

CRISTIANE MARTINS RODRIGUES BERNARDES

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO E A  
TRAÇÃO DA SOLDA DE PRATA, OURO E A PONTO  
EM ORTODONTIA

Dissertação apresentada ao Centro de  
Pós-Graduação / CPO São Leopoldo  
Mandic, para obtenção do título de Mestre  
em Odontologia.

Área de concentração: Ortodontia.

CAMPINAS  
2007

CRISTIANE MARTINS RODRIGUES BERNARDES

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO E A  
TRAÇÃO DA SOLDA DE PRATA, OURO E A PONTO  
EM ORTODONTIA

Dissertação apresentada ao Centro de  
Pós-Graduação / CPO São Leopoldo  
Mandic, para obtenção do título de Mestre  
em Odontologia.

Área de concentração: Ortodontia.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto  
Aranha Nouer.

CAMPINAS  
2007

**Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca "São Leopoldo Mandic"**

B518a Bernardes, Cristiane Martins Rodrigues.  
Avaliação da resistência à flexão e a tração da solda de prata, ouro e a ponto em Ortodontia / Cristiane Martins Rodrigues Bernardes. – Campinas: [s.n.], 2007.  
65f.: il.

Orientador: Paulo Roberto Aranha Nouer.  
Dissertação (Mestrado) – C.P.O. São Leopoldo Mandic – Centro de Pós-Graduação.

1. Soldagem em Odontologia. 2. Fios ortodônticos. 3. Resistência a tração. 4. Ortodontia. I. Nouer, Paulo Roberto Aranha. II. C.P.O. São Leopoldo Mandic – Centro de Pós-Graduação. III. Título.

*C.P.O. - CENTRO DE PESQUISAS ODONTOLÓGICAS  
SÃO LEOPOLDO MANDIC*

*Folha de Aprovação*

*A dissertação intitulada: "AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO E A TRAÇÃO DA SOLDA DE PRATA, OURO E A PUNTO EM ORTODONTIA" apresentada ao Centro de Pós-Graduação, para obtenção do grau de Mestre em Odontologia, área de concentração: \_\_\_\_\_ em \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_, à comissão examinadora abaixo denominada, foi aprovada após liberação pelo orientador.*

---

*Prof. (a) Dr (a)  
Orientador*

---

*Prof. (a) Dr (a)  
1º Membro*

---

*Prof. (a) Dr (a)  
2º Membro*

## **DEDICO ESTE TRABALHO**

Ao meu filho Rubens, pela compreensão dos momentos de ausência e ao meu marido Silas pelo companheirismo e apoio incondicional em todos os momentos.

Aos meus pais, Rubens A. Rodrigues e Lucilia M. Rodrigues pela dedicação e empenho em minha educação.

## **AGRADECIMENTOS ESPECIAIS**

A Deus.

Ao Prof. Dr. Paulo Roberto Aranha Nouer pelo apoio, confiança, dedicação e orientação precisa neste trabalho.

A bióloga Tatiana Cristina Ricci da Silva, responsável pelo laboratório de materiais dentários do C.P.O São Leopoldo Mandic, que me prestou apoio irrestrito em toda a fase laboratorial.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Centro de Pesquisas Odontológicas São Leopoldo Mandic, na pessoa de seu Presidente do Conselho Superior, Prof. Dr. José Luiz Cintra Junqueira.

Ao Prof. Dr. Thomaz Wassall, coordenador de pós-graduação do C.P.O. São Leopoldo Mandic, pela oportunidade concedida.

Ao Prof. Dr. Darcy Flávio Nouer pelos inúmeros ensinamentos, decisivos nesta jornada.

À Prof. Dra. Ivana Uglík Garbui pelo incentivo, dedicação e contribuição em minha formação ortodôntica.

À Prof. Dra. Mayury Kuramae pela enorme dedicação em minha formação ortodôntica e amizade demonstrada ao longo do curso.

Ao Prof. Nelson Padilha Silva pelas inúmeras soluções em momentos decisivos.

Ao Prof. Dr. Lourenço Correr Sobrinho, professor da Área Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba - Unicamp pela contribuição e pronto esclarecimento.

À Prof. Dra. Roberta Tarkany Basting Hofling, chefe do laboratório de materiais dentários do C.P.O. São Leopoldo Mandic, que me ofereceu todo apoio laboratorial necessário.

À empresa EMIC que não poupou esforços em por à minha disposição o seu departamento de engenharia de máquinas.

Ao Antonio Macedo, técnico em manipulação de metais preciosos, que realizou a usinagem do ouro utilizado neste trabalho.

Ao Marcos Blanco Cangiani, Técnico em Mecânica de Nível Superior da Área Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba - UNICAMP, pela atenção e pronto esclarecimento.

Aos amigos de curso Sheila Pícolo e Almir Fernandes pela parceria e cumplicidade ao longo do curso.

Ao José Carlos Potenciano pela amizade e contribuição em informática durante todo o curso.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram na realização deste trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b>	<b>8</b>
<b>RESUMO</b>	<b>10</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>14</b>
<b>3. PROPOSIÇÃO</b>	<b>35</b>
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>36</b>
<b>4.1 Material</b>	<b>36</b>
<b>4.2 Método</b>	<b>36</b>
<b>4.2.1 <i>Corpos-de-prova</i></b>	<b>36</b>
<b>4.2.2 <i>Solda elétrica a ponto</i></b>	<b>39</b>
<b>4.2.3 <i>Solda de prata e ouro</i></b>	<b>39</b>
<b>4.2.4 <i>Teste de resistência à tração e flexão/tração</i></b>	<b>41</b>
<b>4.2.5 <i>Análise estatística</i></b>	<b>50</b>
<b>5. RESULTADOS</b>	<b>51</b>
<b>6. DISCUSSÃO</b>	<b>55</b>
<b>7. CONCLUSÃO</b>	<b>60</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>61</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>62</b>
<b>ANEXOS</b>	

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

QUADRO 1 – Materiais utilizados no estudo.....	36
FIGURA 1 - Confeção do corpo-de-prova com fio de ss para tração . . . . .	37
FIGURA 2 – Dobra em “U” do corpo-de-prova para tração.....	38
FIGURA 3 – Confeção de helicóide e dobra de retenção do corpo-de-prova para tração . . . . .	38
FIGURA 4 – Máquina para soldagem a ponto Kernit SMP 3000.....	39
FIGURA 5 – Suporte de imobilização dos fios a serem soldados . . . . .	41
FIGURA 6 – Solda de prata RMO . . . . .	41
FIGURA 7 – Maçarico mini-flan.....	42
FIGURA 8 – Fundente RMO . . . . .	42
FIGURA 9 – Solda de ouro.....	43
TABELA 1 - Três marcas de fios e três tipos de soldas - Grupo I . . . . .	43
FIGURA 10 – Máquina EMIC DL 2000.....	45
FIGURA 11 – Inclusão em resina acrílica auto polimerizável em cano de PVC para tração . . . . .	45
FIGURA 12 – Corpo-de-prova pronto para o teste de tração . . . . .	46
FIGURA 13 – Corpo-de-prova para tração.....	46
TABELA 2 - Três marcas de fios e três tipos de soldas - Grupo II . . . . .	47
FIGURA 14 – Corpo-de-prova pronto para o teste de flexão . . . . .	49
FIGURA 15 – Corpo-de-prova flexão/tração pronto para flexão.....	49
FIGURA 16 – Corpo-de-prova flexão/tração pronto para tração . . . . .	50
TABELA 3 - Tratamento solda ouro, prata e a ponto dos fios ortodônticos GAC, RMO e Unitek. Valores de desvio padrão entre parênteses.....	52

GRÁFICO 1 - Força média (Kgf) resultante do rompimento dos fios, de acordo com marca e tipo de solda, para os corpos-de-prova do grupo I (movimento de tração).....	53
GRÁFICO 2 - Força média (Kgf) resultante do movimento de 14 ciclos de flexão dos fios, de acordo com a marca e o tipo de solda, para os corpos-de-prova do grupo II (movimento de flexão). .....	53
GRÁFICO 3 - Força média (Kgf) resultante do rompimento dos fios, de acordo com a marca e o tipo de solda, para os corpos-de-prova do grupo II (movimento de flexão e tração). .....	54
GRÁFICO 4 - Comparação entre o grupo I e II. ....	54

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a resistência à tração e flexão da solda de prata, ouro e a ponto em fios de aço inoxidável encontradas no mercado, e determinar o limite de máxima resistência. Foram usados três tipos de solda, sendo uma solda comercial a base de prata (solda Unitek), solda a ponto com a máquina de solda Kernit SMP 3000 e solda a base de ouro, manipulada especialmente para este trabalho. Foram confeccionados trinta corpos-de-prova para cada tipo de solda com os fios de aço inoxidável na espessura 018" x 025" (UNITEK, GAC e RMO) totalizando noventa corpos-de-prova. Todas as soldas foram realizadas pelo mesmo operador. A máquina utilizada para a soldagem elétrica a ponto foi a Kernit SMP 3000, enquanto a solda do tipo ouro e prata foram realizadas com um maçarico gás-oxigênio utilizando fundente (Rock Mountain). Os corpos-de-prova foram divididos em dois grupos, sendo os do grupo I submetidos somente à força de tração e os corpos-de-prova do grupo II foram submetidos primeiramente à força de flexão (14 ciclos) e posteriormente a força de tração, ambos na máquina EMIC DL 2000. Os resultados foram avaliados estatisticamente pela Análise de Variância (ANOVA) e pelo Método de Tukey (5%). Apesar de todas as soldagens terem sido realizadas por um mesmo operador e nas mesmas condições laboratoriais, os valores obtidos foram variáveis, demonstrando a importância da habilidade do operador no momento da soldagem. A comparação entre os grupos I e II apresentou resultados estatisticamente significantes, onde a força resultante do rompimento dos fios é menor para o grupo II, ou seja, aquele que foi submetido a 14 ciclos de movimento de flexão, antes do movimento de tração, indicando provavelmente, a fadiga do fio. Palavras-chave: Ortodontia. Soldagem em Odontologia. Fios Ortodônticos. Resistência à tração.

## 1. INTRODUÇÃO

WILKINSON (1960) relatou que os avanços na metalografia ajudaram consideravelmente os ortodontistas na busca de seu aparelho ideal, sendo sua principal descoberta a introdução do aço inoxidável austenítico. Este tipo de material possuía segundo o autor, resistência e módulo de elasticidade superior que os demais metais. Relatou ainda, que os fios ortodônticos também precisam ser rígidos o suficiente para evitar quebras na região dos brackets e também devem resistir à corrosão.

A soldagem é um processo de união de dois metais separados, utilizando ou não uma liga metálica. O termo soldagem é utilizado em odontologia para descrever a maioria dos processos de união de metais que envolvem o fluxo de um metal de preenchimento entre dois ou mais componentes metálicos. O processo de soldagem envolve o metal a ser soldado, o metal de preenchimento (solda), um fundente e uma fonte de calor.

Sabendo-se da grande importância do procedimento de soldagem na odontologia, há a necessidade de realizá-la de maneira científica, eliminando falhas que podem ocorrer devido a defeitos na união soldada (LOPES *et al.*, 2000).

Atualmente, existe uma ampla variedade de ligas de fundição dentária, disponíveis para a odontologia. As ligas podem ser descritas pela composição ou pela cor, mas a composição é a base para o sistema de classificação da American Dental Association (ADA). As soldas são ligas especiais, utilizadas para serem unidas a outras ligas e devem ter a faixa de fusão entre 38 e 66°C abaixo da liga à qual irá se unir (LEINFELDER & LEMONS, 1989; GRAIG, 2002). Os fundentes são

substâncias químicas que dissolvem óxidos nas ligas, e que permitem a fluidez e o molhamento da solda nas ligas às quais irão se unir (GRAIG *et al.*, 2002).

Segundo NELSON *et al.* (1987), vários estudos qualitativos de soldagem sobre fios ortodônticos e materiais foram realizados, utilizando diversas máquinas de soldagem com o intuito de desenvolver soldas clinicamente aceitável para determinado tipo de fio ortodôntico, sendo algumas dessas pesquisas descrições da resistência da solda a ponto. Relataram ainda que as uniões soldadas representam um meio de aumentar as aplicações úteis de materiais disponíveis para uso em Ortodontia.

A união entre fios de aço inoxidável (SS) e solda de prata é um procedimento rotineiro utilizado pelos ortodontistas e segundo MOYERS (1988), esta soldagem pode ser feita sem uma apreciável alteração das qualidades dos metais a serem unidos.

De acordo com BRADEL (1934), os aparelhos ortodônticos inicialmente eram construídos em ouro ou prata. Em 1887 as ligas de níquel-prata foram introduzidas comercialmente e em 1900 surgiram as ligas constituídas por ouro, prata, platina e cobre, como um novo material para a Ortodontia.

Segundo MOGLER & HOLESTINE (1935), o aço inoxidável (SS) foi introduzido no mercado na forma de fio com menor preço comercial quando comparado aos metais nobres em 1929, sendo também consideradas aceitáveis as suas propriedades mecânicas, como ductibilidade, dureza e resistência à corrosão. Apesar das vantagens do SS, dificuldades foram encontradas no momento da realização da solda, o que tornou difícil a sua aceitação.

Atualmente a odontologia tem acesso a uma grande variedade de ligas

para fundição, designadas a propósitos clínicos específicos, sendo que as soldas são ligas especiais utilizadas para unir metais, possuindo propriedades importantes para que sejam utilizadas com sucesso. A maioria das soldas dentárias ou são ligas baseadas em ouro ou em prata.

O ouro apresenta propriedades desejáveis é o maior componente das ligas convencionais de metais preciosos, tendo como principal função conceder à liga resistência a corrosão, já que a liga de prata é dúctil, maleável e é excelente condutor de calor e eletricidade, proporcionando dureza, resistência à tração (LEINFELDER & LEMONS, 1989).

A soldagem elétrica a ponto é geralmente usada em procedimentos ortodônticos ao transmitir-se uma corrente através de duas peças de metal, mantidas em contato. Através dos anos, vários estudos qualitativos de soldagem sobre fios ortodônticos e materiais foram conduzidos utilizando diversas máquinas de soldagem com o intuito de desenvolver soldas aceitáveis para determinado fio ortodôntico (NELSON *et al.*, 1987).

Diante de tamanha variedade de ligas para soldagem e dos vários métodos de realização das mesmas e as suas implicações clínicas em procedimentos ortodônticos, o propósito deste trabalho foi o de comparar a resistência à flexão e a tração de fios de aço inoxidável fixados com soldas de ouro, prata e elétrica a ponto.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

COLEMAN (1933) realizou trabalho sobre o efeito das soldas sobre ligas utilizadas em ortodontia. Por meio do exame da microestrutura dessas ligas, observou variações na estrutura e mudanças nas propriedades físicas causadas pelo superaquecimento durante a soldagem, sendo que esse superaquecimento seria uma das principais causas da fratura dos fios.

BRADEL (1934) quando do lançamento do aço inoxidável, relatou que as suas propriedades eram inferiores e que a sua dificuldade na soldagem não compensariam o seu baixo custo e o seu uso seria limitado a certos tipos de aparelhos ortodônticos.

MOGLER & HOLESTINE (1935) observaram que o aço inoxidável superou as ligas de ouro em aspectos como, maior resistência à tração, maior dureza e maior resistência à fadiga. Realizaram experimentos de solda com um fio a base de cromo obtendo resultados clínicos satisfatório, mas relataram ser o excesso de calor durante a soldagem o fator responsável pela recristalização do fio.

BARR (1937) realizou trabalho enfatizando aspectos relacionados à soldagem com chama e elétrica e relatou serem ambas de simples realização e vantajosas em relação à baixa condutividade térmica e à alta resistência elétrica das ligas de cromo-níquel.

GREEN (1945) relatou em seu trabalho a necessidade de refinamento da técnica de soldagem para o seu uso mais generalizado e que para a soldagem do aço inoxidável o fluxo deveria ser aplicado livremente nas duas extremidades a serem soldadas. O autor recomendou um fluxo composto por uma parte de fluoreto

de potássio, meia parte de borato de sódio e a solda de prata. A solda deveria ser aplicada a cada uma das extremidades dos fios a serem soldados e os mesmos aquecidos próximos do ápice da chama a fim de evitar superaquecimento e oxidação. Concluiu que o aço inoxidável é um material excelente para ser usado na ortodontia.

RICHMANN (1956) realizou trabalho avaliando as mudanças que ocorriam na estrutura do metal no momento da confecção de um aparelho ortodôntico e da soldagem. Concluiu que as rupturas ocorridas foram causadas pelo superaquecimento durante a soldagem; que esse processo exigia o uso de soldas de prata de baixa fusão e que o fio de aço inoxidável deveria receber o mínimo de calor quanto possível, a fim de manter a estrutura fibrosa original do fio.

RYGE (1958) relatou que vários fatores influenciariam a resistência de uma união soldada como: composição da liga, contaminação da superfície, distância entre as partes a serem soldadas e forma e dimensão da área de contato. Descreveu que a distância entre as partes a serem soldadas é um fator que pode influenciar no resultado final da soldagem, onde um maior espaço entre as partes a serem soldadas pode aumentar a porosidade e comprometer a resistência da união soldada e que por outro lado, se o espaço a ser ocupado pela solda for muito reduzido, produzirá uniões extremamente finas, havendo risco de a solda tornar-se muito porosa e menos resistente.

WILKINSON (1960) realizou estudo com o propósito de investigar os efeitos de alta temperatura nas propriedades mecânicas dos fios ortodônticos de aço inoxidável. As propriedades investigadas foram a força de tensão final e a dureza Vickers. Os corpos-de-prova foram obtidos, utilizando-se fio ortodôntico de aço inoxidável. 0189". As amostras do fio foram submetidas a determinadas

temperaturas durante períodos específicos de tempo e posteriormente aos testes de tensão e dureza Vickers. De todas as variações de calor empregadas, a maior força de ruptura foi de 98 libras e a menor de 43,5 libras. Os resultados deste trabalho revelaram que a variação de temperatura e tempo de exposição a esta temperatura escolhidos para o teste de dureza do fio ortodôntico foi diretamente proporcional a sua força de tensão.

No mesmo ano, PARKER realizou estudo com a intenção de desenvolver um argumento sobre a melhor técnica de soldagem e principalmente introduzir uma aplicação prática e rápida de uma técnica de soldagem ortodôntica tanto para ouro como para cromo. Utilizou uma máquina de soldagem da Rocky Mountain modelo 506, com cabos de adaptação, ajustada para a soldagem de fios, um fundente de alta fusão (Rocky Mountain Tru-chrome) e solda de ouro SS White 14k 490. Concluiu que na ortodontia esta técnica de soldagem para fios de metal cromo ou ouro pode ser empregada com sucesso.

WILKINSON (1962) realizou um trabalho com a finalidade de estudar algumas das variáveis relacionadas ao processo de soldagem e determinar o efeito dessas variáveis no grau e extensão do amolecimento produzido em fios de aço inoxidável. O autor considerou as seguintes variáveis: a) soldagem de um gancho de aço inoxidável de 0,5 mm de diâmetro ao arco de aço inoxidável de 0,5 mm de diâmetro utilizando solda Unitek nº6 e fluxo Unitek; b) soldagem de um gancho de aço inoxidável de 0,5 mm de diâmetro ao arco de aço inoxidável de 0,5 mm de diâmetro utilizando solda e fluxo A. J. Wilcock; c) soldagem de fio de liga à base de ouro endurecido ao arco de aço inoxidável utilizando solda Unitek nº6 e fluxo Unitek; d) soldagem de fio de liga à base de ouro endurecido ao arco de aço inoxidável utilizando solda A. J. Wilcock. As soldagens foram feitas por três operadores

diferentes e também com variação da fonte de calor. Dois operadores realizaram soldagens utilizando chama gás-ar, enquanto o outro utilizou uma pequena chama de gás puro. Concluiu que não houve diferença significativa entre os quatro tipos de junções estudadas e que houve uma grande variação individual no controle do calor. Houve diferença significativa no amolecimento provocado no fio quando foi variada a fonte de calor. A chama de gás-ar foi a fonte de calor mais satisfatória.

Em estudo realizado sobre as uniões soldadas com prata em fios de aço inoxidável, LAIRD & VON FRAUNHOFER (1972) consideraram o método de chama gás/ar e técnica elétrica, na qual o calor foi aplicado por meio de uma caneta de aço carbono conectada à máquina de solda elétrica (Slee Medical Equipment Ltda, London). As amostras para os testes foram preparadas a partir de barras (EM 58J) cilíndricas de aço inoxidável medindo 3 mm. Foram utilizados nesse estudo a solda de prata e o pó fundente Easy-flo (Johnson Matthey Metals Ltda, London). O processo de soldagem foi interrompido assim que ocorreu o fluxo da solda. Os testes de tensão foram realizados na máquina Universal Instron a uma velocidade de 0.2 mm/min. A análise estatística indicou que não houve diferenças significantes na força de tensão das uniões soldadas pelas técnicas empregadas. Concluíram que não houve diferenças significantes na força de tensão das junções soldadas pelas técnicas empregadas; a expansão dos componentes e o risco resultante de encurvamentos foram maiores quando a técnica da chama de gás/ar foi empregada e menores na solda elétrica; alterações microestruturais foram evidentes na técnica em que se empregou a chama gás/ar e insignificantes na técnica onde se empregou a solda elétrica; a brasagem elétrica é mais rápida e conveniente na soldagem das uniões.

LAUTENSCHLAGER *et al.* (1974) realizaram um trabalho com a

finalidade de determinar alguns fatores que influenciam na resistência das uniões soldadas. Avaliaram o tamanho da união soldada, a taxa de deformação e o grau de perfeição na interface entre a solda e o metal. Concluíram que a quantidade de porosidade na junção seria responsável pela diminuição da resistência da união e que se o espaço a ser ocupado pela solda fosse muito reduzido produzindo uniões extremamente finas, haveria o risco de a solda tornar-se muito porosa e menos resistente.

PRATES (1974) com o objetivo de avaliar o comportamento da dureza em função do trabalho mecânico a frio e do tratamento térmico, identificou o grau de dureza de fios de liga de aço inoxidável de secção circular sendo, 0.016, 0.018 e 0.020 polegadas, fabricados pela Unitek Corporation. Três grupos de corpos-de-prova foram idealizados pelo autor, sendo que um deles foi submetido a tratamento térmico no forno K. H. Huppert devidamente aferido. Para os ensaios de dureza Knoop utilizou o escleroscópio Durimet Leitz, com carga de 200 gramas. Pelos resultados da análise de variância para a dureza Knoop, verificou-se que o tratamento térmico influiu sobre a dureza dos fios. Concluiu que nos três grupos de fios estudados, os fios de menor diâmetro apresentaram maior dureza em relação aos de maior diâmetro; o diâmetro influenciou na dureza independentemente do tratamento térmico; houve uma tendência do tratamento térmico a diminuir mais a dureza dos fios de menor diâmetro.

ROGERS (1978) realizou trabalho com o objetivo de avaliar a resistência da interface soldada em aço inoxidável por operadores experientes, os quais empregaram dois diferentes tipos de soldas, que foram examinadas por meio de procedimentos metalográficos universais no preparo das amostras. O operador A trabalhou com uma máquina de solda multifuncional Unitek 1050 em cinco

configurações diferentes e com fio Unitek Resilient sobreposto de 0,381 x 0,711 mm. O operador B trabalhou com amostras de material para banda, também sobreposto, de 0,127 mm (Rocky Mountain Chrome Alloy 18/8 type 302 stainless steel) e amostras de attachments auxiliares Broussard. As amostras foram montadas e preparadas para o teste metalográfico e posteriormente polidas com pasta diamantada (Struers, DP-Diamond paste, grain B). Em seguida foram lavadas com ultrassom e polidas eletroliticamente (Disa Electropol). Os resultados variaram desde a união inadequada do fio até a formação excessiva de calor, caracterizada por uma queima da superfície do fio, expulsão do metal derretido e alteração das propriedades físicas do fio. Concluiu que a corrente excessiva causou concavidades, falhas ou queima das superfícies com redução da espessura do metal na área fundida e alteração grosseira da estrutura granular do aço inoxidável.

UETI & ADOLFI (1978) realizaram trabalho com o objetivo de verificar a resistência ao dobramento de uniões soldadas de liga de ouro em função do espaço, pré-aquecimento e tempo de resfriamento do bloco de revestimento. Para isso utilizaram corpos-de-prova em blocos de 0.15 cm de espessura, por 0.30 cm de largura e por 2,00 cm de comprimento a partir de fundição convencional com liga de ouro tipo III. Estes corpos-de-prova foram seccionados, biselados e posicionados para a soldagem obedecendo a distância entre as partes a serem soldadas de 0.15 mm, 0.40 mm e em contato. Após a inclusão e presa do revestimento, os blocos foram submetidos ao pré-aquecimento, sobre o bico de Bunsen, a 450°C e a 750°C em forno. A soldagem dos blocos foi feita com solda tipo “Universal” e após a soldagem os blocos foram resfriados da seguinte maneira: imediatamente, após cinco minutos e decorridos 15 minutos de espera. Em seguida os blocos soldados foram submetidos ao ensaio de resistência ao dobramento. Concluíram que os

espaços e os tempos de resfriamento tiveram comportamentos diferentes, que o pré-aquecimento não influi na resistência ao dobramento e que os maiores valores foram verificados com os corpos-de-prova soldados com espaço de 0,15 mm e em tempo de resfriamento decorrido cinco minutos.

ROGERS (1979) realizou trabalho de avaliação metalográfica da junção soldada de aço inoxidável com a liga de prata. Para isso utilizou vinte corpos-de-prova preparados com dois pedaços de fio de aço inoxidável (1,0 cm de comprimento e 0,5 cm de largura) com a solda de prata (Easy Flow nº2) e o fundente (Comweid silver brazing flux nº2) entre eles, aquecidos por um maçarico até que a solda fundisse. As amostras foram então montadas em uma resina de cura a frio e submetidas ao ataque eletrolítico e eletrodeposição de ouro, que aderiu à solda de prata, mas não na superfície do aço inoxidável, o que criou uma barreira na interface durante o ataque ácido do aço inoxidável. Concluiu que a divisão granular na superfície da interface do aço inoxidável foi acentuada pela ação química do fundente durante a junção dos metais e esta divisão granular influenciou a nucleação da solda de prata.

RASMUSSEM (1980) relatou em seu trabalho que as soldas de prata são, essencialmente, ligas de prata, cobre e zinco, às quais podem ser adicionados elementos como estanho, índio, cádmio ou fósforo para diminuir a temperatura de fusão e melhorar a soldabilidade. A superfície do metal a ser soldado deverá estar livre de óxidos e impurezas para permitir que a solda se escoie por toda a superfície, e que para isso os fluxos deverão ser utilizados, inclusive com a finalidade de proteger o metal a ser soldado da oxidação durante o aquecimento. Observou que se o fluxo for usado em excesso, partes poderão ser incluídas na junção promovendo falhas e diminuindo a resistência da união soldada.

MUENCH (1981) realizou estudo com o conjunto de uma liga de 15% de ouro, 25% de paládio, prata, cobre e zinco, cujas durezas foram apresentadas em trabalho anterior. Os corpos-de-prova foram obtidos através do método de fundição pela expansão térmica, tendo sido submetidos ao ensaio de tração na máquina Riehle, à velocidade de 0.3 mm/min. Empregaram-se duas marcas de solda, sendo a 20 K (marca Gallo) e Degulor 2 (marca Degussa). A análise de variância mostrou que as condições de tratamento térmico influenciaram significativamente na resistência à tração e no limite de proporcionalidade, mas não no alongamento. A resistência limite à tração foi um pouco superior aos limites inferiores das ligas de ouro clássicas tipo III. Concluiu que a resistência mecânica coloca a liga em estudo junto aos limites inferiores das ligas de ouro clássicas para próteses fixas; o alongamento da liga em estudo é relativamente baixo, indicando baixa maleabilidade; a liga pode ser soldada com solda convencional; a liga pode ser fundida com materiais e equipamentos comuns; o custo da liga é menor que 1/3 em relação a uma liga de ouro clássica.

BROWN *et al.* (1981) realizaram um estudo com o propósito de avaliar as junções soldadas pelo Hydroflame II Precision Soldering Unit e comparar estas junções com aquelas soldadas por outros métodos. Utilizaram fio de aço inoxidável de 0.051" de diâmetro cortado a cada 30 mm. Os dois fios a serem soldados foram mantidos a uma distância de 0.0015 polegadas. O fundente foi aplicado na ponta dos fios, que foram soldados com prata a partir de uma das cinco técnicas de soldagem estudadas. As técnicas de soldagem empregadas foram: o Hydroflame, um maçarico ortodôntico convencional que emprega gás natural e ar, um aparelho de solda elétrica, um fio de latão intermediário aquecido pelo Hydroflame e um fio de latão intermediário aquecido eletricamente. Os corpos-de-prova foram colocados

individualmente na máquina de ensaio universal denominada Instron a uma velocidade de 0.02” por minuto. A junção soldada de cada método que fraturou o mais próximo possível da carga de fratura para o seu respectivo grupo foi selecionada para avaliação sob microscopia eletrônica (AMR-1000). A avaliação sob a microscopia eletrônica das junções fraturadas revelou uma porosidade e grandes lacunas em todas as junções soldadas avaliadas. Concluíram que o Hydroflame e o maçarico ortodôntico produzem as junções soldadas mais fortes, contudo, a única técnica que produz junções significativamente mais fracas é aquela que emprega o fio intermediário aquecido eletricamente; que todas as técnicas de soldagem estudadas resultaram na formação de lacunas na solda: que as junções mais fortes são aquelas que apresentam maior fratura do tipo transgranular e que o Hydroflame pode ser empregado na soldagem com prata e produzir forças de tensão equivalente ou maiores do que as demais técnicas.

DRAKE *et al.* (1982) realizaram um estudo com o objetivo de comparar as propriedades mecânicas de três espessuras de arcos ortodônticos de aço inoxidável, níquel-titânio e titânio molibidênio em tensão, dobra e torção. Foram testadas três espessuras de arcos, para três tipos de ligas usadas na ortodontia, liga de aço inoxidável (SS - Unitek Corporation), uma liga de níquel titânio (NT, Nitinol-unitek Corporation) e uma liga de titânio molibidênio (TMA, American Ormco). O teste de tensão foi realizado na máquina de teste modelo TT-BM, Instron Corporation, usando uma distância de intercruzamento superior de 50 mm e uma velocidade de 0.5 mm/min. A deflexão foi mensurada e registrada no mostrador da máquina de teste calibrada para 0.05 mm. Três amostras de cada liga e de cada espessura de fio foram testadas. Os dados foram avaliados estatisticamente pela análise de variância utilizando o método de Tukey, a um intervalo de 95% de confiabilidade.

Concluíram que na tensão os arcos de SS tiveram a menor capacidade de memória, considerando que os arcos de TM alcançaram o máximo dessa capacidade. No dobramento e torção os arcos de SS tiveram a menor recuperação de armazenamento de energia, considerando que os arcos de NT alcançaram o máximo dessa capacidade. A elevação da taxa em dobramento e torção sofreu alterações para os arcos de SS e baixa alteração para os arcos de NT.

TOWNSEND *et al.* (1983) realizaram trabalho onde relataram que diversos estudos avaliaram as características da solda de ligas e da solda de ouro e indicaram que estes materiais podem produzir de maneira consistente junções fortes, contínuas e com relativa facilidade, e que com a variação do preço do ouro e de outros metais preciosos, o uso de ligas não nobres aumentou, sendo a desvantagem principal do uso destas ligas a falta de técnica de soldagem satisfatória. A finalidade do trabalho foi avaliar as propriedades e os efeitos de diversas soldas na força de tensão das ligas não nobres soldadas antes da aplicação da porcelana. Concluíram que a soldagem bem sucedida de ligas não nobres é variável na melhor das hipóteses e que devido ao maior número de ligas não nobres disponíveis comercialmente, recomenda-se que sejam desenvolvidas técnicas de soldagem específicas para cada liga.

DONOVAN *et al.* (1984) realizaram investigação em laboratório, a fim de aperfeiçoar as condições de resistência elétrica nos arcos de beta titânio, utilizando diferentes máquinas de solda comercializadas para ortodontia. Arcos pré-formados de beta titânio foram selecionados para esta pesquisa. A força dos pontos de solda ao teste de tensão foi realizada na máquina Instron, Instron Corporation Canton, Mass. e avaliadas por tensão de cisalhamento e tensão de torção, enquanto testes de 90° de dobramento a frio proporcionaram uma medida de ductibilidade relativa.

Concluíram que os exames de metalografia e microdureza proporcionaram informações adicionais sobre as estruturas dos pontos de solda, onde uma região foi evidenciada no centro dos pontos de solda, circundada por uma zona de transição, onde a granulação trabalhada da estrutura desapareceu.

SKINNER (1984) relatou que as temperaturas das soldagens para as soldas de prata ortodônticas situam-se no intervalo de 620 a 665°C e os intervalos de solidus-liquidus das soldas devem ser pequenos, sendo esta uma característica importante da solda para a soldagem a mão livre, normalmente praticada pelos ortodontistas, e que neste tipo de procedimento a solda deve endurecer prontamente quando o trabalho for removido da chama, o que é possível molhando o mesmo em água após sua remoção do calor, a fim de diminuir a fragilidade da solda.

JANUS *et al.* (1985) realizaram trabalho com o objetivo de comparar a força de tensão entre as ligas com baixa e grande quantidade de ouro e determinar se há uma diferença significativa. Neste estudo três ligas contendo baixa quantidade de ouro e uma liga tipo III com grande quantidade de ouro (American Dental Association - ADA) foram usadas como amostra padrão para os testes e unidas usando a solda recomendada pelo fabricante e técnica convencional. O resultados das uniões soldadas foram avaliados com a máquina para testes de tensão INSTRON (Instron Corp., Canton, Mass.) a 0,2% de seu rendimento. O exame visual dos conectores fraturados revelou bolhas significativas para três das quatro ligas. Nenhuma correlação entre o tamanho das bolhas e a força de tensão foi descoberta. Porém, a presença de bolhas parece ter reduzido a ductibilidade nas ligas de baixo ouro quando os corpos-de-prova foram submetidos ao teste de tensão. Concluíram que é possível obter força de tensão aceitável entre as ligas contendo baixa quantidade de ouro pela técnica convencional de solda; que as bolhas apenas

reduzem mais significativamente a ductibilidade do que a força de tensão e que os conectores soldados com liga de baixa quantidade de ouro apenas são mais susceptíveis à presença de bolhas que as ligas contendo maior quantidade de ouro.

O'TOOLE *et al.* (1985) conduziram um estudo com o objetivo de comparar a força de tensão nas junções soldadas à prata de fios de aço inoxidável e o material da banda por meio de: a) chama convencional de gás-ar produzida por um maçarico (Unitek Corp. Monrovia, Califórnia); b) chama de hidrogênio/oxigênio produzida pelo Hydroflame (Unitek Corp. Monrovia, Califórnia); c) solda elétrica (Modelo 660 Rocky Mountain/Orthodontics, Denver, Colorado). Os fios ortodônticos de aço inoxidável, 0.036" de diâmetro, foram soldados em tiras também de aço inoxidável medindo 0.75x 0.25x 0.005" de diâmetro pelas três técnicas com a solda cobrindo totalmente ou metade do fio. Dois comprimentos de junção, 2 e 4 mm, foram estudados. O comprimento geral do fio à tira de aço inoxidável foi de 50 mm. O fio e a tira foram mantidos em contato mesmo antes da soldagem. Onze junções foram preparadas para cada técnica nos dois comprimentos estudados com e sem a cobertura total da solda. Um total de 132 amostras foi submetido ao teste de força de tensão. A solda de prata de 0.64mm (Unitek) e o fundente líquido (Rocky Mountain J-41) foi empregada. Concluíram que, nos procedimentos de soldagem, cobrir o objeto com a solda produz uma junção mais forte seja qual for a técnica de soldagem e o comprimento da junção. Nas junções totalmente cobertas, a chama de gás-ar produz junções mais forte do que o Hydroflame e a solda elétrica, sendo que não houve diferença significativa entre estas duas técnicas. A junção totalmente coberta de 4 mm foi a mais resistente.

ASGHARNIA & BRANTLEY (1986) realizaram trabalho com objetivo de obter comparações detalhadas das propriedades mecânicas dos fios ortodônticos

simples em termos de tensão e flexão. Empregaram tanto fios redondos como retangulares dos quatro principais materiais atualmente empregados na ortodontia. As medidas dos fios testados foram compatíveis com a variação média real e de importância clínica. Concluíram que os valores encontrados para o módulo de elasticidade foram significativamente maiores na flexão do que na tensão de todos os grupos de fios analisados, que os valores medidos da força-produto em geral foram significativamente maiores na flexão do que na tensão e que estes resultados demonstram que apenas algumas alterações moderadas são necessárias nos procedimentos dos testes convencionais para a determinação das propriedades mecânicas dos fios ortodônticos na tensão.

NELSON *et al.* (1987) realizaram trabalho com objetivo de estabelecer parâmetros clínicos para o ortodontista utilizar, produzindo ponto de solda em fios de TMA de alta qualidade de resistência. A qualidade da solda foi determinada avaliando tanto sua força quanto sua ductibilidade. Os fios soldados foram testados à fratura num sistema de torção idealizado para ser representativo às falhas observadas clinicamente em pontos de solda. Concluíram que soldas em ponto em fio de TMA resultam em soldas que apresentam força e ductibilidade comparáveis às do material sem solda.

GOMES *et al.* (1987) realizaram trabalho com o propósito de analisar aspectos da liga cobre-alumínio Duracast MS frente ao processo de soldagem, tais como: alteração dimensional linear e resistência à tração e ao dobramento, utilizando-se dois tipos de solda, uma para ouro e outra para Duracast. Para a realização da pesquisa utilizou uma liga do sistema cobre-alumínio, Duracast MS (Dental Gaúcho, Marquart S/A, São Paulo) e dois tipos de solda: uma específica para esta liga (Duracast MS) e outra para ouro, Degulor 2 (Degussa Coimpa Soc.

Ind. de Metais Preciosos da Amazônia Ltda). Para a soldagem com Duracast MS utilizou-se um palhão com espessura próxima à da área a ser soldada que foi mergulhado no fluxo e então posicionado de maneira que mantivesse contato direto com as superfícies a serem soldadas. Em seguida foi introduzido no forno a 890° C e mantido nesta temperatura por cinco minutos. O mesmo processo foi seguido para a solda a ouro, com exceção da temperatura utilizada que foi de aproximadamente 800°C. Os testes de resistência à tração foram realizados na máquina de ensaio Universal (Kratos - São Paulo), regulada na escala quatro com valor de 200 Kgf a uma velocidade de deslocamento vertical de 0,5 mm/min. Os corpos-de-prova foram submetidos ao teste de tração até o rompimento da união soldada. Para o teste de resistência ao dobramento, utilizou-se a mesma máquina de ensaios, regulada na escala três com o valor de 400 Kgf e velocidade de deslocamento vertical de 0,5 mm/min, até ruptura do corpo-de-prova. Concluíram que para o teste de resistência à tração, a solda para ouro apresentou valores numéricos maiores, estatisticamente não significantes; no teste de resistência ao dobramento, a solda para ouro apresentou valores numéricos maiores, e estatisticamente significantes; as uniões soldadas a base de cobre alumínio apresentaram alterações dimensionais lineares menores, porém não estatisticamente significantes.

KHIER *et al.* (1988) desenvolveram trabalho com o objetivo de realizar uma investigação da estrutura metalúrgica e propriedades mecânicas, dos fios não sujeitos ao calor e dos fios ortodônticos submetidos ao calor. Uma combinação de análise de RX de difração com um teste mecânico de torção e tensão foi usado para a investigação. Dois diferentes tipos de aço inoxidável foram utilizados neste estudo, o tru-chrome (Resilient temper) e o permachrom (standard temper), tendo dimensão de 0.016", 0.030" e 0.050" ou 0.051" de diâmetro e a dimensão 0.017"x 0.025" para

fio retangular. O tratamento a calor foi realizado por 10 minutos ao ar a temperatura de 700°, 900° e 1100°F. O RX de difração (Difratometro General Electric XRD-3) mostrou nos dois fios de diâmetro 0.016" e 0.017x 0.025" não tratadas a quente, modelos de propriedades consistentes com duas fases de estrutura metalúrgica do fio, a fase martensítica junto com a fase austenítica. A estrutura dupla foi convertida à fase austenítica com o tratamento de calor, para um tipo de fio, mas persistiu para outro tipo de fio. A experiência com o fio de diâmetro largo 0.050" ou 0.051" apresentou unicamente em sua estrutura a fase austenítica tanto para o fio não submetido ao tratamento de calor como para o fio tratado a calor. Em estudos prévios o módulo de elasticidade ao dobramento foi significativamente menor ao valor obtido em tensão, sendo isso observado para fios de secção menor. Concluíram que durante a fabricação dos fios de aço inoxidável ocorre uma redução significativa do módulo de elasticidade e tensão que são atribuídas à transformação das fases austenítica e martensítica durante o processo de fabricação dos fios; durante a fabricação dos fios de aço inoxidável, temos também a presença de um stress residual podendo ser atribuído às transformações de fases durante o processo de fabricação; a orientação microestrutural das fases dos fios de aço inoxidável durante a sua fabricação deve ser considerada, por terem contribuição significativa no módulo de elasticidade desses fios durante a sua fabricação.

CARDOSO *et al.* (1988) realizaram um trabalho com o objetivo de avaliar a influência da soldagem na resistência à tração da liga não nobre a base de cobre-alumínio. Utilizaram um único tipo de liga do sistema cobre-alumínio (Idealloy), dois tipos de solda (Degulor e Palliag) e dois fluxos diferentes (Anaxon e Unibond). Os corpos-de-prova foram obtidos com o uso da técnica de fundição de precisão. Foram soldados para ensaio, vinte corpos-de-prova, sendo dez, com solda de ouro e os

outros dez com solda Ag-Pd. Após serem soldados, os corpos-de-prova foram levados à máquina de ensaio a uma velocidade de 0,2mm/min com escala de 200 kg, para serem submetidos à tração. De acordo com os resultados, concluíram que a resistência à tração da liga do sistema cobre-alumínio é reduzida em presença da soldagem e que as ligas para soldagens estudadas reduziram igualmente a resistência à tração da liga do sistema cobre-alumínio.

BROCKHURST (1988) publicou trabalho descrevendo sobre as ligas de prata utilizadas para a soldagem na ortodontia. Relatou que vantagens como força, e temperaturas moderadas de soldagem as tornam úteis na soldagem de metais e ligas em geral, e que as ocorrências de corrosão não eliminaram o uso da solda à prata na ortodontia apesar de ser um problema significativo.

MOYERS (1988) relatou que a soldagem deveria ser realizada sem alteração apreciável das qualidades dos metais que se unem. Um maçarico especial para a ortodontia seria o dispositivo mais indicado para a soldagem ortodôntica. Para soldar o aço inoxidável seria necessário um fundente a base de fluoreto. A soldagem do aço inoxidável exigiria um pouco mais de solda e uma chama mais fria do que a soldagem de ligas de ouro.

ANUSAVICE (1988) relatou que na odontologia, poucos metais são usados no seu estado puro, sendo o ouro e o titânio as raras exceções e que o ouro puro é o mais nobre de todos os metais empregados na odontologia, raramente sofrendo manchamento ou corrosão na cavidade oral, e que além de inativo quimicamente, não é afetado pelo ar, calor, umidade e pela maioria dos solventes, sendo também o mais dúctil e maleável de todos os metais. Relatou ainda, que o termo soldagem é usado em odontologia para descrever um conjunto de processos que produz a união de metais pelo seu aquecimento a uma temperatura apropriada

abaixo do solidus dos metais a serem soldados e pela aplicação de um metal de preenchimento que tem o liquidus não excedendo a 450° que se funde e escoar por capilaridade entre as partes a serem soldadas, sem apreciável alteração da dimensão das estruturas soldadas.

KAPILA & SACHDEVA (1989) realizaram trabalho descrevendo as propriedades mecânicas e aplicações clínicas do aço inoxidável, cromo-cobalto, níquel-titânio, beta-titânio. O objetivo deste trabalho foi proporcionar ao clínico o conhecimento básico das características desejáveis dos fios usados em ortodontia, como alta flexibilidade, baixa dureza, capacidade de armazenar energia, baixa superfície de fricção e a possibilidade de receber solda. Concluíram que as novas ligas utilizadas gerando uma variedade de arcos aumentaram a versatilidade do tratamento ortodôntico e que o uso apropriado de todos os tipos de arcos disponíveis pode aumentar o conforto do paciente e diminuir o seu tempo de tratamento.

LEINFELDER & LEMONS (1989) salientou que o ouro apresenta propriedades incomuns e desejáveis como, maciez, maleabilidade, ductibilidade e extrema resistência à corrosão em presença de fluidos bucais, e que pode ser soldado à temperatura ambiente, desde que sua superfície esteja livre de gases absorvidos ou outras impurezas. Relatou ainda, que a formulação básica de ligas convencionais para fundição de metais preciosos é o ouro, a prata e o cobre, sendo que a função do cobre na liga de ouro é de aumentar a resistência e reduzir a zona de fusão das ligas de ouro, e a função da prata seria a de ser excelente condutor de calor e eletricidade, e que com a elevação do preço do ouro no mercado mundial, as ligas de ouro contêm atualmente somente cerca de 40 a 60% de ouro em média. A soldagem ortodôntica com o uso de um maçarico de sopro deveria ser realizada com

uma técnica cuidadosamente controlada, a fim de conduzir a operação com sucesso, sem superaquecer os fios e conseqüentemente causar sua recristalização e crescimento granular.

WINSAUER (1991) avaliou eletrodos para solda a ponto de fios ortodônticos e analisou estudos, que afirmavam ser os eletrodos de formato plano os que produziam distorção consideravelmente menor quando comparados a eletrodos de formato pontiagudo e que as junções soldadas por eletrodos de ponta plana eram mais estáveis. Relatou que a qualidade da solda pode ser influenciada por vários fatores associados com a resistência, inclusive a pressão do eletrodo, configuração da voltagem, duração do impulso, resistência de contato, cruzamento dos fios, formato da junção e orientação dos fios e que superfícies paralelas lisas geram as melhores soldas. Realizou teste de torção em suas amostras soldadas com eletrodo TMS e concluiu que estes eletrodos podem ser usados com qualquer fio ortodôntico, inclusive aqueles de aço inoxidável, titânio molibidênio e multitransados e que na maioria das vezes os fios ortodônticos podem ser soldados com uma configuração de voltagem constante.

GAWLIK *et al.* (1996) realizaram trabalho com o propósito de comparar a força das junções soldadas fabricadas por meio das técnicas que empregam a chama de gás e o impulso elétrico e determinar os efeitos da pré-solda e aumento da área de contato na força de tensão das junções soldadas. Seis métodos de soldagem foram empregados: grupo F-solda a gás, grupo FW-pré-solda e solda a gás, grupo FW-grupo de fio achatado para aumentar a área de contato na junção com pré-solda a gás, grupo E-solda elétrica, grupo EW-pré-solda e solda elétrica e grupo EWD-grupo de fio achatado para aumentar a área de contato na junção com pré-solda e solda elétrica. Fios ortodônticos de aço inoxidável de 50 mm de

comprimento (Unitek Corp. Monrovia, Califórnia) foram soldados a tiras de aço inoxidável medindo 50 mm x 10 mm x 0.18 mm. Retângulos de solda de prata (Rocky Mountain Orthodontics, Denver, Colorado) e fundente para solda (Ormco, Glendora, Califórnia) foram empregados. Todas as junções foram cobertas totalmente pela solda. Os fios do grupo FWD e EWD foram achatados em apenas um dos lados a um comprimento de 2 mm. As junções pré-soldadas foram preparadas com duas pré-soldas com o auxílio da unidade portátil de solda elétrica (Rocky Mountain Orthodontics modelo 660). As junções soldadas foram preparadas com a área reduzida da chama a gás (Orthoflame, Rocky Mountain Orthodontics, Denver, Colorado) nos grupos F, FW e FWD e com uma solda elétrica devidamente configurada nos grupos E, EW e EWD. As amostras foram imediatamente mergulhadas em água fria. A força de tensão foi medida na máquina de teste universal Instron (Instron Corp, Canton, MA). Concluíram que a solda com chama de gás, comparada à solda elétrica, resultou em junções com uma força de tensão significativamente maior; a solda com chama de gás resultou em um número maior de fraturas no fio, fora da junção soldada; a pré-solda não teve nenhum efeito significativo na força de tensão tanto no grupo das soldas elétricas como no grupo das soldas com a chama de gás; o aumento da área de contato da junção soldada causado pelo ajuste do fio na pré-solda não teve nenhum efeito significativo na força de tensão das junções soldadas eletricamente, mas causou um enfraquecimento nas junções soldadas com a chama de gás.

PIERUCCINI *et al.* (1997) realizaram trabalho experimental com o propósito de avaliar a resistência à tração de fios de aço inoxidável unidos com soldas de prata encontradas no mercado odontológico. Os corpos-de-prova foram confeccionados com fios de aço inoxidável de 0.7mm de diâmetro (Wironit,

Alemanha). A soldagem foi realizada com maçarico gás-ar para ortodontia (Miniflan), com a chama regulada de maneira a formar um cone redutor de aproximadamente 0.1 cm de comprimento e a soldagem foi realizada utilizando o ápice do cone redutor da chama. Após a aplicação do fundente (Rock Mountain, fórmula 41), a solda foi aquecida pelo método indireto e imediatamente resfriada em água com a intenção de diminuir a fragilidade da solda. Foram realizadas quinze soldagens com cada uma das três soldas eleitas (UNITEK, USA; NOBIL METAL, ITÁLIA; e MORELLI, BRASIL), sempre pelo mesmo operador. Em seguida os corpos-de-prova foram fixados pelas extremidades nos mordentes da máquina de tração (OTTO WOLPERT - WERK). A carga axial de tração foi aplicada com velocidade de 0.5 mm/segundo até a ruptura da união soldada. Os resultados obtidos foram submetidos à análise estatística, pelo teste de Duncan, em nível de 5%. Os resultados obtidos com a solda Morelli apresentaram a menor variância e o menor desvio padrão. As maiores variâncias e desvios padrão foram encontrados na solda Nobil-Metal. Os valores apresentados pelas soldas Nobil-Metal e Morelli, assim como os obtidos com a Unitek e Morelli não apresentaram diferenças estatísticas significantes entre si. As três soldas apresentaram grande variação de resultados individuais. A solda Nobil-Metal apresentou maior resistência á tração do que a solda Unitek, não havendo diferenças significativas entre soldas Nobil-Metal e Morelli e entre Morelli e Unitek.

LOPES *et al.* (2000) realizaram trabalho com o objetivo de comparar a resistência à fadiga da solda de prata (UNITEK) com a solda elétrica a ponto, variando o fio de aço inoxidável a ser soldado. Foram confeccionados oito corpos-de-prova para cada tipo de solda e de fios, na espessura de 0.021" x 0.025" (Unitek, Tecnident, Lee Orthodontics e Ortho) e controle, totalizando 96 corpos-de-prova. Todas as soldas foram realizadas pelo mesmo operador. A máquina utilizada para

soldagem elétrica a ponto foi a Kernit SMP 3000, enquanto a solda de prata foi realizada com um maçarico gás-oxigênio (Miniflan) utilizando fundente (Rock Mountain). Os corpos-de-prova foram submetidos ao teste de fadiga mecânica na máquina AMSLER, com uma carga constante de 1 kg e deflexão de 2° para cada lado, até a ruptura. Os resultados foram analisados estatisticamente pelo teste de Tukey (5%). Com base nos resultados o controle apresentou valores de resistência à fadiga estatisticamente superiores em relação às soldas de prata e elétrica a ponto, para todos os tipos de fio de aço inoxidável. A solda de prata apresentou valores estatisticamente superiores em relação à solda elétrica a ponto, para todos os tipos de fio de aço inoxidável. Concluíram que a resistência à fadiga do controle, em número de ciclos, foi estatisticamente superior em relação às soldas de prata e elétrica a ponto, enquanto que a solda de prata apresentou valores de resistência à fadiga, em número de ciclos, estatisticamente superiores aos da solda elétrica a ponto para todos os tipos de fio.

GRAIG *et al.* (2002) relatou que para a odontologia, os metais foram divididos em dois grupos: nobres e básicos e que os metais nobres são resistentes à corrosão mesmo sob condições extremas, e os mais comuns nas ligas dentárias para fundição são: ouro, paládio e platina. Relatou ainda, que as soldas são ligas especiais, utilizadas para serem unidas a outras ligas e devem ter a faixa de fusão mais baixa que a da liga à qual irá se unir e que os fundentes são substâncias químicas que dissolvem óxidos nas ligas, e permitem a fluidez e o molhamento da solda nas ligas às quais irão unir.

### 3. PROPOSIÇÃO

Ainda há várias indagações sobre as soldagens utilizadas em ortodontia e constataram-se poucos estudos onde os autores se preocuparam em avaliar a resistência à tração e flexão de soldas do tipo prata, ouro e ponto utilizadas em ortodontia.

Sendo assim, a proposta deste estudo *in vitro* aqui realizado, foi a de avaliar a resistência à flexão da solda de prata, ouro e ponto em fios de aço inoxidável e estabelecer comparações entre os resultados obtidos.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Material

QUADRO 1 – Materiais utilizados no estudo

MATERIAIS	FABRICANTE
SS .018"x .025"	GAC, Central Islip, NY, USA
SS .018"x .025"	UNITEK, Monrovia, CA, USA
SS .018"x .025"	ROCKY MOUNTAIN, Denver, CO, USA.
Solda de ouro	Manipulação especialmente para este trabalho
Solda de prata	UNITEK, Monrovia, CA, USA
Fundente	ROCKY MOUNTAIN, Denver, CO, USA.
Máquina de solda elétrica a ponto	KERNIT SMP3000, Valinhos, SP, BR
Maçarico blazer gás-oxigênio	BLAZER, Farmingdale, NY, USA
Máquina EMIC DL 2000	São José dos Pinhais, PR, BR
Paquímetro Digital	Mitutoyo Sul Americana Ltda, Suzano, SP, BR

### 4.2 Método

#### 4.2.1 *Corpos-de-prova*

Foram confeccionados trinta corpos-de-prova para cada tipo de solda com os fios de SS dos diferentes fabricantes, na espessura 018" x 025", totalizando noventa corpos-de-prova. Os corpos-de-prova foram confeccionados em segmentos de 3 cm

(FIG. 1). Os fios utilizados para a confecção dos corpos-de-prova foram adquiridos em forma de vareta, sendo que uma parte foi cortada em comprimento de 3 cm e outra parte foi cortada em 3 cm e dobrada em forma de U (FIG. 2). Para os testes de tração, o pedaço de fio que foi dobrado em forma de U ficou com 1 cm em cada lado e teve as suas duas extremidades dobradas, a fim de dar retenção, e o pedaço de 3 cm que não foi dobrado teve em sua extremidade a confecção de um helicóide com duas voltas que foram soldadas a fim de que o helicóide não se desfizesse no momento da tração (FIG. 3). O pedaço de fio reto foi soldado no meio da base do fio em forma de U. Para os testes de flexão, o pedaço de fio que foi dobrado em forma de U também ficou com 1 cm de cada lado, porém, sem dobras nas extremidades, e o pedaço de fio de 3 cm foi mantido reto e soldado no meio da base do fio em forma de U (FIG. 2).

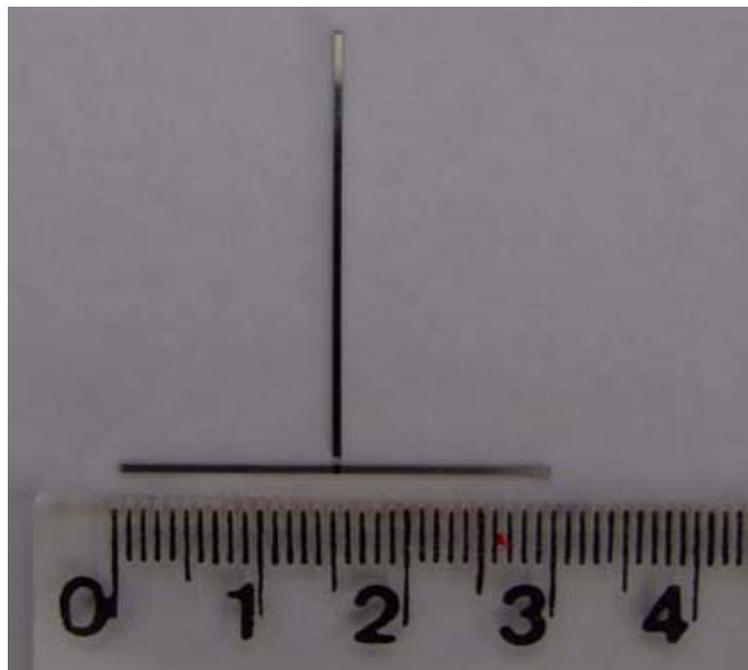


FIGURA 1 - Confecção do corpo-de-prova com fio de ss para tração .

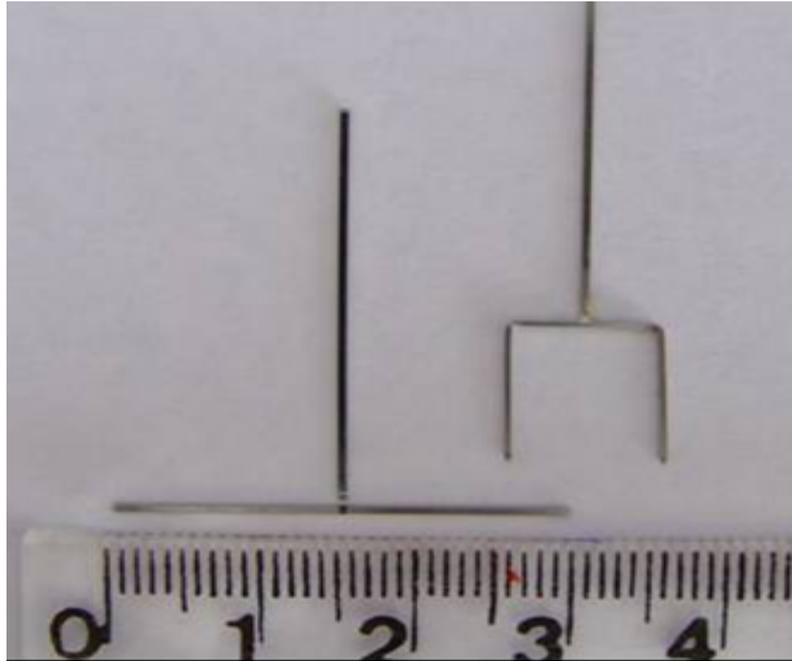


FIGURA 2 – Dobra em “U” do corpo-de-prova para tração

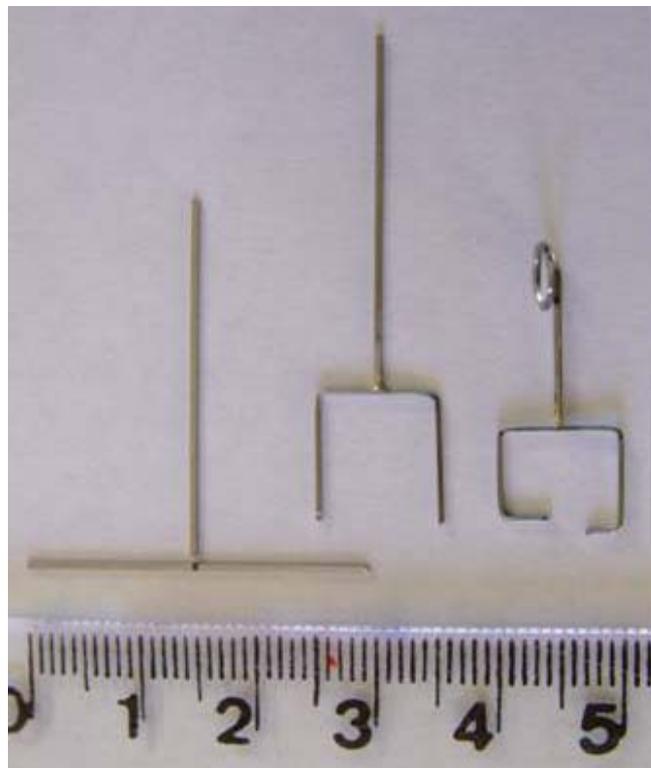


FIGURA 3 – Confeção de helicóide e dobra de retenção do corpo-de-prova para tração

#### **4.2.2 Solda elétrica a ponto**

Foi realizada a soldagem dos fios com a solda elétrica a ponto utilizando a máquina de solda Kernit SMP 3000 digital (FIG. 4), empregando carga de 40% de sua capacidade, corrente elétrica alternada nos eletrodos de 3000 A, por 0,1 s onde dois pontos foram realizados na união dos fios. O posicionamento dos fios na máquina de solda foi manual.



FIGURA 4 – Máquina para soldagem a ponto Kernit SMP 3000

#### **4.2.3 Solda de prata e ouro**

A fim de imobilizar os fios a serem soldados, foram usados dois dispositivos iguais que consistiam de uma base de acrílico com uma haste vertical saindo do centro com um prendedor na sua extremidade, onde cada prendedor fixou o fio a ser soldado (FIG. 5). A imobilização dos fios possibilitou a padronização da distância entre eles (PIERUCCINI, 1997; LOPES *et al.*, 2000), que foi conferida com uma lâmina de SS de 0,3 mm de espessura (RYGE, 1958). Após esta imobilização foi realizada a soldagem dos fios com a solda de prata (FIG. 6) com o auxílio do

maçarico blazer gás-ar (FIG. 7), que teve sua chama regulada a fim de formar um cone de aproximadamente 1 cm. Foi usado o ápice do cone redutor da chama conforme recomendado por MOYERS, 1988. Após aplicar 3 mm do fundente (FIG. 8) sobre o fio, a solda de prata foi aquecida pelo método direto. Assim que o fundente se escoou, 3mm da solda foi adicionada sobre as junções, continuando o aquecimento até que se escoasse entre os fios, sendo que após o escoamento da solda o trabalho era imediatamente removido do calor e em seguida resfriado em água (RASMUSSEN, 1980). Para a solda de ouro, foram realizados os mesmos procedimentos para a soldagem a prata, sendo que após aplicar 3 mm do fundente sobre o fio, a solda de ouro foi aquecida pelo método direto. Assim que o fundente se escoou, 3mm da solda foi adicionada sobre as junções, continuando o aquecimento até que se escoasse entre os fios e imediatamente após o escoamento da solda o trabalho era também removido do calor e resfriado em água (RASMUSSEN, 1980). O ouro utilizado para a soldagem dos corpos-de-prova nessa pesquisa, foi manipulado da seguinte maneira: para cada 0,5 gr de ouro puro (99,9%) foram acrescentados 250 mg de prata e 250 mg de cobre (GRAIG *et al.*, 2002; LEINFELDER & LEMONS, 1989; ANUSAVICE, 1988), sendo que esta liga de ouro após sua usinagem foi prensada para ficar em forma de fita com 3 mm de espessura (FIG. 9). Foram realizadas cinco soldagens para cada tipo de fio e para cada uma das soldas, totalizando noventa corpos-de-prova, sempre pelo mesmo operador.



FIGURA 5 – Suporte de imobilização dos fios a serem soldados

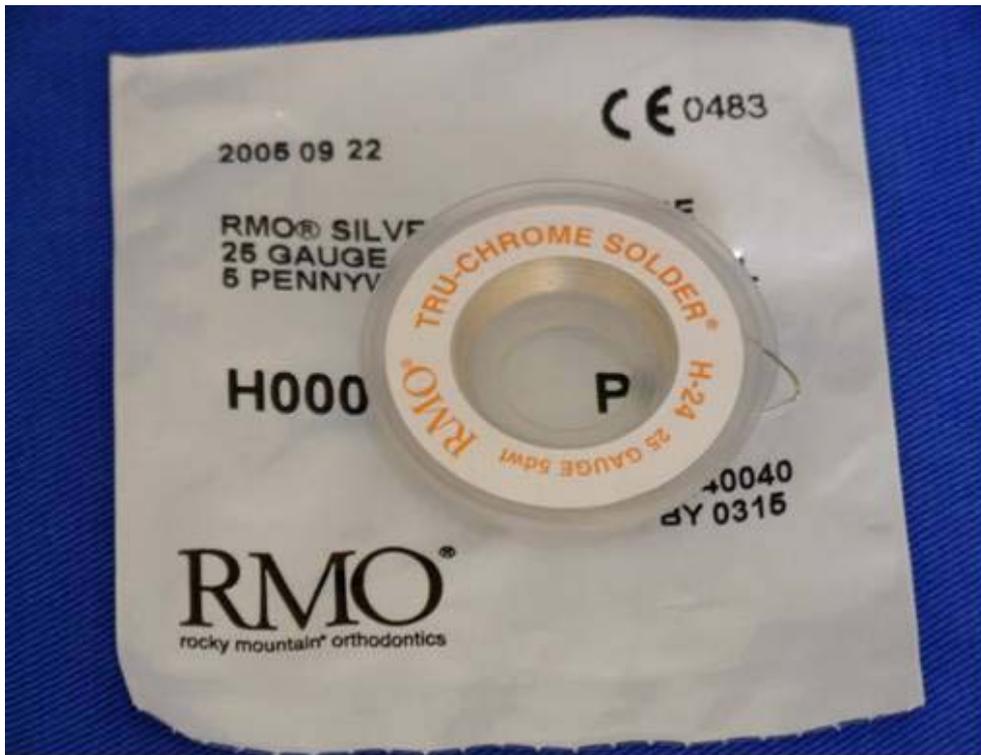


FIGURA 6 – Solda de prata RMO



FIGURA 7 – Maçarico mini-flan



FIGURA 8 – Fundente RMO



FIGURA 9 – Solda de ouro

#### 4.2.4 Testes de resistência à tração e flexão/tração

No total foram utilizados noventa corpos-de-prova, divididos em dois grupos:

- a) Grupo I: 45 corpos-de-prova para o teste de tração;
- b) Grupo II: 45 corpos-de-prova para o teste de flexão e tração.

No Grupo I foram testadas três marcas de fios e três tipos de soldas, conforme tabela abaixo:

#### GRUPO I

TABELA 1 - Três marcas de fios e três tipos de soldas - Grupo I

Número de Corpos-de-prova	Tipo de solda	Fabricante do fio soldado
05	Prata	.018"x.025" GAC
05	Prata	.018"x.025" Unitek
05	Prata	.018"x.025" RMO
05	Ouro	.018"x.025" GAC
05	Ouro	.018"x.025" Unitek
05	Ouro	.018"x.025" RMO
05	Ponto	.018"x.025" GAC
05	Ponto	.018"x.025" Unitek
05	Ponto	.018"x.025" RMO

Depois de realizadas cada uma das soldas em cada tipo de fio de SS, os corpos-de-prova do Grupo I foram submetidos ao teste de tração na máquina EMIC DL 2000 (FIG. 10) a uma velocidade de 0,5mm/min utilizando célula carga de 20 kg/f. Para a montagem dos corpos-de-prova para o teste de tração as duas extremidades do fio em forma de U foram dobradas, com finalidade de retenção e incluídas em um cano de PVC preenchido com resina acrílica autopolimerizável, de 4 cm de altura por 2 cm de diâmetro (FIG. 11). Antes que a resina tomasse presa, as extremidades dobradas do fio em forma de U foram imersas, ficando a área soldada 1 mm de distância da resina acrílica (FIG. 12). Após a completa presa da resina acrílica estes corpos-de-prova foram levados para a máquina de tração EMIC. Para que a máquina realizasse esse teste, foi confeccionado uma base de metal com um orifício no centro de 2 cm de diâmetro, onde o corpo-de-prova foi rosqueado, a fim de que não se movimentasse durante o teste de tração. Esta base de metal com o corpo-de-prova rosqueado foi então parafusada à base da máquina Emic, permitindo desta forma uma total imobilização do corpo-de-prova. A extremidade do corpo-de-prova com o helicóide foi presa a um gancho rosqueado na célula carga de 20 kg/f da máquina Emic (FIG. 13), e puxada a uma velocidade de 0,5mm/min até o seu rompimento, sendo que os valores da força de tração no momento do rompimento da solda foram registrados na máquina.



FIGURA 10 – Máquina EMIC DL 2000

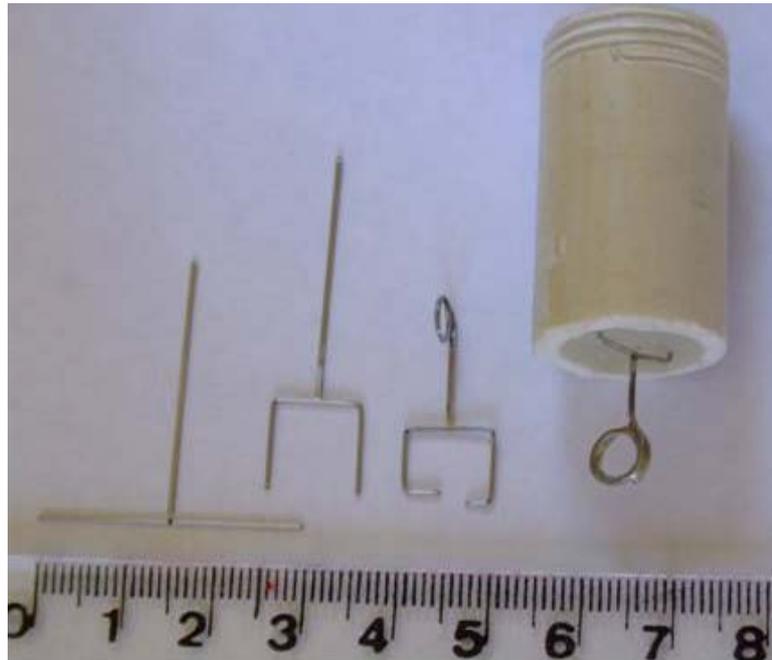


FIGURA 11 – Inclusão em resina acrílica auto polimerizável em cano de PVC para tração



FIGURA 12 – Corpo-de-prova pronto para o teste de tração



FIGURA 13 – Corpo-de-prova para tração

No Grupo II foram testadas três marcas de fios e três tipos de soldas, conforme tabela abaixo:

## GRUPO II

TABELA 2 - Três marcas de fios e três tipos de soldas - Grupo II

Número de corpos-de-prova	Tipo de solda	Fabricante do fio soldado
05	Prata	.018"x.025" GAC
05	Prata	.018"x.025" Unitek
05	Prata	.018"x.025" RMO
05	Ouro	.018"x.025" GAC
05	Ouro	.018"x.025" Unitek
05	Ouro	.018"x.025" RMO
05	Ponto	.018"x.025" GAC
05	Ponto	.018"x.025" Unitek
05	Ponto	.018"x.025" RMO

Depois de realizadas cada uma das soldas em cada tipo de fio de SS, os corpos-de-prova do Grupo II foram submetidos ao teste de flexão na máquina EMIC DL 2000. Para a montagem dos corpos-de-prova para o teste de flexão também foi utilizado um cano de PVC de 4 cm de altura por 2cm de diâmetro. Na lateral deste cano foram feitos dois orifícios onde as extremidades do fio em forma de U foram encaixadas, ficando a área soldada a 1 mm de distância do cano de PVC, que foi então preenchido com resina acrílica autopolimerizável (FIG. 6). Após a completa presa da resina acrílica autopolimerizável, estes corpos-de-prova foram levados para a máquina Emic. Para que a máquina realizasse este teste de flexão, foi confeccionado uma base de metal com um orifício no centro de 2 cm de diâmetro, onde o corpo-de-prova foi parafusado, a fim de que não se movimentasse durante o teste de flexão. Esta base de metal com o corpo-de-prova foi parafusada à base da

máquina Emic, permitindo uma total imobilização do corpo-de-prova. A extremidade do corpo-de-prova para o teste de flexão que foi mantida reta, foi encaixada a um orifício realizado em uma haste de ferro que foi rosqueada na célula carga de 20 kg/f da máquina Emic, sendo que a área soldada foi mantida a uma distância de 5 mm da haste de ferro, embora este trabalho não tenha sido direcionado a avaliar a influência da distância entre a união soldada e o dispositivo ligado ao braço da máquina para a realização do ensaio de flexão, esta distância foi adotada a fim de padronizar o ensaio laboratorial ao que mais se aproxima da realidade clínica (FIG. 15). Para que o teste de flexão nesta máquina fosse possível, o departamento de engenharia de máquinas da Empresa Emic desenvolveu um software especialmente para este trabalho, onde o braço vertical da máquina com a célula carga de 20 kg/f, ligado ao corpo-de-prova pela haste de ferro, primeiro realizou 14 ciclos de flexão a 0,5mm/min, que foram registrados na máquina. Após estes corpos-de-prova terem sido submetidos a esta força de flexão, os mesmos foram imediatamente submetidos à força de tração. Para isso, a sua extremidade reta que foi encaixada a um orifício na haste de ferro, foi dobrada rente a esta haste e presa com um cano de cobre (FIG. 16), a fim garantir a total imobilização do corpo-de-prova durante o teste de tração. A máquina foi então novamente programada para o teste de tração utilizando a mesma célula carga de 20 Kg/f a uma velocidade de 0,5 mm /min até o rompimento da solda, tendo o valor da força de tração neste momento registrado na máquina.

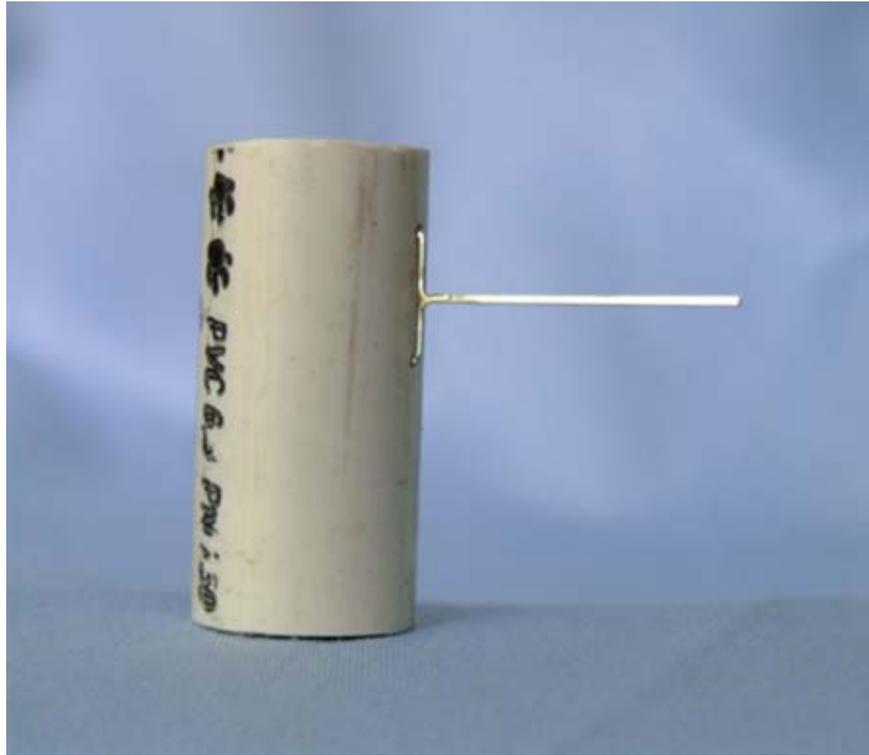


FIGURA 14 – Corpo-de-prova pronto para o teste de flexão

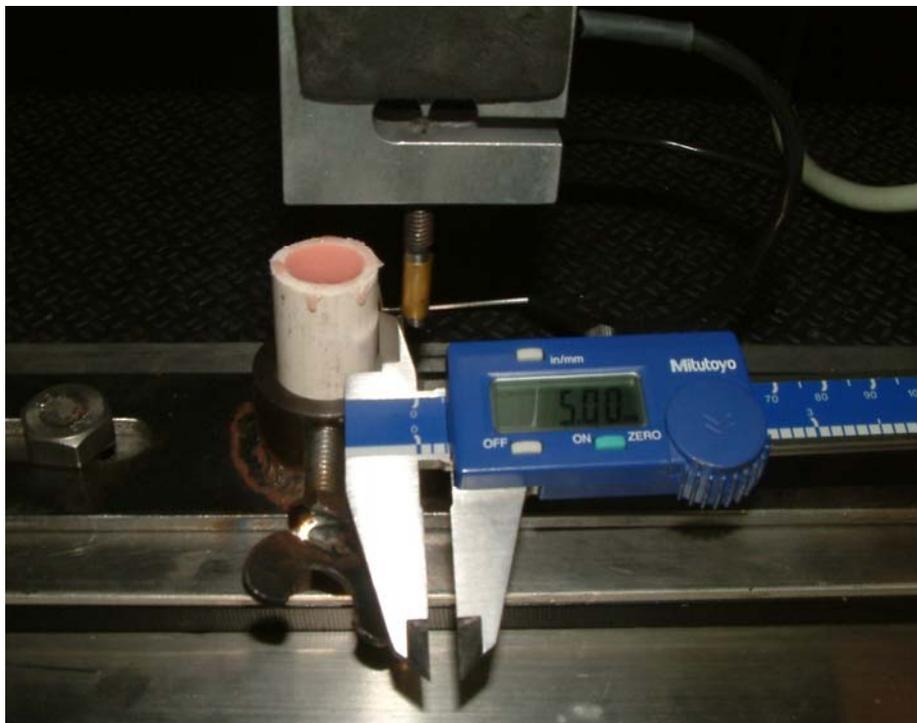


FIGURA 15 – Corpo-de-prova flexão/tração pronto para flexão

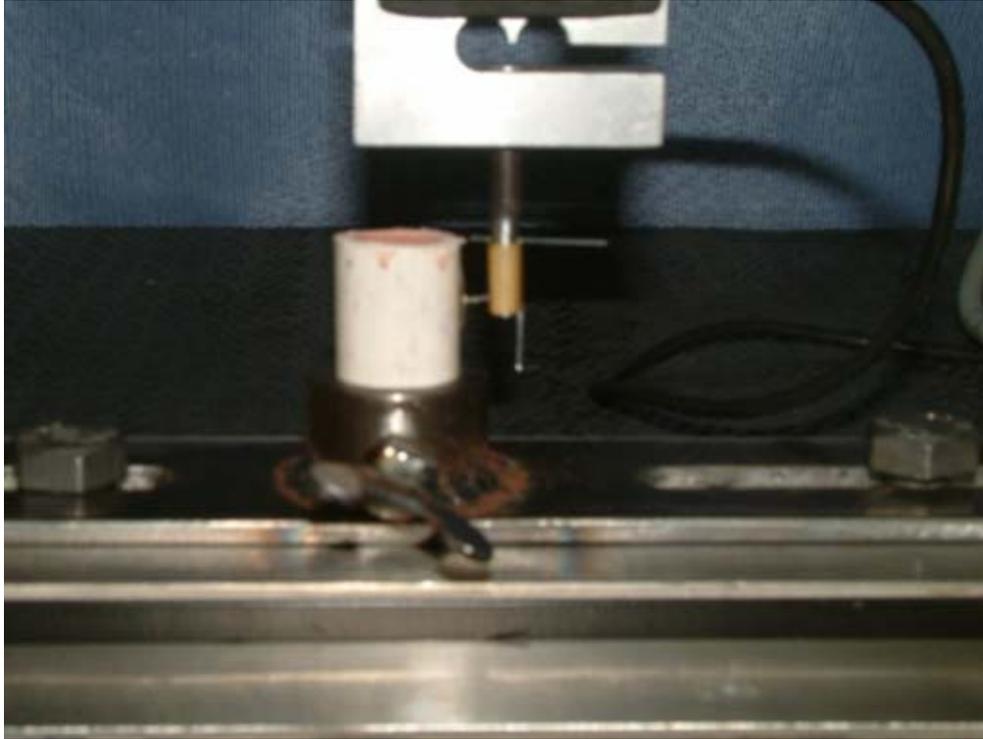


FIGURA 16 – Corpo-de-prova flexão/tração pronto para tração

#### ***4.2.5 Análise estatística***

Os resultados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e a técnica das comparações múltiplas pelo método de Tukey.

## 5. RESULTADOS

Foram analisados um total de noventa corpos-de-prova, sendo 45 do grupo I e 45 do grupo II. Os corpos-de-prova do grupo I foram submetidos à tração até o rompimento da solda, enquanto que 45 corpos-de-prova do grupo II foram submetidos inicialmente a 14 ciclos de flexão e submetidos ao ensaio de resistência à tração até ocorrer fratura da solda. Os dados foram submetidos à análise de Variância para verificar se existiam diferenças entre as marcas dos fios (GAC, RMO e UNITEK) e/ou os tipos de solda (ouro, prata e ponto) quanto à força de rompimento dos mesmos em cada grupo. Posteriormente foi feita uma comparação entre os grupos para verificar se o movimento de flexão antes do movimento de tração poderia interferir na força de rompimento desses fios. Como houve interação significativa, entre as marcas e o tipo de solda, os dados foram submetidos ao teste de Tukey (5%).

Na TAB. 3 e GRÁF. 1, 2, 3 e 4 observamos os seguintes resultados:

- a) houve diferença significativa entre os tipos de ensaio tração e flexão/tração, sendo a força média para rompimento das soldas submetidas ao ensaio de flexão/tração estatisticamente inferior às soldas submetidas somente ao ensaio de tração;
- b) o tratamento com a solda a ponto foi o que obteve melhor desempenho estatisticamente significativo para todos os tipos de fio e ensaio;
- c) entre os tipos de fios, o que obteve melhor desempenho foi o da marca RMO para o ensaio de flexão/tração, com exceção de quando recebeu o tratamento com solda de prata. Resultado semelhante foi obtido com

o fio da marca GAC para o ensaio de flexão/tração, com exceção de quando o mesmo recebeu tratamento com a solda de ouro.

TABELA 3 - Tratamento solda ouro, prata e a ponto dos fios ortodônticos GAC, RMO e Unitek. Valores de desvio padrão entre parênteses.

Tipo de ensaio e de fio	Tratamento		
	Solda/ouro (Kg/f)	Solda/prata (Kg/f)	Solda/ponto (Kg/f)
GAC tração	7,9 (0,6)	11,6 (3,7)	16,1 (1,3)
GAC flexão	2,0 (0,8)	1,4 (0,6)	1,8 (0,5)
GAC flexão/tração	5,6 (1,8)	9,3 (0,7)	10,1 (1,3)
RMO tração	12,4 (1,3)	11,2 (1,6)	13,8 (3,3)
RMO flexão	1,9 (0,5)	1,1 (0,4)	2,1 (0,6)
RMO flexão-tração	11,5 (1,4)	6,5 (0,9)	12,4 (1,4)
Unitek tração	13,8 (0,8)	13,3 (0,8)	17,9 (1,9)
Unitek flexão	1,5 (0,7)	1,3 (0,6)	1,3 (0,6)
Unitek flexão-tração	7,1 (1,3)	6,1 (0,5)	7,9 (0,8)

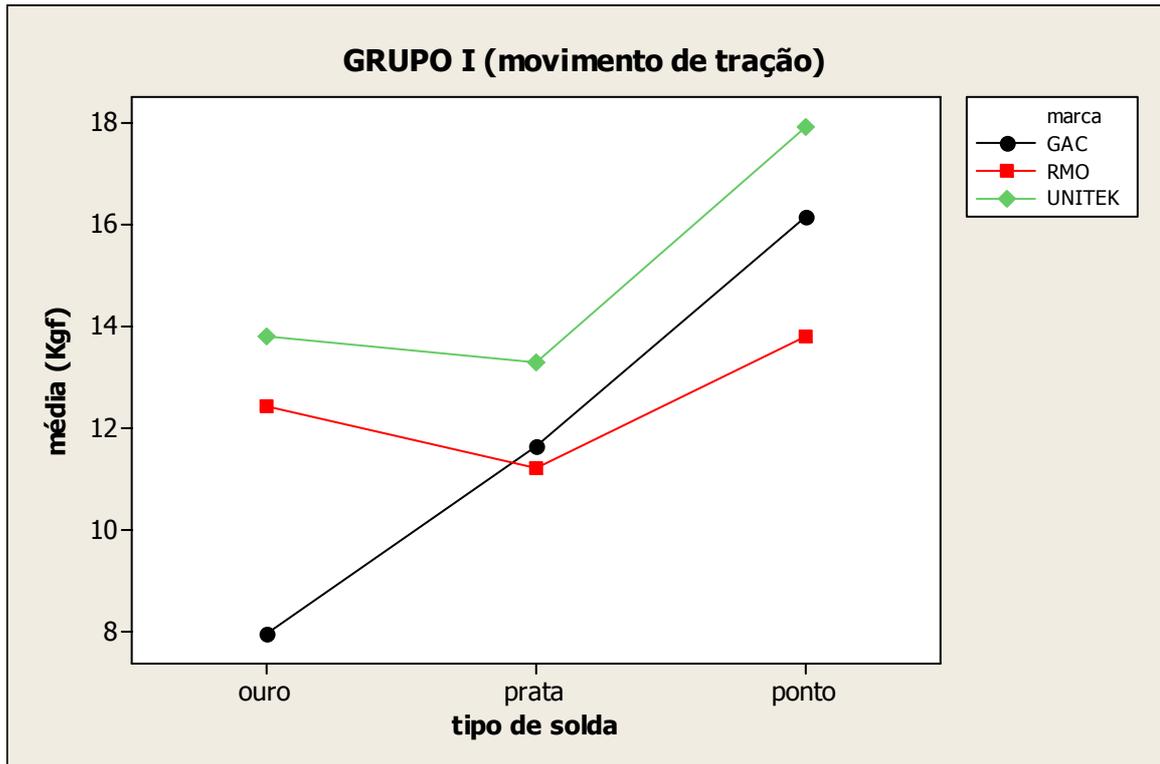


GRÁFICO 1 - Força média (Kgf) resultante do rompimento dos fios, de acordo com marca e tipo de solda, para os corpos-de-prova do grupo I (movimento de tração)

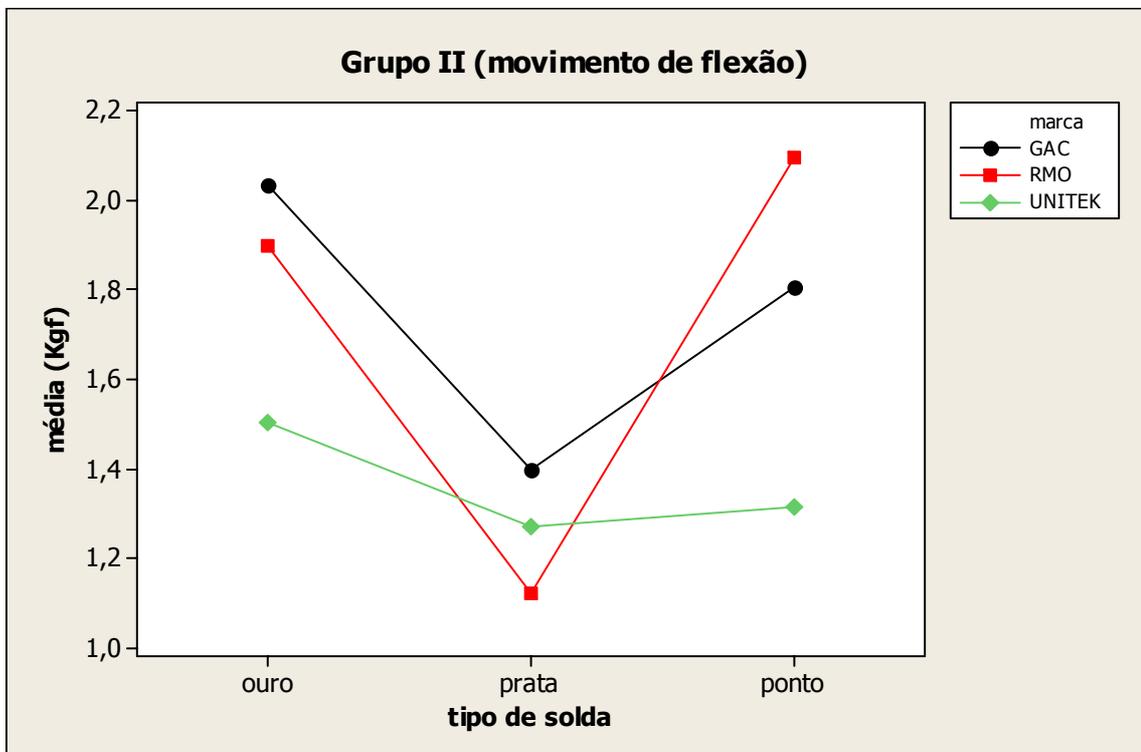


GRÁFICO 2 - Força média (Kgf) resultante do movimento de 14 ciclos de flexão dos fios, de acordo com a marca e o tipo de solda, para os corpos-de-prova do grupo II (movimento de flexão).

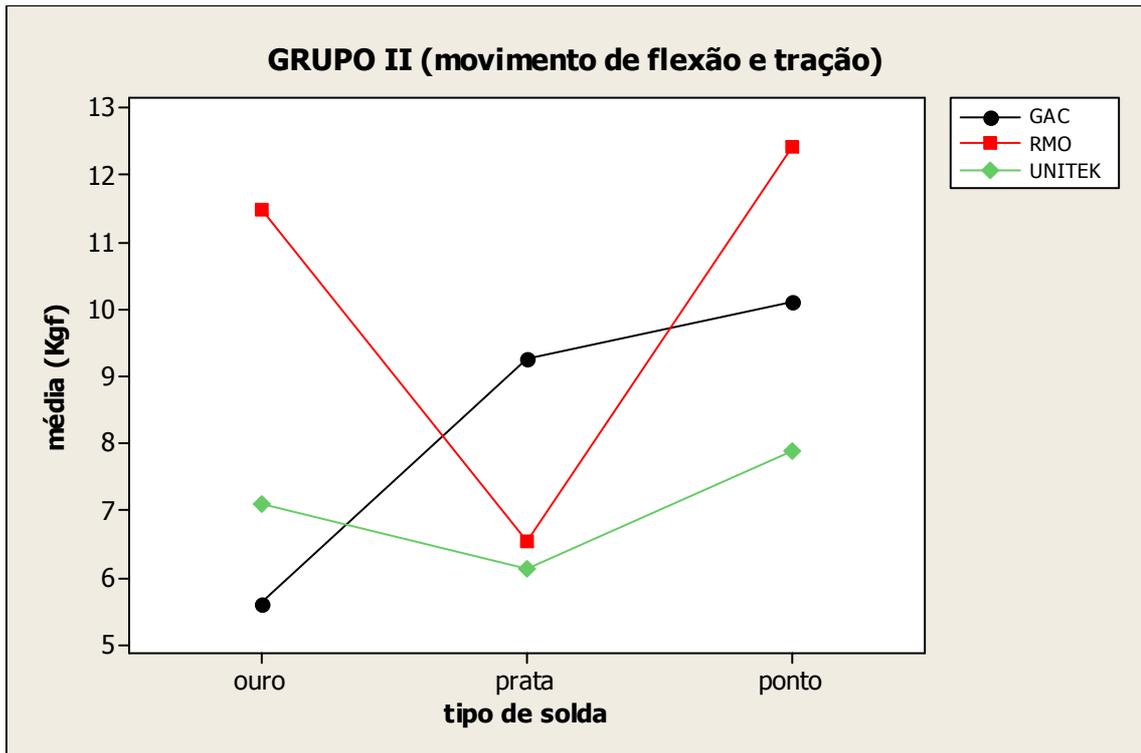


GRÁFICO 3 - Força média (Kgf) resultante do rompimento dos fios, de acordo com a marca e o tipo de solda, para os corpos-de-prova do grupo II (movimento de flexão e tração).

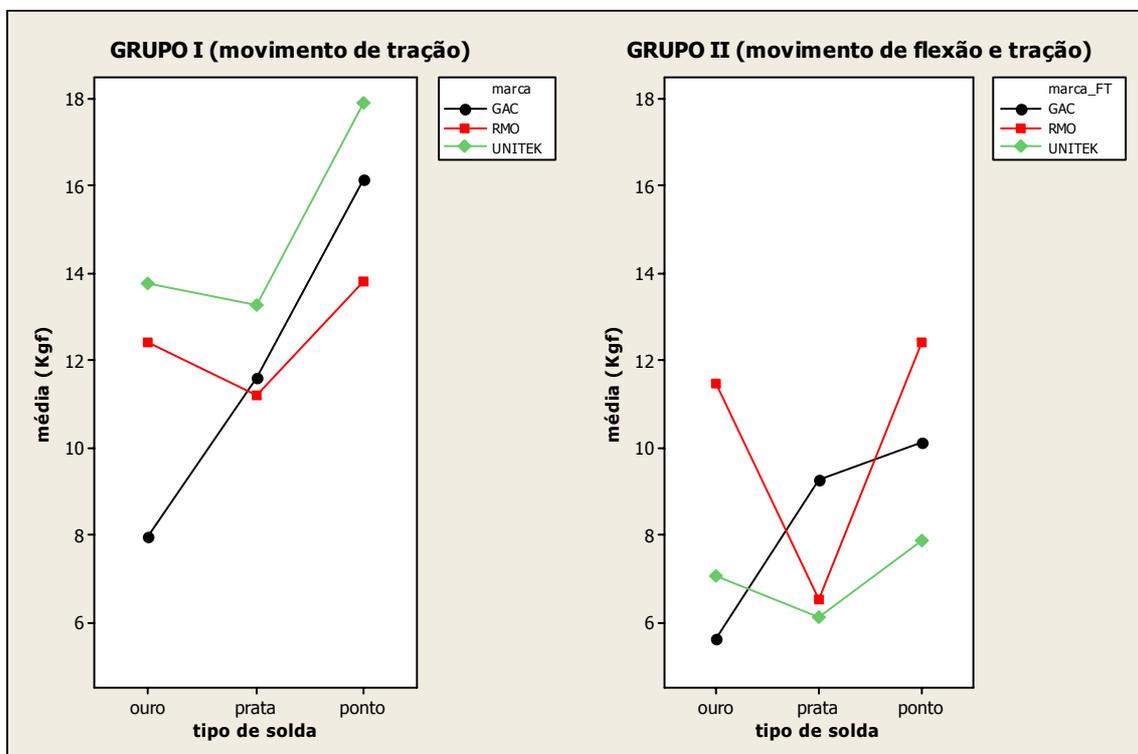


GRÁFICO 4 - Comparação entre o grupo I e II.

## 6. DISCUSSÃO

Baseado nos resultados das TAB. 4, 5 e 6 (anexos) observamos que apesar de todas as soldagens terem sido realizadas pelo mesmo operador e nas mesmas condições laboratoriais, os seus valores são divergentes. Esses resultados são confirmados pelo trabalho de WILKINSON (1962), que comparou soldagens realizadas por três ortodontistas nas mesmas condições, encontrando variação individual no controle do calor, proporcionando resultados bastante divergentes, concluindo que a habilidade do operador é fator importante no ato de soldagem. Estas conclusões poderiam ser menos acentuadas com a solda elétrica a ponto, uma vez que a mesma não permite grandes variações individuais, devido a temperatura não depender do operador.

Sabemos que a soldagem sempre envolverá aquecimento das partes a serem unidas e segundo COLEMAN (1933), para entender o efeito da soldagem é necessário entender o efeito das altas temperaturas sobre os materiais soldados, onde o superaquecimento dessas ligas provoca mudança nas propriedades físicas e variações em sua microestrutura. Alguns pesquisadores mostraram que o excesso de aquecimento durante a soldagem leva à recristalização do fio, rupturas nas uniões soldadas, altera as propriedades físicas e diminui a dureza (MOGLER & HOLESTINE, 1935; BARR, 1937; RICHMAN, 1956; PRATES, 1974). Além disso, segundo BROCKURT (1988), regiões submetidas à soldagem com liga de prata podem apresentar zonas de corrosão, devido à ação galvânica entre metal e solda e mudanças na microestrutura devido ao aquecimento da peça, mas que mesmo com a ocorrência da corrosão, que é um fator importante, o seu tempo moderado de soldagem a torna útil, não eliminando o seu uso na ortodontia. Esse fato pode ser

menos crítico com a solda elétrica a ponto devido ao curto tempo utilizado na soldagem e este tempo ser insuficiente para promover reação química formadora de óxido. No entanto ROGERS (1978) relatou que a corrente elétrica excessiva levará à formação de calor indesejado, alteração das propriedades físicas do fio com formação de concavidades, falhas ou queima da superfície deste fio. BROWN (1981), comparando solda com chama e solda elétrica, tendo realizado avaliação microscópica, concluiu que todas as técnicas resultam na formação de lacunas na solda. Já, LOPES *et al.* (2000) concluiu em seu trabalho que a resistência à fadiga da solda de prata apresentou valores, em número de ciclos, estatisticamente superiores aos da solda elétrica a ponto. O eletrodo da máquina para solda utilizado neste trabalho foi o de formato plano, semelhante ao estudo de WINSAUER (1991), onde relatou ser este o que produz distorção consideravelmente menor quando comparado a eletrodo de formato pontiagudo e que as junções soldadas por eletrodo de ponta plana são mais estáveis, uma vez que eletrodo de formato pontiagudo pode aumentar a resistência elétrica entre o fio e o eletrodo com conseqüente aumento da temperatura do ponto de contato e aumento da fragilidade deste fio.

Outro fator que pode influenciar no resultado final da soldagem é a utilização do fundente. Os fluxos são utilizados para dissolver impurezas superficiais e proteger o metal a ser soldado da oxidação durante o aquecimento. Se o mesmo for usado em excesso, partes poderão ficar incluídas na junção promovendo falhas e diminuindo a resistência da união soldada (RASMUSSEN, 1980). A superfície do metal a ser soldado deverá ser livre de óxidos e impurezas para que a solda escoie por toda a superfície. A formação de óxidos durante a soldagem resultará em junções porosas, onde a formação de bolhas diminuirá consideravelmente a resistência da união soldada (LAUTENSCHLAGER *et al.*, 1974; RASMUSSEN,

1980; JANUS, 1985; GOMES *et al.*, 1987). Segundo GREEN (1945), o aço inoxidável é excelente para o uso na ortodontia e deve ser submetido ao processo de soldagem desde que seja usado um fluxo adequado, aplicado de maneira correta e que a chama usada neste processo não provoque superaquecimento com conseqüente oxidação do fio.

A distância entre as partes a serem soldadas, também é outro fator que pode influenciar no resultado final da união soldada. Embora este trabalho não tenha sido direcionado a avaliar a influência da distância entre as partes a serem soldadas, todas as soldagens foram realizadas a distância de 0,3 mm (RYGE, 1958) entre as partes, já que este estudo foi realizado com a finalidade de comparar a resistência apresentada pelos diferentes fios e soldas sob as mesmas condições, em acordo com os trabalhos de RYGE, 1958 e LAUTENSCHILAGER, 1974, onde relataram que um maior espaço entre as partes a serem soldadas pode aumentar a porosidade e comprometer a resistência da união soldada e que por outro lado, se o espaço a ser ocupado pela solda for muito reduzido, produzirá uniões extremamente finas, havendo o risco de a solda tornar-se muito porosa e menos resistente,

Sendo o ouro um metal nobre, que apresenta propriedades desejáveis como excelente resistência à corrosão, maleabilidade e ductibilidade adequadas e ponto de fusão relativamente baixo (LEINFELDER & LEMONS, 1989; ANUSAVICE, 1998), o mesmo foi incluído nos experimentos de soldagem deste trabalho. A formulação básica de ligas convencionais para a fundição de metais preciosos é o ouro, a prata e o cobre. O ouro deve ser o maior componente das ligas de metais preciosos, com a principal função de conceder à liga resistência à corrosão. A prata é ductil, maleável e é um excelente condutor de calor e eletricidade. O cobre tem como principal função aumentar a resistência e reduzir a zona de fusão das ligas de

ouro (GRAIG *et al.*, 2002). A elevação do preço do ouro no mercado, forçou a imediata introdução na odontologia, de certo número de ligas com baixo conteúdo de ouro. Em vez de 70 a 75% de ouro semelhante às ligas de ouro para fundição convencionais, estas novas ligas contêm somente cerca de 40% de ouro na média. Deve ser lembrado que todas as ligas com baixo teor de ouro, podem ser soldadas, usando a mesma técnica e a solda usada para as ligas de ouro convencional (LEINFELDER & LEMONS, 1989) e segundo JANUS (1985) é possível obter força de tensão aceitável entre as ligas contendo baixa quantidade de ouro pela técnica convencional de solda. Sendo assim, a usinagem da liga de ouro utilizado neste trabalho teve a seguinte formulação: 0,5gr de ouro puro (99,9%), 250 mg de prata e 250 mg de cobre (GRAIG, 2002; LEINFELDER & LEMONS, 1989; ANUSAVICE, 1988). As soldas com ligas de ouro podem produzir de maneira consistente junções fortes, contínuas e com relativa facilidade (TOWNSEND, 1983).

Analisando o GRÁF. 4 observamos que a comparação feita entre os corpos-de-prova do grupo I (submetidos somente ao movimento de tração) e do grupo II (submetidos ao movimento de tração e flexão) foi estatisticamente significativa. Pelo gráfico fica claro que a força resultante do rompimento dos fios é menor para o grupo II, ou seja, aquele que foi submetido a 14 ciclos de movimento de flexão, antes do movimento de tração, indicando provavelmente a fadiga do fio. O fato de primeiro flexionar a região da solda e em seguida tracionar, é o que mais se aproxima da realidade clínica, lembrando que os resultados obtidos neste trabalho foram gerados em laboratório. A máxima resistência à flexão e posterior tração média variou de 6,7 a 13,9 kgf, ou seja, qualquer uma das três soldas nos três diferentes fios estudados apresenta resistência suficiente para serem empregadas

em procedimentos ortodônticos, uma vez que estes não ultrapassam a força de 0,5 – 0,7 Kgf.

## 7. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados estatísticos foi possível concluir que:

- a) o tratamento com a solda a ponto apresentou o melhor desempenho sendo estatisticamente superior a solda de prata e de ouro, para os três tipos de fio e ensaios mecânicos;
- b) o fio RMO apresentou o melhor desempenho para o ensaio de flexão/tração, exceto para a solda de prata. Já o fio GAC apresentou resultados semelhantes, exceto para a solda de ouro;
- c) a força necessária para rompimento das soldas submetidas ao ensaio de flexão/tração foi estatisticamente inferior as submetidas ao ensaio de tração.

Com frequência observamos rupturas de partes soldadas, porém os resultados obtidos neste trabalho nos mostram que a resistência dessas uniões soldadas são superiores às forças normalmente empregadas em ortodontia, devendo ser lembrado que os resultados deste estudo foram obtidos em laboratório, sob condições diferentes da prática clínica, sendo conveniente ressaltar que outros fatores devem ser analisados em estudos futuros e que resultados mostrados neste estudo poderão servir de parâmetro para diversas investigações.

## ABSTRACT

This study had as objective to evaluate the resistance to the flexion and the traction of the welds for silver, gold and point in stainless steel wires found in the market and determine the maximum resistance limit. Three types of solder were applied, being a commercial solder the silver base (Unitek solder), point solder with the solder machine Kernit SMP 3000 and gold base solder, manipulated especially for this work. They were confectioned thirty bodies-of-test for each type of solder with stainless steel wires in thickness 018"x 025" (UNITEK, GAC and RMO) totalizing ninety bodies-of-test. All the solders were managed by the same operator. The machine used for the electric solder by point was Kernit SMP 3000, while the gold and silver solder fundent were managed with a blowpipe gas-oxygen using (Rocky Mountain). The bodies-of-test were divided in two groups, being Group I only submitted to the traction force and the bodies-of-test of group II were submitted first to the traction force (14 cycles) and later the snatch force, both in machine EMIC DL 2000. The results were evaluated statistically by the Analysis of Variance (ANOVA) and by Tukey's test (5%). Although all the soldings to were managed by the same operator and in the same laboratory conditions, the obtained values were changeable, demonstrating the importance of the operator's ability at the moment of the soldering. The comparison between groups I and II presented statistically significant results, where the resultant force of the wires disruption is less for group II, or either, that one that was submitted the 14 cycles of movement flexion, before the traction movement, indicating probably, the wire fatigue.

Keywords: Orthodontics. Dental Soldering. Orthodontic Wires. Tensile Strength.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS<sup>1</sup>

1. Anusavice KJ. **Phillips materiais dentários**. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 1988. cap. 19. Restaurações diretas em ouro e sua manipulação. p.241-7.
2. Anusavice KJ. **Phillips materiais dentários**. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 1988. cap. 27. Soldagem. p. 367-73.
3. Asgharnia MK, Brantley WA. Comparison of bending and tension tests for orthodontic wires. **Am J Orthod** 1986 Mar; 89(3): 228-36.
4. Barr FJK. The manipulation of stainless steel and its use in orthodontics. **W Z Dent J** 1937; 33: 348-349 apud Prates NS. Contribuição ao estudo da propriedade física dureza de fios de aço inoxidável para fins ortodônticos. **Ortodontia** 1974 jan-abr; 7(1): 19-36.
5. Bradel SF. One Hundred years of development in metallurgy and its relation to orthodontic. **J Am Dent Assoc** 1934; 21(6): 1018-22.
6. Brockhurst PJ, Pham HL. Orthodontic silver brazing alloys. **Aust Orthod J** 1989 Oct; 11(2): 96-9.
7. Brown T, Mitchell R, Barenie J. Evaluation of five silver soldering techniques. **J Dent Res** 1981 Mar; 60: 626.
8. Cardoso SL, Porto CLA, Candido MSM et al. Ligas Alternativas de Cobre-Alumínio. **RGO** 1988 nov; 36(6): 454-58.
9. Coleman RL. Torque effects of soldering and other heat treatments on orthodontics alloys. **Int J Orthod Dent Child** 1933; 19(3): 1238-50.
10. Donovan MT, Lin JJ, Brantley WA et al. Weldability of beta titanium arch wires. **Am J Orthod Dentofacial Orthop** 1984 Mar; 85(3): 207-16.
11. Drake SR, Wayne DM, Powers JM et al. Mechanical properties of orthodontic wires in tension, bending, and torsion. **Am J Orthod** 1982 Sept; 82(3): 206-10.

---

<sup>1</sup> De acordo com o Manual de Normalização para Dissertações e Teses da Faculdade de Odontologia e Centro de Pós-Graduação São Leopoldo Mandic baseado no modelo Vancouver de 1997, e abreviatura dos títulos de periódicos em conformidade com o Index Medicus

12. Gawlik JA, Mathieu GP, Hondrum S. The effects of tack welding and increasing surface area the tensile strength of silver electric and flame soldered stainless steel joints. **Pediatric Dent** 1966 May-June; 18(3): 215-18.
13. Gomes AA, Vieira LF, Pegoraro LF et al. Análise comparativa de algumas propriedades mecânicas de uniões soldadas em uma liga de cobre-alumínio, utilizando dois tipos de solda de baixa fusão. **Rev Odontol USP** 1987 jul-set; 1(3): 3-9.
14. Graig RG, Powers JM, Wataha JC: **Materiais dentários: propriedades e manipulação**. 7. ed. São Paulo: Santos; 2002. cap. 10. Ligas para fundições e soldas. p. 221-239.
15. Green JH. Stainlees steel in orthodontics. **J Am Dent Ass** 1945 Aug; 32(14): 986-90.
16. Janus CE, Beck DA, Moon PC. Quantitative study of soldered connector tensile strength using low-gold content alloys. **J Prosthet Dent** 1985 Oct; 54(4): 517-21.
17. Kapila S, Sachdeva R. Mechanical properties and clinical applications of orthodontic wires. **Am J Dentofacial Orthop** 1989 Aug; 96(2): 100-9.
18. Khier SE, Brentley WA, Fournelle RA. Structure and mechanical properties of as-received and heat-treated stainless stell orthodontic wires. **Am J Orthod Dentofacial Orthop** 1988 Mar; 93(3): 206-12.
19. Lair WR, von Fraunhofer JA. Silver Soldered Joints in Stainless Steel. A Comparative Evaluation of Techniques. **Br Dent J** 1972 Apr; 132(7): 263-67.
20. Lautenschlager EP, Marker BC, Moore BK et al. Strength Mechanisms of Dental Solder Joints. **J Dent Res** 1974 Nov-Dec; 53(6): 1361-7.
21. Leinfelder KF, Lemons JE. **Clínica restauradora: materiais e técnicas**. São Paulo: Santos; 1989. cap. 12. Soldagem direta e indireta. p. 291-301.
22. Leinfelder KF, Lemons JE. **Clínica restauradora: materiais e técnicas**. São Paulo: Santos; 1989. cap. 4. Ligas de ouro. p. 123-147.

23. Lopes MB, Sobrinho LC, Consani S et al. Resistência à fadiga de solda de prata e solda elétrica a ponto utilizadas em ortodontia. **Rev Dent Press Ortodon Ortop Facial** 2000 nov-dez; 5(6): 45-50.
24. Mogler AC, Holestine EV. Soldering of chrome for orthodontic use. A practical procedure Int. **ASDC J Dent Child** 1935; 21: 955-6.
25. Moyers RE. **Ortodontia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 1988.
26. Muench A. Propriedades físicas, resistência à corrosão, soldagem e custo relativo de uma liga de ouro branca. **Rev Fac Odont** 1981 jan-jun; 19(1): 19-24.
27. Nelson KR, Burstone CJ, Goldberg AJ. Optimal welding of beta titanium orthodontic wires. **Am J Orthod Dentofacial Orthop** 1987 Sept; 92(3): 213-19.
28. O'Toole TJ, Furnish GM, von Fraunhofer JA. Tensile strength of soldered joints. **J Prosthet Dent** 1985 Mar; 53(3): 350-52.
29. Parker JH. Improved soldering technic. **Angle Orthod** 1960 Apr; 30(2): 95-98.
30. Pieruccini FM, Ruhnke LA, Consani S et al. Resistência à tração da união de fios ortodônticos soldados com ligas de prata. **Rev CROMG** 1997 jan-jun; 3(1): 23-6.
31. Prates NS. Contribuição ao estudo da propriedade física dureza de fios de aço inoxidável para fins ortodônticos. **Ortodontia** 1974 jan-abr; 7(1): 19-36.
32. Rasmussen ST. Soldaduras. In: O'Brien WJ, Ryge J. **Materiales dentales y su seleccion**. Buenos Aires: Panamericana; 1980. p. 240-8.
33. Richmann G. Practical Metallurgy for the orthodontist. **Am J Orthod** 1956 Aug; 42(8): 573-87.
34. Rogers OW. A metallographic evaluation of the stainless steel-silver solder joint. **Aust Dent J** 1979 Feb; 24(1): 13-16.
35. Rogers OW. The resistance welded stainless steel interface. **Aust Dent J** 1978 Dec; 23(6): 465-7.
36. Ryge G. Dental soldering procedures. **Dent Clin North Am** 1958 Nov; 29(3): 747-57.
37. Skinner EW. **Materiais Dentários de Skinner**. 8. ed. Rio de Janeiro: Interamericana; 1984. p. 437-47.

38. Townsend LWA, Vermilyea SG, Griswold WH. Soldering nonnoble alloys. **J Prosthodont** 1983; 50(1): 51-3.
39. Ueti M, Adolphi D. Resistência ao dobramento de uniões soldadas de liga de ouro em função do espaço, pré-aquecimento e tempo de resfriamento do bloco de revestimento. **Rev Fac Odontol São Paulo** 1978 jul-dez; 16(2): 143-50.
40. Wilkinson JV. Some metallurgical aspects of orthodontic stainless steel. **Am J Orthod** 1962 Mar; 48(3): 192-206.
41. Wilkinson JV. The effect of high temperatures on stainless steel orthodontic arch wire. **Aust Dent J** 1960 Oct; 5(5): 264-8.
42. Winsauer H. New electrodes for welding orthodontic wires. **J Clin Orthod** 1991 Jan; 30(34): 1-9.

# Anexos

## **ANEXO 1**

### **RESUMO DO RELATÓRIO ESTATÍSTICO**

Foram analisados um total de noventa corpos-de-prova, sendo 45 do grupo I e 45 do grupo II. Os corpos-de-prova do grupo I foram submetidos apenas ao movimento de tração, enquanto que os 45 corpos-de-prova do grupo II foram submetidos primeiramente a 14 ciclos de movimento de flexão e somente depois disso é que foram submetidos ao movimento de tração. Primeiramente, foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA) para verificar se existiam diferenças entre as marcas dos fios (GAC, RMO e UNITEK) e/ou os tipos de solda (ouro, prata e ponto) quanto à força de rompimento dos mesmos em cada grupo. Posteriormente foi feita uma comparação entre os grupos para verificar se o movimento de flexão antes do movimento de tração poderia interferir na força de rompimento desses fios. Como houve interação significativa, entre as marcas e o tipo de solda, a técnica das comparações múltiplas (pelo método de Tukey 5%) foi utilizada para verificar onde estava a diferença entre as marcas/soldas.

#### **Grupo I (movimento de tração)**

Os corpos-de-prova do grupo I foram submetidos somente ao movimento de tração, sendo que a força aplicada no momento do rompimento da solda foi registrada em um banco de dados. A tabela abaixo indica a média dessa força, de acordo com a marca do fio e o tipo de solda utilizado.

TABELA 4 - Média da força resultante do rompimento dos fios, de acordo com a marca e o tipo de solda, para os corpos-de-prova do grupo I (movimento de tração).

<b>Força (kgf)</b>	<b>N</b>	<b>Média</b>	<b>d.p.</b>	<b>mínimo</b>	<b>Mediana</b>	<b>Máximo</b>
GAC	15	11,9	4,1	7,4	12,1	17,1
Ouro	5	7,9	0,6	7,4	7,6	8,9
Prata	5	11,6	3,7	7,8	12,1	15,7
Ponto	5	16,1	1,3	13,8	16,5	17,1
RMO	15	12,5	2,4	9,1	12,7	17,6
Ouro	5	12,4	1,3	10,2	12,9	13,3
Prata	5	11,2	1,6	9,1	11,6	13,1
Ponto	5	13,8	3,3	10,2	14,9	17,6
Unitek	15	15,0	2,5	12,3	14,3	19,1
Ouro	5	13,8	0,8	13,1	13,3	15,0
Prata	5	13,3	0,8	12,3	13,5	14,4
Ponto	5	17,9	1,9	14,5	18,7	19,1

Pelo resultado da Análise de Variância (ANOVA) pode-se notar que houve um efeito de interação entre a marca do fio e o tipo de solda utilizado, indicado por “solda\*marca” ( $p < 0,001$ ), isto é, dependendo da marca, o resultado da comparação entre os tipos de solda poderia apresentar padrões diferenciados. Por essa razão, procedeu-se à técnica de comparações múltiplas, pelo método de Tukey, para identificar quais marcas de fios, e tipos de solda apresentavam diferenças quando comparados entre si.

## Resultado da ANOVA:

Análise de variância para força, usando ajuste ss para os testes.

Origem	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Solda	2	183,259	183,259	91,629	22,85	0,000
Marca	2	81,326	81,326	40,663	10,14	0,000
Solda*marca	4	66,575	66,575	16,644	4,15	0,007
Erro	36	144,370	144,370	4,010		
Total	44	475,530				

Pelas comparações múltiplas, cujo resultado encontra-se no quadro abaixo podemos observar os seguintes resultados:

- a) fio da marca UNITEK, com solda a ponto, foi o que apresentou a maior força para o rompimento, porém essa força foi semelhante a apresentada pelas outras duas marcas, com o mesmo tipo de solda (a ponto);
- b) comparando-se apenas o fio da marca UNITEK: somente as soldas do tipo ponto e prata apresentaram diferenças significantes, sendo a solda a ponto aquela que apresentou maior força para o rompimento dos fios;
- c) ainda com relação ao fio da marca UNITEK: as soldas do tipo ouro e a prata não apresentaram diferenças significantes entre si;
- d) fio da marca GAC, com solda de ouro, foi o que apresentou a menor força para o rompimento, sendo que essa força foi considerada estatisticamente significante (inferior) à força para o rompimento do próprio fio da marca GAC, com solda a ponto;
- e) ainda com relação ao fio da marca GAC com solda de ouro, este também apresentou diferenças significantes com relação aos fios das

marcas RMO (solda de ouro e a ponto) e UNITEK (todos os tipos de solda);

f) fio da marca RMO não apresentou diferenças significantes entre os três tipos de solda (ouro, prata e a ponto).

QUADRO 2 - Resultado das comparações múltiplas entre todas as marcas de fios e tipos de solda, para os corpos-de-prova do grupo I (movimento de tração).

		GAC			RMO			UNITEK		
		Ouro	Prata	ponto	Ouro	prata	ponto	ouro	Prata	Ponto
GAC	Ouro	-	Ns	*	*	ns	*	*	*	*
	Prata	ns	-	*	Ns	ns	ns	ns	Ns	*
	Ponto	*	*	-	Ns	*	ns	ns	Ns	Ns
RMO	Ouro	*	Ns	ns	-	ns	ns	ns	Ns	*
	Prata	ns	Ns	*	Ns	-	ns	ns	Ns	*
	Ponto	*	Ns	ns	Ns	ns	-	ns	Ns	Ns
UNITEK	Ouro	*	Ns	ns	Ns	ns	ns	-	Ns	Ns
	Prata	*	Ns	ns	Ns	ns	ns	ns	-	*
	Ponto	*	*	ns	*	*	ns	ns	*	-

\* = comparação estatística significativa ( $p < 0,001$ ).  
 ns = comparação estatística não significativa.

O gráfico abaixo ilustra a força média de rompimento, para cada marca de fio e tipo de solda para os corpos-de-prova do grupo I.

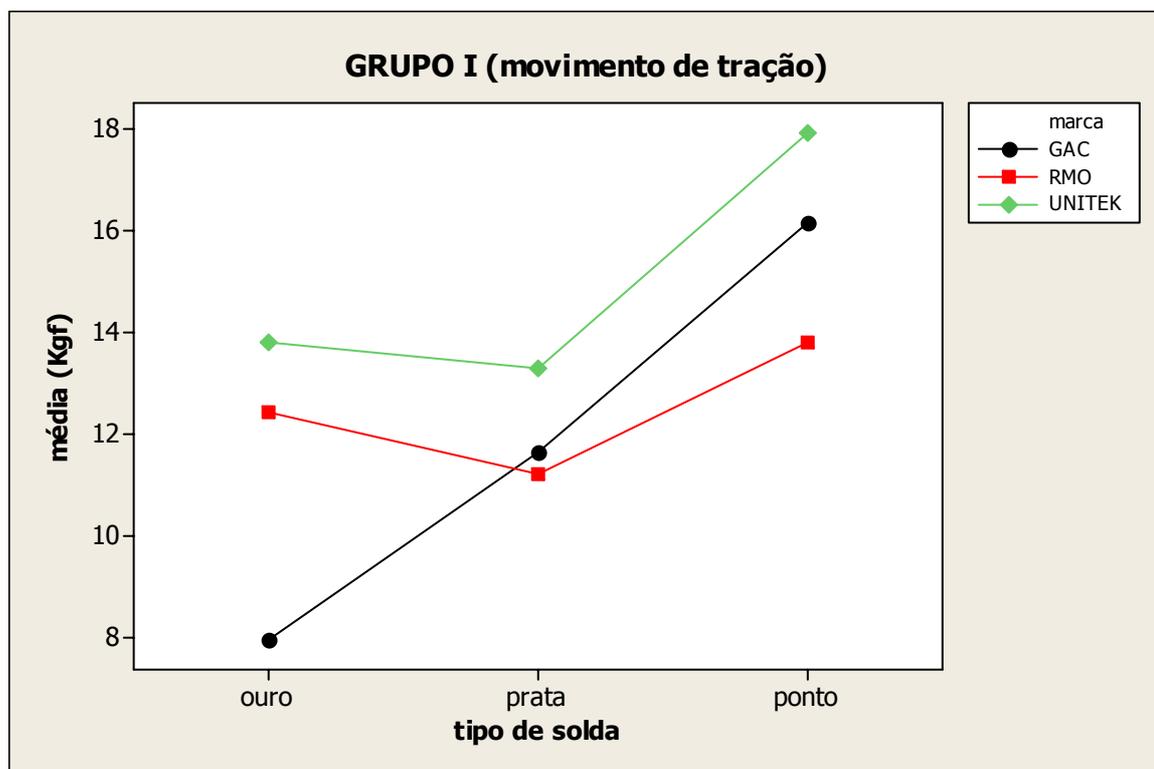


GRÁFICO 5 - Força média (Kgf) resultante do rompimento dos fios, de acordo com a marca e o tipo de solda, para os corpos-de-prova do grupo I (movimento de tração).

### Grupo II (movimento de flexão)

Os corpos-de-prova do grupo II foram primeiramente submetidos a movimentos de flexão (14 ciclos) para depois realizar o movimento de tração e verificar qual a força que resultava em rompimento dos fios.

A tabela a seguir mostra a média da força resultante dos movimentos de flexão para as três marcas de fios e três tipos de solda.

TABELA 5 – Média da força resultante do movimento de 14 ciclos de flexão dos fios, de acordo com a marca e o tipo de solda, para os corpos-de-prova do grupo II (movimento de flexão).

<b>Força (kgf)</b>	<b>N</b>	<b>Média</b>	<b>d.p.</b>	<b>mínimo</b>	<b>Mediana</b>	<b>Máximo</b>
GAC	15	1,7	0,7	0,5	1,7	2,9
Ouro	5	2,0	0,8	1,1	2,0	2,9
Prata	5	1,4	0,6	0,5	1,4	2,1
Ponto	5	1,8	0,5	1,2	1,7	2,4
RMO	15	1,7	0,7	0,7	1,7	2,7
Ouro	5	1,9	0,5	1,4	1,9	2,7
Prata	5	1,1	0,4	0,7	1,0	1,8
Ponto	5	2,1	0,6	1,3	2,2	2,7
Unitek	15	1,4	0,6	0,5	1,3	2,3
Ouro	5	1,5	0,7	0,7	1,7	2,3
Prata	5	1,3	0,6	0,5	1,3	2,1
Ponto	5	1,3	0,6	0,9	1,0	2,3

O resultado da análise de variância, para o movimento de flexão somente, indicou que não houve interação significativa entre as marcas e o tipo de solda ( $p=0,527$ ), portanto pode-se dizer que as três marcas apresentaram o mesmo comportamento em relação aos três tipos de solda. Ainda com relação à ANOVA, pode-se dizer que não houve diferença geral entre as marcas, independente do tipo de solda ( $p=0,177$ ), porém houve diferença entre os tipos de solda ( $p=0,036$ ), onde a força resultante da solda de prata foi inferior às soldas de ouro e a ponto.

## Resultado da ANOVA:

Análise de Variância para força\_F, usando Ajuste SS para os Testes

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
solda_F	2	2,6668	2,6668	1,3334	3,65	0,036
marca_F	2	1,3285	1,3285	0,6643	1,82	0,177
solda_F*marca_F	4	1,1836	1,1836	0,2959	0,81	0,527
Erro	36	13,1585	13,1585	0,3655		
Total	44	18,3375				

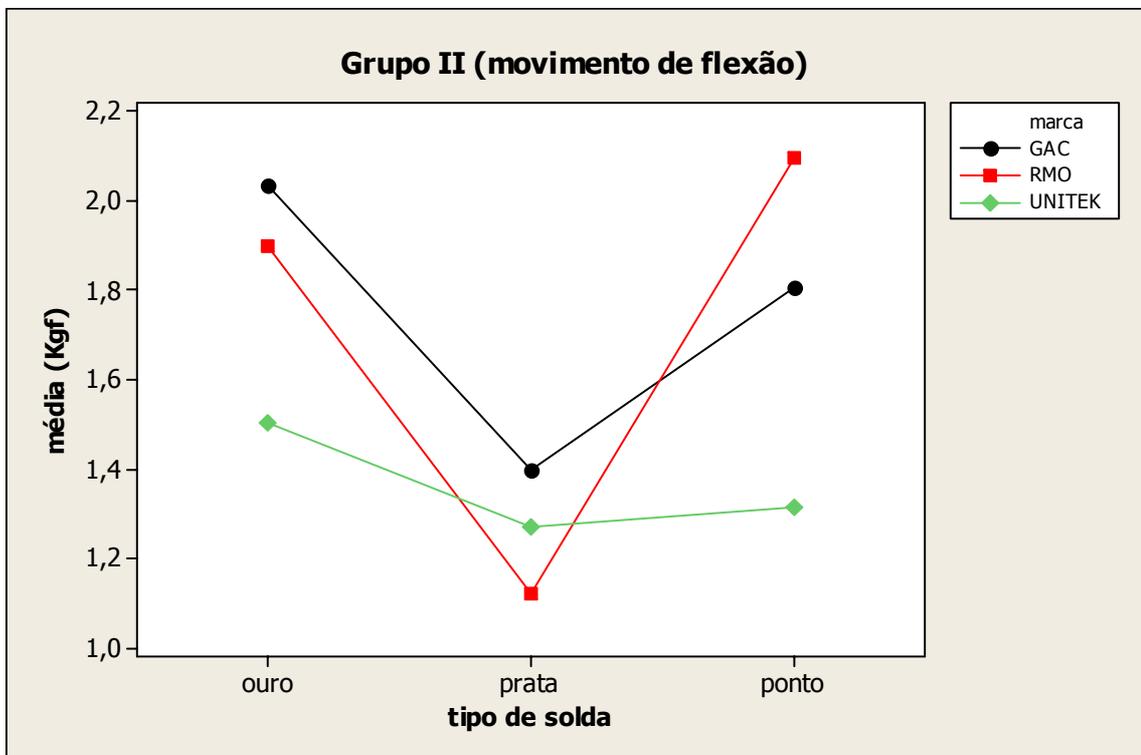


GRÁFICO 6 - Força média (Kgf) resultante do movimento de 14 ciclos de flexão dos fios, de acordo com a marca e o tipo de solda, para os corpos-de-prova do grupo II (movimento de flexão).

## Grupo III (movimento de flexão e tração)

Os corpos-de-prova do grupo II, conforme citado anteriormente, primeiro foram submetidos a 14 ciclos do movimento de flexão para depois serem submetidos à tração. A tabela a seguir mostra a média da força que resultou no

rompimento dos fios, após os movimentos de flexão e de tração, para as três marcas de fios e três tipos de solda.

TABELA 6 - Média da força resultante do rompimento dos fios, de acordo com a marca e o tipo de solda, para os corpos-de-prova do grupo II (movimento de flexão e tração).

<b>Força (kgf)</b>	<b>N</b>	<b>Média</b>	<b>d.p.</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Mediana</b>	<b>Máximo</b>
GAC	15	8,3	2,4	4,1	8,7	11,6
Ouro	5	5,6	1,8	4,1	5,0	8,7
Prata	5	9,3	0,7	8,5	9,1	9,9
Ponto	5	10,1	1,3	8,1	10,5	11,6
RMO	15	10,1	2,9	5,6	11,1	13,9
Ouro	5	11,5	1,4	9,8	11,9	12,8
Prata	5	6,5	0,9	5,6	6,5	7,6
Ponto	5	12,4	1,4	11,1	12,3	13,9
Unitek	15	7,0	1,1	5,4	6,7	8,7
Ouro	5	7,1	1,3	5,7	6,4	8,5
Prata	5	6,1	0,5	5,4	6,3	6,7
Ponto	5	7,9	0,8	6,8	7,8	8,7

A Análise de Variância mostrou interação significativa entre a solda e a marca do fio ( $p < 0,001$ ). Essa interação indica que dependendo da marca, o resultado da comparação entre os tipos de solda poderia apresentar padrões diferenciados. Por essa razão, procedeu-se à técnica de comparações múltiplas, pelo método de Tukey, para identificar quais marcas e tipos de solda poderiam apresentar diferenças entre si.

Resultado da **ANOVA**:

Análise da Variância para a força\_FT, usando ajuste SS para os Testes

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
solda_FT	2	65,321	65,321	32,660	23,17	0,000
marca_FT	2	73,635	73,635	36,817	26,12	0,000
solda_FT*marca_FT	4	100,768	100,768	25,192	17,87	0,000
Error	36	50,751	50,751	1,410		
Total	44	290,475				

Pelas comparações múltiplas, cujo resultado encontra-se no quadro abaixo, podemos observar os seguintes resultados:

- a) não houve diferença significativa da força de rompimento entre as soldas de ouro, prata e a ponto para o fio da marca UNITEK;
- b) a maior força de rompimento foi observada com o fio da marca RMO, com solda a ponto, sendo que essa força foi semelhante à encontrada para o fio também da marca RMO com solda de ouro e ao fio GAC com solda a ponto;
- c) a menor força de rompimento foi observada para o fio da marca GAC com solda de ouro, sendo que essa força foi semelhante aos três tipos de solda com o fio UNITEK, bem como com o fio RMO para a solda de prata.

QUADRO 3 - Resultado das comparações múltiplas entre todas as marcas e tipos de solda, para os corpos-de-prova do grupo II (movimento de flexão e tração).

		GAC			RMO			UNITEK		
		ouro	Prata	ponto	ouro	prata	ponto	ouro	Prata	Ponto
GAC	ouro	-	*	*	*	ns	*	ns	Ns	Ns
	prata	*	-	ns	Ns	*	*	ns	*	Ns
	ponto	*	Ns	-	Ns	*	Ns	*	*	Ns
RMO	ouro	*	Ns	ns	-	*	Ns	*	*	*
	prata	ns	*	*	*	-	*	ns	Ns	Ns
	ponto	*	*	ns	ns	*	-	*	*	*
UNITEK	ouro	ns	Ns	*	*	ns	*	-	Ns	Ns
	prata	ns	*	*	*	ns	*	ns	-	Ns
	ponto	ns	Ns	ns	*	ns	*	ns	Ns	-

\* = comparação estatística significativa.

ns = comparação estatística não significativa.

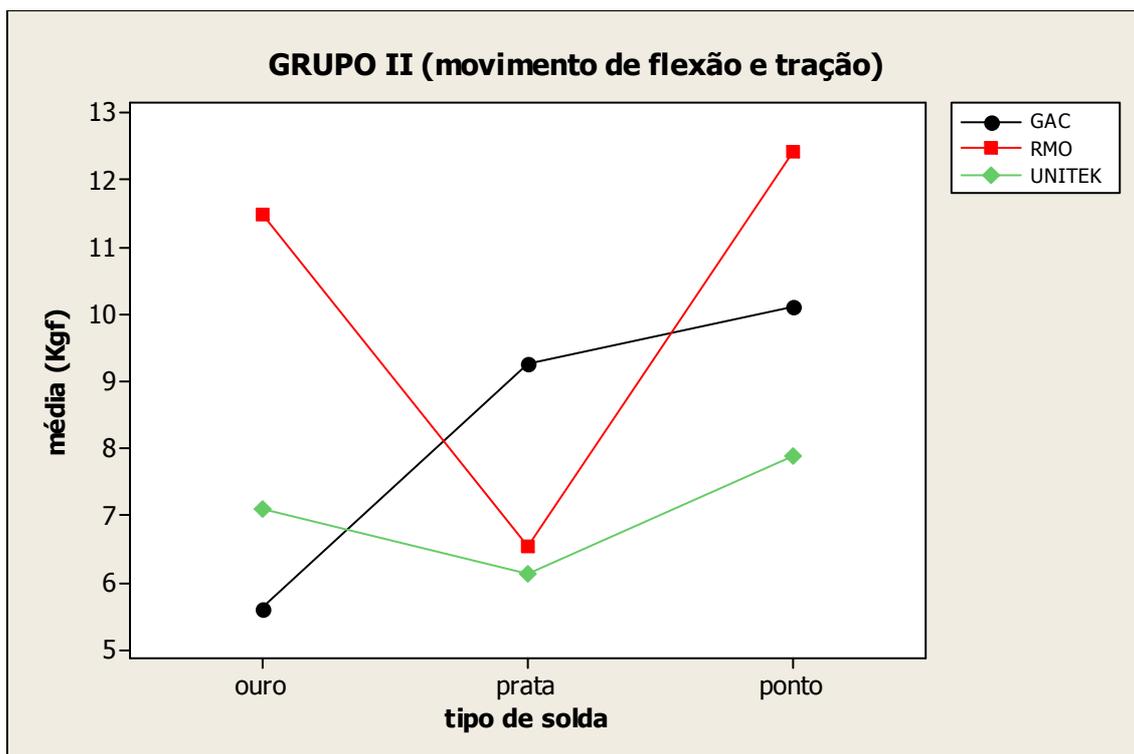


GRÁFICO 7 - Força média (Kgf) resultante do rompimento dos fios, de acordo com a marca e o tipo de solda, para os corpos-de-prova do grupo II (movimento de flexão e tração).

## Comparação entre o Grupo I e Grupo II

A comparação entre os grupos I e II foi feita também pela ANOVA e o resultado foi estatisticamente significativo ( $p < 0,001$ ). Pelo gráfico a seguir é possível notar claramente que a força resultante do rompimento dos fios é menor para o grupo II, ou seja, aquele que foi submetido a 14 ciclos de movimento de flexão, antes do movimento de tração, indicando provavelmente a fadiga do fio.

Resultado da **ANOVA**:

### ANOVA: força versus grupo

Source	DF	SS	MS	F	P
Grupo	1	480,58	480,58	55,21	0,000
Error	88	766,00	8,70		
Total	89	1246,59			

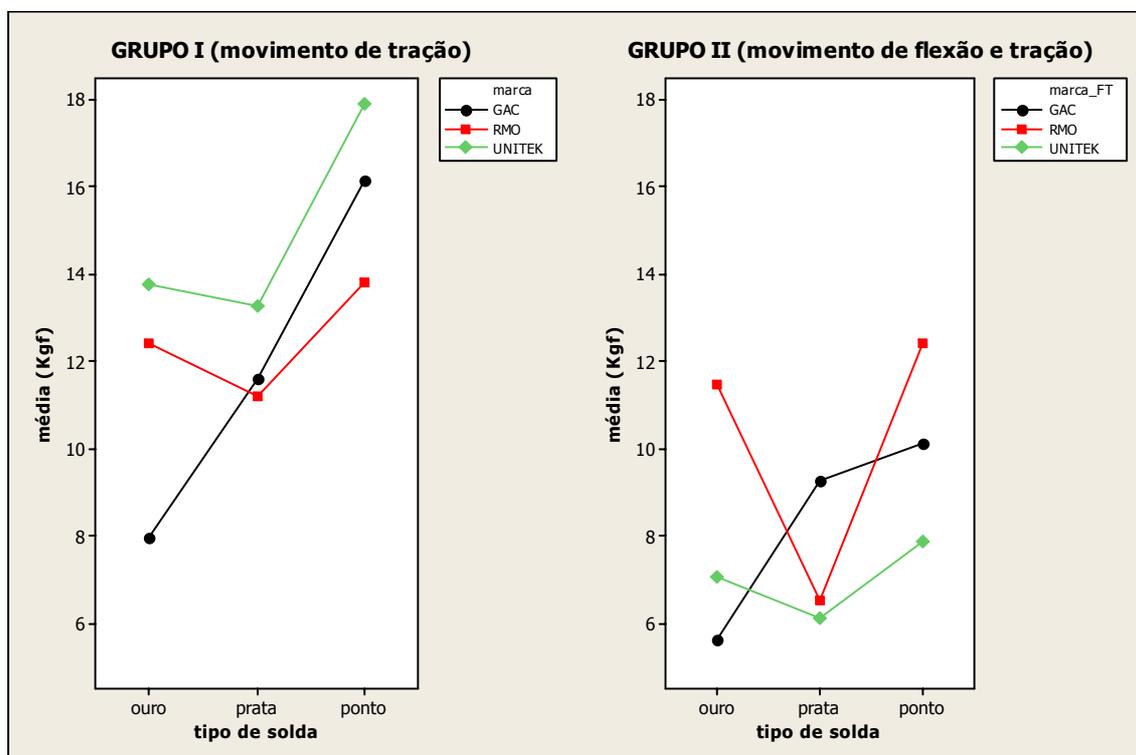


GRÁFICO 8 - Comparação entre o grupo I e II.

## ANEXO 2



SÃO LEOPOLDO MANDIC  
FACULDADE DE ODONTOLOGIA  
CENTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO

### Aprovado pelo CEP

Campinas, 13 de Junho de 2005.

A(o)

C. D. Cristiane Martins Rodrigues Bernardes

Curso: Mestrado em Ortodontia

Prezado(a) Aluno(a):

O projeto de sua autoria "Avaliação da resistência à fadiga e a tração da solda de prata, ouro e a ponto em ortodontia".

Orientado pelo(a) Prof(a) Dr(a) Paulo Roberto Aranha Nouer

Entregue na Secretaria de Pós-graduação do CPO - São Leopoldo Mandic, no dia 13/04/2005, com número de protocolo nº 05/128, foi APROVADO pelo Comitê de Ética e Pesquisa instituído nesta Universidade de acordo com a resolução 196 /1.996 do CNS - Ministério da Saúde, em reunião realizada no dia 20/05/2005.

**Cordialmente**

**Coordenador de Pós-Graduação  
Prof. Dr. Thomaz Wassall**