

## USO DO ESPECTRO-COLORÍMETRO EM FELDSPATOS

Edison Thaddeu Pacheco e Carlos Hoffmann Sampaio

LAPROM/UFRGS – [epacheco@ufrgs.br](mailto:epacheco@ufrgs.br) e [Sampaio@ufrgs.br](mailto:Sampaio@ufrgs.br)

### RESUMO

Este estudo tem como objetivo relacionar os resultados do espectro-colorímetro, principalmente a alvura, com os percentuais de óxido de ferro obtidos da análise química por fluorescência de raios-X, dos feldspatos contidos em pegmatitos depositados sob a forma de veios, numa encaixante do tipo granito-gnaiss, da região de Arroio Grande-RS.

Esta rocha foi cominuída nas frações utilizadas pelas indústrias de vidro, de cerâmica e de *filler*, e posteriormente, foi processada num separador magnético de alta intensidade, resultando em dois produtos. Do material não magnético retirou-se duas alíquotas de cada fração, uma para serem analisadas quimicamente e a outra pelo espectro-colorimétrico, sendo que o principal enfoque foi a alvura.

Dos resultados obtidos através destas análises, tendo o óxido de ferro como contaminante determinante para estas indústrias, comprovou-se que o uso da alvura é válido, podendo vir a substituir as análises químicas, devido à vantagem de obter-se o resultado rápido e de fácil manuseio.

### INTRODUÇÃO

O uso do espectro-colorímetro está muito difundido principalmente nas indústrias de tintas e de cosméticos. Já na indústria mineral, o caulim é que utiliza o espectro de reflexão, onde permite determinar o principal índice que é a alvura, traduzindo assim, a retirada dos contaminantes de ferro e titânio, alcançando os índices de *brightness* determinado pela indústria de papel.

As indústrias de vidro, de cerâmica e de *filler* utilizam-se dos feldspatos, principalmente como fundentes, sendo necessário a retirada dos contaminantes de ferro e titânio, o mesmo acontecendo com o caulim.

Utilizando os estudos, critérios e parâmetros da indústria do caulim, onde foi baseado o presente trabalho e que a interpretação dos dados só foi possível através do uso dos modelos físicos, sendo um deles o Kubelka-

Munk (K-M) usado para meios translúcidos e opacos. Estes a luz incidente tanto é absorvido como é difundido, podendo as partículas estar distantes umas das outras, Teoria de Mie, ou extremamente próximas (Teoria Kubelka-Munk). Algumas hipóteses simplificadoras devem ser feitas para que a solução proposta por K-M possa quantificar um fenômeno tão complexo, quanto à interação da luz com uma camada de material, são elas:

- ❖ a superfície medida se comporta como um difusor perfeito, não havendo brilho;
- ❖ as partículas que compõem a camada são distribuídas aleatoriamente e são pequenas em relação à espessura da camada;
- ❖ a superfície é iluminada por feixes em padrão difuso;
- ❖ inexistência de reflexão especular;
- ❖ não há alteração de ordem física ou química, depois de postos em contato.

A utilização da teoria K-M na extração de minerais industriais é viabilizada também pela diluição em um substrato branco conhecido, mas com a substituição da concentração mássica pela concentração superficial, o que permite que se atinjam altas concentrações de pigmento na diluição, sem a necessidade de recorrer à diluição em um substrato preto, devido a contaminação laboratorial que pode causar. Com exceção da indústria têxtil, que se utiliza o modelo de uma constante, a dos minerais industriais e das tintas usam o modelo de duas constantes, onde esta teoria mostra que a energia refletida pela superfície medida na região do visível (360 – 780 nm) e, por conseguinte, sua cor será explicada pelas relações que seguem: (Petter, 1994)

$$\sum_{i=1}^n \frac{k_i \cdot c_i}{s_i \cdot c_i} = \frac{(1 - R_\lambda)^2}{2 \cdot R_\lambda} = F(R)_\lambda$$

onde,

$k_i$  = coeficiente de absorção do pigmento  $i$

$s_i$  = coeficiente de difusão do pigmento  $i$ ;

$c_i$  = concentração do pigmento  $i$ ;

$R_\lambda$  = refletância a um dado comprimento de onda;

$F(R)_\lambda$  = função de K-M a um dado comprimento de onda.

Conhecendo os **K** e **S** dos **n** pigmentos, pode-se prever o espectro de reflectância **R** da mistura para cada amostra, através da seguinte equação, também utilizada nas indústrias de tintas, papel e minerais industriais.

$$R = 1 + (R) - \sqrt{F(R)^2 + 2F(R)}$$

Neste estudo a alvura foi usada como parâmetro para caracterizar os contaminantes de ferro, onde foi possível avaliar as fases de beneficiamento com enormes vantagens, tanto econômicas, como de tempo, pois se comparado com os métodos de análises químicas (fluorescência de raios-X), devido ao simples e barato meio de obtenção de informações das amostras, mas a interpretação dos dados dá-se através do uso de modelos físicos, sendo dependentes da cor em muitas propriedades físicas.

Os minerais dos feldspatos absorvem luz incidente na amostra em faixas determinadas de comprimento de onda, gerando formas distintas de aspectos de reflectância. Estas formas diferem conforme a natureza dos minerais contaminantes (Malengreau, 1994).

Os métodos matemáticos de descrição aparente da cor permitem a comunicação da informação da cor sem a necessidade de amostras físicas. Idealmente os números envolvem inicialmente interpretações nos termos de atributos visuais, tais como: a alvura, a cromaticidade e a tonalidade. Largamente aceitos e usados pelo sistema CIEL<sup>a</sup>\*b\*, juntamente associados aos termos C\* e h° que são a cromaticidade e a tonalidade, respectivamente.

Três fatores contribuem para a cor aparente de um objeto, que são:

- ❖ a natureza da iluminação;
- ❖ a características óticas do objeto;
- ❖ a sensibilidade dos olhos humanos.

O espectro-colorímetro deve ser considerado uma ferramenta alternativa para as técnicas que operam nas diversas fases minerais. O estudo foi orientado para estabelecer possíveis relações colorimétricas entre o minério bruto e o produto final, beneficiado.

## MATERIAL E METODOLOGIA

Os materiais usados neste estudo são os feldspatos oriundos da rocha pegmatítica depositada sob a forma de veios, no sentido NE-SW e com uma idade que varia de 612 a 562 Ma (Chemale *et al.*, 1994), situada no município de Arroio Grande-RS. Existem duas composições mineralógicas nestas rochas, uma de cor avermelhada, formada por feldspato microclínio pertitzado na sua maioria, quartzo, biotita, turmalina (shorlita) e granada (almandina). A outra esbranquiçada contendo a mesma composição mineralógica, mas com menor índice de pertita e acrescida, de muscovita (lepidolita)

Estas rochas dividem-se em dois grupos, conforme o tamanho dos minerais devido a sua gênese. O primeiro grupo, magmática, de granulometria variando de 0,5 a 2,0 cm, compreendendo quase que a totalidade da rocha. O segundo grupo, hidrotermalismo, preenchendo os espaços vazios dos minerais formados no grupo anterior, com uma granulometria menor, constituídos pelos minerais máficos, contendo ferro na sua estrutura, do tipo biotita, granada e turmalina. (Pacheco & Sampaio, 1999)

Para a realização deste estudo, amostras desta rocha, foram cominuídas através de britadores do tipo mandíbulas e de martelo e, posteriormente, processada numa espiral, sob a forma de batelada, em número de três, com uma polpa de 10% em 160 litros de água. Este equipamento fornece três produtos, os minerais pesados na sua parte mais interna constituído de biotitas, granadas e turmalinas, em torno de 5%, os mistos com 22,5%, na parte central e os leves com 72,5%, na parte mais externa.

Os minerais leves foram o enfoque deste trabalho, nos quais foram peneirados para as frações -0,5 +0,1 mm e -0,1 +0,074 mm. Os minerais -0,105 mm foram processados num ciclosizer, onde se obteve os seguintes tamanhos de grãos de 50µm (Ciclo.1), 40 µm (Ciclo.2), 30 µm (Ciclo.3), 20 µm (Ciclo.4) e 10 µm (Ciclo.5). De cada um destas frações forma retiradas alíquotas de 100 gramas para serem processadas num separador magnético de alta intensidade a 8.000 Gauss e a 12.000 Gauss.

O material acima de 0,044 mm foi cominuído num moinho de bolas de alumina, numa rotação de 15 Hz, aproximadamente 26 rpm, em 30 minutos, no qual se obtém uma padronização granulométrica.

As medições de alvura foram realizadas num espectro-colorímetro da marca HUNTERLAB, modelo ULTRA SCAN XE, software UNIVERSAL, sendo a estandarização para as leituras das amostras ocorrerem no modo especular excluída e sem filtro ultravioleta, utili-

zando-se de uma lâmpada de xenônio D65, que calcula a alvura (brightness  $\Rightarrow$  457 nm) com base na tabela 2 da norma TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry) T4520-87 e T5260-86. Na implantação do software, a alvura 457 nm é uma média ponderada da reflectância entre 400 e 510 nm (Hunterlab, 1995).

Industrialmente dois tipos de geometria são aceitos o 45/0 e o D/0. A normatização internacional preconiza a segunda opção com tolerância máxima de D/10. O primeiro número corresponde ao ângulo de incidência da luz sobre a amostra e o segundo, o ângulo de medição.

A alvura é definida como sendo a relação expressa em percentagem de energia refletida por um corpo, comparativamente a um difusor que assume o valor de 100% de reflectância. O valor da alvura pode ser expressa pela reflectância em diferentes comprimentos de onda (Gimshuaw, 1971). Os minerais de ferro e de titânio afetam o valor da alvura no minério bruto. Se presentes, dependendo da quantidade, o processo de beneficiamento que objetiva a retirada dos contaminantes, aumentando o percentual da alvura, tornando-os utilizáveis às indústrias de vidro, de cerâmica e de *filler*.

A avaliação colorimétrica depende da pulverização e da confecção das pastilhas prensadas, determinando assim, os parâmetros do espectro-colorímetro.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico são abordados os resultados das análises granulométricas, químicas (do material bruto e do separador magnético) e do espectro-colorímetro.

O material processado no ciclosizer resultou nos seguintes tamanhos granulométricos (Tabela I), destes utilizou-se os D50 de cada Ciclo obtendo assim, as curvas granulométricas. (Fig. 1)

Tabela I – Granulometria resultando do ciclosizer

Granul.	Tam. med	Massa (g)	Percent.
M. Bruto	0,062 mm	5,0	100,00
Ciclo.1	0,075 mm	17,75	36,00
Ciclo.2	0,071 mm	8,03	16,00
Ciclo.3	0,068 mm	5,31	11,00
Ciclo.4	0,062 mm	4,68	9,00
Ciclo.5	0,059 mm	4,92	10,00
< Ciclo.5	0,043 mm	9,31	19,00
<b>Total</b>		<b>50,00</b>	<b>100,00</b>

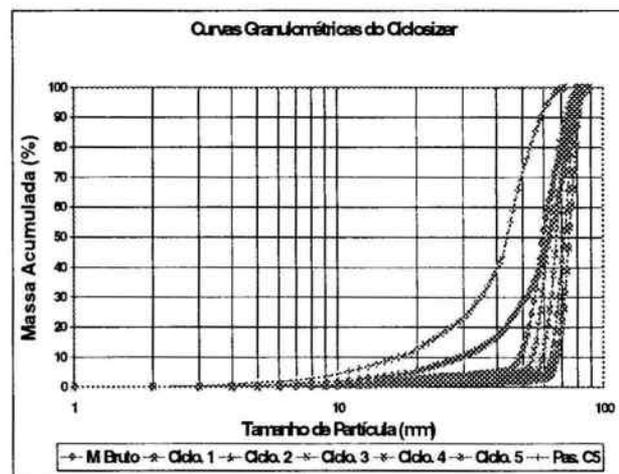


Figura 1: Curvas granulométrica do ciclosizer analisadas pelo granulômetro a laser CILAS 1064L.

Dos resultados das análises químicas do separador magnético e bruto, apenas o óxido de ferro ( $Fe_2O_3$ ) é apresentado, pois este óxido é o principal contaminante, conforme tabela II.

Tabela II – Resultados das análises químicas

Granul. (mm)	Bruto	8.000 Gauss	12.000 Gauss
-0,5 +0,1	0,51	0,21	0,11
-0,1 +0,074	0,54	0,25	0,12
-0,075	0,56	0,23	0,12
-0,071	0,58	0,26	0,14
-0,068	0,62	0,31	0,16
-0,062	0,68	0,36	0,17
-0,059	0,81	0,45	0,20

As reflectâncias obtidas das análises realizadas no espectrômetro foram as constantes na tabela III.

Tabela III – Resultados das reflectâncias nas frações estudadas

Gran.(mm)	Bruto	8.000 Gauss	12.000 Gauss
-0,5 +0,1	53,72	59,58	62,34
-0,1 +0,075	50,68	57,46	59,94
-0,075	44,06	47,92	49,32
-0,071	45,39	49,27	50,95
-0,068	45,66	49,88	52,49
-0,062	47,39	51,52	54,56
-0,062	48,00	53,27	56,78

Relacionando a granulometria com o resultado da análise química, em termos de óxido de ferro, pode-se notar que há um decréscimo do teor de  $Fe_2O_3$  da amostra bruta as fases do separador magnético (8.000 e 12.000 Gauss). E, também, na fração  $-0,075$  mm um pequeno aumento deste teor, isto é devido a maior liberação do contaminante nesta fração granulométrica. (Fig.2)

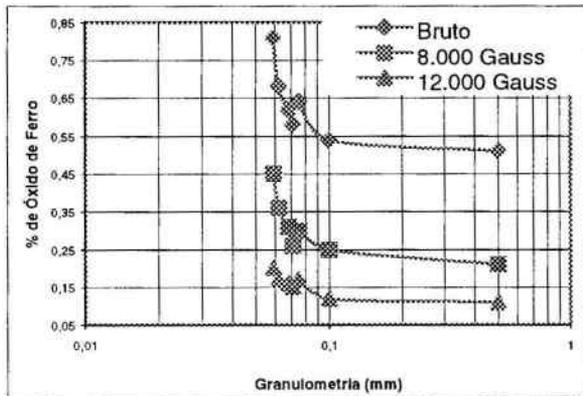


Figura 2: Relação entre a granulometria e a % de óxido de ferro.

Quando se relaciona a granulometria com a alvura, conforme Fig.3, ocorre um decréscimo na alvura, causado pelo aumento do contaminante das amostras numa mesma faixa granulométrica,  $-0,075$  mm.

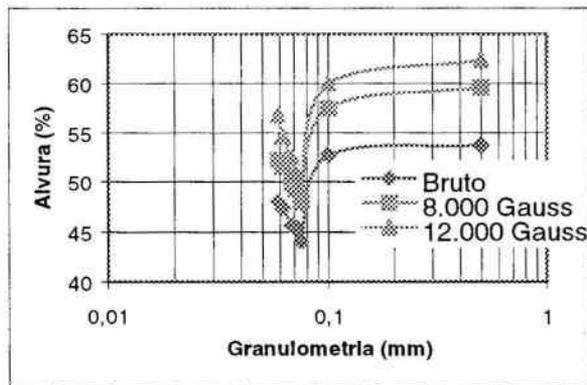


Figura 3: Relação entre a granulometria e a % de alvura.

As retas mostradas na figura 4 são aproximadamente paralelas, informando que houve padronização na granulometria das pastilhas para serem analisadas pelo espectro-colorímetro, concordando assim, com um dos fundamentos da teoria de Kubelka-Munk. Nesta mesma figura, nota-se que os testes T1 e T2, os mais grosseiros, alcançam um índice de alvura mais alto que os demais testes, estes realizados no ciclosizer. Isto ocorre porque nestes índices há maior liberação de contaminantes, conforme mostrados nas figuras 2 e 3. E, também, porque a espiral não retirou todos os minerais que contém

ferro na estrutura. Quando ocorre uma moagem os minerais máficos são desagregados, resultando num acréscimo de teor de ferro nas análises químicas e por consequência, uma diminuição no percentual de alvura.

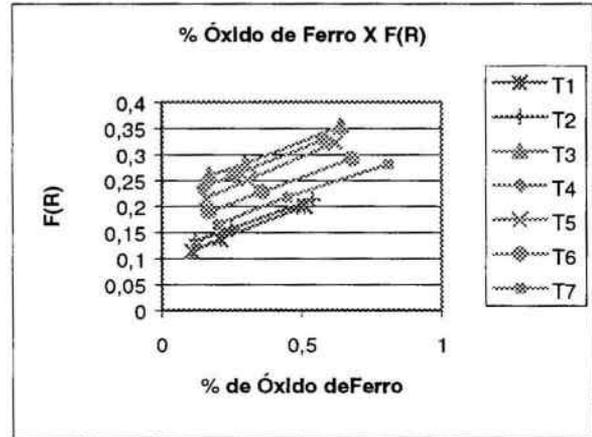


Figura 4: Relação entre F(R) e % de óxido de ferro .

## CONCLUSÕES

Comparando esses dois tipos de métodos de análise proposta por este estudo pode-se concluir que:

- ❖ A relação entre granulometria e a alvura, conforme figura 3, informa a fração onde ocorreu a maior liberação do contaminante desta rocha, o mesmo acontecendo com a relação representada pela figura 2.
- ❖ Os testes T1 e T2 que correspondem às frações de  $-0,5 +0,1$  mm e  $-0,1 +0,075$  mm, tem um alto percentual de alvura e um menor teor de óxido de ferro, estão em concordância com os critérios utilizados nas indústrias de vidro e de cerâmica.
- ❖ Já os resultados da alvura e da análise química nos testes T3 a T7, processados no ciclosizer, não alcançaram os critérios para a indústria de filler ( $< 0,04\%$  de óxido de ferro).
- ❖ A espiral não foi eficiente na granulometria fina ( $-0,075$  mm) como se pode comprovar nos resultados da alvura e química. Necessitando assim, de um outro método (flotação básica) que retire os minerais que tem ferro na sua estrutura.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de mestrado, a FAPERGS pelo financiamento do projeto e pela UFRGS (LAPROM) pela disponibilidade dos equipamentos.

## REFERÊNCIAS

- CHEMALE, F. JR, et al, 1994; **Tectonic Evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil**; Precambrian Research; Elsevier, pp 25-54.
- HUNTERLAB, 1995; **Universal software Version 3.0**; User's Manual; Hunter Associates Laboratory, Inc; USA.
- KAUFFMAN, R.A.; DYK, D.V, 1994; **Feldspars**: Industrial Minerals and Rocks – 6th Edition, pp 473-481.
- KORTÜM, G, 1969; **Reflectance Spectroscopy**: Principles Methods Applications; Springer-Verlag, Berlin; 366 p.
- MALENGREAU, N; MULLER, J-P; CALAS, G, 1994; **Fe-speciation in Kaolins**: a diffuse reflectance study. Clays and Clay Minerals, v. 42, n2, pp 137-147.
- PACHECO, E.T; SAMPAIO, C.H, 1999; **Caracterização Tecnológica do Pegmatitos de Arroio Grande-RS, Visando às Indústrias de Vidro e de Cerâmica**; Acta Geológica Leopoldense XXII (48), pp 27-34.
- PETTER, C.O, 1994; **Contribution a L'estude de la Valorization de Kaolins pour L'industrie Papetière**: Mise au Point D'une Methodologie Colorimetrique; Application à la Selectivité Minière, Ph.D. Thesis, École des Mines de Paris.