

Manufatura aditiva e modelagem digital na reabilitação facial: desenvolvimento de próteses nasais personalizadas

Pasko, Camila Fernanda^{*1}; Bartoszyk, Gabriele²; Barduco, Gabriela Schrann³; Muniz, Laura Pardinho⁴; Barczyszyn, Karin⁵; Foggiatto, José Aguiomar⁶

1 – Departamento de Mecânica, UTFPR, camilapasko@alunos.utfpr.edu.br

2 – Departamento de Odontologia, UP, gabrielebartoszyk@gmail.com

3 – Departamento de Mecânica, UTFPR, gabrielabarduco@alunos.utfpr.edu.br

4 – Departamento de Mecânica, UTFPR, lauramuniz@alunos.utfpr.edu.br

5 – Laboratório de Prótese Bucomaxilofacial, Hospital Angelina Caron, karinbarczy@gmail.com

6 – Departamento de Mecânica, UTFPR, foggiatto@utfpr.edu.br

* - Correspondência: Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 5000, Sala EM-101, Ecoville, Curitiba, PR, Brasil, 81280-340.

DOI 10.52050/9788579177149-24

RESUMO

Pacientes com mutilações faciais enfrentam condições físicas e emocionais que afetam sua autoestima e inclusão social, destacando a necessidade de soluções reabilitadoras mais eficazes e acessíveis. A pesquisa propôs o desenvolvimento de uma prótese nasal personalizada, que incluiu a digitalização da anatomia facial, modelagem 3D e confecção de um molde com impressão 3D por extrusão de material. Os resultados demonstraram alta qualidade estética e anatômica da prótese, com redução de custos e tempo. Concluiu-se que essa técnica representa um avanço para as áreas da Engenharia, Saúde e Tecnologia Assistiva, promovendo integração, inovação e inclusão social.

Palavras-chave: prótese nasal, modelagem 3D, impressão 3D.

ABSTRACT

Patients with facial mutilations face physical and emotional conditions that impact their self-esteem and social inclusion, highlighting the need for more effective and accessible rehabilitative solutions. The research proposed the development of a customized nasal prosthesis, involving facial anatomy digitization, 3D modeling and mold fabrication using 3D printing by material extrusion. The results

showed high aesthetic and anatomical quality of the prosthesis, along with cost and time efficiency. The conclusion is that this technique represents a significant advancement in the fields of Engineering, Health and Assistive Technologies, promoting integration, innovation and social inclusion.

Keywords: nasal prosthesis, 3D modeling, 3D printing.

1. INTRODUÇÃO

A imagem pessoal é um elemento fundamental nas relações humanas, pois influencia desde interações cotidianas até oportunidades profissionais. Isso ocorre porque a autoapresentação está diretamente relacionada à inclusão em grupos sociais e ao acesso a redes de oportunidades. No caso de pacientes com mutilações faciais decorrentes de traumas, câncer ou doenças congênitas, os desafios enfrentados vão além das limitações físicas, impactando profundamente sua qualidade de vida e autoestima. Do ponto de vista social, o indivíduo tende a se isolar, motivado pelo medo da rejeição devido à sua nova aparência, além da possibilidade de desenvolver transtornos psicológicos, como depressão e ansiedade (GAMARRA et al., 2019, p. 251).

Tradicionalmente, as próteses faciais são confeccionadas por meio de técnicas artesanais, como moldagens diretas com alginato e modelagem manual em cera, na qual o profissional reproduz minuciosamente a anatomia nasal, utilizando fotografias antigas do paciente como referência (PATROCÍNIO; AZEVEDO, 2013, p. 35). Ferramentas como espátulas, estecas e compassos de pontas secas são essenciais para definir com precisão os contornos, relevos e demais características anatômicas do nariz (NEGREIROS et al., 2022, p. 43).

A confecção de próteses nasais com moldagem direta no paciente, na qual o alginato é aplicado sobre a área mutilada, pode causar desconforto ao paciente, tanto pelo tempo limitado de trabalho quanto pela necessidade de respirar pela boca durante o procedimento. Desse modo, o local de trabalho deve ser adaptado para que o paciente permaneça calmo e relaxado durante o procedimento (AQUINO et al., 2012, p. 438). Esses métodos, embora eficazes em alguns casos, são demorados e dependem da habilidade do protesista, limitando a precisão anatômica, a durabilidade do resultado e a personalização individual. Conforme evidenciado, há a necessidade de desenvolver processos mais ágeis e acessíveis para a reabilitação de pacientes. O avanço das tecnologias digitais, em especial a integração de softwares de reconstrução 3D com a manufatura aditiva, tem gerado impactos positivos, tais como a redução do tempo de trabalho, a diminuição da curva de aprendizagem do profissional, o menor tempo de presença física do paciente durante a consulta para confecção da prótese e a redução de custos (GAMARRA et al., 2019, p. 251). A impressão 3D

por extrusão de material (MEX) destaca-se como uma das principais tecnologias de manufatura aditiva atuais (VOLPATO, 2024, p. 68). Baseia-se na deposição controlada de filamentos termoplásticos fundidos, camada a camada, a partir de um modelo digital, possibilitando a criação de peças com geometrias complexas e alta funcionalidade, sem necessidade de outros métodos de fabricação como a usinagem ou moldagem manual. Além de reduzir custos, tempo de produção e desperdício de material,

trata-se de uma solução acessível e eficaz.

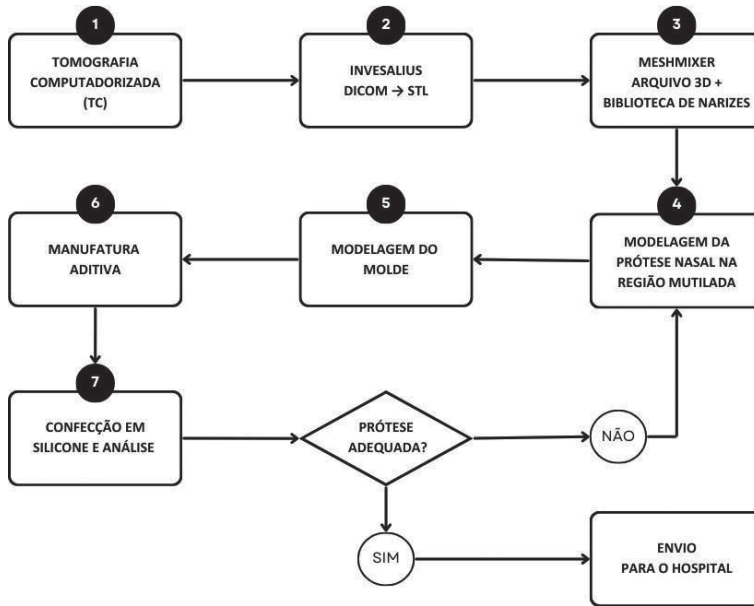
Na fabricação de próteses faciais, a MEX permite desenvolver dispositivos personalizados e precisos, a partir de exames de imagem como tomografias, que geram modelos digitais tridimensionais da anatomia do paciente. Esses modelos servem como base para os biomodelos, moldes e próteses definitivas, tornando o processo mais rápido, preciso e menos invasivo do que métodos tradicionais com moldes em cera, por exemplo. A integração de bibliotecas virtuais de órgãos (como nariz, orelha, entre outros) à digitalização facial do paciente garante um encaixe natural e esteticamente harmonioso.

Outrossim, diante da insatisfação estética de um paciente com a prótese nasal convencional, que não ocultava adequadamente a região mutilada, identificou-se a necessidade de desenvolver um molde adaptado à anatomia facial e capaz de incorporar características individuais. A modelagem tridimensional, aliada à impressão 3D por extrusão de material, possibilitou a confecção de uma prótese personalizada, com melhor ajuste anatômico, restaurando não apenas a função, mas também a harmonia facial. Assim, este trabalho não visa apenas suprir uma demanda clínica específica, como também, contribuir para avanços na área de próteses faciais, priorizando a qualidade de vida do paciente por meio da integração entre tecnologia, estética e funcionalidade.

2. DESENVOLVIMENTO

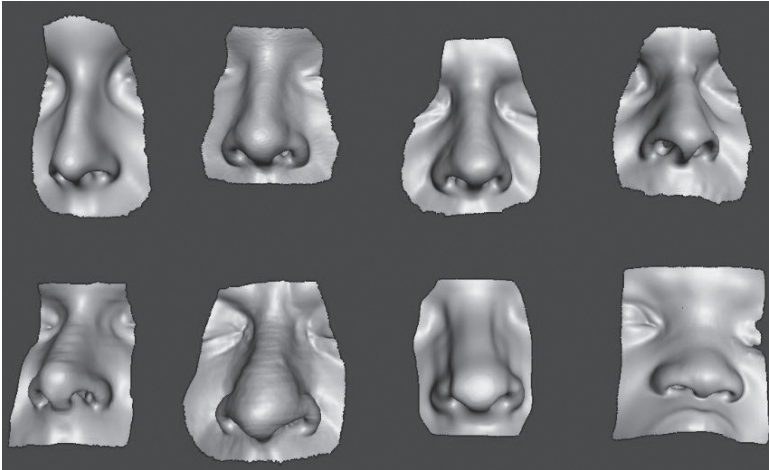
A modelagem 3D auxilia na criação de próteses oferecendo velocidade e qualidade em comparação a métodos tradicionais. A abordagem com técnicas otimizadas e softwares gratuitos não só possibilita o desenvolvimento de moldes de forma eficiente, mas também assegura um resultado final com alto nível de detalhamento. Para estruturar esse processo, o fluxograma da Figura 01 foi elaborado, descrevendo as etapas essenciais, desde a aquisição de imagens e modelagem tridimensional até a impressão 3D e análise da qualidade.

Figura 01 - Fluxograma de processos



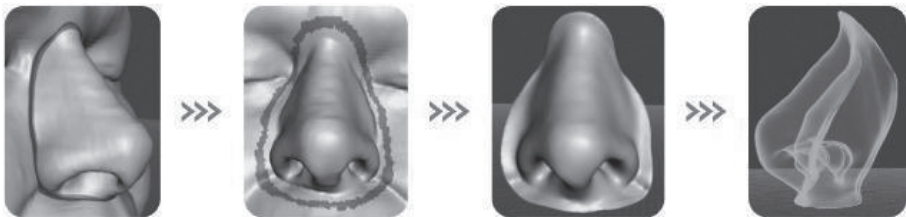
A reabilitação de pacientes com mutilações nasais decorrentes de traumas ou cânceres faciais exige uma abordagem multidisciplinar, onde a tecnologia atua como aliada essencial. Nesse contexto, a etapa inicial consiste na realização do exame de Tomografia Computadorizada (TC), que fornece imagens detalhadas em cortes transversais e revela a extensão da lesão. Neste estudo, foram incluídos casos de pacientes do hospital de referência que consentiram em realizar a TC e a posterior confecção da prótese nasal. Os dados obtidos são armazenados no formato DICOM e, em seguida, importados para o programa Invesalius, no qual a região afetada é reconstruída digitalmente, criando uma base tridimensional. Na etapa seguinte, realizada no programa Meshmixer (Autodesk Inc.), o modelo 3D (em formato .stl) é inicialmente refinado através da remoção de superfícies desnecessárias, preparando-o para o processo de personalização. Com o auxílio de uma biblioteca de narizes padronizada, o paciente, juntamente com o protesista, seleciona um modelo de seu agrado — algumas das opções disponíveis nesta biblioteca virtual estão ilustradas na Figura 02. O modelo escolhido é então inserido no Meshmixer e passa por ajustes precisos de posicionamento e escala, garantindo proporções harmoniosas com a anatomia facial do paciente.

Figura 02 - Exemplos de modelos da biblioteca de narizes virtual



Com a base já posicionada, inicia-se o refinamento minucioso da peça, abrangendo a reprodução das características da pele, o contorno das narinas, o acabamento das bordas e, por fim, a definição da espessura da prótese. Esses elementos são cuidadosamente trabalhados para garantir uma transição suave e natural com o rosto do paciente, conforme ilustrado na Figura 03. Após a finalização da modelagem da prótese nasal, inicia-se a confecção do molde. Nesse processo, é aplicada uma superfície de partição nas superfícies da prótese, responsável por orientar a separação entre as partes frontal e traseira do molde.

Figura 03 - Processos de modelagem da prótese



Anteriormente, a modelagem do molde no Meshmixer ocorria de forma em que a superfície de partição era posicionada manualmente no local adequado, utilizando ferramentas capazes de empurrar ou puxar a malha. Contudo, esse método era moroso e demandava maior tempo e experiência por parte do usuário, devido a necessidade de muitos ajustes e a apresentação de erros. Para otimizar esse processo, passou-se a utilizar um recurso do software capaz de atrair automaticamente a malha para o interior da prótese, mantendo a parte externa alinhada com as bordas do sólido.

Seguido da aplicação da superfície, ocorre a sua união com a prótese, e logo depois, adiciona-se um cilindro ao redor, que funcionará como o corpo do molde. A partir disso, realiza-se uma diferença booleana, resultando no negativo da prótese impressa nos dois lados do cilindro. Por fim, é inserida uma perfuração no molde na parte de trás da prótese, que permitirá a inserção do silicone posteriormente.

O molde da prótese é fabricado através de manufatura aditiva por extrusão de material, técnica que se destaca por seu custo acessível, flexibilidade de produção e capacidade de criar geometrias complexas com precisão. A impressão 3D do molde, tem duração aproximada de 2 a 3 horas, dependendo da máquina e dos parâmetros utilizados. Essa abordagem se mostra não apenas eficiente e rápida, mas também prática para aplicações médicas que demandam agilidade e personalização.

Para que a prótese seja aprovada no laboratório, o molde é preenchido com silicone, permitindo a avaliação de aspectos como qualidade superficial, dimensões e peso. Paralelamente, a manufatura aditiva é empregada na impressão de um modelo 3D da região mutilada do paciente, possibilitando verificar previamente a adaptação da prótese à anatomia real. Considerando que a equipe do laboratório, em sua maioria, não possui habilitação para o contato direto com pacientes, o molde e a peça de teste são encaminhados ao hospital de referência. Nesse ambiente apropriado, profissionais qualificados realizam a prova da prótese, efetuam marcações para possíveis ajustes e validam a modelagem. Sendo aprovada, a prótese definitiva é confeccionada em silicone de grau médico, com coloração caracterizada de acordo com as particularidades de pele do paciente. Se houver necessidade de ajustes, a fase de modelagem é reiniciada com as correções indicadas pelo profissional.

3. RESULTADOS

A adoção de tecnologias digitais, aliada à impressão 3D por extrusão de material, tem promovido avanços na área de próteses bucomaxilofaciais. Ao substituir a moldagem direta com alginato, que exigia múltiplas consultas presenciais, tornou-se possível concentrar o atendimento em etapas mais objetivas, como o exame inicial e a aplicação final da prótese. A possibilidade de imprimir parte do rosto do paciente para testes prévios contribuiu significativamente para a precisão e eficácia do processo.

Na Figura 04, observa-se a modelagem 3D da prótese nasal, essa etapa foi fundamental para garantir a adaptação anatômica precisa ao paciente. A fidelidade entre o modelo virtual e o obtido pode ser constatada na Figura 05, onde a prótese de silicone é posicionada sobre a réplica impressa da região

mutitada do paciente. A comparação entre ambas evidencia a precisão da modelagem digital, além de demonstrar a viabilidade estética e funcional do procedimento.

Figura 04 - Modelagem 3D da prótese

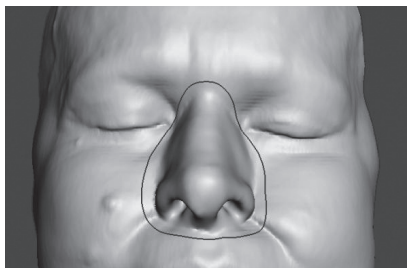
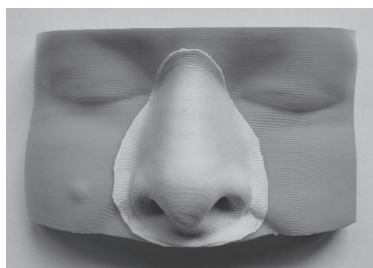


Figura 05 - Prótese confeccionada em silicone



Além disso, para a fabricação da prótese de silicone foi preciso desenvolver um molde. A Figura 06 mostra a modelagem 3D deste molde e a Figura 07 apresenta sua versão física produzida através de impressão 3D. A compatibilidade entre o modelo virtual e o molde impresso confirma a confiabilidade do processo digital, além de contribuir para a padronização e replicabilidade do componente.

A prótese obtida por meio da modelagem tridimensional apresenta uma ótima qualidade, com características mais naturais e adequada à anatomia individual. Ao se aproximar da aparência original, a solução impacta positivamente na autoestima do paciente, promovendo conforto e segurança para interagir em grupos sociais e atenuando possíveis danos psicológicos por isolamento social.

Figura 06 - Modelagem 3D do molde da prótese

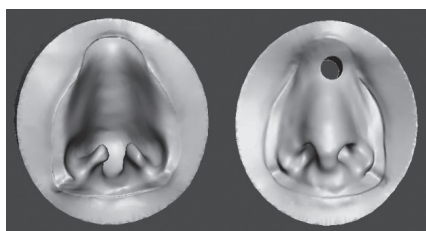
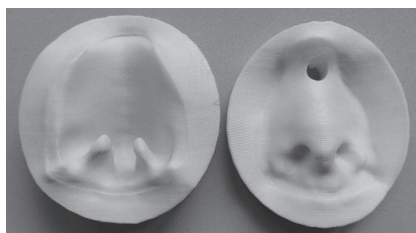


Figura 07 - Molde produzido por impressão 3D



Os resultados obtidos confirmam o potencial da abordagem digital como alternativa viável às técnicas artesanais tradicionais, oferecendo vantagens como maior reprodutibilidade, padronização dos processos e redução dos custos de produção. Cabe destacar, ainda, que a confecção final das próteses é realizada no ambiente hospitalar, onde há infraestrutura adequada e profissionais

especializados para garantir a segurança, a qualidade e a adaptação correta da prótese ao paciente.

4. CONCLUSÕES

O estudo da integração entre tecnologias digitais e a confecção de próteses maxilofaciais representa um avanço significativo na reabilitação de pacientes com mutilações decorrentes de traumas, doenças ou condições congênitas. A utilização da modelagem tridimensional e da impressão 3D por extrusão de material (MEX) na confecção de próteses nasais, permitiu o desenvolvimento de uma prótese nasal personalizada, demonstrando que a adoção dessa tecnologia representa um avanço significativo em termos de precisão e eficiência das próteses.

Como sugestão para futuros desenvolvimentos, recomenda-se o aprimoramento contínuo dos softwares de modelagem e das bibliotecas virtuais de estruturas anatômicas, bem como a integração com sistemas de inteligência artificial para otimizar ainda mais o planejamento e a personalização das próteses, ampliando o acesso e os benefícios das Tecnologias Assistivas a um maior número de pacientes.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação Araucária pelo apoio financeiro do NAPI-TA (Novo Arranjo de Pesquisa e Inovação em Tecnologia Assistiva), ao CNPq pela bolsa de produtividade em desenvolvimento tecnológico e extensão inovadora, ao Núcleo de Manufatura Aditiva e Ferramental (NUFER) e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pelo espaço disponibilizado para o desenvolvimento da pesquisa. Ainda, agradecemos aos colegas de iniciação científica e professores que auxiliaram no processo.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, L. M. M. DE; OLIVEIRA, M. DE; MARTINS, A. P. V. B.; BARBOSA, C. M. R. Técnicas de moldagem da máscara facial. *Revista de Odontologia da UNESP*, v. 41, n. 6, p. 438–441, dez. 2012.
- COUTINHO, K. D.; GUERRA, P. V. A.; PAPALEO, A. B. S.; JUNIOR, J. P. V.; NETO, C. L. B. G.; WANDERLEY, C. D. V.; MORAIS, M. L. S. A. Uso da prototipagem rápida na fabricação de próteses bucomaxilofaciais – Caso clínico. *Revista Brasileira de Inovação Tecnológica em Saúde*, v. 4, n. 3, p. 35-44, set. 2014.
- NEGREIROS, W. A. DE; FIALLOS, A. C. M.; OLIVEIRA, R. B. N.; FIRMIANO, B. P. X.; SARAIVA, P. V. N.;

SANTOS, S. O. DOS; MACHADO, A. F.; BONFIM, L. S. DO; TORRES, A. B. C.; OLIVEIRA, J. F. B. DE. Desenho, escultura e pintura em prótese bucomaxilofacial: princípios e técnicas. *Odontologia: pesquisa e práticas contemporâneas*, Guarujá, v. 3, n. 1, p. 43–61, ago. 2022.

PATROCÍNIO, M. C. DO; AZEVEDO, R. B. Características da prótese nasal: relato de caso clínico. *Clínica e Pesquisa em Odontologia - UNITAU*, v. 5, n. 1, p. 35-41, nov. 2013.

SALAZAR-GAMARRA, R.; MORAES, C. A. C.; SEELAUS, R. M.; SILVA, J. V. L. DA; DIB, L. L.; ULLOA, J. J. Introdução à metodologia “mais identidade”: próteses faciais 3D com a utilização de tecnologias acessíveis para pacientes sobreviventes de câncer no rosto. *Comunicação Científica e Técnica em Odontologia*, v. 2, p. 251–272, abr 2019.

VOLPATO, N. *Tecnologias e aplicações da manufatura aditiva*. São Paulo: Blücher, 2024.