

CLARIANA HOEHNE SEPÚLVEDA

**ANÁLISE DOS EFEITOS DO TRATAMENTO TÉRMICO EM FIOS DE CrNi SECÇÃO
RETANGULAR**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

BELO HORIZONTE-MINAS GERIAS

2015

CLARIANA HOEHNE SEPÚLVEDA

**ANÁLISE DOS EFEITOS DO TRATAMENTO TÉRMICO EM FIOS DE CrNi SECÇÃO
RETANGULAR**

Monografia apresentada ao Colegiado do
programa de Pós-Graduação da Faculdade de
Odontologia da Universidade Federal de Minas
Gerais, como requisito parcial à obtenção do
Título de Especialista em Ortodontia.

Área de concentração: Odontologia

Orientador: Professor Doutor Henrique Pretti

Colaboradores: Professor Mestre Esdras de
Campos França; Professor Doutor Leandro de
Arruda Santos

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

BELO HORIZONTE-MINAS GERIAS

2015

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à memória do meu amado pai,
que foi meu grande incentivador e à minha querida mãe,
pelo apoio, dedicação e amor incondicional, sem
vocês essa conquista seria impossível de ser alcançada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por sua presença em minha vida, pela saúde e proteção para que pudesse chegar ao fim dessa caminhada.

Aos meus amados pais, Aloisio Carlos Sepúlveda (in memoriam), por ser meu grande incentivador, conselheiro e protetor e Maria da Conceição Hoehne Sepúlveda, pelo seu amor incondicional, pelo imenso apoio e carinho. Pai e mãe, todas as palavras ditas são insuficientes para expressar todo o meu agradecimento; a educação, carinho e amor que vocês sempre se preocuparam em transmitir, sem dúvida, são os responsáveis pela formação do meu caráter.

As minhas queridas irmãs, Clarice e Clara, pela amizade e por acreditarem sempre em meu potencial.

Aos professores do curso de especialização em Ortodontia da FO-UFMG por todo conhecimento transmitido, pela paciência e pelo carinho.

Ao professor Esdras de Campos França, pelo tempo disponibilizado para realização deste trabalho, pelo empenho em orientar, por sua amizade.

Ao Doutor Leandro de Arruda Santos, por permitir a realização dos ensaios de tração na Faculdade de Engenharia da UFMG e pela disponibilidade.

À Mariana e Guilherme, por terem colaborado na realização dos testes de tração.

À amiga Monize, pela disposição e ajuda na construção deste trabalho.

Aos meus colegas de turma, por dividirem os momentos de aprendizado, alegrias e ansiedade. Tenham certeza que os 3 anos de convivência semanal irão deixar muitas saudades!

A todos os pacientes, pela confiança e contribuição para minha formação.

As funcionárias do departamento de Ortodontia e Odontopediatria da FO-UFMG, pela solicitude.

A todos que contribuíram de alguma forma para que eu alcançasse mais essa etapa.

EPÍGRAFE

“Nas grandes batalhas da vida, o primeiro passo para a vitória é o desejo de vencer.”

Mahatma Gandhi

RESUMO

O tratamento térmico dos fios de aço inoxidável é um procedimento adotado como rotina clínica por muitos ortodontistas com o objetivo de aliviar o stress causado após realização de dobras no arco, ajudando a melhorar as propriedades mecânicas. Apesar da aceitação deste procedimento por parte dos profissionais, a eficácia do tratamento térmico recuperador ainda gera controvérsias no meio ortodôntico. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do tratamento térmico em fios de aço inoxidável de secção retangular .016'' x .022'' sobre a estabilidade dimensional e sob as propriedades mecânicas. Para análise da estabilidade dimensional foram avaliadas as dimensões anteriores e posteriores de 40 arcos ortodônticos de aço inoxidável .016'' x .022'' sem tratamento térmico e após tratamento térmico. Para análise das propriedades mecânicas foram testados 12 segmentos de fio de aço inoxidável de mesma secção retangular sem tratamento térmico e após realização do tratamento térmico através de ensaios de tração. Para verificar se houve diferença entre as dimensões anterior e posterior, os resultados foram submetidos ao teste T de Student. Para comparação da resistência à tração e deformidade entre os grupos, foi usado o teste ANOVA. O nível de significância adotado foi de 95% ($p < 0,05$). Com os resultados encontrados neste trabalho é possível concluir que o tratamento térmico não impediu a expansão dos arcos 30 dias após sua confecção e que fios tratados termicamente apresentam comportamento mecânico semelhante a fios de aço que não foram submetidos ao tratamento térmico.

Palavras chaves: Tratamento térmico. Fios ortodônticos. Dimensão transversal.

ABSTRACT

The heat treatment of the stainless steel wire is a routine clinical procedure adopted as for many dentists in order to relieve stress caused after performing folds in the arc, helping to improve the mechanical properties. Despite the acceptance of this procedure by professionals, the efficiency of heat treatment stove still generates controversy in orthodontic means. The objective of this study was to evaluate the influence of heat treatment of stainless steel wire with a rectangular section .016" x .022" on the dimensional stability under mechanical properties. For analysis of dimensional stability were evaluated anterior and posterior dimensions of 40 stainless steel orthodontic arches .016" x.022" without heat treatment and after completion of the heat treatment. For analysis of the mechanical properties were tested 12 stainless steel wire segments of the same rectangular section without heat treatment and after completion of the heat treatment through tensile tests. To see if there were differences between the front and rear dimensions, the results were analyzed by T de Student test. To compare the tensile strength and deformity between the groups, we used the ANOVA test. The level of significance was provided with 95% ($p < 0.05$). With the findings of this study we conclude that heat treatment did not stop the expansion of arches 30 days after its preparation and heat-treated wires have mechanical behavior similar to steel wires which were not subjected to heat treatment.

Keywords: Orthodontic wires. Heat treatment. Transverse dimension.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- Diagrama Ortodôntico de Interlandi raio 19	14
FIGURA 2- Máquina de solda a ponto Kernit Pontomatic.....	15
FIGURA 3- Forno FDG equipamentos TITAN	16
FIGURA 4- Armazenamento da amostra	16
FIGURA 5- Microscópio Mitutoyo TM	17
FIGURA 6- Máquina universal de ensaios Instron 5582	18

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Grupos analisados para estabilidade dimensional	15
TABELA 2. Estatística descritiva dos dados.	20
TABELA 3. Comparação entre as distâncias intercaninos e intermolares, imediatamente após o tratamento térmico (1ª medição) e 30 dias depois (2ª medição).	20
TABELA 4. Comparação intergrupo para resistência à tração e deformação.	21

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVO.....	13
2.1. Objetivos gerais.....	13
2.2. Objetivos específicos.....	13
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
3.1. Material.....	14
3.2. Métodos	14
3.3. Análise estatística.....	19
4. RESULTADOS	20
5. DISCUSSÃO	22
6. CONCLUSÃO	26
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27

1. INTRODUÇÃO

Para conseguir movimentos mais eficientes e evitar danos aos tecidos de suporte, é necessário que o ortodontista tenha conhecimento sobre os fios utilizados em sua prática clínica, uma vez que a movimentação dentária é o resultado da acumulação de energia elástica e transformação dessa energia em trabalho mecânico (QUINTÃO, 2009).

Atualmente, na ortodontia, são utilizados quatro tipos básicos de ligas: o aço inoxidável; as ligas de níquel-titânio (NiTi) e suas variações (superelásticos, termodinâmicos e com adição de cobre); as ligas de beta-titânio e as estéticas de compósitos (QUINTÃO, 2009).

Em 1929, o aço inoxidável foi introduzido na ortodontia, fabricado pela empresa alemã Krupp e comercializado pela empresa americana Renfert Company (QUINTÃO, 2009). No final da década de 40, o aço inoxidável passou a ser utilizado no Brasil, até então a ortodontia brasileira utilizava o ouro para os aparelhos fixos (QUINTÃO, 2009).

De acordo com os níveis de cromo, níquel e carbono, os aços inoxidáveis podem ser classificados em três tipos: martensíticos, ferríticos e austeníticos. Sendo os dois primeiros compostos basicamente de ligas de ferro e cromo e o último compreende as ligas de ferro-níquel-cromo (SOUZA, 1989).

Segundo especificação do “Americam Iron and Steel Institute” (AISI), aços inoxidáveis austeníticos são numerados na série 300. Os tipos 302 e 304 são designados como aços inoxidáveis (18-8), devido ao teor médio de cromo ser de 18% e o de níquel 8% (REISBICK, 1981; PHILLIPS, 1984). Os aços do tipo 302 e 304 possuem composições semelhantes, diferenciando apenas no conteúdo de carbono, que é de até 0,15% no 302 e 0,08% no 304 (PHILLIPS, 1984).

O aço inoxidável utilizado na Ortodontia é do tipo austenítico, sendo composto de 18% de Cromo, 8% de Níquel, 0,08 a 0,15% de Carbono e o restante de Ferro. As porcentagens de Cromo e Níquel dão nome a este tipo de “aço 18-8” (GURGEL, 2001).

Assim como outros metais, o aço inoxidável possui a propriedade de difusão atômica, em altas temperaturas a taxa de difusão atômica aumenta, devido ao aumento da energia interna. Fios de aço trabalhados a frio não se encontram em estado de equilíbrio, pois a migração atômica é desprezível (INGERSLEV, 1966).

Para reorganizar as moléculas do fio, utiliza-se o recurso de aquecimento. Esse representa um tratamento térmico e é denominado como revenido, de origem do verbo “revenir”. De acordo com Ferreira, em 2004, fazer o revenido significa proporcionar têmpera superficial a uma peça metálica, especialmente de aço. Para a metalurgia, a liberação de tensão provocada pelo tratamento térmico é denominada de “recovery” na língua inglesa ou recuperação, em português (OH; KIM, 2005).

Na ortodontia é geralmente aceito que propriedades elásticas dos arcos ortodônticos de 18/8 de aço inoxidável são melhoradas por meio do tratamento de calor de baixa temperatura de 300° a 500 ° C durante um período curto. Este procedimento pode ser conhecido como endurecimento do alívio de tensões ou simplesmente tratamento térmico (INGERSLEV, 1966).

Dessa forma, o tratamento térmico é realizado em fios de aço inoxidável para alívio do stress causado após realização de dobras no arco, ajudando a melhorar as propriedades mecânicas (FUNK, 1951).

O tratamento térmico é melhor em 450° C por um período de três minutos (FUNK, 1951). Para esclarecer a influência do tratamento térmico nas propriedades dos fios ortodônticos, especialmente os fios de aço, são necessários estudos com mensurações precisas dessas propriedades. Ainda existem muitas informações conflitantes e insuficientes em relação ao tratamento térmico recuperador, tornando este procedimento controverso no meio ortodôntico (KASBERGEN, 2007).

2. OBJETIVO

2.1. Objetivos gerais

Avaliar o efeito do tratamento térmico em arcos ortodônticos de aço inoxidável sobre a estabilidade dimensional e as propriedades mecânicas.

2.2. Objetivos específicos

Avaliar o efeito do tratamento térmico em arcos ortodônticos de aço inoxidável de CrNi de secção retangular .016''x.022'' realizado em forno, máquina elétrica de solda a ponto e lamparina, sobre a estabilidade dimensional de arcos contornados em diagrama de Interlandi de raio 19.

Analisar as propriedades mecânicas de segmentos de fio ortodôntico de aço inoxidável de CrNi de secção retangular .016''x.022'' após realização de tratamento térmico em forno, máquina elétrica de solda a ponto e lamparina através de ensaios de tração.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Material

A amostra utilizada nesta pesquisa foi constituída de 40 arcos de aço inoxidável de Cromo Níquel (CrNi) de calibre .016''x .022'' (Morelli®, Sorocaba, SP, Brasil), contornados pelo mesmo operador utilizando como referência um diagrama ortodôntico de Interlandi com raio de 19mm (FIGURA 1) e 12 segmentos de fio de aço inoxidável de Cromo Níquel (CrNi) de calibre .016''x.022'' (Morelli®, Sorocaba, SP, Brasil), com comprimento de 12cm.

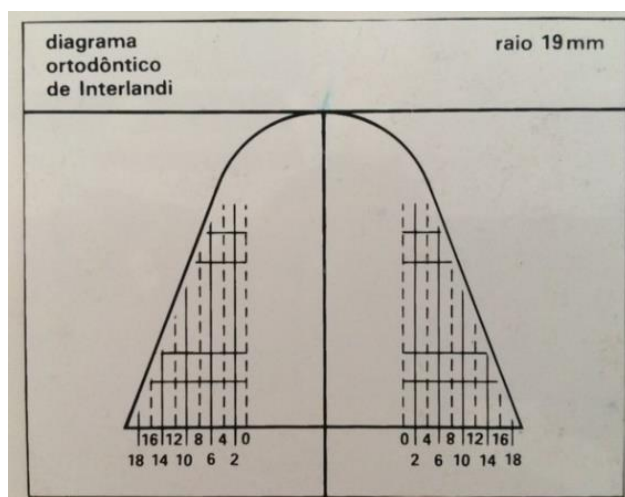


FIGURA 1- Diagrama Ortodôntico de Interlandi raio 19

3.2. Métodos

Para avaliação dos efeitos do tratamento térmico sob a estabilidade dimensional, os arcos foram divididos em 4 grupos, conforme descrito na Tabela 1, e contornados pelo mesmo profissional.

TABELA 1. Grupos analisados para estabilidade dimensional

GRUPO	CONTROLE
VERDE	TRATAMENTO TÉRMICO EM MÁQUINA DE SOLDA
VERMELHO	TRATAMENTO TÉRMICO EM FORNO
AMARELO	TRATAMENTO TÉRMICO EM LAMPARINA
AZUL	

Para o grupo vermelho, foi utilizada uma máquina de solda a ponto Kernit Pontomatic eco, fabricada pela Kernit Indústria Mecatrônica Ltda, na cidade de Indaiatuba, SP, Brasil (FIGURA 2), no nível 1 de potência do equipamento no tempo de 5 segundos. Para padronização do tempo e potência foram testados 5 arcos do mesmo calibre até que fosse alcançada uma coloração semelhante a coloração acastanhada atingida em um arco do mesmo calibre tratado termicamente em forno a 450° C por 3 minutos.



FIGURA 2- Máquina de solda a ponto Kernit Pontomatic

No grupo amarelo, foi utilizado Forno FDG equipamentos TITAN (FIGURA 3), na temperatura de 450° C por 3 minutos.

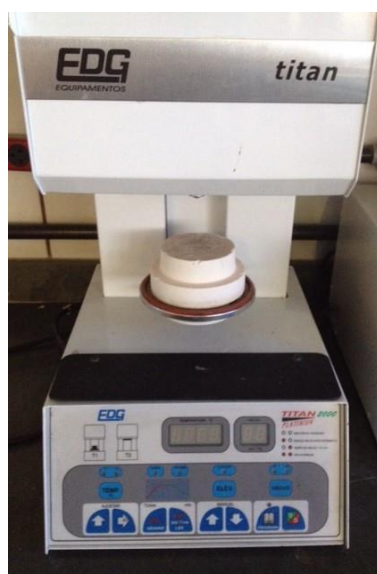


FIGURA 3- Forno FDG equipamentos TITAN

Para o grupo azul, o tratamento térmico foi realizado em um tempo de 27 segundos. O tempo de aquecimento foi padronizado testando 5 arcos até atingir a cor acastanhada, semelhante a obtida pelo tratamento térmico realizado em forno por 3 minutos a 450° C.

As varetas foram cortadas em um comprimento de 18mm e, a partir desse segmento de fio, foi contornado o arco, usando como referência o diagrama de Interlandi raio 19 (FIGURA 1). O tratamento térmico foi realizado imediatamente após a confecção dos arcos, em seguida foram armazenados em embalagens plásticas individuais, organizados por cores e numerados de 1 a 40 (FIGURA 4).

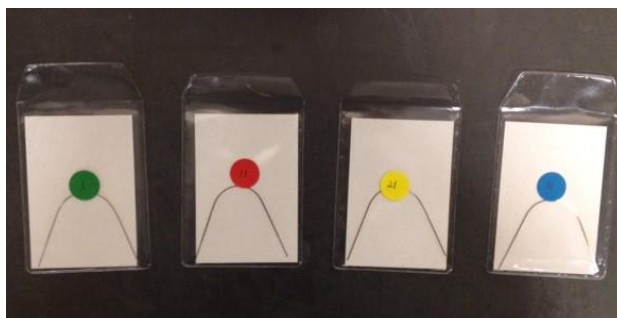


FIGURA 4- Armazenamento da amostra

A dimensão transversal dos arcos foi medida em um microscópio Mitutoyo TM (Figura 5). Todos os grupos foram medidos 24h após a confecção dos arcos e realização do tratamento térmico.



FIGURA 5- Microscópio Mitutoyo TM

A marcação dos locais das medições foi realizada em duas distâncias, a primeira foi feita a 6,35mm da linha média, representando a distância intercaninos, e a segunda a 19mm da linha média, representando a distância intermolares. Essas medidas foram obtidas através de um modelo de gesso da arcada inferior com arco compatível ao arco de raio 19 e dentes alinhados e nivelados.

Após a realização da primeira medição, os arcos foram novamente armazenados para uma segunda medição, realizada 30 dias após a primeira.

Todas as medições foram realizadas pelo mesmo profissional, no mesmo microscópio e utilizando o mesmo diagrama, para evitar variações de leitura. Antes de realizar as medições o profissional foi calibrado.

Para análise do efeito do tratamento térmico sob as propriedades mecânicas do fio, foi utilizada uma amostra de 12 segmentos de fio de CrNi de secção retangular .016''x.022'' (Morelli®, Sorocaba, SP, Brasil) medindo 12cm de comprimento.

Os segmentos de fio foram divididos em 4 grupos de 3 segmentos e nomeados por cores de acordo com a forma de realização do tratamento térmico, seguindo o mesmo padrão de distribuição para avaliação da estabilidade dimensional (TABELA 1).

O tratamento térmico para todos os grupos seguiu a mesma padronização, anteriormente descrita, realizada para análise da estabilidade dimensional. Para o grupo vermelho, foi utilizada a mesma máquina de solda a ponto, Kernit Pontomatic, na potência 1 durante 5 segundos; para o grupo amarelo o tratamento térmico foi realizado no Forno FDG equipamentos TITAN em temperatura de 450° C por 3 minutos e para o grupo azul, os fios foram aquecidos em lamparina durante 27 segundos.

Após a realização do tratamento térmico, os 4 grupos foram submetidos a ensaio de tração, na máquina universal de ensaios (Instron 5582, Instron, Chicago, EUA), conforme figura 6, a uma Taxa de deformação de $0,0001s^{-1}$. Os segmentos de fio se apresentavam com o corpo de prova de 12cm, sendo que 3,5 cm em cada extremidade foi utilizado para fixação na máquina, dessa forma, o corpo útil foi de 5 cm. A leitura dos dados foi obtida através do *software Blue Hill*.



FIGURA 6- Máquina universal de ensaios Instron 5582

3.3. Análise estatística

Os dados coletados foram analisados pelo software SPSS (Statistical Package for Social Sciences, IBM Inc., USA) versão 22.0. Foram realizadas análises de estatística descritiva para obtenção de média e desvio padrão. A normalidade dos dados foi verificada pelo teste Shapiro-Wilk. Para verificar se houve diferença entre as dimensões intercaninos e intermolares, os resultados foram submetidos ao teste T de Student. Para comparação da resistência à tração e deformidade entre os grupos, foi usado o teste ANOVA. Foi adotado o nível de significância de 95% ($p < 0,05$).

4. RESULTADOS

Os resultados deste estudo estão apresentados em forma de tabelas, onde as variáveis foram estatisticamente significantes para $p < 0,05$.

A tabela 2 apresenta a descrição dos resultados encontrados para análise da estabilidade dimensional e para os ensaios de tração em todos os grupos.

TABELA 2. Estatística descritiva dos dados.

	Controle Média (DP)	Solda Média (DP)	Forno Média (DP)	Lamparina Média (DP)
Dist. Intercaninos antes	27,21 (0,33)	27,16 (0,55)	26,86 (0,61)	27,50 (0,41)
Dist. Intercaninos depois	28,33 (0,18)	27,87 (0,62)	27,86 (0,39)	28,14 (0,28)
Dist. Intermolares antes	40,37 (0,65)	38,91 (0,84)	39,97 (0,56)	40,39 (0,68)
Dist. Intermolares depois	41,16 (0,46)	39,24 (0,86)	40,57 (0,27)	40,77 (0,51)
Resistência à tração	1835,56(513,95)	2039,01 (117,51)	2162,36 (65,40)	1936,00 (39,18)
Deformação	3,14 (1,38)	2,66 (0,30)	3,08 (0,33)	2,29 (0,12)

Para a avaliação da estabilidade dimensional antes e após o tratamento térmico, houve diferença estatisticamente significante entre a primeira e segunda mensuração para as dimensões intercaninos e intermolares nos quatro grupos. Isso quer dizer que 30 dias após a primeira medição, as dimensões estavam significativamente maiores. Em outras palavras, não houve estabilidade. Em todos os grupos, inclusive controle, houve alteração das dimensões (TABELA 3).

TABELA 3. Comparação entre as distâncias intercaninos e intermolares, imediatamente após o tratamento térmico (1ª medição) e 30 dias depois (2ª medição).

Grupo	Distância intercaninos		P	Distância Intermolares		P
	1ª medição Média (DP)	2ª medição Média (DP)		1ª medição Média (DP)	2ª medição Média (DP)	
Controle	27,21 (0,33)	28,33 (0,18)	<0,001	40,37 (0,65)	41,16 (0,46)	0,001
Solda	27,16 (0,55)	27,87 (0,62)	<0,001	38,91 (0,84)	39,24 (0,86)	0,007
Forno	26,86 (0,61)	27,86 (0,39)	<0,001	39,97 (0,56)	40,57 (0,27)	<0,001
Lamparina	27,50 (0,41)	28,14 (0,28)	<0,001	40,39 (0,68)	40,77 (0,51)	0,003

Para os resultados dos ensaios de tração não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos, quando se comparou a resistência à tração e deformação. Isso indica que os quatro grupos apresentam comportamento/propriedades mecânicas semelhantes (TABELA 4).

TABELA 4. Comparação intergrupo para resistência à tração e deformação.

Grupo	Resistência (Mpa)		Deformação (%)	
	Média (DP)	p	Média (DP)	p
Controle	1835,56 (513,95)	0,514	3,14 (1,38)	0,488
Solda	2039,01 (117,51)		2,66 (0,30)	
Forno	2162,36 (65,40)		3,08 (0,33)	
Lamparina	1936,00 (39,18)		2,29 (0,12)	

5. DISCUSSÃO

As ligas de aço são utilizadas nas etapas do tratamento em que se deseja estabilidade do contorno dos arcos, mantendo as dimensões transversais (GURGEL, 2001).

A fácil manipulação, devido a boa formabilidade ou plasticidade, da liga de aço inoxidável permite sua versatilidade na ortodontia, sendo indicada em diferentes estágios do tratamento ortodôntico (GURGEL, 2001).

Ao se deformar ligas de aço, seus átomos são deslocados na grade espacial desequilibrando as forças interatômicas, ou seja, a deformação provoca tensões internas. Como alguns átomos se tornam muito próximos e outros distantes demais, uma situação de instabilidade é gerada, conhecida como “estresse interno do material”. Com o passar do tempo, a tendência dos átomos é de retornarem a sua posição original, e o fio volta a sua forma de origem, que apresentava antes de ser trabalhado (INGERLESV 1966; GJERDET e HERO 1987).

Nos resultados deste estudo, este fenômeno conhecido como liberação de tensões foi observado, onde a estabilidade dimensional em arcos de aço inoxidável submetidos ao tratamento térmico em forno, máquina elétrica de solda a ponto, lamparina e arcos que não foram submetidos ao tratamento térmico, sofreram expansão na região anterior (distância intercaninos) e na região posterior (distância intermolares) em todos os grupos, trinta dias após a confecção dos arcos e realização do tratamento térmico, conforme descrito na Tabela 4. Estes resultados mostram que as técnicas de revenido utilizadas neste trabalho foram insuficientes para suplantar as forças tensionais de contorneamento do aço inoxidável.

Uma característica dos fios de aço que também justifica a expansão dos arcos neste estudo é a memória de forma, uma propriedade que o fio tem de retornar a sua estrutura cristalina original, a sua forma. Quando o fio volta a sua forma original libera a energia acumulada em forma de força (GURGEL et al. 2001).

No que diz respeito à distância intercaninos, foi observada uma expansão dos arcos em todos grupos, com maior expansão para o grupo controle, de 1,12mm e menor para o grupo lamparina, de 0,64mm (TABELA 3). Porém, independente do planejamento ortodôntico, a distância intercaninos inferior tende a se expandir entre 1 e 2mm e pequenas modificações transversais nos arcos são aceitáveis (BURKE et al. 1998). Neste estudo as modificações transversais não ultrapassaram 2 mm. Apesar dessas mudanças serem consideradas significantes no delineamento da pesquisa não apresentam importância clínica considerável quando se realiza somente o contorneamento dos arcos.

Com relação à distância intermolares, todos os grupos analisados apresentaram expansão dos arcos 30 dias após sua confecção e realização do tratamento térmico, sendo que o grupo controle apresentou uma maior expansão, de 0,79mm e o grupo máquina de solda a menor expansão, 0,33mm (TABELA 3). Porém, a distância intermolares, tanto superior quanto inferior aumentam espontaneamente dos 7 aos 18 anos de idade, como observado por Sillman, em 1964; ou até os 26 anos, no arco superior e inferior como relatado por Marshall et al., em 2003.

É importante observar que suaves modificações transversais na extremidade do arco possivelmente não terão influência na dimensão transversal, por se tratar de extremidade de arco de calibre muito pequeno e a ancoragem ser reduzida nessa região (KASBERGEN 2007). Outros autores ainda preconizam uma certa liberdade na alteração das dimensões dos arcos, aceitando expansões ou contrações (McNAMARA JUNIOR; BRUDON, 1994).

A análise do comportamento mecânico dos fios de aço inoxidável neste estudo foi realizada através de ensaio de tração, devido a sua facilidade de execução e leitura dos resultados (TWELFTREE et al., 1977; SOUZA, 1989).

Para realização do tratamento térmico em forno, foi utilizada a temperatura de 450° C, durante 3 minutos. Funk, em 1951 e Biasi, em 2000, afirmam que o alívio das tensões e a recuperação da fase austenítica são alcançados quando o tratamento térmico é realizado a uma temperatura de 450° C durante 3 minutos. Porém, Kemler, em 1956,

relata que o tratamento térmico ótimo para o fio de aço inoxidável é realizado a uma temperatura de 370° a 425° C por um período de 5 a 15 minutos. Para Ingerslev, em 1966, o tratamento de calor do aço inoxidável 18/8 deve ser realizado entre 350° a 375° C durante 20 a 25 minutos. Estes períodos descritos por Kemler, em 1956, e Ingerlev, em 1966, podem ser considerados longos quando se pensa na prática clínica diária.

Como resultado da análise das propriedades mecânicas dos segmentos de fios de aço inoxidável neste trabalho, foi observado que não houve diferença estatisticamente significativa no comportamento mecânico de todos os grupos. Este resultado sugere que fios que não sofreram deformação a frio submetidos a tratamento térmico comportam-se de forma semelhante a fios que também não foram deformados a frio e que não sofreram tratamento térmico, não apresentando melhora nem piora de suas propriedades mecânicas (TABELA 4). O que corrobora com os resultados de Funk, em 1951, onde não houve alteração das propriedades mecânicas em fios de aço inoxidável que não sofreram deformação e foram tratados termicamente. Ainda segundo Funk, em 1951, o tratamento térmico é indicado para fios de aço inoxidável e não altera suas propriedades.

A partir de testes de expansão de arcos, Backofen e Gales, em 1951, estudaram a expansão de arcos em forma de U sob tensão, e encontraram um aumento significativo na força elástica depois do tratamento térmico, considerando que a relação tempo temperatura para o tratamento térmico atingiria melhores resultados a 260° C por 20 minutos ou de 400° a 455° C por 10 minutos. Kemler, em 1956, também concluiu que um tratamento de calor a baixa temperatura, 370° a 425° C em um período de 5 a 15 minutos, resultou em um aumento no limite de proporcionalidade e no módulo de elasticidade, em experimentos com o limite proporcionalidade, resistência à tração e dureza da austenita. Nestes trabalhos, a melhora das propriedades mecânicas dos fios de aço inoxidável foi observada após tratamento térmico por um período de tempo maior que o tempo adotado neste estudo, além disso os fios testados sofreram trabalho a frio antes da realização do tratamento térmico, diferente da amostra testada nesta investigação.

Considerando que a amostra utilizada nos ensaios de tração deste trabalho não sofreu nenhum tipo de trabalho a frio. Biasi et al., em 2000, relata que a maioria dos aços

austeníticos da série 300 passam por transformação martensítica após trabalho a frio, sendo a fase martensítica a responsável pela maior resistência mecânica. Após o recozimento, as propriedades são homogeneizadas e o estresse gerado pela deformação é aliviado. Dessa forma, os segmentos retos de fios de aço inoxidável testados neste estudo não sofreram mudança de fase, de austenita para martensita, o que justifica o comportamento mecânico semelhante entre os grupos tratados termicamente e o controle.

6. CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos na elaboração deste trabalho, é possível concluir:

- 1- O tratamento térmico ou a ausência dele não exerce influência nas alterações dimensionais dos arcos no decorrer de 30 dias.
- 2- O tratamento térmico, seja em forno a 450° C, em máquina elétrica de solda a ponto ou em lamparina, não impediu a expansão dos arcos 30 dias após a sua confecção.
- 3- O comportamento mecânico de segmentos de fio de aço inoxidável que não sofreram deformação a frio e foram submetidos ao tratamento térmico em forno a 450° C, em máquina elétrica de solda a ponto e em lamparina mostrou-se semelhante ao comportamento mecânico de segmentos de fios não tratados termicamente durante ensaios de tração.
- 4- Experimentos com grupos trabalhados a frio e amostras maiores são necessários para comprovar os achados literários referentes as propriedades mecânicas dos fios de aço inoxidável austeníticos após o tratamento térmico.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARTUN, J.; GAROL, J. D.; LITTLE, R. M. Long-term stability of mandibular incisors following successful treatment of Class II, Division 1, malocclusions. *Angle Orthod.* v.66, n.3, p.229-38, 1996.

BIASI, R. S.; RUELA, A. C. O.; ELIASC, C.N; O. CHEVITARESE, O. The Influence of Heat Treatment in Orthodontic Arches Made of Stainless Steel Wire. *Materials Research*, Vol. 3, No. 3, 97-98, 2000.

BACKOFEN, W. A.; GALES, G. F. The low temperature heat-treatment of stainless steel for orthodontics. *Angle Orthod.* v.21, n.2, p.117-24, Apr. 1951.

BURKE, S. P.; SILVEIRA, A. M.; GOLDSMITH, L. J.; YANCEY, J. M.; VAN STEWART, A.; SCARFE, W. C. A meta-analysis of mandibular intercanine width in treatment and postretention. *Angle Orthod.* v.68, n.1, p.53–60, Feb. 1998.

BURSTONE, C. J. Variable-modulus orthodontics. *Am. J. Orthod.* v.80, n.1, p.1-16, jul.1981.

CAPELOZZA FILHO, L., CAPELOZZA, J. A. Z. DIAO: diagrama individual anatômico objetivo. Uma proposta para escolha da forma dos arcos na técnica de Straight-Wire, baseada na individualidade anatômica e nos objetivos de tratamento. *Rev. Clin. Ortodon. Dental Press*, v.3, n.5, p. 8492, out. /Nov. 2004.

DE LA CRUZ, A.; SAMPSON, P.; LITTLE R. M.; ÅRTUN, J.; SHAPIRO, P.A. Long-term changes in arch form after orthodontic treatment and retention. *Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.* v.107, n.5, p.518-30, May 1995.

FERREIRA, A. B. H. Novo dicionário Aurélio da língua portuguesa. 3. ed. Curitiba: Positivo, 2004. 2120 p.

FUNK, A. C. The heat-treatment of stainless steel. *Angle Orthod.* v.21, n. 3, p.129-38, jul. 1951.

GRAVINA, M. A.; MOTTA, A. T.S.; ALMEIDA, M. A. O.; QUINTÃO, C. C. A. Fios ortodônticos: propriedades mecânicas relevantes e aplicação clínica. *R Dental Press Ortodon Ortop Facial.* Maringá, v.9, n.1, p.113-128, jan. /Fev. 2004.

GJERDET, N. R; HERO H. Metal release from heat-treated orthodontic archwires. *Acta Odontol. Scand.*, v.45, n.6, p.409-14, Dec. 1987.

GURGEL, J. A; RAMOS, A. L.; KERR, S. D. Fios ortodônticos. *Rev. Dent. Press Ortodon. Ortopedi. Facial*, v.6, n.4, p.103-14, jul. /Ago. 2001.

INGERSLEV, C. H. Influence of heat treatment on the physical properties of bent orthodontic wire. *Angle Orthod.*v.36, n.3, p.236-47, Jul. 1966.

INTERLANDI, S. Diagrama "individual" para o contorneamento de arcos ortodônticos. In: INTERLANDI, S. *Ortodontia: bases para iniciação*. 4. ed. São Paulo: Artes Médicas, 1999. p.729-45.

INTERLANDI, S. Diagrama para o contorneamento do arco De canto individual. *Rev. Assoc. Paul. Cir. Dent.* v.18, n.1, p.1-4, jan./fev. 1964.

KASBERGEN, G. F. Efeito do tratamento térmico nos fios ortodônticos de aço inoxidável. 2007. 104f. *Dissertação (Mestrado em Odontologia, Ortodontia)* - Faculdade de Odontologia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Araçatuba, 2007.

KAPILA, S.; SACHDEVA, R. Mechanical properties and clinical applications of orthodontic wires. *Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.* v. 96, n.2, p.100-9, Aug.1989.

KEMLER, E. A. Effect of low-temperature heat treatment on the physical properties of orthodontic wire. *Am. J. Orthod.* v.42, n.10, p.793, Oct. 1956. (abstract).

KEYS, J. Stress comparisons in orthodontic arch wires. *Aust. Dent. J.*, v. 18, n.5, p. 293-7, Oct./Nov. 1973.

KUSY, R. P. A review of contemporary archwires: their properties and characteristics. *Angle Orthod.* v.67, n.3, p.197-207, 1997.

LEE, R. T. Arch width and form: a review. *Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.* v.115, n.3, p.305-13, Mar. 1999.

LITTLE, R. M. Stability and relapse: early treatment of arch length deficiency. *Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.* v.121, n.6, p.578-81, Jun. 2002.

LITTLE, R. M. Stability and relapse of mandibular anterior alignment: University of Washington studies. *Semin. Orthod.* v.5, n.3, p.191-204, Sept. 1999.

LITTLE, R. M.; WALLEN T. R.; RIEDEL, R. A. Stability and relapse of mandibular anterior alignment: first premolar extraction cases tested by traditional edgewise orthodontics. *Am. J. Orthod.* v.80, n.4, p.349-65, Oct. 1981.

MARCOTTE, M. R. Optimum time and temperature for stress relief heat treatment of stainless steel wire. *J. Dent. Res.*, v.52, n.6, p. 1171-75, nov./Dec. 1973.

McNAMARA JUNIOR, J. A.; BRUDON, W. L. Orthodontic and orthopedic treatment in the mixed dentition. *Ann Arbor: Needhan Press*, 1994. 365p.

OH, K.T.; KIM, K. N. Ion release and cytotoxicity of stainless steel wires. *Eur. J. Orthod.* v.27, n.6, p.533-40, Dec. 2005.

PHILLIPS, R. W. *Materiais dentários de Skinner*. 8. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1984. 467p.

PINZAN, A.; MARTINS, D. R.; HENRIQUES, J. F. C.; CUOGHI, O. A. Avaliação do contorno ântero-inferior do arco dentário, pelo diagrama de Interlandi, após o tratamento ortodôntico. *Ortodontia*, v.25, n.2, p.37-40, maio/ago.1992.

PROFFIT, W. R.; FIELDS, H. W. *Ortodontia contemporânea*. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1995. 596 p.

QUINTÃO, C.C.A.; BRUNHARO I.H.V.P. Fios ortodônticos: conhecer para otimizar a aplicação clínica. *R Dental Press Ortodon Ortop Facial*. Maringá, v. 14, n. 6, p. 144-157, nov./Dez. 2009.

SILLMAN, J. H. Dimensional changes of the dental arches: longitudinal study from birth to 25 years. *Am. J. Orthod.* v.50, n.11, p.824-42, Nov. 1964.

SOUZA, S. A. Composição química dos aços. São Paulo: Edgard Blücher, 1989. 134p.

SOUZA, S. A. Ensaio de tração. In: SOUZA, S. A. Ensaio mecânicos de materiais metálicos. 5. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1982. 286 p.

TWELFTREE, C. C.; COCKS, G. J.; SIMS, M. R. Tensile properties of orthodontic wire. *Am. J. Orthod.* v.72, n.6, p. 682-7, Dec. 1977.

VANARSDALL JUNIOR, R.L. Transverse dimension and long-term stability. *Semin. Orthod.* v.5, n.3, p. 171-80, Sep. 1999.

