PRODUÇÃO E APLICAÇÃO DE LIGAS FERROSAS – FASE II

Maria Luiza Moreira Dias Pereira (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Reginaldo Barco (Orientador). E-mail: rbarco2@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Maringá, PR.

Ciências Exatas e da Terra / Física – Física da Matéria Condensada.

Palavras-chave: Difração de raios-X; Aços; Materiais Reciclados.

RESUMO

A necessidade de reduzir a degradação ambiental torna-se cada vez mais urgente, incentivando assim, a relevância da reutilização de materiais outrora descartados. Diante do grande volume de materiais ferrosos abandonados, especialmente resíduos de construção e sucatas veiculares, este estudo propõe o reaproveitamento de dois tipos de resíduos: vergalhão de construção e disco de freios automotivo, como base na produção de aços do tipo AISI 321 e AISI 409. Estes materiais foram submetidos à técnica de FRX para identificação os elementos presentes e decidir quais as adições necessárias para os aços mencionados. O processo de produção foi iniciado no processo de fusão em forno de arco voltaico, seguindo protocolos habituais. As amostras produzidas foram filetadas em cortadeira metalográfica, obtendo discos de 1,2 mm de espessura, sendo lixadas e polidas para corrigir irregularidades. A solubilização ocorreu a 1000 ^{o}C/1h, sob vácuo, com subsequente retirada do forno, após considerar diagramas de equilíbrio de fases, necessário na retenção da estrutura do aço pretendido. Foram aplicados tratamentos de envelhecimento, sob vácuo, nas temperaturas de 400 e 500 ^{o}C, por 1h, sendo retiradas do forno em seguida. As amostras produzidas foram caracterizadas por FRX e DRX e, quando o vergalhão foi utilizado como precursor, as amostras apresentaram fase única compatível com os aços pretendidos, FCC para tipo AISI 321, e BCC para tipo AISI 409. Micrografias de MEV, asseguraram a formação estrutural. Ensaios de vibração apontaram para propriedades mecânicas compatíveis, permitindo apontar para uma forma de promover melhor destinação para esse tipo produto.

INTRODUÇÃO

As chamadas ligas ferrosas são classificadas em baixa liga e alta liga e, por sua vez, subdivisões como o ferro fundido, na baixa liga e aços nobres, como os AISI e *Maraging*, na alta liga [CALLISTER JR, W.D., 2016]. Estes, podem ser empregados em ambientes corrosivos, ou com temperaturas de até 400 ^{o}C, sem alterações significativas, devido às características mecânicas e aos elementos de liga que compõem o aço, entretanto, seu alto custo de produção limita a empregabilidade. Como forma de reaproveitamento de materiais, tão necessária em nosso tempo,

decidiu-se por produzir 2 aços: tipo AISI 409 e tipo AISI 321 utilizando o ferro originado de produtos de descarte, como vergalhão de construção e disco de freios automotivo. Enquanto o AISI 321 é do tipo austenítico, não magnético, possuindo ampla aplicação, como em componentes de aeronaves; o AISI 409 é ferrítico, magnético, muito útil em escapamentos automotores, por apresentar boa estabilidade em temperaturas de até cerca de 650 ℃ [SHOJAATI, M., 2017].

MATERIAIS E MÉTODOS

Produção das Amostras.

Após a identificação prévia dos elementos constituintes do vergalhão e do disco, foram avaliados os elementos necessários, bem como suas quantidades, para produzir os tipos de aço escolhidos: AISI 321 e AISI 409. A produção dependeu da fusão em forno a arco voltaico, adotando-se o critério de pré-fusão da sucata, com adição dos elementos de liga necessários, na seguinte ordem: Nb (para o AISI 409) + Ti; Cr; Ni e Mn. Para concluir a amostra, foram realizadas, ao menos duas refusões, mantendo a homogeneidade da liga. A porção de cada elemento dependeu do tipo de aço a ser produzido. Lâminas circulares foram obtidas após a fusão, após o corte em cortadeira metalográfica, seguido de lixamento e polimento em, ao menos uma das faces, para o emprego das técnicas de análise. Tratamentos térmicos, sob vácuo, foram necessários para assegurar as fases pretendidas, buscando eliminar tensões mecânicas e possível oxidação superficial, provenientes da produção. Assim, a solubilização aconteceu a 1000 ºC, durante 1h, com a subsequente retirada do forno. Testes de envelhecimento foram aplicados, nas temperaturas de 400 e 500 ºC também por 1h, com retirada do forno após o período.

Técnicas de Análise.

As técnicas empregadas foram: Fluorescência de raios X (FRX) para caracterização elementar; Difratometria de raios X (DRX), para a caracterização estrutural das fases formadas; Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), para verificar a distribuição elementar nas amostras; Ensaios de vibração mecânica, para a sondagem de um tipo de propriedade mecânica. As técnicas empregadas exigem protocolos individuais, sendo observados à risca, para obter os resultados mais adequados. A FRX aplica feixes de energia entre 1,0 e 30 keV, que identifica a maior parte dos elementos químicos. As varreduras de DRX foram entre 35 e 127 º, com passos de 0,02º. Para as micrografias de MEV aplicou-se Nital a 3%, para a revelação de estruturas. Para os ensaios de vibração, foi utilizado um dispositivo *home-made*, aplicando baixas frequências na amostra, captadas por uma célula piezoelétrica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A técnica de FRX permitiu identificar os elementos constituintes dos materiais para origem do ferro, com frações em massa (wt%), bem como a existência dos

elementos de liga adicionados, em porções próximas às nominais, com as quantidades evidenciadas na tabela 01.

Tabela 01: Relação elementar dos constituintes dos precursores utilizados e das amostras produzidas, obtidas por FRX.

Amostra	Elementos identificados em frações de massa (wt%)						
	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Nb
Vergalhão	0,16(1)			0,55(3)	99,07(6)		
Disco	1,19(9)			0,54(9)	98,27(9)		
Amostra 1	0,17(3)	0,57(9)	15,30(9)	1,46(3)	79,7(4)	2,789(9)	0,02(1)
Amostra 2	0,16(1)	0,40(1)	18,67(8)	2,00(7)	67,45(9)	11,32(9)	
Amostra 3	0,79(2)	0,58(2)	20,77(7)	0,78(9)	65,94(9)	11,14(9)	
Amostra 4	0,84(5)	1,04(2)	17,11(9)	1,07(1)	77,17(7)	2,69(4)	0,08(1)

Destaca-se que as informações apresentadas foram obtidas a partir da média e respectivos desvios, realizadas em, pelo menos, 3 porções de cada amostra. Amostras 1 e 4 – AISI 409; amostras 2 e 3 – AISI 321. Origem do ferro: vergalhão (1 e 2), disco (3 e 4)

As figuras 01 apresentam os DRX dos aços produzidos: tipo AISI 409 (em 01a) e tipo AISI 321 (em 01b), com o vergalhão como origem do ferro. O tipo AISI 409, aponta para um aço monofásico, bcc (CRYSTALLOGRAPHY, 2026), ferrítico/magnético, como descrito na literatura. Os envelhecimentos de 400 e 500 ºC por 1h não teriam sido suficientes para apresentar alteração estrutural significativa, enquanto que, no painel 01b, com o tipo AISI 321, aço originalmente, fcc (CRYSTALLOGRAPHY, 2026), austenítico e não magnético, a porção solubilizada apresentou o esperado, e os tratamentos de envelhecimento proporcionaram o crescimento da fase bcc, em quantidades não avaliadas, estimada abaixo de 15%.

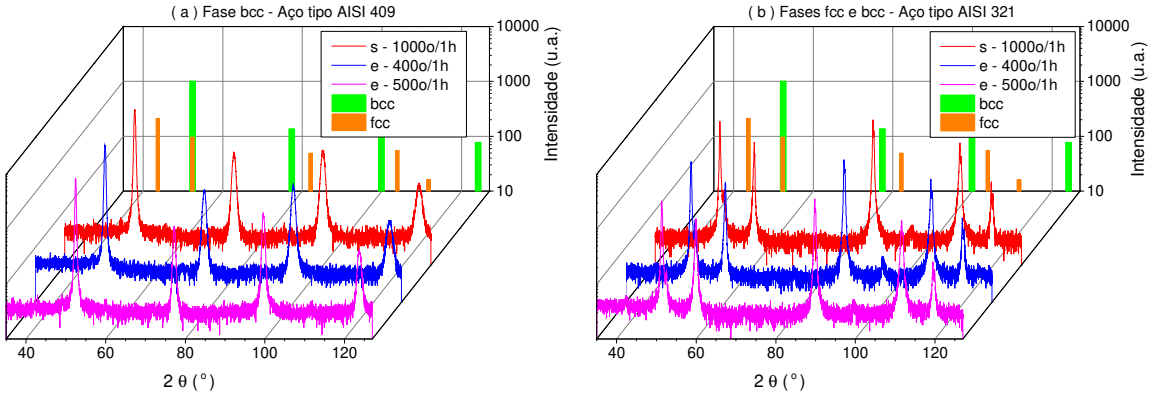


Figura 01 – Difratogramas das amostras (a) 01, tipo aço 409, e (b) 02, tipo aço 231. Obtidas a partir do vergalhão. s – temperatura de solubilização; e – temperatura de envelhecimento.

Nas figuras 02, são mostradas micrografias MEV de duas das amostras produzidas para o aço tipo AISI 321: 02a – origem do vergalhão; 02b – origem do disco de freios. A textura em 02a indica presença de fase única, como observada no DRX, com distribuição homogênea dos elementos de liga; na imagem 02b, a estrutura

Fe_3C, ou similar, foi identificada no alto relevo, mesmo após a fusão, a adição dos outros elementos e o tratamento térmico de solubilização, tornando-a com mais de uma fase cristalográfica, identificada no DRX (não mostrado).

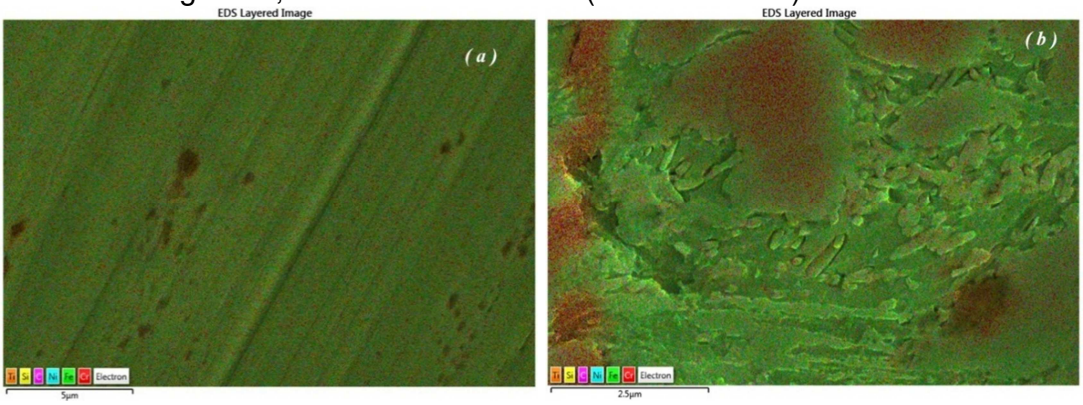


Figura 02 – Micrografias de MEV, com EDS, de amostras tipo AISI 321, obtidas a partir: do vergalhão (a); do disco (b). Os elementos estão distribuídos, mas é observado a presença de mais de uma fase cristalográfica.

Os ensaios de vibração, por sua vez, indicaram a manutenção das propriedades mecânicas dos aços pretendidos, com pequena redução dos valores tabelados, quando a origem do ferro era o disco.

CONCLUSÕES

Nota-se, a partir das amostras produzidas que, enquanto as amostras foram produzidas a partir do vergalhão, o resultado foi promissor, indicando que é possível reaproveitar este tipo de material como origem para aços do tipo AISI 321, ou 409, enquanto que, para o disco de freios, seriam necessários outros testes para que seja possível indicar adequado reaproveitamento.

AGRADECIMENTOS

Nossos sinceros agradecimentos à UEM, pela oportunidade e ao CNPq, pelo aporte financeiro.

REFERÊNCIAS

CALLISTER Jr., W.D.; RETHWISCH, D.G. **Ciência e Engenharia de Materiais**: Uma Introdução. Rio de Janeiro: LTC-GEN, 2016.

CRYSTALLOGRAPHY Open Database: search. [S. l.], c2026. Disponível em: https://www.crystallography.net/cod/search.php. Acesso em: 31 ago. 2026.

SHOJAATI, M.; BEIDOKHTI, B. **Characterization of AISI 304/AISI 409 stainless steel joints using different filler materials.** *Construction and Building Materials.* 2017, Vol. 147, pp. 608-615. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.185.