendo sucesso em todas as garrafas exceto a de número 9. Ao agregar o tecido emborrachado na prótese neutra, o desempenho obteve desempenho máximo de 100%, mas foi reduzido para 90% com a adição do emborrachamento na palma da mão, devido ao insucesso na prensão da garrafa 7 (Figura 97).

Figura 97. Gráfico do teste de apreensão manual de objetos: Resultado da porcentagem de sucesso do insucesso versus a condição do PETG 5 camadas: 8 objetos.



Fonte: A autora.

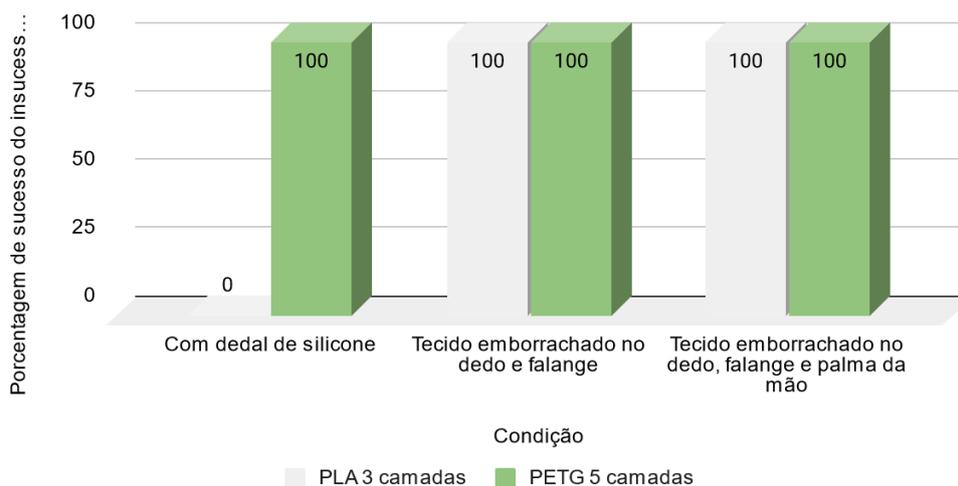
Em relação às próteses que obtiveram insucesso na categoria das esferas, no PLA 3 o insucesso se manteve com o uso do dedal de silicone, mas foi solucionado nas condições de uso do tecido emborrachado e no PETG 5, ambas as condições com o silicone e tecido emborrachado obtiveram sucesso (Figuras 98 e 99). Portanto, ressalta-se a influência positiva da utilização desses acessórios no desempenho dos dispositivos.

Figura 98. Sucesso na apreensão da esfera com o tecido emborrachado nas duas condições.



Fonte: A autora.

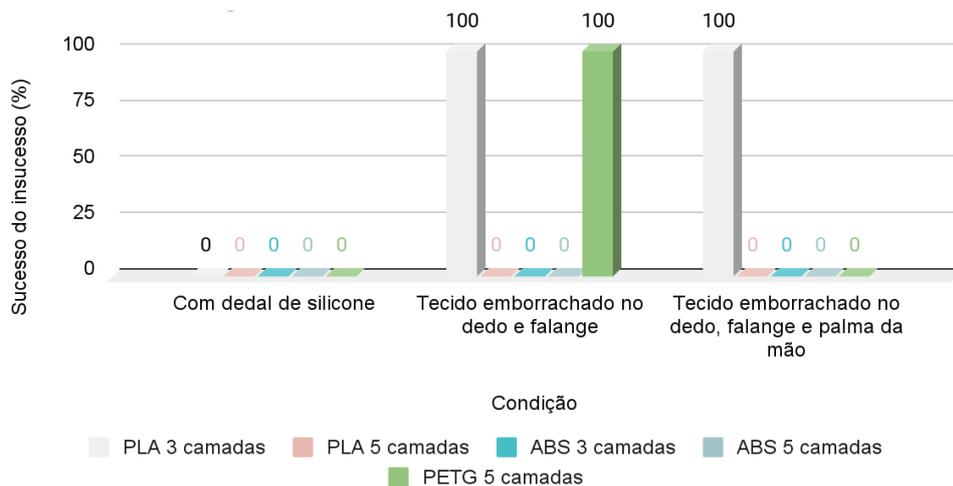
Figura 99. Gráfico do teste de prensão manual de objetos: Resultado da porcentagem de sucesso do insucesso na prensão da esfera II pelo material PETG 5 e PLA 3 versus a condição.



Fonte: A autora.

Em comparação aos 10 objetos cotidianos, o único que inviabilizou a prensão foi a embalagem de leite. A Figura 100 evidencia os resultados obtidos no desempenho das cinco próteses nas três condições de aprimoramento ao realizar a prensão da embalagem. Inicialmente, na condição neutra, apenas o PETG 5 camadas obteve sucesso. Com o uso do silicone, todas as próteses apresentaram insucesso na prensão. No entanto, ao unir o emborrachado nos dedos e falanges, o PLA 3 e PETG 5 obtiveram sucesso (Figuras 101). Situação contrária ao verificado no PLA 5 e ABS 3 e 5. Com a inclusão do emborrachado na palma da mão, apenas o PLA 3 teve sucesso.

Figura 100. Gráfico do teste de prensão manual de objetos: Resultado da porcentagem de sucesso do insucesso na prensão da embalagem de leite pelo material versus a condição.



Fonte: a autora.

Figura 101. Preensão da embalagem de leite nas condições com o tecido emborrachado.



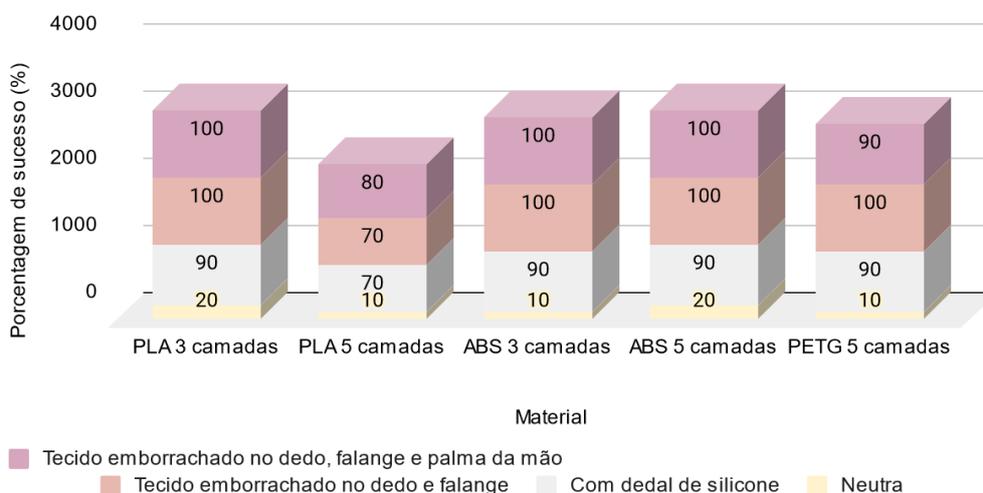
Fonte: A autora.

4.3.4. Síntese dos resultados gerais de todas as próteses em todas as condições

Buscando sintetizar os resultados e facilitar a comparação dos mesmos eles foram apresentados em um único gráfico, separado por categoria, mostrando o material da prótese (cinco opções) versus a porcentagem de sucesso nas quatro condições.

Em relação às garrafas, o PLA 3 e ABS 5 camadas tiveram os melhores resultados nas quatro condições, seguidos pelo ABS 3, PETG 5 e o PLA 5 com o pior desempenho, como pode ser observado na Figura 102. Vale ressaltar que todas as garrafas representaram insucesso na preensão em algum momento dos testes.

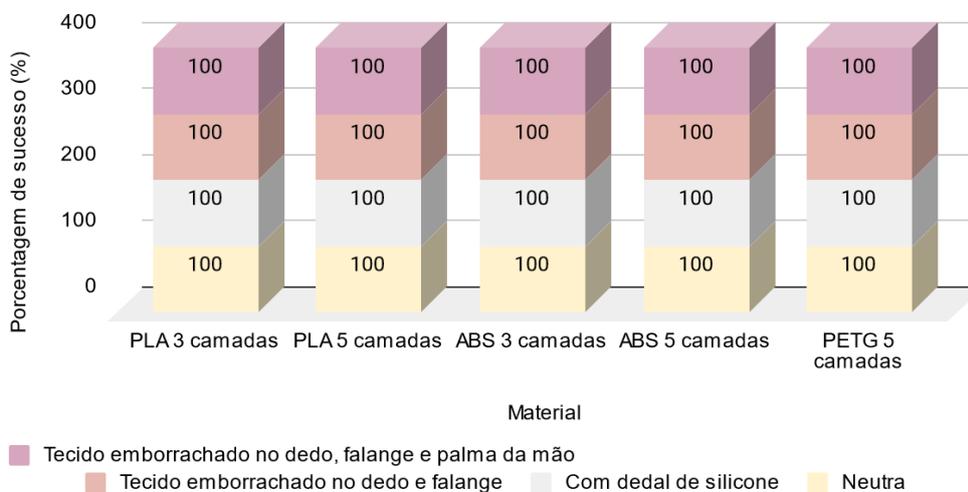
Figura 102. Gráfico do teste de prensão manual de objetos: Resultado geral da porcentagem de sucesso na prensão das garrafas pelas próteses nas diferentes condições.



Fonte: A autora.

Na categoria dos cilindros, todos os dispositivos independente da condição a que foram submetidos obtiveram desempenho elevado de 100%, como apresentado na Figura 103.

Figura 103. Gráfico do teste de prensão manual de objetos: Resultado geral da porcentagem de sucesso na prensão dos cilindros pelas próteses nas diferentes condições.

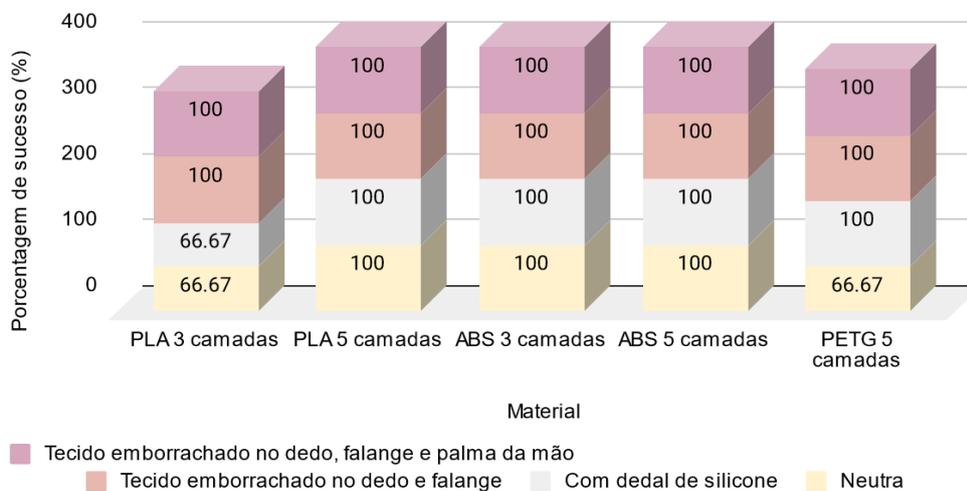


Fonte: A autora.

Distintivamente dos resultados verificados na categoria das esferas, que majoritariamente foi positivo, alcançando 100% de sucesso na prensão em todas as condições pelas próteses PLA 5 e ABS 3 e 5 camadas. No entanto,

na condição neutra, o PETG 5 obteve insucesso, assim como o PLA 3 que apresentou insucesso nas condições neutra e com o dedal de silicone para a prensão da esfera II. Tais resultados podem ser verificados na Figura 104.

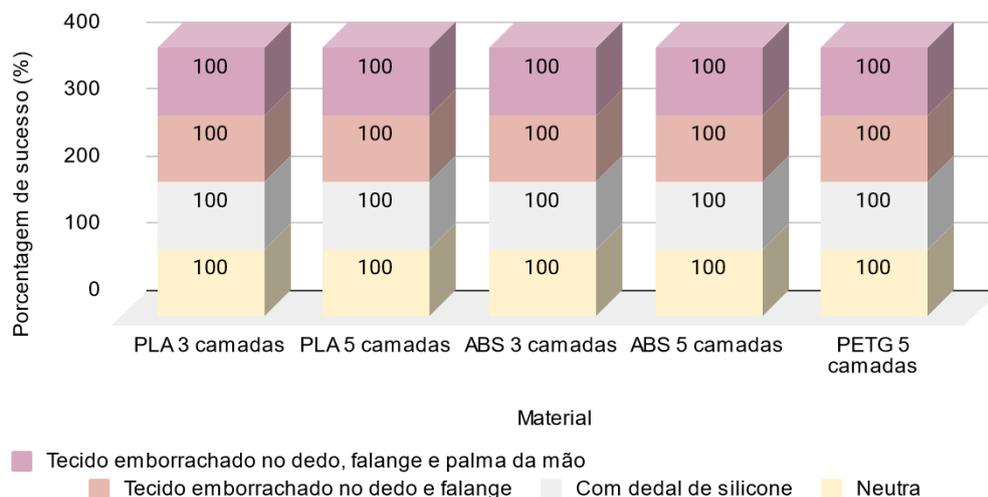
Figura 104. Gráfico do teste de prensão manual de objetos: Resultado geral da porcentagem de sucesso na prensão das esferas pelas próteses nas diferentes condições.



Fonte: A autora.

A categoria envolvendo os prismas alcançou resultados semelhantes aos verificados na prensão dos cilindros, tendo desempenho de 100% em todas as quatro condições, como mostrado na Figura 105.

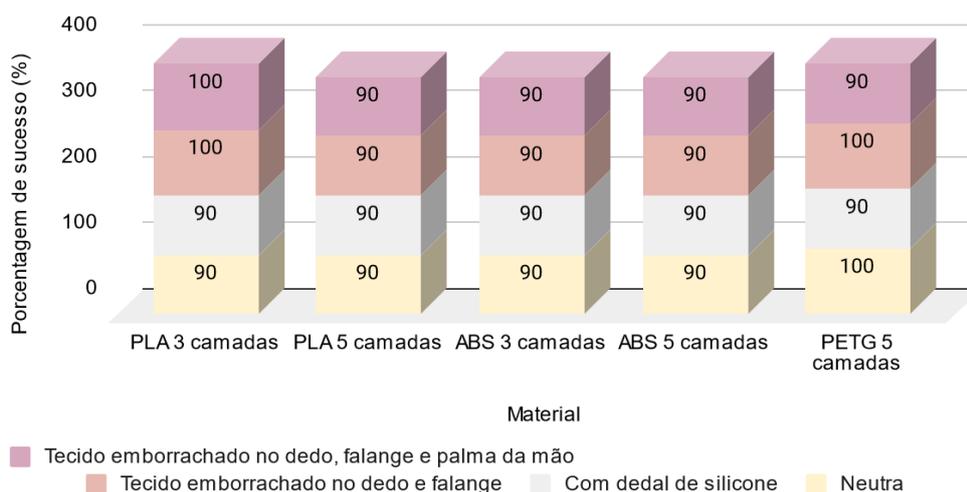
Figura 105. Gráfico do teste de prensão manual de objetos: Resultado geral da porcentagem de sucesso na prensão dos prismas pelas próteses nas diferentes condições.



Fonte: A autora.

No conjunto dos objetos cotidianos, as próteses com maior sucesso na preensão foram o PLA 3 e PETG 5. Contudo a porcentagem mais baixa foi de 90% (no geral) para os demais dispositivos (PLA 5 e ABS 3 e 5) como exposto na Figura 106. Vale ressaltar que o objeto de insucesso foi o mesmo em todos os casos e é a embalagem de leite.

Figura 106. Gráfico do teste de preensão manual de objetos: Resultado geral da porcentagem de sucesso na preensão dos objetos cotidianos pelas próteses nas diferentes condições.



Fonte: A autora.

Tais resultados sugerem que não apenas o material e as suas propriedades mecânicas interferem na preensão manual de objetos, mas significativamente a textura da prótese e do objeto a ser segurado. Podendo ser aprimorado ao utilizar materiais auxiliares com diferentes texturas aumentando o atrito e melhorando o desempenho.

4.3.5. Síntese dos resultados

Buscando avaliar o desempenho de preensão manual da prótese transradial mecânica impressa 3D *UnLimbited Arm v2.1 Alfie Edition* foram realizados testes em laboratório nos quais a prótese impressa em três diferentes materiais em duas condições diferentes (com 3 e 5 camadas de impressão) deveriam sustentar 33 objetos cotidianos por ao menos 60s para obter sucesso na preensão manual.

Foi verificado que a *UnLimbited Arm* apresentou desempenho satisfatório na preensão manual dos grupos de objetos cotidianos, prismas e cilindros. Contudo, a embalagem de leite e os objetos dos grupos das esferas e de garrafas apresentou resultados insatisfatórios na preensão.

No caso da esfera e de algumas garrafas, o insucesso decorre do formato e a superfície de contato da prótese (ponta dos dedos e palma) com o objeto serem muito lisas tendo pouco atrito. O que foi reforçado durante a tentativa de preensão de determinadas garrafas em que a prótese conseguiu segurar o objeto, mas por poucos segundos, pois o objeto deslizou até cair no chão. O mesmo comportamento foi observado na tentativa de preensão da esfera II em algumas condições, em que o objeto em contato com a palma e ponta dos dedos foi segurado, mas deslizou até cair. O insucesso encontrado na embalagem de leite e garrafa 9 se dá ao tamanho do objeto e ao peso, em adição à superfície de contato ser lisa. A influência da textura presente ou ausente na superfície de contato na preensão manual foi comprovada nos testes com o uso de materiais auxiliares, em que o desempenho da prótese foi aperfeiçoado significativamente alcançando sucesso total nas condições que utilizaram o tecido emborrachado. A Tabela 4 apresenta os insucessos e sucessos dos 12 objetos que apresentaram insucesso durante os testes. Ela apresenta os resultados das 5 próteses nas 4 condições avaliadas e representa com cores o insucesso e em qual das 3 tentativas o sucesso foi obtido.

Tabela 4. Teste de prensão manual de objetos: Resultado do sucesso ou insucesso de todas as próteses em todas as diferentes condições.

Objeto / Condição	PLA 3				PLA 5				ABS 3				ABS 5				PETG 5			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Garrafa 1	Red	Green	Green	Green	Red	Yellow	Green	Green	Red	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Green
Garrafa 2	Red	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Green
Garrafa 3	Green	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Yellow	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Green	Red	Green	Green	Green
Garrafa 4	Green	Green	Green	Green	Blue	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Garrafa 5	Red	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Green
Garrafa 6	Red	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Green
Garrafa 7	Red	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Yellow	Red	Green	Green	Red
Garrafa 8	Red	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Green
Garrafa 9	Red	Red	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Blue	Green	Green	Red	Red	Blue	Yellow	Red	Red	Green	Green
Garrafa 10	Red	Green	Green	Green	Red	Red	Red	Green	Red	Green	Green	Yellow	Red	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Yellow
Embalagem de Leite	Red	Red	Green	Green	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Red	Green	Red
Esfera 2	Red	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Green

Legenda:

Condição: 1 - Neutra 2 - Com dedal de silicone 3 - Tecido emborrachado no dedo e falange 4 - Tecido emborrachado no dedo, falange e palma da mão

Cor:  Sucesso na 1ª tentativa  Sucesso na 2ª tentativa  Sucesso na 3ª tentativa  Insucesso

Fonte: A autora.

O dedal de silicone é um material de fácil acesso, por ser comercializado pronto em diferentes lojas, e é fácil de ser inserido na prótese e retirado para limpeza. O seu uso aperfeiçoou o desempenho do dispositivo, mas apresentou sucesso inferior ao adquirido com o uso do tecido emborrachado. Sugere-se que o tecido emborrachado apresenta melhor

desempenho, mesmo sabendo que por ser maleável a borracha é encurtada quando pressionada pelos objetos mais rígidos, pois apresenta textura mais rugosa gerando mais atrito entre a prótese e o objeto, o que auxiliando na sustentação do objeto pelo dispositivo.

Uma desvantagem em relação ao uso do tecido emborrachado consiste na fabricação e junção do mesmo com a prótese, por se tratar de uma adaptação do tecido emborrachado à prótese. É um trabalho artesanal e que devido às deformações sofridas no uso do emborrachado, dependendo do objeto e do tempo de uso, o emborrachado se solta da prótese ou é rasgado. No entanto, os resultados foram melhores com o uso do emborrachado, especialmente quando ele foi adicionado apenas nos dedos e falanges.

Sugere-se que preensão manual de objetos esteja intrinsecamente relacionada ao desempenho da prótese em atividades cotidianas e quando não há um ganho expressivo no desempenho da atividade ao usar o dispositivo ou há um certo desconforto, o usuário tende a rejeitar a prótese. O que foi indicado por Figliolia (2018), Davidson (2002), McFarlan et. al. (2010), Datta et. al. (2004) e Chau et. al. (2007) evidencia a necessidade de customização e avaliação a fundo das propriedades estéticas, mecânicas e funcionais do dispositivo.

Dentre os estudos encontrados acerca da validação da prótese sem o usuário, no geral eram realizados testes em laboratório das propriedades mecânicas do material ou simulação (Colombo et. al. 2013, BARRAZA et. al. 2010 e LAMBRECHT et. al. 2011). No entanto, ao nosso conhecimento não foram encontrados estudos que utilizaram um método similar ao descrito neste estudo para avaliar o desempenho na preensão de objetos com essas próteses. Nem tampouco a avaliação comparativa do design e de parâmetros de impressão 3D. O que caracteriza como uma grande contribuição aos demais profissionais e ao meio científico ao apresentar uma nova forma de avaliação com resultados promissores e que contribuem no desenvolvimento e aprimoramento de próteses transradiais mecânicas impressas 3D por FFF e outros modelos desde que feita algumas adaptações no suporte utilizado no teste. Essa nova avaliação proposta no presente estudo também exemplifica um método de padronização dos testes, definindo as variáveis a serem estudadas e criando condições de modo a minimizar as influências externas que possam comprometer o estudo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As Tecnologias Assistivas têm a capacidade de melhorar a qualidade de vida dos seus usuários os auxiliando na realização de algumas atividades que sem o uso das TAs seria inviável ou desconfortável, como e.g. se locomover tendo o pé engessado sem o auxílio de uma muleta, ler um jornal sem auxílio de óculos de grau.

As TAs são dispositivos individuais que devem ser desenvolvidos especificamente para o seu usuário, portanto é seriamente recomendado empregar metodologias de UCD ao desenvolver esses produtos. Pois como discutido anteriormente nessa pesquisa, as contribuições dessa abordagem são muito benéficas inclusive ao auxiliar na adaptação e aceitação dos dispositivos pelo usuário.

As próteses funcionais, além de desempenhar a função do membro ausente (em muitos casos decorrentes de uma amputação), devem promover a identificação do usuário com o dispositivo, pois o produto afetará a vida do usuário de forma prática (funcional), estética e simbólica, podendo influenciar a forma como o usuário se vê (percepção de imagem corporal) e como a sociedade o vê.

O presente estudo buscou compreender melhor essas relações em decorrência do uso da prótese, e principalmente investigar a influência dos materiais e parâmetros de prototipagem rápida no desempenho dos dispositivos, avaliando a influência desses fatores no desenvolvimento e fabricação de próteses transradiais mecânicas customizadas produzidas por impressão 3D, tecnologia FFF, de forma a contribuir gerando conhecimentos e diretrizes que auxiliem no desenvolvimento de dispositivos mais adequados e que apresentem melhor desempenho. Em adição à avaliação da acessibilidade e vantagens de custo.

Em relação à investigação no estudo de caso, mesmo com a limitação da amostra de um participante, sugere-se que os resultados encontrados sejam relevantes. A amputação por si só é caracterizada como um evento traumático e assim como demonstrada pelo participante do estudo, a falta de acessibilidade no ambiente gerou desconforto ao participante. Também foi observado a influência de fatores emocionais e da experiência prévia de uso da prótese na percepção do participante sobre o desempenho, aceitação e uso da prótese durante a avaliação comparativa entre os diferentes modelos de próteses 3D. Uma importante contribuição foi identificar que os valores simbólico e emocional da prótese podem, em alguns casos, ter um peso maior do que a funcionalidade do dispositivo. Os resultados reforçam a necessidade de maior investigação sobre os assuntos discutidos.

Acerca dos aspectos funcionais no desenvolvimento e desempenho da prótese, o projeto procurou compreender esses efeitos em diferentes etapas do desenvolvimento do

produto, ou seja, desde a melhor compreensão do comportamento mecânico do material utilizado na impressão 3D (polímeros termoplásticos de ABS, PLA e PETG), até a influência das configurações dos parâmetros de impressão e no aperfeiçoamento do produto utilizando materiais auxiliares devido à textura e superfície de contato da prótese para com os objetos influenciar no desempenho de preensão manual de objetos.

De modo a compreender o comportamento mecânico dos polímeros plásticos, foram realizados testes mecânicos de flexão e tração, tendo como variáveis três diferentes materiais, o número de camadas das peças impressas sendo três ou cinco camadas, e a variável cor (pigmento) avaliada em um teste extra com o PLA.

Os resultados dos testes mecânicos indicam em ambos os ensaios que o aumento no número de camadas aumentou consideravelmente a tensão necessária para a deformação dos CPs. O ABS e PETG apresentaram resultados proporcionais e mais próximos que divergiram bastante dos resultados obtidos com o PLA. Dessa forma sugere-se que o PLA é o material mais recomendado dentre os três materiais, fornecendo maior resistência à tração e flexão de três pontos. O PETG apresentou um desempenho levemente melhor do que o ABS. Também foi observado interação entre o pigmento e a resistência mecânica do PLA.

O teste de preensão mostrou que no geral a prótese *UnLimbited Arm* apresenta desempenho satisfatório na preensão de objetos cotidianos, prismas e cilindros, já em relação às esferas, embalagem de lei e diferentes garrafas a preensão é insatisfatória.

Mesmo com os desenvolvedores das próteses 3D *de código aberto* disponibilizando as configurações padrões na prototipagem das próteses, há a necessidade de realizar adaptações do dispositivo para adequar o produto ao usuário de forma mais confortável, e alguns dos parâmetros recomendados podem ter um melhor desempenho no uso do dispositivo se modificados (como aumentando o número de camadas) e acrescentando o uso de materiais auxiliares como o dedal de silicone e tecido emborrachado.

Através da análise dos resultados encontrados, sugere-se as seguintes diretrizes no desenvolvimento de próteses customizadas 3D:

- Aplicação de metodologias que envolvam o usuário desde as etapas iniciais de desenvolvimento do dispositivo. Incluindo uma entrevista inicial para que o futuro usuário do produto descreva suas reais necessidades e intenções de uso da prótese, assim como algumas preferências estéticas e formato, para que assim o designer, terapeuta ocupacional ou fisioterapeuta encontrem o modelo mais adequado de prótese.
- Avaliar as condições de uso do dispositivo antes de definir o material a ser usado na impressão 3D do produto.

- Caso esteja de acordo com as necessidades e limitações de uso do futuro usuário, optar pela adição do tecido emborrachado nos dedos e falanges, ou se for inviável, optar pelo uso do dedal de silicone.
- Em relação à escolha do material da prótese e número de camadas deve-se levar em consideração as necessidades do futuro usuário, pois conforme apresentado nos testes o PLA 5 obteve os melhores resultados de resistência mecânica tanto no teste de tração quanto de flexão, no entanto no teste de prensão manual apresentou os piores resultados nas quatro condições avaliadas.
- Levar em consideração a interferência na resistência mecânica do pigmento ao usar o PLA, e sugere-se que tal comportamento ocorra nos demais polímeros devido a apresentarem composição similar. No caso do PLA, ao utilizar 3 camadas de impressão o material com mais pigmento colorido (no estudo o rosa) apresentou melhor resistência mecânica à tração. Caso use 5 camadas, foi observado o contrário, ou seja, o pigmento mais próximo à cor neutra (branco) obteve os melhores desempenhos (à tração e flexão).
- Ao utilizar o ABS, os resultados obtidos com 5 camadas de impressão foram melhores no teste de prensão e nos dois testes de resistência mecânica. Mas por ser um material mais rígido e que suporta temperaturas mais elevadas, é recomendado ser utilizado se a prótese ficará com frequência exposta às condições de temperatura elevada (e.g. exposição ao sol) e ao realizar a termoformagem realizar um teste inicial com uma peça extra, posicionar a peça em uma superfície aquecida e utilizar o soprador térmico.
- Ao termoformar o PETG, o soprador térmico é recomendado, mas se o desenvolvedor possuir uma impressora 3D com mesa aquecida, é possível moldar a peça mantendo a sob a mesa aquecida à 110°C em uma espécie de estufa, após alguns minutos. Caso opte por 3 camadas de impressão, a diferença entre o PETG e ABS é muito baixa, então recomenda-se o uso do ABS (desde que em acordo com as necessidades e requisitos do produto/usuário), mas ao optar por 5 camadas, as resistências mecânicas de tração e flexão apresentam melhora significativa, de forma que recomenda-se o uso do PETG ao invés do ABS. No entanto, o material exige temperaturas mais elevadas de impressão e por ser um filamento flexível o processo de impressão é mais desafiador podendo ocorrer dificuldades na impressão e perda da peça durante o processo.
- Outro aspecto que influencia no uso do dispositivo é em relação ao peso, apesar da textura do PETG aparentar ser mais agradável ao toque em comparação às outras próteses com 5 camadas foi o dispositivo com peso intermediário, mais leve do que o PLA e mais pesado do que o ABS.

- Sobre o custo, o PLA apresentou o maior valor, devido ao preço pago em 1 kg de filamento ser mais caro do que o valor do ABS e PETG. No entanto, o valor atual (agosto de 2021) apresentou redução, sendo R\$100 para o PLA e PETG e R\$90,00 para o ABS.
- Apesar do presente estudo não ter realizado testes de caracterização térmica, o processo de impressão e termoformagem das próteses evidenciou as vantagens do ABS e PETG em comparação ao PLA.

Portanto, sugere-se para pesquisas futuras a replicação dos testes com maior amostragem, número de CPs e variáveis, como diferentes pigmentações, somado à medição das forças exercidas pelas próteses, para adquirir maior compreensão dos efeitos da amputação e experiência de uso do dispositivo pela pessoa amputada/protetizada e das influências dos demais parâmetros no desempenho do dispositivo.

Conclui-se que a amputação e uso da prótese afetam a relação dessas pessoas com o ambiente e com pessoas não amputadas e que deve ser investigada, visando maior compreensão e conscientização evitando situações desconfortáveis e que afetem negativamente a PcD usuária ou não de prótese. Em relação ao uso da prótese, a experiência prévia e as impressões/expectativas do futuro usuário influenciam significativamente na aceitação e uso do dispositivo. Já o desempenho da prótese é influenciado pelo material e parâmetros de impressão 3D, que apresentam diferentes comportamentos mecânicos, no entanto, a resistência mecânica do material independente da condição (variável que foi analisada) e mesmo tendo apresentado melhores resultados mecânicos, não necessariamente apresentará melhores resultados no desempenho de preensão manual da prótese. Ressalta-se como uma das importantes contribuições do estudo o teste desenvolvido para avaliar, sem a participação do usuário, o desempenho da prótese na preensão manual de objetos, o qual permite a padronização dos procedimentos.

REFERÊNCIAS

ARIZI, I. V. F.; SALES, W. B.; TOMAZ, R. R... **Avaliação da destreza, coordenação motora e impacto na qualidade de vida em paciente utilizando tecnologia assistiva: um estudo de caso.** Research, Society and Development, v. 9, n. 6, e104963470, 2020 (CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i6.3470>

ASTM D638-14, **Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, Disponível em: <www.astm.org>. Acesso em: 01 jan. 2021

ASTM D790-17, **Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, Disponível em: <www.astm.org>. Acesso em: 01 jan. 2021

AZEVEDO, P. M. de; GIBERTONI, D. **A IMPORTÂNCIA DO DESIGN CENTRADO NO USUÁRIO EM METODOLOGIAS AGEIS COMO REQUISITO DE USABILIDADE.** Revista Interface Tecnológica, [S. l.], v. 17, n. 2, p. 293-305, 2020. DOI: 10.31510/inf.v17i2.986. Disponível em: <<https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/986>>. Acesso em: 20 jun. 2021.

BARRAZA, J. A.; RAMÍREZ-GARCÍA, A.; MUNOZ-GUERRERO, R. 2010. **A virtual upper limb prosthesis as a training system.** IEEE Internet Computing - INTERNET. 210-215. 10.1109/ICEEE.2010.5608586.

BELLINI, A., GÜÇERI, S., **Mechanical characterization of parts fabricated using fused deposition modeling**, Rapid Prototyping Journal, v.9, n.4, pp. 252-264, 2003.

BISPO, R.; BRANCO, V. **Designing out stigma - The role of objects in the construction of disabled people's identity.** Conferência Dare to Desire: 6th International Design & Emotion Conference, p. 1–5, 2008.

BOCCOLINI, F. Reabilitação - Amputados, Amputações e Próteses. 2 ed. São Paulo: Robe, 2000.

BRASIL. CORDE. **Comitê de Ajudas Técnicas.** Ata 7. p. 7, 2007.

BREAKEY, J.W.. **Body image: The lower-limb amputee.** J. Prosthet Orthot 1997. 9: 58-66.

CARLOS, 2015. 23 (3):611-24. Disponível em <<http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/0104-4931.ctoAR0544>> . Acesso em: 15 jan. 2021.

CHACÓN, J. M.; CAMINERO, M.A.; GARCÍA-PLAZA, E.; NÚÑEZ, P.J.. **Additive manufacturing of PLA structures using fused deposition modelling: Effect of process parameters on mechanical properties and their optimal selection**, Materials & Design, Volume 124, 2017, Pages 143-157, ISSN 0264-1275, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.03.065>.

CHO, E. E.; HEIN, H. H.; LYNN, Z.; HLA, S. J.; TRAN, T. **Investigation on Influence of Infill Pattern and Layer Thickness on Mechanical Strength of PLA Material in 3D Printing Technology**. Journal of Engineering and Science Research, September, 27–37. 2019.

Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde (CIF): classificação detalhada com definições: todas as categorias com as suas definições, inclusões e exclusões. Genebra: Organização Mundial da Saúde (OMS); Lisboa: Direcção-Geral da Saúde. p. 222, 2003.

COLOMBO, G.; FACOETTI, G.; RIZZI, C. (2013). **A digital patient for computer-aided prosthesis design**. *Interface focus*, 3(2), 20120082. <https://doi.org/10.1098/rsfs.2012.0082>

COSTA, C.R.; FERREIRA, F.M.R.M.; BORTOLUS, M.V.; CARVALHO, M.G.R.; **Dispositivo de Tecnologia Assistiva: fatores relacionados ao abandono**. Cas. Ter. Ocup. UFSCAR. São Carlos, 2015. 23 (3):611-24. Disponível em <<http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/0104-4931.ctoAR0544>> . Acesso em: 15 jan. 2021.

COSTA, M.A.G... **Designing us: Idealização de uma prótese multiarticulada mio elétrica**. Dissertação de mestrado. Universidade de Lisboa. 119p. 2019.

COTTON, L.; HAM, R. (1991). **Limb Amputation: From aetiology to rehabilitation**. Springer US, ISBN 978-1-4899-3152-8.

COUTINHO, R.R. T. P. **Avaliação de Parâmetros de Processo nas Propriedades de Peças de PBAT/PLA Fabricadas por Impressão 3D** / Rafaella Rabello Teixeira Perdone Coutinho – Rio de Janeiro: UFRJ / ESCOLA POLITÉCNICA, 2016.

DAVIDSON, J. **A survey of the satisfaction of upper limb amputees with their prostheses, their lifestyles, and their abilities**. J Hand Ther. 2002 Jan-Mar;15(1):62-70. doi: 10.1053/hanthe.2002.v15.01562. PMID: 11866354.

DATTA, D.; SELVARAJAH, K.; DAVEY, N. **Functional outcome of patients with proximal upper limb deficiency—Acquired and congenital**. Clin Rehabil. 2004;18(2):172–77. [PMID: 15053126] DOI:10.1191/0269215504cr716oa

Diretrizes de Atenção à Pessoa Amputada, Ministério da Saúde, 2013. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes_atencao_pessoa_amputada.pdf>.

Donald Norman TED 2003 Three ways good design makes you happy. Disponível em: <https://www.ted.com/talks/don_norman_on_design_and_emotion?language=pt-br#t-622726>. Acesso em: 17 de abril de 2020.

FERREIRA L.; MEREGUI A.G.M.; MAINENTI, M.R.M.; VIGÁRIO, P.S.; NEVES, A.N. **Brazilian Portuguese Version of the Amputee Body Image Scale: Cultural Adaptation and a Psychometric Analysis**. Perceptual and Motor Skills. 2018;125(3):507-524. doi:10.1177/0031512518767755

FIGLIOLIA, A. C. "**Design de prótese e a sua influência no usuário**" Amanda Coelho Figliolia. 2018

FIGLIOLIA, A., MEDOLA F., SANDNES, F., RODRIGUES A.C.T., PASCHOARELLI, L.C. (2020). **Avoiding Product Abandonment Through User Centered Design: A Case Study Involving the Development of a 3D Printed Customized Upper Limb Prosthesis**. In: Di Nicolantonio M., Rossi E., Alexander T. (eds) *Advances in Additive Manufacturing, Modeling Systems and 3D Prototyping*. AHFE 2019. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 975. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20216-3_27

GALLAGHER, P.; HORGAN, O.; FRANCHIGNONI, F.; GIORDANO, A.; MACLACHLAN, M.. **Body image in people with lower-limb amputation: a Rasch analysis of the Amputee Body Image Scale**. *Am J Phys Med Rehabil*. 2007 Mar;86(3):205-15. doi: 10.1097/PHM.0b013e3180321439. PMID: 17314705.

GIBSON, I. *Advanced manufacturing technology for medical applications: Reverse Engineering, Software Conversion and Rapid Prototyping*. 1. Ed. John Wiley & Sons. 2005.

GOZAYDINOGLU, S.; HOSBAY, Z.; DURMAZ, H. **Body image perception, compliance with a prosthesis and cognitive performance in transfemoral amputees**. *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2019 May;53(3):221-225. doi: 10.1016/j.aott.2019.03.014. Epub 2019 Mar 29. PMID: 30967301; PMCID: PMC6599412.

GUIMARÃES, C.M. (2008). **Desempenho motor do membro superior parético pós-treino de relaxamento do membro superior não-parético com biofeedback eletromiográfico**. Dissertação de Mestrado em Ciências da Saúde. Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 89p.

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. , p. 22 3a edição. São Paulo: Blucher, 2016.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Luiza Maria Borges Oliveira, Secretaria de Direitos Humanos da Presidência da República (SDH/PR), Secretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência (SNPD), Coordenação-Geral do Sistema de Informações sobre a Pessoa com Deficiência. **Cartilha do Censo 2010 – Pessoas com Deficiência**.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Censo Demográfico 2010**. Características Gerais da População, Religião e Pessoas com Deficiência: Publicação Completa. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. 2715 p.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **NOTA TÉCNICA 01/2018**. Censo Demográfico 2010. Releitura dos dados de pessoas com deficiência no Censo Demográfico 2010 à luz das recomendações do Grupo de Washington. 2018. Disponível em: <https://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/metodologia/notas_tecnicas/nota_tecnica_2018_01_censo2010.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2021.

LAMBRECHT, J. M.; PULLIAM, C. L.; & KIRSCH, R. F. (2011). **Virtual reality environment for simulating tasks with a myoelectric prosthesis: an assessment and training tool.** Journal of prosthetics and orthotics: JPO, 23(2), 89–94. <https://doi.org/10.1097/JPO.0b013e318217a30c>

HUYNH, L.P.; NGUYEN, H.A.; NGUYEN, H.Q.; PHAN, L.K.; THANH, T.T.. **Effect of Process Parameters on Mechanical Strength of Fabricated Parts using the Fused Deposition Modelling Method.** Journal of the Korean Society for Precision Engineering. 36. 705-712. 10.7736/KSPE.2019.36.8.705. 2019.

LETCHER, T.; WAYTASHEK, M. **Material Property Testing of 3D-Printed Specimen in PLA on an Entry-Level 3D Printer.** (2014). Proceedings of the ASME 2014 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. Volume 2A: Advanced Manufacturing. Montreal, Quebec, Canada. <https://doi.org/10.1115/IMECE2014-39379>

LOBACH, B. **Design Industrial - bases para a configuração dos produtos industriais.** São Paulo: Edgard Blücher, 2001. 206p.

LOVO, J. F. P.; FORTULAN, C. A. **Estudo de Propriedades Mecânicas e Anisotropia em Peças Fabricadas por Manufatura Aditiva Tipo FDM 1º SiPGEM – 1º Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.** 12 e 13 de setembro de 2016, São Carlos - SP.

LOWDERMILK, T. **User-centered design: a developer's guide to building user-friendly applications.** O'Reilly Media. 2013.

MATHIOWETZ, V.; VOLLAND, G.; KASHMAN, N.; WEBER, K.; **Adult norms for the Box and Block Test of manual dexterity.** Am J Occup Ther. 1985 Jun;39(6):386-91. doi: 10.5014/ajot.39.6.386. PMID: 3160243.

MARTINEZ, A. C. P.; SOUZA, D. L.; SANTOS, D. M.; PEDROTI, L. G.; CARLO, J. C.; MARTINS, M. A. D. **Avaliação do comportamento mecânico dos polímeros ABS e PLA em impressão 3D visando simulação de desempenho estrutural.** Gestão e Tecnologia de Projetos, São Carlos, v.14, n.1, p.125-141, set.2019. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v14i1.148289>

MATOS, D.R.; NAVES, J.F.; ARAUJO, T.C.C.F.. Adaptação transcultural da Trinity Amputation and Prosthesis Experience Scales - Revised (TAPES-R): avaliação dos processos psicossociais envolvidos no ajuste à amputação e à prótese. **Acta Fisiatr.** 2018;25(3):124 - 130.

MAY, J.B.. **Amputations and prosthetics: a case study approach.** F.A. Davis, ISBN 9780803608399. 2002

MCFAARLAND, L.V., WINKLER, S.L.H., HEINEMANN, A.W., JONES, M., ESQUENAZI, A.: **Unilateral upper-limb loss: satisfaction and prosthetic-device use in veterans and servicemembers from Vietnam and OIF/OEF conflicts.** J. Rehabil. Res. Dev. 47, 299–316, 2010.

MENDES, M. F. et al. **Teste de destreza manual da caixa e blocos em indivíduos normais e em pacientes com esclerose múltipla**. Arquivos de Neuro-Psiquiatria [online]. 2001, v. 59, n. 4 [Acessado 24 de Novembro de 2020], pp. 889-894. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0004-282X2001000600010>>. Epub 28 Nov 2001. ISSN 1678-4227. <https://doi.org/10.1590/S0004-282X2001000600010>.

MOHAMED, O. A. et al., **Effect of Process Parameters on Dynamic Mechanical Performance of FDM PC/ABS Printed Parts Through Design of Experiment**, Journal of Materials Engineering and Performance, v. 25, n. 7, p. 2922-2935, 2016.

NORMAN, D.; DRAPER, S. **User Centered System Design**. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1986.

PAGNAN, A. S.; SIMPLÍCIO, G. C.; SANTOS, V.C.; REZENDE, E. J. C.. **Design centrado no usuário e seus princípios éticos norteadores no ensino do design**. Estudos em Design| Revista (online). Rio de Janeiro: v. 27 | n. 1 [2019], p. 131 –17| ISSN 1983-196X

PASCHOARELLI, L. C; SILVA, J. C. P. **Design Ergonômico: uma revisão dos seus aspectos metodológicos**. Conexão – Comunicação e Cultura, UCS, Caxias do Sul, v. 5, n. 10, jul./dez. 2006

PEREIRA, H. G.; RODRIGUES Jr, L. F.; VOLKMER, T. M.; PUPIM, V. M.; LUZ, F. F. **Comportamento mecânico do poli (ácido láctico) com diferentes pigmentações para a impressão 3D de componentes para aplicação em próteses e órteses**. 22º CBECiMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. 2016. Natal, RN, Brasil.

PHILLIPS, B.; ZHAO, H. **Predictors of assistive technology abandonment**. Assistive Technology: The Official Journal of RESNA, Nova Iorque, v. 5, n. 1, p. 36-45, 1993. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/10400435.1993.10132205>. PMID:10171664>. Acesso em: 12 ago. 2020.

PORSANI, R. N. **“AVALIAÇÃO DO DESIGN NA EXPERIÊNCIA EMOCIONAL DO USUÁRIO POR MEIO DA PRODUÇÃO DE CARENAGENS CUSTOMIZÁVEIS PARA PRÓTESES TRANSTIBIAIS”** / Rodolfo Nucci Porsani, 2020, 154 p.

RIEMER-REISS, M. L.; WACKER, R. R. **Factors associated with assistive technology discontinuance among individuals with disabilities**. Journal of Rehabilitation, Washington, v. 66, n. 3, p. 44-50, 2000.

RICHARD VAN AS. **Robohand**: Creation and provision of mechanical devices to replace lost digits. Indiegogo. Disponível em:<<https://www.indiegogo.com/projects/robohand#/>>. Acesso em: 23 de agosto de 2020.

SANTANA, L.; ALVES, J. L.; SABINO NETTO, A. C.; MERLINI, C.. **Estudo comparativo entre PETG e PLA para Impressão 3D através de caracterização térmica, química e mecânica**. Revista Matéria, v.23, n.4, 2018.

SILVA, B.B. da. “**O co-design na produção de uma prótese transradial mioelétrica de baixo custo desenvolvida por meio de prototipagem rápida**”. Bruno Borges da Silva. 2020. 91 p.

SILVA, J. C. P. et. al. Design Ergonômico – Estudos e Aplicações. Bauru: FAAC. 2010

SILVA, M. G. C.. **CAUSAS DE ABANDONO DE DISPOSITIVOS DE TECNOLOGIA ASSISTIVA**. Mádía Gisella Cabral Silva. 2016. Disponível em: < https://bdm.unb.br/bitstream/10483/15525/6/2016_MadiaGisellaCabralSilva_tcc.pdf > . Acesso em: 18 ago. 2020

Standards for prosthetics and orthotics. Part 1: Standards. World Health Organization. 2017. 84p.

SUGAWARA, A.T.; RAMOS, V.D.; ALFIERI, F.M.; BATTISTELLA, L.R.; **Abandonment of assistive products: assessing abandonment levels and factors that impact on it**. Disabil Rehabil Assist Technol. 2018 Oct;13(7):716-723. doi:10.1080/17483107.2018.1425748. Epub 2018 Jan 15. PMID: 29334475. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29334475/>>. Acesso em: 20 jan. 2021.

RENGANATHAN, S.; Saritha D. **Effect of fill pattern and printing speed on friction characteristics of FDM printed polylactic acid polymer**, Advances in Materials and Processing Technologies, 2021 DOI: 10.1080/2374068X.2021.1948707

TAYLOR, A. J.; ROBERTS, P. H.; HALL, M. J. D. **Understanding Person Product Relationships - A Design Perspective**. In: GREEN, W. S.; JORDAN, P. W. *Human Factors in Product Design: Current Practice and Future Trends*, 1.ed. Londres: Taylor&Francis, 1999. Cap.22, p.218-228.

TEAM UNLIMBATED. **The UnLimbited Arm v2.1 - Alfie Edition**. Thingiverse. Disponível em: < <https://www.thingiverse.com/thing:1672381> >. Acesso em: 17 set. 2020.

TORRADO, A. R., ROBERSON, D. A., **Failure Analysis and Anisotropy Evaluation of 3DPrinted Tensile Test Specimens of Different Geometries and Print Raster Patterns**, Journal of Failure Analysis and Prevention, v. 16, n. 1, p. 154-164, 2016.

VOLPATO, N. **Prototipagem Rápida: tecnologias e aplicações**. São Paulo: Editora Blücher, 2007.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for Training Personnel in Developing Countries for Prosthetics and Orthotics Service**. World Health Organization, 2004.

APÊNDICES

APÊNDICE A. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - Questionário Online



TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Gostaríamos de convidar você a participar como voluntário (a) da pesquisa "**Experiência de uso, aspectos estéticos e emocionais relacionados ao uso de próteses e à amputação**". O motivo que nos leva a realizar esta pesquisa é buscar analisar e compreender melhor os efeitos psicológicos e emocionais devido à amputação e ao uso da prótese, a influência da amputação e uso da prótese na execução de atividades diárias, assim como a experiência com o uso de próteses de membros superiores e/ou inferiores. Nesta pesquisa pretendemos investigar as relações entre o design da prótese e experiência do usuário na utilização da prótese. Além de analisar os efeitos psicológicos e emocionais, como a percepção de autoestima do participante, devido à amputação e a sua influência na rotina diária do participante.

Caso você concorde em participar, vamos fazer a seguinte atividade com você: aplicação de questionários online com perguntas referentes às percepções do usuário sobre suas experiências com a amputação e o uso da prótese. Caso seja preferência do participante o questionário poderá ser respondido através de entrevista por vídeo chamada ou ligação telefônica. **Nenhuma atividade será invasiva, porém esta pesquisa tem alguns riscos, que são: possíveis constrangimentos emocionais e desconforto ao responder o questionário. Para minimizar estes riscos, é bom saber que os questionários utilizados são instrumentos já validados cientificamente e usados na literatura. Caso ocorra algum constrangimento, você poderá pedir esclarecimentos ou auxílio aos pesquisadores durante ou após o estudo, além de você ter o direito de se recusar a participar ou retirar o seu consentimento a qualquer momento, sem qualquer tipo de prejuízo.** A pesquisa pode ajudar contribuindo com conhecimentos acerca dos efeitos psicológicos e emocionais devido à amputação e ao uso da prótese, e da experiência com o uso de próteses de membros superiores e/ou inferiores.

Todas as atividades da pesquisa serão realizadas respeitando completamente os protocolos sanitários relacionados à Pandemia de COVID-19; do Comitê Covid-UNESP e do Governo do Estado de São Paulo.

Para participar deste estudo você não vai ter nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Apesar disso, se você tiver algum dano por causa das atividades que fizemos com você nesta pesquisa, você tem direito a indenização. Você terá todas as informações que quiser sobre esta pesquisa e estará livre para participar ou recusar-se a participar. Mesmo que você queira participar agora, você pode voltar atrás ou parar de participar a qualquer momento. A sua participação é voluntária e o fato de não querer participar não vai trazer qualquer penalidade ou mudança na forma em que você é atendido (a). O pesquisador não vai divulgar seu nome. Os resultados da pesquisa estarão à sua disposição quando finalizada. Seu nome ou o material que indique sua participação não será liberado sem a sua permissão. Você não será identificado (a) em nenhuma publicação que possa resultar.

Este termo de consentimento encontra-se impresso em duas vias originais, sendo que uma será arquivada pelo pesquisador responsável e a outra será fornecida a você. Os dados coletados na pesquisa ficarão arquivados com o pesquisador responsável por um período de 5 (cinco) anos. Decorrido este tempo, o pesquisador avaliará os documentos para a sua destinação final, de acordo com a legislação vigente. Os pesquisadores tratarão a sua identidade com padrões profissionais de sigilo, atendendo as legislações brasileiras (Resoluções Nº 510/16 e Nº 466/12 do Conselho Nacional de Saúde), utilizando as informações somente para os fins acadêmicos e científicos.

Mediante ao disposto no Artigo 9º da Resolução 510/16 CNS no que diz: "**São direitos dos participantes**": "V – decidir se sua identidade será divulgada e quais são, dentre as informações que forneceu, as que podem ser tratadas de forma pública;"

Declaro que concordo em participar da pesquisa, que me foi dada a oportunidade de ler e esclarecer as minhas dúvidas, que as informações cedidas por mim durante as atividades poderão ser divulgadas de forma anônima, preservando a minha identidade, para fins acadêmicos e científicos e que recebi uma via original deste termo de consentimento livre e esclarecido.

Em caso de dúvidas, com respeito aos aspectos éticos desta pesquisa, você poderá consultar:
CEP - Comitê de Ética em Pesquisa da FAAC – UNESP Bauru
Fone: (14) 3103-4825/ E-mail: sta.faac@unesp.br



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação - Câmpus de Bauru

(Cidade, data) _____, _____ de _____ de 2021.

Assinatura do participante

Nome do participante:

RG: _____

Amanda Coelho Figliolia

RG: _____

Prof. Dr. Fausto Orsi Medola

RG: _____

Pesquisadora
Amanda Coelho Figliolia
amanda.figliolia@unesp.br
Telefone: (14) 98186-6411

Orientador
Prof. Dr. Fausto Orsi Medola
fausto.medola@faac.unesp.br
Telefones: (14) 99777-2590

Laboratório de Ergonomia e Interfaces
PPGDesign – FAAC – UNESP
Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, s/n
Bauru – SP - CEP.: 17033-360
Telefone: (14) 3103 6143, (14) 3103 6000

Em caso de dúvidas, com respeito aos aspectos éticos desta pesquisa, você poderá consultar:
CFP - Comitê de Ética em Pesquisa da FAAC – UNESP Bauru
Fone: (14) 3103 4825/ E mail: eta.faac@unesp.br

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - Teste com usuário



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação - Câmpus de Bauru

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Gostaríamos de convidar você a participar como voluntário (a) da pesquisa "**Experiência de uso, aspectos estéticos e emocionais relacionados ao uso de próteses e à amputação**". O motivo que nos leva a realizar esta pesquisa é buscar analisar e compreender melhor os efeitos tanto físicos quanto psicológicos e emocionais devido à amputação e ao uso da prótese, buscando também compreender e melhorar o design e desempenho das próteses. Nesta pesquisa pretendemos investigar a influência do design da prótese no desempenho de execução de atividades cotidianas vivenciadas diariamente pelos usuários, bem como estudar as relações entre o design da prótese e os aspectos de usabilidade percebidos pelo usuário na utilização do equipamento e a sua satisfação para com o produto. Além de analisar os efeitos psicológicos e emocionais, como a percepção de autoestima e autoimagem, devido à amputação e o seu impacto na rotina diária do participante.

Caso você concorde em participar, vamos fazer as seguintes atividades com você: aplicação de alguns testes utilizando as diferentes próteses desenvolvidas para executar atividades simples cotidianas, como segurar e levantar diferentes embalagens, copos e utensílios, além de responder um questionário com perguntas referentes às suas percepções e experiências com a amputação e o uso da prótese (durante o teste e de experiência anterior, caso você já tenha utilizado alguma prótese). Esta pesquisa tem alguns riscos, que são: um certo desconforto ao ajustar as próteses e manusear os objetos e **possíveis constrangimentos emocionais e desconforto ao responder o questionário. Para minimizar estes riscos, é bom saber que as próteses foram desenvolvidas com materiais confortáveis, nas regiões de contato entre a prótese e a pele do usuário, e os pesquisadores auxiliarão no ajuste das próteses e os objetos utilizados no teste são adequados, inclusive foram previamente testados no laboratório através de um teste de bancada. E os questionários utilizados são instrumentos já validados cientificamente e usados na literatura. Caso ocorra algum constrangimento, você poderá pedir esclarecimento ou auxílio aos pesquisadores durante ou após o estudo, além de você ter o direito de se recusar a participar ou retirar o seu consentimento a qualquer momento, sem qualquer tipo de prejuízo.** A pesquisa pode ajudar contribuindo com conhecimentos acerca dos efeitos psicológicos e emocionais devido à amputação e ao uso da prótese e do desempenho e experiência com o uso de próteses, além de identificar demandas para o desenvolvimento e aprimoramento no design de próteses de membros superiores e/ou inferiores.

Todas as atividades da pesquisa serão realizadas respeitando completamente os protocolos sanitários relacionados à Pandemia de COVID-19; do Comitê Covid-UNESP e do Governo do Estado de São Paulo.

Para participar deste estudo você não vai ter nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Apesar disso, se você tiver algum dano por causa das atividades que fizermos com você nesta pesquisa, você tem direito a indenização. Você terá todas as informações que quiser sobre esta pesquisa e estará livre para participar ou recusar-se a participar. Mesmo que você queira participar agora, você pode voltar atrás ou parar de participar a qualquer momento. A sua participação é voluntária e o fato de não querer participar não vai trazer qualquer penalidade ou mudança na forma em que você é atendido (a). O pesquisador não vai divulgar seu nome. Os resultados da pesquisa estarão à sua disposição quando finalizada. Seu nome ou o material que indique sua participação não será liberado sem a sua permissão.

Você não será identificado (a) em nenhuma publicação que possa resultar.

Este termo de consentimento encontra-se impresso em duas vias originais, sendo que uma será arquivada pelo pesquisador responsável e a outra será fornecida a você. Os dados coletados na pesquisa ficarão arquivados com o pesquisador responsável por um período de 5 (cinco) anos. Decorrido este tempo, o pesquisador avaliará os documentos para a sua destinação final, de acordo com a legislação vigente. Os pesquisadores tratarão a sua identidade com padrões profissionais de sigilo, atendendo as legislações brasileiras (Resoluções Nº 510/16 e Nº 466/12 do Conselho Nacional de Saúde), utilizando as informações somente para os fins acadêmicos e científicos.

Mediante ao disposto no Artigo 9º da Resolução 510/16 CNS no que diz: "**São direitos dos participantes**": "V – decidir se sua identidade será divulgada e quais são, dentre as informações que forneceu, as que podem ser tratadas de forma pública";

Em caso de dúvidas, com respeito aos aspectos éticos desta pesquisa, você poderá consultar:

CEP - Comitê de Ética em Pesquisa da FAAC – UNESP Bauru

Fone: (14) 3103-4825/ E-mail: sta.faac@unesp.br



Declaro que concordo em participar da pesquisa, que me foi dada a oportunidade de ler e esclarecer as minhas dúvidas, que as informações cedidas por mim durante as atividades poderão ser divulgadas de forma anônima, preservando a minha identidade, para fins acadêmicos e científicos e que recebi uma via original deste termo de consentimento livre e esclarecido.

(Cidade, data) _____, _____ de _____ de 2021.

Assinatura do participante

Amanda Coelho Figliolia

Nome do participante:

RG: _____

RG: _____

Prof. Dr. Fausto Orsi Medola

RG: _____

Pesquisadora
Amanda Coelho Figliolia
amanda.figliolia@unesp.br
Telefone: (14) 98186-6411

Orientador
Prof. Dr. Fausto Orsi Medola
fausto.medola@faac.unesp.br
Telefones: (14) 99777-2590

Laboratório de Ergonomia e Interfaces
PPGDesign – FAAC – UNESP
Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, s/n
Bauri – SP - CEP.: 17033-360
Telefone: (14) 3103 6143, (14) 3103 6000

Em caso de dúvidas, com respeito aos aspectos éticos desta pesquisa, você poderá consultar:
CFP - Comitê de Ética em Pesquisa da FAAC – UNESP Bauri
Fone: (14) 3103-4025/ E-mail: eta.faac@unesp.br

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - Responsável - Teste com usuário



TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO/RESPONSÁVEIS

O menor _____, sob sua responsabilidade, está sendo convidado (a) como voluntário (a) a participar da pesquisa **"Experiência de uso, aspectos estéticos e emocionais relacionados ao uso de próteses e à amputação"**. O motivo que nos leva a realizar esta pesquisa é buscar analisar e compreender melhor os efeitos tanto físicos quanto psicológicos e emocionais devido à amputação e ao uso da prótese, buscando também compreender e melhorar o design e desempenho das próteses. Nesta pesquisa pretendemos investigar a influência do design da prótese no desempenho de execução de atividades cotidianas vivenciadas diariamente pelos usuários, bem como estudar as relações entre o design da prótese e os aspectos de usabilidade percebidos pelo usuário na utilização do equipamento e a sua satisfação para com o produto. Além de analisar os efeitos psicológicos e emocionais, como a percepção de autoestima e autoimagem, devido à amputação e o seu impacto na rotina diária do participante.

Caso você concorde na participação do menor vamos fazer as seguintes atividades com ele aplicação de alguns testes utilizando as diferentes próteses desenvolvidas para executar atividades simples cotidianas, como segurar e levantar diferentes embalagens, copos e utensílios, além de responder um questionário com perguntas referentes às percepções do usuário e experiências com a amputação e o uso da prótese (durante o teste e de experiência anterior, caso o menor já tenha utilizado alguma prótese). Esta pesquisa tem alguns riscos, que são: um certo desconforto ao ajustar as próteses e manusear os objetos e **possíveis constrangimentos emocionais e desconforto ao responder o questionário. Para minimizar estes riscos, é bom saber que, as próteses foram desenvolvidas com materiais confortáveis, nas regiões de contato entre a prótese e a pele do usuário, e os pesquisadores auxiliarão no ajuste das próteses e os objetos utilizados no teste são adequados, inclusive foram previamente testados no laboratório através de um teste de bancada. E os questionários utilizados são instrumentos já validados cientificamente e usados na literatura. Caso ocorra algum constrangimento, vocês poderão pedir esclarecimento ou auxílio aos pesquisadores durante ou após o estudo, além do menor ter o direito de se recusar a participar a qualquer momento e você poderá retirar o seu consentimento ou interromper a participação do menor a qualquer momento, sem qualquer tipo de prejuízo.** A pesquisa pode ajudar contribuindo com conhecimentos acerca dos efeitos psicológicos e emocionais devido à amputação e ao uso da prótese e do desempenho e experiência com o uso de próteses, além de identificar demandas para o desenvolvimento e aprimoramento no design de próteses de membros superiores e/ou inferiores.

Todas as atividades da pesquisa serão realizadas respeitando completamente os protocolos sanitários relacionados à Pandemia de COVID-19; do Comitê Covid-UNESP e do Governo do Estado de São Paulo.

Para participar desta pesquisa, o menor sob sua responsabilidade e você não irão ter nenhum custo, nem receberão qualquer vantagem financeira. Apesar disso, se o menor tiver algum dano por causa das atividades que fizermos com ele nesta pesquisa, ele tem direito a indenização.

Ele terá todas as informações que quiser sobre esta pesquisa e estará livre para participar ou recusar-se a participar. Você como responsável pelo menor poderá retirar seu consentimento ou interromper a participação dele a qualquer momento. Mesmo que você queira deixá-lo participar agora, você pode voltar atrás e parar a participação a qualquer momento. A participação dele é voluntária e o fato em não deixá-lo participar não vai trazer qualquer penalidade ou mudança na forma em que ele é atendido. Os resultados da pesquisa estarão à sua disposição quando finalizada. O nome ou o material que indique a participação do menor não será liberado sem a sua permissão. O menor não será identificado em nenhuma publicação.

Este termo de consentimento encontra-se impresso em duas vias originais, sendo que uma será arquivada pelo pesquisador responsável e a outra será fornecida a você. Os dados coletados na pesquisa ficarão arquivados com o pesquisador responsável por um período de 5 (cinco) anos. Decorrido este tempo, o pesquisador avaliará os documentos com para a sua destinação final, de acordo com a legislação vigente. Os pesquisadores tratarão a sua identidade com padrões profissionais de sigilo, atendendo a legislação brasileira (Resoluções N° 510/16 e N° 466/12 do Conselho Nacional de Saúde), utilizando as informações somente para os fins acadêmicos e científicos.

Mediante ao disposto no Artigo 9º da Resolução 510/16 CNS no que diz: "São direitos dos participantes": "V – decidir se sua identidade será divulgada e quais são, dentre as informações que forneceu, as que podem ser tratadas de forma pública,".

Declaro que concordo em deixá-lo participar da pesquisa e que me foi dada a oportunidade de ler e esclarecer todas as minhas dúvidas minhas e concordo que as informações cedidas por ele durante as atividades poderão ser divulgadas de forma

Em caso de dúvidas, com respeito aos aspectos éticos desta pesquisa, você poderá consultar:

CEP - Comitê de Ética em Pesquisa da FAAC – UNESP Bauru
Fone: (14) 3103-4825/ E-mail: sta.faac@unesp.br



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"

Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação - Câmpus de Bauri

anônima, preservando a identidade do menor, para fins acadêmicos e científicos e que eu recebi uma via original deste termo de consentimento livre e esclarecido.

(Cidade, data) _____ de _____ de 2021.

Assinatura do (a) responsável pelo Menor

Amanda Coelho Figliolia

RG: _____

Nome do (a) responsável pelo Menor

RG: _____

Prof. Dr. Fausto Orsi Medola

RG: _____

Pesquisadora

Amanda Coelho Figliolia
amanda.figliolia@unesp.br
Telefone: (14) 98186-6411

Orientador

Prof. Dr. Fausto Orsi Medola
fausto.medola@faac.unesp.br
Telefones: (14) 99777-2590

Laboratório de Ergonomia e Interfaces

PPGDesign – FAAC – UNESP
Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, s/n
Bauri – SP - CEP: 17033-360
Telefone: (14) 3103 6143, (14) 3103 6000

Em caso de dúvidas, com respeito aos aspectos éticos desta pesquisa, você poderá consultar:

CEP - Comitê de Ética em Pesquisa da FAAC – UNESP Bauri
Fone: (14) 3103-4825/ E-mail: sta.faac@unesp.br

APÊNDICE B. Protocolo de Identificação



Protocolo de identificação

Algumas questões foram retiradas do questionário de identificação presente no questionário TAPES-R

Data: _____

1. Como você identifica o seu gênero: () Masculino () Feminino () Outro
2. Qual seu grau de escolaridade?
 () Ensino fundamental completo () Ensino médio completo () Ensino superior completo
 () Ensino superior incompleto () Pós-graduação
3. Qual o seu status de relacionamento?
 () solteiro e romanticamente não envolvido () solteiro e romanticamente envolvido
 () namorando () casado () divorciado () viúvo
4. Há quanto tempo você tem sua amputação? _____ anos _____ meses (data da 1ª cirurgia)
5. Há quanto tempo você usa prótese? _____ anos _____ meses
6. Há quanto tempo você tem a prótese atual _____ anos _____ meses
7. Qual o nível de amputação?

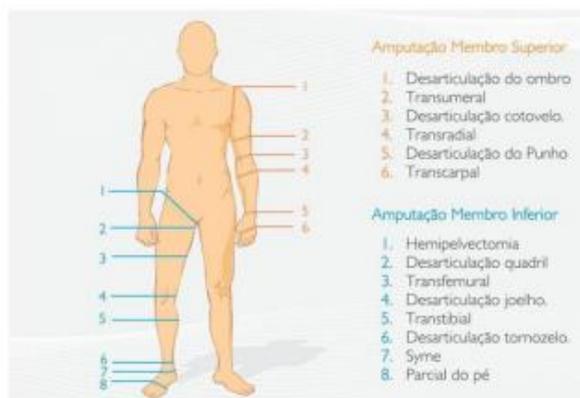
Membro superior:

- () Desarticulação de ombro
- () Transumeral
- () Desarticulação de cotovelo
- () Transradial (Antebraço)
- () Desarticulação do punho
- () Transcarpal
- () Outra (por favor especifique)

Membro inferior:

- () Hemipelvectomia
- () Desarticulação do quadril
- () Transfemural (Acima do joelho)
- () Desarticulação do joelho (Através do joelho)
- () Transtibial (Abaixo do joelho)
- () Desarticulação do tornozelo
- () Syme
- () Parcial do pé
- () Outra (por favor especifique)

Níveis de amputação



Fonte: <http://tudolablog.blogspot.com.br/>



8. Qual foi a causa da sua amputação?

Doença vascular periférica

Diabetes

Câncer

Acidente/Trauma

Outro (por favor, especifique) _____

9. Você frequenta reabilitação?

Sim Não

Se SIM, há quanto tempo? _____ anos _____ meses e quantas vezes por semana? _____

Se NÃO, porquê?

10. Você usa sua prótese?

Sim Não

Nas questões 11 à 13 por favor assinale UM box correto em cada questão.

11. Com que frequência você usa sua prótese na semana?

1 dia por semana Todos os dias da semana

Alguns dias da semana Nenhum dia da semana

12. Considerando os dias de uso da prótese, qual a frequência de uso? Se você tiver mais de uma prótese, por favor responda a questão sobre seu uso 'diário' ou mais frequente da prótese.

1-3 horas 4-8 horas 9-11 horas 12-16 horas

13. Você diria que é capaz de colocar a sua prótese...

Sozinho sem qualquer dificuldade Sozinho, mas com dificuldade Sozinho, mas

com uma outra pessoa orientando Somente com a ajuda de outra pessoa

APÊNDICE C. Questionário sobre o desempenho da prótese durante o teste da caixa e bloco

Vale ressaltar que o presente questionário foi elaborado para aplicação sobre as próteses 1, 2 e 3.

**Questionário sobre o desempenho da prótese durante o teste da caixa e bloco.**

Em relação à **prótese 1**:

Por favor, circule o número (0-10) que melhor descreve o quão satisfeito você esteve com a prótese durante o teste?

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Nem um pouco Totalmente
satisfeito satisfeito

Por favor, circule o número (0-10) que melhor descreve o grau de conforto que você sentiu ao utilizar a prótese durante o teste?

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Nenhum Máximo
desconforto desconforto

APÊNDICE D. Tabela com as informações sobre os materiais e o peso*Tabela 5. Peso das próteses*

Peso (g) Material x Condição	Neutra	Com dedal de silicone	Emborrachado dedo e falange	Emborrachado dedo, falange e palma
ABS 3 camadas	239,0	243,5	241,0	248,0
ABS 5 camadas	294,5	299,0	296,5	303,0
PETG 5 camadas	346,0	350,5	348,0	354,5
PLA 3 camadas	297,0	301,5	299,5	305,5
PLA 5 camadas	358,5	363,0	361,0	367,0

Tabela 6. Especificações dos objetos cotidianos usados no teste de prensão manual

Objeto	Material	Tamanho	Peso (g)	Objeto	Tamanho	Peso (g)
Garrafa 1	PET	63 x 63 x 169 mm - 450 ml	462,5	Cilindro 1	∅ 20 X 150 mm	21,5
Garrafa 2	PET	∅70 x 212 mm - 600 ml	611,5	Cilindro 2	∅ 25 x 150 mm	28,5
Garrafa 3	PET	∅ 70 x 234 mm - 600 ml	611,05	Cilindro 3	∅ 32 x 150 mm	39,5
Garrafa 4	PET	∅ 60 x 228 mm - 500 ml	511,5	Cilindro 4	∅ 40 x 150 mm	31,5
Garrafa 5	PET	∅70 x 234 mm - 600 ml	611,5	Cilindro 5	∅50 x 150 mm	58,5
Garrafa 6	PET	∅ 60 x 233 mm - 510 ml	515,0	Cilindro 6	∅ 75 x 150 mm	91,0
Garrafa 7	PEAD	60 x 60 x 195 mm - 500 ml	525,5	Colher de madeira	∅ 15 – 11,2 x 35 mm	31,5
Garrafa 8	PET	50 x 50 x 160 mm - 300 ml	319,0	Pincel	∅ 16 - 10 x 278 mm	9,0
Garrafa 9	PET	80 x 70 x 240 mm - 1000 ml	1023,0	Caneta marcador	∅ 20 x 130 mm	18,0
Garrafa 10	PET	60 x 60 x 178 mm - 300 ml	523,5	Caneta esferográfica	∅ 7,4 x 150 mm	5,5
Esfera I	Isopor	∅ 30 mm	1,0	Cubo 3D	60 x 60 x 60	36,5

					mm	
Esfera II	Isopor	∅ 50 mm	1,5	Embalagem retangular	56 x 80 x 42 mm	14,5
Esfera III	Isopor	∅ 75 mm	5,5	Embalagem de leite	70 x 70 x 205 mm	1119,5
Prisma triangular P	PLA	20 x 20 x 150 mm	14,0	Lata de café	∅ 75 x 125 mm	509,5
Prisma triangular G	PLA	50 x 50 x 150 mm	39,0	Celular	70,5 x 147,5 x 7,5 mm	172,5
Prisma retangular P	PLA	20 x 20 x 150 mm	19,5	Copo	∅ boca 85 x ∅ base 58 x 105 mm - 300 ml	55,5
Prisma retangular G	PLA	50 x 50 x 150 mm	50,0			

APÊNDICE E. Tabelas com os resultados dos testes mecânicos*Tabela 7. Resultados da tensão de flexão.*

Tensão de flexão (MPa)	ABS	PETG	PLA ROSA	PLA BRANCO
P1	39,2	40,8	57,4	-----
DP	0,33	1,51	1,29	-----
P2	50,1	56,6	82,0	89,7
DP	0,65	0,82	1,02	3,49
VARIAÇÃO ENTRE P1 E P2	21,75 %	27,92 %	30,0 %	-----

Fonte: autora.

Tabela 8. Resultados da porcentagem de variação entre os diferentes materiais.

FLEXÃO	P1	P2
ABS - PETG	3,9 %	11,48 %
ABS - PLA ROSA	31,7 %	38,9 %
ABS - PLA BRANCO	-----	44,15 %
PETG - PLA ROSA	28,92 %	30,98 %
PETG - PLA BRANCO	-----	36,9 %
PLA ROSA - PLA BRANCO	-----	8,58 %

Fonte: autora.

Tabela 9. Resultados da tensão de tração.

Tensão de tração (MPa)	ABS	PETG	PLA ROSA	PLA BRANCO
P1	16,3	18,5	23,6	27,7
DP	0,12	0,46	0,15	0,11
P2	21,9	27,6	35,7	36,0
DP	0,23	0,36	0,08	0,26
VARIAÇÃO ENTRE P1 E P2	25,92 %	32,97 %	23,05 %	33,89 %

Fonte: autora.

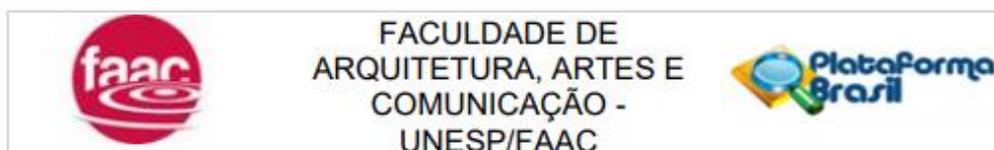
Tabela 10. Resultados da porcentagem de variação entre os diferentes materiais.

TRAÇÃO	P1	P2
ABS - PETG	11,89 %	20,65 %
ABS - PLA ROSA	30,93 %	38,65 %
ABS - PLA BRANCO	41,15 %	39,16 %
PETG - PLA ROSA	21,61 %	22,68 %
PETG - PLA BRANCO	33,21 %	23,33 %
PLA ROSA - PLA BRANCO	14,80 %	0,83 %

Fonte: autora.

ANEXOS

ANEXO A. Parecer Comitê de Ética



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: EXPERIÊNCIA DE USO, ASPECTOS ESTÉTICOS E EMOCIONAIS RELACIONADOS AO USO DE PRÓTESES E À AMPUTAÇÃO

Pesquisador: AMANDA COELHO FIGLIOLIA

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 45299321.2.0000.5663

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

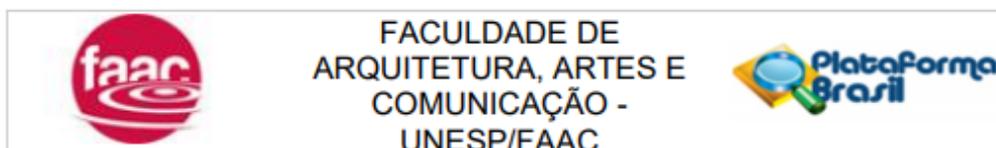
DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 4.803.663

Apresentação do Projeto:

As lesões e perdas dos membros tanto superiores quanto inferiores causam um impacto direto na atividade diária de um indivíduo e que muitas vezes são decorrentes de situações traumáticas, envolvendo inclusive acidentes. Esse impacto não se caracteriza por afetar apenas a execução de tarefas cotidianas, mas também na forma como esse indivíduo é visto perante à sociedade e perante a ele mesmo, em relação aos aspectos de autoimagem e autoestima. Tendo isso em vista, as próteses são dispositivos utilizados para a reabilitação desses membros e, assim como as demais tecnologias assistivas (TAs), necessitam da adaptação e aceitação do usuário, devendo ser personalizadas para melhorar a satisfação e aceitação pelo usuário. Uma forma de personalização e desenvolvimento de próteses que vem apresentando bons resultados de aceitação é o desenvolvimento por prototipagem rápida utilizando a impressão tridimensional (3D). O aumento das pesquisas em TA e o desenvolvimento das tecnologias de prototipagem rápida são fatores favoráveis aos estudos envolvendo próteses. Este projeto tem como objetivo avaliar e comparar as percepções práticas, estéticas e simbólicas de usuários de próteses, com relação a dispositivos fabricados por métodos e materiais utilizando técnicas de prototipagem rápida por impressão 3D. Além de investigar e avaliar os efeitos emocionais e influências na qualidade de vida e percepção de autoestima e autoimagem da pessoa em decorrência da amputação sofrida. Com as avaliações de usabilidade e estética das próteses

Endereço: Avenida Engenheiro Luiz Edmundo Carrijo Coube nº 14-01
Bairro: VARGEM LIMPA **CEP:** 17.033-360
UF: SP **Município:** BAURU
Telefone: (14)3103-4825 **E-mail:** sta.faac@unesp.br



Continuação do Parecer: 4.803.663

busca-se levantar dados para comparação e avaliação do desempenho das próteses fabricadas por métodos de impressão 3D, a fim de avaliar a viabilidade do uso dessas novas tecnologias no desenvolvimento de produtos mais agradáveis para os usuários. Além de analisar os aspectos psicológicos, emocionais e práticos do indivíduo decorrentes do uso da prótese e da experiência e impacto na rotina diária sofridos com a amputação. Tais análises serão realizadas com testes práticos com o usuário e por entrevistas e aplicação de questionários.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivos Gerais :

- 1- Investigar os efeitos da amputação na rotina diária, desempenho de atividades da vida diária e percepção de autoimagem, autoestima da pessoa amputada, usuária ou não de próteses, avaliando os aspectos simbólicos, práticos e os efeitos emocionais e psicológicos da pessoa;
- 2- Avaliar a experiência de uso das próteses customizadas fabricadas por técnicas atuais de impressão 3D, considerando suas funções práticas, estéticas e simbólicas.

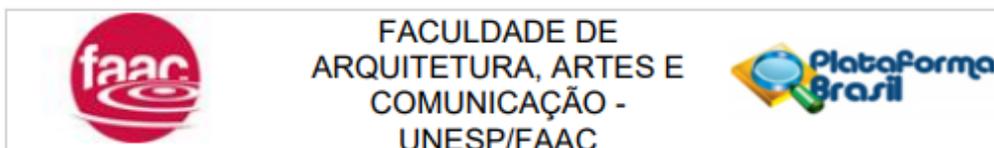
Objetivos Específicos:

1. Avaliar o impacto da amputação de membros superiores e inferiores no desempenho de execução de atividades da vida diária.
2. Avaliar a percepção de usuários de próteses sobre os aspectos práticos, simbólicos e estéticos de próteses personalizadas fabricadas pelos métodos de prototipagem rápida, impressão 3D;
3. Avaliar a percepção de autoestima e autoimagem de pessoas com amputação;
4. Avaliar a influência do design da prótese no desempenho de execução de atividades comuns da vida diária;
5. Avaliar, sob o ponto de vista do usuário, de que forma o design das próteses influencia o estigma relacionado ao uso destes produtos;
6. Avaliar de que forma o design das próteses influencia a percepção de auto-imagem e auto-estima dos usuários;
7. Avaliar a prevalência de abandono e não utilização de dispositivos de Tecnologia Assistiva;
8. Avaliar as possíveis contribuições das novas tecnologias de prototipagem rápida e diferentes materiais e parâmetros de impressão 3D no processo de produção de próteses;
9. Avaliar de que forma as novas tecnologias podem contribuir para o projeto de 6 próteses de forma mais personalizada, atendendo de forma ótima as necessidades e expectativas do usuário.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

De acordo com o pesquisador os Riscos são:

Endereço: Avenida Engenheiro Luiz Edmundo Carrijo Coube nº 14-01
Bairro: VARGEM LIMPA CEP: 17.033-360
UF: SP Município: BAURU
Telefone: (14)3103-4825 E-mail: sta.faac@unesp.br



Continuação do Parecer: 4.803.663

- Desconforto ao ajustar as próteses e manusear os objetos.
- Efeitos psicológicos e emocionais devido à amputação e ao uso da prótese e do desempenho e experiência com o uso de próteses,

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Neste estudo, no TCLE, o pesquisador afirma que " Esta pesquisa tem alguns riscos, que são: um certo desconforto ao ajustar as próteses e manusear os objetos. Mas, para diminuir a chance desses riscos acontecerem, as próteses foram desenvolvidas com materiais confortáveis, nas regiões de contato entre a prótese e a pele do usuário, e os pesquisadores auxiliarão no ajuste das próteses e os objetos utilizados no teste são adequados, inclusive foram previamente testados no laboratório através de um teste de bancada. A pesquisa pode ajudar contribuindo com conhecimentos acerca dos efeitos psicológicos e emocionais devido à amputação e ao uso da prótese e do desempenho e experiência com o uso de próteses, além de identificar demandas para o desenvolvimento e aprimoramento no design de próteses de membros superiores e/ou inferiores" porém em acordo com a Resolução 466/2012 os Riscos relacionados com a aplicação de questionários pode ocasionar também: a. Possibilidade de constrangimento ao responder o questionário;b. Desconforto;c. Medo;d. Vergonha e. Estresse;

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Termos de apresentação obrigatória está em total conformidade com a Resolução 466/2012.

Recomendações:

Solicitamos à Pesquisadora que durante a coleta de dados observe e respeite completamente os protocolos sanitários (municipal e Estadual) relacionados à Pandemia de COVID-19; do Comitê Covid-UNESP.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Nada há a acrescentar. Sem pendências.

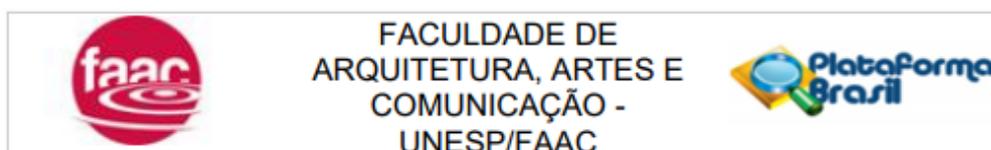
Considerações Finais a critério do CEP:

O Comitê de Ética em Pesquisa acata o parecer do relator.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1712693.pdf	10/05/2021 14:29:31		Aceito

Endereço: Avenida Engenheiro Luiz Edmundo Carrijo Coube nº 14-01
Bairro: VARGEM LIMPA **CEP:** 17.033-360
UF: SP **Município:** BAURU
Telefone: (14)3103-4825 **E-mail:** sta.faac@unesp.br



Continuação do Parecer: 4.803.663

Outros	CartaResposta.pdf	10/05/2021 14:23:03	AMANDA COELHO FIGLIOLIA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	Amanda_TALE_menores_alfabetizados_Corrigido.pdf	10/05/2021 14:19:37	AMANDA COELHO FIGLIOLIA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	Amanda_TCLE_UsuariosResponsaveis_Corrigido.pdf	10/05/2021 14:19:31	AMANDA COELHO FIGLIOLIA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	Amanda_TCLE_Final_Usuario_Corrigido.pdf	10/05/2021 14:19:22	AMANDA COELHO FIGLIOLIA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	Amanda_TCLE_Final_QuestOnline_Corrigido.pdf	10/05/2021 14:19:14	AMANDA COELHO FIGLIOLIA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Comite_de_Etica_Mestrado_Amanda_Corrigido.pdf	10/05/2021 14:18:29	AMANDA COELHO FIGLIOLIA	Aceito
Folha de Rosto	Amanda_Figliolia_Folha_de_rosto.pdf	16/03/2021 14:40:44	AMANDA COELHO FIGLIOLIA	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

BAURU, 24 de Junho de 2021

Assinado por:
Luís Carlos Paschoarelli
(Coordenador(a))

Endereço: Avenida Engenheiro Luiz Edmundo Carrijo Coube nº 14-01
Bairro: VARGEM LIMPA CEP: 17.033-360
UF: SP Município: BAURU
Telefone: (14)3103-4825 E-mail: sta.faac@unesp.br