

**João Paulo Lyra e Silva**

**Avaliação da resistência a flexão de ligas de Titânio  
(Ti6Al4V) soldadas com diferentes configurações  
pelo processo Plasma**

Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Uberlândia, para obtenção do Título de Mestre em Odontologia, Área de Concentração Clínica Odontológica.

**João Paulo Lyra e Silva**

**Avaliação da resistência a flexão de ligas de Titânio (Ti6Al4V)  
soldadas com diferentes configurações pelo processo Plasma**

Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Uberlândia, para obtenção do Título de Mestre em Odontologia, Área de Concentração em Clínica odontológica.

Orientador: Prof. Dr. Alfredo Júlio Fernandes Neto

Banca Examinadora:  
Prof. Dr. Alfredo Júlio Fernandes Neto  
Prof. Dr. Paulo Cézar Simamoto Júnior  
Prof. Dr. Rodrigo Borges Fonseca

Uberlândia, 2011

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ODONTOLOGIA**



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA**

AV. Pará, 1720, bloco 2u – sala 2U09 – Campus Umuarama – UBERLÂNDIA – MG – 38400-902  
(0XX) 034 – 3218-2550

**RELATÓRIO DA COMISSÃO JULGADORA DA 194<sup>a</sup> DEFESA DE  
MESTRADO DO CD JOÃO PAULO LYRA E SILVA DO PROGRAMA DE  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA DESTA UNIVERSIDADE.**

Às quatorze horas do dia vinte e três de fevereiro do ano de dois mil e onze, reuniu-se a Comissão Julgadora aprovada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Uberlândia, para o julgamento da Dissertação de Mestrado apresentada pelo candidato JOÃO PAULO LYRA E SILVA com o título “Avaliação da resistência a flexão de ligas de Titânio (Ti6Al4V) soldadas com diferentes configurações pelo processo Plasma”. O julgamento do trabalho foi realizado em sessão pública compreendendo a exposição, seguida de arguição pelos examinadores. Encerrada a arguição, cada examinador, em sessão secreta, exarou o seu parecer. A Comissão Julgadora, após análise do Trabalho, verificou que o mesmo encontra-se em condições de ser incorporado ao banco de Dissertações e Teses da Biblioteca desta Universidade. Acompanham este relatório os pareceres individuais dos membros da Comissão Julgadora.

Uberlândia, 23 de fevereiro de 2011.

198  
Prof. Dr. Alfredo Júlio Fernandes Neto  
Titulação: Doutor  
Universidade Federal de Uberlândia – UFU

Aprovado  
Aprovado/Reprovado

Paulo  
Prof. Dr. Paulo Cézar Simamoto Júnior  
Titulação: Doutor  
Universidade Federal de Uberlândia - UFU

Aprovado  
Aprovado/Reprovado

Rodrigo  
Prof. Dr. Rôdrigo Borges Fonseca  
Titulação: Doutor  
Universidade Federal de Goiás

Aprovado  
Aprovado/Reprovado

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais Maria de Jesus e Francisco das Chagas principais incentivadores e exemplos da minha vida, sempre me apoiaram, incentivaram e não mediram esforços para fazer tudo que estava ao seu alcance. Amo vocês! E agradeço a Deus todos os dias a família que tenho.

Aos meus irmãos Francisco José, Paulo Régis, Carlos Antônio, Adriana, pelo amor, carinho, amizade, respeito e exemplo em todos os momentos, privando-se de muitas coisas para que eu pudesse conseguir vencer mais esta etapa. Obrigado, amo vocês!

As minhas cunhadas Mirani, Luciana e Janice, por fazerem parte da minha vida, e por serem exemplos de mãe.

Ao meu cunhado Cléssio *in memoriam*, por todos os momentos importantes que passamos e pelo grande exemplo de vida e ser humano.

Aos meus adorado sobrinhos, Rafael, Paula, Patrick, Gabriel, Ana Karla, Ana Beatriz, Ana Luiza, João Pedro e Carlos Eduardo, por alegrarem a minha vida grandemente. Obrigado por vocês existirem!

A minha madrinha Fracizete, pela seu carinho, força e ajuda de todos as formas!!!

Aos meus grandes amigos Vitor Secunho e André Carreiro, pela enorme contribuição para minha vida, obrigado pela força, por todo o aprendizado e principalmente amizade!

## **AGRADECIMENTOS**

A **DEUS, pela minha vida**, por todas as minhas realizações, por ter me dado força nos momentos difíceis, pela minha família e por colocar no meu caminho pessoas tão especiais, como as citadas abaixo.

Ao professor e Reitor **Prof. Dr. Alfredo Júlio Fernandes Neto**, por me dar a oportunidade de participar do programa de pós graduação – mestrado – da Universidade Federal de Uberlândia e realizar esse sonho, serei eternamente grato ao senhor.

Aos meus grandes mestres **Prof. Dr. Adérito Soares da Mota**, pela amizade, pelos ensinamentos transmitidos, pelas oportunidades de crescimento pessoal e profissional, pelos ensinamentos clínicos de grande importância para minha formação. Mas acima de tudo, pelo carinho durante esses dois anos, pois estando longe da minha família por tanto tempo, tornou-se uma grande referência para mim. Ao **Prof. Dr. Flávio Domingues das Neves**, pela amizade, pela grande ajuda durante esses dois anos, pela confiança depositada em mim nos cursos, pelos ensinamentos transmitidos, por ser o espelho de um futuro ao qual sonho trilhar. Ao **Prof. Dr. Ricardo Alves do Prado**, outro grande exemplo para minha vida, sou muito grato, as viagens as conversas, enfim, aos valiosos ensinamentos de vida profissional e pessoal. Ao **Prof. Dr. Carlos Soares**, exemplo de dedicação, persistência, trabalho e liderança, além da grande confiança depositada em mim e oportunidade de realizar mais um sonho, o doutorado. À **Profa. Samara e seu esposo Igor**, pela amizade, carinho e caronas. Ao **Prof. Cleudmar**, pelos valiosos ensinamentos e pela amizade!

Aos Grandes mestres e amigos **Paulo César Simamoto-Júnior e Veridiana R. N. Simamoto**, pelo acolhimento, por me ajudarem na execução deste trabalho, pelas orientações de vida, pelo exemplo de professores, pessoas, de marido e mulher, de família. Muito obrigado por todos os momentos e espero manter essa amizade.

Aos amigos que foram fundamentais para minha vida em Uberlândia, nos bons e maus momentos, **João Paulo**, pela amizade e acolhimento, **Lucas Dantas**, pela companhia, amizade por todas as ajudas que foram fundamentais para meu mestrado, **George**, companheiro de conversas, grande amigo, **Luís Raposo**, pela amizade e disponibilidade de

ajudar. Obrigado pelo carinho e por serem minha família aqui. Ao **Jaiba, Luisa e Morgana**, grandes amigos que me ajudaram na execução desse trabalho. “La pareja que tengo gran afecto, consideración y amistad” **Andréia Dolores e Juan Carlos**. Aos amigos **Bruno Reis, Bruno Barreto, Gabriela Mesquita, Germana Camargos, Fabiane Maria, Marininha, Karla Zancopé, Thiago Stape, Aline & Maiolino, Crisnicaw, Analice, Talita e Lucas Zago, Thiago Paulista, Marcel** e todos os amigos que fiz no Mestrado.

Ao **Prof. Dr. Paulo Vinícius e Paulo César Santos Filho, Murilo Menezes e Gisele**, amigos e professores, ícones para mim, pessoas admiráveis e grandes profissionais.

Ao **Wilton, Susy, Graça e Abigail** por toda a ajuda que me prestaram durante o mestrado!

Aos **alunos da Graduação e Iniciação Científica (Poliana, Natássia, Ubiratan, Maiara, Leandro e Milene )** que me ajudaram bastante no meu aprendizado durante as clínicas e laboratórios que acompanhei.

À **Faculdade de Odontologia de Uberlândia**, ao **Programa de Pós-graduação em Odontologia**, por todas as oportunidades oferecidas.

À **Área de Oclusão, Prótese Fixa e Materiais Odontológicos**, pela recepção e acolhimento durante esses anos.

À **Escola Técnica de Saúde**, por disponibilizar o laboratório para execução do presente trabalho.

Ao **LIPO** (Laboratório Integrado de Pesquisa em Odontologia) por disponibilizar as instalações para execução do presente trabalho.

*“Se eu enxerguei mais longe, é porque  
estava sobre os ombros de gigantes.”*

*(Albert Einstein)*

# SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS.....	09
RESUMO .....	10
ABSTRACT .....	11
1 - INTRODUÇÃO .....	12
2 - REVISÃO DE LITERATURA.....	15
3 - PROPOSIÇÃO.....	34
4 - MATERIAIS E MÉTODOS .....	35
<i>4a – Confecção dos corpos de prova .....</i>	35
<i>4b – Processos de soldagem.....</i>	37
<i>4c – Ensaio mecânico .....</i>	39
<i>4d – Análise estatística dos resultados de resistência a flexão .....</i>	40
<i>4e - Percentual de alongamento.....</i>	40
<i>4gf- Análise em lupa estereoscópica.....</i>	41
5 - RESULTADOS .....	43
6 - DISCUSSÃO.....	47
7 - CONCLUSÃO .....	50
8 - REFERÊNCIAS .....	51
ANEXO.....	57

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

Ti - Titânio

AL - Alumínio

V - Vanádio

mm - milímetros

PL - plasma

TIG - Tugstenio inert gas

B - Brasagem

Ni - Níquel

Cr - Cromo

Mpa - Megapascal

ms - milímetros/segundo

A - Amper

Hz - Hertz

O<sub>2</sub> - Oxigênio

Ar - Argônio

## **RESUMO**

Este trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento mecânico de barras de Ti-6Al-4V de 3,18mm de diâmetro soldadas em diferentes regulagens, para determinar os parâmetros ótimos na utilização da máquina de solda plasma e compará-los com corpos de prova de níquel cromo (NiCr) soldados pelo processo de brasagem. Os 50 corpos de prova ( $n=10$ ) foram divididos em: Grupo Controle (Controle), com barras intactas da liga; Grupo Níquel-cromo brasagem (NiCrB), constituídos por barras fundidas de níquel-cromo e soldadas pelo processo de brasagem e os grupos soldados pela soldagem plasma, Grupo PL3-10 - utilizando regulagem do equipamento: pulso 3A e profundidade 10ms; Grupo PL3-12 - pulso 3A e profundidade 12ms (G12); Grupo PL3-14 - pulso 3A e profundidade 14ms. Após a soldagem, as barras foram submetidas ao teste de resistência à flexão, os valores obtidos foram analisados em fórmula para obtenção da tensão de flexão (MPa). O teste estatístico utilizado foi utilizado ANOVA one way com índice de significância de ( $p<0,05$ ) sendo posteriormente aplicado o teste Tukey para comparação de médias ( $p=0,05$ ). Em seguida foi realizada a análise das amostras em Lupa estereoscópica, para verificar a profundidade de penetração da solda e o padrão de fratura. Concluímos que o valor mais alto obtido foi do grupo Controle seguido pelo PL3-10. O grupo NiCrB apresentou os menores valores de tensão de flexão, sendo diferente estatisticamente do PL3-10 e PL3-12 ( $P<0,05$ ) e semelhante ao PL3-14 ( $p>0,05$ ). Na análise da área de penetração da solda não houve diferença estatística entre os grupos ( $p>0,05$ ).

**Palavras Chave:** Resistência à flexão, solda plasma, brasagem, titânio

## ABSTRACT

This study aimed to evaluate the mechanical properties of Ti-6Al-4V bars with 3.18mm diameter welded under different conditions to determine the optimal parameters to use of plasma welding machine comparing with specimens of nickel chrome (NiCr) welded by convectional process. Fifty specimens were divided in 5 groups ( $n = 10$ ), control group (Control) with intact bars of titanium alloy, NiCrB group consisting of cast bars of NiCr and welded for brazing process; and groups welded with plasma process. Group PL3-10 using the regulation of the equipment 3A pulse and 10ms depth, Group PL3-12: 3A pulse and 12 ms depth. Group PL3-14 3A pulse and 14ms depth. The bars were subjected to 3-bending flexural strength test. The values obtained were analyzed in the formula to achieve the bending stress (MPa). The statistical test ANOVA one way with index of significance ( $p < 0.05$ ) and test Tukey ( $p=0.05$ ) was used. After carried out the analysis of samples under magnification to check the depth of weld penetration and fracture pattern. We conclude that the highest value was obtained from Control group followed to PL3-10. NiCrB group showed the lowest bending of flexural strength, being statistically different from the PL3-10 and PL3-12 and similar to the PL3-14. In analyzing the area of weld penetration was no statistical difference between groups ( $p > 0.05$ ).

**Key words:** Flexural Strength, Plasma Welding, Brazing, Titanium

## **1- INTRODUÇÃO**

A utilização de implantes dentários na reabilitação de pacientes edêntulos apresenta-se como modalidade de tratamento consolidada e com altos índices de sucesso (Sadowsky & Caputo, 2004), contudo ainda persiste na sociedade brasileira uma grande parcela da população sem acesso a essa modalidade de tratamento, devido ao alto custo. Assim, pesquisas no campo da otimização, simplificação do protocolo original de Bränemark, como a utilização de novas técnicas, ligas metálicas alternativas as ligas áureas e novos métodos de soldagem, apresentam-se como alternativa viável para a popularização da implantodontia na reabilitação de pacientes edêntulos (Vasconcelos et al. 2005, Simamoto-Júnior, 2008).

Assim estudos utilizando estruturas alternativas ao protocolo original de Branemark, tem sido feito, utilizando titânio e liga de Titânio-Alumínio-Vanádio (TiAlV) na forma de barras pré-fabricadas soldadas em pilares de titânio, para confecção de estruturas mais simples, que diminuem etapas protéticas, custo e aumentam a rapidez do tratamento, além de apresentarem boa adaptação e passividade (Degidi et al., 2009).

O uso do titânio e suas ligas, na confecção de prótese dentária, deve-se a propriedades como: a biocompatibilidade, resistência e módulo de elasticidade favoráveis para desempenhar funções biomecânicas na cavidade oral. Contudo, a alta temperatura de fusão, próxima de 1700° C, exige procedimentos especiais de fundição, ciclos de resfriamento, revestimentos e equipamentos para prevenir sua contaminação. (Özen, 2005)

O titânio é altamente reativo em altas temperaturas, tendo grande afinidade por hidrogênio, nitrogênio e oxigênio, os quais podem ser responsáveis por torná-lo mais frágil, resultando na necessidade de proteção por gás inerte durante seu processamento (Bergman, 1990; Craig, 1997; Anusavice, 2005). Em temperatura ambiente o titânio é recoberto por camada de óxido (TiO<sub>2</sub>), origem da sua resistência à corrosão, fator que determina excelente biocompatibilidade.

Diante dessas características houve necessidade de introduzir no mercado técnicas mais apuradas de soldagem a na confecção de próteses extensão. A brasagem (o método convencional de soldagem) que emprega como fonte de calor o maçarico, é contra indicado para o titânio e suas ligas (The Titanium Information Group, 1999).

Com isso, destacam-se novas possibilidades de solda como o LASER e soldagem a arco, dentre elas destacam-se o método TIG (tungsten inert gas) e plasma.

A soldagem LASER utiliza como fonte de calor um feixe de luz monocromática, coerente e direcional de alta energia, capaz de ser focado em áreas muito pequenas, produzindo mínima distorção e lança mão de proteção por fluxo de gás inerte, geralmente argônio (Cardoso, 2007). Além de não necessitar de adição de outro tipo de metal para realizar a união entre as partes a serem soldadas (Tambasco et al., 1996; Wang & Chang, 1998).

A soldagem TIG consiste em um processo que utiliza como fonte térmica um arco elétrico formado entre um eletrodo de tungstênio e a peça a ser soldada, com proteção local de gás inerte, geralmente um fluxo de argônio, para prevenção de oxidação (Cardoso, 2007).

A soldagem plasma consiste de uma descarga elétrica, sustentada por meio de gás ionizado a alta temperatura. Este último sistema , produz energia térmica suficiente para ser usado em soldagem por fusão de materiais metálicos, com facilidade de controle, baixo custo relativo do equipamento (Cary, 1998; Da Silva, 2007.). A soldagem plasma produz soldas de qualidade superior à obtida por brasagem a maçarico em ligas como cromo-cobalto (CoCr), níquel-cromo (NiCr) além de gerarem menor distorção na peça a ser soldada (Da Silva, 2007; Hart & Wilson, 2006).

Em razão das dificuldades envolvidas na união do titânio por soldagem e do alto custo do equipamento de solda a laser, estudos têm demonstrado que é possível soldar o titânio pelo método TIG (Hart & Wilson, 2006; Wang & Welsch, 1995; Rocha et. al., 2006; Atoui, 2008) e pelo método de Plasma (Roggensack, 1993) que se apresenta como alternativa de baixo custo e funcionalmente viável (da Silva, 2007).

Contudo, são escassos trabalhos que detalhem normas técnicas que determinem valores adequados para a confecção de estruturas protéticas por meio de solda plasma. Assim, este trabalho teve por objetivo avaliar, por meio do ensaio mecânico de resistência a flexão, as propriedades mecânicas de barras de liga de titânio (Ti-6Al-4V) soldadas em diferentes condições para determinar parâmetros ótimos na utilização da máquina de solda plasma comparativamente ao padrão de solda por brasagem de liga de NiCr. A hipótese nula foi que o aumento da profundidade contribuiria para otimização de parâmetros de resistência da união de infraestruturas com finalidades protéticas.

Contudo, são escassos trabalhos que detalhem normas técnicas que determinem valores adequados para a confecção de estruturas protéticas por meio de solda plasma.

Assim, este trabalho teve por objetivo avaliar, por meio do ensaio mecânico de resistência a flexão, as propriedades mecânicas de barras de liga de titânio (Ti-6Al-4V) soldadas em diferentes condições para determinar parâmetros ótimos na utilização da máquina de solda plasma comparativamente ao padrão de solda por brasagem de liga de NiCr. Avaliar em Lupa estereoscópica a área de penetração da solda plasma nos corpos de prova de liga de titânio.

## **2 - REVISÃO DE LITERATURA**

Huling & Clark, em 1977, avaliaram a distorção e a confiabilidade da solda a laser, comparando-a a procedimentos tradicionais de soldagem e fundição em monobloco. Foi utilizado um modelo de gesso de maxila dentada, com ausência do segundo pré-molar. Assim, os dentes vizinhos foram preparados de forma a receberem coroa total, servindo de pilares para uma prótese fixa de três elementos. Foram fundidas 15 peças em liga de ouro, 5 para cada procedimento, e mensurada a desadaptação gerada, comparando as posições no modelo antes e após cada técnica. Todos os procedimentos resultaram em algum grau de distorção, sendo que as medidas após a soldagem foram maiores que antes, ou seja, houve expansão da peça. No geral, a soldagem a laser e a técnica de monobloco produziram menores distorções que a soldagem convencional. Segundo os autores, a maior precisão alcançada com a solda a laser pode ser devida à redução do número de passos laboratoriais, à menor quantidade de calor transmitida em toda a peça, além de consumir menor tempo de trabalho.

Uma outra abordagem a respeito da fratura em metais foi realizada por Cetlin et al., em 1979, afirmando que tal fratura pode ocorrer de duas formas: fratura frágil, na qual a trinca se propaga a uma velocidade que se aproxima da velocidade de propagação do som no material, sem deformação plástica macroscópica; e fratura dúctil, onde a seção resistente se reduz por deformação plástica, até redução teórica de 100% em metais puros. A análise de corpos de prova cilíndricos, sem entalhe, submetidos à tensão de tração, pode reproduzir as características principais de superfícies de fratura dúctil, com três zonas características, sendo elas: zona fibrosa, localizada na região central do corpo de prova; zona radial, com marcas radiais que se iniciam na periferia da zona fibrosa; e zona de cisalhamento, com inclinação de aproximadamente 45° com o eixo de tração. Segundo os autores, a análise sob microscopia eletrônica de varredura possibilita um adequado estudo da superfície de fratura em função da grande profundidade de campo, elevado poder de resolução e larga faixa de ampliações possíveis. Uma das características mais determinantes de uma fratura dúctil é a formação de micro cavidades, conhecidas como dimples.

Sjögren et al., em 1988, avaliaram algumas propriedades mecânicas do titânio soldado a laser, como resistência à tração, resistência à flexão a 0,2% e porcentagem de alongamento. Utilizaram amostras de titânio, de 2,0 e 5,0 mm de diâmetro e 70 mm de comprimento após a soldagem. Foram confeccionadas 56 barras, sendo 16 ensaiadas

como controle, ou seja, intactas (8 de cada diâmetro); das restantes, 8 barras de 2 mm e 32 barras de 5 mm de diâmetro foram seccionadas em duas partes iguais de 35 mm de comprimento e unidas por meio de soldagem a laser, realizada em atmosfera de gás argônio. Os parâmetros de soldagem para as amostras de 2,0 mm de diâmetro foram 15 J/ 5 ms/ f 10 Hz; para as amostras de 5,0 mm variou-se a energia, a duração do pulso e a frequência do pulso, obtendo-se 4 parâmetros de soldagem (8 amostras cada): A- 12 J/ 6 ms/ f 10 Hz; B- 18 J/ 6 ms/ f 10 Hz; C- 18 J/ 6 ms/ f 5 Hz; D- 30 J/ 10 ms/ f 3 Hz. Para comparação, 8 amostras fundidas em ouro tipo III, de 5,0 mm de diâmetro foram soldadas por brazagem e ensaiadas da mesma forma que as de titânio. As amostras fraturaram na região central da solda durante o ensaio de resistência à tração; aquelas fundidas em ouro fraturaram na região da brazagem e as amostras controle de titânio fraturaram aproximadamente na região central. A fractografia mostrou que o grau de deformação na região fraturada foi maior nos corpos não soldados. Em geral, o mecanismo de fratura ocorrido nas amostras controle e nas soldadas apresentou características similares (presença de dimples), entretanto, as amostras soldadas apresentaram presença de poros de gás e rachaduras. As amostras de titânio controle apresentaram maiores valores de alongamento, quando comparadas às amostras soldadas; dentre as amostras submetidas à soldagem, as de maior diâmetro (5,0 mm) apresentaram menores valores de resistência à tração (redução de 30%) devido à menor velocidade de esfriamento, acarretando em microestrutura mais grosseira. Os resultados mostraram que o parâmetro determinado para as amostras de 2,0 mm e os parâmetros A e B, para as amostras de 5,0 mm foram os mais adequados em termos de valores de resistência e profundidade de penetração da solda.

O titânio possui alta reatividade química com o oxigênio em elevadas temperaturas dificulta o processo de fundição, sendo necessário o desenvolvimento de procedimentos de fundição, material de revestimento e equipamentos adequados para impedir a contaminação do metal. Taira et al., em 1989, avaliaram a dureza, resistência à tração, resistência à corrosão e estrutura metalográfica de amostras fundidas em Ti cp e quatro ligas (Ti-6Al-4V, Ti-15V, Ti-20Cu e Ti-30Pd). As três últimas ligas não são usualmente utilizadas, mas por apresentarem pontos de fusão menores que o Ti cp (1660°C para Ti-15V e 1350°C para Ti-20Cu e Ti-30Pd) poderiam ser úteis na substituição das ligas convencionais de NiCr e CoCr. Foram confeccionadas amostras em forma de discos para análise metalográfica (8 mm de diâmetro x 2,7 mm de espessura) e retangulares para tração ( 2,5 x 1,2 x 15 mm). A análise metalográfica

mostrou que o Ti cp apresentou superfície composta por alfa case, camada esta formada pela reação entre titânio fundido e revestimento. O ensaio de tração foi realizado em máquina de ensaio universal, mostrando que a inclusão de metais formando ligas melhorou as propriedades mecânicas. A liga de Ti-15V apresentou o maior valor de resistência à tração (1.013 MPa), enquanto que Ti-6Al-4V apresentou valores menores (877MPa) e o Ti cp valores ainda menores (415 MPa), semelhantes às demais ligas. O ensaio de dureza da seção fraturada revelou maiores valores na porção externa das amostras, diminuindo em direção ao centro, alcançando valores estáveis, sendo que o titânio puro apresentou os maiores valores devido à difusão do oxigênio para o interior do metal fundido, mesmo em atmosfera controlada. Segundo os autores, quando estas ligas são comparadas às ligas convencionais, pode-se afirmar que o titânio fundido apresentou propriedades mecânicas semelhantes às da liga de ouro tipo IV; já as ligas de Ti-6Al-4V e Ti-15V foram semelhantes ao NiCr e CoCr. O ensaio de corrosão mostrou que o Ti cp e as ligas foram resistentes à corrosão em pH 3 e 7.

Jemt & Linden, em 1992, avaliaram durante 1 ano o comportamento de infraestruturas de próteses fixas confeccionadas em titânio, instaladas em mandíbula de 86 pacientes edêntulos. Estas estruturas foram confeccionadas a partir de componentes de titânio pré-fabricados, unidos por solda a laser aos cilindros sobre os pilares. Os resultados das observações deste grupo de pacientes foram comparados aos que receberam infraestrutura fundida em ouro (controle), como: número de implantes que falharam, número extra de consultas, qualquer tipo de problema encontrado. Os autores relataram que neste estudo houve poucos problemas clínicos, sendo que apenas duas próteses tiveram que ser refeitas devido à fratura da resina ou da estrutura metálica. Neste curto período de avaliação, a utilização da solda a laser resultou em padrão semelhante de complicações quando comparada aos resultados obtidos utilizando-se infraestrutura confeccionada de forma convencional. Entretanto, estudos complementares a longo prazo são necessários para verificar problemas como fratura provocada por fadiga.

Lautenschlager & Monaghan, em 1993, pesquisaram sobre as principais características do titânio, abordando vantagens e desvantagens. O titânio é um material leve, com densidade de 4,5 g/cm<sup>3</sup>, além de também apresentar baixo módulo de elasticidade. Dentre quatro materiais restauradores que apresentam propriedades de resistência para uso dental (Ti c.p., Ti-6Al-4V, CoCr e Au), o titânio, pela combinação de alta resistência e baixo peso faz desse metal e suas ligas os materiais com as maiores

proporções resistência / peso, ultrapassado apenas pela fibra de vidro e outros polímeros altamente reforçados. Quando submetido a temperaturas acima de 882° C, ocorre transformação da fase  $\alpha$  (hexagonal) para fase  $\beta$  (forma cúbica), permanecendo nesta forma até 1672°C, quando atinge seu ponto de fusão. Durante o esfriamento, passa novamente da fase  $\beta$  para fase  $\alpha$ , porém com modificações estruturais. O titânio também pode ser combinado com outros elementos a fim de alterar suas propriedades, principalmente para melhorar resistência, soldagem, e resposta ao tratamento térmico. Elementos como o Al, Ga, Sn, C, O, N estabilizam a fase  $\alpha$ , e garantem bom comportamento sob altas temperaturas. Elementos como V, Nb, Ta, Mo estabilizam a fase  $\beta$ . Como pobre condutor de calor (0,16 cal.cm/seg. $^{\circ}$ C.cm $^2$ , contra 0,71 para o ouro), proporciona um ponto localizado de solda, o que significa que o calor não é dissipado rapidamente durante seu preparo. A característica mais interessante do titânio que o torna o metal de preferência é a biocompatibilidade, e a propriedade que sem dúvida contribui para esta característica é a alta resistência à corrosão, devido à presença da camada passivadora de óxido de titânio (TiO<sub>2</sub>): camada óxida aderente, inerte e protetora que se forma em sua superfície. Além de resistente à corrosão, é também impenetrável ao oxigênio, e permite íntimo contato com tecidos moles e duros. Na fabricação de implantes, o titânio é preferido, uma vez que além de ser biocompatível, também permite que sua superfície seja tratada de forma a apresentar poros ou micro retenções.

Roggensack et al., em 1993, avaliaram a viabilidade das técnicas de soldagem a laser e plasma em amostras de titânio grau 2, por meio de ensaio de fadiga, dureza e análise em microscopia eletrônica. O ensaio de fadiga seguiu o método de Wöhler, segundo o qual no início do ensaio, a amostra é submetida à alta carga de tensão, com o objetivo de causar fratura após poucos ciclos. Posteriormente, o experimento é repetido, cada vez com tensões mais baixas até que a fratura não ocorra, determinando assim a carga de tensão que pode ser aplicada sem que ocorra a fratura da amostra. Neste estudo, o número de ciclos estipulado foi de 3 x 106, e frequência de 14 Hz. A microscopia eletrônica mostrou que a zona de solda, nas amostras soldadas a laser, não se apresentava completamente fundida, sendo que a profundidade de solda alcançada foi de 0,7 mm . Nestas, alterações na estrutura do metal se limitaram à zona de solda. Os corpos-de-prova soldados com plasma exibiram maior zona afetada pelo calor, superior a 3mm. Porém, não foi observada presença de porosidades ou trincas no cordão de solda. Em ambos os métodos, a dureza do metal aumentou na região da solda, sendo

estatisticamente significante. Os resultados do ensaio de fadiga mostraram que os procedimentos de soldagem diminuíram em cerca de 40% a resistência do material, quando comparado às amostras controle. Segundo os autores, a diferença encontrada nas propriedades das amostras em cada procedimento pode ser explicada pela duração de cada processo: o método da solda por plasma acarreta maior área afetada pelo calor, devido ao processo longo e contínuo de soldagem; o contrário ocorre na solda a laser, que limita ao mínimo a área afetada pelo calor. O aumento da dureza pode ter ocorrido devido às impurezas captadas durante a soldagem e esfriamento do titânio. Ambos os métodos mostraram-se adequados para a união do titânio, apesar de ambos levarem à redução da durabilidade da peça. A soldagem a laser apresenta a vantagem de resultar numa menor área afetada pelo calor, o que significa menor distorção, e portanto, maior chance de obter assentamento mais próximo do ideal em próteses sobre implantes.

Yamagishi et al., em 1993, compararam as propriedades do titânio soldado a laser em atmosfera de gás argônio e em atmosfera de ar ambiente, com amostras de titânio intactas (controle). A potência de irradiação foi controlada regulando-se a voltagem e a frequência do pulso. Observações foram realizadas em microscópio eletrônico na superfície das amostras (30 x 5 x 1mm) soldadas nestas duas condições, assim como ensaio de resistência à flexão e dureza Vickers. A observação em MEV revelou a presença de rachaduras nas amostras irradiadas em atmosfera de ar, não sendo encontradas quando se utilizou argônio, comprovando a necessidade de ambiente controlado para impedir a oxidação do metal, e consequente rachadura. Para resistência à flexão, quanto maior a potência da solda, maior o valor da resistência, variando a potência de 3,5 J até 20 J. A irradiação entre 10 e 20 J foi a que produziu os valores mais próximos das amostras originais. As amostras irradiadas na presença de gás argônio apresentaram os maiores resultados dentro de cada valor de potência. Os valores de dureza também aumentaram de acordo com o aumento da potência de irradiação, sendo maiores para as amostras em ar. Segundo os autores, a soldagem do titânio é efetiva na presença de gás argônio. Entretanto, os resultados diferiram consideravelmente de acordo com a intensidade de radiação. Os autores sugeriram que novos estudos são necessários para determinar a melhor combinação destes dois fatores.

Devido à contaminação do titânio pelos elementos oxigênio, nitrogênio e hidrogênio em altas temperaturas, métodos convencionais de soldagem utilizando chama de oxigênio não estão indicados para o procedimento de solda no titânio. Técnicas de soldagem como o tungsten inert gás (TIG), soldagem a laser e radiação

infravermelha (IR) têm sido utilizadas para unir metais em ambientes protegidos com atmosfera controlada. Wang & Welsch, em 1995, avaliaram a qualidade, as características metalúrgicas e propriedades mecânicas como resistência à tração e porcentagem de alongamento do Ti e do Ti-6Al-4V, unidos através de três processos: soldagem a laser, TIG e IR. Para cada grupo experimental foram confeccionados 16 cilindros de titânio (3 mm de diâmetro X 40 mm de comprimento) e unidos em suas extremidades, sendo 8 amostras para cada grupo. Amostras originais de ambos metais foram utilizadas como controle. O ensaio mecânico foi realizado em máquina de ensaio universal (Instron) a 0,5 mm/min até a separação da união soldada ou a fratura da amostra. A região da fratura foi observada em MEV, examinada através de métodos metalográficos padrões, e a dureza aferida na seção transversal. As amostras de Ti controle apresentaram os valores mais elevados no ensaio de resistência à tração, seguidos dos grupos TIG, laser e IR. Na interação entre materiais, a liga de Ti-6Al-4V mostrou-se mais resistente que o Ti cp. no ensaio de resistência à tração, independente do método de união. O grupo Ti/controle apresentou os maiores valores de alongamento, e a análise metalográfica indicou que as amostras soldadas a laser apresentaram zona de fusão localizada, enquanto que o TIG provocou maior zona afetada pelo calor, devido à maior quantidade de energia fornecida, o que pode contribuir para a distorção da peça. O ensaio de microdureza constatou que quanto mais próximo da região soldada, maior o valor de dureza encontrado, devido às alterações micro estruturais ocorridas durante o esfriamento.

Neo et al., em 1996, avaliaram as propriedades mecânicas do titânio soldado a laser e soldado com a técnica do gás tungstênio (GTAW), comparando com o metal intacto. Além disso, avaliaram o efeito do tratamento térmico pela simulação da aplicação de porcelana. Amostras de titânio (grau 2) em forma de halteres (3 mm de diâmetro e 18 mm de comprimento) foram confeccionadas ( $n=60$ ) e divididas em 3 grupos: G1- controle sem solda; G2- solda a laser, e G3- solda GTAW. Metade das amostras de cada grupo foram submetidas ao tratamento térmico. Realizou-se ensaio de resistência à tração em máquina Instron (1 mm/min), que forneceu informações sobre resistência à tração, resistência ao escoamento a 0,1%, módulo de elasticidade e porcentagem de alongamento. As amostras soldadas (laser ou GTAW) apresentaram valores de resistência à tração maiores que o grupo controle. Porém, quando submetidas ao tratamento térmico, os valores diminuíram; o mesmo ocorreu para resistência ao escoamento a 0,1%, e módulo de elasticidade. Os resultados de porcentagem de

alongamento mostraram que as amostras soldadas com ou sem tratamento térmico apresentaram valores muito inferiores ao grupo controle. A profundidade alcançada da solda foi 0,7 mm. Segundo os autores, o tratamento térmico causa diminuição da flexibilidade. A alta velocidade de esfriamento associada à baixa voltagem da solda a laser resultou na formação de estruturas  $\alpha$ -martensíticas, conhecidas pela maior resistência à tração, resistência ao escoamento e dureza. Entretanto, esta estrutura apresenta pobre flexibilidade constatada nos menores valores de porcentagem de alongamento. No caso das amostras soldadas pelo GTAW, a lenta velocidade de esfriamento causou a formação de estruturas  $\alpha$ -widmanstätten, que apresentam melhor resistência à tração e ao escoamento que o titânio controle e maior flexibilidade que a estrutura martensítica. Os autores concluíram que as propriedades mecânicas do titânio soldado apresentaram-se semelhantes ao metal intacto.

Tambascoet al., em 1996, trataram em seu artigo do uso da solda a laser, seu efeito no metal, e a praticidade de sua utilização no laboratório. Segundo os autores, desde a primeira utilização do laser em 1960, a variedade existente hoje e sua utilização aumentaram de forma significante. O laser atua como uma fonte de calor muito sofisticada, utilizada para a soldagem através da fusão de duas partes de metal, derretendo-as em ambos os lados da união, e então o metal se solidifica novamente em uma única unidade. A luz emitida pela solda a laser não pode ser vista pelo olho humano, pois seu comprimento de onda é muito grande. O feixe de laser pode ser focado em um ponto muito pequeno com diâmetro de 0,5 mm. Com toda essa energia de laser concentrada em uma pequena área do metal, a intensidade do laser naquele ponto se torna imensa. Quando um pulso tão intenso atinge a superfície do metal, o feixe de laser não penetra, mas sim a energia do feixe é absorvida pela superfície do metal e convertida em calor, que penetra no interior do metal por condução. Devido à alta concentração de calor em uma área pequena, o metal será aquecido até seu ponto de derretimento e acima dele, criando uma área de metal derretido. No centro do ponto de solda, o metal pode chegar a vaporizar se muita energia for fornecida. Apesar desta pequena área do metal chegar ao ponto de derretimento, a região vizinha permanece relativamente fria. Segundo os autores, o uso do laser no laboratório deve ser feito com pulsos múltiplos e sobrepostos um ao outro 75%, o que garante penetração suficiente da solda. Citam algumas vantagens da solda a laser como: menor quantidade de energia térmica fornecida, reduzindo a distorção; devido a esta menor quantidade de calor, a soldagem pode ser realizada no próprio modelo de trabalho, melhorando a precisão;

também permite a soldagem em regiões bem próximas à resina e porcelana com um baixo risco de danificá-las; exige menos tempo do profissional quando se compara com a solda convencional. As desvantagens incluem: alto custo do equipamento; dificuldade inicial de se obter boa qualidade na solda; dificuldade da soldagem de alguns metais devido a sua condutibilidade térmica e densidade, outros refletem a solda como no caso da prata. O ideal é que as partes a serem soldadas estejam muito perto umas das outras, mas se estiverem distantes, pode-se interpor uma lâmina de metal. O equipamento de laser utiliza gás argônio, que impede a contaminação do metal derretido no local da solda por nitrogênio e oxigênio da atmosfera.

Chai & Chou, em 1998, avaliaram as propriedades mecânicas do Ti c.p. soldado a laser sob diferentes condições, a fim de encontrar os parâmetros ideais em termos de duração do pulso e potência (nível de energia). Segundo os autores, são poucos e não estabelecidos os dados em relação às melhores condições para soldagem a laser do titânio utilizado nas restaurações dentais. Foram confeccionadas 57 amostras (42 mm de comprimento e 3 mm de diâmetro), sendo que 54 foram divididas em 9 grupos experimentais e 3 formaram o grupo controle. As soldas foram realizadas nas amostras dos grupos experimentais variando-se a duração do pulso (8, 10 e 12 ms) e a voltagem (290, 300 e 310 V), e avaliadas a resistência à tração, resistência ao escoamento a 0,2%, e porcentagem de alongamento. Sob condições adequadas de soldagem, a resistência à tração e a resistência ao escoamento dos grupos experimentais apresentaram menores valores quando comparados ao controle (amostras intactas). A voltagem foi o único fator significante para todos os parâmetros estudados, conduzindo à maior profundidade da solda. A duração do pulso não influenciou a resistência das uniões soldadas. A conclusão foi que 300V/12 ms resultam em ótimas condições de soldagem. A presença de impurezas como nitrogênio e oxigênio em quantidades adequadas melhoram as propriedades de resistência à tração, mas diminuem consideravelmente a ductilidade e aumentam a fragilidade.

Ainda no mesmo ano, Wang & Chang, realizaram uma simulação de transferência de calor, a fim de oferecer um protocolo alternativo de pulsos múltiplos. A soldagem a laser do titânio é limitada pela profundidade da penetração do laser e pelo dano superficial extenso. Através de um programa de software, realizaram uma análise utilizando um modelo de elemento finito para simular o aquecimento transitório e o comportamento de derretimento no ouro e no titânio, durante o procedimento de soldagem. O diâmetro do ponto de solda foi de 1,0 mm e a profundidade da solda de

aproximadamente de 0,4 mm. O ensaio foi feito utilizando pulsos simples e múltiplos. Quando foram aplicados pulsos simples (2ms, f 20 Hz), variou-se a potência (1 a 8 J). Para pulsos múltiplos usou-se potência moderada de 2 J, 2 ms, e f 20 Hz. Houve maior penetração da solda no ouro, pois este apresenta maior condutibilidade térmica que o titânio (17 vezes). Isso permite que o calor seja transmitido para o interior do metal mais rapidamente atingindo a temperatura de derretimento. Desta forma, menos energia permanece na superfície. Utilizando pulsos simples no titânio, o aumento da potência não é capaz de aumentar a profundidade da penetração da solda, pois o mesmo não sustenta um fluxo de calor tão alto. O excesso de energia apenas causa vaporização do metal. O ouro não apresenta este problema, devido a sua alta condutibilidade térmica. Utilizando fluxo moderado de energia e duração apropriada de pulsos múltiplos, o dano superficial é diminuído e a profundidade da penetração do laser é melhorada no titânio.

Bezerra et al., em 1999, avaliaram o comportamento da microestrutura (MEV e dureza) do Ti cp. antes e após o processo de soldagem a laser. Foram confeccionadas amostras de titânio grau 1 (10 x 4 x 1,5 mm), submetidas à soldagem a laser em máquina Dentaurum DL 20002S, com potência de 4,32 kW e 12 ms, gerando energia de soldagem de 51,84 J. Os ensaios de dureza no metal base, na ZAC e na solda foram realizados utilizando-se microdurômetro Micromet-2003. A observação em MEV mostrou que o metal base apresentou estrutura poligonal, enquanto que o cordão de solda apresentou microestrutura mais refinada, do tipo martensítico, condizente com a alta velocidade de esfriamento imposta pelo processo. Segundo os autores, na transformação da fase  $\beta$  para a fase  $\alpha$ , durante o esfriamento da soldagem, há alteração na estrutura do metal, que normalmente apresenta maior dureza. Os valores de dureza foram mais elevados no cordão de solda, diminuindo na ZAC, e atingindo valores menores no metal base.

Örtorp & Jemt, em 1999, citaram as principais vantagens em confeccionar a infraestrutura metálica de uma prótese em titânio, como: menor custo do metal, o uso do mesmo material do implante e a possibilidade de utilizar diferentes técnicas para a fabricação desta infraestrutura, como por exemplo, a solda a laser, diminuindo o grau de distorção na peça finalizada. Neste estudo, os autores avaliaram durante 5 anos pacientes que receberam próteses parciais fixas sobre implantes com infraestrutura em titânio soldado a laser, comparando com infra-estruturas convencionais fundidas em ouro. 383 pacientes receberam próteses sobre implantes, 58 em titânio (grupo experimental). As infraestruturas em titânio foram confeccionadas através da soldagem

a laser de pequenos componentes do metal. Após a instalação das próteses, os pacientes foram agendados para consulta anual e obtenção de radiografia periapical. Os resultados mostraram que a taxa de sucesso para os implantes foi de 93,6%, e para as próteses, de 96%. Para as confeccionadas em titânio foi de 95,6%, e nenhuma fraturou no período estudado. A perda óssea observada foi de aproximadamente 0,4 mm em 5 anos de função. Os autores concluíram que a utilização do titânio nas infra-estruturas não causou impacto negativo no índice de sucesso dos implantes ou na perda óssea marginal.

No mesmo ano, Örtorp et al., realizaram estudo semelhante, avaliando 824 pacientes, dos quais 155 receberam prótese total fixa sobre implantes na mandíbula com infraestrutura em titânio soldado a laser, e o restante em ouro convencional, sendo selecionados 53 para o grupo controle. Os pacientes foram acompanhados por 5 anos quanto à fratura de componentes, perda de implantes e nível ósseo. A avaliação após este período revelou que algumas infra-estruturas de titânio necessitaram serem refeitas devido à fratura próxima ao implante mais distal. A média de perda óssea após 5 anos foi de 0,5 mm e não houve diferença entre os grupos.

Bertrand et al., em 2001, avaliaram a qualidade da técnica da solda a laser aplicada às ligas não preciosas como NiCr e CrCo. Os autores procuraram determinar os parâmetros de soldagem apropriados que alcançariam profundidade de solda e ausência de trincas ou inclusão de gás. As amostras, confeccionadas em diâmetros variados (0,6 a 2,0 mm e 3 mm) foram soldadas, variando-se a potência da solda de 255 a 295 V e duração de pulso de 3 a 13,5 ms de acordo com o diâmetro, observadas em microscópio, submetidas aos ensaios de resistência à tração e microdureza, sendo os resultados comparados aos das amostras intactas. Os autores constataram a presença de altos níveis de boro e carbono em amostras de NiCr, impurezas que provavelmente foram responsáveis pela pobre capacidade de solda apresentada. Além disso, os valores de resistência à tração diminuíram à medida que aumentou o diâmetro das amostras. Houve penetração completa da solda nas amostras de CrCo. A região central da solda apresentou valores mais elevados de microdureza que o metal base, devido provavelmente às alterações na microestrutura do metal, causadas pelo rápido esfriamento. As amostras soldadas, quando comparadas às originais, apresentaram menores valores de resistência à tração e alongamento. Segundo os autores, a soldagem a laser demonstrou ser um método eficiente de união de ligas não preciosas, alcançando

penetração de 2 mm de profundidade, espessura usual das peças que necessitam de reparo.

Sahin & Çehreli, em 2001, discutiram o significado de assentamento passivo de estruturas de próteses sobre implantes e as novas tecnologias para obter melhores resultados. Segundo os autores, um dos maiores desafios do profissional é a instalação de uma prótese que não comprometa a longevidade do tratamento. Assentamento passivo, que pode ser entendido como assentamento ideal, é tido como um dos mais importantes pré-requisitos para a manutenção da interface osso-implante. Entretanto, para a obtenção desta condição, seria necessário que a estrutura metálica induzisse quantidade zero de força nos implantes, fato que comprovadamente não é possível de ocorrer. Ainda não se sabe se a passividade absoluta entre infraestrutura e implante é essencial para o sucesso do tratamento, que nível de desadaptação causaria dano, e como medi-la clinicamente. Segundo os autores, complicações clínicas ocorrem quando existe uma distância entre a infraestrutura e os pilares de aproximadamente 150 µm, podendo causar perda ou fratura do parafuso de fixação. A explicação para a ausência de dano ao osso marginal (perda óssea) ao longo dos anos é o mecanismo de tolerância individual. O procedimento de soldagem a laser é utilizado quando se detecta o desajuste da peça, seja clinicamente através de sondagem, exame visual ou questionário de dor e desconforto, ou no laboratório através do teste do parafuso único. Desta forma, a estrutura seccionada é soldada, e segundo os autores este procedimento não resulta em assentamento passivo, mas sim diminui a tensão ao redor dos implantes, o que pode resultar em menor frequência de perda do parafuso de fixação.

Zavanelli & Henriques, em 2001, apresentaram um método radiográfico simples para a detecção de porosidades internas em artefatos protéticos removíveis confeccionados em titânio. Consiste na exposição da estrutura metálica à radiação (90 KV, 15 mA, 0,6 seg e 10 a 13 mm de distância) utilizando filme oclusal. Segundo os autores, a execução deste procedimento possibilita a identificação de porosidades na peça que poderia causar fracasso clínico no futuro. Esse mesmo método pode ser empregado para detectar porosidades presentes em amostras confeccionadas em titânio, para descartar aquelas defeituosas após fundição.

Zheng et. al, no mesmo ano, realizaram uma avaliação comparativa das microestruturas de TIG plasma e soldadas a laser da liga Ti-6Al-4V. E estabeleceram uma correlação entre os parâmetros de transformação e na microestrutura de soldagem para os três processos de soldagem. As principais conclusões foram: todos os processos

de soldagem estudados no presente projeto podem produzir boas soldas. A capacidade de penetração aumenta na seguinte ordem: plasma, TIG e solda a laser. liga de titânio apresenta diferenças na microestrutura, estrutura cristalina e dureza quando soldadas por diferentes processos. Em soldas a laser, o tamanho de grão aumenta à medida que diminui a velocidade de soldagem. A dureza diminui à medida que diminui a velocidade de soldagem. No caso de soldagem Ti-6Al-4V TIG, o tamanho de grãos aumenta com o aumento da corrente de soldagem. Sua dureza aumenta ligeiramente com o aumento da corrente. A soldagem plasma produz microestrutura similar e estrutura de cristalina da solda a laser.

Cecconi et al., em 2002, avaliaram radiograficamente estruturas metálicas de próteses parciais removíveis confeccionadas em titânio. Foram confeccionadas 300 estruturas metálicas e radiografadas utilizando-se filme polaróide, com 2 segundos de exposição para maxila e 2,5 segundos para mandíbula. Os resultados mostraram que das 300 estruturas, 250 apresentaram-se tecnicamente aceitáveis (pouca ou nenhuma inclusão de argônio, e nenhuma em área crítica); 41 estruturas seriam aceitáveis após alguma modificação utilizando soldagem a laser (presença de alguma inclusão de argônio que necessitava correção); e 9 estruturas apresentaram-se inaceitáveis e deveriam ser totalmente refeitas. Os autores chamaram a atenção para o fato de que todas as estruturas apresentavam-se em ótimas condições através do exame visual. Desta forma, sugeriram que os laboratórios que fundem estruturas em titânio tenham também um equipamento para obtenção de radiografias para esta avaliação.

Liu et al., em 2002, avaliaram a força de união do titânio soldado a laser, utilizando diferentes níveis de voltagem, variando de 180 a 300 A, aumentando em incrementos de 30 A. Amostras de titânio (0,5 x 3,0 x 40 mm e 1,0 x 3,0 x 40 mm) foram confeccionadas e seccionadas perpendicularmente na região central. As metades de titânio foram fixadas e soldadas a laser. Amostras de titânio intactas, nas mesmas dimensões foram utilizadas como grupo controle. Foi realizado ensaio de resistência à tração, com velocidade de 2 mm/min, no qual o valor registrado correspondia ao momento da fratura da amostra, em N. Após a fratura, as amostras foram observadas com aumento de 32 X, a fim de correlacionar o tipo de fratura com o valor da força de resistência à tração obtido. As fraturas foram classificadas em três categorias: fratura dentro da área soldada (A), entre o ponto de solda e o metal base (B) e somente no metal base (C). Os dados obtidos foram submetidos à ANOVA e ao teste de Tukey ( $p<0,05$ ). As amostras de 0,5 mm, quando soldadas com 240, 270 e 300 A não

apresentaram diferença na força de resistência à tração quando comparadas ao grupo controle. Entre as amostras de 1,0 mm, não houve diferença em relação ao grupo controle quando soldadas com 270 e 300 A. Os autores concluíram que sob condições apropriadas, a força de união da soldagem apresenta-se similar às estruturas intactas. A penetração da solda foi mais eficiente, utilizando diâmetro do ponto de solda entre 0,4 e 1,0 mm e duração do pulso de 10 ms.

Santos et al., em 2002, avaliaram os efeitos da solda a laser nas propriedades estruturais e na resistência à corrosão de amostras confeccionadas em AuPd. Amostras cilíndricas foram confeccionadas (10 mm x 27 mm ø), submetidas à soldagem a laser, seccionadas, embutidas em resina polimérica, e receberam acabamento com lixas abrasivas. Utilizou-se MEV para realizar a análise metalográfica do metal base e da região da solda; o ensaio eletroquímico de corrosão utilizou solução de NaCl. O resultado da metalografia apresentou microestrutura granular bifásica para o metal base com presença de precipitados formados por Au, Ag, Pd, sendo o Au o elemento majoritário. A região da solda apresentou uma microestrutura dendrítica refinada, proveniente da alta velocidade de esfriamento imposta pela solda a laser. No ensaio de dureza, o metal base apresentou valores de dureza superiores ao cordão de solda, enquanto que para a corrosão, o cordão de solda apresentou maiores valores de resistência.

Anusavice, em 2003, citou algumas características do titânio, como alta biocompatibilidade, alta resistência à tração, baixa densidade e baixo coeficiente de expansão térmica. É um metal muito resistente à oxidação e corrosão, devido à camada passivadora de óxido de titânio que se forma espontaneamente sobre sua superfície. Devido à sua taxa de oxidação aumentar em altas temperaturas (acima de 800°C) é desejável que se utilize porcelanas de baixa fusão no caso de próteses metalo cerâmicas, o que evitaria a transformação alotrópica do titânio da fase alfa (hexagonal compacta) para a fase beta (cúbica de corpo centrado). O titânio possui alto ponto de fusão (1668°C) e necessita equipamento especial para fundição como fusão por arco voltaico, atmosfera de gás argônio, associado a adequado material de revestimento que assegure fundição aceitável. Devido à reação com o material de revestimento, uma camada de alta dureza chamada “alfa-case”, rica em oxigênio, com espessura de aproximadamente 150 µm se forma na superfície do metal fundido. Esta camada necessita ser removida, uma vez que diminui a ductilidade do metal, aumenta a dureza e dificulta os procedimentos de acabamento.

Suzuki et al., em 2004, descreveram as vantagens da utilização da solda a laser no reparo de grampos de Prótese Parcial Removível, como: tempo de trabalho reduzido, não há a necessidade de inclusão em revestimento e de metal para solda, não causa danos na resina acrílica da prótese, menor aquecimento da peça e assim, menor distorção. Para o processo de soldagem foi utilizada potência de 180 V e duração do pulso de 3ms. Segundo os autores, estes grampos poderiam ser soldados de forma convencional, apresentando, contudo, as desvantagens de grande risco de nova fratura pela concentração de estresse, descoloração devido à corrosão química e elétrica, dificuldade da solda convencional no Ti devido à contaminação e possíveis danos na resina acrílica da prótese.

Zavanelli et al., em 2004, avaliaram a resistência à fadiga e corrosão de amostras confeccionadas em Ti comercialmente puro e liga de Ti-6Al-4V submetidas à soldagem a laser. Foram confeccionadas 33 amostras de cada metal, em forma de halteres (2,3 x 40 mm). Para simular a condição clínica de esforço contínuo, foi realizado ensaio de fadiga, sendo as amostras divididas em três grupos: ciclagem mecânica imersa em solução de saliva artificial; solução de saliva artificial fluoretada e sem imersão. Após a fratura, as amostras eram reposicionadas e unidas por meio de soldagem a laser (300 V, 10 ms e 0 Hz) e novamente submetidas ao ensaio de fadiga nas mesmas condições citadas, até a fratura, sendo as partes observadas em microscópio eletrônico de varredura. O número de ciclos necessários para a fratura foi comparado entre as amostras intactas e soldadas. Os resultados mostraram que houve diferença significante entre amostras intactas e soldadas (11060 e 6145 ciclos respectivamente); quanto às condições do ensaio houve diferença significante entre “ar” e as soluções de saliva, entretanto, não houve diferença entre a solução sem flúor e a solução com flúor (16186, 5674 e 3948 respectivamente). A observação em MEV constatou defeitos internos na solda, sugerindo inadequada penetração do laser, sendo considerado o mais importante fator na resistência da união. A resistência à corrosão do titânio está na dependência da estabilidade da camada superficial de óxido, sendo demonstrado que a presença de íons flúor prejudica esta proteção.

Baba & Watanabe, em 2005, examinaram a profundidade de penetração da solda a laser no titânio comercialmente puro, Ti-6Al-4V, Ti-6Al-7Nb, CoCr e ouro tipo IV utilizando parâmetros de soldagem variados. Segundo os autores, no procedimento de solda a laser, alguns parâmetros como voltagem, diâmetro do ponto de solda e duração do pulso podem ser alterados a fim de se conseguir o melhor resultado. Foram

confeccionadas amostras (3 x 8 x 50 mm) dos metais selecionados e submetidas a soldagem com os seguintes parâmetros: voltagem de 160 a 340 V (incrementos de 20 V); diâmetro do ponto de solda de 0,4 a 1,6 mm (incrementos de 0,2 mm) e duração do pulso de 10 ms. Após a soldagem, cada amostra foi partida na região da solda, que recebeu a irradiação em apenas uma superfície. A profundidade da penetração da solda foi medida na superfície interna da região partida (distância vertical da superfície do metal até o ponto mais profundo da solda). Os resultados mostraram que a profundidade variou de acordo com as combinações de voltagem e diâmetro do ponto (o máximo conseguido foi de 1,0 mm). Quando foi utilizada maior voltagem e menor diâmetro do ponto de solda, a profundidade aumentou para cada metal, pois aumentava-se a energia do pulso. A profundidade de penetração do laser com a mesma energia em cada metal depende das propriedades do metal como condutibilidade térmica e taxa de absorção do feixe de laser.

Rocha et al. em 2006, tiveram como objetivo avaliar a solda do Titânio e ligas de NiCr e CoCr usando o sistema TIG e o laser Nd:YAG utilizando o teste de resistência à flexão. Sessenta corpos-de-prova cilíndricos foram confeccionados (20 de cada material), seccionados ao meio e soldados por TIG ou por laser de NdYAG, com e sem um material de preenchimento. Quatro grupos foram formados ( $n=15$ ), I: soldagem à laser de Nd:YAG; II: soldagem à laser usando um material de preenchimento; III: soldagem com TIG; IV (controle): sem soldagem (corpos-de-prova intactos). Houve diferença estatisticamente significante entre o metal e as ligas íntegras, sendo a liga do CoCr o mais resistente à deflexão. Ao se comparar os diferentes processos de soldagem, diferença estatisticamente significante foi encontrada entre a solda TIG e o laser de Nd:YAG e entre este e o laser mais o material de preenchimento. Conclui-se que a soldagem com TIG apresentou melhores resultados que a soldagem com o laser de Nd:YAG para os três materiais testados.

Hard & Wilson, em 2006, estudaram a resistência à soldagem em prótese fixa implantossuportada com cantilever, confeccionadas em titânio. A solda foi realizada pelos métodos laser com e sem preenchimento e pelo método TIG. Foram feitos testes de resistência à flexão e fadiga, comparando os métodos e o preenchimento. Como resultado os autores observaram que o preenchimento influenciou na resistência da soldagem a laser. Eles ainda citam que falhas recentes em cantileveres de prótese parcial fixa são esperados quando esta soldagem for realizada sem adição de metal. A soldagem TIG produziu juntas fortes com maior resistência à fadiga. Como conclusão os autores

afirmam que o método TIG pode ser usado quando juntas com alta resistência são exigidas.

Huang et al., 2006, avaliaram através do teste de velocidade constante de alongamento (CERT) e teste de fadiga (FT), respectivamente, a susceptibilidade à trincas e comportamento à fadiga de estruturas de titânio soldadas com laser Nd: YAG (energia de pulso de soldadura: 11, 15 e 18 J), em saliva artificial com flúor (0 e 0,5% NaF). Ambos CERT e FT também foram realizados ao ar livre como controle. Os resultados mostraram que o aumento da energia de soldagem aumentou o alongamento e resistência à fadiga, mas diminuiu a resistência à tração, das estruturas fundidas de Ti ao ambiente ao ar livre. Com uma energia de soldagem de 11 J, os íons de flúor na saliva artificial aumentaram a susceptibilidade à trincas e diminuiu a resistência à fadiga das estruturas de Ti. Quando a energia de soldagem excedeu 15 J, a presença de íons de flúor ainda aumentou a suscetibilidade as trincas, mas não reduzir a resistência à fadiga das estruturas de titânio juntas de Ti. A ruptura das estruturas soldadas de Ti articulações - se ocorreu - só ocorreu na área soldada.

Cardoso em 2007, avaliou a resistência à flexão, através de ensaio mecânico de flexão por apoio em três pontos, de liga de titânio-alumínio-vanádio na forma de barras com 2,5 mm de diâmetro e 50mm de comprimento, soldadas a Laser e TIG, comparando com o material íntegro. Foram colocadas duas situações passíveis de serem encontradas em prótese: junta sem espaçamento, na qual buscou soldar toda a secção transversal, e junta com espaçamento de 0,6mm associada à adição de material (fio de titânio), perfazendo um total de cinco grupos – controle (íntegro), dois Laser. Com e sem espaçamento, e dois TIG, com e sem espaçamento. Foram feitos 30 corpos-de-prova (n=6). A análise estatística dos resultados revelou ser o grupo TIG sem espaçamento o que apresentou maior resistência a flexão em relação aos demais grupos, seguido pelo grupo controle e Laser sem espaçamento (entre os quais não houve diferença estatística) e os grupos Laser e TIG com espaçamento e material de adição (entre os quais não houve diferença estatística).

Sousa et al., 2008, avaliaram a adaptação de infraestruturas fundidas em titânio (Ti cp) e liga de paládio-prata (Pd-Ag), confeccionadas em monobloco e soldadas pelo método a laser. A partir de uma matriz metálica com cinco implantes, 20 modelos mestres foram obtidos, para que as réplicas dos implantes fossem incorporadas. Em relação a estes mestres 10 estrutura em monobloco foram feitos para cada tipo de material (Ti cp eliga de Pd-Ag). Metade destes foram feitos pela técnica em monobloco

e outra metade pela técnica de soldagem a laser. A interface implante/prótese foi analisado e mensurado nas regiões vestibular e lingual dos implantes central e distal, com a ajuda de um microscópio de medição. Os resultados indicaram que nos cilindros central, o teste de Tukey ( $P < 0,0005$ ) mostrou uma diferença significativa na adaptação passiva entre o laser estruturas soldadas e monobloco, e no que diz respeito materiais, a liga de paládio-prata apresentou melhores resultados do que o titânio. Nos cilindros distais, não houve diferença significativa entre as estruturas fundidas sem titânio e paládio-prata pela técnica de monobloco. No entanto, após a soldagem a laser, houve uma diferença significativa para as estruturas fundida sem titânio e paládio-prata.

É recomendado a utilização de uma atmosfera de gás inerte com alta pureza de gás argônio para prevenção da contaminação de peças fundidas em titânio. Bauer et. al., em 2009, avaliaram o efeito da pureza do argônio nas propriedades mecânicas e microestrutura de titânio comercialmente puro e da liga de Ti-6Al-4V. As fundições foram feitas usando de alta purezade gás argônio. A resistência à tração (UTS), limite de proporcionalidade (PL), alongamento (EL) e microdureza (VHN) em diferentes profundidades foram avaliados. A microestrutura das ligas e o modo de fratura foi analisada por microscopia eletrônica de varredura. Os dados dos ensaios mecânicos e dureza foram submetidos a análise de variância e teste de Tukey. Os valores médios das propriedades mecânicas não foram afetadas pela pureza do gás argônio. Superior UTS, PL, VHN e EL e inferiores foram observados por Ti-6Al-4V. A microdureza não foi influenciado pela pureza do gás argônio. O gás argônio industrial pode ser usado para Ti cp e Ti-6Al-4V.

Aguiar Júnior et al., em 2009, compararam a precisão do ajuste de três tipos de estruturas implanto-suportadas fundidas em liga de NiCr. Três conjuntos de infraestruturas implanto-suportadas foram construídas. O primeiro grupo de seis unidades de três estruturas implanto-suportadas foram feitos em monobloco, o segundo grupo de seis corpos de prova seccionadas no eixo transversal da região do pôntico, e o último grupo de seis foram seccionadas no eixo diagonal de região do pôntico, ambos os grupos seccionados antes de fundição. As estruturas seccionadas foram posicionados na matriz de laser ( $10 \text{ N} \cdot \text{torque cm}$ ) e soldados. Para avaliar a adaptação passiva, as leituras foram feitas com um microscópio óptico, com os dois parafusos apertados e com apenas um parafuso apertado. Os dados foram submetidos a ANOVA e teste de Tukey-Kramer ( $p < 0,05$ ). Resultados: Quando ambos os parafusos foram apertados, não foram encontradas diferenças entre os três grupos ( $p > 0,05$ ). No teste de um único

parafuso apertado, com leituras feitas do lado oposto ao apertado, o grupo, monobloco foi significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) do grupo diagonalmente seccionado mas não ( $p > 0,05$ ) diferente do grupo transversalmente. No lado apertado, não foram encontradas diferenças significativas entre os grupos ( $p > 0,05$ ). Os resultados deste estudo mostraram que as infraestruturas diagonalmente seccionado reduzem os níveis de desajuste da prótese implanto-suportadas e também melhora os níveis de passividade das infraestruturas, quando comparado a estruturas fundidas em monobloco.

A nova aposta em processos de soldagem é a solda intraoral. Degidi et. al., em 2009, em um estudo prospectivo avaliou a adequação de soldagem intra-oral de estruturas para permitir a colocação da restauração definitiva no mesmo dia da cirurgia de implante. Quarenta pacientes com mandíbulas edêntulas foram planejados para receberem tratamento com restaurações fixas suportadas por barras de titânio soldadas, usando uma unidade de soldagem intraoral, aos pilares definitivos conectados aos implantes. Essas estruturas foram usadas como suporte para restaurações definitivas, colocadas no mesmo dia em que os implantes eram instalados. A média de perda óssea marginal e alterações detectáveis radiograficamente das estruturas soldadas foram avaliados por meio de radiografias periapicais imediatamente após a cirurgia, 6, 12 e 24 meses de acompanhamento dos exames, sendo vinte homens e vinte mulheres, com idade média de 47,8 anos ( $\pm 13,9$ ), tratados consecutivamente com 160 implantes de carga imediata. Todos os implantes foram clinicamente estáveis nos 24 meses de acompanhamento. A média de perda óssea marginal ( $n = 160$  em todos os momentos), avaliados através de 640 radiografias periapicais, foi de  $0,59 \pm 0,12$  mm aos 6 meses,  $0,21 \pm 0,051$  mm em 12 meses, e  $0,11 \pm 0,036$  mm em 24 meses. A média de perda óssea marginal foi de  $0,91 \pm 0,21$  mm. Os autores concluíram que é possível reabilitar com sucesso a mandíbula desdentada no mesmo dia da cirurgia de colocação do implante com uma prótese fixa definitiva com a infraestrutura em titânio soldados com solda intraorais.

Fornaini et. al., em 2009, tiveram como objetivo demonstrar a possibilidade dos dentistas soldar diferentes metais durante a prática cotidiana utilizando aparelho de laser normalmente utilizado para cirurgia odontológica e avaliar as possibilidades oferecidas por esta nova técnica. Os autores detalham sua experiência com solda usando um laser Nd:YAG que é normalmente utilizado para o tratamento odontológico. Este trabalho descreve alguns casos clínicos que demonstram a facilidade de utilização desta técnica nos tratamentos de prótese e ortodontia. Tiveram como conclusão que dentistas

usando esta técnica podem reparar restaurações fixas, removíveis, aparelhos ortodônticos em seu próprio consultório, reduzindo assim o tempo necessário para tais reparações.

Fornaini et. al., em 2010, avaliou, por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia por energia dispersiva de raios X (EDS) e análise dinâmico mecânica (DMA), a qualidade da solda e sua resistência mecânica, comparando um dispositivo normalmente utilizado em laboratório de prótese dentária e um dispositivo normalmente utilizado no consultório de cirurgia oral, a mesma que a descrita para a soldagem intraoral. Placas de liga metálica de CoCrMo e fios de aço ortodôntico foram submetidos a quatro procedimentos de soldagem: soldagem sem metal de adição utilizando o laser de laboratório, soldagem com metal de adição utilizando o laser de laboratório, sem metal de adição utilizando o laser de consultório, e soldagem com metal de adição utilizando o laser de consultório. Os materiais soldados foram então analisadas por MEV, EDS e DMA. A MEV não mostrou diferenças significativas entre as amostras, embora as placas soldadas utilizando o laser de consultório, sem metal de adição apresentaram um maior número de fissuras do que os de outras amostras. Microanálise EDS da área de soldagem apresentaram uma composição homogênea dos metais. Os ensaios mecânicos mostraram comportamentos semelhantes elástico das amostras, com diferenças mínimas entre as amostras soldadas com os dois dispositivos. Não houve fio quebrado, mesmo sob a força máxima aplicada pelo analisador. Este estudo parece demonstrar que as soldas realizadas em consultório e laboratório de Nd: YAG, tal como foi analisada por MEV, EDS e DMA, mostraram diferenças mínimas e não significativa, embora esses achados necessitam ser confirmados por um maior número de amostras.

### **3- PROPOSIÇÃO**

Avaliar, por meio do ensaio mecânico de resistência a flexão, as propriedades mecânicas de barras de liga de titânio (Ti-6Al-4V) soldadas em diferentes condições para determinar parâmetros ótimos na utilização da máquina de solda plasma comparativamente ao padrão de solda por brasagem de liga de NiCr.

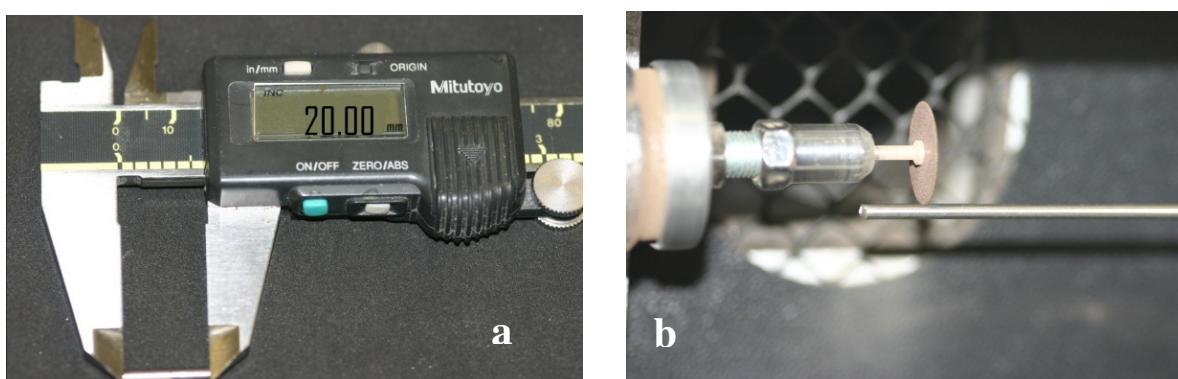
Avaliar em Lupa estereoscópica a área de penetração da solda plasma nos corpos de prova de liga de titânio, bem como o padrão de fratura.

## 4- MATERIAIS E MÉTODOS

### *4a – Confecção dos corpos de prova*

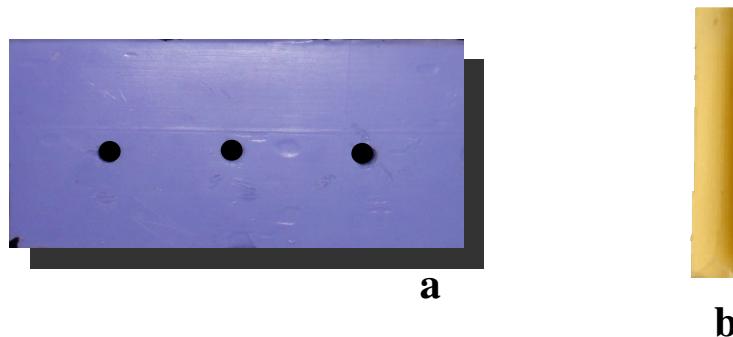
Foram confeccionados 50 barras metálicas com comprimento de 40mm e diâmetro de 3,18mm divididos em 5 grupos (n=10), o grupo Controle constituído por barras de liga de titânio intactas sem soldagem; PL 3-10, barras de titânio soldados por meio de solda plasma com pulso 3 amperes (A) e profundidade 10 milissegundos (ms); PL 3-12, barras de titânio soldados por meio de solda plasma com pulso 3A e profundidade de 12ms; PL 3-14, barras de titânio soldados por meio de solda plasma com pulso 3A e profundidade de 14ms; NiCrB, barras de NiCr soldados por meio de brasagem.

Os corpos de prova dos grupos de titânio foram obtidos a partir de barras pré-fabricadas de Ti6Al4V grau 5 (REALUN – Industrias e Comércio de Metais Puros e Ligas LTDA.) com 3,18 mm de diâmetro. As barras do grupo controle foram cortadas em 40mm com disco de carborundum (Dentorium – NYU – EUA) acoplado a motor elétrico de bancada (Kedel – Porto Alegre - RS – Brasil) sob refrigeração para minimizar possíveis distorções no material. Já as barras dos grupos PI3-10, PI3-12 e PI3-14, foram seccionadas em duas porções de 20mm com disco de carborundum (Dentorium – NYU – EUA) acoplado a motor elétrico de bancada (Kedel – Porto Alegre - RS – Brasil) sob refrigeração para minimizar possíveis distorções no material.



**Figura 01:** a) Paquímetro digital medindo a barra de liga de titânio; b) Secção de barra cilíndrica de titânio com disco de carborundum.

Os corpos de prova em NiCrB foram confeccionados a partir de uma matriz de silicone a partir das barras pré-fabricadas, a matriz foi vazada com resina acrílica (Duralay®, Reliance Dental MFG Co., USA) obtendo assim padrões de 20mm de comprimento e 3 mm de diâmetro (figura 2), esse padrões foram fixados a base formadora de cadinho de silicone por meio de sprue (Ceras Babinete – Maringá, PR – Brasil) e aplicado um agente redutor de tensão superficial (Waxit - Degussa S.A, Guarulhos – SP). Em seguida conectava-se a base formadora de cadinho com o anel de silicone e executava o vazamento com revestimento de alta fusão Heat Shok (Polidental – Cotia – SP- Brasil) manipulado a vácuo (EDG equipamentos e controles LTDA, São Carlos, São Paulo) de acordo com as orientações do fabricante era vazado sob vibração até o preenchimento do anel, com uma distância de 6 mm do padrão até a margem do revestimento que após sua presa inicial, o cilindro de revestimento era removido do anel de silicone aguardando um tempo de 15 minutos, para então ser levado ao forno para fundição (EDG equipamentos e controles LTDA, São Carlos – SP- Brasil) previamente aquecido a 750° C. A temperatura do forno elevada até 940°C gradativamente. Atingida a temperatura final, aguardava-se 20 minutos e então o anel era posicionado na centrífuga mecânica (Stip – Juiz de Fora, MG – Brasil) onde as partilhas de metal à base de NiCr (FIT CAST-SB – Talladium do Brasil – Curitiba – PR – Brasil) já tinham sido colocados no cadinho e pré-aquecido. A fundição era realizada com um maçarico a gás/oxigênio (Oraeger, Labor Dental LTDA SP – Brasil), ajustado entre 40 PSI de pressão para o oxigênio e 5 PSI de pressão de gás butano/propano. Após a fusão e injeção da liga pela centrífuga, o cilindro é removido da centrífuga para resfriamento à temperatura ambiente. Após a desinclusão, as peças fundidas eram jateadas (Trijato Professional Jet - EDG equipamentos e controles LTDA, São Carlos – SP- Brasil) com óxido de alumínio de 50µm a uma pressão de 80 PSI para a remoção das partículas de revestimento que permaneciam aderidas. Os corpos de prova eram removidos e verificados quanto a qualidade das fundições. As peças eram submetidas a acabamento com disco de carborundum (Dentorium – NYU – EUA) e pedra montada de óxido de alumínio (Vigodent SA – Rio de Janeiro – RJ – Brasil) e novamente jateadas (Trijato Professional Jet - EDG equipamentos e controles LTDA, São Carlos – SP- Brasil) com óxido de alumínio de 50µm a uma pressão de 80 PSI).



**Figura 02:** a) matriz de silicone; b)barra em resina acrílica auto-polimerizável

Após a checagem de adaptações as barras foram colocadas em aparelho de ultrassom com água destilada por 5 minutos para limpeza da superfície (Wang & Welsch 1995). Além disso, foram fixadas por meio de dispositivo próprio, que permite a padronização da posição de soldagem.

#### ***4b – Processos de soldagem***

Na soldagem dos grupos de titânio foi utilizado máquina de soldagem plasma (Micromelt EDG, São Carlos, SP, Brasil). Na extremidade lateral do corpo de prova foi posicionada a garra que forma o polo positivo, uma vez que o polo negativo é conectado ao eletrodo de tungstênio da máquina, após a emissão de um sinal sonoro era efetuado o disparo. O dispositivo acionado abre o arco elétrico, automaticamente o fluxo de gás argônio grau 4,5 (99,995% de pureza) (Yamagishi et al., 1993) é liberado formando região livre de oxigênio. Após o acionamento do arco e verificação do local correto da soldagem, o pedal da máquina é acionado para disparar a descarga elétrica que realiza a soldagem. Terminado o disparo, o arco elétrico é desativado automaticamente, permanecendo ainda vazão de argônio por 2,0 segundos, para que o resfriamento da liga ocorra livre de oxigênio. Já a soldagem do NiCrB foi realizada pelo método de soldagem a brasagem (figura 4).

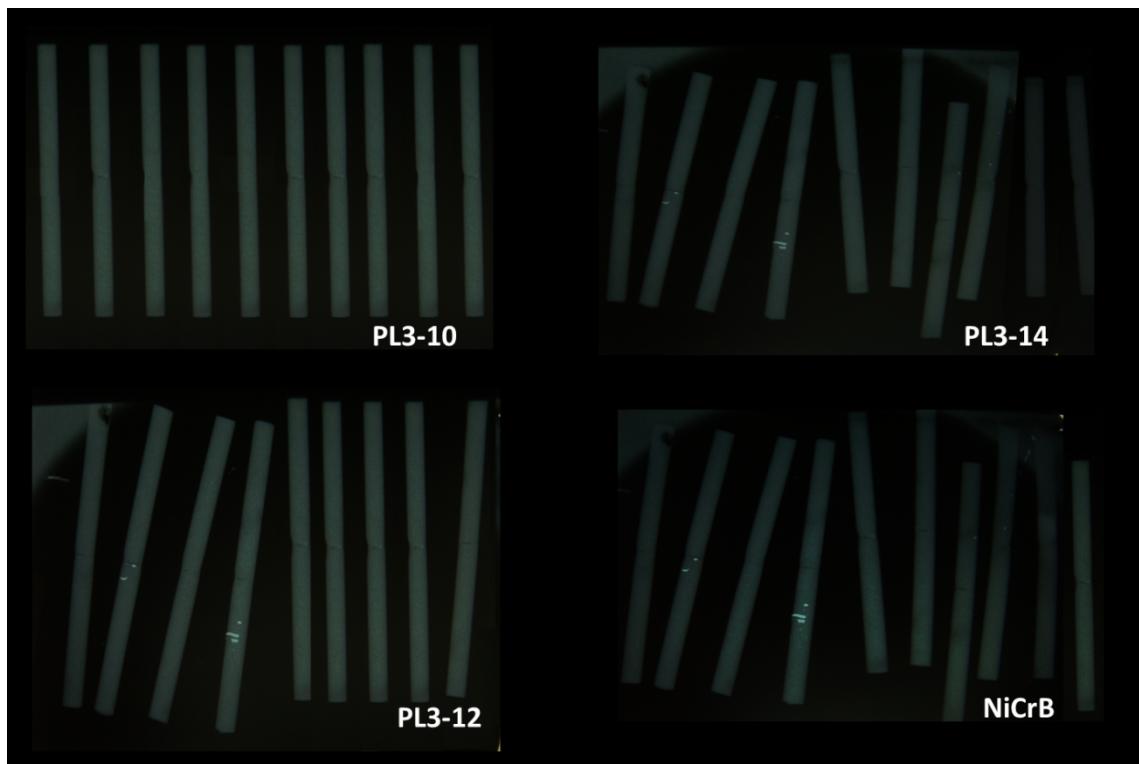


**Figura 03:** a) Aparelho de solda TIG Micromelt; b) Tccha da solda Plasma com o eletrodo de tungstênio encostado no corpo de prova a ser soldado; c) Corpo de prova soldado



**Figura 04:** a) corpo de prova soldado com resina acrílica auto-polimerizável antes de ser levado ao forno

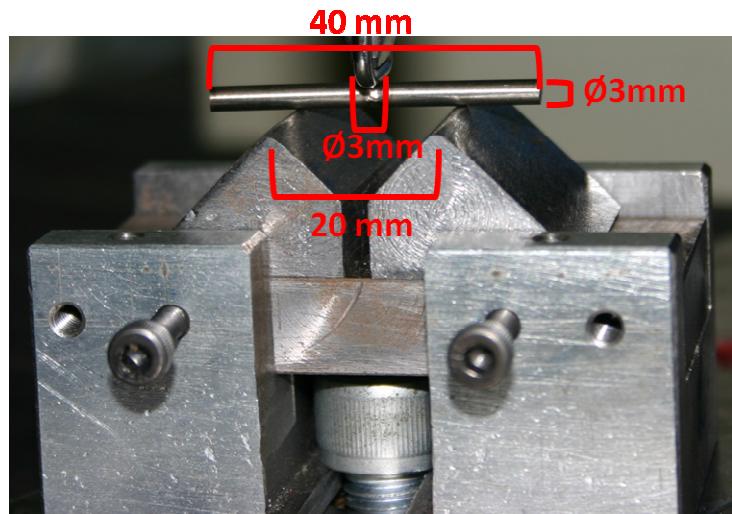
Após o processo de soldagem os corpos de prova foram radiografados (Raio X Spectro 70X – Dabi Atlante – Ribeirão Preto – São Paulo - Brasil) para verificar a presença de defeitos causados pela fundição ou pelo processo de soldagem. (figura 5)



**Figura 05:** Imagem radiográfica dos corpo de prova soldado

#### ***4c – Ensaio mecânico***

Para o ensaio mecânico de resistência a flexão de 3 pontos as barras foram posicionadas em dispositivo com dois apoios de 3mm de diâmetro e distância de afastamento de 20mm (Anusavice et al., 1985; Yamagishi et al., 1993) , força compressiva a velocidade de 0,5mm/min (10) foi aplicado por meio de ponta de aço com 3mm de diâmetro no centro da amostra, com célula de carga de 5000 N em máquina de ensaio (EMIC DL2000, São José dos Pinhais, PR, Brasil) ajustada ao limite de carga máxima de 4500N e colapso a 20%. Tanto os apoios quanto a ponta tinham formato circular para não concentrar tensões no local do carregamento. O ensaio foi considerado finalizado com a fratura ou com a deformação plástica permanente da barra, respeitando deslocamento máximo de 5mm.



**Figura 06:** dispositivo para o ensaio de flexão de três pontos

Foi empregada a fórmula para obtenção da tensão de flexão (em MPa) em corpos de secção circular:

$$RF = \frac{8 \cdot Q \cdot L}{\pi D^3} \quad (1)$$

**Fórmula 1** -Fórmula para obtenção da tensão de flexão (em MPa) em corpos de secção circular:  $RF$ = tensão de flexão (Mpa);  $Q$ = carga de fratura ou limite elástico (N);  $L$ = distância entre apoios da base (mm);  $D$ = diâmetro da peça (mm)

#### *4d – Análise estatística dos resultados de resistência a flexão*

Os dados foram analisados estatisticamente por meio de software SPSS 15.0 for Windows (SPSS Inc, Chicago EUA). Os dados de tensão de flexão foram submetidos inicialmente ao teste de Shapiro Wilk para verificação da normalidade. Constatada a normalidade dos dados foi realizado o teste Análise de Variância em fator único ( $\alpha=0,05$ ), sendo posteriormente aplicado o teste Tukey para comparação múltiplas de médias ( $p=0,05$ ).

#### *4e- Percentual de alongamento*

Para se obter o percentual de alongamento subtraindo-se o comprimento inicial do comprimento final e dividindo-se o resultado pelo comprimento inicial. .Em

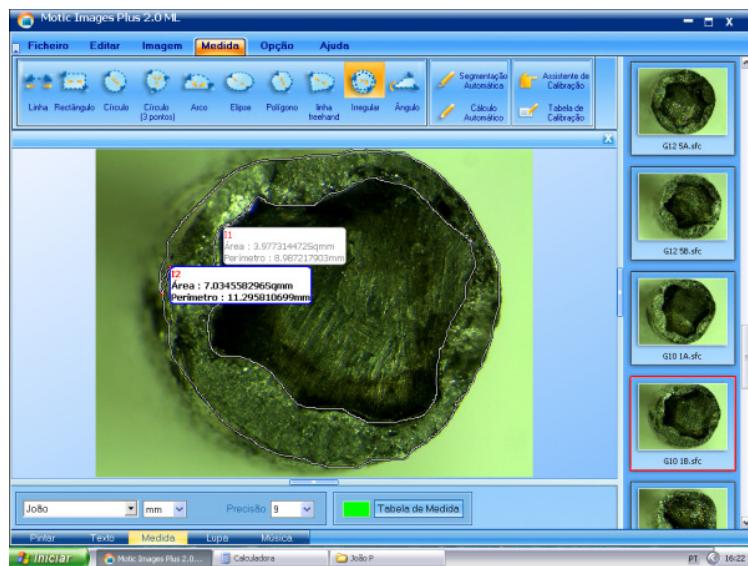
linguagem matemática, esta afirmação pode ser expressa pela seguinte igualdade: sendo que Lo representa o comprimento inicial antes do ensaio e Lf representa o comprimento final após o ensaio. Para achar o percentual multiplica-se o resultado por 100.

$$A = \frac{Lf - Lo}{Lo} \quad (2)$$

Fórmula 2 – Fórmula do percentual de alongamento, A= área de penetração; Lf = Comprimento final; Lo = Comprimento inicial

#### ***4f- Análise em lupa estereoscópica***

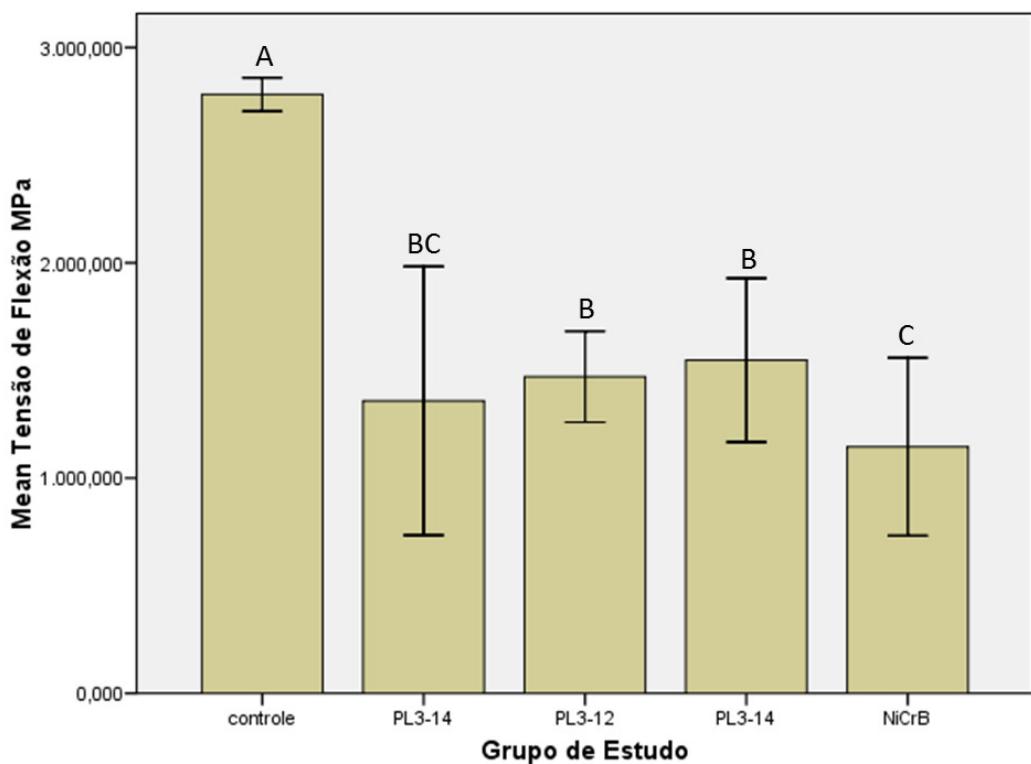
Após ensaio mecânico as amostras de solda plasma foram submetidas a análise a penetração da solda na região da fratura, por meio de lupa estereoscópica ( Leica MS5, LeicaMicroscopy Systems Ltd.Heerbrugg - Switzerland), com iluminação externa. As imagens capturadas foram analisadas no software MoticImages Plus 2.0ML for Windows (Moticinstruments, INC, Richmond,Canada) onde foi feita as medições das áreas de penetração das solda (figura 07). A medida da área da secção das amostras foi subtraída pela área não soldada, o resultado foi submetido a analisados estatisticamente por meio de software SPSS 15.0 for Windows (SPSS Inc, Chicago EUA). Os dados de tensão de flexão foram submetidos inicialmente ao teste de Shapiro Wilk para verificação da normalidade. Constatada a normalidade dos dados foi realizado o teste Análise de Variância em fator único ( $\alpha= 0,05$ ), sendo posteriormente aplicado o teste Tukey para comparação múltiplas de médias ( $p=0,05$ ).



**Figura 07:** Imagem gerada por lupa estereoscópica, medida no software “MoticImages Plus 2.0ML for Windows”

## 5- RESULTADOS

Os valores, médias e o desvio padrão de tensão de flexão estão descritos no gráfico 1. O teste Análise de Variância em fator único indicou diferença estatística entre os grupos experimentais ( $p<0.001$ ). O teste de Tukey demonstrou que grupo controle apresentou valores de resistência à flexão estatisticamente superiores dos demais grupos. Entre os grupos que de solda plasma, o grupo PL 3-10, PL 3-12 e PL 3-14, não houve diferença estatística significante ao teste de Tukey ( $p>0.05$ ). O grupo NiCrB foi o que apresentou os piores resultados, sendo estatisticamente semelhante ao grupo PL3-14, e diferente estatisticamente dos grupos PL3-10,PL3-12 e controle (gráfico 1).



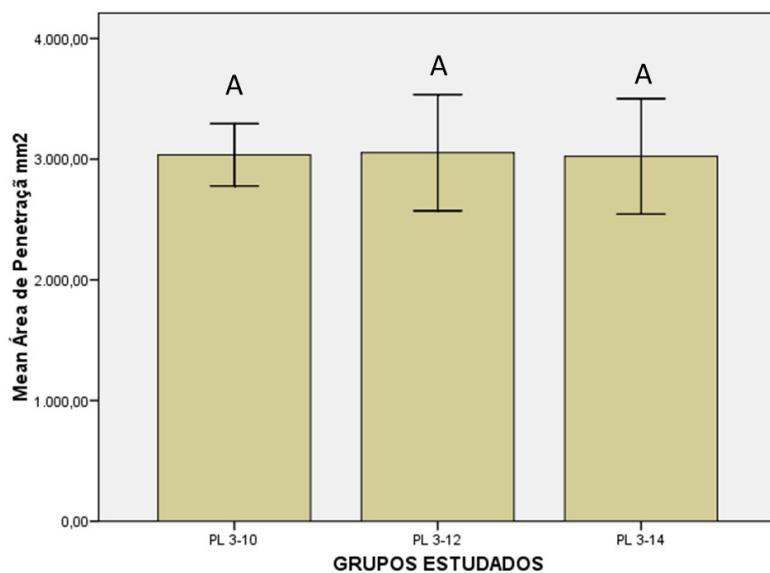
**Gráfico 01:** Gráfico dos valores médios e desvios da resistência à flexão entre os grupos testados. Grupos identificados com a mesma letra não apresentam diferença estatística Tukey ( $p>0.05$ ).

As medidas foram obtidas para o percentual de alongamento após o ensaio de flexão e calculadas na fórmula 2, os dados obtidos estão na tabela 1.

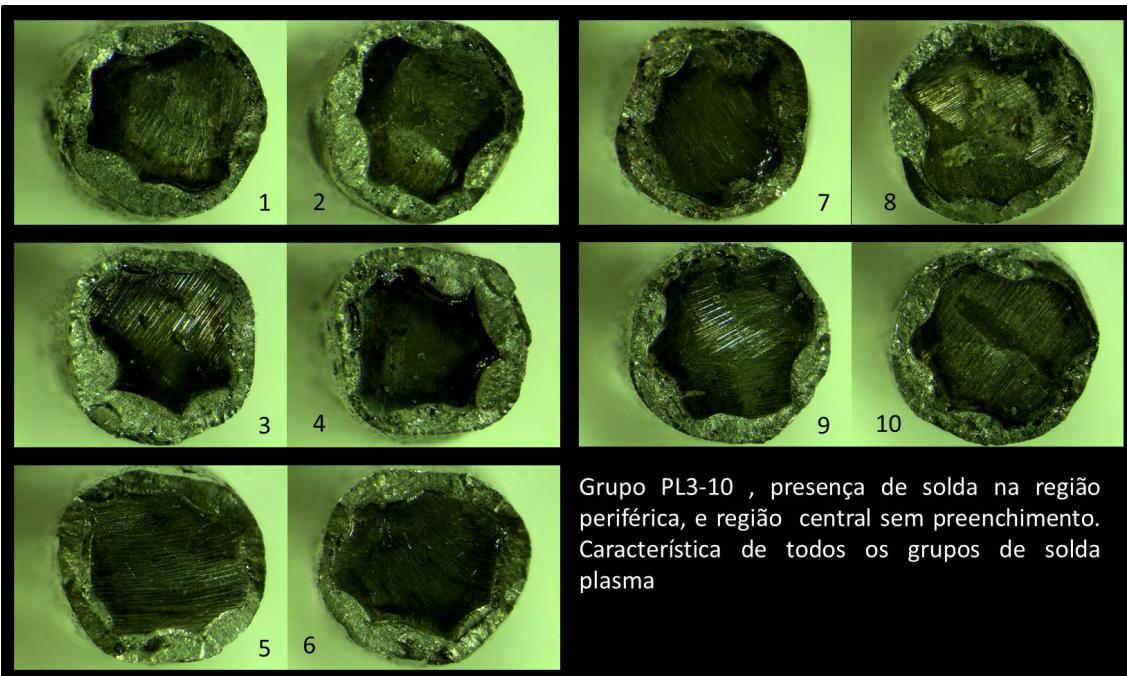
**Tabela 1**–Médias e médias e percentual de alongamento

Grupos \ Amostras	Controle mm	NiCrB Mm	PL3-10 mm	PL3-12 Mm	PL3-14 Mm
<b>Amostra 1</b>	<b>2.55</b>	<b>0.52</b>	<b>0.8</b>	<b>1.0</b>	<b>0.77</b>
<b>Amostra 2</b>	<b>2.41</b>	<b>0.45</b>	<b>1.42</b>	<b>0.82</b>	<b>0.88</b>
<b>Amostra 3</b>	<b>2.82</b>	<b>0.63</b>	<b>1.0</b>	<b>0.91</b>	<b>0.72</b>
<b>Amostra 4</b>	<b>2.5</b>	<b>0.52</b>	<b>0.9</b>	<b>0.73</b>	<b>0.81</b>
<b>Amostra 5</b>	<b>2.73</b>	<b>0.56</b>	<b>1.0</b>	<b>0.72</b>	<b>0.95</b>
<b>Amostra 6</b>	<b>2.35</b>	<b>0.43</b>	<b>1.33</b>	<b>0.71</b>	<b>0.87</b>
<b>Amostra 7</b>	<b>2.47</b>	<b>0.68</b>	<b>1.0</b>	<b>0.62</b>	<b>0.73</b>
<b>Amostra 8</b>	<b>2.38</b>	<b>0.34</b>	<b>1.0</b>	<b>0.71</b>	<b>0.51</b>
<b>Amostra 9</b>	<b>2.42</b>	<b>0.58</b>	<b>0.9</b>	<b>0.83</b>	<b>0.64</b>
<b>Amostra 10</b>	<b>2.53</b>	<b>0.49</b>	<b>1.1</b>	<b>0.95</b>	<b>0.56</b>
<b>Média</b>	<b>2,51</b>	<b>0.52</b>	<b>1,04</b>	<b>0,8</b>	<b>0.72</b>
<b>Percentual</b>	<b>6,2%</b>	<b>1,3%</b>	<b>2,6%</b>	<b>2%</b>	<b>1,8</b>

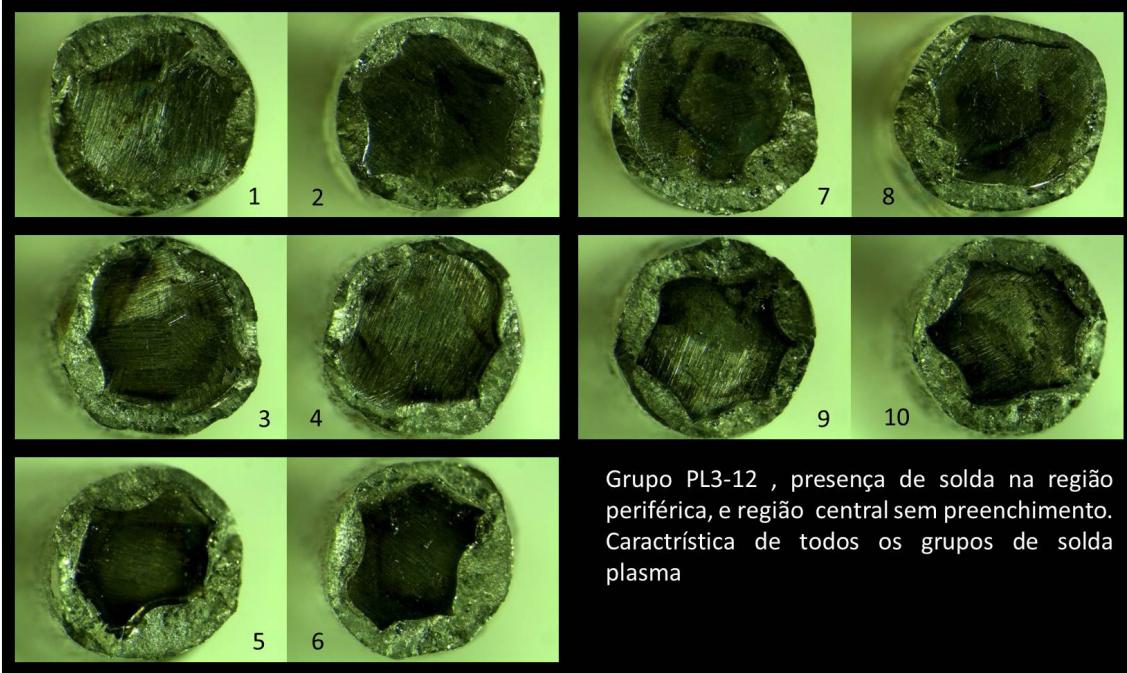
Os valores das medidas da área de penetração da solda nos grupos PL 3-10,PL 3-12 e PL 3-14 não apresentaram diferença estatística teste Tukey( $p=0,05$ ) (gráfico 02).



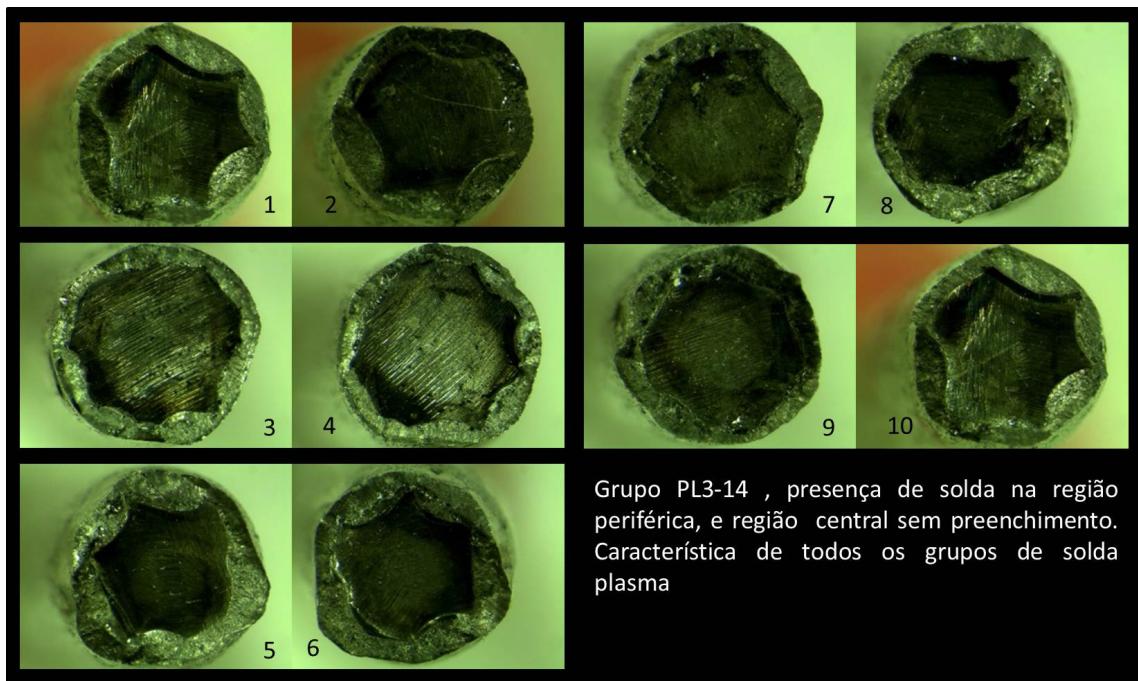
**Gráfico 02:** Os valores das medidas da área de penetração da solda nos grupos PL 3-10 PL 3-12 e PL 3-14 não apresentaram diferença estatística teste Tukey( $p=0,05$ ).



**Figura 8**– Imagens obtidas por meio de lupa estereoscópica, caracterizando a penetração da solda após o teste de flexão para os corpos de prova do grupo PL3-10



**Figura 9** – Imagens obtidas por meio de lupa estereoscópica, caracterizando a penetração da solda após o teste de flexão para os corpos de prova do grupo PL3-12



**Figura 10–** Imagens obtidas por meio de lupa estereoscópica, caracterizando a penetração da solda após o teste de flexão para os corpos de prova do grupo PL3-14

## **6- DISCUSSÃO**

A hipótese do estudo foi rejeitada, pois não se observou diferença significante entre os grupos soldados com solda plasma. Os valores de resistência da união do titânio produzida por meio de solda Plasma foram inferiores quando comparados ao grupo intacto, contudo quando comparados ao NiCr soldado por meio de brasagem mostrou-se superior.

Diante das características do titânio (Bergman,1990; Craig, 1997; Anusavice,2005) e sua aplicação constante na odontologia reparadora, houve grande necessidade de introduzir no mercado, técnicas mais apuradas de soldagem. As maquinas de solda Plasma utilizam o arco elétrico como fonte de calor, por ser a fonte de calor mais utilizada na soldagem por fusão de materiais, pois apresenta características como concentração de energia para fusão do metal na base do material, facilidade de controle, baixo custo relativo do equipamento e um nível aceitável de riscos a saúde dos operadores (Cary, 1998).

A aquisição do equipamento de Plasma tem custo mais acessível quando comparado ao de solda LASER, o que diminui o valor agregado da reabilitação. A forma da ponta do eletrodo é um item fundamental a ser observado na soldagem a arco e há uma variedade de preparações de acordo com a aplicação.

O presente estudo propôs caracterizar o padrão de regulagem mais adequado em equipamento de plasma para otimização do processo, seguindo o estudo (Chai, &Chou, 1998) que empregaram diferentes parâmetros de tempo e voltagem nos equipamentos para soldagem LASER disponíveis para laboratórios de prótese com o intuito de obter parâmetros ótimos para soldagem LASER em Ti cp grau 1 fundido usado em restaurações dentais.

Dados obtidos por meio da resistência máxima de flexão transferem um panorama aproximado em condições críticas das peças analisadas, mas não descrevem o envelhecimento do sistema. Assim os resultados não podem ser transferidos diretamente para a prática clínica, contudo ofertam panoramas satisfatórios para calibração e treinamento para os operadores dos equipamentos, bem como o aperfeiçoamento e padronização da técnica de soldagem.

Os valores de resistência à flexão foram superiores para o GI quando comparados aos grupos submetidos à soldagem plasma. A mudança na microestrutura do metal após a solda, quando o mesmo é aquecido até sua temperatura de derretimento

e solidificado novamente pode justificar este resultado (Neo, 1996). Nesse processo, o titânio alcança temperaturas em que o metal apresenta alta afinidade com elementos como oxigênio, hidrogênio e nitrogênio livres, agregando-os a sua estrutura, tornando-a rica em impurezas, resultando em redução na qualidade de suas propriedades (Anusavice, 2005).

A localização de metal fundido apenas na periferia da amostra também fragiliza a união e a resistência da peça como um todo. Nesta situação, é importante que o desgaste na região da união durante acabamento e polimento da peça seja o mínimo possível, uma vez que a resistência da mesma é dada pela região onde o laser penetrou, ou seja, a região periférica, e uma redução no diâmetro do metal implicaria em redução na resistência da união (Wang & Welsch, 1995). Sendo assim, foi escolhido barras pré-fabricadas para restringir falhas e distorções apenas na região da solda.

O procedimento de soldagem tanto plasma quanto a brasagem comprometeram os valores de alongamento das amostras, chegando a 80% menores que os das amostras sem solda. Isso mostra a diminuição da ductilidade da estrutura. A ductibilidade representa sua capacidade de suportar deformação permanente quando sob aplicação de carga antes de ocorrer a fratura. Vários estudos encontraram menores valores de alongamento após o procedimento de soldagem (Wang & Welch, 1995, Neo, 1996; Sjogren, 1988). Os menores valores de alongamento obtidos no presente estudo indicam que pode ter ocorrido aumento da dureza e diminuição na ductilidade do material na região da união durante o procedimento de soldagem, devido à incorporação de impurezas (Sjogren, 1988).

Quanto à localização da fratura, esta ocorreu na região da união em todas as amostras soldadas. Pela análise do padrão de falha, o início da fratura parece ser determinado pela presença de defeitos estruturais na solda que agem como pontos de concentração de tensão. As amostras que, após o procedimento de soldagem, apresentaram alguma imperfeição da união ou, na maioria das vezes, esta região possuía seção transversal menor que o diâmetro original da amostra, visto que esta região apresenta menor ductilidade.

Na análise das imagens observou que a solda, em todos os grupos de solda plasma, não preenchem totalmente os espaços internos, fato que pode diminuir a resistência da estrutura soldada. Um dos motivos pode ser o posicionamento da junta do tipo topo (Chai & Chou, 1998), sem espaçamento entre as partes e sem material de adição. Esse é um fato comum nas soldas por fusão pulsadas. essa limitação também

é vista na solda a laser (Chai & Chou, 1998) amplamente usada e difundida na odontologia. Quando comparamos as imagens da lupa estereoscópica ( Figuras 8, 9 e 10) com os valores de resistência a flexão (Tabela 2 anexo), notamos que os mais baixos estão relacionados as imagens que apresentam menos penetração.

Apesar dessas limitações a solda plasma nos corpos de prova Ti6Al4V teve resultados superiores a solda brasagem em corpos de prova de níquel cromo, mostrando que é um método promissor, o que justifica o investimento em mais pesquisas sobre os métodos de soldagem a arco, buscando a melhoria da qualidade das estruturas protéticas, menor custo e menor tempo de confecção das mesmas.

Em condições clínicas, incidem forças que não foram simuladas *in vitro*, assim como forças mastigatórias e outras consequentes de parafunção. Desta forma, algumas das limitações deste estudo podem ser citadas, como a ausência de informação com relação à longevidade do procedimento de soldagem, a partir do ensaio como ciclagem mecânica, ciclagem térmica caracterizando processo de fadiga, além de não mensurar a dureza da região soldada comparada com a barra não soldada. Por isso sugerimos novos trabalhos com metodologias para sanar esses problemas.

Apesar destas limitações, a realização deste estudo pôde fornecer parâmetros que possibilitam a utilização da máquina de soldagem plasma em liga de titânio, o que é de grande valia, pois a indústria lança equipamento no mercado e oferece pouco suporte aos seus usuários, fazendo com que cada um desenvolva sua própria técnica de maneira empírica.

## **7- CONCLUSÃO**

Conclui-se que o grupo controle apresentou valores de resistência à flexão estatisticamente superiores dos demais grupos. Entre os grupos de solda plasma, o grupo PL 3-10 PL 3-12 e PL 3-14, não houve diferença estatística significante ao teste de Tukey ( $p>0.05$ ). O grupo NiCrB foi o que apresentou os piores resultados, sendo estatisticamente semelhante ao grupo PL3-14, e diferente estatisticamente dos grupos PL3-10,PL3-12 e controle (gráfico 1).

Na análise das imagens dos grupos soldados a plasma, verificou-se penetração da solda apenas na periferia, ficando a região central sem solda. Quanto os valores da área de penetração da solda não houve diferença estatística.

## **8-REFERÊNCIAS**

- 1- Anusavice, K.J.; Okabe, T.; Galloway, S. E.; Hoyt, D. J.; Morse, P. K. Flexure Test Evaluation of Presoldered Base Metal Alloys. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, v. 54, n. 4, p. 507-517, 1985.
- 2- Anusavice, Kenneth J. Phillips – Materiais Dentários. 11. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.
- 3- Atoui, J. A. Resistência mecânica e desajuste marginal do titânio comercialmente puro submetido a dois métodos de soldagem: TIG e Laser. 155f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão preto, 2008.
- 4- Baba N, Watanabe I. Penetration depth into dental casting alloys by Nd:YAG laser. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2005;72(1):64-8.
- 5- Bauer J, Cellia S, Pinto MM, Filho LE, Reis A, Loguercio AD. Effect of argon purity on mechanical properties, microstructure and fracture mode of commercially pure (cp) Ti and Ti-6Al-4V alloys for ceramometal dental prostheses. *Biomed Mater*. 2009;4(6):065002.
- 6- Bergman, M. Cast titanium in dental constructions. DPNOVA AB Malmo: Sweden, Aug. 1990. [Manual]
- 7- Bertrand C, Le Petitcorps Y, Albingre L, Dupuis V. The laser welding technique applied to the non precious dental alloys procedure and results. *Br Dent J*. 2001;190(5):255-7.
- 8- Bränemark P-I. Osseointegration and its experimental background. *J Prosthet Dent*. 1983; 50 (3): 399-410.
- 9- Cardoso, LM. Avaliação da resistência à flexão de liga de titânio submetida a soldagens laser e TIG, visando a prótese dentária. Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de mestre profissional em lasers em odontologia pela Universidade Federal de São Paulo. 2007.
- 10- Cary, Howard B. Modern welding technology. 4<sup>th</sup> ed. Ohio. Prentice Hall, 1998.
- 11- Cecconi BT, Koeppen RG, Phoenix RD, Cecconi ML. Casting titanium partial denture frameworks: a radiographic evaluation. *J Prosthet Dent*. 2002;87(3):277-80.
- 12- Chai T, Chou CK. Mechanical properties of laser-welded cast titanium joints under different conditions. *J Prosthet Dent*. 1998;79(4):477-83.

- 13- Craig, R.G. et al. Restorative dental materials. 10.ed. Saint Louis: Mosby, 1997. Cap.15: Cast and wrought base metal alloys, p.428-432.
- 14- Da Silva, J. Avaliação da Resistencia flexural entre diferentes métodos de soldagem: chama direta – TIG- laser. 2007. 109p. Dissertação de mestrado, Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto.
- 15- de Aguiar FA, Jr., Tiossi R, Rodrigues RC, Mattos Mde G, Ribeiro RF. An alternative section method for casting and posterior laser welding of metallic frameworks for an implant-supported prosthesis. *J Prosthodont*. 2009;18(3):230-4.
- 16- Degidi M, Nardi D, Piattelli A. Immediate rehabilitation of the edentulous mandible with a definitive prosthesis supported by an intraorally welded titanium bar. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2009;24(2):342-7.
- 17- Fornaini C, Bertrand C, Bonanini M, Rocca JP, Nammour S. Welding in the dental office by fiber-delivered laser: a new technique. *Photomed Laser Surg*. 2009;27(3):417-23.
- 18- Fornaini C, Passaretti F, Villa E, Rocca JP, Merigo E, Vescovi P, et al. Intraoral laser welding: ultrastructural and mechanical analysis to compare laboratory laser and dental laser. *Lasers Med Sci*. 2010;
- 19- Hart CN, Wilson PR. Evaluation of welded titanium joints used with cantilevered implant-supported prostheses. *J Prosthet Dent*. 2006;96(1):25-32.
- 20- Huang HH, Lin MC, Lin CC, Lin SC, Hsu FL, Lee SY, Hung CC. Effects of welding pulse energy and fluoride ion on the cracking susceptibility and fatigue behavior of Nd:YAG laser-welded cast titanium joints. *Dental Materials Journal* 25 ( 3 ) : 632 - 640, 2006.
- 21- Huling JS, Clark RE. Comparative distortion in three-unit fixed prostheses joined by laser welding, conventional soldering, or casting in one piece. *J Dent Res*. 1977;56(2):128-34.
- 22- Jemt T, Linden B. Fixed implant-supported prostheses with welded titanium frameworks. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 1992;12(3):177-84.
- 23- Lautenschlager EP, Monaghan P. Titanium and titanium alloys as dental materials. *Int Dent J*. 1993;43(3):245-53.
- 24- Liu J, Watanabe I, Yoshida K, Atsuta M. Joint strength of laser-welded titanium. *Dent Mater*. 2002;18(2):143-8.
- 25- Neo T. K.; Chai J.; Gilbert J. L.; Wozniak, W. T.; Engelmann, M. J. Mechanical properties of titanium connectors. *Int J Prosthodont*, v.9, n.4, p.379-93, 1996.

- 26- Ortorp A, Jemt T. Clinical experiences of implant-supported prostheses with laser-welded titanium frameworks in the partially edentulous jaw: a 5-year follow-up study. *Clin Implant Dent Relat Res.* 1999;1(2):84-91.
- 27- Özen, J.; Ural, A. U.; Dalkiz, M.; Beydemir, B. Influence of Dental Alloys and All-Ceramic Material on Cell Viability and Interleukin-1 Beta Release in a Three-Dimensional Cell Culture Model. *Turkish Journal of Medical Sciences*, n. 35, p. 203-208, 2005.
- 28- Paulino, SM. Leal, MB. Pagnano, VO. Bezzon, OL. The Castability of Pure Titanium Compared with NI-CR and NI-CR-BE alloys. *J Prosthet Dent.* 2007 Dec;98(6):445-54
- 29- Rocha R, Pinheiro AL, Villaverde AB. Flexural strength of pure Ti, Ni-Cr and Co-Cr alloys submitted to Nd:YAG laser or TIG welding. *Braz Dent J.* 2006;17(1):20-3.
- 30- Roggensack M, Walter MH, Boning KW. Studies on laser- and plasma-welded titanium. *Dent Mater.* 1993;9(2):104-7.
- 31- Sahin S, Cehreli MC. The significance of passive framework fit in implant prosthodontics: current status. *Implant Dent.* 2001;10(2):85-92.
- 32- Santos-Filho PC, Castro CG, Silva GR, Campos RE, Soares CJ. Effects of post system and length on the strain and fracture resistance of root filled bovine teeth. *Int Endod J.* 2008 Jun;41(6):493-501. Epub 2008 Apr 12
- 33- Simamoto-Júnior, PC. Análise das tensões na estrutura de suporte em protocolos implanto-suportados com alteração do número e diâmetro das fixações. Tese apresentada à Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade Estadual de Campinas, para obtenção do Título de Doutor em Clínica Odontológica – Área de concentração em Prótese Dental. 2008
- 34- Sjogren G, Andersson M, Bergman M. Laser welding of titanium in dentistry. *Acta Odontol Scand.* 1988;46(4):247-53.
- 35- Suzuki Y, Ohkubo C, Abe M, Hosoi T. Titanium removable partial denture clasp repair using laser welding: a clinical report. *J Prosthet Dent.* 2004;91(5):418-20.
- 36- Taira M, Moser JB, Greener EH. Studies of Ti alloys for dental castings. *Dent Mater.* 1989;5(1):45-50.
- 37- Tambasco J, Anthony T, Sandven O. Laser welding in the dental laboratory: an alternative to soldering. *J Dent Technol.* 1996;13(4):23-31.

- 38- The Titanium Information Group. Welding Titanium a Designers and Users Handbook, Guide to best practice. Copyright TWI and the Titanium Information Group. May 1999.
- 39- Tiossi R, Falcao-Filho H, Aguiar Junior FA, Rodrigues RC, Mattos Mda G, Ribeiro RF. Modified section method for laser-welding of ill-fitting cp Ti and Ni-Cr alloy one-piece cast implant-supported frameworks. *J Oral Rehabil*. 2010;37(5):359-63.
- 40- Wang RR, Chang CT. Thermal modeling of laser welding for titanium dental restorations. *J Prosthet Dent*. 1998;79(3):335-41.
- 41- Wang, R.R., Welsch, G.E. Joining titanium materials with tungsten inert gas welding, laser welding, and infrared brazing. *J Prosthet Dent.*, Saint Louis, v.74, n.5, p.521-530, Nov. 1995.
- 42- Yamagishi T, Ito M, Fujimura Y. Mechanical properties of laser welds of titanium in dentistry by pulsed Nd:YAG laser apparatus. *J ProsthetDent*. 1993;70(3):264-73.
- 43- Zavanelli RA, Guilherme AS, Pessanha-Henriques GE, de Arruda Nobilo MA, Mesquita MF. Corrosion-fatigue of laser-repaired commercially pure titanium and Ti-6Al-4V alloy under different test environments. *J Oral Rehabil*. 2004;31(10):1029-34.
- 44- Zheng S, Dayou P, Weihong Z, Kuang TY. Correlation between Processing Parameters and Microstructures in TIG, Plasma and Laser Welded Ti-6Al-4V Alloy. SIMTech Technical Report. Joining Technology Group, Process Technology Division. 2001: 1 -11.

## ANEXO

**Tabela 2 – Valores, médias e desvio padrão de tensão de flexão**

Grupos \ Amostras	GI	Controle	G10	G12	G14
Amostra 1	2750.19	1322.28	1584.47	1608.99	1397.73
Amostra 2	2757.73	901.64	1837,23	1420,36	1825,91
Amostra 3	2733,21	1224,19	1437,34	1552,40	1371,32
Amostra 4	2750.19	1031.79	1659.92	1403.39	1688.21
Amostra 5	2740,76	1563.72	1499.59	1467.52	1420.36
Amostra 6	2806.78	1127.99	1714.62	1444.88	1644,83
Amostra 7	2810.55	1261.92	1203.44	1376.98	1026.13
Amostra 8	2823.76	873.35	1554.29	1312,84	814.87
Amostra 9	2808.66	1052.54	1388.29	1463,75	1239.28
Amostra 10	2836.96	1094.04	1641.06	1652.37	1114.79
Média	2781.88	1145.347	1552.02	1470.35	1354.34
Desvio Padrão	38.86	206.55	180.31	105.56	315.19

**Tabela 3 – Tabela de análise de variância para um fator – ANOVA one-way**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	16645284.41	4	4161321.10	111.16	.000
Within Groups	1684629.18	45	37436.20		
Total	18329913.59	49			

\*diferença estatisticamente significante ( $p<0.05$ )