

# DETERMINAÇÃO DE FUNÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO PARA CORREÇÕES ESTEREOLÓGICAS EM ANÁLISE DE IMAGENS DE MINÉRIOS DE FERRO ITABIRÍTICOS. Parte I: Obtenção de Espectro de Liberação Linear.

**Cristine Maria Costa Juste**

Bolsista de Inic. Científica, Eng. Química, UFF

**Reiner Neumann**

Orientador, Geólogo, D.Sc.

**Arnaldo Alcover Neto**

Co-orientador, Geoquímico, D.Sc.

## RESUMO

*O minério de ferro itabirítico tem grande importância econômica para o país, e seus concentrados estão sujeitos a especificações rígidas. Assim, torna-se necessário calcular uma função de transformação específica, para dar aos resultados de análise de imagem precisão compatível.*

*Uma amostra representativa do minério foi classificada para obtenção de frações de tamanho conhecido. Uma vez que apenas quartzo e hematita foram identificados, estabeleceu-se uma tabela de densidades correspondentes a 12 classes de teor de partículas. Pela*

*separação das frações em líquidos com estas densidades, é possível obter populações com tamanhos e teores conhecidos, e a partir da análise das imagens destas populações pode ser calculada a sua função de transformação.*

*Já puderam ser gerados os resultados para todos os tamanhos de partículas contendo 0, de 0 a 10, de 10 a 20 e de 20 a 30% de hematita, com resultados coerentes. Problemas operacionais, relacionados ao meio denso, ainda tem que ser vencidos para partículas com teores mais elevados de hematita.*

## 1. INTRODUÇÃO

O principal objetivo de processos de tratamento de minérios é a efetiva separação e concentração dos minerais de interesse. Entretanto, para que esse processo seja eficiente é necessário que haja liberação física do mineral em relação à sua ganga (Luz *et al.* 1998).

A qualidade dos concentrados e a economicidade do processo é função direta da cominuição, a etapa mais dispendiosa do processo e a que torna os minerais de interesse liberados de sua ganga. Assim, a determinação do grau de liberação torna-se muito importante, e a análise de imagens é a ferramenta mais poderosa na sua determinação. É necessário, porém, que os dados uni- ou bidimensionais sejam corrigidos para volume, o que é feito aplicando-se uma função de transformação apropriada.

Os minérios de ferro itabiríticos são de grande importância econômica para o país, e seus concentrados estão sujeitos a especificações rígidas, que exigem beneficiamento eficiente. Como a eficiência do beneficiamento depende da liberação dos minerais torna-se necessária a obtenção de uma função de transformação específica para o minério, que torna acurado o espectro de liberação calculado a partir dos dados de análise de imagens e o método como um todo, portanto preciso e útil para verificar eficiência do processo.

## 2. OBJETIVO

Determinar uma função de transformação para conversão dos dados uni- ou bidimensionais, obtidos pela análise de imagens para o minério de ferro itabirítico, para volume e massa.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O cálculo da função de transformação depende da obtenção de dados uni- ou bidimensionais, por análise de imagem, de populações de partículas de itabiritos com composição e tamanho conhecidas. Com razoável acuracidade, o tamanho pode ser restrito a classes de tamanho com variação pequena (por exemplo, seguindo série Tyler), e a obtenção de frações com tamanho conhecido, até 20  $\mu$ m, é fácil. O grande problema é a obtenção de populações com composição conhecida, para cada classe de tamanho.

A mineralogia dos itabiritos compõe-se essencialmente de quartzo, óxidos de Fe (hematita e magnetita) e óxidos de Fe hidratados (goethita e limonitas). Considerado que a densidade dos dois óxidos é similar, próxima a 5,2, a eliminação da água estrutural dos óxidos de Fe hidratados poderia gerar amostras com apenas dois componentes, quartzo (de densidade 2,66) e óxidos de Fe, de maneira que líquidos de densidades entre 2,66 e 5,20 podem gerar populações com intervalos de composição conhecidos e

suficientemente estreitos, desde que a textura não fosse afetada por essa eliminação da água estrutural.

Partindo-se deste raciocínio, foi obtida uma amostra de 30 kg de minério de Fe junto à Ferteco Mineração, típica e representativa de Itabiritos, identificada como JP-31461 EC n<sup>o</sup> 1280, da qual foram separados 10 kg para os procedimentos descritos, e 20 kg arquivados. Seguindo o processamento utilizado pelas empresas, a fração acima de 840  $\mu\text{m}$  foi separada. É o chamado minério *lump*, que não é processado. O restante foi classificado a úmido, nas peneiras seguindo série Tyler de 595 a 37  $\mu\text{m}$ .

A etapa de eliminação de água estrutural por aquecimento foi precedida de análises térmicas (ATD-TG), para balizamento das temperaturas necessárias. Aliquotas das frações +210 e +44  $\mu\text{m}$  foram utilizadas para isso. Concomitantemente, outra alíquota da fração +210  $\mu\text{m}$  foi aquecida até 450 $\rightarrow$ C, uma vez que a passagem da goethita para a hematita ocorre a 250-360  $\text{^\circ C}$ , e de limonita a hematita a 350-400 $\rightarrow$ C, mas a 573 $\rightarrow$ C ocorre a transformação de quartzo  $\rightleftharpoons$  para  $\leftarrow$  (Todor 1976), que poderia modificar a textura.

A separação por densidades acompanhou as densidades calculadas da Tabela 1 para as 12 classes de teor pretendidas, de 0, 0-10, 10-20, ..., 90-100 e 100% de óxido de Fe. A densidade d1 representa o valor teórico, obtida na bibliografia, d2 considera que há aproximadamente 38% de porosidade na hematita, e que o quartzo não é poroso, conforme observações prévias (Alcover Neto 1998); d3 considera a densidade da hematita calculada a partir de uma amostra obtida por separação em meio denso de  $d= 3,32$ , quantificação da densidade aparente por picnômetro a He e de hematita e quartzo por refinamento de parâmetros de estrutura cristalina a partir do espectro de difração de raios X, pelo método de Rietveld. Esta densidade foi considerada a mais realista, e portanto as densidades utilizadas foram as d3 da Tabela 1.

Os líquidos utilizados até agora tiveram a sua densidade regulada para 2,68, 2,77 e 3,00 (bromofórmio), e 3,22 (iodeto de metileno), pela adição, respectivamente, de álcool etílico e dimetil formamida. A partir de 3,44 pretende-se utilizar uma suspensão coloidal de carbeto de tungstênio micronizado (WC) em politungstato de sódio. Por enquanto, no entanto, esta suspensão ainda não funcionou a contento, pois não foi possível manter o WC em suspensão, e porque a visualização da separação do quartzo e da hematita é dificultada pela coloração preta da mistura. Esta dificuldade tem que ser superada, pois dela depende a continuidade do trabalho, e o fabricante da suspensão (que se destina exatamente a separações minerais),

Geoliquids Ltd., já foi contactado, mas não soube dar nenhuma explicação útil até o momento.

**Tabela 1 – Densidade das partículas mistas de quartzo/óxido de Fe em função da quantidade de hematita**

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (% massa)	d1	d2	d3
0	2.66	2.66	2.66
10	2.92	2.72	2.88
20	3.18	2.78	3.11
30	3.44	2.84	3.33
40	3.70	2.90	3.56
50	3.96	2.96	3.79
60	4.22	3.02	4.02
70	4.48	3.08	4.24
80	4.74	3.14	4.47
90	5.00	3.20	4.70
100	5.26	3.26	4.92

Das populações de minério de Fe com tamanho e teor conhecidos foram separadas alíquotas para eventual análise química e de densidade aparente pelo micropicnômetro a He, e o restante foi embutido em resina epoxy, com cuidados para evitar formação de bolhas, orientação preferencial ou segregação das partículas, desbastado e polido utilizando-se exclusivamente diamante como abrasivo.

As secções polidas assim obtidas foram recobertas com carbono por evaporação do elemento, tornando-se condutoras e adequadas à aquisição de imagens no Microscópio Eletrônico de Varredura. Utilizou-se um MEV Leica S440 equipado com *software* Oxford ISIS suite L300, módulos Autobeam, Autostage e Autocolumn, que escravizam o MEV, adquirem e salvam automaticamente as imagens. Foi utilizada resolução digital (1024x768 *pixel*). As imagens foram enviadas ao analisador de imagens MMIA (Mineral and Metallurgical Image Analysis), desenvolvido pelo *Comminution Center* da Universidade de Utah, para processamento das imagens, seguindo simplifcadametne os seguintes passos:

- Aplicação de filtro de delineação e detecção de borda de partículas;
- Segmentação de imagens;
- Quantificação dos poros;
- Preenchimento das cavidades;
- Eliminação de artefactos;
- Geração de imagem ternária;

- Separação de partículas;
- Medição de interceptos lineares.

A distribuição dos interceptos lineares é o objetivo desta etapa do trabalho, constituindo a matéria-prima para o pretendido cálculo da função de transformação.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta a composição química da amostra, e a distribuição por tamanho de partículas é representada na Tabela 3.

**Tabela 2 – Composição química da amostra estudada (% em massa).**

Fração	Análise Química					
	Fe	FeO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P + Mn	PPC
<b>Total</b>	<b>46,2</b>	<b>0,41</b>	<b>36,95</b>	<b>0,37</b>	<b>0,59</b>	<b>0,5</b>
>6,3 mm	39,82	0,64	41,42	0,52	0,24	0,55
>0,5 mm	57,74	0,56	16,43	0,23	0,14	0,25
>0,1 mm	34,21	0,81	49,85	0,30	0,24	0,41
<0,1 mm	39,42	0,36	40,15	0,59	0,67	1,08

**Tabela 3 – Distribuição de tamanho de partículas (% em massa).**

Peneira ( $\mu$ m)	Retido	Retido Acumulado	Passante Acumulado
840	29,44	29,44	70,56
420	5,89	35,33	64,67
295	2,19	37,52	62,48
210	2,07	39,59	60,41
149	2,90	42,48	57,52
105	2,67	45,16	54,84
74	5,46	50,61	49,39
53	5,99	56,60	43,40
44	8,54	65,15	34,85
37	3,99	69,13	30,87
20	12,85	81,98	18,02
-20	18,02	--	--
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>--</b>	<b>--</b>

Os espectros de ATD-TG mostraram que a perda de água é ínfima na temperatura em que se espera a eliminação de água estrutural, da ordem de 0,1% em massa, como pode ser observado na Figura 1, sugerindo que na amostra estudada praticamente não há óxido de Fe hidratado. Além da pequena perda de água, há um pico endotérmico a 570,42°C devido à passagem do quartzo  $\Rightarrow$  para  $\Leftarrow$ , confirmando a necessidade de atenção para não passar desta temperatura, que poderia introduzir modificações na textura do minério.

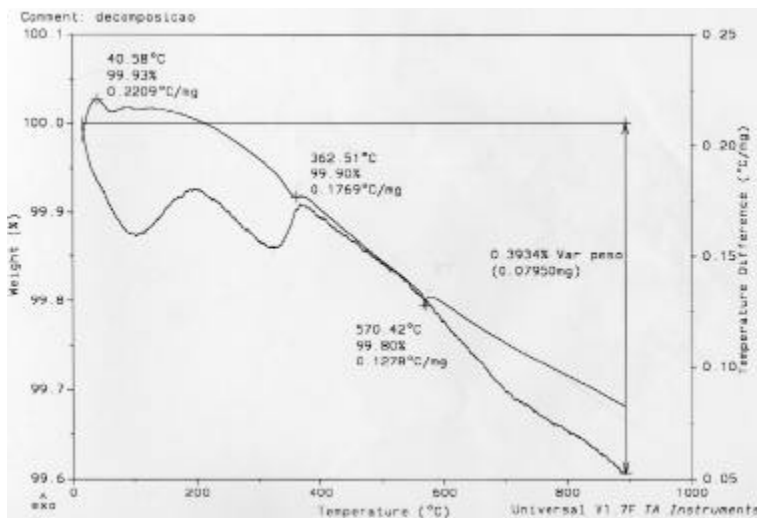


Figura 1 -- Curvas TG (início por cima) e DTA da fração +210µm. Oscilações nas curvas no início do espectro provavelmente devidas à hidratação do padrão de alumina.

O espectro de difração de raios X da amostra pode ser observado na Figura 2. Somente quartzo e hematita foram identificados.

Após o aquecimento de uma pequena alíquota do minério verificou-se através do MEV, pela comparação dos resultados de análise de imagem antes e depois do aquecimento, e do simples peneiramento, que o aquecimento provocava mudanças significativas na textura.

Considerando-se que a quantidade de óxidos de Fe hidratados é desprezível, como determinado por diferentes métodos, e que o aquecimento altera substancialmente a textura do minério, esta etapa foi eliminada.

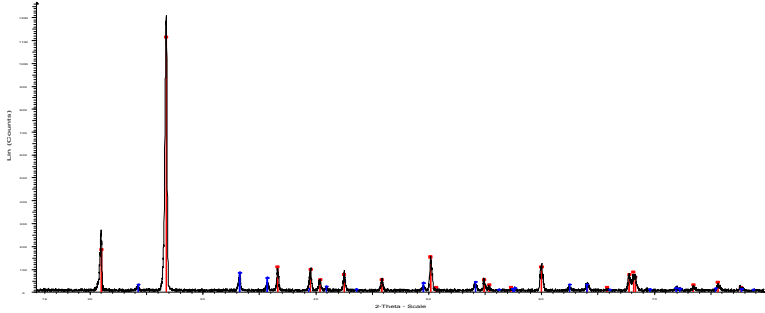


Figura 2 – Espectro de difração de raios X ( quadrado-quartzo e losango-hematita)

A Figura 3 mostra um bom exemplo de imagem que foi processada para obtenção da distribuição de interceptos lineares das frações. O detalhe dentro da imagem é um histograma de distribuição dos níveis de cinza, a partir do qual é efetuada a segmentação para separação de quartzo e óxidos de Fe. Observa-se que o contraste da imagem é apropriado para perfeita separação de resina (primeiro pico à esquerda), quartzo (no meio) e óxido de Fe (direita).

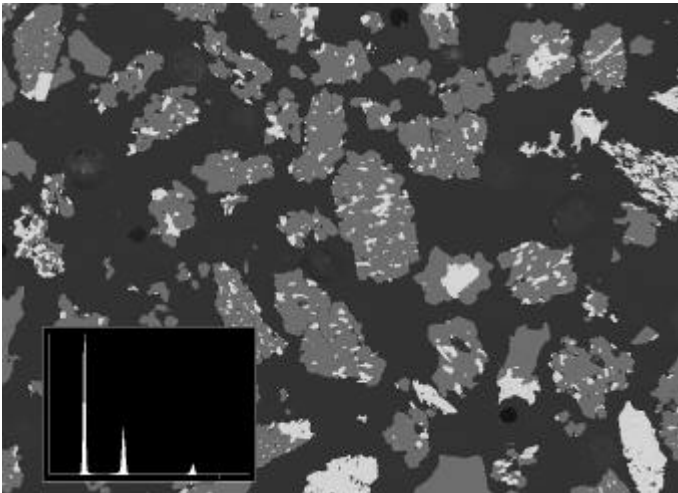


Figura 3 – Imagem usada na análise (cinza claro - hematita e cinza escuro - quartzo), com seu histograma de distribuição de níveis de cinza no detalhe.

A Figura 4 apresenta graficamente a distribuição de interceptos lineares, ou espectro de liberação linear, de todas as classes de tamanho com densidade  $2,98 < d < 3,22$ . Nas frações mais grossas ainda predominam os interceptos lineares com hematita entre 10 e 20%, mas nas mais finas há uma clara tendência a que apenas quartzo ou apenas óxido de Fe sejam interceptados, apesar de todas as partículas de todas as classes de tamanho analisadas supostamente terem a mesma composição, o que explica a necessidade da própria correção estereológica.

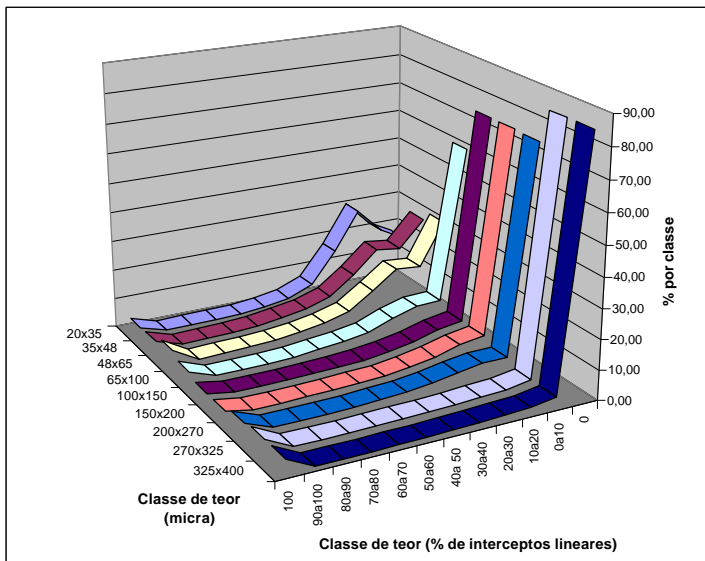


Figura 4 -- Distribuição de interceptos lineares, ou espectro de liberação linear, de todas as classes de tamanho com densidade  $2,98 < d < 3,22$ .

A partir desta distribuição, e de mais outras 11 equivalentes às classes de teor restantes, será calculada a função de transformação.



## 5. CONCLUSÕES

A amostra de minério de Fe Itabirítico em estudo apresenta uma mineralogia simples, composta apenas por quartzo e hematita, identificados por difração de raios X. A ausência de fase hidratada, também comprovada por análises térmicas, exclui a necessidade de aquecimento para eliminação de água estrutural de fases como goethita e limonitas, que alteraria a textura da amostra, e permite separação em classes de teor utilizando-se líquidos densos calibrados em função da fração de quartzo e hematita nas partículas. A possibilidade de se obter populações onde todas as partículas tem mesmos tamanho e composição satisfaz condição básica para que se consiga gerar uma função de transformação específica para esse tipo de minério, importante fonte de divisas para o país e que, em função das rígidas especificações, precisa agregar tecnologia para o seu processamento.

Até densidades de 3,22 a separação das partículas foi possível, gerando populações de partículas adequadas à análise de imagem contendo 0%, entre 0 e 10%, 10 e 20%, e 20 a 30% de hematita e o restante de quartzo. A partir desta densidade, o não funcionamento de uma suspensão coloidal especialmente desenvolvida para este fim está impedindo o prosseguimento do trabalho. A empresa fornecedora já foi contactada diversas vezes, e aguarda-se uma solução para isto.

A análise das imagens geradas até então gerou excelente resultados, dentro do esperado, de maneira que a superação do problema acima certamente gerará um função de transformação precisa.

## BIBLIOGRAFIA

Alcover Neto, A. (1998) "Análise de Imagem Aplicada à mineralogia de processo". Relatório técnico de estágio de especialização de curta duração no exterior.

King, R.P.; Schneider, C.L. (1993) "An effective SEM –based image analysis system for quantitative mineralogy". KONA 11:166-177.

King, R.P., Schneider (1995) "Computer simulation of Taconite grinding and concentration circuits" University of Utah. Relatório interno. Inédito

Luz, A.B.; Possa, M.V.; Almeida, S.L. (eds.) (1998) "Tratamento de minérios". CETEM/CNPq, 2<sup>a</sup> edição, 675 pp. Rio de Janeiro.

Schneider, C.L.; Neumann, R.; Alcover Neto, A. "Avaliação do desempenho de um circuito de moagem de minério de ferro por meio da análise de imagens digitais." II Simp. Nac. Minério de Ferro, Ouro Preto, 17 a 20 de outubro de 1999. No prelo.

Sepulveda, J.E.; Miller, J.D.; Lin, C.L., (1995) "Generation of irregularly shaped multiphase particules for liberations analysis". XVth International Mineral Processing Congress, v.1: 120-132

Todor, D.N. (1976). "Thermal analysis of minerals". Abacus Press, UK, 1976, pp 256.