

ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DO Nb NA ÁREA DE BIOMATERIAIS

SUELLEN M. FERREIRA¹, DANIELE M. B. FALCONE¹.

1. Instituto Federal de Ciências, Educação e Tecnologia de São Paulo – Campus Piracicaba
Rua Diácono Jair de Oliveira, 1005 - Santa Rosa CEP 13414-155 - Piracicaba - SP
E-mails: matias.f.suellen@gmail.com, dani_falcone@yahoo.com.br

Resumo—Os biomateriais são peças importantíssimas na sociedade atual. Estes foram desenvolvidos com o objetivo de substituir partes do corpo humano, ou seja, possuem o objetivo de suprir a falta de matéria viva. Advindos de forma artificial, suas propriedades lhe conferem amplo espectro de atuação. O Brasil possui, hoje, a maior reserva mundial de Nióbio, detendo em seu território cerca de 98% destas. Porém o potencial deste elemento ainda é pouco conhecido em áreas de trabalho como a Medicina, estando atualmente concentrado como componente em ligas para produção de aços especiais utilizados em tubos de gasodutos. Associados esses fatores, este projeto tem como objetivo o estudo das propriedades referentes ao nióbio e se estas satisfazem as características que são requisitadas por um biomaterial, comprovando ou não a viabilidade do uso deste como biomaterial em áreas de especialidades médicas. Para tal, foi realizada revisão bibliográfica através da análise e avaliação de artigos científicos, livros revistas e sites da área de medicina. Os resultados obtidos indicam a viabilidade do uso de Nióbio de forma que este já possui algumas aplicações na área, porém o material deve ser associado a outros na formação de ligas, afim de possuir as propriedades necessárias.

Palavras-chave—Biomateriais; Biotribologia; Ensaios Mecânicos; Próteses.

Abstract—Biomaterials are very important pieces in today's society. These were developed with the purpose of replacing parts of the human body, that is, have the purpose of supplying the lack of living matter. Artificially made, its properties give it a broad spectrum of performance. Brazil now has the largest Niobium reserve in the world, holding in its territory about 98% of these. However, the potential of this element is still little known in areas of work such as Medicine, which is currently concentrated as a component in alloys for the production of special steels used in pipelines. The objective of this project is to study the properties related to niobium and whether they satisfy the characteristics required by a biomaterial, whether or not it is feasible to use biomaterial in areas of medical specialties. For this, a bibliographical review was performed through the analysis and evaluation of scientific articles, periodicals and medical sites. The results indicate the feasibility of using Niobium so that it already has some applications in the area, but the material must be associated with others in the formation of alloys, in order to possess the necessary properties.

Keywords—Biomaterials; Biotribology; Mechanical tests; Prostheses.

1 Introdução

Os biomateriais são peças importantíssimas na sociedade atual e foram desenvolvidos para a área da saúde com o objetivo de substituir partes do corpo humano, ou seja, tem o objetivo de suprir a falta de matéria viva. Seu uso representa uma grande evolução na Medicina, na Engenharia e nas áreas de Tecnologia. Advindos de forma artificial, suas propriedades lhes conferem amplo espectro de atuação. Sabe-se que seu uso vem desde a antiguidade e que à medida que a pesquisa e a exploração cresceram, o uso de novos materiais que atendem a essas expectativas foi sendo implementado (ORÉFICE et al., 1998).

Este trabalho tem como foco a pesquisa sobre a viabilidade de utilização do Nióbio na área de biomateriais, especificamente, analisando suas propriedades e verificando se estas são compatíveis com as necessidades requeridas pela área.

Um dos objetivos deste estudo foi a busca de conhecimento sobre campos de atuação mais abrangentes para o

Nióbio já que este se encontra em abundância em território nacional (o Brasil é detentor de cerca de 98% das reservas mundiais).

O presente trabalho será feito com base em uma avaliação bibliográfica, tanto em meio físico como eletrônico através da consulta à artigos científicos, livros, revistas da área médica e de inovação em engenharia, a fim de estabelecer uma base de dados que servirá para a elaboração deste trabalho.

Deste modo, a proposta consiste em analisar as propriedades dos Nb e suas possíveis aplicações como Biomaterial. Para tal, serão averiguadas as características pertinentes a um biomaterial para apresentar bom desempenho em suas respectivas funções. Por fim, serão mostradas as perspectivas de atuação ou não do elemento como biomaterial.

1.1 Trajetória Histórica

A busca do homem por maneiras de ampliar sua qualidade de vida data dos tempos antigos. A medida que o ser humano envelhece o desgaste de seu corpo é eminente. Este vai desde falhas simples como dentes até aqueles de impacto geral, como problemas cardíacos. Porém, estes processos de degradação não ocorrem somente de forma natural, mas podem, também, ser acelerados pela própria ação humana. Para suprir a necessidade de retificação de problemas dos mais diversos relacionados à saúde de uma pessoa e de seus tecidos e a demanda de longevidade criada pelo homem, concebeu-se o campo de biomateriais (ORÉFICE et al., 1998).

Historicamente, o campo de biomateriais se desenvolveu com o objetivo de substituir parte de um tecido doente ou ausente, de forma que, este novo, implantado, fosse capaz de substituir o original em suas funções, fornecendo uma resposta tóxica mínima para a pessoa que receberia o implante. Porém, em um primeiro momento, esse campo foi fundamentado na tentativa e erro, onde materiais eram escolhidos com base em suas características superficiais e então feita a substituição do tecido original. Na reação do tecido hospedeiro verificava-se se o implante havia sido bem-sucedido ou não. Mas com o passar do tempo e com o desenvolvimento das tecnologias e pesquisa esse cenário mudou (ORÉFICE et al., 1998).

A partir da década de 1950 iniciou-se a busca por materiais que fossem menos suscetíveis a causar reações biológicas adversas. Tais materiais receberam a denominação de bioinertes (nenhum material é realmente inerte, pois por menor que seja, sempre haverá uma resposta orgânica, logo essa denominação foi dada aos materiais que mais se aproximavam desta definição). A seguir, baseado nas necessidades dos hospedeiros, a meta neste campo de pesquisa passou a ser a bioatividade dos materiais (capacidade inerente a alguns materiais de participarem em reações biológicas específicas), e mais recentemente, o objetivo tem sido a regeneração do tecido funcional, com foco, então, no aspecto biológico (RATNER, 2013 apud PIRES et al., 2015).

Segundo Oréfice et al (1998) o desafio geral do campo de biomateriais é a procura por matérias-primas que substituam tecidos vivos cujas propriedades físicas são resultado de milhões de anos de evolução. Entretanto, a própria definição de biomateriais é algo recente, sendo introduzida na nomenclatura médica em 1991, na Conferência de Chester, onde foi definido como “material destinado a se conectar com sistemas biológicos para avaliar, tratar, aumentar ou substituir qualquer tecido, órgão ou função do organismo” (WILLIAMS et al, 1991 apud PIRES et al., 2015).

O mercado de implantes vem crescendo exponencialmente nos últimos anos. Esse aumento pode ser atribuído ao aumento da expectativa de vida da população e a necessidade do aumento de qualidade da mesma. A demanda de biomateriais cresce de 5 a 15% a cada ano (PIRES et al, 2015), e ainda segundo Oréfice et al (1998), cerca de 2 a 3 milhões de partes artificiais ou protéticas são implantadas em indivíduos nos Estados Unidos a cada ano.

1.2 Nióbio

O nióbio ocupa a quadragésima primeira posição na tabela periódica, sendo representado pelo símbolo Nb. Descoberto em 1801 pelo inglês Charles Hatchett, inicialmente foi denominado como Colúmbio (em homenagem a América, onde o elemento havia sido encontrado) (GRIFFITH, 2003 apud RANGEL e COUTINHO, 2015). No ano seguinte o químico sueco Anders Gustaf Ekeberg reportou à revista francesa *Annales de Chimie* a descoberta de um novo elemento, o Tântalo, baseando seu nome na mitologia grega (SOUSA et al, 2012). Em 1809, William Hyde Wollaston, físico inglês, que já havia sido responsável pela descoberta dos elementos Ródio e Paládio, concluiu erroneamente que o Colúmbio e o Tântalo eram idênticos. Esse erro só viria a ser retratado anos depois pelo mineralogista Heinrich Rose, que ao estudar a columbita notou a presença do elemento conhecido até então como o Tântalo e um elemento aparentemente novo o qual denominou Nióbio, chamado assim por remeter à filha de Tântalo na mitologia grega. Porém mais tarde, notou-se que este era o mesmo elemento outrora denominado Colúmbio (STEED, 2013). Segundo Rangel e Coutinho (2015) somente 149 anos depois, em 1950, o nome Nióbio (antes chamado Colúmbio) descoberto por Hatchett foi oficializado pela IUAPAC (União Internacional de Química Pura e Aplicada). Mesmo assim a denominação Colúmbio ainda é muito usada na metalurgia americana.

1.2.1 Propriedades

O Nióbio faz parte do grupo dos metais de transição, pertencendo ao 5º período do grupo 5, bloco d da tabela periódica. Prateado e brilhante, pode adquirir uma coloração azulada quando exposto ao ar por longo período de tempo. Sólido a temperatura ambiente, possui propriedades como alto ponto de fusão (2468 °C), boa ductilidade, baixa dureza e alta resistência a corrosão que se dá pela formação de uma película superficial de óxido, está por sua vez denominada camada de passivação. Em temperatura ambiente e condições normais não reage com o hidrogênio, ar, água ou ácidos, exceto o ácido fluorídrico ou sua mistura com o ácido nítrico. Quando aquecido reage com a maioria dos materiais não-metálicos. O nióbio possui somente um isótopo estável que possui a forma cristalina cúbica de corpo centrado (CCC) (SOUSA et al, 2012; RANGEL e COUTINHO, 2015).

Outra característica importante é que o Nióbio pertence à classe dos materiais refratários que por sua vez possuem características como baixa pressão de vapor, resistência mecânica e resistência à fluência em altas temperaturas, elevado módulo de Young, baixo coeficiente de expansão térmica, além de apresentar, simultaneamente, baixíssima (quase nula) resistência a passagem de corrente elétrica e diamagnetismo perfeito. (GRILL e GNA-DENBERGER, 2006).

1.2.2 Ocorrência e Aplicação

O Nb é pouco abundante na crosta terrestre, não é encontrado em forma pura, somente em forma de minerais, entre eles a piroclorita e columbita (SOUZA et al, 2012).

Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) o Brasil é detentor das maiores reservas mundiais de nióbio (98%), seguido pelo Canadá, Austrália, Egito, dentre outros. Além disso, é também o maior produtor da substância chegando a representar 90% do total mundial. A maior reserva lavrável do país encontra-se no estado de Minas Gerais em Araxá onde estão cerca de 411,5 Mt de minério de pirocloro [(Na, Ca)₂(Nb, Ti, Ta)₂O₆(OH, F, O)].

Souza et al (2012) aponta a necessidade do desenvolvimento de tecnologias para ampliar o campo de atuação do nióbio:

É relevante comentar que devido ao fato de o Brasil ser o responsável por quase todo o nióbio consumido no mundo, novas aplicações para o elemento são bem-vindas e todos os esforços nesse sentido devem ser realizados. Não obstante, para continuar evoluindo tecnologicamente, torna-se necessário o desenvolvimento de novos materiais e, conseqüentemente, a demanda pelo metal deverá aumentar.

Por ser o metal refratário de menor densidade ($d = 8,57 \frac{g}{cm^3}$) possui ampla aplicação comercial, como o emprego na obtenção de ligas de alta resistência que são utilizadas principalmente na indústria automobilística e naval, na construção civil, chegando a integrar, também, a indústria aeroespacial, sendo que nesta última é utilizado na obtenção de superligas de altas temperaturas de operação, que compõe motores a jato de alto desempenho.

Atualmente a aplicação de maior importância do Nióbio é como elemento de liga, conferindo melhoria de propriedades em produtos de aço, especialmente nos aços de alta resistência e baixa liga usados na fabricação de automóveis e de tubulações para transmissão de gás sob alta pressão. A primeira aplicação na área médica que se nota é a sua associação com o Germânio para a fabricação de ligas supercondutoras utilizadas para a confecção de magnetos para tomógrafos de ressonância magnética (BRE-JÃO, MORAES e VENDRAMETTO, 2015).

1.3 Processo Inflamatório

Quando se trata de processo inflamatório engenheiros, cirurgiões e patologistas devem trabalhar de forma conjunta a evitar qualquer complicação momentânea e futura referente ao implante. Oréfice et al (1998) discute tal afirmação:

A procura do biomaterial ideal para cada situação requer também a procura de técnicas de implantação cada vez menos traumáticas e o desenvolvimento de estudos que procurem avaliar de maneira criteriosa a interação entre tecido e implante.

De nada adiantaria dispor de um biomaterial bem eficiente, se as técnicas de implantação e o acompanhamento resultarem-se ineficientes.

Ao contrário do que o senso comum pensa o processo inflamatório é, na maioria das vezes algo indispensável, sendo definido pelo Dicionário Médico como:

Conjunto de processos que se desenvolvem em um tecido em resposta a uma agressão externa. Incluem fenômenos vasculares como vasodilatação, edema, desencadeamento da resposta imunológica, ativação do sistema de coagulação, etc. Quando se produz em um tecido superficial (pele, tecido celular subcutâneo) pode apresentar tumefação, aumento da temperatura local, coloração avermelhada e dor (tétrade de Celso, o cientista que primeiro descreveu as características clínicas da inflamação).

Os processos inflamatórios podem ser divididos em respostas benéficas e maléficas, de forma que a primeira se mostra de forma a promover a cicatrização de feridas, cura e reparação de lesões, já a segunda se apresenta de forma a interferir intensamente na função do órgão, podendo agravar a situação na qual este se encontra.

1.4 Tipos de Biomateriais

No escopo deste trabalho serão considerados dois tipos de biomateriais, implantáveis e curativos, classificados da forma descrita a seguir:

1.5 Biomateriais como implantes

Segundo o dicionário Houaiss, Villar e Franco (2009), implante é definido por “qualquer material natural (p.ex., um tecido) ou artificial (p.ex. um marca-passos) inserido ou enxertado no organismo”, mas simplificada-mente descrito como substituto de uma parte do corpo. No escopo desse trabalho não será considerada a finalidade estética dos implantes.

1.6 Biomateriais como curativos

Aqueles que possuem como serventia o tratamento e prevenção de infecções de modo a eliminar fatores que retardam o processo de cicatrização (CONCURSO PARA ENFERMAGEM, 2010).

2 Objetivo

Este trabalho tem por objetivo uma análise sobre a viabilidade de utilização do Nióbio na área de Biomateriais, para tal foram analisadas as aplicações já difundidas na área e estudos experimentais com finalidades de geração de novas aplicações.

3 Métodos

A metodologia empregada neste trabalho consiste em um estudo bibliográfico quantitativo de caráter exploratório.

rio, através da análise e avaliação de artigos, livros, revistas, periódicos, sites e materiais produzidos em cursos de formação inicial e continuada.

4 Resultados

Neste trabalho buscou-se analisar a viabilidade de utilização do Nióbio na área de biomateriais, e para tal foram examinados artigos e trabalhos acadêmicos, livros especializados em Medicina e em Engenharia dos Materiais, dicionários e sites de conteúdo médico e cotações de materiais na bolsa de valores. Em sua maioria, tais fontes foram publicadas entre 1990 e 2016.

Aqui foi elaborada uma análise das aplicações do nióbio já conhecidas até o presente momento e também das novas possibilidades que vêm sendo mostradas. Como este é um mercado em crescente expansão e uma área de pesquisa que ainda carece de evolução a atualidade dos fatos aqui descritos se torna diretamente dependente destes fatores.

Os resultados obtidos são mostrados nas seções 4.1 e 4.2.

4.1. Aplicações já difundidas

O Nióbio aparece em muitos casos como elemento de liga que se associa a elementos que já são largamente utilizados, entre eles está o Titânio. O Titânio é um material que se destaca por suas propriedades, entre elas a adequação para trabalhos em meios corrosivos, propriedades não-magnéticas, baixo peso, biocompatibilidade, menor módulo de elasticidade e maior resistência específica quando comparado com os aços inoxidáveis e com as ligas de Co-Cr.

De acordo com Chen (2014) citado por Bortolan (2016), o Titânio puro apresenta uma transformação alotrópica de fase a 882°C, mudando de uma estrutura cristalina CCC (fase β) em altas temperaturas para uma estrutura HC (fase α) em baixas temperaturas. A adição de elementos de liga a esse elemento são classificadas em α -estabilizadores ou β -estabilizadores de acordo com o aumento ou diminuição da temperatura de transformação, respectivamente.

A liga de Titânio mais utilizada atualmente é a de $Ti - 6Al - 4V$, que é uma liga $\alpha - \beta$ (representa cerca de 45% do uso de titânio empregado no mercado) presente à temperatura ambiente, combinando resistência mecânica e resistência à corrosão com conformabilidade e usinabilidade. Esta, juntamente, com o titânio comercialmente puro são os materiais mais utilizados em implantes cirúrgicos e são regulamentados pelas normas técnicas ASTM F67, F1108 e F136 que especificam as composições de cada elemento presente nas ligas (JESUÍNO et al., 2001).

Entretanto, de acordo com Sá (2012), embora a liga $Ti - 6Al - 4V$ seja bastante utilizada devido a seu módulo de elasticidade próximo ao do material ósseo humano, este ainda é muito superior, podendo ocasionar o fenômeno de reabsorção óssea levando a uma eventual fa-

lha do implante. Ainda, seu estudo sugere que estas próteses são prejudiciais ao corpo humano, atribuindo a ocorrência do mal de Alzheimer ao Alumínio e problemas no sistema respiratório em decorrência da formação de óxidos pouco estáveis ao Vanádio em sua superfície.

Em função do descrito anteriormente, abriu-se a possibilidade da substituição desses componentes por outros elementos estabilizadores, entre eles o nióbio, que assim como o Vanádio é um β -estabilizador, com o adicional de ser um material inerte e possuir boa resistência à corrosão. Deste modo, foi desenvolvida a liga $Ti - 6Al - 7Nb$ que apresenta resultados satisfatórios de biocompatibilidade a longo prazo. Porém, o problema vinculado ao Al, como α -estabilizador, não é resolvido com o uso desta liga, gerando uma necessidade que viria a ser suprida pelas ligas $Ti - 22Nb - 1,4Sn$ e $Ti - 13Zr - 13Nb$, sendo que o Estanho e a Zircônia possuem uma função neutra quando combinados ao Ti, ou seja, estabilizam tanto a fase α quanto a fase β . Tais substituições sanam os problemas apresentados anteriormente e não prejudicam nenhuma das propriedades da liga original (HON, 2003 apud BORGES et al., 2017).

O Nióbio possui também aplicação comercial na obtenção de ímãs ultra potentes utilizados em pesquisas científicas e diagnósticos médicos. Associado ao Germânio (Nb_3Ge), forma uma liga que é supercondutora a 23 K. Essa liga é usada na medicina através da técnica de Ressonância Magnética Nuclear (aplicações analíticas) ou Imagem de Ressonância Magnética (diagnósticos médicos). Essa técnica é capaz de produzir imagens que permitem a diferenciação entre tumores e células saudáveis, disfunções e outras anomalias através da absorção de energia realizada pelos spins de átomos de hidrogênio presente nas substâncias que compõem os tecidos dos órgãos. Apesar da eficiência, a realização deste processo diagnóstico ainda é muito cara, porém avanços nas pesquisas de supercondutores tendem a reduzir seu preço (COMPANHIA BRASILEIRA DE METALURGIA E MINERAÇÃO; FERREIRA, MÓL E SILVA, 1996).

4.2. Pesquisas atuais

Em seu estudo, Hench et al. (1999), citado por Lopes (2015) afirma que a bioatividade foi observada pela primeira vez nos vidros bioativos desenvolvidos pelo Professor Dr. Larry Hench na Universidade da Flórida – EUA, foram observados nestes, a habilidade de formar ligações químicas diretamente com o tecido ósseo, estimulando, assim, o crescimento do osso, ou seja, a formação de um novo tecido. Posteriormente, diversas composições de Biovidros foram estudadas, sendo que muitos tornaram-se produtos comerciais. Porém a composição de maior destaque, segundo o autor é a composição vítrea denominada 45S5 Bioglass® (45% SiO_2 , 24,5% Na_2O , 24,5 % CaO , 6% P_2O_5 , % em massa) apresentando o maior índice de bioatividade e exibindo uma capacidade de formar ligação química tanto com tecidos moles (cartilagem) quanto com tecidos duros (osso).

Ainda segundo Lopes (2015), a maior parte dos materiais bioativos desenvolvidos para aplicações na área biomédica são vidros silicatos e materiais cerâmicos. A grande utilização dos biovidros é explicada pelo autor.

Os biovidros inicialmente perdem íons sódio e cálcio por troca com íons H_3O^+ da solução. Tal lixiviação promove um aumento local do pH, ocasionando a quebra dos grupos Si-O-Si da superfície e liberando sílica solúvel para a solução. Esta dissolução culmina na formação de uma camada rica de sílica hidratada. Em seguida, ocorre a incorporação de PO_4^{3-} e Ca^{2+} advindos da migração desses grupos para a superfície do biovidro e a partir do fluido corpóreo resultando na formação da camada de fosfato de cálcio. Esta camada, inicialmente não-cristalina, evolui gradualmente para uma camada policristalina pela incorporação adicional de ânions carbonato da solução e cristaliza-se em hidroxiapatita carbonatada (HCA) como fase principal. Terminados os eventos químicos que transformam a superfície do biovidro em um ambiente amigável para as células, tem início os eventos biológicos que culminam na formação da interface do biovidro com o tecido hospedeiro. Os eventos biológicos se iniciam com a adsorção de proteína que atuam como sinalizadores para adesão de células não diferenciadas. Estas se diferenciam, proliferam e produzem matriz celular, componente indispensável no processo de biomineralização. Embora a bioatividade tenha sido a propriedade que caracterizou os biovidros em um primeiro momento, nos últimos anos um número expressivo de publicações aponta uma nova propriedade para estes materiais, atribuindo a eles o aumento da osteogênese, através de um controle direto sobre os genes que regulam a indução e progressão do ciclo celular (Alno et al., 2010; Hench, 2003, 2004a, 2004b, 2009; Hench et al., 2002a; Hench et al., 2000; Hench et al., 2002b; Hoppe et al., 2011; Xynos et al., 2000; Xynos et al., 2001).

Foi então observado por Hench et al. (2004a, 2009) citado por Lopes (2015) que o comportamento excepcional apresentado por esses biovidros na reparação do osso, poderia ser atribuído, principalmente à reatividade de sua superfície em fluidos corpóreos, através da liberação de concentrações críticas dos íons formados por espécies de Si, Ca, P e Na, as quais podem levar a respostas intracelulares e extracelulares favoráveis, promovendo uma rápida formação óssea. Além disso, a lixiviação dos íons Na^+ e Ca^{2+} afeta o equilíbrio fisiológico da solução na interface e modifica o pH local, levando os pesquisadores a postular que o efeito benéfico do 45S5 no crescimento do osso in vivo e a reparação pode ser devido a uma alcalinização controlada, que por sua vez aumenta a síntese e reticulação do colágeno, bem como a formação de HCA (Hidroxiapatita Carbonatada).

Embora os biovidros possuam características ímpares em aplicações biomédicas, estes ainda possuem características desfavoráveis a certos tipos de aplicações, como a fragilidade e a baixa tenacidade à fratura que são um obstáculo importante para o uso desses materiais, fazendo com que o emprego deste biomaterial se restrinja ao preenchimento. Atualmente, os biovidros têm sido utilizados na forma de pasta, partículas ou blocos porosos para o preenchimento de cavidades nos ossos causadas por fraturas, infecções ou câncer, para a restauração de defeitos periodontais, reconstruções faciais e de osteotomias. Na forma de pó, o material pode ser usado no tratamento de úlceras gástricas feridas de pele e queimaduras, uma vez que apresenta propriedades hemostáticas (próprio para sustar hemorragias) e bactericidas. Além dessas propriedades que favorecem o reparo ósseo, o vidro é capaz de estimular o brotamento de vasos sanguíneos a partir de vasos vizinhos em direção ao sítio da lesão (angiogênese), o que é um evento crucial para o reparo de qualquer tipo de tecido (BELLUCCI et al., 2012; BOCCACCINI et al., 2012; GERHARDT et al., 2010; HU et al., 2012; JONES, 2012; JONES, 2013; LEE et al., 2000a; LEU et al., 2009; MA et al., 2013 apud LOPES, 2015).

Baseado nestes problemas relacionados a estrutura dos biovidros, foi visto por Lin et al. (2005) citado por Lopes (2015) que modificações nesta estrutura ou a combinação com outros materiais ofereceram um melhor desempenho biomecânico dos biovidros. Neste contexto, em composições vítreas, o nióbio tem sido utilizado em forma de óxido (Nb_2O_5), exibindo excelente biocompatibilidade, resistência à corrosão e a fadiga, comportamento similar ao apresentado quando adicionado às ligas de titânio.

Zerlim (ZERLIM, 2008 apud LOPES, 2015), observou que a adição de óxido de Nióbio em vidros fosfatos melhora sua durabilidade química e Carbonari (CARBONARI, 2003 apud LOPES, 2015) estudou biovidros nióbiofosfatos e mostrou que o óxido de nióbio promove significativas melhorias nas propriedades mecânicas deste material e conferindo-lhe, ainda, módulo de elasticidade próximo ao do osso cortical (parte compacta dos ossos, formado por laminae ósseas paralelas e extremamente próximas entre si, constituindo uma substância dura e compacta que confere resistência ao osso) para os vidros fosfatos. Há a indicação que o Nb^{5+} substitui P^{5+} nas ligações $P - O - P$ em vidros nióbiofosfatos, devido a semelhança química entre os elementos Nb e P no que diz respeito ao estado de oxidação mais comum (5+) e, consequentemente na tendência de formação de compostos químicos análogos, por exemplo, Nb_2O_5 e P_2O_5 . Estas considerações tornam o Nb_2O_5 um candidato interessante para substituir o P_2O_5 no biovidro 45S5.

Após a realização de testes de diversas naturezas como de caracterização, ensaios mecânicos, ensaios *in vitro* e *in vivo*, Lopes (2015) conclui em seu estudo que o comportamento exibido pelos biovidros modificados com Óxido de Nióbio em relação a densidade mostra um contínuo aumento à medida que o seu teor de Nb_2O_5 . No que diz respeito a solubilidade e a cinética de formação da ca-

mada de sílica-gel na superfície vítrea, os resultados obtidos mostraram que a presença de óxido não promove grandes alterações na solubilidade do biovidro ensaiado em comparação ao Bioglass®. Por fim, os estudos de bioatividade realizados evidenciaram aumento da bioatividade para uma composição de (46,1% SiO_2 , 24,4% Na_2O , 26,9 % CaO , 1,3% P_2O_5 , 1,3% Nb_2O_5 % em mol), o qual estimulou a formação tanto de osso cortical quanto esponjoso. Ademais, os vidros contendo nióbio apresentaram-se compatíveis com o tecido ósseo, uma vez que a resposta inflamatória incitada pela sua presença foi praticamente nula. Assim, em conjunto, esses resultados apontam que a adição de nióbio melhora a bioatividade do Bioglass® 45S5.

5 Discussão

Em suma, grande parte das bibliografias analisadas se refere a estudos bibliográficos com fundamentação teórica, em menor quantidade se apresentam estudos de caso práticos que visam estabelecer uma prova da viabilidade do uso de tal material no mercado.

Salvo a aplicação como supercondutor na obtenção de diagnósticos médicos, é notável que a maioria das aplicações difundidas do Nióbio, hoje no mercado, são aquelas onde este aparece como substituto de algum material já utilizado na área.

Assim, tem por finalidade a resolução de problemas associados a estes materiais, a exemplo tem-se o Alumínio (associado ao mal de Alzheimer) e o Vanádio que pode ocasionar problemas no sistema respiratório em decorrência da formação de óxidos pouco estáveis em sua superfície.

Quanto aos Biovidros estudados por Lopes (2015), é encontrado um grande nicho de pesquisa, porém ainda pouco explorado. Apesar da totalidade de fontes citadas pelo autor, os resultados do trabalho realizado são, em sua maioria experimentais, abrindo margem para erros, dado que até o momento de conclusão deste artigo não havia mais pesquisas de cunho experimental relacionadas ao assunto.

6 Conclusão

Conclui-se que o Nióbio, possui grande potencial como Biomaterial, já que possui características como biocompatibilidade, bioinerticidade e quando associado a outros elementos alcança módulo de elasticidade próximo ao do osso humano, porém este ainda é pouco utilizado.

Desta forma é necessário investimento nos estudos sobre sua aplicação, pois são escassas pesquisas que ofereçam ao Nióbio outra função que não seja a de substituto.

Coloca-se como objetivo futuro a realização de um estudo experimental a fim de associar novas aplicações na área de Biomateriais ao Nióbio.

7 Agradecimentos

Os autores agradecem ao IFSP por ceder suas instalações a fim de auxiliar na pesquisa e aos orientadores por sua colaboração.

8 Referências Bibliográficas

- BORGES, P. G. A.; PORTO, C. P.; CABRAL, H. J. R. Efeito do processo de recristalização na microestrutura e propriedades mecânicas da liga Ti-Nb-Sn. 2017. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2017.
- BORTOLAN, C. C. Fadiga de ligas de titânio com superfície modificada com nanotubos. 2016. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.
- BREJÃO, A. S.; MORAES, M. O.; VENDRAMETTO, O. INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 5. 2015, São Paulo. Tendências para o Uso de Nióbio no Setor de Microeletrônica. São Paulo, SP: UNIP, 2015. 10 p.
- BRUNETTI, F. Motores de Combustão Interna: volume 2. 3ª edição. São Paulo: Blucher, 2012.
- CALLISTER, W. D. Ciência e Engenharia de materiais: Uma introdução. 7ª edição. Rio de Janeiro: Ltc, 2008.
- FERREIRA, G. A. L.; MÓL, G. S.; SILVA, R. R. Criogenia e Condutividade. Química Nova na Escola, [S.I.], n. 3, 8-10 p., 1996.
- GRILL, R.; GNADENBERGER, A. Niobium as Mint Metal: Production – Properties – Processing, 2006.
- GUASTALDI, A. C.; APARECIDA, A. H. Fosfatos de cálcio de interesse biológico: importância como biomateriais, propriedades e métodos de obtenção de recobrimentos. Química Nova, [s.l.], v. 33, n. 6, 1352-1358 p., 2010. FapUNIFESP.
- HOUAISS, A.; VILLAR, M. S.; FRANCO, F. M. M. Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa. Rio de Janeiro: Objetiva, 2009. 1986 p.
- JESUÍNO, G. A.; RIBEIRO L. M. F.; NAKAZATO, R. Z.; CORDALO, E. N.; HEIN, L. R. O. Propriedades mecânicas e resistência à corrosão da liga Ti-4Al-4V obtida da reciclagem da liga Ti-6Al-4V. Materials Research, [s.l.], v. 4, n. 2, 63-69 p., 2001. FapUNIFESP.
- LOPES, J. H. **Biovidros Derivados Do 45S5: Os Efeitos Do Nb_2O_5 Ou da Modificação da Superfície com Ca^{2+} Sobre a Estrutura e Bioatividade.** 2015. 447 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.
- NALI, E. Biotribologia. 2003. 105 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia de Piracicaba, Piracicaba, 2003.

- NOBRE, M. R. C. Qualidade de Vida. Arquivos Brasileiros de Cardiologia, São Paulo, v. 4, n. 64, 299-300 p., fev. 1995.
- ORÉFICE, R. L.; PEREIRA, M. M.; MANSUR, H. S. Biomateriais: fundamentos e aplicações. Rio de Janeiro: Cultura Médica, 2006.
- PADILHA, A. F. Materiais de Engenharia: Microestrutura e propriedades. São Carlos: Hemus, 2007.
- PIRES, A. L. R.; BIERHALZ, A. C. K.; MORAES, Â. M. Biomateriais: Tipos, aplicações e Mercado. Química Nova, [s.l.], v. 38, n. 7, 957-971 p., 29 maio 2015. GN1 Genesis Network.
- SÁ, D.H.G.S.; TAVARES, A. M.; SANTOS, I. A.; SILVA, I. R., BATISTA, W. W., & GRIZA, S. CONGRESSO LATINO AMERICANO DE ORGÃOS ARTIFICIAIS E BIOMATERIAIS, 7., 2012, Natal. Comportamento mecânico de ligas de Ti-Nb-Sn laminadas a quente. São Cristóvão, SE: UFSE, 2012. 10 p.
- Site: COMPANHIA BRASILEIRA DE METALURGIA E MINERAÇÃO Disponível em: <<http://www.cbmm.com.br/pt/Paginas/niobium-metal.aspx>>. Acesso em: 03 set. 2017.
- Site: CONCURSO DE ENFERMAGEM Disponível em: <<http://concursoparaenfermagem.blogspot.com.br/2010/07/curativos-feridas.html>>. Acesso em: 20 abr. 2017.
- Site: INVESTING Disponível em: <<https://br.investing.com/commodities/metals>>. Acesso em: 29 mai. 2017
- Site: ORTHOINFO Disponível em: <<http://ortho-info.aaos.org/topic.cfm?topic=A00750>>. Acesso em: 05 mar. 2017.

9 Nota de Responsabilidade

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste artigo.