

# Um novo fio de aço inoxidável para aplicações ortodônticas

André Itman Filho\*, Rosana Vilarim da Silva\*\*, Roney Valdo Bertolo\*\*\*

## Resumo

**Objetivo:** desenvolver uma metodologia para fabricação de fios ortodônticos de aço inoxidável austeno-ferrítico SEW 410 Nr. 14517 por meio dos processos convencionais de laminação e trefilação. **Métodos:** o aço austeno-ferrítico foi elaborado em um forno elétrico de indução. A qualidade dos fios foi avaliada por ensaios de tração e medidas de microdureza. A ductilidade e a manuseabilidade foram analisadas por meio da confecção de componentes ortodônticos. **Resultados e Conclusões:** os valores encontrados mostraram que os fios de aço inoxidável austeno-ferrítico atenderam às normas BS 3507:1976 e ISO 5832-1, e apresentaram ótima ductilidade para confecção de componentes ortodônticos com dobras complexas.

**Palavras-chave:** Aços inoxidáveis duplex. Fios ortodônticos. Propriedades de fios ortodônticos.

## INTRODUÇÃO

A prática de implantes cirúrgicos já era conhecida no início da era cristã, embora o primeiro caso documentado, em 1565, tenha sido o da restauração do palato de um paciente com uma placa de ouro<sup>13</sup>. Apesar de praticados desde o século XVI, esses procedimentos são pouco conhecidos no que diz respeito à fabricação e qualidade dos componentes utilizados. Somente a partir de 1895, com a observação da fixação metálica e cicatrização óssea das fraturas através do raio X, a aplicação dos biomateriais metálicos em implantes humanos foi estimulada. Inicialmente, as

ligas de ouro, prata e platina foram utilizadas por apresentarem um alto grau de biocompatibilidade associado à facilidade de conformação<sup>12,15</sup>. A partir de 1930, ligas de metais com níquel, cobalto, cromo e molibdênio começaram a ser empregadas na confecção de próteses parciais, pois a combinação de baixo custo e boas propriedades mecânicas fez com que substituíssem as ligas mais nobres<sup>10,11</sup>. Essas ligas, chamadas de básicas, requeriam altas temperaturas de fusão e equipamentos especiais para o acabamento superficial dos componentes fabricados. A metalurgia das ligas era extremamente complexa e as chances

**Como citar este artigo:** Itman Filho A, Silva RV, Bertolo RV. Um novo fio de aço inoxidável para aplicações ortodônticas. Dental Press J Orthod. 2011 July-Aug;16(4):55-9.

» Os autores declaram não ter interesses associativos, comerciais, de propriedade ou financeiros, que representem conflito de interesse, nos produtos e companhias descritos nesse artigo.

\* Doutor em Ciência e Engenharia dos Materiais pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

\*\* Doutora em Ciência e Engenharia dos Materiais pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP).

\*\*\* Cirurgião-dentista pela Faculdade de Odontologia de Lins - SP.

de sucesso dependiam de variáveis importantes como a composição química apropriada do material e a avaliação das propriedades mecânicas, além do conhecimento das técnicas de fundição<sup>4,13</sup>. Na mesma linha tecnológica, essas ligas não ferrosas começaram a ser gradualmente substituídas pelos aços inoxidáveis austeníticos da série ASTM 300, no que diz respeito à prática ortodôntica. Esses aços, além da menor densidade, quando comparados às ligas básicas, apresentavam resistência mecânica adequada, boa resistência à corrosão e suficiente biocompatibilidade com menor custo<sup>1,9,12</sup>. Nos tratamentos ortodônticos, os fios metálicos são submetidos aos esforços mecânicos provenientes da mastigação, os quais provocam deformações permanentes e tensões residuais localizadas. Para essa finalidade, os fios requerem resistência mecânica suficiente à deformação plástica e às tensões envolvidas nos movimentos das articulações, além de biocompatibilidade. Nesse caso, os aços ASTM 302 e ASTM 304 são os mais utilizados, enquanto o inoxidável austenítico ASTM 316L é o mais apropriado para implantes cirúrgicos (Tab. 1). Atualmente, o conhecimento das propriedades mecânicas das diversas ligas proporciona a otimização dos tratamentos ortodônticos. Em geral, os

fios fabricados com os aços inoxidáveis austeníticos são adequados para utilização nos estágios finais dos tratamentos, em razão da ótima rigidez e resistência à corrosão no meio bucal<sup>3,5,8</sup>. Outras propriedades, como a tenacidade, a resistência à fadiga e a ductilidade, contribuem para a escolha do material mais adequado. Sendo assim, a liga ideal deverá ter resistência suficiente para suportar as tensões envolvidas nos movimentos das articulações, capacidade de absorver a energia mecânica sem deformação plástica, ser inerte aos fluidos orgânicos e não liberar produtos tóxicos<sup>2</sup>.

Considerando-se a resistência mecânica e à corrosão, os aços inoxidáveis austeníticos têm sido substituídos pelos austeno-ferríticos em várias aplicações industriais, pois esses últimos, quando comparados aos primeiros, apresentam melhor resistência à propagação de trincas em corrosão sob tensão<sup>6,14</sup>. Resultados da literatura também mostraram que as características de biocompatibilidade de um aço inoxidável austenítico e de um austeno-ferrítico são similares<sup>1</sup>. No caso dos tratamentos ortodônticos, a substituição dos aços inoxidáveis austeníticos pelos austeno-ferríticos poderá apresentar a vantagem da redução do custo e da hipersensibilidade ao níquel nos pacientes.

TABELA 1 - Composição química dos aços inoxidáveis SEW 410 Nr. 14517 padrão, austeno-ferrítico elaborado e austeníticos comerciais citados no texto (% em peso).

	Cr	Ni	Mo	Cu	Mn	Si	C	N	P	S
SEW 410 elaborado	25,0	5,6	2,5	3,0	0,6	0,6	0,02	0,14	0,03	0,01
SEW 410 padrão	24,5 26,5	5,5 7,5	2,5 3,5	3,0 3,5	1,0 max	1,0 max	0,03 max	0,12 0,25	0,04 max	0,03 max
ASTM 316L comercial	18,0 20,0	8,0 10,0	2,0 3,0	-	2,0 max	1,0 max	0,03 max	-	0,04 max	0,03 max
ASTM 304 comercial	18,0 20,0	8,0 10,0	-	-	2,0 max	1,0 max	0,08 max	-	0,04 max	0,03 max
ASTM 302 comercial	17,0 19,0	8,0 10,0	-	-	2,0 max	1,0 max	0,15 max	-	0,04 max	0,03 max

## OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi a confecção de fios de aço inoxidável austeno-ferrítico SEW 410 Nr. 14517 por meio da laminação e trefilação, similares aos processos de fabricação dos fios comerciais de aço inoxidável austenítico utilizados nos tratamentos ortodônticos. Esse aço duplex foi o escolhido, pois é muito utilizado em diversas aplicações industriais. Para verificar se os fios confeccionados atendiam aos requisitos das normas, foram realizados ensaios em tração e medidas de microdureza. A ductilidade do material foi avaliada por meio de análises fractográficas e confecção de componentes ortodônticos.

## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O aço austeno-ferrítico foi elaborado em um forno elétrico de indução, com capacidade nominal de 500kg, na Fundição do Grupo Metal (Tietê/SP). O metal líquido foi vazado em um molde de areia aglomerada com resina fenólica uretânica na forma de bloco tipo quilha (ASTM A781-M) adaptado a uma peça comercial. A composição química do aço foi obtida por meio da análise em um espectômetro de emissão óptica. A barra inicial, de aproximadamente  $\varnothing 11 \times 180$ mm de comprimento, foi usinada em torno mecânico até atingir o diâmetro de 10mm e, posteriormente, foi reduzida ao diâmetro de 2,5mm pelo processo de laminação. Esses fios laminados, com aproximadamente 1m de comprimento, foram soldados aos do aço inoxidável ASTM 304 para ser trefilados até o diâmetro de 0,4mm, conforme procedimento convencional a frio na Superfine Steel (Santa Bárbara D'Oeste/SP). Para avaliar a resistência máxima à tração, amostras dos fios cortadas durante as etapas do processo de trefilação foram tracionadas em uma máquina universal EMIC DL 10000 com a velocidade de 1mm/minuto, conforme especificação das normas ASTM E 8-00 e NBR 6152/92. Nessas amostras também foram feitas medidas da microdureza, seguindo os critérios da norma ASTM E 384-89. A manuseabilidade dos fios foi avaliada comparativamente à dos fios de aços inoxidáveis comerciais,

por meio da confecção de componentes ortodônticos. Para verificar as características morfológicas da fratura após ensaio em tração, uma amostra do fio com 0,9mm de diâmetro foi analisada por meio de microscopia eletrônica de varredura.

## RESULTADOS

Os valores, em percentuais de peso, mostrados na Tabela 1, revelam que os teores dos elementos atendem às especificações da composição química do aço inoxidável austeno-ferrítico SEW 410 Nr. 14517.

A Tabela 2 mostra os valores médios de resistência à tração com os respectivos desvios-padrão, após realização dos ensaios em cinco corpos de prova nos diâmetros relacionados. Esses valores atendem às exigências das normas BS 3507:1976 e ISO 5832-1. Na mesma tabela são apresentadas as medidas de microdureza das amostras submetidas aos ensaios em tração.

Na Figura 1 é mostrado um Bionator confeccionado com os fios do aço inoxidável austeno-ferrítico. As Figuras 2A, 2B e 2C mostram as características fractográficas representativas de uma amostra submetida ao ensaio de tração.

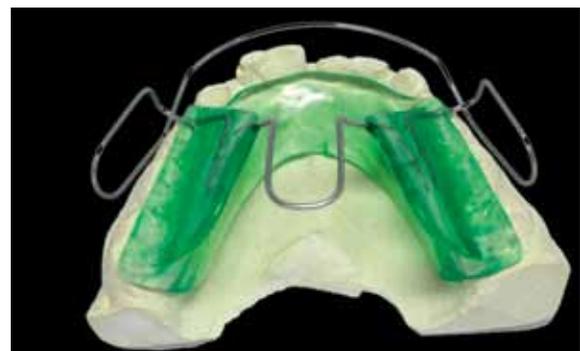


FIGURA 1 - Bionator confeccionado com o fio de aço SEW 410 Nr. 14517.

TABELA 2 - Resistências à tração e microdureza Vickers dos fios fabricados com o aço SEW 410 Nr. 14517.

	$\varnothing$ 2,5mm	$\varnothing$ 1,1mm	$\varnothing$ 0,9mm	$\varnothing$ 0,4mm
$\sigma_t$ (MPa)	1423 $\pm$ 16	1596 $\pm$ 26	1726 $\pm$ 41	2030 $\pm$ 25
Vickers (HV)	341 $\pm$ 13	427 $\pm$ 6	430 $\pm$ 5	509 $\pm$ 13

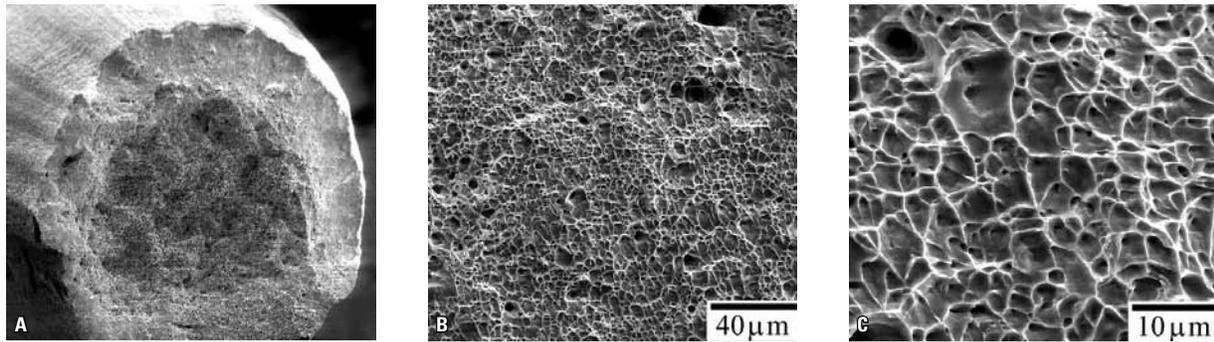


FIGURA 2 - Fractografia do fio com  $\varnothing$  0,9mm submetido ao ensaio de tração: **A**) superfície de fratura do fio, **B, C**) ampliação da região indicada em **(A)**.

## DISCUSSÃO

A principal dificuldade para a realização deste trabalho foi desenvolver o processo de fabricação do fio em equipamentos convencionais de conformação mecânica, pois esses são utilizados para grande quantidade de material, diferentemente da amostra inicial do aço austeno-ferrítico, de aproximadamente 500g. Em geral, as fusões nos fornos são realizadas para, no mínimo, 500kg de aço, fato que encarece a obtenção de materiais para projetos de pesquisa. Assim, para obter uma amostra inicial do aço inoxidável austeno-ferrítico, foi necessária a adaptação de um molde tipo quilha a uma peça comercial. A redução até o diâmetro de 2,5mm foi realizada em laboratório, tendo como resultado fios com aproximadamente 1m de comprimento. Como as trefilas industriais necessitam de comprimentos maiores para o início do processo, foi necessária a soldagem dos fios  $\varnothing$ 2,5mm aos do aço inoxidável ASTM 304, que tem composição compatível ao austeno-ferrítico. Considerando as etapas de conformação, o efeito do elevado grau de deformação a frio pode ser constatado na Tabela 2, com redução de 80,2% no último passe de trefila ( $\varnothing$ 0,9mm  $\rightarrow$   $\varnothing$ 0,4mm). Mesmo com o aumento significativo do valor da dureza após a trefilação no diâmetro final, não houve prejuízo da ductilidade e da manuseabilidade, pois foram confeccionados vários componentes

com diversas dobras, sem que houvesse a ruptura dos fios. Quanto à resistência mecânica elevada, associada à rigidez característica do aço inoxidável, são parâmetros importantes para assegurar que o fio mantenha os dentes na posição adequada após o término do tratamento ortodôntico. Outro fator importante é que o processo de conformação para obter o diâmetro desejado foi similar aos utilizados na fabricação de fios de aços inoxidáveis comerciais. Isso favorece a produção em escala industrial sem alterações no processo de manufatura dos aços. Os valores da dureza e resistência máxima à tração, similares aos dos fios inoxidáveis ortodônticos comerciais ASTM 302 e ASTM 304, são um indicativo de que o aço pode suportar o atrito característico da movimentação dos fios entre os braquetes com propriedades adequadas para aplicações na Ortodontia, conforme a norma BS 3507/1976 e ISO 5832-1. Com relação à ductilidade do aço, essa característica é comprovada por meio da Figura 2, que mostra a fractografia da microtrinca iniciando-se no centro do fio e terminando por cisalhamento nas bordas, conforme o modelo típico “taça e cone”<sup>7</sup>. Quanto à manuseabilidade do fio, foi observado que o aço inoxidável austeno-ferrítico tem ductilidade adequada para dobramentos intensos, tais como os exigidos na confecção do Bionator, e é apropriado para fabricação de outros componentes ortodônticos.

No teste comparativo com fios de aço inoxidável austenítico comercial utilizado nos procedimentos de rotina, não foi constatada diferença ao manusear os dois tipos.

## CONCLUSÃO

Os resultados dessa pesquisa mostraram que o aço inoxidável austeno-ferrítico supor-

tou uma grande redução de área nas etapas de fabricação dos fios. Assim, o valor da resistência mecânica à tração superior a 2000MPa, associado à ductilidade, à biocompatibilidade e às características de processamento, indica que os aços inoxidáveis austeno-ferríticos apresentam grande potencial para substituir os austeníticos nas aplicações ortodônticas.

---

## A new stainless steel wire for orthodontic purposes

### Abstract

**Objective:** To develop a method to manufacture austenitic-ferritic stainless steel orthodontic wires (SEW 410 Nr. 14517) using conventional rolling and wire drawing processes. **Methods:** Austenitic-ferritic steel was produced in an induction furnace. Traction trials and microhardness measurements were used to evaluate wire quality. Orthodontic parts were fabricated to assess ductility and malleability. **Results and Conclusions:** Austenitic-ferritic stainless steel wires meet the BS 3507:1976 and ISO 5832-1 norms and have excellent ductility for the fabrication of orthodontic parts with complex folds.

**Keywords:** Duplex stainless steel. Orthodontic wires. Orthodontic wires properties.

---

## REFERÊNCIAS

1. Beloti MM, Rollo JMDA, Itman A, Rosa AL. In vitro biocompatibility of duplex stainless steel with and without 0,2% niobium. *J Appl Biomater Biomech.* 2004;2(3):162-8.
2. Dainesi EA, Dainesi EA, Consolaro A, Woodside DG, Freitas MR. Nickel hypersensitivity reaction before, during and after orthodontic therapy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1998;113(6):655-60.
3. Drake SR, Wayne DM, Powers JM, Asgar K. Mechanical properties of orthodontic wires in tension, bending, and torsion. *Am J Orthod.* 1982 Sept;82(3):206-10.
4. Felton DA, Brien RL. Comparison of titanium and cobalt-chromium removable partial denture clasps. *J Prosthet Dent.* 1997;78(2):187-93.
5. Finn ME, Srivastava AK. Machining of stainless steel. *Proceedings of the International Conference on Manufacturing of Advanced Materials.* Las Vegas; 2000.
6. Gunn RN. Duplex stainless steel: microstructure, properties and applications. Cambridge: Cambridge University Press; 1997.
7. Hull D. Fractography. Cambridge: Cambridge University Press; 1999.
8. Kapila S, Sachdeva R. Mechanical properties and clinical applications of orthodontic wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1989;96(2):100-8.
9. Padilha AF, Guedes LC. Aços inoxidáveis austeníticos: microestruturas e propriedades. São Paulo: Hemus; 1994.
10. Ratner BD. Biomaterial science introduction to materials in Medicine. New York: Academic Press; 1997.
11. Rubin L. Biomaterials in reconstructive surgery. St. Louis: CV Mosby; 1983.
12. Silva ALC, Mei PR. Aços e ligas especiais. Sumaré, SP: Eletrometal S.A. Metais Especiais. 2ª ed. São Paulo: Pannon; 1988.
13. Skinner EW. Materiais dentários. 9ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 1991.
14. Truman JE, Pirt KR. Properties of a duplex (austenitic-ferritic) stainless steel and effects of thermal history. *Duplex Stainless Steel Conference Proceedings.* 1983 Oct 23-28. Metals Park: American Society for Metals; 1983. p. 113-42.
15. Willians DF, Roaf R. Implants in surgery. London: W. B. Saunders Company; 1973.

Enviado em: 23/03/2006  
Revisado e aceito: 02/12/2009

---

### Endereço para correspondência

André Itman Filho  
Rua José Teixeira, 228, apto. 1102 – Praia do Canto  
CEP: 29055-310 - Vitória / ES  
E-mail: andreitman@hotmail.com