

PROJETO E FABRICAÇÃO DE IMPLANTE DENTÁRIO COM LIGA NI-TI UTILIZANDO PROCESSO PLASMA SKULL PUSH-PULL

Dogivan Macêdo de Santana Junior, dogivanmsjunior@gmail.com¹

David Fernando de Medeiros, ddfernando@hotmail.com¹

Eduardo José Silva, eduardo.jose184@gmail.com²

Gabriel Fernando Vasques Barros, gabriel.fvbarros@gmail.com²

Igor Jordão Marques, igor.jordaom@ufpe.br²

Moisés Euclides da Silva Junior, juniormoisés7@hotmail.com¹

Rafael Silva de Santana, rafaelsdsantana@gmail.com²

Fillipe Stephany de Souza Virgolino, fsmecanica@gmail.com²

¹Centro Universitário Estácio do Recife, Av. Eng. Abdias de Carvalho, 1678 - Madalena, Recife - PE, 50720-635,

²Universidade Federal de Pernambuco, R. Acadêmico Hélio Ramos s/n, Cidade Universitária, Recife – PE, 50740-530.

Resumo. Os implantes dentários compreendem uma importante tecnologia para garantir qualidade de vida ao público que eventualmente apresenta perda de um ou mais dentes. Melhorias nos processos de fabricação e no design de implantes e próteses dentárias se mostram com potencial de grande impacto clínico e econômico no escopo da saúde pública. A substituição de tecnologias de manufatura subtrativa, como a usinagem, vem sendo visada em diversos segmentos, visando redução do desperdício de matéria prima, impacto ambiental e de custos. Neste trabalho foi realizada a confecção de componentes de implantes odontológicos de ligas de nitinol utilizando processo de fundição de precisão. Os modelos para confecção dos moldes de fundição foram confeccionados com impressão 3D em ABS e resina fotoativada. Simulação mecânica indicou que o projeto de sistema de implante proposto atende à solicitação mecânica referente ao serviço em que deve ser aplicado. A inspeção dimensional indicou que os modelos em resina fotoativada apresentam alta fidelidade e podem ser aplicados para fundição de precisão. As peças fundidas apresentaram defeitos típicos do processo de fundição, porém, os perfis íntegros apresentaram conformidade dimensional considerável em relação ao projeto, com apenas breve contração devido à solidificação.

Palavras chave: Fundição de precisão. Implante dentário. Nitinol

Abstract. Dental implants comprehend an important technology to ensure life and health quality to people whose left teeth. Improvements in manufacturing processes or design of such implants have high clinical and economic impact in public health scope. Subtractive manufacturing technologies substitution is desirable aiming the reduction of prime matter, environmental impact and manufacturing costs. In this work, nitinol alloy dental implant components were produced using precision casting process. 3D printing was used to produce the piece models of ABS and photoinitiated resin. Mechanical simulation indicated that the proposed implant system is able to be applied considering the expected service loads. Dimensional inspections indicated that the photoinitiated resin models show high fidelity to project dimensions and are able to be applied in mold confection for precision casting. The casting pieces exhibited casting process typical defects. However, the consolidated profiles shown considerable dimensional conformity comparing with its project, with just some contraction due solidification process.

Keywords: Precision casting, Dental implant, Nitinol

1. INTRODUÇÃO

A perda de dentes tem efeitos deletérios diversos na qualidade de vida dos indivíduos, desde questões nutricionais e de auto estima até em aspectos de comunicação (Haag et al., 2017; Rosing et al., 2019). Dados do censo de saúde bucal brasileiro de 2010 indicam prevalências médias de perda dental em 17,4%, 25% e 53,7% dos adolescentes, adultos e idosos, respectivamente (Peres et al., 2013). Frente a este cenário, os implantes dentários se configuram como uma solução para melhoria de qualidade de vida para pessoas que eventualmente tiveram um ou mais dentes perdidos ou danificados. As primeiras evidências de próteses dentárias são creditadas aos povos Maias, por volta de 600 após a era comum (Abraham, 2014). Com o passar dos anos, diversos aperfeiçoamentos tecnológicos foram propostos para aperfeiçoar estes implantes. Apesar do longo histórico da humanidade na aplicação de próteses ortodônticas, estas próteses ainda apresentam destacada importância no escopo da saúde. O Sistema Único de Saúde do Brasil aplicou 143037 implantes e

93022 próteses dentárias (Kinalski et al., 2020). Diante de tais informações, é possível afirmar que melhorias tecnológicas nos sistemas de próteses e implantes dentários estão interligadas à resolução de problemas de saúde pública relevantes.

A fabricação dos implantes dentários comerciais tipicamente se dá por técnicas de usinagem (Peng et al., 2016). A fabricação por usinagem se dá por processos diminutivos, resultando numa perda considerável de material prima. Os implantes dentários são tipicamente fabricados de titânio, devido a este material apresentar biocompatibilidade. Entretanto, o titânio é um metal com alto custo comercial, o que motiva a aplicação de tecnologias como a fundição e a manufatura aditiva como processos de fabricação para os implantes ortodônticos (Oliveira e Reis, 2019). A fundição de precisão se apresenta como uma tecnologia de fabricação com bons resultados para ligas de Ti (Suzuki, 1998) e com maior produtividade e custo de ferramental em relação à manufatura aditiva (Vevers et al., 2018). A fundição *Plasma Skull Push-Pull* (PSPP) se mostra como um processo de fabricação com características em comum com o processo de fundição por arco de plasma e o processo de moldagem de pós metálicos por injeção. Neste processo de fabricação, a carga metálica é fundida utilizando um arco de plasma térmico como fonte energética, numa câmara com atmosfera de Ar. O molde da peça em fabricação fica posicionado em uma outra câmara, sendo esta câmara em vácuo. Ao completar a fusão da carga metálica, o metal fundido é vertido e uma abertura entre a câmara de fusão e a do molde é liberada, de forma que o metal líquido é injetado no molde não apenas pela força gravitacional, mas também pelo gradiente de pressão entre as câmaras (de Araújo et al., 2009; de Brito Simões et al., 2015). A contribuição do diferencial de pressão na injeção do metal líquido no molde permite a aplicação do processo de fundição para obtenção de peças de menores dimensões, pois evita que eventual solidificação prematura prejudique o preenchimento adequado do molde de fundição. Vale destacar que, em processos de fundição, o projeto e confecção adequados dos modelos e moldes é essencial para a obtenção do produto desejado, visto que as características superficiais e dimensionais da peça final dependem diretamente das características do molde.

Não apenas modificações nos processos de fabricação, mas também nos materiais aplicados podem contribuir para a tecnologia de implantes dentários. Proposições de materiais de menor custo, maior resistência ao desgaste e propriedades mecânicas mais compatíveis com as dos ossos humanos são desejáveis para otimizar a eficiência e disponibilidade destes componentes. As ligas quasi-equiatómicas de Ni-Ti são propostas para aplicação em diversos sistemas. Dentre as propriedades destas ligas podemos destacar: boa biocompatibilidade, baixo módulo de elasticidade e possibilidade de apresentar propriedades como memória de forma e super elasticidade.

Além da importância da avaliação da aplicabilidade de diferentes processos de fabricação e ligas, a otimização no projeto dos implantes dentários também se mostra estratégica para o desenvolvimento de sistemas de implantes mais eficientes e de menor custo. No escopo do projeto mecânico, a simulação mecânica computacional se mostra como uma ferramenta prática e eficiente para previsão da aplicabilidade do projeto diante das solicitações em serviço.

Diante do exposto, o presente trabalho propõe analisar a viabilidade de produção de implantes dentários de nitinol utilizando tecnologia de fundição de precisão Plasma Skull Push-Pull (PSPP) e confecção de modelos por meio de impressão 3D.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizada a fabricação de três peças de um sistema de implante dentário: implante, pilar intermediário e parafuso. O projeto das peças foi realizado utilizando software CAD *Autodesk Inventor 2019*. A Figura 1 apresenta os croquis das peças projetadas, sendo a Figura 1(a) o projeto do implante, Figura 1(b) o pilar intermediário e Figura 1(c) o parafuso.

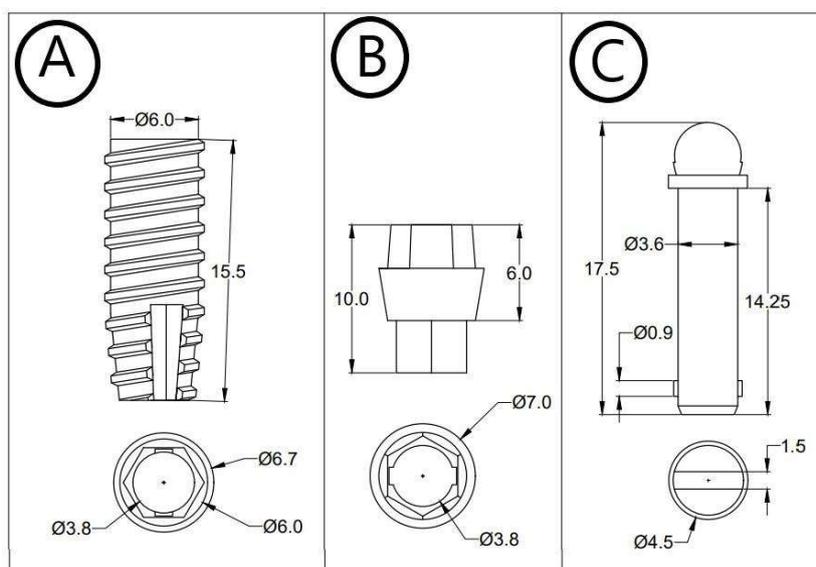


Figura 1. Croquis das peças do implante dentário projetado: (a) implante; (b) pilar intermediário; (c) parafuso.

Para verificar se o sistema proposto atende à principal solicitação mecânica imposta (mordida humana), foi realizada uma simulação mecânica por método dos volumes finitos. Foi considerado um modelo de aplicação de carga simples na geometria composta pela montagem das três peças do implante dentário. As propriedades físicas utilizadas se encontram na Tabela 1. As propriedades apresentadas na tabela foram coletadas nos trabalhos de Simões (2016), Gomes (2018) e Campista (2005). A simulação foi realizada utilizando o software *Autodesk Inventor 2019*. Na simulação foi adotada restrição de movimento na região inferior do implante e da rosca destes. Foi avaliado o efeito de uma carga de 99 kgf, a qual corresponde a intensidade máxima de uma mordida humana média (Nascimento et al., 2011). O ponto de aplicação da carga selecionado foi o contato superior do pilar intermediário, região que fica em contato com a coroa em implantes.

Tabela 1. Propriedades físicas da liga Ni-45,5%Ti utilizadas na simulação.

Propriedade	Valor
Módulo de Young (E)	49 GPa
Coefficiente de Poisson (ν)	0,34
Módulo de cisalhamento (G)	37,12 GPa
Densidade (ρ)	6,4 g/cm ³
Limite de resistência ao escoamento (σ_e)	1214 MPa
Limite de resistência à tração (σ_t)	1617 MPa

Para a realização do processo de fundição é necessário que os moldes utilizados conttenham canais de vazamento, pelos quais é realizada a condução do metal líquido. Neste trabalho, optou-se pela incorporação dos canais de vazamento nos modelos das peças fabricadas. A Figura 2 apresenta esquema das peças projetadas com os canais de vazamento adicionados.

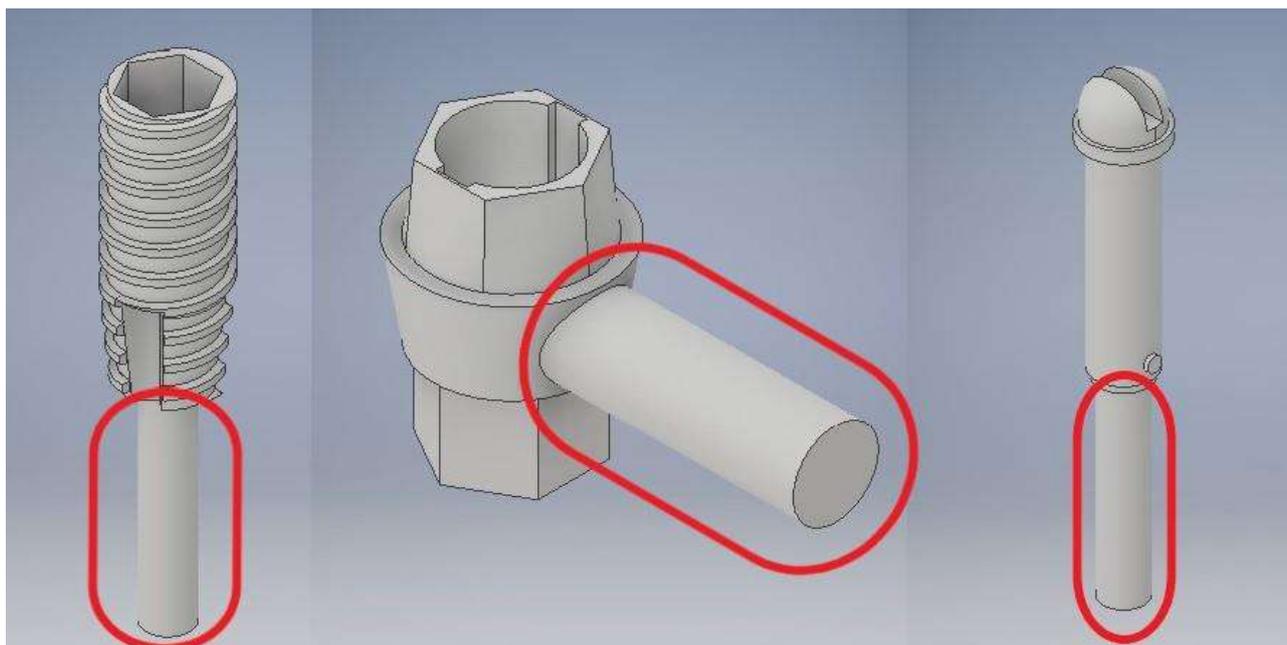


Figura 2. Esquemas das peças projetadas com adição dos canais de vazamento, destacados por indicações em vermelho.

Os modelos das peças obtidas foram confeccionados utilizando impressão 3D. Duas impressoras 3D distintas foram utilizadas: *MakerBot Replicator 2X* para impressões de modelos em ABS e *Anycubic Photon 3D* para impressão de modelos utilizando resina polimérica fotoativada.

Os moldes para fundição foram confeccionados utilizando mistura cerâmico à base de quartzo e feldspato envolto de corpo de silicone. Foi utilizada a mistura comercial *Talmax Microfine 1700*, seguindo as instruções do fabricante para aplicação do material, seguindo etapas de: mistura, secagem em temperatura, e sinterização em forno tipo mufla. Houve apenas uma variação da temperatura inicial de inserção do molde no forno: para o ABS o forno foi pré-aquecido em 750 °C e para a resina fotoiniciada o pré-aquecimento foi em 300 °C, para evitar queima pré-matura da resina.

A fundição foi realizada utilizando como material de partida lascas de Ni e Ti metálicos. Foi feita pesagens dos teores de cada um destes metais a fim de obter uma composição com porcentagens em peso de 54,5% Ni e 45,5 Ti. A fundição foi realizada utilizando o forno à plasma *EDG Discovery Plasma*. A descontaminação da atmosfera interior do forno foi realizada com aplicação de vácuo seguida de purga de argônio. A fundição foi realizada em duas etapas: uma para confecção de pastilhas homogêneas de nitinol e outra para a fabricação das peças desejadas. Após a fundição, foi feita a

remoção do molde e dos canais de vazamento foi realizada utilizando serra de precisão com disco diamantado. Foi feita inspeção dimensional tanto das peças fabricadas quanto dos modelos utilizando paquímetro, micrometro e projetor de perfil.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta o resultado da análise de tensão obtido com a simulação mecânica realizada na montagem do conjunto de peças projetado, sendo a Figura 3(a) uma visão geral do resultado da simulação e a Figura 3(b) a vista enfatizando a região com maior concentração de tensões. Foi possível verificar concentrações de tensão da ordem de 540 MPa nos vértices da região superior do pilar intermediário, além de tensões de até 200 MPa na região superior da rosca do implante. Em nenhuma região foi verificado o desenvolvimento de tensões da ordem de grandeza do limite de escoamento do material, indicando, portanto, que o projeto é adequado para resistir à solicitação mecânica imposta durante uma mordida. A simulação mecânica calculou ainda um deslocamento máximo da ordem de 0,01 mm na região de maior concentração de tensão. Foi verificado que há uma acomodação do deslocamento ao longo do sistema, o que reduz o que pode aliviar a sobrecarga devido à diferença de acomodação de tensão do implante em relação aos componentes biológicos originais. Vale salientar ainda que o módulo de Young do nitinol tem valor em cerca de metade do valor do módulo de Young do titânio comercialmente puro, o que contribui para que o sistema de implante acomode uma parcela maior da deformação.

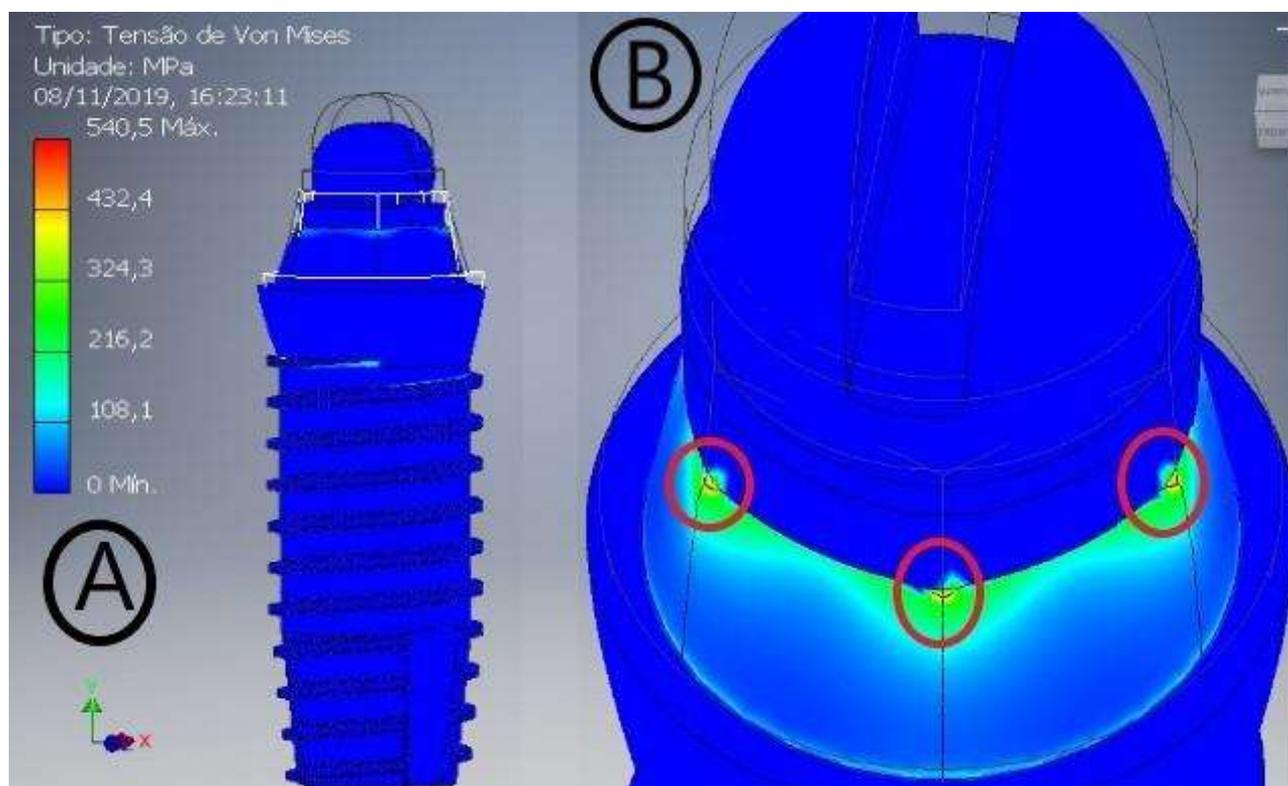


Figura 3. Representação gráfica do resultado da simulação mecânica de aplicação de carga sobre a montagem do conjunto de peças do implante. (a) visão geral da distribuição de tensões; (b) detalhe na região com maior concentração de tensões.

As confecções dos modelos de fundição em ABS e resina fotoiniciada apresentaram resultados significativamente diferentes na qualidade dos modelos. A Figura 4 apresenta os melhores resultados obtidos para os modelos impressos em ambos os materiais. Os modelos impressos em ABS apresentaram grande quantidade de defeitos e sobreposição das camadas de polímero visível, de forma que resultou em grande rugosidade superficial. Os defeitos de fundição implicaram ainda em dificuldade no ajuste da montagem do sistema. Os modelos impressos em resina fotoiniciada se apresentaram isentos de defeitos e tiveram alta qualidade superficial (baixa rugosidade). Tanto as superfícies externas como as internas se apresentaram isentas de defeitos. A inspeção dimensional indicou que as peças apresentavam precisão dimensional da ordem de centésimo de milímetro em relação às dimensões de projeto, indicando que a impressão 3D em resina fotoiniciada é um processo de fabricação aplicável para confecção de modelos para fundição de precisão.

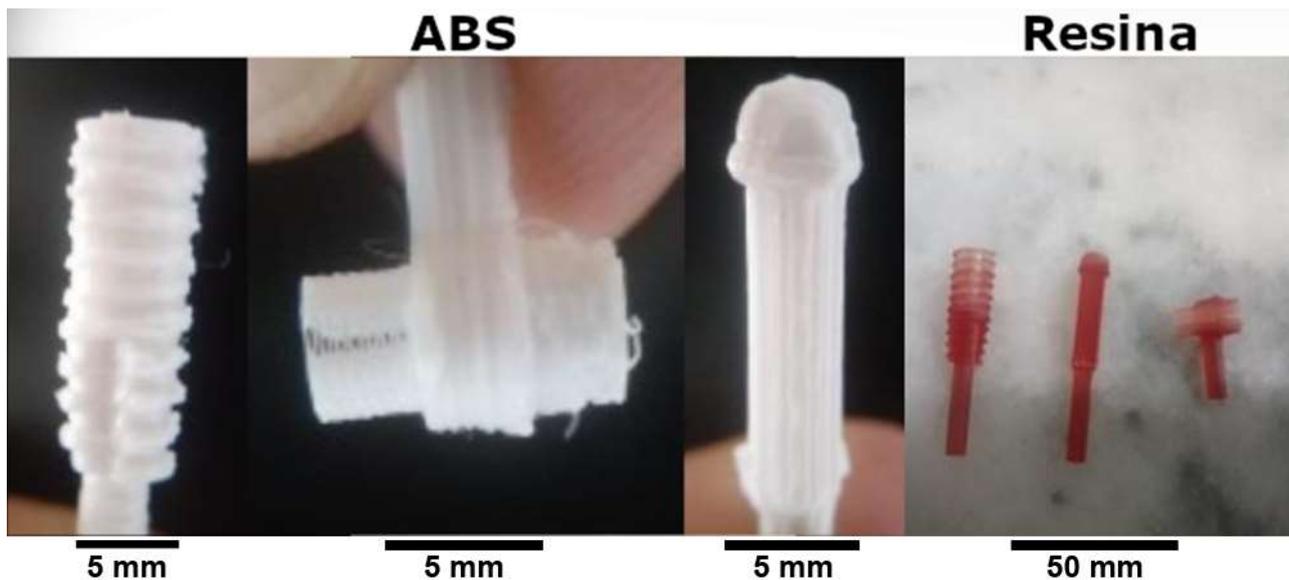


Figura 4. Modelos obtidos por impressão 3D em ABS e resina fotoiniciada.

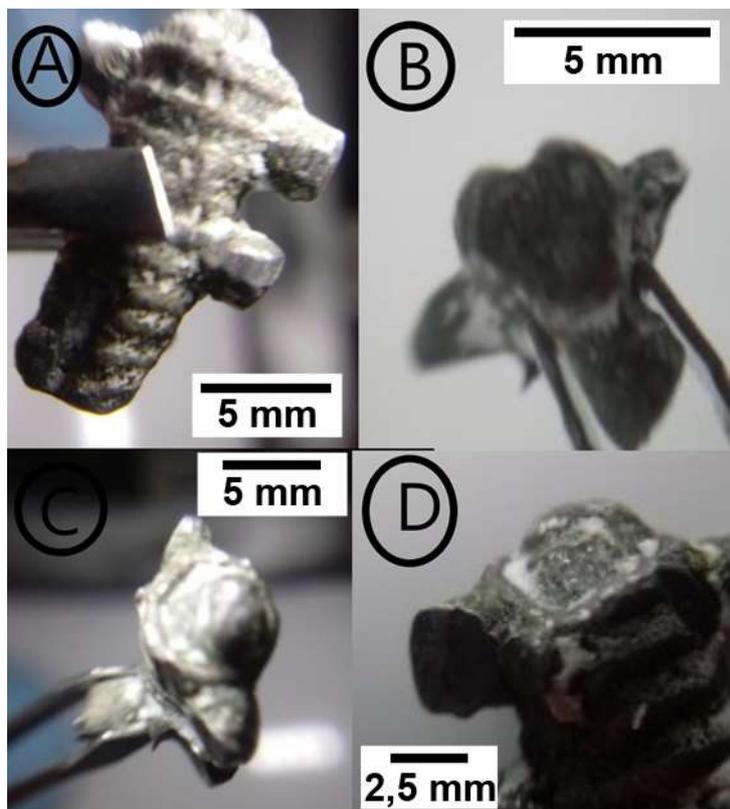


Figura 5. Implante resultantes do processo de fundição: (a) visualização da rosca do implante; (b) visualização da base do sistema de fresa; (c) visualização sextavado com ausência de cavidades; (d) formação de rechupe.

As diferentes peças fundidas apresentaram resultados de qualidade significativamente distintos. Diversos perfis não foram desenvolvidos conforme o projetado durante o processo de solidificação. A peça que apresentou maior dificuldade de produção foi o pilar intermediário, em que apenas o perfil do sextavado apresentou aspecto semelhante ao projetado. O implante foi a peça com maior fidelidade dos perfis formados em relação ao projeto, entretanto, alguns defeitos de fundição ocorreram como rechupe e preenchimento de cavidades. A Figura 5 mostra o implante obtido pelo processo de fundição. A inspeção dimensional das peças resultantes de fundição indicou conformidade de alguns perfis com o projeto, presença de diversos perfis com dimensão inferior à projetada, devido à contração do metal durante a solidificação e alguns perfis sem possibilidade de medição, devido a não terem sido formados integralmente. Vale salientar que estas medições foram feitas após remoção dos canais de vazamento apenas, e, considerando que as maiores discrepâncias foram

da ordem de 0,08 mm, é possível afirmar que o processo de fundição realizado apresenta potencial para produção de componentes próximos à forma final. Tipicamente os processos de fundição apresentam etapa de acabamento por usinagem para melhoria do acabamento superficial do produto, logo os resultados obtidos se mostraram promissores. Há expectativa de obtenção de peças com alta fidelidade ao projeto mediante de otimização dimensional do modelo e do sistema de vazamento de metal líquido.

4. CONCLUSÕES

Simulação por método dos volumes finitos indicou que o projeto de sistema de implante dentário proposto apresentou viabilidade para aplicação em termo de aplicação de carga estática. Foi verificado que a impressão 3D em resina fotoativada é um método com potencial de obtenção de modelos de alta fidelidade aplicáveis à fundição de precisão. A fundição de precisão de nitinol para obtenção das peças projetadas apresentou dificuldade na obtenção do produto desejado, entretanto, a inspeção dimensional dos componentes indicou uma boa fidelidade dimensional dos perfis consolidados em relação ao projeto.

5. REFERÊNCIAS

- Abraham, C.M., 2014. A Brief Historical Perspective on Dental Implants, Their Surface Coatings and Treatments. *The Open Dentistry Journal*, Vol. 8, p. 50–55.
- de Araújo, C.J., Gomes, A.A.C., Silva, J.A., Cavalcanti, A.J.T., Reis, R.P.B., Gonzalez, C.H., 2009. Fabrication of shape memory alloys using the plasma skull push–pull process. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 209, p. 3657–3664.
- de Brito Simões, J., Pereira, F.F.R., Otubo, J., de Araújo, C.J., 2015. Influence of Heat Treatments on a NiTi Shape Memory Alloy Obtained Using Vacuum Induction Melting and Reprocessed by Plasma Skull Push-Pull. *MRS Proceedings*, Vol. 1765, p. 121–126.
- Campista, C.S., 2005. *Comportamento mecânico de ligas com efeito memória – relação do processamento termomecânico com a eficiência em tratamento ortodôntico*. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Metalúrgica e de Materiais). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Gomes, A.A.C., 2018. *Desenvolvimento de uma placa de fixação óssea utilizando liga com memória de forma Ni-Ti*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- Haag, D.G., Peres, K.G., Brennan, D.S., 2017. Tooth loss and general quality of life in dentate adults from Southern Brazil. *Quality of Life Research*, Vol. 26, p. 2647–2657.
- Kinalski, M. de A., Pires, A.L.C., Saporiti, J.M., Santos, M.B.F. dos, 2020. Dental implant therapy in the Brazilian Public System: an overview of the last decade. *Brazilian Journal of Oral Sciences*, Vol. 19, p. e200126.
- Nascimento, G., Lima, L.M. de, Rodrigues, C.B. da S., Cunha, R.A. da, Cunha, D.A. da, Silva, H.J. da, 2011. Verificação da força de mordida e da atividade elétrica dos músculos masseteres durante a mastigação em laringectomizados totais. *Rev. Bras. Odontol., Rio de Janeiro*, Vol. 68, p. 175–9.
- Oliveira, T.T., Reis, A.C., 2019. Fabrication of dental implants by the additive manufacturing method: A systematic review. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol. 122, p. 270–274.
- Peng, W., Xu, L., You, J., Fang, L., Zhang, Q., 2016. Selective laser melting of titanium alloy enables osseointegration of porous multi-rooted implants in a rabbit model. *BioMedical Engineering OnLine*, Vol. 15, p. 85.
- Peres, M.A., Barbato, P.R., Reis, S.C.G.B., Freitas, C.H.S. de M., Antunes, J.L.F., 2013. Perdas dentárias no Brasil: análise da Pesquisa Nacional de Saúde Bucal 2010. *Revista de Saúde Pública*, Vol. 47, p. 78–89.
- Rosing, K., Christensen, L.B., Øzhayat, E.B., 2019. Associations between tooth loss, prostheses and self-reported oral health, general health, socioeconomic position and satisfaction with life. *Journal of Oral Rehabilitation*, Vol. 46, p. 1047–1054.
- Simões, J.B., 2016. *Fabricação de componentes miniaturizados de ligas com memória de forma NiTi usando a fundição de precisão*. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais). Universidade Federal de Campina Grande, João Pessoa.
- Suzuki, K., 1998. The high-quality precision casting of titanium alloys. *JOM*, Vol. 50, p. 20–23.
- Vevers, A., Kromanis, A., Gerins, E., Ozolins, J., 2018. Additive Manufacturing and Casting Technology Comparison: Mechanical Properties, Productivity and Cost Benchmark. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, Vol. 55, p. 56–63.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.