

PRODUÇÃO EM LABORATÓRIO DA LIGA FeCr-AC A PARTIR DE CINZAS DA INCINERAÇÃO DE APARAS DE COURO¹

Claudia Rosane Ribeiro Alves²

Nestor Cezar Heck³

Ivo André Homrich Schneider⁴

Resumo

A indústria coureiro-calçadista, durante o processo de curtimento do couro, produz aparas que, por causa do método empregado, têm cromo na sua composição química. O objetivo deste trabalho é mostrar que é possível a reutilização do metal contido nas cinzas das aparas incineradas, como matéria prima na produção de aço inoxidável, livrando o meio ambiente de um resíduo perigoso. Trata-se, aqui, do estudo para a elaboração de uma liga com as características similares às de uma ferroliga FeCr-AC comercial. Foi realizada uma análise termodinâmica simulando o processo de redução do óxido de cromo com os objetivos de fundamentar e de fornecer as melhores condições para os experimentos. Ao nível de laboratório, em estágio preliminar, foi demonstrado que é possível a reutilização do cromo contido nas cinzas da incineração das aparas de couro para a finalidade prevista.

Palavras-chave: Cromo; Ferroliga FeCr-AC; Resíduos do curtimento do couro

LABORATORY PRODUCTION OF A HIGH CARBON Fe-Cr ALLOY FROM ASHES OF THE LEATHER SHAVINGS INCINERATION

Abstract

The tanning and shoes industry, during the process of leather tanning, produce shavings that, because of the method used, have chromium in its chemical composition. Aim of this work is to show that the recycling of the metal contained in leather shavings ashes is possible as raw material for stainless steel production, relieving the environment of a dangerous residue. Here, an investigation aimed at the elaboration of a ferroalloy with similar characteristics to the commercial FeCr-HC ferroalloy was made. First, a thermodynamic analysis was carried throughout, simulating the process of reduction of chromium oxide in order to provide a base and the most favorable conditions for the experiments. To the laboratory level, it was demonstrated preliminary that the reutilization of chromium contained in ashes from the incineration of leather shavings for the production of FeCr-HC is possible.

Key words: Chromium; Ferroalloy FeCr-HC; Residues of leather tanning.

¹ *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

² *MSc., aluna de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Eng. de Minas, Metalúrgica e de Materiais, PPGEM; LEAMET / NTCm; UFRGS, (Porto Alegre-RS)*

³ *Dr.-Ing., professor, Núcleo de Termodinâmica Computacional para a Metalurgia, NTCm; Depto. de Metalurgia, UFRGS, (Porto Alegre-RS)*

⁴ *Dr., professor, Laboratório de Estudos Ambientais para Metalurgia, LEAMET; Depto. de Metalurgia, UFRGS, (Porto Alegre-RS)*

1 INTRODUÇÃO

Foram produzidas, no Brasil, no ano de 2004, somente no setor calçadista, 166 mil toneladas de resíduos sólidos; desta quantidade, 40-50% correspondeu a resíduos contendo *chromo* em sua composição. É importante salientar que o estado do Rio Grande do Sul é responsável por 40 % da produção nacional de calçados.

Frente à intensa conscientização social – ao lado da legislação ambiental, cada vez mais rigorosa, e que penaliza todos os envolvidos em crimes ambientais, tanto as empresas que recebem resíduos quanto as que produzem – é cada vez maior o interesse do setor produtivo em proteger o meio ambiente. Desta conscientização resultou a necessidade de desenvolver um processo de tratamento, junto a este ramo industrial, com o objetivo de reduzir o volume e, ao mesmo tempo, aproveitar o conteúdo energético do resíduo sólido – como alternativa para não aumentar o passivo ambiental que se estabelece quando estes resíduos são enviados a aterros industriais de resíduos perigosos, ARIPs. Tal processo de tratamento consiste basicamente de uma unidade incineradora dotada de um sistema de tratamento de gases com capacidade nominal de processar 100 kg/h de resíduos sólidos contendo cromo. Este equipamento, contudo, ao atingir estes objetivos, produz um segundo resíduo sólido – as *cinzas da incineração de aparas de couro*, CIAC, numa proporção de ~6,5 kg de CIAC por 100 kg de resíduo – ao qual se deve dar uma destinação. Deve-se salientar que já foram processadas cerca de 200 toneladas do resíduo neste equipamento, em 2 500h de operação da usina.⁽¹⁾

Como as cinzas são ricas em óxidos de cromo (40-50% em massa), entre as alternativas para o aproveitamento deste metal aparecem: a indústria química – especialmente os curtumes – e a indústria metalúrgica.

No ramo metalúrgico, tem destaque a siderurgia, como grande consumidora deste metal na produção de aços inoxidáveis. O metal cromo é introduzido no processo de produção do aço inoxidável tipicamente sob a forma de ferroliga (Fe-Cr) com teor elevado deste metal. Conforme indicado por um balanço de massa, a quantidade de cromo contida em 100 kg de CIAC seria suficiente para a produção de cerca de 5 kg da ferroliga citada.

A produção de FeCr-AC (variedade de alto carbono) se dá em fornos elétricos de redução (FER) revestidos com refratários magnesianos ou uma pasta carbonosa. Segundo Beneduce,⁽²⁾ o minério é tipicamente a cromita ($\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$), com uma ganga alumino-magnesiana, e a redução é levada a cabo pelo carbono. A escória produzida no processo industrial tem uma composição similar à da ganga de quartzito, ajustada para que a temperatura *liquidus* se situe na faixa de 1.700°C a 1.800°C.

2 METODOLOGIA

2.1 Termodinâmica Computacional

Com o objetivo de se estudar o problema e direcionar a realização de experimentos em laboratório, foram realizadas simulações do processo de redução com base na termodinâmica computacional.

O aplicativo utilizado denomina-se FactSage 5.3.1 e foi descrito na literatura especializada por Bale.⁽³⁾

Os seguintes bancos de dados permitiram a realização da simulação:

- (i) FactSage 5.00 soluções (2001), contendo dados de fases soluções;

(ii) FactSage 5.00 compostos (2001) contendo dados de 4429 *compostos puros* sólidos, líquidos, gasosos e iônicos.

A fase ferro líquido contempla o conceito de óxidos 'associados'.⁽⁴⁾

2.2 Experimentos

Para a produção da liga ferro-cromo, as cinzas das aparas de couro (CIAC) foram utilizadas como matéria-prima, e carvão e ferro como insumos.

2.2.1 Cinzas de incineração de aparas de couro (CIAC)

As amostras da CIAC são provenientes de planta-piloto instalada junto à empresa Preservar Tratamento e Reciclagem de Resíduos Ltda., localizada no município de Dois Irmãos, RS. O resíduo sólido foi processado num reator de leito fixo com tecnologia de gaseificação e combustão combinadas (GCC). O reator de gaseificação opera à temperatura de 650°C; nesta temperatura ocorrem: o processo de secagem do resíduo, a perda de matéria volátil e a produção de gases combustíveis.

A maior parte das cinzas, gerada como subproduto no processo, provém do reator de gaseificação, e fica depositada no cinzeiro localizado na base do reator de gaseificação.

Por ser gerada a partir de uma mistura de resíduos provenientes de diversas indústrias, a CIAC pode apresentar uma composição variável.

2.2.2 Carvão e ferro

O carvão foi fornecido pela Indústria Carbonífera Rio Deserto, localizada no estado de Santa Catarina. O carvão foi submetido a um processo de cominuição, resultando num material com uma granulometria inferior de 0,0250mm, com teor de carbono fixo de 86% e enxofre total (em base seca) de 0,86%.

O ferro utilizado era de pureza analítica, com um teor maior que 98%.

2.2.3 Produção da liga

Para a produção da liga, via experimentos do tipo I e II, utilizou-se um forno elétrico resistivo e cadinhos de grafita.

Os experimentos foram realizados à temperatura de 1600°C. Argônio era injetado pela parte superior do forno a uma vazão de 5L/min. As taxas de aquecimento do forno e o tempo de permanência na temperatura máxima foram as seguintes: 10°C/min (de 20°C a 1.400°C); 5°C/min (de 1.400°C a 1.600°C) e 15 min a 1.600°C, para o experimento tipo I; 60min a 1.600°C para o experimento tipo II. As taxas de resfriamento foram: 5°C/min (de 1.600°C a 1.400°C) e 3°C/min (de 1.400°C a 1.100°C). Na composição da carga manteve-se a mesma proporção empregada na simulação termodinâmica: 31g de carvão e 45g de ferro para cada 100g da CIAC, com massas variadas, de acordo com o cadinho. A CIAC e o carvão foram compactados dentro do cadinho; para alojar o ferro, foi feita uma cavidade central, conforme a Figura 1. Usou-se uma camada de cobertura extra com carvão para proteger a carga da ação do oxigênio. A massa total da carga foi de 7,4 g.

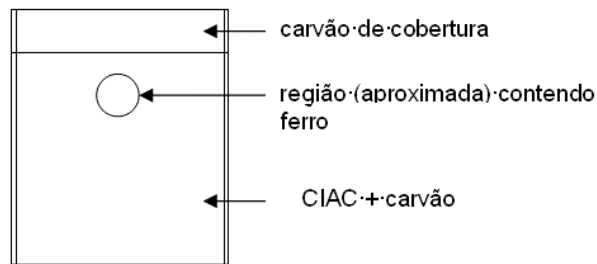


Figura 1. Distribuição da carga no cadinho de grafita

Devido à restrição de volume imposta pelo forno, para obtenção de maiores quantidades de liga (material fundido) foi realizado o experimento do tipo III. As amostras foram mantidas dentro do forno por um período de 2 h até ser atingida a temperatura final, de 1300°C. Esta temperatura foi mantida por 30 min e, após, o material foi resfriado dentro do forno, até ser atingida a temperatura ambiente. A composição da carga obedeceu à mesma regra dos outros experimentos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise Termodinâmica

A produção de um metal ou liga metálica com a utilização da pirometalurgia normalmente envolve a redução de óxidos. De acordo com a termodinâmica, a redução carbotérmica do óxido de cromo pode ser perfeitamente estudada com auxílio do sistema Cr-O-C.

Um estudo da redução, para a temperatura de 1600°C, foi realizado com o auxílio do aplicativo FactSage. O resultado da análise pode ser sintetizado no 'diagrama de áreas de predominância' (Figura 2). Fica evidente, a partir da sua observação, que, sob uma atmosfera redutora (p_{O_2} reduzida) e uma atividade unitária da grafita ($a_{C_{gr.}} = 1$) – obtida com a presença de carbono sólido no reator –, a produção de cromo metálico não é possível, obtendo-se apenas o carboneto Cr_3C_2 (mais as fases grafita e a gás).

A bibliografia confirma o resultado desta simulação. Segundo Downing,⁽⁵⁾ num sistema com pressão total de uma atmosfera, Cr_2O_3 e $C_{gr.}$ coexistem até 1147°C, quando reagem formando Cr_2C_3 e CO. Perdomo-González e colaboradores⁽⁶⁾ estudaram o uso de cromitas refratárias com teor de $Cr_2O_3 < 40\%$ para a obtenção de uma liga ferrocromo (a redução carbotérmica da cromita refratária pelo coque, com proporção 25% acima da estequiométrica, foi realizada em forno elétrico à arco, em temperaturas que oscilaram entre 1.500°C-1.600°C). Um estudo da produto, por difração de raios-X, relatou a presença das fases Cr_7C_3 , cementita e silicatos de cromo e ferro.

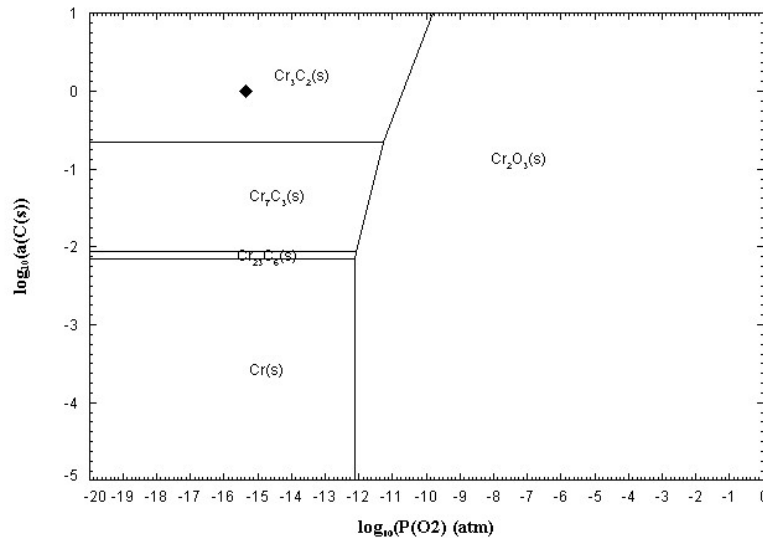


Figura 2. Diagrama de áreas de predominância para o sistema Cr-O-C; temperatura: 1.600°C; o ponto assinalado com um losango negro corresponde à composição de um sistema onde a atividade do carbono é unitária (conforme a 'reação de Boudouard')

Rosenqvist⁽⁷⁾ cita, contudo, que a formação de carbonetos pode ser minimizada pela adição da quantidade apenas estequiométrica de carbono, na tentativa de se obter o metal. Os fatos mencionados confirmam a impossibilidade da obtenção de cromo metálico através da redução carbotérmica nas temperaturas usuais da indústria. Estes fatos, entretanto não impedem o aproveitamento do cromo da CIAC. Pois, conforme mencionado, o cromo é, muitas vezes, introduzido no processo de produção do aço inoxidável sob a forma de uma *ferroliga*.

Várias reações químicas poderiam ser lembradas para incluir o *ferro* no sistema Cr-O-C – como é feito tradicionalmente. Ao invés disso optou-se, novamente, por uma análise mais moderna, capaz de levar em consideração não apenas compostos contendo Fe, mas sim uma fase metálica *líquida* representando com maior fidelidade a liga Fe-Cr obtida durante o processo de redução.

Com estes pressupostos, foi realizada uma simulação, na temperatura de 1.600°C, usando-se 100 g da CIAC (predominantemente Cr₂O₃), variando-se a quantidade de carbono e ferro adicionados à carga, mantendo-se o sistema à pressão de 1 atm. Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Observando-se a Tabela 1, vê-se que há apenas uma pequena quantidade da fase 'Fe-Spinel', que se formou entre 0,1-1 g de carbono e 10-100 g de ferro. Além disso, um excesso de carbono (na forma da fase grafita) é formado apenas quando a quantidade de carbono é máxima (100 g).

Pode-se notar que, para o sistema contendo 100 g de ferro, não há formação de carbonetos para qualquer quantidade de carbono. Nota-se que, para sistemas contendo massas de carbono e ferro entre os valores de 0,1 – 10 g, para ambos, o 'corundum' (fase que, apesar do nome, é constituída praticamente só de Cr₂O₃) não sofre redução e, com a adição de 100g de ferro, vê-se que grandes quantidade de ferro líquido são formadas.

Tabela 1. Massa [g] de diferentes fases (compostos e misturas), em função da quantidade de ferro e carbono, durante a redução carbotérmica do Cr_2O_3 a 1600°C ; a fase solução sólida *corundum* corresponde, neste sistema, à composição Cr_2O_3

	Fe [g]					Fe [g]			
	0.1	1	10	100		0.1	1	10	100
C [g]	<i>Corundum</i>				C [g]	$\text{Cr}_7\text{C}_3(\text{s})$			
0.1	99.65	99.61	99.46	79.25	0.1	0.07			
1	96.69	96.46	96.10	89.50	1	2.29	0.65		
10	67.10	66.87	64.62	60.94	10	24.54	22.89	6.43	
100					100				
	Fe liq.					$\text{Cr}_3\text{C}_2(\text{s})$			
0.1	0.29	1.27	10.26	98.05	0.1				
1	0.29	2.96	12.76	102.11	1				
10	0.29	2.96	29.61	127.63	10				
100	0.23	2.32	23.17	182.73	100	78.83	77.67	66.07	
	'Fe Spinel'					$\text{C}_{\text{gr.}}$ (grafita)			
0.1			0.18	22.80	0.1				
1				7.33	1				
10					10				
100					100		65.73	65.49	62.06

A partir dos resultados e, tendo-se em mente as quantidades de carbonetos formados na fase metálica líquida, realizou-se uma nova simulação para se verificar mais precisamente o 'início' e o 'término' da formação dos carbonetos, variando-se, para tanto, a quantidade de carbono e a de ferro adicionadas ao sistema. Estes resultados, focados na formação dos carbonetos Cr_3C_2 e Cr_7C_3 , podem ser vistos na Figura 3.

Para uma pequena quantidade de carbono (menor que aproximadamente 30 g) só existe carboneto para pequenas quantias de ferro. Para a quantidade de 10 g de ferro, ocorre somente a formação de Cr_7C_3 , tendo por início e término da sua formação, respectivamente, 8 g e 33 g de carbono. Ele coexiste com o carboneto Cr_3C_2 entre 31 g e 33 g de carbono. Nesta faixa de carbono, a quantidade total de carbonetos mantém-se aproximadamente constante, entre 52 g-54 g. Acima de ~33 g só existe Cr_3C_2 e a sua quantidade é inversamente proporcional à massa de Fe adicionada ao sistema.

Com base nestes resultados, foi elaborada uma nova simulação, com a finalidade de se verificar as condições ideais para os testes de laboratório.

Os seguintes valores foram utilizados: 100 g CIAC, 31 g de carbono e 45 g de ferro. A temperatura foi mantida em 1.600°C e a pressão em 1 atm. Para esta quantidade de reagentes, temperatura e pressão, não são esperados produtos sólidos (não se ignora que carbonetos sólidos, naturalmente, se formarão com o *resfriamento*). O estado líquido dos produtos, no momento da produção da liga, é importante, pois favorece tanto o *coalescimento* das gotas de metal produzido quanto o seu *escoamento*.

Os resultados da simulação mostram que apenas as fases ferro líquido e gás são encontradas no equilíbrio – conforme havia sido aventado inicialmente.

Na simulação, foi obtida a quantia de 121 g de ferro-liga, com os seguintes teores (elementos) na fase metálica Fe-Cr líquida: 6,06% C, 37,26% Fe, e 56,65% Cr. Segundo a circular Secex77-2003, do Ministério do Desenvolvimento,

Indústria e Comércio Exterior - Secretária de Comercio Exterior,⁽⁸⁾ o ferro-cromo alto carbono deve conter um teor mínimo de cromo de 50%, apresentando uma composição química contendo entre 6% a 9% de carbono e percentuais máximos de: 5% Si; 0,04% de P; 0,03% S. Observa-se, portanto, que o teor de cromo, com 57%, ultrapassa, e o teor de carbono, de 6%, ficou no limite inferior daqueles admitido para as ferro-ligas de cromo com alto teor de carbono (Fe-Cr-AC).

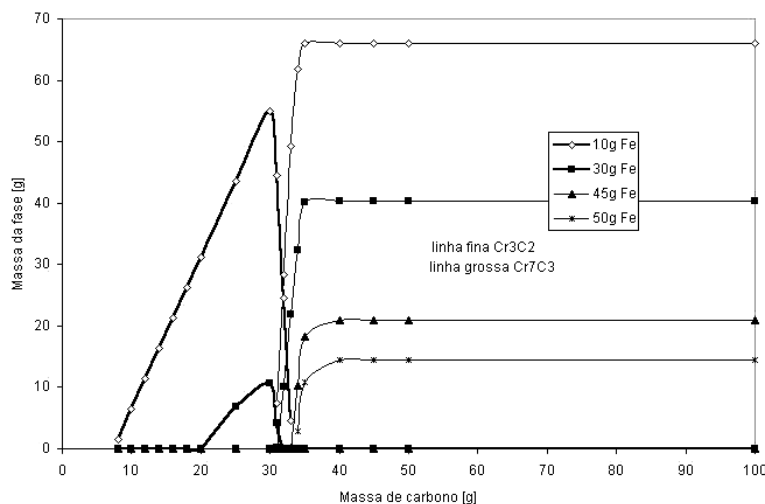


Figura 3. Massa de carbonetos (Cr_3C_2 e Cr_7C_3) em função das massas de ferro e de carbono adicionadas ao sistema

Em comparação com o minério (cromita), a cinza quase não possui ganga. Esta informação justifica, de certa forma, esta análise inicial. O fato de ela ser de outra natureza, diferente daquela dos minérios de cromo (menos refratária), provavelmente só contribuirá para que este processo se torne viável na prática.

3.2 Análise Experimental

3.2.1 Caracterização das cinzas da incineração de aparas de couro (CIAC)

A Tabela 2 apresenta o resultado da análise elementar das cinzas de incineração de aparas de couro. Pode-se observar que o elemento majoritário é o cromo. Conforme Godinho,⁽¹⁾ a concentração de Cr(VI) na cinza coletada no cinzeiro é inferior a 400 ppm em todas as amostras analisadas. A presença de carbono e nitrogênio é bastante baixa, indicando que o processo de combustão foi bastante eficiente. Godinho,⁽¹⁾ citando Gómez-Moreno, indica que uma concentração de carbono inferior a 0,7% na cinza sugere uma boa combustão do resíduo.

Tabela 2. Análise elementar da CIAC

Elemento	Cr	Al	Fe	Ca	C	N	H	S
[% em massa]	59,4	3,5	1,7	1,3	0,1	0,07	0,1	0,3

Uma análise de difração de raios-X foi realizada com a CIAC. O difratograma está apresentado na Figura 4 e os resultados estão na Tabela 3. Ela identificou a presença de eskolaita (Cr_2O_3), quartzo (SiO_2 -forma hexagonal), cristobalita (SiO_2 -forma tetragonal), cromita de alumínio ($\text{Fe}(\text{Al}_3\text{Cr})_2\text{O}_4$) e cromatita (cromato) de cálcio (CaCrO_4). Este resultado é confirmado pelos estudos realizados por Godinho (2006).

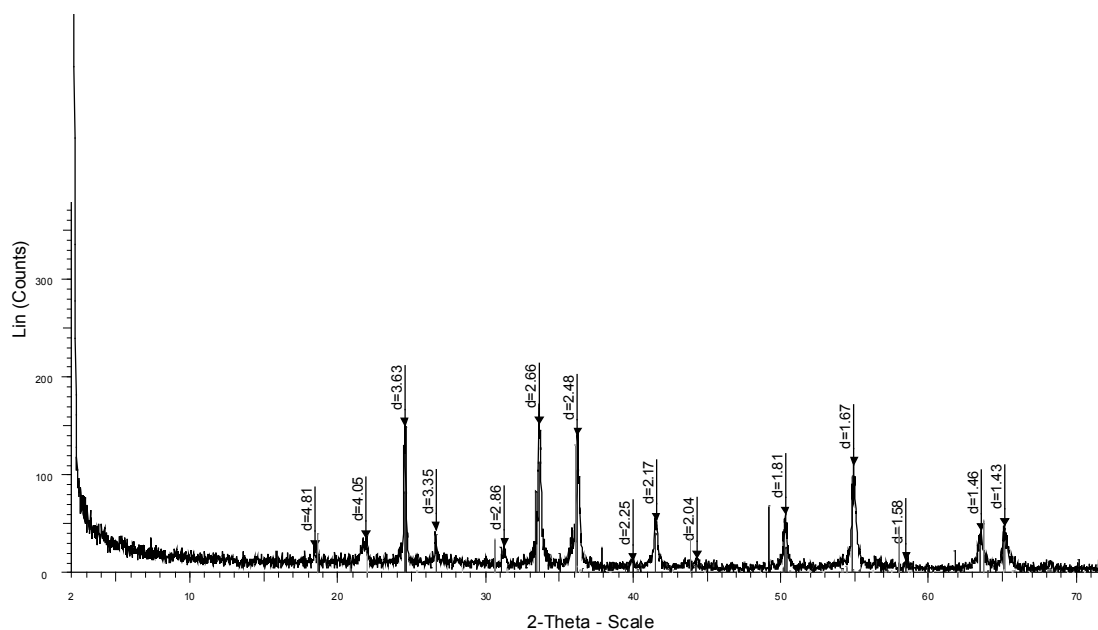


Figura 4. Difratograma da análise de difração de raios-X da CIAC

Tabela 3. Resultados da análise de difração de raios-X da CIAC

Afastamento interplanar (d)	Mineral	Fórmula
d= 4,05	crystalita	SiO ₂
d= 3,63	chromite	CaCrO ₄
d= 3,35	quartz	SiO ₂
d= 2,66	eschscholtzite	Cr ₂ O ₃
d= 2,48	aluminum chromite	Fe(Al ₃ Cr) ₂ O ₄

3.2.2 Produção da liga em escala de laboratório

A Tabela 4 resume os resultados mais significativos obtidos nos diferentes experimentos de produção da liga ferro-cromo a partir da CIAC. A Tabela mostra a recuperação em massa da fase metálica, a recuperação em massa de cromo na fase metálica, bem como os teores de cromo, carbono e enxofre.

Tabela 4. Resumo dos resultados dos experimentos

Tipo	Ensaio	Recuperação mássica da fase metálica [%]	Recuperação mássica de Cr [%]	% Cr	% C	% S	Observação
I	RED 3	52	35	21,03	4,97	0,20	Fase metálica brilhante. Pouca distinção entre metal e escória. Dificuldade de separação metal/escória. Fácil cominuição
II	RED 5	51	35	21,89	9,0	0,54	Fase metálica brilhante. Pouca distinção entre metal e escória. Dificuldade de separação metal/escória. Fácil cominuição
III	RED 8	78	69	28,11	7,0	0,35	Fase metálica brilhante. Boa distinção entre metal e escória. Facilidade de separação metal/escória. Fácil cominuição
Liga Ferro-Cromo Comercial				50,47	6,77	0,029	Fase metálica brilhante. Fácil cominuição

Nos dois primeiros tipos de experimento, a recuperação mássica mais significativa de metal se situou por volta de 50%, enquanto que o teor de cromo na ferroliga ficou, em média, 21%. O teor de enxofre, mesmo estando acima do máximo especificado pela liga comercial, não é tão crítico, considerando que a fonte de redutor (carbono) pode ser trocada por outra mais adequada. O teor de carbono se mostrou, em alguns resultados, maior que o teor da liga comercial, mas, de modo geral, ficou próximo ao esperado pela simulação termodinâmica.

A Figura 5 apresenta o aspecto de algumas das ligas obtidas.

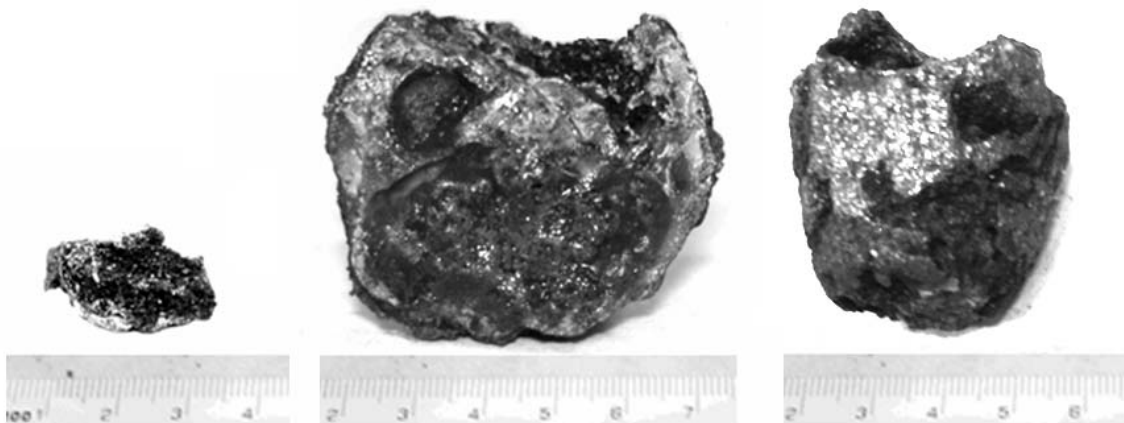


Figura 5. Aspecto das ligas metálicas obtidas à temperatura de 1600°C com patamar de 30 minutos RED3 (à esquerda), 60 minutos (RED5) (ao centro) e à temperatura de 1300°C, com patamar de 30 minutos (RED8) (à direita)

O difratograma da análise por raios-X da liga RED 5 pode ser visto na Figura 6.

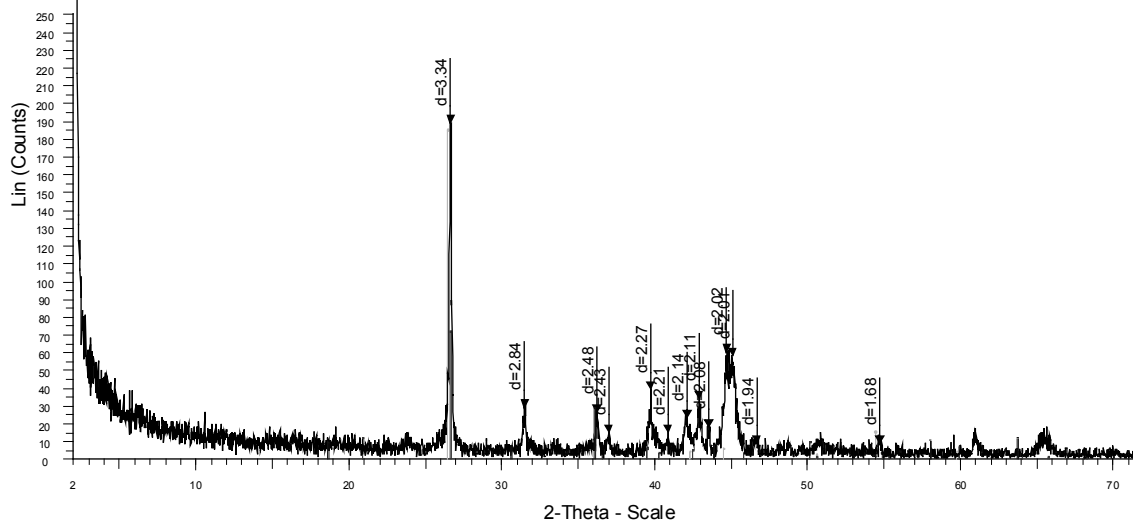


Figura 6. Difratograma de análise por raios-X da liga RED 5

A Tabela 5 destaca algumas raias características dos principais minerais e compostos presentes no difratograma do experimento RED 5. A existência de minerais como, por exemplo, a eskolaíta, quartzo e a cromita de alumínio, certamente se deve ao fato, já mencionado, da baixa separação entre o metal e a escória, uma vez que estes minerais fazem parte da composição da CIAC. A presença dos carbonetos de cromo $(Cr,Fe)_7C_3$ e $(Cr,Fe)_{23}C_6$ na liga RED 5 pode ser imputada ao resfriamento lento dentro do forno.

Tabela 5. Resultados da análise de difração de raios-X da liga RED 5

Afastamento interplanar (d)	Mineral	Fórmula
d= 3,34	quartzo	SiO ₂
d= 2,48	cromita de alumínio	Fe(Al ₃ Cr) ₂ O ₄
d= 2,43	pirita	Fe ₂ S
d= 2,00	(Cr,Fe) ₇ C ₃	(Cr,Fe) ₇ C ₃
d= 1,94	(Cr,Fe) ₂₃ C ₆	(Cr,Fe) ₂₃ C ₆
d= 1,68	eskolaita	Cr ₂ O ₃

Um fato digno de consideração, que se tornou claro após os experimentos, é o relacionado com a pouca massa dos experimentos. Esta característica tornou difícil uma boa separação entre os dois materiais: metal e escória, mascarando em algum grau os resultados, dificultando algumas avaliações. Dentre elas, por exemplo, a quantificação das frações mássicas dos dois componentes citados.

Um ensaio em maior escala, planejado para contornar este empecilho, acabou tendo dificuldades experimentais durante a sua realização em forno de indução. Os dados obtidos acabaram, por isso, não sendo utilizados; sua repetição, por motivos alheios, teve que ser postergada. O uso de briquetes como carga do forno de redução também estava sendo testado neste experimento.

O experimento RED 8 (tipo III) foi realizado para aumentar a massa da amostra e contornar as dificuldades relatadas, e teve que ser realizado com temperatura mais baixa (limitação do novo forno), porém, com adição de pedaços de briquete contendo cal (preparados como carga para o experimento em maior escala). Da análise dos seus resultados, pode-se afirmar que tanto a briquetagem, quanto o uso da cal são fatores significativos, que favoreceram a redução do cromo da CIAC.

Os resultados também mostram que não apareceu diferença significativa quanto às variáveis tempo e temperatura. A disposição da carga, contudo, parece ser importante e deve ser avaliada em outros estudos.

4 CONCLUSÃO

Tendo por base as simulações realizadas, pode-se afirmar que é possível a elaboração de ferroliga FeCr-AC a partir das cinzas oriundas do processo de incineração de aparas de couro por meio da redução carbotérmica à temperatura de 1600°C.

Este resultado abre novas perspectivas para a eliminação de resíduos de couro da indústria coureiro-calçadista e para o aproveitamento da energia neles contida.

Agradecimentos

Um dos autores (Claudia Rosane Ribeiro Alves) agradece ao CNPq pelo auxílio recebido (bolsa de mestrado).

REFERÊNCIAS

- 1 GODINHO, M.; MARTINS, C.B.; MASOTTI, L.; MARCILIO, N.R.; AZEVEDO, A. Parâmetros Operacionais de um Gaseificador para Resíduos de Couro. In *Anais: XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Química (COBEQ)*, Santos, 2006.
- 2 BENEDUCE NETO, F. Cinética da Redução Carbotérmica de Cromita Brasileira (Concentrado Jacurici). *Tese de doutorado*, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2002.
- 3 BALE, C.W.; CHARTRAND, P.; DEGTEROV, S.A.; ERIKSSON, G.; HACK, K.; BEN MAHFOUD, R.; MELANÇON, J.; PELTON, A.D.; PETERSEN, S. FactSage thermochemical software and databases. *Calphad*, Vol. 26, n.2, Junho, 2002, p.189-228.
- 4 JUNG, I-H.; DEGTEROV, S.A.; PELTON, A.D. A Thermodynamic Model for Deoxidation Equilibria in Steel. *Metallurgical and Materials Transactions B*, Vol. 35B, Junho, 2004, p.493.
- 5 DOWNING, J.H. Smelting Chrome Ore. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Vol. 39, Setembro, 1974, p.853-856.
- 6 PERDOMO-GONZÁLEZ, L.; QUINTANA-PUCHOL, R.; CRUZ-CRESPO, A.; CASTELLANOS-ESTUPIÑÁN, J.; GARCÍA-SÁNCHEZ, L.L.; FORMOSO-PREGO, A.; CORES-SÁNCHEZ, A. Empleo de Cromitas Refractarias para la Obtención de Fundentes Aglomerados Utilizados en la Soldadura Automática por Arco Sumergido (SAW). *Rev. Metal.*, Madrid, Vol. 39, Agosto, 2003, p.268-278.
- 7 ROSENQVIST, T. *Principles of Extractive Metallurgy*. McGraw-Hill, Tokyo, 1974.
- 8 ANÔNIMO. SECEX-77 (Circular nr. 77), Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior - Secretária de Comercio Exterior, Outubro, 2003, Brasil. Disponível em: < <http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/legislacao/outros/cirSecex/cirSecex2003.php> /> Acesso em: 01 out. 2006.