

Desenvolvimento de protótipo de prótese oculopalpebral com cinesia palpebral

Santos, Ana Julia Turko^{*1}; Stoppa, Marcelo Henrique²; Foggiatto, José Aguiomar³

1 – Engenharia Mecatrônica, UTFPR, anajuliasantos@alunos.utfpr.edu.br

2 – Engenharia Mecatrônica, UFCAT, mhstoppa@ufcat.edu.br

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

* - Correspondência: NUFER/DAMEC/UTFPR-CT - Rua Deputado Heitor de Alencar Furtado, 5000, Sala EM-101, Ecoville, Curitiba, PR, Brasil, 81.280-340.

DOI 10.52050/9788579177149-18

RESUMO

Indivíduos podem necessitar da remoção do globo ocular e tecidos adjacentes devido a lesões, anomalias congênitas ou doenças. Nestes casos, é indicada a utilização de uma prótese oculopalpebral, o qual abrange a reabilitação de estruturas como pálpebras, músculos e pele. Contudo, as versões disponíveis atualmente no mercado são essencialmente estáticas, limitando o realismo estético. Diante disso, propõe-se o desenvolvimento de um protótipo de prótese oculopalpebral com um dispositivo de pálpebra móvel, confeccionado em silicone de grau médico. O protótipo foi desenvolvido com o uso do silicone PlatSil Gel 0020, utilizando moldes e componentes produzidos por meio de manufatura aditiva, incluindo o mecanismo de movimentação palpebral. O resultado obtido apresenta potencial para integração com um sistema eletromecânico, possibilitando o movimento da pálpebra de forma sincronizada com o olho sadio, proporcionando maior naturalidade à prótese.

Palavras-chave: prótese oculopalpebral, silicone, manufatura aditiva.

ABSTRACT

Individuals may require the removal of the eyeball and adjacent tissues due to injuries, congenital anomalies, or diseases. In such cases, the use of an oculopalpebral prosthesis is indicated, as it encompasses the rehabilitation of structures such as the eyelids, muscles, and skin. However, the versions currently available on the market are essentially static, limiting aesthetic realism. In response to this, the development of a prototype of an oculopalpebral prosthesis with a movable

eyelid device is proposed, made from medical-grade silicone. The prototype was developed using PlatSil Gel 0020 silicone, with molds and components produced through additive manufacturing, including the eyelid movement mechanism. The result shows potential for integration with an electromechanical system, enabling synchronized eyelid movement with the healthy eye and providing greater naturalness to the prosthesis.

Keywords: oculopalpebral prosthesis, silicone, additive manufacturing.

1. INTRODUÇÃO

Pacientes que sofrem exenteração orbitária - remoção cirúrgica do globo ocular associada à retirada de estruturas adjacentes como, músculos, pálpebras, tecidos moles e, em alguns casos, parte do osso orbital - necessitam de reabilitação estética por meio de uma prótese oculopalpebral. Esse tipo de prótese se diferencia das próteses oculares simples por abranger a restauração não apenas do globo ocular, mas também das pálpebras e dos contornos orbitais comprometidos (DA SILVA et al., 2020; RODRIGUES et al., 2019).

As próteses oculopalpebrais disponíveis atualmente são, em sua maioria, estáticas, o que prejudica o realismo estético e a interação social do paciente. A ausência de movimento palpebral, especialmente da pálpebra superior, compromete a naturalidade da prótese, limitando a expressão facial e impactando negativamente a autoestima e a qualidade de vida dos usuários (VIEIRA, 2016).

Os resultados de uma prótese são restritos pelos materiais utilizados em sua confecção, além das propriedades físicas e mecânicas de cada projeto (VIEIRA, 2016). Diante disso, o uso de materiais como o silicone de grau médico tem se mostrado vantajoso, principalmente por apresentar biocompatibilidade, elasticidade, resistência ao rasgo e capacidade de simular com fidelidade a textura da pele humana (CACCIATORE; KONRATH, 2010). Paralelamente, os avanços em manufatura aditiva possibilitam a criação de moldes personalizados com precisão anatômica, contribuindo para a funcionalidade e adaptação da prótese do paciente (SILVA, 2029).

Pesquisas na área da prótese oculopalpebral estão sempre em busca de maneiras de melhorar os processos **de reabilitação**. Seguindo esta linha de pesquisa, propôs-se a criação de um protótipo de prótese de silicone com moldes fabricados por manufatura aditiva. Essa abordagem visa, futuramente, o desenvolvimento de um dispositivo mecânico para solucionar a ausência de movimento na prótese oculopalpebral.

2. DESENVOLVIMENTO

Pessoas de qualquer idade ou sexo podem sofrer a remoção cirúrgica de um olho devido a uma lesão, defeito genético ou doença. O uso de uma prótese oculopalpebral permite que esses indivíduos ganhem uma sensação de autoconfiança e uma autoimagem mais positiva. No entanto, embora as próteses tenham sido desenvolvidas para criar um dispositivo oculopalpebral realista e esteticamente agradável, elas não conseguem fornecer a funcionalidade de um olho normal (OLSON et al., 2010).

O objetivo deste protótipo é a melhora estética facial, não sendo possível devolver a função do órgão perdido, mas com a funcionalidade de poder piscar. Desta forma, não há a necessidade de aplicação em pacientes neste momento de desenvolvimento, já que o objetivo deste projeto é desenvolver conceitos que possam evoluir para um produto totalmente funcional. Como requisitos de projeto, a prótese deve ser suficientemente leve e capaz de receber os componentes que farão o olho piscar.

Um estudo anterior (IMOTO, 2024) já havia desenvolvido um protótipo de prótese oculopalpebral que foi modelada com o olho fechado. Nesse caso a prótese foi modelada em silicone com os olhos fechados e um mecanismo seria colocado para fazer a abertura e fechamento do olho. Porém o silicone utilizado se mostrou frágil para essa geometria, além de não permitir a obtenção do movimento palpebral desejado (Figura 1).

Figura 1 - Prótese testada em silicone com olho fechado. Fonte: Imoto (2024)



Diante disso, realizaram-se estudos acerca de qual material seria ideal para a fabricação da prótese. Durante a Segunda Guerra Mundial, surgiram o látex líquido pré-vulcanizado, as resinas polivinílicas (PVC) e o acrílico, o que facilitou a confecção de próteses faciais para cobrir grandes defeitos faciais, obtendo bons resultados tanto estéticos quanto funcionais (GARCÍA et al., 2006). Por sua vez, o silicone é um material popular na maioria das próteses faciais devido à sua durabilidade, flexibilidade e biocompatibilidade, e pode ser facilmente fabricado

para parecer semelhante à pele (CACCIATORE; KONRATH, 2010). Desta forma, o material a ser utilizado deve possuir propriedades como alta elasticidade, para a movimentação da região palpebral, além de ter aparência parecida com a pele humana, possuir alta durabilidade e ser biocompatível.

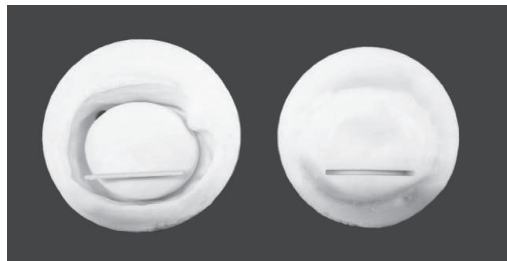
Primeiramente foi utilizado o látex Bi Centrifugado - Pré Vulcanizado, devido a sua alta elasticidade, porém após a realização de alguns testes, percebeu-se que esse material não curava em moldes feitos por manufatura aditiva, mais precisamente utilizando filamento de PLA. Para solucionar este problema foi testada uma recomendação do fornecedor, em que para moldes de resina, borracha de silicone, cimento, entre outros, devem ser passados em uma solução a 25% de cloreto de cálcio em álcool de cereais para que se forme uma película, pois nesses materiais não há absorção de água pelo molde como ocorre nos moldes de gesso.

O segundo teste foi realizado com o material PlatSil Gel 0020, uma borracha de silicone translúcida de cura por adição, com dureza de 20 na escala Shore 00, tendo alto rendimento e alta resistência ao rasgo, propriedade importante para a produção da prótese. Os primeiros testes se mostraram promissores tanto pela elasticidade do material quanto pela possibilidade em fazer uma “pálpebra fina”.

O molde foi impresso em filamento de PLA (Figura 2) e em seguida foi feita a moldagem em silicone com a mistura de 1:1 do PlatSil Gel 0020 recomendado pelo fabricante, o resultado obtido pode ser visto na Figura 3.

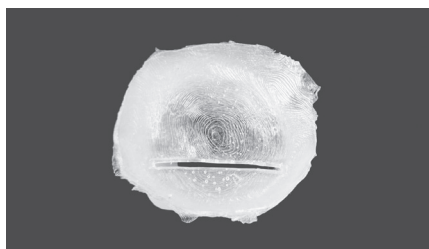
Os primeiros testes com o silicone foram realizados utilizando apenas espátula e tigela (bowl) para a mistura manual das partes A e B do silicone, o que resultava frequentemente na formação de bolhas no interior da prótese após o processo de cura (Figura 3). A presença de bolhas no interior do silicone utilizado em próteses faciais compromete tanto a aparência estética quanto a resistência mecânica do material. Irregularidades superficiais decorrentes dessas bolhas prejudicam a semelhança com a pele humana, enquanto cavidades internas funcionam como pontos de concentração de tensão, favorecendo trincas e rupturas. As bolhas prejudicam as próteses e diminuem a resistência à tração da prótese por constituírem defeitos volumétricos que fragilizam a estrutura (SILVA, 2019, p. 63).

Figura 2 - Molde para prótese de olho fechado impresso em PLA.



Fonte: Autoria Própria (2025)

Figura 3 - Prótese testada em silicone PlaSil 0020.



Fonte: Autoria Própria (2025)

Como a pálpebra confeccionada em silicone apresenta baixa rigidez e não suporta diretamente esforços mecânicos, tornou-se necessária a criação de uma estrutura rígida interna para viabilizar seu movimento. Essa estrutura deve ser anatomicamente compatível com a curvatura palpebral e permitir acoplamento a um mecanismo de movimentação capaz de reproduzir, de forma funcional e natural, o movimento de abertura e fechamento semelhante ao piscar humano.

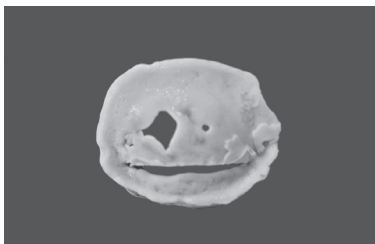
Diversos testes foram realizados para viabilizar o movimento da pálpebra. O primeiro utilizou um arame fino colado na extremidade da prótese, contudo, esse método não reproduzia de forma satisfatória o movimento natural do piscar humano. Para contornar essa limitação, foi desenvolvida uma “pálpebra” rígida inspirada nos mecanismos de abertura utilizados em robôs animatrônicos. Essa estrutura foi modelada no programa SolidWorks (Figuras 7 e 8) e produzida por manufatura aditiva, utilizando o material PLA.

Assim, criou-se uma base rígida que funciona como um “esqueleto” para a pálpebra. Seu formato foi projetado de acordo com a anatomia do olho do paciente, garantindo um encaixe preciso da peça de silicone sem deformações. Essa estrutura é colada à parte interna da pálpebra de silicone, permitindo que o movimento seja transmitido de forma eficaz e com fidelidade ao formato natural.

3. RESULTADOS

O teste com o látex Bi Centrifugado - Pré Vulcanizado, utilizando solução de 25% de cloreto de cálcio em álcool de cereais como agente de cura, demonstrou-se eficiente quanto à cura do material. No entanto, o desempenho final da prótese foi insatisfatório em relação aos requisitos de elasticidade e conformação anatômica. O resultado obtido apresentou rigidez excessiva e ausência de flexibilidade, características inadequadas para simular o movimento natural da pálpebra. Além disso, a aplicação da solução dificultou a formação de uma camada fina e uniforme, essencial para essa região, resultando em uma espessura inadequada e falhas de preenchimento. O látex não aderiu completamente às superfícies internas do molde, ocasionando zonas com ausência de material, como ilustrado na Figura 4.

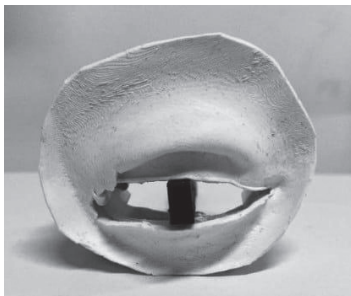
Figura 4 - Prótese testada em látex Bi Centrifugado.



Fonte: Autoria Própria (2025)

A substituição do material anterior pelo silicone PlatSil Gel 0020 solucionou os problemas de fragilidade inicialmente observados, especialmente os rasgos recorrentes na região palpebral, como ilustrado na Figura 5.

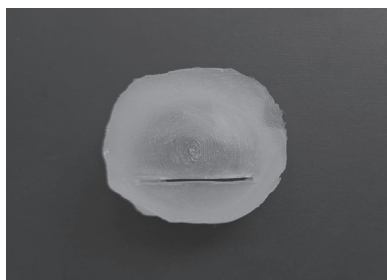
Figura 5 - Primeira versão da prótese com o olho aberto para visualização do movimento de piscada.



Fonte: Imoto (2024)

O novo silicone apresentou melhores propriedades mecânicas, com maior resistência ao rasgo e adequada flexibilidade, tornando-se mais compatível com as exigências funcionais da prótese. O resultado obtido com o uso do PlatSil Gel 0020 demonstrou maior integridade estrutural e fidelidade anatômica, conforme evidenciado na Figura 6.

Figura 6 - Prótese testada em silicone PlaSil 0020 livre de bolhas.

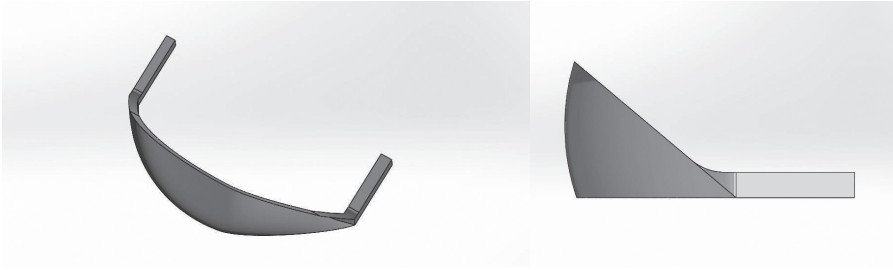


Fonte: Autoria Própria (2025)

Para solucionar o problema relacionado à formação de bolhas após a cura do silicone, foi empregado um misturador a vácuo para realizar o processo de degaseificação. Este procedimento consiste em submeter o silicone previamente misturado a um ambiente de pressão reduzida (vácuo) promovendo a expansão e consequente eliminação das bolhas de ar incorporadas à massa durante a homogeneização. Complementarmente, após a introdução do silicone ao molde, este foi posicionado sobre uma plataforma vibratória, com o objetivo de favorecer o deslocamento de eventuais bolhas residuais para a superfície, garantindo sua completa eliminação. A aplicação conjunta desses métodos resultou na obtenção de uma prótese com excelente qualidade superficial, livre de bolhas, conforme ilustrado na Figura 6.

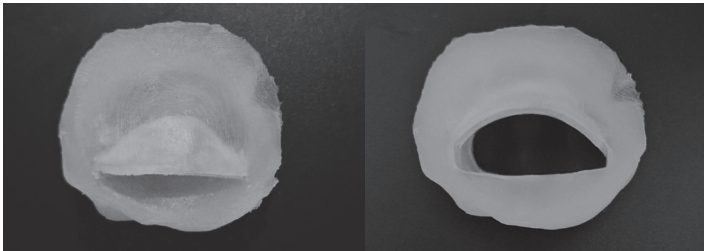
A base rígida, fabricada por meio de manufatura aditiva e projetada com base na anatomia do olho (Figura 7), foi fixada na face interna da prótese de silicone. Esse componente estrutural apresentou um resultado funcional satisfatório, permitindo que o movimento de abertura e fechamento da prótese se correlacionasse de forma mais fiel ao movimento palpebral humano. Durante os testes, verificou-se que a pálpebra de silicone acompanha de maneira satisfatória o deslocamento da base rígida, conferindo maior naturalidade ao movimento, conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 7 - Mecanismo de movimentação da pálpebra.



Fonte: Autoria Própria (2025)

Figura 8 - Prótese com o olho fechado (à esquerda) e aberto (à direita) para visualização do movimento de piscada.



Fonte: Autoria Própria (2025)

4. CONCLUSÕES

A confecção de próteses faciais possui um papel fundamental na reabilitação de pacientes afetados por deformidades na face. A utilização de próteses oculopalpebrais com movimento palpebral é de extrema importância para os pacientes que desejam um maior realismo para sua prótese.

Este estudo contribui para a pesquisa de materiais adequados à confecção de próteses oculopalpebrais, ao avaliar seu desempenho tanto em termos de resistência quanto de propriedades estéticas e funcionais. Além disso, oferece um novo direcionamento para a evolução das próteses oculopalpebrais, ao propor soluções que viabilizam a incorporação de movimento palpebral.

Este projeto é um estudo pioneiro na área de prótese oculopalpebral no Brasil, sendo necessários aprimoramentos de técnicas em estudos futuros. O próximo passo deste estudo é aprimorar a geração do molde para que ele represente fielmente a geometria da pálpebra em movimento. Além disso,

busca-se garantir a compatibilidade desse novo molde com o protótipo eletromecânico responsável pela sincronização do piscar.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação Araucária pelo apoio financeiro através do NAPI-TA (Novo Arranjo de Pesquisa e Inovação em Tecnologia Assistiva), à FAPEG e ao CNPq pela bolsa de produtividade em desenvolvimento tecnológico e extensão inovadora.

REFERÊNCIAS

CACCIATORE, J.; KONRATH, M.; MARZELLA, B.; MUSSER, M. *Blinking Orbital Prosthesis*. Wisconsin: University of Wisconsin - Madison. 2010.

GARCÍA, G. N.; PARRA, T. G. H.; JUÁREZ, M. A. S.; GÓMEZ, C. V.; POLO, T. R.; POLO, I. R. Prótesis maxilofacial: alternativa terapéutica para la recuperación integral del paciente con cáncer bucal. *Rev. Med. UV*. v.6, n.1, p.20-27, 2006.

GION, G.; TYLER, M. *Blinking Orbital Prosthesis*. BME, v. 200, p. 300, 2008.

IMOTO, S. P.; FOGGIATTO, J. A. *Desenvolvimento de Próteses Faciais utilizando Manufatura Aditiva e Modelagem 3D*. Relatório de Iniciação Tecnológica, 2024.

RODRIGUES, G. S.; RODRIGUES, . S.; OLIVEIRA, . C. D. . Reabilitação com Prótese Bucomaxilofacial: Revisão de Literatura. *REVISTA SAÚDE MULTIDISCIPLINAR, [S. l.]*, v. 5, n. 1, 2020.

SILVA, B. S.; MATTOS, T. C. B.; SHIOTA, E. A. M.; DIAS, S. T.; LEAL, C. M. B.; NICHTHAUSER, B. Reabilitação facial por meio de prótese oculopalpebral. *ARCHIVES OF HEALTH INVESTIGATION, [S. l.]*, v. 9, n. 6, p. 563–569, 2020.

SILVA, P. L. C. *Aplicação da impressão 3D e reconstrução digital no desenvolvimento de próteses maxilofaciais*. 2019. f. 98. Mestrado em Engenharia de Produção - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

VIEIRA, L. M. *Prótese oculopalpebral com captação de movimento palpebral: proposta de dispositivo mecânico*. 2016. 68p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências), Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.