

DIMAS JOÃO RODRIGUES NETO

**CARACTERIZAÇÃO DA INTERFACE ENTRE CILINDROS DE PILARES  
DE IMPLANTE E LIGAS FUNDIDAS DE Co-Cr COM DIFERENTES  
TÉCNICAS DE FUNDIÇÃO**

Tese apresentada como requisito para  
obtenção do grau de Doutor pelo Programa de  
Pós-Graduação em Odontologia da Faculdade  
de Odontologia da Pontifícia Universidade  
Católica do Rio Grande do Sul

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Rolim Teixeira

PORTO ALEGRE

2017

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL E REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>13</b>
<b>2.MANUSCRITO1.....</b>	<b>17</b>
<b>3. MANUSCRITO 2.....</b>	<b>56</b>
<b>4. DISCUSSÃO GERAL.....</b>	<b>77</b>
<b>5. CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>81</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>82</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>86</b>

## RESUMO

Para um bom desempenho clínico, cilindros de pilares pré fabricados de Co-Cr devem apresentar compatibilidade metalúrgica a ligas de sobrefusão a base de Co-Cr. Uma interface uniforme com adequada união e resistência, com ausência de reação interfacial e porosidades devem ser obtidas. O presente estudo, *in vitro*, objetivou através do manuscrito 1 avaliar a compatibilidade metalúrgica na interface entre cilindros pré fabricados de Co-Cr e ligas para sobrefusão de Co-Cr com diferentes técnicas de fundição. No manuscrito 2, foi avaliado a compatibilidade metalúrgica e a interface entre cilindro de implante e ligas para sobrefusão de Co-Cr com diferentes temperaturas de fusão. **Metodologia:** Três cilindros pré-fabricados para prótese sobre implantes em Co-Cr (Neodent, Pi-Brånemark, Dentium) foram sobrefundidos com liga de Co-Cr com diferentes técnicas de fundição (Maçarico, Indução/centrifugação, Indução/vácuo). Microscopia óptica e Microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram usadas para caracterização das microestruturas. A composição elemental dos cilindros e características de difusão na região interfacial entre liga fundida e cilindro foram determinadas através de espectroscopia por energia dispersiva (EDS). Microdureza de Vickers foi aplicada na interface, cilindro e liga fundida. Foi aplicado o teste de ANOVA e Tukey para avaliação dos valores microdureza. No manuscrito 2, cilindros a base de Co-Cr foram sobrefundidos com ligas com diferentes temperaturas de fusão e foi realizada toda análise microestrutural e testes de microdureza. **Resultados:** No manuscrito 1 observou-se microestruturalmente uma união entre cilindros pré fabricados e ligas a base de Co-Cr. Foi obtida uma interface ideal com ausência de reação interfacial ou porosidades significantes com a fundição com as técnicas por indução (centrifugação e vácuo), porém excesso de porosidades e falhas foram observados com a técnica de fundição à maçarico. No manuscrito 2 observou-se uma união microestrutural entre as ligas e o cilindro avaliado, evidenciando que tanto liga de alta fusão, quanto de baixa fusão apresentam compatibilidade ao cilindro de Co-Cr. Valores de microdureza, tanto no manuscrito 1 como no manuscrito 2 também comprovaram a formação de uma interface satisfatória. **Conclusões:** Concluiu-se através do manuscrito 1 e 2 que ligas de alta e baixa temperatura de fusão a base de Co-Cr apresentam compatibilidade metalúrgica a cilindros pré fabricados de Co-Cr apresentando uma interface ideal. Porém, a técnica de fundição aplicada é relevante, sendo que a técnica à maçarico se mostra a menos indicada devido a falta de padronização dos resultados obtidos.

**Palavras-chave:** Fundição Odontológica; Ligas Odontológicas; Co-Cr Ligas; Implantes Dentários; Pilares Protéticos

## ABSTRACT

For a satisfactory clinical performance, pre-fabricated Co-Cr cylinders must have metallurgical compatibility to Co-Cr based cast alloys. A uniform interface with adequate union and resistance, with absence of interfacial reaction and porosities must be obtained. The present *in vitro* study aimed to evaluate the metallurgical compatibility at the interface between pre-fabricated Co-Cr cylinders and alloys for Co-Cr compound casting applying different casting techniques. In manuscript 2 the metallurgical compatibility and the interface between implant and alloy cylinders were evaluated for Co-Cr casting with different melting temperatures. **Methodology:** Three pre-fabricated Co-Cr prosthetic implant cylinders (Neodent, Pi-Brånemark, Dentium) were subjected to casting with Co-Cr alloy using different casting techniques (Flame Torch, Induction / Centrifugation, Induction / Vacuum). Optical microscopy and Scanning Electron Microscopy (SEM) were used to characterize the obtained microstructures. The elementary composition of the cylinders and diffusion characteristics in the interfacial region between molten alloy and cylinder were determined by dispersive energy spectroscopy (EDS). Vickers microhardness was measured at interface, cylinder and cast alloy. The ANOVA and Tukey test were used to evaluate microhardness values. In the manuscript 2 cylinders based on Co-Cr were overfused with alloys with different melting temperatures and all microstructural analysis and microhardness tests were performed. **Results:** In the manuscript 1 a union between pre-fabricated cylinders and Co-Cr based alloys was observed microstructurally. An ideal interface was obtained with absence of interfacial reaction or significant porosities with the casting with the induction techniques (centrifugation and vacuum), but excess of porosities and failures were observed with the Torch casting technique. In manuscript 2 a microstructural bond was observed between the alloys and the cylinder, evidencing that both high melt alloy and low melt alloy presented compatibility with the Co-Cr cylinder. Microhardness values, both in manuscript 1 and in manuscript 2 also proved to form a satisfactory interface. **Conclusions:** It was concluded from manuscript 1 and 2 that both high and low melt temperature Co-Cr have metallurgical compatibility to pre-fabricated Co-Cr cylinders, showing an ideal interface. However, the technique of casting applied is relevant, and the torch technique has been shown to be less indicated due to the lack of standardization of the obtained results.

**Keywords:** Dental Casting Techniques; Dental Alloys; Co-Cr dental alloys; Dental Implants; Dental Abutments

# 1. INTRODUÇÃO GERAL E REVISÃO DE LITERATURA

Os implantes dentários permitiram, em conformidade com o sistema estomatognático, devolver características funcionais e estéticas para pacientes edêntulos e parcialmente edêntulos, e o sucesso clínico tem sido reportado na literatura.<sup>1-3</sup> Dessa forma, pesquisas tem sido voltadas às técnicas, materiais, desenhos e indicações destes implantes que possam otimizar ainda mais seu comportamento biomecânico e seus componentes protéticos.<sup>4</sup>

A diversidade de desenhos, tanto dos implantes como dos pilares protéticos, tem garantido resultados significativamente melhores no uso de próteses implantossuportadas. Nesse aspecto, a união do pilar protético ao implante e do pilar a superestrutura protética tem papel fundamental na obtenção de sucesso, sendo que a adaptação passiva dessas estruturas previnem a ocorrência de estresses compressivos e tensionais deletérios a osseointegração, bem como previnem o afrouxamento ou fratura de implantes e componentes.<sup>3-5</sup>

Cilindros com bases usinadas ou totalmente calcináveis são amplamente utilizados para confecção de restaurações implantossuportadas. Sendo que, os cilindros usinados apresentam melhores adaptações aos totalmente calcináveis pelo fato dos calcináveis serem obtidos por meio de fundição de outros metais, podendo apresentar desajustes protéticos decorrentes desse processo.<sup>8-13</sup>

Quando da utilização de um cilindro com base usinada para sobrefundição, que posteriormente será sobrefundido com outra liga metálica, essa técnica é denominada na indústria metalúrgica como “Compound Casting”, na qual consiste na formação de uma interface com uma zona de difusão da liga em estado líquido sobre a outra liga em estado sólido, ou seja, uma zona de transição de um metal ao outro.<sup>14-16</sup> Para a utilização da técnica, é necessário que a liga fundida escolhida respeite as propriedades térmicas do cilindro usinado. A temperatura de fundição do cilindro deve ser maior do que a da liga fundida para que não sofra deformação durante o processo de fundição e até mesmo durante o processo eliminação da cera, evitando assim problemas de alterações estruturais e desadaptações.<sup>17,22</sup>

Com a união da liga do cilindro usinado à liga fundida, será obtido uma estrutura composta por duas ligas estruturalmente diferentes, torna-se importante respeitar todo o processo de obtenção dessa estrutura pois procedimentos laboratoriais

como técnica de fundição e tipo de liga utilizada, podem alterar significativamente o desempenho mecânico da infraestrutura protética. Para a obtenção de resultados mecânicos satisfatórios, é fundamental que exista compatibilidade metalúrgica entre as ligas envolvidas para que não haja falha mecânica e alterações biológicas periimplantares da prótese implantossuportada.<sup>18-20</sup>

Critérios de uma interface ideal foram descritos na literatura entre liga usinada e liga fundida nas próteses implantossuportadas: Microestrutura do cilindro do implante e da liga de fundição mantidas até o nível da interface; Regiões de reação interfacial e porosidades devem estar ausentes; Deve existir adesão interfacial suficiente entre as duas ligas para resistir as cargas mastigatórias.<sup>19</sup>

Encontra-se disponível na literatura algumas pesquisas evidenciando a existência de compatibilidade metalúrgica entre cilindros usinados em ligas nobres e sobrefundidos com ligas nobres, porém esse processo acarreta num aumento substancial do custo final da restauração protética, devido aos valores mais elevados tanto dos componentes protéticos pré-fabricados para implantes quanto as ligas nobres utilizadas.<sup>18, 20, 26</sup>

Ligas alternativas tem sido sugeridas para serem utilizadas em substituição ao ouro, porém mantendo suas propriedades mecânicas, e diminuindo significativamente o custo final da restauração.<sup>17,21,22,23,25,30</sup> Um exemplo desta é a liga de cobalto-cromo (Co-Cr), que devido as suas propriedades de alto módulo de elasticidade, biocompatibilidade, resistência a corrosão, baixo peso específico e baixo custo, as ligas de Co-Cr foram propostas para a confecção de próteses implantossuportadas e tem sido amplamente utilizadas nas reabilitações protéticas.<sup>23,24,25</sup> Uma desvantagem a respeito das propriedades físicas citadas na literatura a respeito das ligas de Co-Cr é que na maioria das vezes elas apresentam altas temperaturas de fusão e a manipulação em laboratório (como fundição, polimento e acabamento) dessas ligas é difícil quando comparada a outras.<sup>25</sup>

Sabendo da compatibilidade metalúrgica entre metais nobres,<sup>18,20,26</sup> também encontra-se resultados evidenciando que nem todos os metais são compatíveis durante a sobrefundição, um exemplo desses é resultado da pesquisa de Carr e Brantley<sup>20</sup> que relataram que o titânio quando sobrefundido em cilindros de ligas nobres são incompatíveis.<sup>19</sup> Em relação as ligas de Co-Cr e sua devida compatibilidade entre cilindro e liga fundida, apenas a pesquisa de Ozkomur et al<sup>17</sup> relata que cilindros pré-fabricados em Co-Cr sobrefundidos com ligas em Co-Cr em temperaturas ideais

apresentam compatibilidade e cumprem todos os requisitos de uma interface ideal,<sup>19</sup> o autor encoraja o uso da técnica como substituto a ligas nobres.

A mistura de mais de 2 ou mais metais ou entre metais e não metais formam uma liga fundida, ou seja, incorpora-se elementos que possuem determinadas características melhorando assim o desempenho do metal principal.<sup>14</sup> Ligas são utilizadas em odontologia ao invés de metais puros porque metais puros na sua essência não possuem as propriedades físicas apropriadas para desempenhar as funções exigidas na cavidade bucal.<sup>27</sup> Por exemplo, a resistência a tração do ouro puro é de 105Mpa, adicionando 10% de Cobre, essa resistência aumenta para 395Mpa.<sup>27,28</sup> Alguns metais como Cromo (Cr), Molibidênio (Mo), Nióbio (Nb), Tungstênio (W), Gálio (Ga), Berílio (Be) são adicionados as ligas para melhorar ainda mais as propriedades físicas e biológicas da liga para exercerem determinadas funções. Assim, as ligas são criadas para as mais diversas situações proporcionando características físicas e biológicas adequadas que são requeridas para o uso em próteses odontológicas.<sup>25</sup>

Ligas a base de Co-Cr possuem em sua composição, aproximadamente 60% de Co, que confere a liga adequada rigidez e resistência mecânica, e 20 a 30% de Cr vão conferir a liga resistência a oxidação e corrosão.<sup>25,27,29,31</sup> Além dos principais elementos que nomeiam a liga de Co-Cr, o Mo ou W são adicionados para conferir resistência mecânica adicional e ao mesmo tempo melhorar a resistência a corrosão. Outros componentes Como Ga e Nb são adicionados afim de promover fluidez, controlar expansão térmica e modificar as características de oxidação da liga, favorecendo a futura união à cerâmica. Pode-se encontrar também o elemento Ga em algumas ligas, que tem como função refinar os grãos da liga.<sup>31</sup>

Há no mercado atual variações nos componentes dessas ligas, conseqüentemente ligas com diferentes propriedades, como por exemplo a temperatura de fusão.<sup>23,24,25</sup> Clinicamente, o conhecimento aprofundado dessas propriedades é importante quando trata-se da união entre dois metais em estados diferentes, “compound casting”, para que a temperatura de fusão de um não altere as propriedades do outro.<sup>26</sup>

Para obtenção de infraestruturas metálicas em odontologia, a fundição, pelo método da cera perdida, é um método comumente utilizado<sup>31</sup> e a técnica de fundição aplicada pode alterar as propriedades das ligas envolvidas.<sup>33-38</sup> A técnica que apresenta maior variação nos padrões de fundição é a fundição à maçarico, na qual é

justificada por ser realizada em ambiente não controlado, onde os metais são expostos a gases e elementos deletérios da atmosfera (nitrogênio, oxigênio...) podendo influenciar negativamente nas propriedades mecânicas e a qualidade da interface devido a formação de porosidades.<sup>39,40</sup> Quando da utilização de outras técnicas com outras fontes de calor como a indução elétrica, em ambiente controlado, a contaminação da liga é reduzida e a máquina ainda apresenta a vantagem de controle da temperatura de fundição, havendo maior padronização do procedimento otimizando os resultados.<sup>40-42</sup>

Metodologias com o uso de MEV são utilizadas para uma avaliação das microestruturas e fases obtidas durante a fundição, além de uma avaliação da qualidade da interface obtida. A confirmação da difusão e a compatibilidade metalúrgica entre elementos das duas ligas envolvidas no processo é comumente aferida através do uso de Line Scan EDS.<sup>17,18,20,26</sup> Formação de região interfacial e porosidades podem ser causadas por fundições em altas temperaturas e com técnicas inadequadas ocasionando corrosão e degradação da união entre a liga e o cilindro de implante.<sup>26</sup>

Diante da variedade de técnicas de fundição e variedade de ligas de Co-Cr disponíveis atualmente, o objetivo desse experimento *in vitro* é avaliar a compatibilidade metalúrgica na interface entre cilindros pré-fabricados de Co-Cr e ligas para sobrefundição de Co-Cr. No manuscrito 1, avaliou-se a compatibilidade metalúrgica e a influência de técnicas de fundição na qualidade da interface obtida. No manuscrito 2, avaliou-se a compatibilidade metalúrgica na interface entre os cilindros e ligas sobrefundidas com diferentes temperaturas de fusão.

## 5. CONCLUSÕES GERAIS

Dentro das limitações desse estudo *in vitro*, com base nos achados nos dois estudos, concluiu-se que:

1 - Ligas de Co-Cr com alta e baixa temperatura de fusão apresentam compatibilidade metalúrgica a cilindro pré fabricado de prótese implantossuportada de Co-Cr, pois apresentaram critérios de uma interface ideal.

2- A técnica de fundição é um fator relevante na obtenção de uma interface ideal, sendo que a técnica à maçarico se mostra a menos indicada e com maior variabilidade dos resultados.

3- Técnica de fundição por indução por centrifugação e técnica de fundição à vácuo se mostraram com resultados muito semelhantes e ambas apresentaram a formação de uma interface ideal.