



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA**

**Impressão 3D de próteses mamárias externas em material flexível: uma alternativa
para mulheres mastectomizadas**

Aluno: Blenda Del Vecchio Baron

Co-Orientador: MSc. Tainara dos Santos Bina

Orientador: Prof. Dr^a. Maria Elizete Kunkel

Trabalho apresentado ao Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de São Paulo como requisito parcial para obtenção do título de Graduação em Engenharia Biomédica.

São José dos Campos, SP.
2023



Trabalho apresentado ao Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de São Paulo como requisito parcial para obtenção do título de Graduação em Engenharia Biomédica.



FOLHA DE APROVAÇÃO

BLEND A DEL VECCHIO BARON

Impressão 3D de próteses mamárias externas em material flexível: uma alternativa para mulheres mastectomizadas

Trabalho apresentado ao Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de São Paulo como requisito parcial para obtenção do título de Graduação em Engenharia Biomédica.

São José dos Campos, 01 de julho de 2023.

Banca Avaliadora

Prof. Dr. Mateus Fernandes Reu Urban
(Presidente - Unifesp)

Prof. Dr. Fabio Gava Aoki
(Membro 1 - Unifesp)

Prof. Dr. Federico Aletti
(Membro 2 - Unifesp)

Elaborado por sistema de geração automática com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Del Vecchio Baron, Blenda

Impressão 3D de próteses mamárias externas em material flexível: uma alternativa para mulheres mastectomizadas/ Blenda Del Vecchio Baron
Orientador(a) Maria Elizete Kunkel; Coorientador(a) Tainara dos Santos Bina-
São José dos Campos, 2023.

8 p.

Trabalho de Conclusão de Curso-Engenharia Biomédica-Universidade Federal
de São Paulo-Instituto de Ciência e Tecnologia, 2023.

1. Próteses mamárias externas. 2. Impressão 3D. 3. Mastectomia. 4. Câncer de
mama. 5. Próteses de baixo peso. I. Kunkel, Maria Elizete, orientador(a). II. dos
Santos Bina, Tainara, coorientador(a). III. Título.

Impressão 3D de próteses mamárias externas em material flexível: uma alternativa para mulheres mastectomizadas

Blenda Del Vecchio Baron¹, Tainara dos Santos Bina², Maria Elizete Kunkel¹

¹ Instituto de Ciência e Tecnologia da Unifesp / Engenharia Biomédica

² Instituto de Ciência e Tecnologia da Unifesp / Inovação Tecnológica

Resumo — **Introdução:** O câncer de mama é um grave problema de saúde que afeta mulheres no mundo todo. Existem opções terapêuticas disponíveis, como cirurgia, quimioterapia, radioterapia e hormonioterapia. A cirurgia é o tratamento mais comum, incluindo opções conservadoras (remoção parcial do tumor, preservando a mama) e a mastectomia (remoção completa da mama), que pode afetar a autoimagem e autoestima das mulheres. As próteses mamárias externas feitas de gel de silicone têm sido utilizadas como uma alternativa. No entanto, para algumas mulheres, essas próteses podem ser pesadas e desconfortáveis. **Objetivo:** Propor uma solução de prótese de mama externa leve com o uso da tecnologia de manufatura aditiva. **Metodologia:** A pesquisa foi dividida em três fases. 1) Seleção de um modelo digital de seio feminino; e Modificação dos modelos de seio para a criação da prótese mamária com auxílio do software de modelagem 3D Meshmixer. 2) Seleção de parâmetros de impressão 3D e percentual de preenchimento da prótese no software de fatiamento Ultimaker Cura 3) Manufatura dos protótipos de prótese pelo processo de Fabricação de Filamento Fundido (FFF) e uso da impressora Ender 3 Pro (Creality) com material flexível poliuretano termoplástico (TPU) shore 95A (National 3D). **Resultado:** As próteses manufaturadas com diferentes tamanhos e densidades de preenchimento (peso entre 41 e 150 g) representaram bem o volume da mama. **Conclusão:** A manufatura aditiva permitiu produzir próteses mamárias externas mais leves que as próteses convencionais que podem melhorar a qualidade de vida das mulheres mastectomizadas e contribuir para sua confiança durante o processo de reabilitação.

Palavras-chave — Próteses mamárias externas, impressão 3D, mastectomia, câncer de mama, próteses de baixo peso.

Abstract — **Introduction:** Breast cancer is a serious health problem affecting women worldwide. There are therapeutic options available, such as surgery, chemotherapy, radiotherapy and hormone therapy. Surgery is the most common treatment, including conservative options (partial removal of the tumor, preserving the breast) and mastectomy (complete removal of the breast), which can affect women's self-image and self-esteem. External breast prostheses made of silicone gel have been used as an alternative. However, for some women, these prostheses can be heavy and uncomfortable. **Objective:** To propose a lightweight external breast prosthesis solution with

the use of additive manufacturing technology. **Methodology:** The research was divided into three phases. 1) Selection of a digital model of a female breast; and Modification of the breast models for the creation of the breast prosthesis with the use of 3D modeling software Meshmixer. 2) Selection of 3D printing parameters and filling percentage of the prosthesis in the Ultimaker Cura slicing software 3) Manufacture of the prosthesis prototypes by the Fused Filament Fabrication (FFF) process and use of the Ender 3 Pro printer (Creality) with flexible thermoplastic polyurethane (TPU) shore 95A material (National 3D). **Results:** The prostheses manufactured with different sizes and filling densities (weight between 41 and 150 g) represented the breast volume well. **Conclusion:** Additive manufacturing allowed to produce external breast prostheses lighter than conventional prostheses that can improve the quality of life of mastectomized women and contribute to their confidence during the rehabilitation process.

Keywords — External breast prostheses, 3D printing, mastectomy, breast cancer, low weight prostheses.

I. INTRODUÇÃO

O câncer de mama é um problema de saúde significativo para mulheres, sendo o tipo de câncer mais comum [1]. Mundialmente, ele é a principal causa de morte relacionada ao câncer entre este sexo, excluindo-se o câncer de pele não melanoma [1]. Esse tipo de câncer ocorre pela multiplicação desordenada de células na mama e a mamografia é a técnica mais recomendada para o rastreamento e detecção precoce [2]. Os diversos fatores são a idade, status menstrual (data da primeira menstruação e menopausa), idade da primeira gravidez (quanto mais tardia maior o risco), predisposição genética, estilo de vida (consumo de álcool e sedentarismo), além de reposição hormonal e exposição à radiação ionizante [3].

Diversas opções terapêuticas estão disponíveis para tratar o câncer de mama, incluindo cirurgia, quimioterapia, radioterapia e hormonioterapia, com o objetivo de melhorar a condição da paciente e aumentar suas chances de cura e sobrevida [2]. A cirurgia (conservadora ou a mastectomia) é a forma de tratamento mais comum pela remoção de apenas

uma parte da mama afetada pelo tumor, com pouca influência na sobrevivência total, mas aumento da taxa de recorrência local do tumor.

A mastectomia é um procedimento que remove a glândula mamária afetada para reduzir a incidência e melhorar a expectativa de vida em mulheres de alto risco, sendo quase sempre inevitável em estágios avançados [4]. Este procedimento pode causar alterações na autoimagem e na autoestima da mulher, além de abalo emocional, uma vez que a mama está ligada à sua identidade [5]. Reconstruir a mama após a remoção pode ajudar a manter a autoimagem positiva da mulher e melhorar sua qualidade de vida durante o processo de reabilitação, ajudando a lidar melhor com a nova condição.

No Brasil, estima-se uma incidência em 2023 de 41,89 casos por 100.000 mulheres, sendo o Sul e o Sudeste os estados com taxas mais altas [6]. Desde 2013, a Lei nº 12.802 garante a reconstrução mamária após a remoção do câncer. Entretanto, em alguns casos, ela pode não ser viável pela impossibilidade de se realizar outra cirurgia ou a presença de outros problemas de saúde. Nos últimos anos, para cada 7,5 mastectomias é realizada uma reconstrução da mama [7]. Como alternativa à cirurgia reconstrutiva da mama são utilizadas próteses mamárias externas posicionadas dentro de um sutiã específico ou coladas no tronco para simular o peso e o formato da mama feminina [8]. O valor desse tipo de prótese pode variar entre R\$ 70,00 e R\$ 420,00, com o peso variando entre 160 e 1.200 g [9] (Fig. 1):

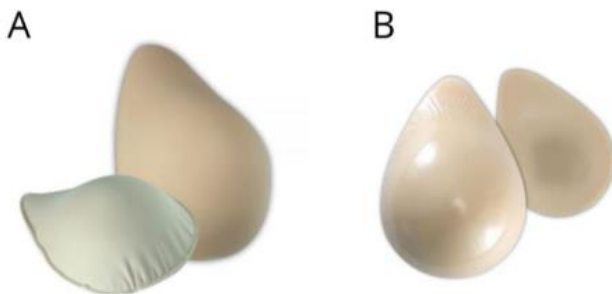


Figura 1- Próteses externas de mama encontradas no mercado. A) Prótese de espuma; B) Prótese de silicone em formato de goma. Fonte:[8].

Um problema recorrente encontrado nas próteses externas de mama de silicone, é o peso, no caso de mulheres com mamas de tamanho maior. Além disso, as usuárias também relatam dificuldades no uso de alguns tipos de roupa, na movimentação da prótese, na incômoda sensação de calor ou suor na área de apoio e na irritação da pele durante o uso [10].

As próteses externas de mama comerciais fabricadas com silicone, apresentam um preenchimento total do material no produto, o que resulta em uma prótese sólida e pesada. A manufatura aditiva ou impressão 3D apresenta uma

oportunidade para a produção de modelos personalizados, com controle da quantidade de preenchimento e escolha de materiais adequados. O objetivo desse estudo foi usar ferramentas digitais, incluindo software de Desenho Assistido por Computador (Computer Aided Design, CAD) e manufatura aditiva para produzir próteses externas de mama mais leves do que as próteses tradicionais em silicone.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A. MANUFATURA ADITIVA

A manufatura aditiva é uma ferramenta da indústria 4.0 que permite a personalização em massa, abrindo portas para métodos de fabricação não tradicionais. Essa tecnologia tem sido fundamental para a fabricação de produtos personalizados devido à sua capacidade de produzir objetos com diversos materiais e formas, atendendo a vários setores, como a área da saúde, aeroespacial, mecânica e outras. [11].

Essa tecnologia de fabricação utiliza a adição sucessiva de material em camadas e tem vários processos que são classificados pela forma da matéria-prima (líquida, sólida e em pó) ou pelo princípio de energia utilizado no processamento do material. Os processos que mais se destacam são: a Fabricação com Filamento Fundido (FFF) que utiliza um polímero termomoldável que ao ser aquecido amolece e é depositado em camadas sucessivas para formar um objeto; a Estereolitografia (*stereolithography*, SLA) que é o processo no qual uma resina líquida (fotopolímero) se solidifica a partir de um feixe de laser ultravioleta para formar um objeto; e a Sinterização Seletiva a Laser (*Selective Laser Sintering*, SLS), que é semelhante ao processo SLA, utiliza como matéria-prima um pó que pode ser composto de materiais termoplásticos, metal, cerâmica e outros. Qualquer modelo virtual de um objeto previamente criado em um software CAD pode ser enviado para uma impressora 3D e ser reproduzido na forma de um objeto físico [12].

O processo FFF é o mais popular devido ao baixo custo das impressoras 3D e à ampla gama de materiais que ele pode usar. Esse processo produz modelos 3D camada por camada, depositando o material que sai do bico da impressora ao longo da camada de trabalho. À medida que o material na forma de filamento é aquecido, extrudado e depositado na mesa de impressão, é preciso manter o equilíbrio entre a deposição e a velocidade de movimento do cabeçote para obter um controle fino sobre a quantidade de material depositado [13].

B. PRÓTESES MAMÁRIAS EXTERNAS

Uma prótese externa de mama é um dispositivo artificial colocado no sutiã para substituir a mama natural. Existem próteses temporárias, usadas durante o período de cicatrização após a cirurgia de mastectomia, e próteses externas permanentes, que são utilizadas de 6-8 semanas após a cirurgia, precisando ser substituídas entre 2 e 5 anos. Elas podem variar em termos de tamanho, peso e suporte [14].

Essas próteses pré-fabricadas são comercializadas em diferentes formatos para se ajustar à morfologia e manter a simetria com a mama saudável. Elas são usadas após a cicatrização e são feitas de silicone [10]. Vários estudos relataram redução no nível de sofrimento emocional e frustração com o uso de próteses mamárias externas ao longo do tempo [15]. A satisfação com o uso foi associada aos aspectos da experiência de adaptação e ao fornecimento de suporte e informações adequados [14]. Usuárias e enfermeiros de cuidados com a mama definem a qualidade dessas próteses como ligada à aparência e ao formato naturais, conforto e durabilidade, leveza, custo-benefício, facilidade de manutenção, realismo, movimento com o corpo e o fato de a prótese ter sido produzida por fabricantes que prestaram um bom serviço [15].

C. MATERIAIS FLEXÍVEIS PARA A IMPRESSÃO 3D

O material flexível poliuretano termoplástico (TPU) é um filamento elástico inodoro que, depois de esticado, retorna à sua forma original, e pode entrar em contato com a pele. Ele pode ser encontrado com diferentes porcentagens de alongamento ou dureza Shore.

O alongamento é a medida do aumento no comprimento que um material experimenta ao ser submetido a uma tensão de tração antes de se romper, expresso como uma porcentagem em relação ao comprimento inicial. Quanto maior a porcentagem de alongamento, mais elástico é o material [16]. O TPU com dureza Shore 70A, por exemplo, têm um alongamento até a ruptura de 900%, enquanto o 95A tem um alongamento de 500%.

Entre as aplicações utilizadas para esse tipo de material estão: palmilhas ortopédicas, objetos e peças flexíveis, peças e acessórios têxteis, calçados, entre outros [16]. Na Figura 2 pode-se observar a escala de medição dessa dureza e exemplos de quais produtos podem ser produzidas com os Shores específicos.

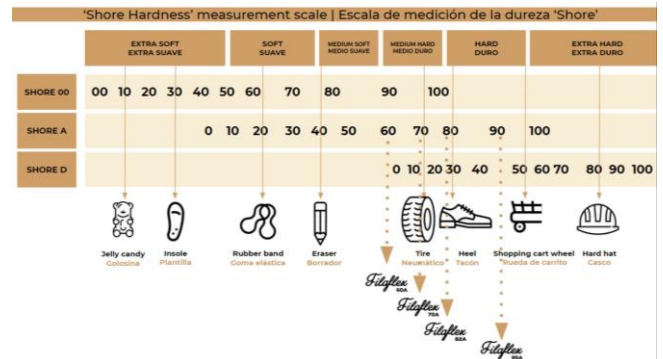


Figura 2 - Escala de medição da dureza Shore. Fonte: [16].

No entanto, é importante ressaltar que quanto maior a porcentagem de alongamento, mais difícil é a impressão do material, visto que para a sua manufatura o filamento deve ser tracionado para ser aquecido e fundido. Podendo ocorrer, ao invés do tracionamento, o estiramento do fio, dificultando então o seu processo [16].

D. MANUFATURA ADITIVA NA PRODUÇÃO DE PRÓTESES MAMÁRIAS EXTERNAS

Nos últimos anos, foram realizados alguns estudos usando manufatura aditiva para a produção de próteses mamárias externas com aparência e formato naturais, conforto e durabilidade, leveza, custo-benefício e realismo (Tabela 1).

Tabela 1 Estudos que utilizam a manufatura aditiva na produção de próteses mamárias externas.

Autores	Título	Processo	Ano
Eggbeer e Evans	Computer-aided methods in bespoke breast prosthesis design and fabrication	SLA	2011
Maillo et al.	Methodology of custom design and manufacturing of 3D external breast prostheses	FFF	2020
Paula	Produção de prótese personalizada externa de mama em silicone por planejamento virtual	FFF	2021
Fonte	A utilização da fabricação digital para personalização de próteses mamárias externas para mulheres pós-mastectomizadas	FFF	2022

Os processos de manufatura utilizados nestas pesquisas foram o FFF e SLA, e os métodos de aquisição da geometria da mama foram a fotogrametria (técnica de que utiliza fotografias para criar modelos 3D de objetos ou ambientes) e o escaneamento 3D (captura digital precisa da forma 3D de um objeto utilizando scanners a laser ou câmeras especializadas) [15]. Essas pesquisas foram realizadas depois que muitas usuárias relataram que os modelos de prótese mamária externas comerciais (padronizada) não são semelhantes ao seio remanescente em formato ou tamanho [17]. Nas pesquisas de Eggbeer e Evans (2011), Paula (2021) e Fonte (2022), a manufatura aditiva foi utilizada para a produção de um molde personalizado e não para a produção da prótese de mama em si. Dessa forma, após a aquisição da geometria externa da mama, softwares CAD foram utilizados para gerar um molde desse modelo para que fosse feito um depósito posterior do silicone a ser conformado no formato desejado (como um método de envase) [8, 17, 18].

Ainda no estudo de Paula (2021), também foi realizada a manufatura de próteses externas de mama com material flexível [8]. No entanto, os resultados obtidos não foram semelhantes aos encontrados por Maillo et al. (2020), que a partir de um modelo obtido por escaneamento 3D imprimiram próteses em material TPU de shore 82A, resultando em próteses leves e confortáveis [10]. Características desejadas pelas usuárias desse tipo de prótese, uma vez que seu uso está relacionado com a autoestima e a qualidade de vida e o peso elevado da prótese pode causar desconforto nas costas, ombros e/ou pescoço, podendo evoluir para dor [19].

III. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia da pesquisa foi dividida em três fases: Na primeira fase foram selecionados dois modelos digitais de mama e foram realizadas alterações de modelagem dos arquivos no formato *Standard Tessellation Language* (STL) em softwares CAD. STL é um arquivo da representação sólida de um modelo 3D que passa ainda por um pré-processamento para ser transferido com o formato G-code que define os movimentos da impressora 3D. Dois modelos gratuitos foram selecionados nos sites Cults 3D e Ultimaker Thingiverse, que são plataformas online para o compartilhamento de arquivos de impressão 3D, após uma pesquisa com a palavra-chave "breast" [20, 21]. Um modelo de mama digitalizado com o scanner 3D Artec 3D foi selecionado da plataforma Cults3d.com (Fig. 3A), e o modelo de uma mama feito para pessoas que fazem cosplays foi selecionado do no site Thingiverse.com (Fig. 3B).

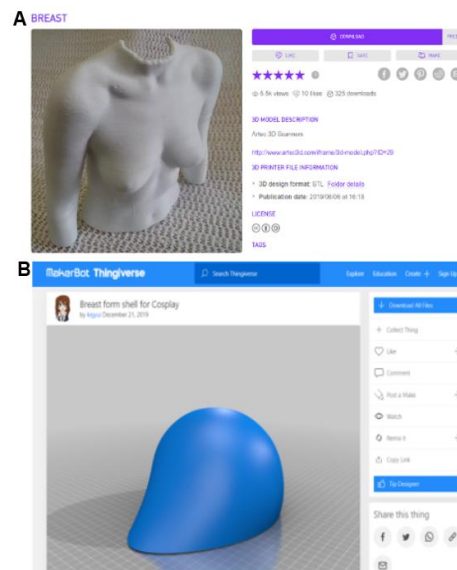


Figura 3 - Modelos 3D de mama. A) Modelo "Breast" do site Cults3D e B) Modelo "Breast form shell for Cosplay" do site Thingiverse. Fonte: [20,21].

O software de modelagem 3D Meshmixer foi utilizado na preparação dos arquivos da prótese de mama para impressão 3D. Este software oferece recursos avançados para ajustes finos em geometrias, incluindo reparo de imperfeições e otimização da estrutura. No modelo com o tórax completo (Fig. 3A) foi realizado um tratamento de malha para selecionar a área de interesse da mama para criar o modelo da prótese. Feito isso, suavizou-se a superfície e foi verificada a malha do modelo, para evitar erros durante a impressão 3D.

Na segunda fase da pesquisa foram definidos os parâmetros de impressão 3D a serem testados na manufatura das próteses, a partir dos arquivos STL. O software Ultimaker Cura foi empregado para a preparação dos modelos 3D antes da impressão 3D. Ele é uma ferramenta de fatiamento que converte um modelo 3D em uma série de camadas finas, representando a trajetória exata que a impressora seguirá ao depositar o material e construir o objeto camada por camada. A função principal da ferramenta de fatiamento é dividir o modelo em fatias individuais e gerar instruções específicas para a impressora, como a velocidade de impressão, temperatura do bico de extrusão, padrões de preenchimento, porcentagem de preenchimento, número de paredes e outros. Esse software foi escolhido devido aos padrões de preenchimento que ele disponibiliza, concêntrico, cruzado e cruzado 3D, que são ideais para uso com materiais flexíveis (Fig. 4) [22].

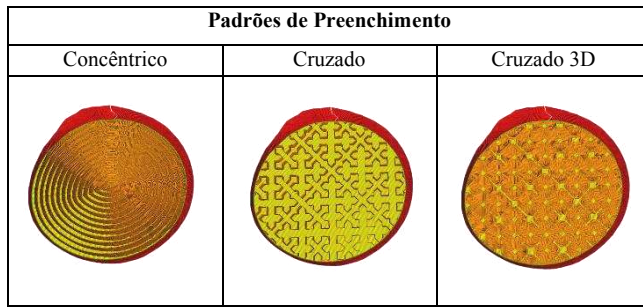


Figura 4 - Padrões de preenchimento no software Ultimaker Cura.
Fonte: Autora.

O melhor formato de preenchimento da prótese dentre os três selecionados será tomado como padrão para que as demais características possam ser avaliadas. A partir dessa definição de padrão, foram testadas diferentes densidades, variando entre 7% e 15%. O número de camadas externas foi outro parâmetro de impressão testado (perímetro) variando entre 1 e 5 (Fig. 5). As camadas externas definem a espessura da "parede" do modelo, atuando como uma barreira entre o preenchimento interno e a superfície externa.

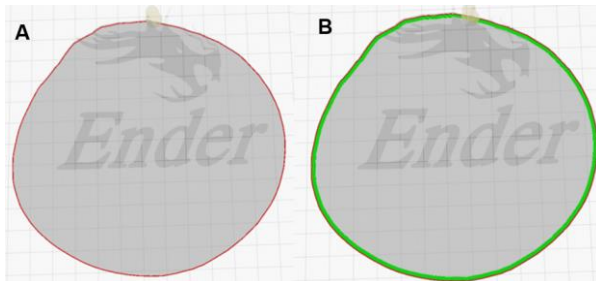


Figura 5 - Descrição da forma das camadas externas da prótese de mama.
A) Modelo com 1 camada externa e B) Modelo com 5 camadas externas.
Fonte: Autora.

Um cartão de memória foi utilizado para transferir os arquivos G-code gerados pelo software Ultimaker Cura para a impressora 3D.

Na terceira e última fase da pesquisa foi realizada a manufatura das próteses de mama e a avaliação com testes de bancada. A impressora 3D utilizada foi a impressora Ender 3 Pro, da fabricante Creality, que faz uso do processo FFF. Por possuir superfície de impressão aquecida, permite a adesão do material à mesa de impressão sem a necessidade de auxílio de um fixador entre eles. Além disso, possui um sistema de extrusão de material Bowden, ou seja, o motor que leva o material para o bloco aquecedor, responsável pela fundição, está fixo na estrutura da impressora, levando o material através de um tubo até o bico aquecido.

O filamento de material flexível utilizado foi o TPU Flex shore 95A (National 3D), material elastomérico flexível com alta resistência à tração e boa elasticidade. Esse material foi selecionado devido às suas características mecânicas, que permitem suportar deformações e tensões repetidas, sendo adequado para aplicações que requerem flexibilidade e durabilidade. A metodologia adotada seguiu o fluxograma descrito na Figura 6.

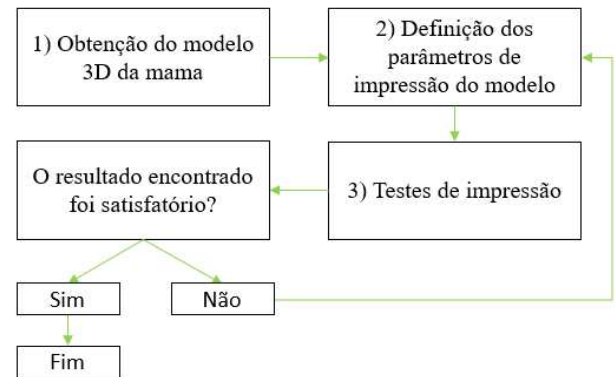


Figura 6 - Fluxograma utilizado na metodologia para definição dos parâmetros de impressão. Fonte: Autora.

O tamanho dos protótipos de prótese de mama produzidos variou de 40 a 52, de acordo com a numeração brasileira de sutiãs. Na avaliação dos parâmetros escolhidos, o protótipo era colocado dentro de um sutiã especial para prótese externa de mama com bolsos internos para inserção da prótese. Com testes de bancada, verificou-se quais parâmetros de impressão 3D eram mais sujeitos à deformação quando uma força manual era aplicada na prótese, característica desejada para que o modelo final não ficasse rígido. Dessa forma, durante os testes de impressão, era necessário avaliar os parâmetros iniciais e redefini-los.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os protótipos de prótese de mama manufaturados por impressão 3D foram baseados em modelos disponíveis em sites online devido à sua semelhança com as próteses comerciais (Fig. 7). Durante o processo de produção foram realizados testes para determinar os melhores parâmetros de impressão 3D da prótese a partir de opções de preenchimento para materiais flexíveis no software Ultimaker Cura (Fig. 8).

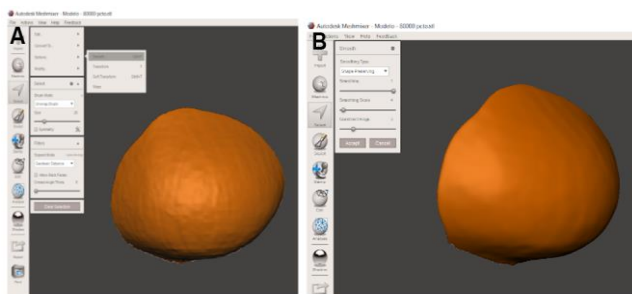


Figura 7 - Modelos 3D da mama tratado no software Meshmixer. A) Mama com a área de interesse selecionada. B) Mama com a superfície suavizada. Fonte: Autora.



Figura 8 - Modelos de próteses externas de mama manufaturados com os padrões de preenchimento cruzado 3D, cruzado e concêntrico (da esquerda para a direita). Fonte: Autora.

Os padrões Concêntrico e Cruzado resultaram em próteses mais resistentes ao serem comprimidas, pois as linhas do padrão Cruzado são impressas apenas na direção vertical, e as do Concêntrico acompanham o contorno do modelo. Por esse motivo, o padrão Cruzado 3D, que possui linhas de impressão que vão se inclinando conforme o modelo 3D cresce em altura, foi definido como o melhor padrão para esse tipo de aplicação, já que possui uma boa resposta a aplicação de força em todas as direções.

Durante a análise do número de perímetros, observou-se que ao utilizar apenas uma parede, as camadas externas no processo de impressão não se fundiam de maneira contínua, resultando em rachaduras no modelo. À medida que o número de paredes aumentou até atingir cinco, o modelo adquiriu uma espessura maior, mostrando-se menos maleável em relação às configurações anteriores. Portanto, foi definido como padrão o valor mínimo necessário para garantir a aderência das camadas umas às outras, sendo encontrado no resultado impresso com duas paredes. Como resultado, foram obtidos os parâmetros definidos na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros de impressão 3D utilizados na manufatura da prótese de mama.

Configuração	Valores
Tamanho do bico da extrusora	0,4 mm
Altura da camada	0,20 mm
Quantidade de perímetros	2
Padrões de preenchimento	Cruzado 3D
Temperatura do bico	225° C
Temperatura da mesa	60° C
Velocidade de impressão	20 mm/s

Ao considerar os valores de densidade de preenchimento, não foi possível estabelecer um valor único para todas as numerações de sutiã, que variam de 40 a 52. Se a densidade de preenchimento for muito baixa em relação ao volume da mama (definido pela numeração), a prótese pode não oferecer compressão suficiente, o que pode comprometer o suporte e a forma desejada. Por outro lado, se a densidade de preenchimento for muito alta, a prótese pode ficar excessivamente rígida, resultando em uma compressão desconfortável ou inadequada. Isso foi observado ao imprimir um protótipo de numeração 44 com baixa densidade de preenchimento e, ao inseri-lo no sutiã de mastectomia, viu-se que parte de sua forma foi deformada pelo bolso do sutiã, evidenciando a importância de uma densidade adequada de preenchimento para preservar o formato da prótese, definidos na Tabela 3.

Tabela 3 - Densidade de preenchimento da prótese definida para as numerações de sutiã de 40 a 52.

Numeração	Densidade de preenchimento (%)
40	9
42	10
44	11
46	12
48	13
50	14
52	15

Outro ponto importante de ressaltar é em relação à massa da prótese impressa. Na busca por modelos de próteses comerciais na internet foi encontrado que as próteses de silicone poderiam chegar até 1.200 g para mamas de volume maior. Nessa pesquisa, o protótipo de numeração 40 (Fig. 9A) atingiu uma massa final de 41 g, resultando em uma redução de 76% quando comparado com a massa média dessa numeração. Já para a de numeração 52 (Fig. 9B) que obteve 150 g, a redução foi de 84%.



Figura 9 - Protótipos da prótese mamária externa de numeração A) 40 (dentro do sutiã) e B) 52 (fora do sutiã). Fonte: Autora.

Nos estudos de Eggbeer e Evans (2011), Paula (2021) e Fonte (2022), a impressão 3D foi utilizada para a fabricação de moldes para fazer a prótese, e não da prótese em si, resultando em uma massa do modelo final elevada, dada a densidade do silicone em gel e do seu preenchimento completamente sólido. Ao contrário do resultado obtido por Maillou et al. (2020), que realizou estudo similar a este, utilizando a manufatura aditiva como método de produção.

Esses resultados, fruto do estudo realizado e da revisão bibliográfica, evidenciam a promessa das tecnologias digitais, como a impressão 3D, na fabricação personalizada de próteses de mama combinadas com métodos de captura digital. Pois, além de ter a prótese de mesmo volume do outro seio, há também a possibilidade de encaixe de forma personalizada no tórax, conforme a cicatrização de cada paciente.

V. CONCLUSÃO

Neste estudo, definiu-se parâmetros de impressão 3D para a produção de próteses externas de mama. Os resultados demonstraram, a partir de testes de bancada de aplicação de força manual na prótese, e pela comparação com outros estudos, que é possível produzir próteses externas utilizando este método, com potencial para melhorar a qualidade de vida das mulheres mastectomizadas, oferecendo opções mais leves e, consequentemente, confortáveis. Como o foco deste estudo foi na definição de parâmetros para a impressão de próteses mamárias no material flexível, modelos padronizados foram utilizados para que o resultado pudesse

ser atingido. Dessa forma, em estudos futuros, espera-se combinar o uso de metodologias digitais para a aquisição da mama de forma personalizada, como feito nas bibliografias consultadas.

AGRADECIMENTOS

Ao International Development Research Centre (IDRC) do Canadá e Universidade de Carleton pelo financiamento e apoio à pesquisa. Ao Programa Mao3D da Universidade Federal de São Paulo, onde pude me desenvolver em diferentes áreas. À minha orientadora e co-orientadora, Professora Dr^a. Maria Elizete Kunkel e Mestre Tainara Bina, pelo suporte e orientação. À minha família pelo amor e incentivo constante e aos meus amigos, que contribuíram de diversas formas durante toda a graduação. A todos, meu sincero agradecimento.

REFERÊNCIAS

1. Bray, F., Ferlay, J., Soerjomataram, I., Siegel, R. L., Torre, L. A., & Jemal, A. (2018). Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA: a cancer journal for clinicians*, 68(6), 394-424.
2. de Sousa Nascimento, P., Costa, T. R., de Sousa Júnior, D. L., Ribeiro, J. K. C., de Carvalho, M. A. J., Mesquita, F. P., ... & de Aquino, P. E. A. (2022). Dificuldades enfrentadas por mulheres com câncer de mama: do diagnóstico ao tratamento. *Revista Interfaces: Saúde, Humanas e Tecnologia*, 10(2), 1336-1345.
3. Fahad Ullah, M. (2019). Breast cancer: current perspectives on the disease status. *Breast Cancer Metastasis and Drug Resistance: Challenges and Progress*, 51-64.
4. Majewski, J. M., Lopes, A. D. F., Davoglio, T., & Leite, J. C. D. C. (2012). Qualidade de vida em mulheres submetidas à mastectomia comparada com aquelas que se submeteram à cirurgia conservadora: uma revisão de literatura. *Ciência & Saúde Coletiva*, 17, 707-716.
5. de Almeida, R. A. (2006). Impacto da mastectomia na vida da mulher. *Revista da Sociedade Brasileira de Psicologia Hospitalar*, 9(2), 99-113.
6. BRASIL. Ministério da Saúde. Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. Estimativa 2023: incidência de câncer no Brasil. 2022.
7. ONCOGUIA. Lei da Reconstrução Mamária completa 8 anos e sofre com pandemia. Instituto Oncoguia. 2021. Disponível em: <<http://www.oncoguia.org.br/conteudo/lei-da-reconstrucao-mamaria-completa-8-anos-e-sofre-com-pandemia/14487/7/#:~:text=A%20Lei%20n%C2%BA%2012.802%2C%20de,paciente%20apresentar%20os%20requisitos%20necess%C3%A1rios.>>. Acesso em: 03 mai. 2023.
8. Paula, F. C. N. D. (2021). Produção de prótese personalizada externa de mama em silicone por planejamento virtual. Mestrado.
9. Amazon. Prótese Mamária Externa de Silicone. 2023.

10. Montejo Maillo, B., Blaya San, A., Armisen Bobo, P., Montero Moreno, M. ^a. E., Blaya Haro, F., & Juanes, J. A. (2020, October). Methodology of custom design and manufacturing of 3D external breast prostheses*. In Eighth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (pp. 450-457).
11. Dilberoglu, U. M., Gharehpapagh, B., Yaman, U., & Dolen, M. (2017). The role of additive manufacturing in the era of industry 4.0. *Procedia manufacturing*, 11, 545-554.
12. Kunkel, M. E., Cano, A. P. D., Ganga, T. A. F., Artioli, B. O., & Juvenal, E. A. O. (2020). Manufatura Aditiva do Tipo FDM na Engenharia Biomédica. *Fundamentos e Tendências em Inovação Tecnológica*, 1, 50-69.
13. Salem Bala, A., bin Wahab, M. S., & binti Ahmad, M. (2016, May). Elements and materials improve the FDM products: A review. In *Advanced Engineering Forum* (Vol. 16, pp. 33-51). Trans Tech Publications Ltd.
14. Gallagher, P., O'Carroll, S., Mathers, R., Kiernan, G., Geraghty, J., & Buckmaster, A. (2006). An investigation into the provision, fitting and supply of external breast prostheses: A national study.
15. Roberts, S., Livingston, P., White, V., & Gibbs, A. (2003). External breast prosthesis use: Experiences and views of women with breast cancer, breast care nurses, and prosthesis fitters. *Cancer nursing*, 26(3), 179-186.
16. RECREUS. Flexible Filaments - TPU / TPE. 2023.
17. Fonte, R. S. D. (2022). A utilização da fabricação digital para personalização de próteses mamárias externas para mulheres pós-mastectomizadas.
18. Eggbeer, D., & Evans, P. (2011). Computer-aided methods in bespoke breast prosthesis design and fabrication. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 225(1), 94-99.
19. Hojan, K. (2020). Does the weight of an external breast prosthesis play an important role for women who undergone mastectomy?. *Reports of Practical Oncology and Radiotherapy*, 25(4), 574-578.
20. Cults • Download free 3D printer models • STL, OBJ, 3MF, CAD. Cults 3D. Disponível em: <<https://cults3d.com/en>>. Acesso em: 9 jul. 2022.
21. Thingiverse - Digital Designs for Physical Objects. Disponível em: <<https://www.thingiverse.com/>>. Acesso em: 9 jul. 2022.
22. VIAU, Kimberly. Preenchimento no Cura! Veja como configurar o infill neste software. 3D Lab. Disponível em: <<https://3dlab.com.br/preenchimento-no-cura/>>. Acesso em: 28 mai. 2023.