



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
UNICAMP
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA**



TAÍS LETÍCIA DE ROSSI

SUPERFÍCIE DOS IMPLANTES:

vantagens e verdades sobre o processo de reparo

Monografia apresentada a Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade Estadual de Campinas, como requisito para obtenção de Título de Especialista em Implantodontia.

PIRACICABA

2013

TAÍS LETÍCIA DE ROSSI

**SUPERFÍCIES DOS IMPLANTES:
vantagens e verdades sobre o processo de reparo**

Monografia apresentada a Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade Estadual de Campinas, como requisito para obtenção de Título de Especialista em Implantodontia.

Orientadora: Profa. Luciana Asprino.

PIRACICABA

2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA POR
JOSIDELMA F COSTA DE SOUZA – CRB8/5894 - BIBLIOTECA DA
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA DA UNICAMP

Rossi, Taís Letícia de, 1988-

R735s Superfícies dos implantes: vantagens e verdades sobre o processo de reparo / Taís Letícia de Rossi. -- Piracicaba, SP : [s.n.], 2013.

Orientador: Luciana Asprino.

Trabalho de Conclusão de Curso (especialização) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba.

1. Osseointegração. 2. Implantes dentários Osseointegrados. 3. Superfície. 4. Rugosidade. 5. Ossos. I. Asprino, Luciana. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Odontologia de Piracicaba. III. Título.

Dedico...

Se...

Se não fosse vocês...

Se não fosse por vocês...

Se não fosse com vocês...

...dedico a minha inseparável irmã Bruna e a todas as outras pessoas especiais que talvez sejam passageiras em minha vida, mas contribuíram significativamente para a construção desta Taís.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado forças e iluminando meu caminho para que pudesse concluir mais uma etapa da minha vida;

Aos meus irmãos pelo carinho e atenção que sempre tiveram comigo, me apoiando em todos os momentos, enfim por todos os conselhos e pela confiança em mim depositada meu imenso agradecimento;

Aos amigos que fiz durante o curso, pela verdadeira amizade que construímos em particular aqueles que estavam sempre ao meu lado (André, Beatriz, Mariana e Tisy) por todos os momentos que passamos durante esses dois anos meu especial agradecimento. Sem vocês essa trajetória não seria tão prazerosa;

A minha colega e parceira Nathália Bárboza pela ajuda incondicional, pelos conselhos, pela capacidade de autodefesa que tanto admiro nessa menina, enfim, ao calor cuiabano contagiante.

A minha orientadora, professora Luciana Asprino, pelo ensinamento e dedicação dispensados no auxílio à concretização dessa monografia;

A todos os colegas da especialização em Implantodontia da FOP/UNICAMP;

A todos os professores do curso de especialização em implantodontia, pela paciência, dedicação e ensinamentos disponibilizados nas aulas, cada um de forma especial contribuiu para a conclusão desse trabalho e conseqüentemente para minha formação profissional;

Por fim, gostaria de agradecer aos meus amigos e familiares, pelo carinho e pela compreensão nos momentos em que a dedicação aos estudos foi exclusiva, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para que esse trabalho fosse concretizado e que me apoiaram nesta jornada com tanta paciência, humildade e amizade.

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
1 INTRODUÇÃO	7
2 REVISÃO DE LITERATURA	8
3 DISCUSSÃO	22
4 CONCLUSÃO	28
REFERÊNCIAS	29

RESUMO

Este trabalho busca por meio da revisão de literatura verificar quais as vantagens e verdades que as modificações nas superfícies dos implantes dentais podem gerar sobre o processo de reparo, avaliar superfícies rugosas como potenciais geradoras do aumento da porcentagem de contato osso-implante (BIC) durante o processo de cicatrização óssea inicial, relatar a ocorrência de melhora da osseointegração com as modificações das superfícies, analisar as vantagens das modificações das superfícies de implantes, as desvantagens e os casos de insucesso do uso de implantes lisos e quais os métodos desenvolvidos para criar modificações nas superfícies dos implantes dentais. Incrementou-se a pesquisa e o desenvolvimento das superfícies texturizadas a medida que implantes de superfície lisa apresentaram fracassos significativos quando instalados em maxilares com pouca qualidade óssea; a deposição de tecido ósseo sobre as superfícies dos implantes osseointegrados ocorre independentemente destas serem polidas ou texturizadas; as características das superfícies texturizadas promovem maior contato osso implante e favorecem contatos mais rapidamente. A Implantodontia busca restabelecer o paciente independentemente da atrofia, doença ou injúria do sistema estomatognático tornando a tarefa desafiadora e exigindo pesquisas contínuas dos materiais e técnicas para a resolução dos casos clínicos complexos.

ABSTRACT

This paper seeks, through a literature review, verify the truths about how changes on the surfaces of dental implants can influence the repair process and its advantages, evaluate rough surfaces as possible generators of bone-implant contact (BIC) during the initial process of bone healing process, report the occurrence of improved osseointegration with the modifications of surfaces, analyze the advantages of the modifications of implant surfaces, the disadvantages, as well as the cases where smooth implants have failed, and lastly, methods developed to create modifications on the surfaces of dental implants. In the present paper, the research and development of textured surfaces were also approached, as implants with smooth surfaces showed significant failures when implanted on jaws with low bone quality. The deposition of bone tissue on the dental implant's surface occurs independently of it being polished or textured, however, the characteristics of the textured surfaces promote greater bone-implant contact and quickly favor more contacts. The Implantology seeks to heal the patient regardless of atrophy, disease or injury of the stomatognathic system, due to this, it is a challenging task that requires continuous research of materials and techniques to solve complex clinical cases.

1 INTRODUÇÃO

O grande avanço da Odontologia vinculado ao surgimento dos implantes osseointegrados baseia-se na possibilidade de se produzir suporte para restaurações protéticas em zonas onde não se encontram dentes ou raízes residuais. Isso, sem dúvida, gerou uma oportunidade ímpar de melhorar o desempenho estético-funcional de pacientes que, pela ausência, possuíam como única alternativa restauradora próteses parciais removíveis (PPR), ou próteses totais (PT).

O surgimento e a aplicação dos princípios da osseointegração na Odontologia viabilizaram novos horizontes para a reabilitação oral de pacientes edêntulos parciais ou totais. O termo osseointegração foi definido como uma conexão estrutural e funcional entre a base óssea e a superfície de um implante sob carga funcional (Brånemark, 1983).

Ainda que o método de implantes osseointegrados já tenha se consagrado como uma previsível possibilidade para a restauração das perdas dentais, a eventual confirmação de que determinadas superfícies possibilitam maior e mais rápido contato ósseo na fase de cicatrização e contato ósseo duradouro quando em função poderá certamente contribuir para a otimização do procedimento. Estas características da superfície do titânio poderiam ainda, por exemplo, permitir a colocação dos implantes em função mais precocemente e ampliar a gama de aplicações possíveis para osso alveolar de qualidade inferior (Amarante, 2002; Júnior *et al.*, 2010). A fixação biológica entre as superfícies de implante e os ossos maxilares deve ser considerada como um pré-requisito para o sucesso em longo prazo de próteses implanto-suportadas (Júnior *et al.*, 2010).

Os implantes podem ser classificados de acordo com a sua composição em implantes de titânio ou constituídos de outros materiais (tântalo, ouro, cerâmicas, zircônia, etc.). As superfícies dos implantes de titânio podem ser classificadas em cinco grupos: usinadas, macrotextrizadas, microtextrizadas, nanotextrizadas ou biomiméticas (Carvalho *et al.*, 2009).

Buscamos, por meio da revisão de literatura, verificar quais as vantagens e verdades que as modificações nas superfícies dos implantes dentais podem gerar sobre o processo de reparo, avaliar superfícies rugosas como potenciais geradoras

do aumento da porcentagem de contato osso-implante (BIC) durante o processo de cicatrização óssea inicial, relatar a ocorrência de melhora da osseointegração com as modificações das superfícies, analisar as vantagens das modificações das superfícies de implantes, as desvantagens e os casos de insucesso do uso de implantes lisos e quais os métodos desenvolvidos para criar modificações nas superfícies dos implantes dentais.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Amarante & Lima (2002) analisaram os resultados da literatura publicada sobre superfícies de implantes tratadas com plasma de titânio (TPS) e jateadas com areia e tratadas com ácido (SLA). Isoladamente, a textura da superfície foi a característica mais marcante na promoção da osseointegração. Os estudos da topografia da superfície implantar no comportamento celular mostraram que o osso se deposita indistintamente em superfícies porosas ou lisas, seja em implantes de cerâmica, titânio, ou em ampla variedade de outras superfícies. A porosidade, portanto, não é condição necessária para que ocorra aposição óssea, entretanto, desempenha um papel preponderante no percentual de aposição óssea sobre a superfície do implante, assim como na velocidade com que essa deposição ocorre. Os resultados demonstraram que tanto a rugosidade como o tratamento químico das superfícies podem influenciar bastante a força superficial de cisalhamento (resistência oferecida à remoção). Estas características da superfície do titânio, além de otimizar o procedimento, podem ainda, por exemplo, permitir a colocação dos implantes em função mais precocemente e ampliar a gama de aplicações possíveis para osso alveolar de densidade inferior, ou favorecer sua aplicação em osso regenerado.

Bracera *et al.* (2002) averiguaram que implantes de quadril, joelho e substituição de peças dentárias estão se tornando cada vez mais utilizados em cirurgia. Infelizmente, a sua utilização é por vezes acompanhada de falha devido a infecção, inflamação ou problemas de integração com os tecidos circundantes ou osso, e falha do implante devido ao manuseio incorreto. Tratamentos de superfície, tais como implantação iônica, tem sido identificados como bons candidatos para modificar as propriedades da superfície dos implantes para melhorar significativamente a osseointegração. Este trabalho diz respeito a implantação iônica usando íons leves nos implantes comerciais Ti6Al4V e os testes subsequentes de osseointegração. Vários íons leves foram implantados (C, N, CO, Ne) com energia variando de 45 a 100 keV e doses de até 5×10^{17} íons/cm². Tanto os implantes ionizados quanto os implantes controle foram inseridos na meseta tibial de coelhos

adultos, da epífise e diáfise da tíbia para a avaliação do seu grau de osseointegração. Após 3 meses, os implantes foram extraídos e várias secções histológicas foram preparadas a partir de ossos inteiros para avaliação da sua integração óssea na tíbia. Além disso, a superfície do implante, e a interface entre o osso e o implante, foram examinadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia de energia dispersiva (EDS) e espectroscopia fotoelétrica de Raio-X. Alguns tratamentos de implantação dos íons não alterou significativamente o desempenho dos implantes dentários em relação aos implantes não tratados, enquanto que os testes mostraram que a implantação iônica de CO notavelmente melhorava as propriedades de osseointegração, ou seja, o percentagem de osso em contato com o implante.

Cortez (2002) realizou um estudo comparativo de diferentes tipos de superfícies de implantes endósseos de titânio comercialmente puro: usinada, jateada por plasma spray de titânio e com tratamento ácido. Para tanto, foram utilizados 36 implantes (12 de cada superfície), que tinham 2,6 mm de diâmetro por 6 mm de comprimento, apresentando-se com três sulcos regulares em “V”. Eles foram inseridos na metáfise tibial de coelhos, um implante por tíbia, bilateralmente, utilizando-se, para a pesquisa, dezoito coelhos. Os coelhos foram divididos em três grupos de seis animais, cada grupo correspondendo a uma superfície diferente. Os animais foram sacrificados após períodos de 3 e 6 semanas, quando blocos ósseos contendo os implantes foram removidos, descalcificados e processados, para posterior análise histológica em microscopia óptica comum e análise histométrica. Os dados histológicos mostraram resposta tecidual normal para todos os grupos, com maior deposição óssea direta junto à interface osso-implante para o grupo jateado por plasma spray de titânio, no período inicial de 3 semanas. Em 6 semanas, não notaram-se grandes diferenças histológicas. Os dados histométricos revelaram melhores resultados para o grupo de implantes com superfície usinada, tanto no período de 3 semanas (25,2%), quanto no período de 6 semanas (28,2%), porém, sem diferenças estatísticas significantes entre os outros grupos avaliados. Quanto à avaliação do tempo x superfície, também não houve diferenças estatisticamente significantes entre os grupos.

Wang *et al.* (2005) utilizaram parafusos de titânio com um diâmetro de 3,5 mm e comprimento de 8 milímetros, bem como chapas de titânio planas com

tamanho 4 milímetros X 8 milímetros X 0,3 mm, que foram implantados nos sacos epiteliais de ostras (*Hyriopsis cumingii* Lea), substituindo as pérolas. Depois de 45 dias de cultivo, as superfícies dos implantes foram recobertas com uma camada de nácar com brilho iridescente. O revestimento formado sobre a topografia da rosca do parafuso do implante foi de cerca de 200-600 micrometros de espessura. O revestimento era composto de uma camada laminada nacarosa e uma camada não-laminada de transição que consistia principalmente de vaterita e calcita, polimorfos do carbonato de cálcio. A camada de transição foi de cerca de 2-10 mm de espessura na região convexa e lisa da superfície do implante e pôde formar um bom contato com a superfície do titânio, ao passo que a camada de transição era muito mais espessa nas regiões altamente côncavas e não pode formar um bom contato com a superfície de titânio. As razões para a falta de homogeneidade na espessura e a variação no carácter da interface foram discutidas e a melhoria do desenho do implante dental no que diz respeito a este método de revestimento foi sugerido. Os resultados sugerem que é possível fabricar um revestimento de nácar biologicamente ativo e degradável, e mecanicamente resistente e forte no implante dentário de titânio por esta tecnologia de revestimento.

Brentel *et al.* (2006) tiveram como propósito de estudo avaliar a reparação óssea ao redor de implantes de superfície porosa comparados com implantes de superfície rugosa, ambos confeccionados de titânio puro grau 2 por meio da técnica de metalurgia do pó. Os implantes foram inseridos em tíbias de coelhos. Foram utilizados neste estudo 7 coelhos machos, sendo que cada um recebeu 3 implantes de superfície porosa na tíbia esquerda e 3 implantes de superfície rugosa na tíbia direita. Os animais foram sacrificados 4 semanas após a cirurgia e os fragmentos das tíbias contendo os implantes foram submetidos à análise histológica e histomorfométrica, visando analisar a neoformação óssea na interface ossoimplante. Os resultados da análise histológica mostraram que a osseointegração foi obtida nos dois tipos de implantes com similar qualidade de tecido ósseo. Na análise histomorfométrica, verificaram-se médias de neoformação óssea na interface ossoimplante de $79,69\% \pm 1,00$ e $65,05 \pm 1,23$ para os implantes de superfície porosa e rugosa, respectivamente, e foi observada diferença estatisticamente significativa entre os dois tipos de implantes com relação à quantidade de neoformação óssea. Concluiu-se que os implantes de superfície porosa contribuíram para a

osseointegração devido à sua maior superfície de contato na interface osso-implante.

Fathi & Azam (2006) desenharam e produziram uma nova superfície de revestimento sobre substratos metálicos, a fim de melhorar a biocompatibilidade do implante dentário metálico e a osseointegração simultaneamente. Foi utilizado aço inoxidável 316L, (SS) como um substrato metálico e uma nova camada dupla de hidroxiapatita / tântalo (HA / Ta) foi preparada sobre o implante. O revestimento de tântalo foi feito usando o processo de deposição física de vapor e o revestimento de HA foi produzido a partir da técnica de pulverização de plasma. Difração de raios X (XRD) e microscopia de varredura de elétrons (SEM), foram utilizadas para investigar a caracterização de revestimento. Ensaio de polarização eletroquímica foram realizados em dois tipos de soluções fisiológicas, a 37 ± 1 ° C, a fim de determinar o comportamento de corrosão das amostras revestidas e não revestidas, como indicador de biocompatibilidade. Os resultados indicaram uma diminuição significativa da densidade de corrosão para as amostras revestidas com HA / Ta, já o valor encontrado nas amostras não revestidas SS 316L foi muito mais alto. A nova camada dupla de revestimento composta de HA / Ta pode melhorar a resistência à corrosão e, assim, a biocompatibilidade de implantes dentários de aço inoxidável 316L SS. O implante de aço inoxidável 316L SS revestido com a nova camada dupla de HA/ Ta pode ser utilizado como um implante endodôntico e duas metas podem ser obtidas simultaneamente que é um aumento na biocompatibilidade e resistência de corrosão facilitando a osseointegração que pode levar a uma estabilização mais rápida do implante reduzindo o tempo de cicatrização.

Schulera *et al.* (2006) afirmaram que a topografia da superfície e (bio)química são fatores-chaves na determinação da resposta celular a um implante. Foi investigada a adesão celular e dispersões de células epiteliais, fibroblastos e osteoblastos em superfícies de titânio lisas e rugosas biomimeticamente modificadas. A sequência bioativa de peptídeos RGD (Arg-Gly-Asp) foi imobilizada por meio de um anti-incrustante poli (L-lisina)-enxerto-poli (etileno glicol) (PLL-g-PEG) montado em sistema molecular, o que permitiu que a exploração de interações específicas entre células e peptídeos mesmo na presença de soro. Como superfícies de controle, titânio puro e superfícies bio-inativas (RDG mexidos e PLL-g-PEG desficcionalizado) foram utilizados. Nossos resultados demonstraram que a

topografia da superfície e da química influenciada diretamente a adesão e a morfologia de todos os tipos de células testadas. Em geral, um aumento no número celular e na dispersão celular foram observados em substratos bioativos (contendo RGD) em comparação com as superfícies bio-inativas. A topografia lisa apresentou um número maior de fibroblastos que a rugosa, enquanto que para os osteoblastos a tendência oposta foi observada. A fixação epitelial das células não seguiu nenhum padrão regular. Áreas de crescimento para todos os tipos celulares foram significativamente reduzidas em superfícies lisas em comparação com as superfícies rugosas. A fixação dos osteoblastos e áreas de crescimento aumentou juntamente com a densidade superficial RGD-péptido. No entanto, nenhuma sinergia (interação) entre a densidade superficial do RGD-péptido e a topografia da superfície foi observada para os osteoblastos, nem em termos de adesão nem em área de crescimento.

Le Guehennechet *al.* (2007) relataram que a taxa de osseointegração de implantes dentais de titânio está relacionada à sua composição e a rugosidade da superfície. Implantes de superfície rugosa favorecem tanto a ancoragem óssea e a estabilidade biomecânica. Revestimentos de fosfato de cálcio são osteocondutores que promovem a cicatrização e aposição óssea levando à uma rápida fixação biológica dos implantes. Os diferentes métodos utilizados para aumentar a rugosidade da superfície, ou aplicar revestimentos osteocondutores em implantes dentais de titânio serão revistos. Os tratamentos de superfície, tais como o plasma de titânio pulverizado, grânulos de decapagem, condicionamento ácido, anodização, ou revestimentos de fosfato de cálcio, e a suas morfologias e propriedades correspondentes de superfície serão descritas. A maioria destas superfícies estão disponíveis comercialmente e possuem eficácia clínica comprovada (> 95% ao longo de 5 anos). O papel específico da química e topografia da superfície sobre os eventos iniciais da osseointegração de implantes dentários permanecem mal compreendidos. Além disso, estudos clínicos comparativos com diferentes superfícies de implantes raramente são realizados. O futuro da implantologia deve procurar desenvolver superfícies com topografia ou química controlada e padronizada. Esta abordagem será a única maneira de entender as interações entre proteínas, células e tecidos e as superfícies dos implantes. A liberação local de medicamentos osteoestimulantes ou reabsortivos na região peri-implantar pode

também responder às difíceis situações clínicas com pouca qualidade e quantidade óssea. Estas estratégias terapêuticas devem reforçar o processo de osseointegração de implantes dentais para sua carga imediata e sucesso a longo prazo.

Le Guehennec *et al.* (2008) afirmaram que a osseointegração de implantes orais está relacionada com as primeiras interações entre as células osteoblásticas e a superfície de titânio. O comportamento de células osteoblásticas MC3T3-E1 foi comparado em quatro diferentes superfícies de titânio: polido (Liso-Ti), jateado com alumina (Alumina-Ti), jateado de fosfato de cálcio bifásico cerâmico (BCP-Ti) e uma superfície de implante disponíveis comercialmente (SLA). Microscopia eletrônica de varredura e perfilometria mostraram microtopografias distintas. O grupo BCP-Ti teve maior média da superfície rugosa ($R_a = 2,5$ micrômetros) do que os outros grupos Jateados. A hidrofiliabilidade e as energias superficiais foram determinadas em diferentes substratos por medidas dinâmicas de ângulo de contato. A superfície mais hidrofílica foram os discos de alumina-Ti, enquanto SLA foi o mais hidrofóbico. As superfícies de titânio foram todas oxidadas e se transformam em TiO_2 e foram poluída por contaminantes de carbono, como determinado pela espectroscopia fotoelétrica de raios-X. As amostras de alumina Ti apresentaram picos de alumínio, como resultado do jateamento. Os discos de BCP-Ti continha vestígios de cálcio e fósforo. Células MC3T3-E1 se aderiram, espalharam e proliferaram nos substratos. Tanto para os grupos SLA e BCP-Ti, toda a superfície foi coberta com uma camada de células osteoblásticas após 2 dias. Em alta ampliação, as células exibiram extensões citoplasmáticas e filopódias. Em comparação com o plástico, viabilidade das células foi semelhante com a superfície de titânio lisa, ligeiramente menor, com a Alumina-Ti e superiores com o SLA e BCP-Ti. A atividade da fosfatase alcalina aumentou com o tempo de cultura independente do substrato. Este estudo mostra que jateamento de BCP produz implantes brutos de titânio, sem contaminantes de superficiais.

De Maeztuet *al.* (2008) compararam a implantação de íons de monóxido de carbono (CO) como um tratamento de superfície com carbono similar ao diamante, em implantes comercialmente tratados, incluindo duplo ataque ácido (Osseotite®), oxidado (TiUnite®), superfície jateada com areia e ataque-ácido (SLA®), usando implantes de titânio mecanicamente torcidos como controle. Um

total de 72 implantes, divididos em 6 grupos, foram colocados nas mandíbulas de 12 cães beagle. A avaliação foi realizada por meio microscopia de transmissão de luz convencional e microscopia eletrônica de varredura ambiental (ESEM). Os resultados histológicos obtidos através ESEM demonstrou contato osso-implante percentual (BIC%) para implantes tratados com a implantação de íons CO de 61% e 62% aos 3 e 6 meses, respectivamente. No mesmo intervalo de tempo, os valores foram de 48% e 45% para duplo ataque-ácido, 46% e 52% para superfícies jateadas e ataque-ácido, 55% e 46% para os implantes com superfície oxidada, e de 33% e 49% para a amostra controle de implantes de titânio mecanicamente torcidos. Valores BIC% foram estatisticamente maiores em relação aos implantes comercialmente tratados ($p = 0,002$ e $p = 0,025$) e os implantes de controle ($p = 0,001$ e $p = 0,032$) a 3 e 6 meses, respectivamente. Não foram observadas diferenças significativas entre os três grupos de implantes comercialmente tratados. A maior BIC% do grupo de implantes tratados com íons foi observável na fase inicial.

Mendonça *et al.* (2008) consideraram que as tendências atuais no tratamento clínico com implantes dentais incluem o uso de superfícies de implantes dentários endósseos embelezados com topografias em nanoescala. O objetivo desta revisão é a de considerar o papel da modificação topográfica em nanoescala de substratos de titânio com o objetivo de melhorar a osseointegração. A nanotecnologia oferece aos engenheiros e biólogos novas formas de interagir com processos biológicos relevantes. Além disso, a nanotecnologia tem proporcionado meios de compreender e de realizar funções celulares específicas. Os dados existentes que apoiam o papel da nanotopografia sugerem que as etapas críticas na osseointegração podem ser moduladas pela modificação em nanoescala da superfície do implante. Distinções importantes entre a modificação em nanoescala e micro-escala da superfície do implante serão considerados. As vantagens e desvantagens das modificações em nanoescala da superfície do implante dental serão discutidos. Finalmente, os dados disponíveis sobre as atuais superfícies de implantes dentários que utilizam nanotopografia em odontologia clínica serão descritos. Modificações em nanoescala de superfícies de implantes de titânio endósseos podem alterar as respostas celulares e teciduais que podem beneficiar a osseointegração e a terapia com implantes dentais.

Carvalho *et al.* (2009) revisaram e discutiram as diferentes superfícies de implante citadas na literatura assim como seus efeitos na qualidade da osseointegração, na biomecânica da distribuição de forças e no sucesso em longo prazo. Foram utilizadas as seguintes bases de dados: MEDLINE, BIREME, Biblioteca Cochrane, BBO e LILACS, nos últimos 27 anos. Os critérios de inclusão e exclusão foram: artigos clínicos, laboratoriais e de revisão com metodologia adequada que estudavam ou comparavam tratamentos de superfícies dos implantes osseointegráveis disponíveis no mercado. De um total de 267 artigos, foram selecionados 36. Os implantes mais utilizados nas pesquisas de análise de superfície foram os de titânio comercialmente puro. Os tipos de superfície mais estudados na literatura foram a usinada, seguida da SPT (Spray de plasma de titânio) e da com cobertura com hidroxiapatita. Os testes mais utilizados foram análise histométrica e de torque reverso. A literatura demonstra que os implantes com superfície rugosa apresentam uma maior área de contato osso-implante e melhores características biomecânicas.

Mendonça *et al.* (2009) investigaram a influência das características em nanoescala da superfície dos implantes na diferenciação dos osteoblastos. Discos de titânio (20,0 x 1,0 mm), com diferentes materiais em nanoescala foram preparados utilizando revestimentos derivados de sol-gel e caracterizados por microscopia eletrônica de varredura, microscopia de força atômica e analisadas por espectrometro fotoelétrico de raio-X. As células-tronco humanas mesenquimais (hMSCs) foram cultivadas nos discos por 3-28 dias. Os níveis de ALP, BSP, Runx2, OCN, OPG, e OSX mRNA e um painel de 76 genes relacionados com a osteogênese foram avaliados. A avaliação topográfica e química confirmou características em nanoescala presentes somente nas superfícies revestidas. mRNAs específicos aos ossos foram aumentados em superfícies com características em nanoescala sobrepostas em comparação com usinada (M) e ataque ácido (Ac). No dia 14, os níveis de OSX mRNA foram aumentados por 2 x, 3,5x, 4x e 3 vezes para Anatase (An), Rutilo (Ru), Alumínio (Al), e Zircônia (Zr), respectivamente. Os níveis de expressão OSX para M e Ac aproximaram-se dos níveis basais. Nos dias 14 e 28 a expressão relativa de Mrna do BSP foi significativamente elevada-regulada para todas as superfícies com características em nanoescala revestidas (aumento de até 45 vezes para Al). A matriz de PCR mostrou um aumento-regulação dos

implantes revestidos Al quando comparado com M. Uma melhoria da resposta das células aderidas às superfícies nanoestruturadas revestidas dos implantes foi representada pelo aumento das expressões OSX e BSP. Além disso, as superfícies nanoestruturadas produzidas usando óxido de alumínio aumentaram significativamente a expressão hMSC gene que representa a diferenciação de osteoblasto. Características em nanoescala de substratos de implante Ti podem melhorar a resposta da osseointegração alterando a resposta das células aderentes.

Júnior *et al.* (2010) realizaram uma revisão da literatura sobre superfícies de implantes osseointegráveis, analisando estudos *in vitro* e *in vivo*, a fim de mostrar uma perspectiva atual do desenvolvimento dos implantes. Esta abordagem englobou os resultados obtidos com micro e nano topografias, em termos quantitativos e qualitativos, avaliando a interface osso-implante. Além disso, discutiram também as perspectivas da incorporação de substâncias biomiméticas (como peptídeos e proteínas morfogenéticas) à superfície dos implantes e seus efeitos na modulação da neoformação óssea peri-implantar. A maioria dos estudos disponíveis *in vitro* e dos estudos *in vivo* parecem indicar que as superfícies dos implantes com topografia micro e submicro(nano) apresentam benefícios no processo de interação entre as células ósseas e a superfície dos implantes, acelerando e aumentando a qualidade da BIC (*Bone Implant Contact* ou integração osso e implante). Finalmente, com base no estado atual de desenvolvimento da técnica, é possível prever que, dentro de algum tempo, implantes revestidos com substâncias com capacidade biomimética estarão disponíveis para utilização clínica. Este processo de biofuncionalização dos implantes destina-se a modular a formação de osso novo em torno dos implantes, e é o próximo passo no desenvolvimento dos implantes.

Piatelli *et al.* (2011) consideraram importante esclarecer o potencial de resposta dos vários tipos de células para implantes de diferentes tipos de materiais e topografias. Assim, os estudos *in vitro* são realizados utilizando culturas de células, com a finalidade de avaliar, entre outras características, a morfologia, orientação, proliferação e a adesão das células. A avaliação histológica é realizada em animais ou seres humanos para descrever a resposta fisiológica a diferentes superfícies.

Oliscovicz *et al.* (2011) estudaram a influência do formato e tratamento de superfície na estabilidade primária de implantes através do torque de inserção e

ensaio de tração (arrancamento). Foram selecionados quatro tipos de implantes Conexão® (Conexão, Jaú, SP, Brasil): implantes cilíndricos com hexágono externo e duplo tratamento de superfície Porous (*Master Porous*); implantes cilíndricos com hexágono externo e usinados padrão Brånemark (*Master Screw*); implantes cilíndricos com hexágono interno e tratamento de superfície Porous (*Conect AR*); e implantes cônicos com hexágono externo e usinados padrão Brånemark (*Master Conect Conic*). Para a instalação de implantes foram utilizados substratos de madeira de Pinus. Para mensurar a estabilidade primária foi aferido o torque de inserção através do torquímetro digital Mackenaâ MK-2001; e força de arrancamento através da máquina Universal de Ensaio EMIC® DL-1000N. Após análise estatística realizada por meio dos testes ANOVA e Tukey, com $\alpha = 5\%$, foi observada diferença estatística entre os grupos estudados ($p < 0,05$). Implantes *Master Porous* mostraram maiores valores de torque de inserção com diferença estatística apenas quando comparados com implantes *Conect AR* ($p = 0,03$). Em relação a força máxima de arrancamento, implantes *Conect AR* tiveram os maiores resultados com diferença estatisticamente significativa quando comparados com o grupo de implantes *Conect Cônico* ($p = 0,00$), no entanto sem diferença estatística com os grupos *Master Porous* e *Master Screw* ($p > 0,05$); além disso entre os grupos *Conect Cônico* e *Master Porous* houve diferença estatística ($p = 0,02$). Concluiu-se que o formato e tratamento da superfície dos implantes não tiveram influência no torque de inserção e que implantes cilíndricos com tratamento de superfície demonstraram maior força de arrancamento.

Abtahi *et al.* (2012) alegaram que muitos procedimentos cirúrgicos utilizam implantes de metal em ossos. Os resultados clínicos dependem da força do osso que detém o implante. O nosso objetivo foi o mostrar que o medicamento liberado pela superfície do implante pode melhorar parâmetros que refletem a qualidade ou quantidade do osso. Dezesesseis pacientes receberam pares de implantes de titânio dentário na maxila, em um estudo randomizado, de modo duplo-cego. Um implante em cada par foi revestido com uma camada fina de fibrinogênio contendo 2 bisfosfonatos. O outro implante não foi tratado. A fixação foi avaliada pela medição da frequência de ressonância (quociente da estabilidade do implante; ISQ), servindo como um indicador de rigidez da interface osso-implante. Aumento no ISQ aos 6 meses foi a principal variável. Nenhum dos pacientes tiveram complicações. A frequência da ressonância aumentou 6,9 unidades ISQ a mais para

os implantes revestidos ($p = 0,0001$; Cohen's $d = 1,3$). A diferença média de aumento do ISQ, e o tamanho do efeito, sugeriu uma melhoria clinicamente relevante. Raio-X mostrou reabsorção óssea menor na margem do implante, tanto aos 2 meses ($p = 0,012$) quanto aos 6 meses ($p = 0,012$). Em conclusão, uma camada fina de bifosfonato fibrinogênio eluído pode melhorar a fixação de implantes metálicos no osso humano. Isso pode levar a novas possibilidades para cirurgias ortopédicas no osso osteoporótico e para implantes dentários.

Serap & Hüseyin (2012) afirmaram que a morfologia das superfícies de implantes de titânio são de uma importância crucial para a adaptação mecânica a longo prazo após a implantação. Um problema importante é a tensão de efeito de blindagem que se origina a partir da incompatibilidade da elasticidade entre o osso e o implante. É hora de uma mudança de paradigma explorar novas superfícies inteligentes para evitar este problema. Vários métodos de tratamento de superfície são tradicionalmente utilizados para modificar a morfologia da superfície dos implantes dentais de titânio.

O laser de micro-usinagem pode ser considerado como um método único e flexível de tratamento para modificar as propriedades superficiais de matérias na indústria biomédica, sem contato e livre de contaminação. O objetivo do estudo ambivalente é desenvolver novas superfícies inteligentes 3D que podem atuar como agentes deformantes através de um pulso de laser em um nano segundo, juntamente com estratégias de radiação. Analisar a morfologia destas superfícies inteligentes utilizando métodos de elementos finitos, a fim de estimar os seus valores de rigidez interna que desempenham um grande papel sobre o efeito de estresse na blindagem. Novos atuadores inteligentes em 3D foram preparados utilizando um laser de fibra de itérbio ($\lambda = 1060 \text{ nm}$) com duração de pulso 200-250 nano segundos em implantes de titânio comercialmente puro. Foram sugeridos amostras de materiais de superfície e parâmetros ideais de operação. Considerando os limites da investigação, as seguintes conclusões podem ser tiradas: Novos ativadores de deformação 3D inteligentes foram preparados usando o laser de fibra de Itérbio ($\lambda = 1060\text{nm}$) com pulsos de duração entre 200-250 nanosegundos para serem utilizados em superfícies de titânio comercialmente puro. O tratamento a laser das superfícies de implantes levaram a padrões de superfície isotrópica com contaminação de carbono. Em nossos estudos futuros vamos tentar novos métodos para evitar tal

contaminação. O tratamento da superfície por laser de fibra aumentou o teor de oxigênio dos padrões de superfície micro-texturizados. Isto pode dar ao material características de molhabilidade superiores, aumentando a adesão do material a fluídos biológicos. A promissora geometria de favo de mel foi encontrada como micro padrão da superfície. Supõe-se que atuam como um agente deformante, com cargas suspensas e agindo como um ligamento artificial, devido à sua alta rigidez interna. Este estudo é uma investigação preliminar, porém novos estudos experimentais *in vivo* são necessários para as estruturas de superfície em 3D para avaliar o efeito de deformação real na blindagem e a resposta óssea para as superfícies fabricadas a laser.

3 DISCUSSÃO

Segundo Amarante & Lima (2002) a porosidade não é condição necessária para que ocorra formação óssea, entretanto, desempenha um papel preponderante no percentual de aposição óssea sobre a superfície do implante, assim como na velocidade com que essa deposição ocorre.

Brentel *et al.* (2006) afirmam que os implantes de superfície porosa contribuíram para a osseointegração devido à sua maior superfície de contato na interface osso-implante. De acordo com Carvalho *et al.* (2009) as modificações no desenho do corpo e na superfície do implante têm sido sugeridas para aumentar o sucesso em ossos menos densos por meio do hipotético ganho de uma melhor ancoragem e uma maior área de superfície para a distribuição das cargas oclusais.

Para Serap & Hüseyin (2012) a morfologia das superfícies dos implantes de titânio são de uma importância crucial para a adaptação mecânica a longo prazo após a implantação.

Os estudos da topografia da superfície implantar no comportamento celular mostraram que o osso se deposita indistintamente em superfícies porosas ou lisas, seja em implantes de cerâmica, titânio, ou em ampla variedade de outras superfícies. Porém as propriedades físico-químicas das superfícies dos implantes exercem um papel fundamental no sucesso do fenômeno biológico da osseointegração. As interações moleculares e celulares que norteiam o destino biológico dos implantes ocorrem nos estágios iniciais da cicatrização (Amarante & Lima, 2002).

Le Guehenec *et al.*(2007) relataram que a taxa de osseointegração de implantes dentais de titânio está relacionada à sua composição e a rugosidade da superfície. Implantes de superfície rugosa favorecem tanto a ancoragem óssea como a estabilidade biomecânica.

Oliscoviczet *al.* (2011) concluíram que o formato e o tratamento de superfície de implantes não tiveram influência no torque de inserção e que implantes cilíndricos com tratamento de superfície demonstraram maior força de arrancamento.

Yan Guo *et al.*(2012) observaram que a osseointegração é um fator importante que influencia o sucesso do implante dentário. Para conseguir uma rápida, forte e durável osseointegração, pesquisadores de biomateriais têm investigado vários métodos de tratamento de superfície para implantes subgingivais de titânio (Ti).

Para Amarante & Lima (2002) a textura da superfície foi a característica mais marcante na promoção da osseointegração, determinadas superfícies possibilitam maior e mais rápido contato ósseo na fase de cicatrização e contato ósseo duradouro quando em função contribuindo para a otimização do procedimento.

Le Guehenec *et al.* (2008) afirmaram que a osseointegração de implantes orais está relacionada com as primeiras interações entre as células osteoblásticas e a superfície de titânio. Segundo Carvalho *et al.* (2009) os implantes com superfície rugosa apresentam uma maior área de contato osso-implante e melhores características biomecânicas. Schulera *et al.* (2006) afirmaram que a topografia da superfície e (bio)química são fatores-chaves na determinação da resposta celular a um implante.

Schulera *et al.* (2006) observaram um aumento no número celular e na dispersão celular em substratos bioativos em comparação com as superfícies bio-inativas de implantes dentais. A topografia lisa apresentou um número maior de fibroblastos que a rugosa, enquanto que para os osteoblastos a tendência oposta foi observada. Áreas de crescimento para todos os tipos celulares foram significativamente reduzidas em superfícies lisas em comparação com as superfícies rugosas.

As bases biológicas já foram, há muito tempo, descobertas e difundidas. Estas tecnologias, hoje disponíveis, são métodos auxiliares para a utilização nos casos de pobre qualidade óssea ou áreas associadas às reconstruções por enxerto (aumentar superfície de contato e acelerar neoformação óssea) (Cortez, 2002).

Le Guehennec *et al.* (2007) afirmaram que a liberação local de medicamentos osteoestimulantes ou reabsortivos região peri-implantar pode responder às difíceis situações clínicas com pouca qualidade e quantidade óssea. Estas estratégias terapêuticas devem reforçar o processo de osseointegração de implantes dentais para sua carga imediata e sucesso a longo prazo.

Abtahi *et al.* (2012) alegaram que muitos procedimentos cirúrgicos utilizam implantes de metal em ossos. Os resultados clínicos dependem da força do osso que detém o implante. Em suas pesquisas concluíram que uma camada fina de bifosfonato fibrinogênio eluído pode melhorar a fixação de implantes metálicos no osso humano. Isso pode levar a novas possibilidades para cirurgias ortopédicas no osso osteoporótico e para implantes dentários.

Os tratamentos de superfície, tais como implantação iônica, tem sido identificados como bons candidatos para modificar as propriedades da superfície dos implantes para melhorar significativamente a osseointegração. Alguns tratamentos de implantação dos íons não alteraram significativamente o desempenho dos implantes dentários em relação aos implantes não tratados, enquanto que os testes mostraram que a implantação iônica de CO notavelmente melhorava as propriedades de osseointegração, ou seja, o percentagem de osso em contato com o implante (Bracera *et al* , 2002).

O tratamento das superfícies dos implantes, um recurso relativamente recente, desenvolvido pela moderna ciência tecnológica aplicada à Implantodontia, vem proporcionando resultados cada vez mais favoráveis e com uma alta previsibilidade (Cortez, 2002).

Segundo Cortez (2002), a utilização dos implantes como forma de reabilitação teve uma evolução muito grande desde a sua descoberta ao longo da história. Os princípios e cuidados com a técnica operatória sofreram refinamentos, as indicações ficaram mais precisas e a previsibilidade do resultado foi aumentada. Houve uma preocupação em vincular qualidade da técnica cirúrgica, características do sistema de implante e o resultado estético final, para isso, incentivou uma série de estudos experimentais buscando melhorar ainda mais todos estes fatores.

Wang *et al.* (2005) utilizaram parafusos de titânio que foram implantados nos sacos epiteliais de ostras substituindo as pérolas. Depois de 45 dias de cultivo, as superfícies dos implantes foram recobertas com uma camada de nácar com brilho iridescente. O revestimento era composto de uma camada laminada nacarosa e uma camada não-laminada de transição que consistia principalmente de vaterita e calcita, polimorfos do carbonato de cálcio. A camada de transição na região convexa e lisa da superfície do implante pôde formar um bom contato com a superfície do titânio, ao passo que a camada de transição era muito mais espessa nas regiões altamente côncavas e não pode formar um bom contato com a superfície de titânio. É possível fabricar um revestimento de nácar biologicamente ativo e degradável, e mecanicamente resistente e forte no implante dentário de titânio por esta tecnologia de revestimento.

Fathi & Azam (2006) desenharam e produziram uma nova superfície de revestimento sobre substratos metálicos, a fim de melhorar a biocompatibilidade do implante dentário metálico e a osseointegração simultaneamente. Foi utilizado aço inoxidável 316L, (SS) como substrato metálico e uma nova camada dupla de hidroxiapatita / tântalo (HA / Ta) foi preparada sobre o implante. Os resultados indicaram uma diminuição significativa da densidade de corrosão para as amostras revestidas com HA / Ta, já o valor encontrado nas amostras não revestidas SS 316L foi muito mais alto. A nova camada dupla de revestimento composta de HA / Ta pode melhorar a resistência à corrosão e, assim, a biocompatibilidade de implantes dentários de aço inoxidável 316L SS. O implante de aço inoxidável 316L SS revestido com a nova camada dupla de HA/ Ta pode gerar um aumento na biocompatibilidade e resistência de corrosão facilitando a osseointegração que pode levar a uma estabilização mais rápida do implante reduzindo o tempo de cicatrização.

De Maeztu *et al.* (2008) compararam a implantação de íons de monóxido de carbono (CO) como um tratamento de superfície com carbono similar ao diamante, em implantes comercialmente tratados, incluindo duplo ataque ácido (Osseotite®), oxidado (TiUnite®) , superfície jateada com areia e ataque-ácido (SLA®), usando implantes de titânio mecanicamente torcidos como controle. Os resultados histológicos obtidos através ESEM (microscopia eletrônica de varredura) demonstrou contato osso-implante percentual (BIC%) para implantes tratados com a

implantação de íons CO de 61% e 62% aos 3 e 6 meses, respectivamente. No mesmo intervalo de tempo, os valores foram de 48% e 45% para duplo de ataque-ácido, 46% e 52% para superfícies jateadas e ataque-ácido, 55% e 46% para superfícies de implantes oxidadas, e de 33% e 49% para a amostra controle de implantes de titânio mecanicamente torcidos. Não foram observadas diferenças significativas entre os três grupos de implantes comercialmente tratados. A maior BIC% do grupo de implantes tratados com íons foi observável na fase inicial.

Segundo Mendonça *et al.* (2008) as tendências atuais no tratamento clínico com implantes dentais incluem o uso de superfícies de implantes dentários endósseos embelezados com topografias em nanoescala. A nanotecnologia oferece aos engenheiros e biólogos novas formas de interagir com processos biológicos relevantes. Além disso, a nanotecnologia tem proporcionado meios de compreender e de realizar funções celulares específicas. Os dados existentes que apoiam o papel de nanotopografia sugerem que as etapas críticas na osseointegração podem ser moduladas pela modificação em nanoescala da superfície do implante. Modificações em nanoescala de superfícies de implantes de titânio endósseos podem alterar as respostas celulares e teciduais que podem beneficiar a osseointegração e a terapia com implantes dentais.

Os implantes podem ser classificados de acordo com a sua composição em implantes de titânio ou constituídos de outros materiais (tântalo, ouro, cerâmicas, zircônia, etc.). As superfícies dos implantes de titânio podem ser classificadas em cinco grupos: usinadas, macrotextrurizadas, microtexturizadas, nanotextrurizadas ou biomiméticas (Carvalho *et al.*, 2009).

Características em nanoescala de substratos de implante de Titânio podem melhorar a resposta da osseointegração alterando a resposta das células aderentes. Além disso, as superfícies nanoestruturadas produzidas usando óxido de alumínio aumentaram significativamente a expressão hMSC gene que representa a diferenciação de osteoblasto de acordo com Mendonça *et al.* (2009).

Vários métodos de tratamento de superfície são tradicionalmente utilizados para modificar a morfologia da superfície dos implantes dentais de titânio. O laser de micro-usinagem pode ser considerado como um método único e flexível de tratamento para modificar as propriedades superficiais de matérias na indústria

biomédica, sem contato e livre de contaminação. O tratamento a laser das superfícies de implantes levaram a padrões de superfície isotrópica com contaminação de carbono sendo necessário tentar novos métodos para evitar tal contaminação. O tratamento da superfície por laser de fibra aumentou o teor de oxigênio dos padrões de superfície micro-texturizados. Isto pode dar ao material características de molhabilidade superiores, aumentando a adesão do material a fluídos biológicos. A promissora geometria de favo de mel foi encontrada como micro padrão de superfície. Supõe-se que atuam como um agente deformante, com cargas suspensas e agindo como um ligamento artificial, devido à sua alta rigidez interna (Serap & Hüseyin, 2012).

4 CONCLUSÃO

Com base nos trabalhos pesquisados ou disponíveis na literatura pode-se concluir que:

Incrementou-se a pesquisa e o desenvolvimento das superfícies texturizadas à medida que implantes de superfície lisa apresentaram fracassos significativos quando instalados em maxilares com pouca altura de rebordo alveolar e com baixa densidade óssea (osso tipo IV);

A deposição de tecido ósseo sobre as superfícies dos implantes osseointegrados ocorre independentemente destas serem polidas ou texturizadas;

As características das superfícies texturizadas promovem maior contato osso implante e favorecem contatos mais rapidamente, permitem que os implantes osseointegrados com essas superfícies recebam cargas funcionais mais precocemente e favorecem seu prognóstico quando aplicados em tecido ósseo pouco compacto, ou em osso regenerado;

Os implantes podem ser classificados de acordo com a sua composição em implantes de titânio ou constituídos de outros materiais. As superfícies dos implantes de titânio podem ser classificadas em cinco grupos: usinadas, macrotextrizadas, microtexturizadas, nanotextrizadas ou biomiméticas.

Apesar de toda evolução no material, forma e indicações para a colocação dos implantes, os estudos continuam buscando melhorar a eficiência dos mesmos. O próprio período de tempo em que o paciente deve esperar até ser reabilitado proteticamente vem diminuindo de maneira gradativa e já aplicasse reabilitações imediatas à colocação dos implantes.

REFERÊNCIAS

- Amarante E. S; Lima L. A. Optimization of implant surfaces: titanium plasma spray and acid-etched sandblasting current state. **Pesqui Odontol Bras**. 2002; 15(2): 166-3.
- AbtahiJ, Tengvall P; Aspenberg P. A. Bisphosphonate-coating improves the fixation of metal implants in human bone. A randomized trial of dental implants. **Bone**. 2012; 50: 1148–1151.
- Brentel A. S; Vasconcellos L.M.R; Oliveira M.V; Alencastro M.L. Histomorphometric analysis of pure titanium implants with porous surface versus rough surface. **Journal of Applied Oral Sciences**. 2006; 14: 213-218.
- Braceras, I; Alava J.I; Oñate J.I; Brizuela M; Garcia-Luis A, Garagorria N *et al*. Improved osseointegration in ion implantation-treated dental implants. **Surface and Coatings Technology**. 2002; 158 – 159: 28–32.
- Brånemark, P. I. Osseointegration and its experimental background. **Prost Dent**. 1983; 50(3): 399-410.
- Cortez, A.L.V. **Influência de diferentes superfícies de implantes endósseos de titânio sobre o processo de osseointegração. Análise histológica e histométrica em tíbia de coelhos** [tese]. Piracicaba: UNICAMP/FOP; 2002.
- Carvalho, B.M; Pellizzer E.P; Ferreira, J.J.S; Antenucci, R.M.F; Moraes, S.L. Tratamento de superfície nos implantes dentários. **Revista de Cirurgia e Traumatologia Buco-maxilo-facial**. 2009; 9(1): 123-130.
- De Maeztu, M.A; Braceras, I; Alava, J.I; Gay-Escoda C. Improvement of osseointegration of titanium dental implant surfaces modified with CO ions: a comparative histomorphometric study in beagle dogs. **International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**. 2008; 37: 441–477.

Fathi, M.H; Azam, F.; Novel hydroxyapatite/tantalum surface coating for metallic dental implant. **Materials Letters**. 2006; 61: 1238–1241.

Júnior, A.B.N; Souza, S.L.S; Barros, R.R.M; Pereira, K.K.Y; Iezzi G; Piattelli, A. Influence of Implant Surfaces on Osseointegration. **Braz Dent J**. 2010; 21(6): 471-81.

Le Guehenec, L; Lopez-Heredia, M.A.; Enkel B; Weiss, P; Amouriq Y; Layrolle P. Osteoblastic cell behaviour on different titanium implant surfaces. **Acta Biomaterialia**. 2008; 4: 535–543.

Le Guehenec, L; Souiedan A, Layrolle P, Amouriq Y. Surface treatments of titanium dental implants for rapid osseointegration. **Dental Materials**. 2007; 23: 844–854.

Mendonça G; Mendonça D.B.S; Aragão, F.J.L; Cooper, L.F. Advancing dental implant surface technology – From microntonanotopography. **Biomaterials**. 2008; 29: 3822–3835.

Mendonça, G; Mendonça D.B.S; Simões, L.G.P; Araújo, A; Leite, E.R; Duarte, W.R. *et al*. The effects of implant surface nanoscale features on osteoblast specific gene expression. **Bio materials**. 2009; 30: 4053–4062

Oliscovicz, N.F, Shimano AC, Lepri CP, Reis AC, Júnior ME. Efeito do design do tratamento de superfície na estabilidade primária de implantes odontológicos. **Innovations Implant Journal: BiomaterialsandEsthetics**. 2011; 6(1): 9-15.

Piatelli, A; Misch; C.E; Pontes, A.E.F; Lezzi, G; Scarano, A; Degidi, M. Superfícies dos implantes dentais: uma revisão. In: Misch, E. Carl. **Implantes dentais contemporâneos**. 3. Ed. São Paulo: ELSEVIER; 2008. p. 599-620.

Piatelli, A; Pontes, A.E.F; Degidic, M; Lezzi, G. Histologic studies on osseointegration: Soft tissues response to implant surfaces and components. **Dental Materials**. 2011; 27: 53–60.

Serap, Ç; Hüseyin, Ö. Laser-induced novel patterns: As smart strain actuators for new-age dental implant surfaces. **Applied Surface Science**. 2012; 579–585.

Schulera, M; Owen, G.R; Hamilton, D.W; Wild, M; Textora, M; Brunette, D.M; Tosattia, S.G.P. Biomimetic modification of titanium dental implant model surfaces using the RGDSP-peptide sequence: A cell morphology study. **Biomaterials**. 2006; 27: 4003–4015.

Wang, X;, Xiea, L; Wang, R. Biological fabrication of nacreous coating on titanium dental implant. **Biomaterials**. 2005; 26: 6229–6232.

Yan Guo, C; Matilinna, J.K; Tin Hong Tang, A. Effects of Surface Charges on Dental Implants: Past, Present, and Future. **Biomaterials**. 2012.