

FLAVIO MARTINS PIERUCCINI

CIRURGIÃO-DENTISTA

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA

SOLDAGEM EM ORTODONTIA

Tese apresentada à Faculdade
de Odontologia de Piracicaba
da Universidade Estadual de
Campinas, para obtenção do
título de MESTRE EM CIEN-
CIAS, Area ORTODONTIA.

PIRACICABA

■ 1991 ■

P616c

16452/BC

Este exemplar foi devidamente corrigido conforme resolução CC PG/036/83 Piracicaba, 15 abril de 1992 Luiz Antonio Ruhnke

FLAVIO MARTINS PIERUCCINI

CIRURGIÃO-DENTISTA

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA

SOLDAGEM EM ORTODONTIA

Orientador: Prof. Dr. LUIS ANTÔNIO RUHNKE

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia de Piracicaba da Universidade Estadual de Campinas, para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS, Área ORTODONTIA.

PIRACICABA

• 1991 •

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

Ao Prof. Dr. LUIS ANTONIO RUHNKE, pela
orientação e confiança em nós depositada
durante a elaboração e montagem deste
trabalho, o meu AGRADECIMENTO.

Aos meus queridos pais RUBENS e RÔMULA
pelo incentivo, apoio e dedicação du-
rante minha formação, A MINHA GRATIDÃO

AGRADECIMENTOS

A FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA, DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, na pessoa de seu Diretor, Prof. Dr. RENATO ROBERTO BIRAL, e ao Diretor Associado, Prof. Dr. OSVALDO DI HIPÓLITO JUNIOR.

Ao Prof. Dr. EVERALDO OLIVEIRA DOS SANTOS BACCHI, Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Ortodontia desta Faculdade, pela oportunidade concedida e colaboração em nossa formação especializada.

À Profa. Dra. NORMA SABINO PRATES, pela enorme dedicação à nossa formação profissional e amizade demonstrada ao longo do Curso, a minha especial gratidão.

À Profa. Dra. MARIA HELENA CASTRO DE ALMEIDA, pela formação especializada e dedicação.

Ao Prof. Dr. DARCY FLAVIO NOUER, pela formação especializada e dedicação.

À Profa. VANIA CELIA VIEIRA DE SIQUEIRA, pela demonstração de amizade e colaboração ao longo do Curso.

Aos alunos do Curso de Doutorado em Ortodontia desta Faculdade, pelas constantes demonstrações de amizade e ajuda preciosa.

Aos colegas do Curso de Pós-Graduação em Ortodontia desta Faculdade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), do Ministério da Educação e Cultura, pela concessão de uma bolsa de estudos.

Aos Profs. do Curso de Pós-Graduação em Ortodontia, pela indicação para o cargo de Monitor II e à Universidade Estadual de Campinas, pela concessão de uma bolsa de estudos.

À Prof^a. Dra. MARINEIA DE LARA HADDAD, do Departamento de Entomologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", pela elaboração da análise estatística.

Aos Funcionários, PEDRO SÉRGIO JUSTINO, do Centro de Recursos Audio-visuais e ADÁRIO CANGIANI, da Área de Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, pelo auxílio prestado.

À Sr^a. SUELI DUARTE DE OLIVEIRA SOLIANI, Bibliotecária da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, pela correção das referências bibliográficas.

Aos Funcionários do Departamento de Ortodontia da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, Sras. MARIA SCAGNOLATO FERNANDES DA SILVA e JOSELENA CASATI LODI e Sr. PEDRO DE OLIVEIRA MIGUEL, pelo auxílio prestado.

À Sra. MARIA APARECIDA SIMONI, pelo trabalho de digitação desta tese em computador.

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

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	02
2 - REVISÃO DA LITERATURA	08
3 - PROPOSIÇÃO	30
4 - MATERIAIS E MÉTODO	32
5 - RESULTADOS	43
6 - DISCUSSÃO	49
7 - CONCLUSÃO	53
8 - RESUMO	55
9 - SUMMARY	57
10 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

1 - INTRODUÇÃO

1 - INTRODUÇÃO

Soldagem é o processo pelo qual duas peças metálicas podem ser unidas intimamente. "A soldagem ortodôntica é mais do que uma simples união de dois pedaços de metal; é sua união em uma relação segura para servir a um propósito específico"³⁴.

Já por volta de 2500 a.C. eram praticadas algumas formas primitivas de soldagem. Registros revelam que a prata foi provavelmente extraída nas ilhas do Mar Egeu e com o passar dos anos surgiram inúmeros objetos em ouro e prata confeccionados por artistas conhecidos como ourives e prateiros. A fase mecânica da Odontologia teria sido preocupante, não fosse a habilidade do operador em desempenhar muitos atos de soldagem quase similares ao trabalho desses artistas (PARKER⁴⁰, 1960).

De acordo com BRADEL⁹, em 1934, inicialmente os dispositivos ortodônticos eram construídos em ouro ou prata. Em, 1887, Angle introduziu as ligas de níquel-prata. Por volta de 1900, surgiram as ligas complexas de ouro, platina, prata e cobre de elevada resistência como um novo material para a ortodontia. O emprego desse novo material foi limitado inicialmente pela boa aceitação e baixo custo das ligas até então empregadas. Contudo, a evolução da ciência ortodôntica começava a exigir a confecção de aparelhos menores e mais delicados à base de ligas de maior resistência e elasticidade. Angle, em 1912, aprovou o uso dessas ligas de metais nobres para construção de seus aparelhos.

Em torno de 1929, foi introduzido o aço inoxidável 18/8 na forma de fio. A sua descoberta e trefilação ocorreram na Alemanha e Inglaterra. O baixo preço desse material quando comparado ao dos metais nobres até então empregados, fez das ligas de cromo e níquel um substituto atraente. (CUTLER¹⁶, 1932)

Segundo MOGLER e HOLESTINE³², em 1935, para as ligas de cromo alcançarem um lugar permanente na Ortodontia deverão ter outras recomendações além do seu preço. O aço inoxidável austenítico mostrou possuir propriedades físicas e mecânicas desejáveis; não são tóxicos e são resistentes à corrosão. Também possuem a necessária ductilidade, resistência, dureza e resiliência. Tais propriedades permitem o uso de fios de menor diâmetro e ajustes menos freqüentes do aparelho.

A introdução do aço inoxidável foi seguida pelo desenvolvimento e aprimoramento de métodos para trabalhar, soldar e explorar as propriedades físicas desse novo material para construção de aparelhos ortodônticos (FRIEL¹⁷, 1933).

Mais recentemente surgiram outras ligas com fins ortodônticos numa tentativa de promover alterações nas propriedades ortodônticas dos metais básicos. Dentre essas podemos destacar os aços inoxidáveis estabilizados, que são obtidos pela adição de titânio. Assim, a precipitação de carbeto de cromo durante a soldagem será impedida e o fio não perderá a sua resistência à corrosão quando aquecido. Também surgiram ligas de cobalto-cromo-níquel, conhecidas como Elgiloy. Apresentam elevada resistência às manchas e corrosão em boca. Podem ser soldadas da mesma forma que o aço inoxidável 18/8 (SKINNER⁵³, 1984). Posteriormente surgiram

as ligas de níquel-titânio, conhecidas como Nitinol. Essas ligas proporcionam forças ortodônticas muito pequenas quando comparadas com aparelhos de aço inoxidável. Os fios de Nitinol devem ser unidos por dobras mecânicas, pois a liga não pode ser soldada com solda nem mesmo eletricamente. Também encontramos ligas à base de Betatitânio, as quais apresentam um equilíbrio de propriedades excelente, incluindo alta elasticidade, baixa dureza e grande formabilidade. A combinação dessas propriedades permite a confecção de aparelhos ortodônticos que podem manter grandes ativações elásticas (BRUSTONE e GOLDBERG¹², 1980). Uniões clinicamente satisfatórias podem ser fabricadas por soldagem elétrica sem diminuição apreciável da resistência, ductilidade e resiliência. Tais uniões não precisam ser reforçadas por solda (NELSON et al.³⁷, 1987).

Apesar da grande variedade de ligas existentes, o aço inoxidável 18/8 é o material mais amplamente usado na construção de aparelhos ortodônticos no momento atual (ADAMS⁴, 1987). A liga de aço inoxidável 302 é o tipo básico, contendo 18% de cromo, 8% de níquel e 0,15% de carbono. O tipo 304 aproxima-se do 302 quanto a composição, sendo a diferença principal o conteúdo de carbono ser de 0,08%.

Embora o aço inoxidável tenha apresentado inúmeras vantagens quando comparado às ligas de metais nobres, um dos maiores obstáculos para sua completa aceitação foi a dificuldade encontrada no momento da soldagem. As palavras de BRADEL⁹, em 1934, podem melhor ilustrar esse problema. "Alguns anos atrás um novo material chamado aço inoxidável foi introduzido para confecção de aparelhos ortodônticos. Minha experiência com este material tem sido

muito limitada, mas sou da opinião que suas propriedades elásticas inferiores e dificuldades encontradas na soldagem não compensarão o seu baixo custo e seu uso será limitado a certos tipos de aparelhos". A ausência de um método de soldagem seguro impediu a difusão do uso do aço inoxidável por muitos anos, mas certas ligas de cromo mereceriam uma séria consideração do ortodontista pelas suas propriedades, independente do seu baixo custo. "A soldagem desse material é bem sucedida e praticável se usarmos uma técnica cuidadosa, meticulosa e aprovada" (MOGLER e HOLESTINE³², 1935).

A introdução de fluxos à base de fluoretos por volta de 1931 tornou possível a soldagem do aço com maior sucesso. O fluxo destinado à soldagem de aço inoxidável, além dos agentes de limpeza e redutores, contém um fluoreto para dissolver a película passivadora proporcionada pelo cromo e fornecer uma camada de proteção que evitará a oxidação da solda e partes a serem soldadas. Se a película passivadora proporcionada pelo cromo não for dissolvida pelo fluxo, a solda não fluirá no metal (SKINNER³³, 1964).

Na tentativa de superar o problema da soldagem do aço inoxidável, os defensores do uso das ligas à base de cromo substituíram as soldas de alta fusão que até então eram usadas por soldas de baixa fusão conhecidas por soldas eutéticas. Esse tipo de solda necessitava muito pouco calor da chama e provou ser bastante satisfatório. Com as soldas de alta fusão ou o fio sofria recristalização (amolecimento excessivo do fio provocado pela alta temperatura) ou corroía e fraturava na junção soldada. O efeito enfraquecedor do calor sobre o aço inoxidável 18/8 exige, portan-

to, o uso de soldas de baixa fusão (PARKER⁴⁰, 1960). As soldas de prata são, essencialmente, ligas de prata, cobre e zinco, às quais podem ser adicionados elementos tais como estanho, índio, cádmio ou fósforo para diminuir a temperatura de fusão e melhorar a soldabilidade (RASMUSSEN⁴⁴, 1980). As temperaturas de soldagem 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. Esta é uma característica importante da solda para a soldagem à mão livre, normalmente praticada pelo ortodontista. Na soldagem à mão livre, a solda deve endurecer prontamente quando o trabalho for removido da chama (SKINNER⁵⁹, 1984).

As observações feitas anteriormente ressaltam a importância do processo de soldagem à chama e a necessidade de praticá-la criteriosa e cientificamente. Clinicamente, rupturas de partes soldadas são frequentes, principalmente no caso da aplicação de forças extra-buciais de tração-alta, apoiadas em ganchos soldados ao arco. Por estas razões, julgamos interessante realizar o presente estudo.

2 - REVISÃO DA LITERATURA

2 - REVISÃO DA LITERATURA

Consultando a literatura ao nosso alcance, pudemos constatar que existem poucos estudos sobre soldagem em ortodontia.

PLEASURE⁴³, em 1929, realizou o primeiro estudo sobre aço inoxidável e ligas relacionadas ao mesmo, onde aborda aspectos concernentes à composição, propriedades e uso desses materiais em Odontologia.

COLEMAN⁴⁵, em 1933, observou alguns efeitos da soldagem sobre ligas utilizadas em ortodontia e concluiu que a soldagem sempre envolveria aquecimento das partes a serem unidas. Com a finalidade de entender os efeitos da soldagem, seria necessário entender o efeito das altas temperaturas sobre os materiais soldados. Através do exame da microestrutura dessas ligas, verificou-se que ocorriam variações na estrutura e, conseqüentemente, mudanças nas propriedades físicas causadas pelo superaquecimento durante a soldagem. O superaquecimento seria uma das principais causas da fratura dos fios. Temperaturas excessivas tenderiam a amolecer e enfraquecer a liga, portanto diminuindo a ductilidade. Dever-se-ia evitar temperaturas maiores do que a necessária para a fusão da solda, manter as superfícies limpas através de um fluxo adequado e usar uma chama redutora ao invés da oxidante para um melhor resultado final.

No ano seguinte, BENTON e JONES⁶, publicaram um trabalho sobre a aplicação das ligas de cromo em ortodontia, no qual focalizaram os princípios técnicos envolvidos na construção de aparelhos ortodônticos.

BRADÉL⁹, em 1934, comentou o lançamento do aço inoxidável. "A minha experiência com esse material é muito limitada, mas eu sou da opinião que suas propriedades inferiores e a dificuldade na soldagem não compensarão o seu baixo custo e o seu uso será limitado a certos tipos de aparelhos".

No mesmo ano, BRUSSE e CARMAN¹¹, em seu trabalho "Liga de Cromo" apresentaram uma série de informações com base no uso desse material em suas atividades clínicas. Referiram-se particularmente ao aço 18/8, o mais comum de todos os aços de cromo. Esse material permitiria ampla possibilidade de aplicações em razão de suas qualidades elásticas e elevada resistência à corrosão. Os autores salientaram que seria imperativo que os fundentes possuíssem fluoreto de potássio em sua composição.

KADESKY²⁵, em 1935, também achou que a soldagem do aço inoxidável era satisfatória.

No mesmo ano, MOGLER e HOLESTINE³², considerou que o aço inoxidável superava as ligas de ouro em vários aspectos além de seu custo muito menor. O aço inoxidável possuía maior resistência à tração, era extremamente duro e apresentava maior resistência à

fadiga. Essas propriedades permitiriam o uso de fios de menor diâmetro e ajustes menos frequentes do aparelho. Além disso, não mudariam de coloração na boca e seriam facilmente tolerados pelos tecidos. "Apesar dessas propriedades físicas superiores e o custo extremamente baixo, há uma propriedade que tem mantido o aço inoxidável fora da ortodontia: a dificuldade com que esses materiais são soldados". Os autores realizaram experimentos por um período aproximado de um ano e meio com um fio à base de cromo conhecido como Kroloy. Este fio foi soldado com a solda Kroloy. Os resultados clínicos com esse material foram satisfatórios. Os aparelhos não fraturaram nas soldas e as quebras foram muito menos frequentes do que quando os fios à base de ligas de metais nobres eram usados. O autor também descreveu em detalhes os cuidados que deveriam ser tomados durante a soldagem, onde salientou que o excesso de calor recristalizaria o fio. A soldagem do aço inoxidável seria bem sucedida e praticável desde que fosse empregada uma técnica cuidadosa.

No entanto, SIMON⁵², em 1935, e SIMON⁵¹, em 1936, consideraram que seria impossível soldar o aço inoxidável (soldagem autógena ou soldagem à chama) sem destruir suas propriedades desejáveis e descreveram técnicas para fabricação de bandas, arcos e molas auxiliares sem o uso de soldagem à chama ou soldagem elétrica.

Já VOSMIK e TAYLOR⁵⁵, em 1936, testaram três soldas diferentes e concluíram que a soldagem poderia ser realizada sem deterioração excessiva nas propriedades do fio. A soldagem foi executada dentro de um limite de 700-750°C e completada em um curto período de tempo.

YOST⁵⁶, em 1936, publicou um trabalho sobre as inúmeras vantagens das ligas de cromo-níquel frente às ligas de ouro. Salientou que as ligas de cromo-níquel possuíam grande resistência e flexibilidade quando apresentadas na forma de fio ortodôntico. O autor descreveu o uso de solda-ponto (soldagem autógena) para fixação de dispositivos (braquetes e tubos) aos anéis ortodônticos. Segundo o autor, talvez a maior dificuldade no uso dessas ligas fosse a técnica de soldagem (soldagem heterógena). A soldagem das ligas de cromo-níquel poderia ser realizada em um tempo menor que o exigido para soldar as ligas de ouro porque as ligas de cromo-níquel seriam mau condutoras de calor e, portanto, o calor ficaria confinado à área aquecida e a solda fluiria mais rapidamente. Com sua experiência clínica, o autor concluiu que seria melhor usar o mínimo de calor possível. Um ligeiro amolecimento do fio proveniente da soldagem seria facilmente superado retemperando-o através de vibrações durante o polimento com discos de feltro ou em forma de escova. O autor concluiu o trabalho salientando que as ligas de cromo-níquel eram um material ortodôntico por excelência, independentemente de seu baixo custo.

ADAMSON², em 1937, concluiu que o aço inoxidável não deveria ser soldado em temperaturas acima de 500-550°C, caso contrário sofreria recristalização e perderia sua têmpera.

Nesse mesmo ano, BARR⁵ abordou aspectos relacionados à soldagem à chama e elétrica e as considerou condutas simples e favorecidas pela baixa condutividade térmica e elevada resistência elétrica das ligas de cromo-níquel.

CARMAN¹⁴, em 1938, estudando o aço inoxidável 18/8 constatou a possibilidade de recristalização desse metal quando aquecido a uma temperatura na faixa de 537,8-871°C.

Segundo GREEN²², em 1948, as virtudes do aço inoxidável e sua aplicação em ortodontia já eram há muito conhecidas. Somente após refinamentos na técnica de soldagem foi possível o seu uso de forma mais generalizada. Por possuir maior resistência e elasticidade, poder-se-ia usar fios com um diâmetro menor do que aquele utilizado nas técnicas que fazem uso de ligas de metais preciosos. O autor recomendou unir molas auxiliares ao arco através de soldagem à chama e salientou tratar-se de um procedimento mais prático do que a soldagem elétrica. Para a soldagem do aço inoxidável, o fluxo deveria ser aplicado livremente nas duas extremidades a serem soldadas. O autor sugeriu um fluxo composto por uma parte de fluoreto de potássio e meia parte de borato de sódio. A solda recomendada foi a solda de prata, que fluiria mais facilmente. Dever-se-ia aplicar um pouco de solda em cada uma das

extremidades dos fios a serem soldados e então esses fios seriam aquecidos. A união seria física, ao invés de química, como ocorria com as ligas à base de ouro. Os fios seriam mantidos próximos do ápice da chama a fim de evitar superaquecimento e oxidação. Segundo o autor, qualquer temperatura perdida por um eventual superaquecimento seria restaurada através de uma torção de meia volta no longo eixo do fio. O autor concluiu o trabalho salientando que o aço inoxidável era um material excelente para ser usado em ortodontia.

FUNK¹⁸, em 1951, afirmou que o objetivo de sua pesquisa não seria pôr fim a controvérsias existentes entre o uso de metais nobres e aço inoxidável, mas tentar dar resposta a uma série de indagações sobre o tratamento térmico do aço inoxidável. Os melhores resultados foram obtidos com a relação tempo-temperatura de três minutos e 454,5°C. O autor verificou também que os fios de menor diâmetro absorviam calor mais rapidamente em relação aos de diâmetros maiores.

Nesse mesmo ano, MOLLIN²⁸ observou que o fio de aço inoxidável após a soldagem ficava frágil e fraturava facilmente.

No ano seguinte, BACKOFEN e GALES³ realizaram um trabalho com a finalidade de avaliar o efeito do tratamento térmico a baixas temperaturas sobre os fios redondos e retangulares de aço inoxidável. Os experimentos mostraram que o tratamento térmico trazia mudanças no comportamento mecânico e, em particular, causa

va um marcado aumento na resistência elástica. Concluíram que o efeito máximo do tratamento térmico seria obtido a temperaturas de 398,1°C - 437,1°C durante o tempo de 10 minutos.

PERLOW⁴¹, em 1954, descreveu o uso do aço inoxidável para ganchos soldados e "stops".

KEMLER²⁷, em 1956, utilizando fios ortodônticos de aço inoxidável e de níquel-cromo realizou um estudo visando avaliar os efeitos do tratamento térmico a baixas temperaturas. O tratamento térmico causou um aumento no limite proporcional, módulo de elasticidade e módulo de resiliência. O limite proporcional e o módulo de resiliência diminuíram em altas temperaturas, ao passo que o módulo de elasticidade continuou a aumentar. As mudanças observadas nas propriedades foram provavelmente devido à liberação de tensões internas incorporadas no fio durante o trabalho mecânico a frio.

RICHMAN⁴⁸, em 1956, publicou um trabalho onde se preocupou em descrever as mudanças que ocorriam na estrutura do metal no momento da confecção de um aparelho ortodôntico, dando uma atenção especial à soldagem. A ruptura de bandas e arcos seriam causadas pelo superaquecimento durante a soldagem e o efeito de enfraquecimento do calor sobre o aço inoxidável 18/8 exigiria o uso de soldas de prata de baixa fusão. A união entre o fio e a solda poderia ser considerada uma união mecânica. Em contraste, a união do fio de liga de ouro e solda resultaria em uma superfície

de fusão real. O fio de aço inoxidável deveria receber tão pouco calor quanto possível, porque quando submetido a temperaturas elevadas sofreria recristalização. Isso resultaria no enfraquecimento e redução da elasticidade. Uma união seria mais satisfatória quando o fio mantivesse a sua estrutura fibrosa original.

Segundo RYGE⁴⁰, em 1958, vários fatores influenciariam a resistência de uma união soldada: composição da liga, contaminação da superfície, distância entre as partes a serem soldadas e forma e dimensão da área de contato.

No ano seguinte, BIEN⁸ salientou que o aumento do uso das ligas inoxidáveis em ortodontia combinado com a instabilidade das uniões soldadas exigiam que fossem feitos testes e avaliações das propriedades físicas. Acreditava-se que a resistência a corrosão das ligas fosse resultado de uma fina e contínua camada superficial de óxido formada por exposição à atmosfera ou a certas condições de oxidação. Durante a soldagem essa película seria removida, ou rompia-se a sua continuidade. O autor sugeriu que, sempre que possível, as ligas de cromo-níquel soldadas fossem escovadas mecanicamente, limpas, secas e deixadas expostas à atmosfera para que fosse restaurada a continuidade da camada superficial de óxido a fim de reduzir a corrosão.

PARKER⁴⁰, em 1960, comentou as dificuldades da soldagem com ligas de cromo. O autor pretendia introduzir uma técnica de soldagem ortodôntica de aplicação rápida e prática para ouro e aço inoxidável. Os experimentos foram feitos utilizando-se uma máquina para soldagem elétrica da Rocky Mountain.

De acordo com WILKINSON⁵⁰, em 1960, os avanços na metalografia ajudaram consideravelmente aos ortodontistas. Provavelmente a maior vantagem tenha sido a introdução do aço inoxidável austenítico. Esse material não perderia o brilho na boca, possuiria maior resistência e módulo de elasticidade do que os metais preciosos e poderia ser produzido como uma banda macia, um fio de ligadura macio ou um fio endurecido para confecção de arcos. A propriedade de maior resistência possibilitou a construção de aparelhos de tamanho mais reduzido. Na prática clínica haveria dois problemas maiores ligados com o manuseio desses fios. Primeiro, eles teriam que ser contornados e, já que a forma seria realizada por flexão, o fio estaria sujeito a uma futura deformação plástica e se as curvas fossem muito severas, um fio duro fraturaria. Secundariamente, existiria o problema da ligação, uma vez que a maior parte das técnicas exigiriam união de fios. O arco poderia carregar molas auxiliares, ganchos ou "stops", e, em alguns casos, o próprio arco poderia ser de fios de diferentes diâmetros. A maioria dos ortodontistas ligaria esses fios por soldagem, utilizando uma solda à base de prata de baixa fusão. Outros utilizariam a elevada resistência elétrica do aço inoxidável e fariam a soldagem autógena (soldagem elétrica). Sabia-se que os fios pode-

riam ser temperados num intervalo de calor de 260-460°C e que temperaturas mais altas permitiriam recristalização do metal. Os grãos de fibras longas se formariam novamente em grãos equiaxiais ásperos e o fio perderia as propriedades desenvolvidas pela deformação plástica durante a trefilação. Esse processo de amaciamento seria relacionado à temperatura e ao tempo. O fio seria amolecido em poucos segundos se aquecido até o rubro. O amaciamento do fio começaria em torno dos 500°C. As temperaturas necessárias para ambas as soldagens (soldagem autógena e heterógena) estariam acima daquelas usadas para temperar, assim algum grau de amaciamento precisaria ser esperado em volta da ligação.

Segundo WUNDERLY⁵⁶, em 1960, os fracassos na soldagem do aço inoxidável seriam raros, desde que fossem usados materiais corretos e uma técnica satisfatória fosse empregada.

WILKINSON⁵⁷, em 1962, fez um trabalho experimental com a finalidade de estudar algumas das variáveis associadas ao processo de soldagem e determinar o efeito dessas variáveis no grau e extensão do amolecimento produzido em fios de aço inoxidável. As variáveis consideradas pelo autor foram: 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 da Unitek n° 6 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 fornecidos pela A. J. Wilcock; c) soldagem de fio de liga à base de ouro endurecido ao arco de aço inoxidável

utilizando solda da Unitek n° 6 e fluxo Unitek; d) soldagem de fio de liga à base de ouro endurecido ao arco de aço inoxidável utilizando solda fornecida pela A. J. Wilcock. As soldagens foram feitas por três operadores diferentes a fim de observar as variações individuais. Cada operador realizou seis soldagens para cada combinação descrita acima tendo o máximo cuidado para preservar a têmpera do fio de aço inoxidável. As soldagens foram montadas em resina acrílica e polidas para estudo metalográfico. Foi determinada a dureza Vickers em intervalos de 0,5 mm ao longo do fio. Também foram realizadas soldagens variando-se a fonte de calor. Um operador realizou soldagens utilizando duas chamas gás-ar ("blow-pipe"), enquanto que o outro utilizou uma pequena chama de gás puro. O autor 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 única de gás-ar foi a fonte de calor mais satisfatória.

Para HOWE²³, em 1968, a grande aceitação clínica do aço inoxidável seria devida a suas propriedades físicas e mecânicas desejáveis. A resistência à corrosão, ductilidade, resistência, dureza e resiliência preencheram as exigências especializadas dos fios ortodônticos.

GARDINER e AAMODT⁴⁰, em 1969, realizaram um experimento onde compararam diversos métodos de soldagem: a) soldagem diretamente em uma chama gás-ar; b) diretamente em uma chama à gás; c) indiretamente com um fio intermediário de latão aquecido em uma chama gás-ar; d) indiretamente com um fio intermediário aquecido eletricamente; e) indiretamente com uma ponta de carbono aquecida eletricamente. Os autores utilizaram fio de aço inoxidável 18/8 de 1 mm de diâmetro, solda à base de prata e fluxo contendo fluoreto de potássio. Os fios foram fixados em um suporte especialmente construído para esse fim, que permitia padronizar a distância entre as partes. Dos cinco métodos estudados, as uniões mais fortes foram produzidas pelo método c (fio intermediário de latão aquecido por uma chama gás-ar) e as mais fracas pelo método e (ponta de carbono aquecida eletricamente). A resistência à tração média encontrada foi de 45,81 Kg para o método c e 28,30 Kg para o método e. O menor grau de amolecimento do aço inoxidável foi produzido pelo método c e o maior pelo método d.

PEYTON⁴², em 1971, salientou que a observação dos princípios adequados no uso de soldas seria tão importante quanto a sua seleção. A soldagem precisaria ser realizada com cuidado para que não houvesse recristalização do fio. A maior recristalização ocorreria próximo à solda e o fio romper-se-ia em serviço na área adjacente a essa. O correto seria utilizar uma chama pequena no menor intervalo de tempo possível. O excesso de fluxo seria tão indesejável quanto a sua falta.

LAUTENSCHLAGER et al.²⁰, em 1974, realizaram um experimento com a finalidade de estudar alguns dos fatores que determinam a resistência de uniões soldadas. Os fatores examinados foram: o tamanho da união soldada (razão raio/espessura da união), taxa de deformação e o grau de perfeição da interface entre a solda e o metal. Seus achados indicaram que a quantidade de porosidade na junção seria responsável pela diminuição da resistência da união. Os autores acrescentaram ainda que quando a distância a ser ocupada pela solda fosse muito reduzida (menos do que 0,1 mm), produzindo uniões extremamente finas, haveria o risco da soldagem tornar-se muito porosa, portanto, menos resistente.

Segundo MOYERS³⁴, em 1979, a soldagem deveria ser realizada sem alteração apreciável das qualidades dos metais que se unem. Um bico de Bunsen especial para ortodontia seria o dispositivo mais indicado para soldagem ortodôntica. Para soldar o aço inoxidável seria necessário um fundente à base de fluoreto. Não haveria união verdadeira entre o aço inoxidável e a solda, mas sim uma união mecânica íntima. A soldagem do aço inoxidável exigiria um pouco mais de solda e uma chama ligeiramente mais fria do que a soldagem de ligas de ouro.

RASMUSSEN et al.⁴⁵, em 1979, realizaram um experimento com a finalidade de determinar a resistência à tração de junções soldadas em três distâncias diferentes. Foram usadas duas ligas odontológicas: uma liga à base de ouro tipo III e uma liga à base de ouro-paládio. A liga tipo III foi unida com a solda à base de

ouro recomendada (temperatura de fusão: 804,44°C). A liga ouro-paládio foi unida usando uma solda recomendada para soldagem pós-cerâmica (temperatura de fusão: 771,11°C). Foram usadas distâncias de 0,13 mm, 0,50 mm e 1 mm com cada técnica de soldagem. Todos os corpos de prova foram torneados até atingirem um diâmetro uniforme, e então foram tracionados em uma máquina para ensaio de tração marca Instron a uma velocidade de 1,3 mm/minuto. Os autores concluíram que houve um aumento significativo na resistência da liga à base de ouro tipo III quando a distância foi aumentada. Houve uma tendência, sem significância estatística, de junções mais fortes com a liga de ouro-paládio unida por soldagem pré-cerâmica em distâncias pequenas e quando a liga de ouro-paládio foi unida por soldagem pós-cerâmica as uniões mais fortes foram em distâncias grandes. Essas tendências observadas puderam ser parcialmente explicadas às custas de fatores como a tensão superficial da solda (quanto maior a temperatura de fusão da solda menor a sua tensão superficial), inclusão de fluxo e/ou falhas e espessura da união (o efeito da tensão triaxial poderia aumentar a resistência da união).

ROGERS⁴⁸, em 1979, com a finalidade de esclarecer se o que ocorre na interface da junção aço inoxidável e solda de prata seria uma união mecânica ou uma fusão, realizou um estudo metalográfico e não encontrou nenhuma evidência de fusão no intervalo de resolução do instrumento usado. A resistência à tração da união soldada poderia exceder a da própria solda de prata.

BROWN et al.¹⁰, em 1961, realizaram um estudo com o propósito de comparar uniões com solda de prata produzidas por cinco técnicas de soldagem diferentes. Os métodos comparados foram: 1) chama de hidrogênio-oxigênio ("Hydroflame II"); 2) chama convencional gás-ar ("blow-pipe"); 3) soldagem elétrica; 4) fio de latão intermediário aquecido pelo "Hydroflame"; 5) fio de latão intermediário aquecido eletricamente. Foram produzidas quatorze ligações de solda com cada método usando fios de aço inoxidável de 1,2 mm de diâmetro. Todas as ligações foram testadas quanto a sua resistência à tração. As ligações fraturadas foram submetidas a avaliação por microscopia eletrônica de varredura. A média da resistência à tração dos cinco grupos foram: 1) 61,053 kg; 2) 60,962 kg; 3) 54,431 kg; 4) 52,843 kg; 5) 43,408 kg. Não foi encontrada diferença significativa entre as médias dos grupos 1, 2, 3 e 4. Contudo, as uniões dos grupos 1 e 2 apresentaram resistência à tração significativamente (0,05) mais alta do que as do grupo 5. A análise através da microscopia eletrônica de varredura revelou fratura intergranular e intragranular nas uniões soldadas. As uniões mais fortes mostraram melhor umedecimento da solda com o aço e fratura do tipo intragranular. Fratura intragranular indicou ductilidade dentro da solda antes do rompimento. Ligações mais fracas mostraram maior evidência de fratura intergranular e a presença de vácuo e fluxo. As ligações dos grupos 1 e 2 apresentaram melhor umedecimento da superfície e maior evidência de fratura intragranular. A chama hidrogênio-oxigênio e a chama gás-ar produziram uniões de resistência à tração e padrões de fratura semelhantes.

Neste mesmo ano, MUELLER³⁵, analisando as mudanças superficiais encontradas em uma união soldada Elgiloy-solda de prata após a imersão em peróxido de hidrogênio a 1% e em saliva artificial observou, além da degradação da própria solda, a presença de produtos de corrosão. Este comportamento poderia ser devido à formação de pares galvânicos entre a solda e a liga, ao efeito do aquecimento excessivo e prolongado e à incorporação de inclusões que foram observadas microscopicamente na região interfacial das uniões soldadas. Essas inclusões poderiam ser devido a óxidos formados durante os procedimentos de soldagem, à volatilização de componentes de baixa fusão e a resíduos de fluxo.

BERGE et al.⁷, em 1982, realizaram um estudo "in vitro" com o objetivo de avaliar a liberação de elementos metálicos durante a corrosão desencadeada por corrente galvânica entre fios ortodônticos (aço inoxidável ou Elgiloy) e solda de prata em solução de cloreto de sódio a 0,9%. Conforme o resultado esperado pelos autores, a solda foi mais severamente atacada, com liberação substancial de cobre, zinco, cádmio e alguma prata. Devido à citotoxicidade do cádmio, os autores sugeriram que a sua inclusão na solda fosse suspensa. Os fios de aço inoxidável mostraram-se mais afetados que o Elgiloy, porque liberaram ferro.

MUELLER³⁶, em 1982, estudou o efeito corrosivo de bochechos e agentes de limpeza bucais sobre a solda utilizada para unir o aço inoxidável em aparelhos ortodônticos. Cloretos, fluoretos e ácidos presentes naquelas soluções produziram corrosão, algumas vezes severa, em função da oxidação do cobre na liga e ataque do zinco. Outros componentes da solda também foram parcialmente atacados. Poderia haver formação de corrente galvânica, o que intensificaria os efeitos da corrosão sobre a solda. A severidade do ataque variou de produto para produto, assim como suas formulações variaram consideravelmente.

BARENIE et al.⁴, em 1983, estudaram uniões soldadas (fios ortodônticos de aço inoxidável e solda de prata) obtidos por uma chama convencional gás/ar e por um aparelho no qual hidrogênio e oxigênio eram gerados eletroliticamente. Operadores inexperientes (estudantes) acharam o segundo aparelho mais fácil de usar e obtiveram melhores uniões, embora a porosidade e oxidação superficial foram similares. Os autores não testaram se essas diferenças seriam mantidas em mãos de técnicos experientes.

De acordo com MARSHALL e GOODKIND³¹, em 1984, conforme o fornecido pela Jeneric Gold Co., as soldas de prata ofereceriam vantagens sobre as soldas à base de ouro para a soldagem de ligas de níquel-cromo: a) a solda de prata exibiria bom escoamento e com características de fluidez aumentada largamente devido ao alto conteúdo de Cu (20%); b) o zinco estaria presente em maior concentração (15%) do que em soldas à base de ouro. O zinco auxilia-

ria na remoção de óxidos durante a soldagem, e, assim, as exigências do fluxo não seriam tão severas. Contudo, uma nota de precaução seria aconselhável, por causa da ausência de investigações in vivo, a longo prazo, a respeito da corrosão da prata.

KAYLAKIE e BRUKL²⁵, em 1985, realizaram um estudo com a finalidade de (1) determinar e comparar a máxima resistência à tração e examinar os locais de fratura (solda, metal ou interface solda-metal) de seis ligas odontológicas não nobres existentes no mercado unidas pela técnica de pré-soldagem (soldagem pré-cerâmica) recomendada por cada fabricante e duas dessas ligas também foram unidas pela técnica de soldagem pós-cerâmica; (2) observar os procedimentos de soldagem e sugerir melhorias na técnica; e (3) descrever um método radiográfico para avaliação de uniões soldadas. Todas as ligas e soldas puderam ser unidas com sucesso, mas houve dificuldade considerável em obter uniões confiáveis, livres de defeitos superficiais ou detectados radiograficamente, embora tenham sido realizadas por um operador experimentado conforme as instruções do fabricante. As superfícies de fratura dos espécimes examinados com microscópio metalográfico apresentaram porosidade e inclusão de impurezas na superfície de fratura. Quanto maior a porosidade e/ou inclusões, menor a resistência. A utilização de radiografias foi útil para detectar defeitos internos nas junções soldadas. Para reduzir ou eliminar falhas nas junções soldadas e melhorar a resistência dessas uniões, bem como impedir a formação de óxidos, as soldagens deveriam ser executadas em fornos a vácuo.

Segundo O'TOOLE et al.³⁰, em 1985, a resistência à tração de uniões soldadas com solda à base de prata usadas na confecção de aparelhos ortodônticos seria crítica quanto ao seu sucesso. Dois métodos básicos de soldagem foram relatados: o método tradicional de chama gás-ar ("blow-pipe") e uma técnica elétrica com uma ponta de carbono usada para aplicar calor. Este estudo foi realizado com o objetivo de comparar a resistência à tração de uniões soldadas com solda à base de prata entre um fio de aço inoxidável de 0,91 mm de diâmetro e uma lâmina de aço de 19,1 x 6,4 x 0,13 mm. A solda utilizada foi uma solda de prata de baixa fusão de 0,64 mm de diâmetro fornecida pela Unitek Corporation e o fluxo utilizado foi o J-41 fornecido pela Rocky Mountain. Foram testadas a resistência à tração de 132 uniões soldadas, cobertas e parcialmente cobertas por solda, de extensão de 2 e 4 mm de comprimento, produzidas por três técnicas: chama de hidrogênio-oxigênio gerada eletroquimicamente ("Hydroflame"), maçarico convencional gás-ar ("blow-pipe") e soldagem elétrica. Os autores constataram que as uniões com o fio totalmente coberto pela solda apresentavam maior resistência, independentemente da técnica utilizada ou da extensão da união soldada. Isso provavelmente aconteceu devido à maior ancoragem do fio na solda. As uniões mais fortes foram obtidas com a chama tradicional gás-ar, nas junções totalmente cobertas. A união coberta de 4 mm de extensão foi a junção mais forte e deveria ser utilizada sempre que possível. Em situações onde houvesse comprometimento da estética ou limitação de espaço, dois milímetros de união soldada coberta já seriam suficientes.

Para GOMES et al.²¹, em 1987, soldagem seria um processo de união de dois metais através da fusão de uma liga intermediária com ponto de fusão inferior. Para se conseguir uniões soldadas mais resistentes dever-se-ia utilizar uma técnica de soldagem dentro do forno, onde se conseguiria um melhor controle do calor e com menos riscos de oxidação e formação de porosidades na região da junção.

KHAYAT e NICHOLLS²⁸, em 1987, realizaram um experimento para comparar a resistência à tração de uniões soldadas de uma liga contendo 72% de níquel e 13% de cromo obtidas com diferentes soldas e fluxos e distâncias variáveis entre as partes. Os autores concluíram que seria possível produzir uniões com elevada resistência. A solda à base de prata (57 Ag 21 Cu) foi afetada pelas variáveis estudadas, embora a resistência tenha sido adequada.

SOBIERALSKI et al.⁵⁴, em 1987, concluíram que seria possível produzir uniões soldadas fortes entre ligas de níquel-cromo e solda à base de ouro. Os autores atribuíram o sucesso ao controle do ambiente na junção através da seleção adequada do fluxo. As uniões com maior resistência foram aquelas que apresentaram menos defeitos.

A exemplo do que ocorre em uniões entre aço inoxidável e solda de prata, CARDOSO et al.¹³, em 1988, avaliando a influência da soldagem na resistência à tração de uma liga não nobre à base

de cobre e alumínio encontraram microporosidades, as quais reduziriam a resistência à tração da união soldada. Os autores salientaram a dificuldade na eliminação dessas porosidades nos procedimentos de soldagem.

SHIGETO et al.⁵⁰, em 1989, realizaram um estudo com a finalidade de avaliar a resistência à corrosão de duas soldas odontológicas em contato com seis ligas de níquel-cromo usando métodos eletroquímicos. Ligas com alto nível de cromo contendo molibdênio apresentaram maior resistência à dissolução. Ligas com baixe conteúdo de cromo unidas por solda à base de prata apresentaram corrente galvânica e liberação substancial de níquel.

3 - PROPOSIÇÃO

3 - PROPOSIÇÃO

Procurando respostas a uma série de indagações sobre soldagem, consultamos a literatura especializada e constatamos que poucos autores se preocuparam em avaliar a resistência à tração de soldas à base de prata.

Em vista disso, propusemo-nos a realizar um trabalho experimental a fim de avaliar a resistência à tração de soldas à base de prata encontradas no mercado, determinando o limite de máxima resistência à tração, e comparar cada uma entre si.

4 - MATERIAIS E MÉTODO

4 - MATERIAIS E MÉTODO

4.1 - MATERIAIS

- 4.1.1 - Fio redondo de aço inoxidável de 0,7 mm de diâmetro, marca WIRONIT, Alemanha.
- 4.1.2 - Solda à base de prata comercializada pela UNITEK CORPORATION, Monrovia, Califórnia, E.U.A..
- 4.1.3 - Solda à base de prata comercializada pela DENTAL MORELLI, Sorocaba, Brasil.
- 4.1.4 - Solda à base de prata comercializada pela NOBIL-METAL, Itália.
- 4.1.5 - Fluxo comercializado pela ROCKY MOUNTAIN DENTAL PRODUCTS COMPANY, fórmula 41, Denver, Colorado, E.U.A.
- 4.1.6 - Fio de latão de 0,8 mm de diâmetro, comercializado pela DENTAURUM, Pforzheim, Alemanha.

4.2 - INSTRUMENTOS

- 4.2.1 - Alicates de corte para fios grossos marca STARLET.
- 4.2.2 - Porta-sonda lisa.
- 4.2.3 - Pedras de carborundum.



Figura 4.1 - Soldas nas embalagens comerciais: A - solda de prata da Nobil-Metal; B - solda de prata da Unitek Corporation; e C - solda de prata da Dental Morelli.



Figura 4.2 - Fio de aço inoxidável (A), fluxo (B) e fio de latão (C) em suas respectivas embalagens comerciais.

4.3 - APARELHOS

- 4.3.1 - Maçarico para soldagem gás-ar, tipo Miniflam, fabricado pela METALVANDER, Piracicaba, Brasil.
- 4.3.2 - Máquina para Ensaio de Tração marca OTTO WOLPERT-WERKE.
- 4.3.3 - Motor odontológico de baixa rotação BETHIL, Marília, Brasil.

4.4 - MÉTODO

4.4.1 - Preparo dos corpos de prova

O fio de aço inoxidável de 0,7 mm de diâmetro foi cortado em pedaços de cinco centímetros de comprimento utilizando-se um alicate de corte para fio grosso. Portanto, após a soldagem os corpos de prova medirão aproximadamente dez centímetros, pois caso tivessem um comprimento inferior não poderiam ter sido testados na máquina para ensaio de tração por nós utilizada, porque os dispositivos utilizados para fixação dos corpos de prova distam cerca de sete centímetros (ver Fig. 4.3). As extremidades de cada fio foram desgastadas utilizando-se pedras de carborundum em motor de baixa rotação. Tais desgastes foram feitos com a finalidade de regularizar as extremidades.

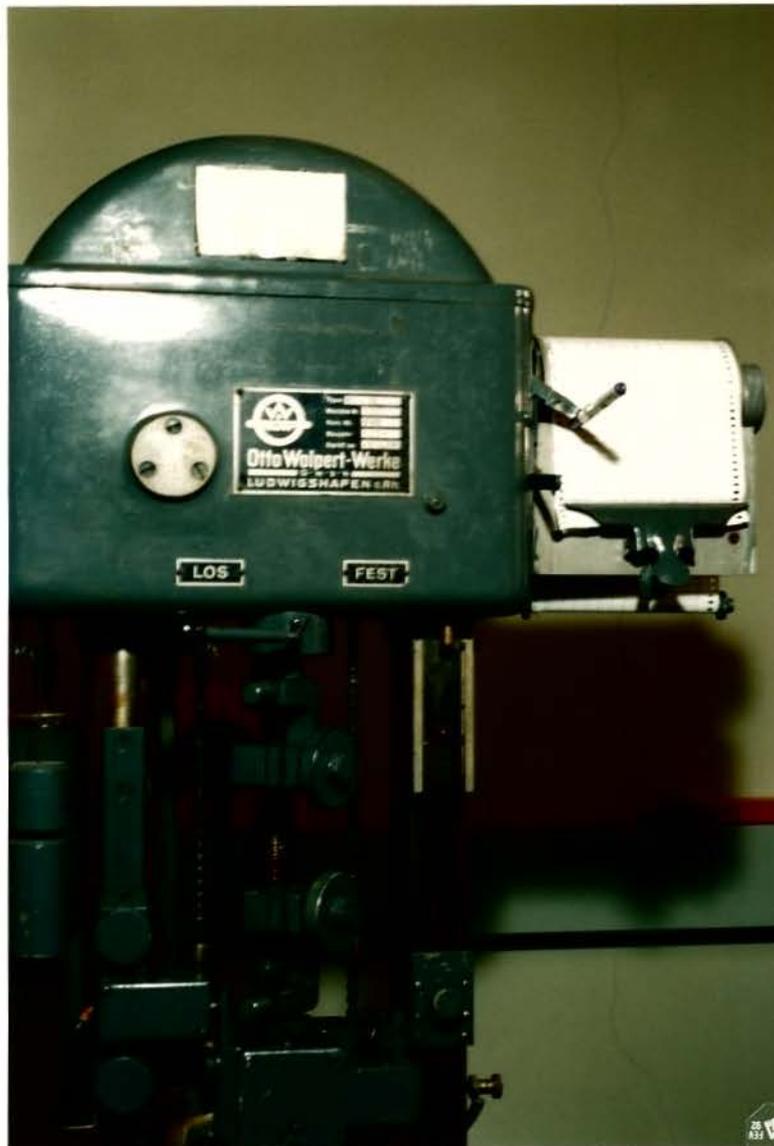


Figura 4.3 - Máquina para Ensaio de Tração marca Otto Wolpert-Werke

4.4.2 - Procedimentos utilizados durante a soldagem

A fim de evitar que o fio de aço inoxidável fosse submetido a aquecimento excessivo durante a soldagem, o que prejudicaria suas propriedades mecânicas, idealizamos um dispositivo para imobilizar as duas partes a serem soldadas. Tal dispositivo consiste em um suporte de madeira com um prendedor fixado em cada uma das suas extremidades. Esses prendedores foram utilizados para imobilizarem os porta-sondas lisas que fixarão os fios durante a soldagem (Fig. 4.4). Utilizando-se esse dispositivo, os dois fios eram levados à chama ao mesmo tempo, por um período mínimo, pois a solda era previamente fundida sobre um fio de latão. Essa prévia imobilização das partes também possibilitou que fizéssemos uma padronização da distância entre elas. Para isso, utilizamos uma lâmina de aço inoxidável de 0,3 mm. Realizamos a soldagem com maçarico gás-ar, tipo Miniflam, para ortodontia (Fig. 4.4). A chama foi regulada a uma altura aproximada de 1,0 centímetro. A soldagem foi realizada utilizando-se o ápice do cone médio da chama, conforme é recomendado por MOYERS³⁴. As partes a serem soldadas estavam perfeitamente limpas, livres de óxidos e graxa. Então aplicamos fluxo. A solda foi aquecida por meio indireto utilizando-se um fio de latão. Tão logo o fluxo fundia-se, a solda era adicionada e o aquecimento continuado até que a mesma escoasse ao redor da união. Após seu escoamento, o trabalho era imediatamente removido do calor e em seguida resfriado em água, a fim de diminuirmos a fragilidade da solda, conforme recomendado por SKINNER⁵³ e RASMUSSEN⁴⁴.



Figura 4.4 - Maçarico para soldagem gás-ar tipo Miniflam, marca Metalvander; suporte idealizado para imobilizar as porta-sondas lisas durante à soldagem

Foram realizadas quinze soldagens com cada uma das três soldas estudadas. Todas as soldagens foram feitas pelo mesmo operador e como o que está sendo testado é a solda, o fio de aço inoxidável e o fluxo utilizados foram os mesmos com cada uma das três soldas.

4.4.3 - Ensaio de Tração

Os corpos de prova foram fixados à máquina de tração Otto Wolpert-Werke pelos suportes existentes (ver Fig. 4.3 p. 36). A carga de tração foi aplicada a uma velocidade de 0,5 mm/s até a ruptura da soldagem (Fig. 4.5). À medida que os corpos de prova eram submetidos ao teste, os valores da resistência à tração ficavam registrados em um gráfico acoplado ao aparelho. Na escala por nós utilizada, cada milímetro medido nesse gráfico correspondia a 1 Kgf de resistência à tração (Fig. 4.6).



Figura 4.5 - Corpos de prova após o ensaio de tração

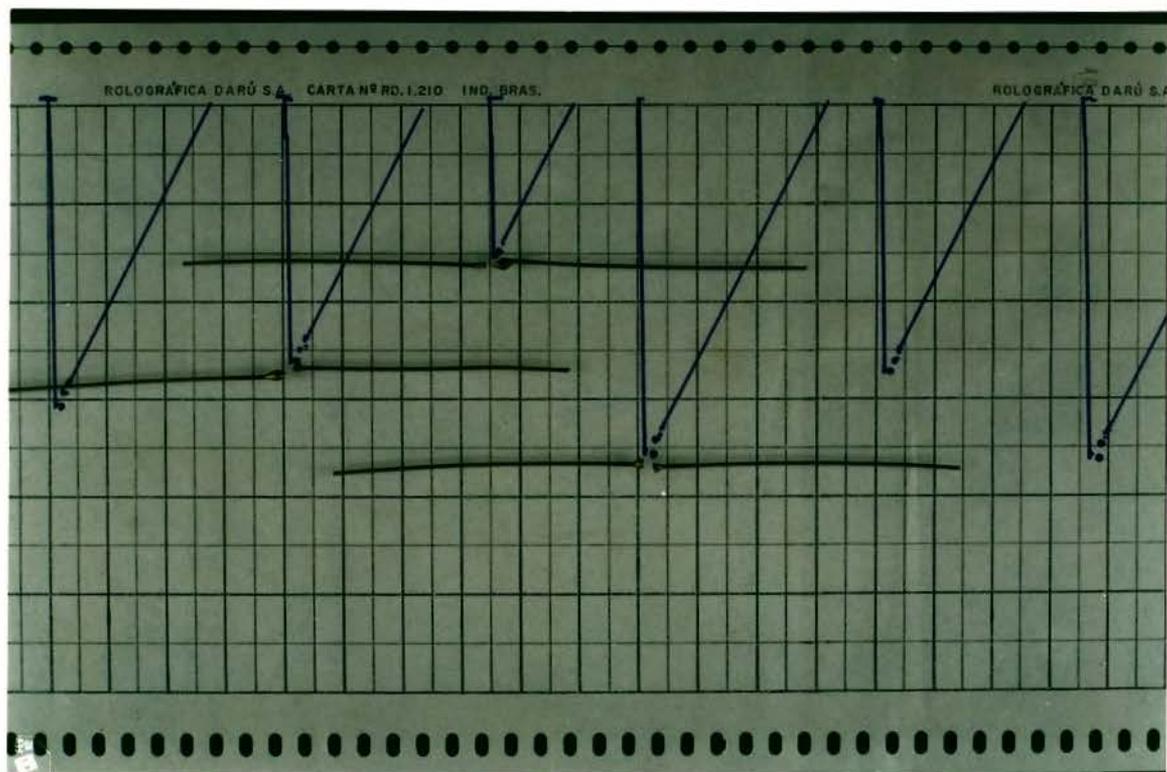


Figura 4.6 - Registros da máxima resistência à tração

5 - RESULTADOS

5 - RESULTADOS

Na tabela 5.1 estão expressos os valores da máxima resistência à tração em Kgf, dos quinze corpos de prova de cada uma das três soldas testadas: solda Unitek, Morelli e Nobil-Metal. Lembramos que a carga de tração foi aplicada a uma velocidade de 0,5 m/s até a ruptura da união. O maior valor de resistência à tração apresentado pelos quinze corpos de prova com a solda Unitek foi 55 Kgf e o menor valor foi 15 Kgf. Com a solda Morelli, o maior valor de resistência à tração foi 53 Kgf e o menor valor foi 26 Kgf. Para a solda Nobil-Metal, o maior valor de resistência à tração foi 55 Kgf e o menor valor foi 16 Kgf. A diferença entre os valores de maior e menor resistência à tração foi de 37 Kgf para a solda Morelli, 40 Kgf para a solda Unitek e 49 Kgf para a solda Nobil-Metal.

A tabela 5.2 apresenta os valores da variância e desvio padrão. Os resultados obtidos com a solda Morelli apresentaram a menor variância e o menor desvio padrão (97,49524 e 9,8739878, respectivamente). Para a solda Unitek, a variância foi de 141,69524 e o desvio padrão de 11,903561. As maiores variações foram encontradas com a solda Nobil-Metal (variância = 175,8381; desvio padrão = 13,260396).

A tabela 5.3 mostra os valores médios, em Kgf, onde foi utilizado o teste de Duncan ao nível de significância de 5%. Ao nível de 5%, as soldas Nobil-Metal e Unitek diferem estatisticamente.

Na representação gráfica 5.1 encontram-se os valores médios, em kgf, da máxima resistência à tração das três soldas testadas.

Tabela 5.1 - Valores (Kgf) da máxima resistência à tração das uniões soldadas

Solda Unitek	Solda Morelli	Solda Nobil-Metal
44	38	37
31	27	16
48	26	65
31	39	60
45	37	53
52	31	46
38	40	27
55	50	61
43	38	47
26	28	62
24	43	47
15	63	50
41	44	49
50	42	42
25	50	51

Tabela 5.2 - Variância e desvio-padrão

S O L D A	Unitek	Morelli	Nobil-Metal
Variância	141,69524	97,49524	175,8381
Desvio padrão	11,903581	9,8739678	13,260396

Tabela 5.3 - Teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade

Marca	Médias	5%
Nobil-Metal	47,533333	a
Morelli	39,733333	a b
Unitek	37,866667	b

* Medidas seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente

6 - DISCUSSÃO

6 - DISCUSSÃO

Este trabalho foi realizado com a finalidade de determinar a máxima resistência à tração de uniões entre fios de aço inoxidável e solda de prata, uma vez que soldagem é um procedimento amplamente utilizado em ortodontia. O ortodontista vale-se da soldagem à chama para a confecção de ganchos soldados ao arco, os quais serão úteis para fixação de elásticos intra-maxilares e inter-maxilares nas várias fases do tratamento, amarração distal para ativação de arcos de retração e apoio de ganchos "J" para força extra-bucal.

Clinicamente, rupturas de partes soldadas são frequentes principalmente durante o uso de força extra-bucal. As forças aplicadas nesses ganchos soldados diretamente ao arco, geralmente, não ultrapassam 0,5 Kgf. Entretanto, os resultados obtidos neste trabalho nos forneceram informações que, a nosso ver, mostram que a resistência dessas uniões são bem superiores às forças normalmente empregadas em ortodontia.

Baseado nos resultados das tabelas 5.1 e 5.2, p. 45 e 46, pode-se verificar que apesar de todas as soldagens terem sido realizadas por um mesmo operador e nas mesmas condições laboratoriais, os valores não são uniformes. Esses achados vão ao encontro dos de WILKINSON⁵⁷, que, em 1962, comparando soldagens realizadas por três ortodontistas experimentados, demonstrou que havia uma grande variação individual no controle do calor e os resultados obtidos por um mesmo operador foram bastante variáveis. A ha-

bilidade do operador desempenha importante papel em qualquer soldagem⁴².

Por outro lado, sabemos que áreas soldadas podem apresentar zonas de corrosão devido à ação galvânica entre o metal e a solda e mudanças na microestrutura devido ao aquecimento^{7,20,35}. Vários autores demonstraram que o fio de aço inoxidável ortodôntico perde sua resistência à corrosão quando aquecido a altas temperaturas^{2,14,32,47}. Portanto, o excesso de aquecimento durante a soldagem aliado a corrosão, pela exposição aos fluidos e rinses bucais, podem levar à ruptura da união durante o uso⁴⁶.

Outra causa de fracasso em uniões soldadas, é o emprego inadequado do fluxo. A superfície do metal a ser soldado deverá estar livre de óxidos e impurezas para permitir que a solda escoe por toda a superfície⁴⁴. A qualidade da junção soldada é influenciada pelo grau de escoamento da solda³⁸. A formação de óxidos durante a soldagem, resultará em uma junção porosa, o que diminuirá enormemente a resistência da união^{21,24,26,29,32}. Os fluxos dissolvem impurezas superficiais e protegem o metal da oxidação durante o aquecimento. Mas, se uma grande quantidade de fluxo for usada, poderá ficar incluído na junção originando falhas e, portanto, diminuindo a resistência⁴⁴.

A presença de falhas pode não ser apenas devido ao fluxo. A distância entre as partes a serem soldadas também pode interferir. Nosso trabalho não avaliou a influência da distância entre as partes a serem soldadas. Todas as soldagens foram realizadas com 0,3 mm de distância, porque o objetivo deste estudo foi comparar a resistência apresentada pelas diferentes soldas sob as

mesmas condições. A distância de 0,3 mm foi escolhida com base no trabalho de RYGE⁴⁹. Quando a distância entre as partes for muito pequena, haverá um aumento de porosidade e uniões mais fracas^{29,49}.

Analisando a tabela E.3, p. 46, observamos que a solda Nobil-Metal apresenta resistência à tração superior à solda Unitek. A diferença entre a solda Nobil-Metal e a solda Morelli e entre a solda Morelli e a solda Unitek não é significativa estatisticamente ao nível de 5%. A máxima resistência à tração média variou de 37,86 a 47,53 Kgf, ou seja, qualquer uma das três soldas estudadas apresenta resistência suficiente para ser empregada clinicamente, desde que a soldagem seja executada por um operador experientado, seguindo as instruções do fabricante.

Não pode ser esquecido que os resultados obtidos nesse trabalho foram colhidos em laboratório, e, essas mesmas uniões em ambiente bucal estariam sujeitas a outras variáveis.

7 - CONCLUSÃO

7 - CONCLUSÃO

Baseando-nos na exposição dos resultados apresentados no decorrer deste trabalho, julgamos válido emitir as seguintes conclusões:

- 1 - Os resultados obtidos com as três soldas apresentaram grande variação.
- 2 - A solda Nobil-Metal apresentou maior resistência à tração do que a solda Unitek.
- 3 - Não houve diferença entre as soldas Nobil-Metal e Morelli.
- 4 - Não houve diferença entre as soldas Morelli e Unitek.
- 5 - A resistência à tração média obtida para cada uma das soldas foi superior às forças empregadas clinicamente.

8 - RESUMO

8 - RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a resistência à tração de soldas à base de prata encontradas no mercado, determinando o limite de máxima resistência. Foram usados 3 tipos comerciais de soldas à base prata: um de fabricação nacional (Morelli) e dois de fabricação estrangeira (Nobil-Metal e Unitek).

Foram realizadas quinze soldagens com cada uma das três soldas estudadas. Todas as soldagens foram feitas pelo mesmo operador. O fio de aço inoxidável e o fluxo utilizados foram os mesmos com cada uma das três soldas (fluxo Rocky Mountain e fio de aço inoxidável redondo de 0,7 mm marca Wironit). Os corpos de prova foram tracionados em uma máquina Otto Wolpert-Werke a uma velocidade de 0,5 mm/s até a ruptura da soldagem.

Apesar de todas as soldagens terem sido realizadas por um mesmo operador e nas mesmas condições laboratoriais, os valores obtidos foram bastante variáveis demonstrando a importância da habilidade do operador no momento da soldagem.

A solda Nobil-Metal apresentou maior resistência à tração do que a solda Unitek. A máxima resistência à tração média variou de 37,88 a 47,53 Kgf, ou seja, qualquer uma das soldas estudadas apresenta resistência suficiente para ser empregada clinicamente.

9 - SUMMARY

This essay had as objective to evaluate the traction resistance of silver solder available on the market, determining the maximum resistance limit. 3 commercial types of silver solder were used, one produced in Brazil (Morelli) and two produced outside Brazil (Nobil-Metal and Unitek).

Fifteen solderings were carried out with each of the three solders essayed. All solderings were done by the same craftsman. The stainless-steel wire and the flux used were the same in each of the three solders (flux Rocky Mountain and round stainless-steel wire of 0.7 mm Trademark Wironit). The samples were tractioned in a Otto Wolpert-Werke machine at a velocity of 0.5 mm/s till the rupture of the solder.

In spite of all solderings have been done by the same craftsman and under the same laboratory conditions, the results obtained were very variable, demonstrating the importance of the skill of the operator at the moment of the soldering.

The solder Nobil-Metal showed a higher traction resistance than solder Unitek. The highest average traction resistance varied from 37.85 to 47.53 Kgf, that means, any one of the solders studied present sufficient resistance to be used clinically.

10 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

10 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - ADAMS, C.P. Aparelhos ortodônticos removíveis: desenho, uso e aplicação. 5.ed. São Paulo: Santos, 1987. p.237-241.
- 2 - ADAMSON, J. Stainless steel and its application to dentistry. Aust. dent. J., Sydney, v.41, p.337-340, 1937. Apud WILKINSON, J.V. op. cit. ref. 57.
- 3 - BACKOFEN, W.A., GALES, G.F. Heat treating stainless steel for orthodontics. Am. J. Orthod., St. Louis, v.38, n.6, p. 755-765, June, 1952.
- 4 - BARENIE, J.T., MYERS, D.R., KRAUTMANN, P.J. Comparison of dental student silver soldering using an orthodontic blowpipe or hydroflame. Pediat. Dent., Iowa City, v.5, n.1, p. 65-67, Mar. 1983.
- 5 - BARR, F.J.H. The manipulation of stainless steel and its use in orthodontics. W. Z. Dent. J., Wellington, v. 33, p. 348-349, 1937. Apud PRATES, N.S. Contribuição ao estudo da propriedade física "dureza" de fios de aço inoxidável para fins ortodônticos. Ortodontia, São Paulo, v.7, n.1, p. 19-36, jan/abr. 1974.

- 6 - BENTON, J.V., JONES, J.M. Throme alloy orthodontic appliances. Dent. Surv., Minneapolis, v.10, n.9, p.43-47, Sept. 1934.
- 7 - BERGE, M., GJERDET, N.R., ERICHSEN, E.S. Corrosion of silver soldered orthodontic wires. Acta Odont. scand., Oslo, v. 40, n.2, p.75-79, Mar/Abr. 1982.
- 8 - BIEN, S.M., AYERS, H.D. Solder joints on rustless alloys. J. Am. dent. Ass., Chicago, v.58, n.4, p.74-80, Mar. 1959.
- 9 - BRADEL, S.F. One hundred years of development in metalurgy and its relation to orthodontia. J. Am. dent. Ass., Chicago, v.21, n.6, p.1018-1022, June, 1934.
- 10 - BROWN, T., MITCHELL, R., BARENIE, J. Evaluation of five silver soldering techniques. J. dent. Res., Washington, v.60, IADR 1267, p. 626, Mar., 1981.
- 11 - BRUSSE, A., CARMAN, J. Chrome alloy. Int. J. Orthod. Dent. Child., St. Louis, v.20, n.4, p.337-348, Apr. 1934. Apud PRATES, N.S. Contribuição ao estudo da propriedade física dureza de liga de aço inoxidável para fins ortodônticos. Ortodontia, São Paulo, v.7, n.1, p.19-36, jan./abr. 1974.

- 12 - BRUSTONE, C.J., GOLDBERG, A.J. Beta titanium: a new orthodontic alloy. Am. J. Orthod., St. Louis, v.77, n.2, p. 121-132, Feb. 1980.
- 13 - CARDOSO, S.H. et al. Ligas alternativas de cobre-alumínio. Estudo da resistência à tração. Efeito de ligas para soldagem. R.G.O., Porto Alegre, n.36, n.6, p.454-458, nov./dez. 1988.
- 14 - CARMAN, J.L. Metallurgy and uses of chrome alloy in orthodontics. Am. J. Orthod. Oral Surg., St. Louis, v.24, n.4, p.346-362, Apr., 1938. Apud PRATES, N.S. Contribuição ao estudo da propriedade física dureza de liga de aço inoxidável para fins ortodônticos. Ortodontia, São Paulo, v.7, n.1, p.19-36, jan./abr., 1974.
- 15 - COLEMAN, R.L. Torne effects of soldering and other heat treatments on orthodontic alloys. Int. J. Orthod. Dent. Child., St. Louis, v.19, n.3, p.1238-1250, 1933.
- 16 - CUTLER, R. A new preparation of British stainless steel. Trans. Br. Soc. Study Orthod., London, p.10-15, 1932. Apud ADAMS, C.P. op. cit. ref. 1.

- 17 - FRIEL, E.S. The practical application of stainless steel in the construction of fixed orthodontic appliances. Trans. Br. Soc. Study Orthod., London, p.23, 1933. Apud ADAMS, C.P. op. cit. ref. 1.
- 18 - FUNK, A.C. Heat treatment of stainless steel. Angle Orthod., Appleton, v.21, n.3, p.129-136, July, 1951.
- 19 - GARDINER, J.H., AAMODT, A.C. Some aspects of soldering stainless steel, a metalurgical investigation. Dent. Practnr dent. Rec., Bristol, v.20, n.2, p.65-76, Oct. 1969.
- 20 - GJERDET, N.R., BERGE, M. Corrosion of silver soldered orthodontic archwires. J. dent. Res., Washington, v.59, IADR 19, p.1901, Nov. 1980.
- 21 - GOMES, A.A. 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. Revta Odont. Univ. S P, São Paulo, v.1, n.3, p.3-9, jul./set. 1967.
- 22 - GREEN, J.H. Stainless steel in orthodontics. J. Am. dent. Ass., Chicago, v.32, n.14, p.986-990, Aug. 1945.

- 23 - HOWE, G.L., GREENER, E.H., CRIMMINS, D.S. Mechanical properties and stress relief of stainless orthodontic wire. Angle Orthod., Appleton, v.38, n.3, p.244-249, July, 1968.
- 24 - JANUS, C.E., BECK, D.A., MOON, P.C. Quantitative study of soldered connector tensile strength using low gold content alloys. J. Prosth. Dent., St. Louis, v.54, n.4, p.517-521, Oct. 1985.
- 25 - KADESKY, M.R. Technic of soldering chrome alloy appliances using city gas. Int. J. Orthod. Dent. Child., St. Louis, v. 21, p.570-571, 1935. Apud WILKINSON, J.V. op. cit. ref. 57.
- 26 - KAYLAKIE, W.G., BRUKL, C.E. Comparative tensile strengths of nonnoble dental alloy solders. J. Prosth. Dent., St. Louis, v.53, n.4, p.455-462, Apr. 1985.
- 27 - KEMLER, E.A. Effect of low temperature heat treatment on the physical properties of orthodontic wire. Am. J. Orthod., St. Louis, v.42, n.10, p.793, Oct. 1954.
- 28 - KHAYAT, P.G.; NICHOLLS, J.I. Tensile bond strength of low-fusing solder joints with the use of a nickel-chromium-beryllium base metal alloy. J. Prosth. Dent., St. Louis, v. 58, n.5, p.563-569, Nov. 1987.

- 29 - LAUTENSCHLAGER, E.P. et al. Strength mechanisms of dental solder joints. J. dent. Res., Washington, v.53, n.6, p. 1361-1367, Nov./Dec. 1974.
- 30 - LORENZANA, R.E. et al. Strength properties of soldered joints for a gold-palladium and a palladium alloy. J. Prosth. Dent., St. Louis, v.57, n.4, p.450-454, Apr. 1987.
- 31 - MARSHAL, A.G., GOODKIND, R.J. An investigation of the tensile strength of nickel-chromium alloy dental solder joints. J. Prosth. Dent., St. Louis, v.52, n.5, p.666- 672, Nov. 1984.
- 32 - MOGLER, A.C., HOLESTINE, E.V. Soldering of chrome for orthodontic use. A practical procedure. Int. J. Orthod. Dent. Child., St. Louis, v.21, p.955-956, 1935.
- 33 - MOLLIN, A.D. All chrome steel alloy used in light resilient arch technique. Dent. Surv., Minneapolis, v.27, 648-652, 1981. Apud WILKINSON, J.V. op. cit. ref. 57.
- 34 - MOYERS, R. Ortodontia. 3.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1987. Cap. 17, p.546-551.
- 35 - MUELLER, H.J. Silver and gold solders. Analyses due to corrosion. Quintessence Int., Berlin, v.12, n.3, p.327-337, Mar. 1981.

- 36 - MUELLER, H.J. Some considerations regarding the degradation interactions between mouth rinses and silver soldered joints. Am. J. Orthod., St. Louis, v.81, n.2, p.140-146, Feb. 1982.
- 37 - NELSON, K.R., BRUSTONE, C.J., GOLDBERG, A.J. Optimal welding of beta-tritanium orthodontic wires. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., St. Louis, v.92, n.3, p.213-219, Sept., 1987.
- 38 - O'BRIEN, W., HIRTHE, W., RYGE, G. Wetting characteristics of dental gold solders. J. dent. Res., Washington, v.42, n.2, p.675-680, Mar./Apr. 1963.
- 39 - O'TOOLE, T.J., FURNISH, G.M., VON FRAUNHOFER, J.A. Tensile strength of soldered joints. J. Prosth. Dent., St. Louis, v.53, n.3, p.350-352, Mar. 1985.
- 40 - PARKER, J.H. Improved soldering technic. Angle Orthod., Appleton, v.30, n.2, p.95-98, Apr. 1960.
- 41 - PERLOW, J. Experiments in soldering soft chrome steel. Dent. Rec., London, v.74, p.16-19, 1954. Apud WILKINSON, J.V. op. cit. ref. 57.
- 42 - PEYTON, F.A. Restorative dental materials. 4.ed. St. Louis: Mosby. p. 314-339, 1971.

- 43 - PLEASURE, M. Stainless steel and some related alloys. A discussion of their composition, properties and uses, with special reference to dentistry. Dent. Items, New York, v. 50, n.1, p.11-18, Jan. 1928.
- 44 - RASMUSSEN, S.T. Soldaduras. In: O'BRIEN, W.J., RYGE, J. Materiales dentales y su seleccion. Buenos Aires: Panamericana, 1980. p. 240-248.
- 45 - RASMUSSEN, E.J., GOODKIND, R.J., GERBERICH, W.W. An investigation of tensile strength of dental solder joints. J. Prosth. Dent., St. Louis, v.41, n.4, p.419-422, Abr. 1979.
- 46 - REISBICK, M.H. Alambres para ortodoncia. In: O'BRIEN, W.J., RYGE, J. Materiales dentales y su seleccion. Buenos Aires: Panamericana, 1980. p.231-239.
- 47 - RICHMANN, G. Practical metallurgy for the orthodontist. Am J. Orthod., St. Louis, v.42, n.8, p.573-587, Aug. 1956.
- 48 - ROGERS, O. A metallographic evaluation of the stainless steel-silver solder joint. Aust. dent. J., Sydney, v.24, n.1, p.13-16, Feb. 1979.
- 49 - RYGE, G. Dental soldering procedures. Dent. Clin. N. Am., Philadelphia, v.29, n.3, p.747-757, Nov. 1958.

- 50 - SHIGETO, N. et al. Corrosion properties of soldered joints. Part I: Electrochemical action of dental solder and dental nickel-chromium alloy. J. Prosth. Dent., St. Louis, v.62, n.5, p.512-515, Nov. 1989.
- 51 - SIMON, P.W. Construction of stainless steel appliances without soldering or electric kelding. Int. J. Orthod. Dent. Child., St. Louis, v.22, p.1250-1254, 1936. Apud WILKINSON, J.V. op. cit. ref. 57.
- 52 - SIMON, M.L. Technic for construction of one piece stainless steel arches with auxiliary springs (without soldering or welding). Int. J. Orthod. Dent. Child., St. Louis, v.21, p.841-846, 1935. Apud WILKINSON, J.V. op. cit. ref. 57.
- 53 - SKINNER, E.W. Materialis dentários de Skinner. ed. por R. W. PHILLIPS. 8.ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1984. p.437-447.
- 54 - SOBIERALSKI, J.A., BRUKL, C.E., SMITH, N.K. Tensile strengths and microscopic analysis of nickel-chromium base metal post-ceramic solder joints. J. Prosth. Dent., St. Louis, v.58, n.1, p.35-42, July, 1987.

- 55 - VOSMIK, C. J.; TAYLOR, P. B. Some facts and observations related to the soldering of chrome alloys. Int. J. Orthod. Dent. Child., St. Louis, v.22, p.705-715, 1936. Apud WILKINSON, J.V. op. cit. ref. 57.
- 56 - WILKINSON, J.V. The effect of high temperatures on stainless steel orthodontic arch wire. Aust. dent. J., Sydney, v.5, n.5, p.264-268, Oct. 1960.
- 57 - _____. Some metallurgical aspects of orthodontic stainless steel. Am. J. Orthod., St. Louis, v.48, n.3, p.192-206, Mar. 1962.
- 58 - WUNDERLY, J. e COMMONWEALTH BUREAU OF DENTAL STANDARDS. Soldering stainless steel; current notes 44. Aust. dent. J., Sydney, v.5, n.1, p.38, Feb. 1960.
- 59 - YOST, H. Practicability of chrome nickel alloys for orthodontic use. J. Am. dent. Ass., Chicago, v.23, n.5, p.798-800, May. 1936.