

# CARACTERIZAÇÃO DO DISSULFETO DE FERRO PARA FINS ELETROQUÍMICOS<sup>1</sup>

*Bruno Vinicius da Fonseca Lima Amorim<sup>2</sup>*

*Francisco José Moura<sup>3</sup>*

*Eduardo de Albuquerque Brocchi<sup>4</sup>*

*Mirna Tamiozzo da Costa Rupp<sup>5</sup>*

*Carlos Augusto Ribeiro Queiroz<sup>6</sup>*

*Maria José Panichi Vieira<sup>7</sup>*

## Resumo

A cada dia cresce a demanda por sistemas energéticos primários que permitam elevada drenagem de energia. Dentre estes sistemas, as pilhas térmicas e baterias para veículos automotores, com catodos constituídos de dissulfeto de ferro, apresentam-se como promissora opção tecnológica. O presente trabalho visa à caracterização do dissulfeto de ferro (FeS<sub>2</sub>) sintetizado a partir do óxido férrico, de forma a avaliar se os requisitos catódicos de sistemas eletroquímicos de alta densidade de energia são atendidos. Dentre as principais técnicas de caracterização do FeS<sub>2</sub> destacam-se: a difração de raios-X associada ao método de Rietvelt de quantificação de fases, a microscopia eletrônica de varredura associado à espectroscopia de energia difusa, a análise química elementar (ICO-OES), a análise térmica e a picnometria a gás.

**Palavras-chave:** Dissulfeto de ferro; FeS<sub>2</sub>; Pilhas térmicas; Baterias.

---

<sup>1</sup> Trabalho submetido ao 60<sup>o</sup> Congresso Anual da ABM, 25 a 28 de julho de 2005, Belo Horizonte - MG

<sup>2</sup> Pesq. do Centro Tecnológico do Exército - M.Sc pela PUC-Rio-RJ - [bamorim@ctex.eb.br](mailto:bamorim@ctex.eb.br)

<sup>3</sup> Prof. do Dep. de Ciências dos Materiais e Metalurgia, PUC-Rio/RJ - Ph. D. – [moura@dcmm.puc-rio.br](mailto:moura@dcmm.puc-rio.br)

<sup>4</sup> Prof. do Dep. de Ciências dos Materiais e Metalurgia, PUC-Rio/RJ - Ph. D. – [ebrocchi@dcmm.puc-rio.br](mailto:ebrocchi@dcmm.puc-rio.br)

<sup>5</sup> Pesq. do Centro tecnológico do Exército - D. Sc pela COPPE/UFRJ-RJ. – [mirna@ctex.eb.br](mailto:mirna@ctex.eb.br)

<sup>6</sup> Pesq. do Dep. de Ciências dos Materiais e Metalurgia PUC-Rio - M.Sc pela PUC-Rio-RJ – [queiroz@dcmm.puc-rio.br](mailto:queiroz@dcmm.puc-rio.br)

<sup>7</sup> Pesq do Centro Tecnológico do Exército - Doutoranda do DCMM/PUC-RJ - [pmaria@jpd.eb.br](mailto:pmaria@jpd.eb.br)

## 1 INTRODUÇÃO

A cada dia cresce a demanda por sistemas eletroquímicos primários que permitam elevada drenagem de densidade de energia com alto grau de confiabilidade. Dentre estes sistemas, as células de dissulfeto de ferro em sais fundidos apresentam-se como uma das mais promissoras opções de comercialização em pilhas, devido aos requisitos de ótima performance e baixos custos operacionais, destacando-se o nível tóxico baixo e as facilidades de obtenção e manuseio [1].

Estas características propiciam a aplicação do dissulfeto de ferro como material alternativo em sistemas de elevado grau tecnológico, por exemplo, como componente em coletores de energia solar, anodo despolarizador para a produção de hidrogênio e material catódico em baterias e pilhas de alta densidade de energia [2].

O dissulfeto de ferro pode ser obtido por purificação da pirita natural originária de diversas fontes tais como rejeito da mineração do ouro e do carvão mineral. Porém as operações de purificação envolvem procedimentos que dependem intimamente da origem do mineral.

A síntese a partir de compostos com características de pureza controladas mostra-se como a opção mais viável para garantir a padronização do dissulfeto de ferro para aplicações de elevado teor tecnológico [3].

Baseado neste contexto torna-se relevante a busca de novas rotas tecnológicas de síntese de dissulfeto de ferro ( $\text{FeS}_2$ ) que atendam aos requisitos técnico-operacionais, tais como: elevada pureza; temperatura de decomposição controlada; tamanho pequeno de partícula, da ordem de poucos micrômetros; reatividade e cristalinidade elevada[4].

O presente trabalho visa realizar a caracterização do dissulfeto de ferro obtido por síntese pirometalúrgica de forma a avaliar se os requisitos catódicos de sistemas eletroquímicos de alta densidade de energia são atendidos.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O dissulfeto de ferro sintetizado foi caracterizado em primeiro lugar por difração de raios-X para identificação de fases presentes, sendo quantificado pelo método de Rietvelt. Os difratogramas foram obtidos por um difratômetro de raios-X da Siemens, modelo D5000, com radiação  $\kappa_\alpha$  do  $\text{Cu}$  ( $\lambda=1,406 \text{ \AA}$ ), sob tensão de 40 kV e corrente de 30mA, com passo de  $0,02^\circ$  a cada 2s, varredura de  $5^\circ$  a  $90^\circ$ . Empregou-se o software o programa TOPAS<sup>®</sup>, versão 2.1, na implementação do método de Rietvelt.

Os compostos químicos cuja presença foi pesquisada por análise qualitativa de DRX foram: enxofre ortorrômbico – S [5], pirrotita, da família dos sulfetos ferrosos –  $\text{Fe}_7\text{S}_8$  – [6], dissulfeto de ferro na estrutura cristalina da pirita –  $\text{FeS}_2$  [7], ferro – Fe [8], hematita cristalina, óxido férrico –  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  [9] e dissulfeto de ferro na estrutura cristalina da marcassita –  $\text{FeS}_2$  [10].

Foram avaliadas morfologicamente amostras de dissulfeto de ferro por Microscopia Eletrônica de Varredura. As imagens foram obtidas em sua grande maioria por elétrons secundários, com metalização de grafite, uma vez que o dissulfeto de ferro apresenta características condutoras. Associado ao MEV, empregou-se a espectrometria por energia dispersiva de raios-X (EDS), com o objetivo de se avaliar a composição química elementar, tanto global quanto pontual, das amostras.

As amostras foram avaliadas quimicamente, por meio de espectroscopia de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), em um equipamento da Perkin Elmer, modelo Plasma 1000. A técnica visa à determinação de traços de metais em amostras preparadas convenientemente. Os metais avaliados foram: *Co, Mn, Cr, Cu, Al, Ca, Zn, As, Si e P*. A curva de calibração foi realizada com padrão multielementar MerK, de 1000 mg/L (1000 ppm) diluídos convenientemente a 0,5 ppm, 5,0 ppm e 10 ppm. Na abertura de amostra para determinação de traços de metais foram dissolvidos 0,2 g de material sólido, seqüencialmente, em 2 mL de ácido nítrico concentrado, 2mL de ácido clorídrico concentrado e 0,1 ml de ácido fluorídrico, avolumados a 20 mL com água destilada, após o ataque ácido. O ácido fluorídrico foi necessário para dissolver o ácido silícico ( $H_2SiO_3$ ), que se apresentava em pequena quantidade na solução de abertura, na forma de uma massa gelatinosa esbranquiçada. Posteriormente, retirou-se uma alíquota da solução de abertura, diluindo-a em mais 10 vezes, para então se proceder à análise por ICP-OES.

A determinação da massa específica das partículas de dissulfeto de ferro foi feita em um equipamento chamado "Multipycnometer", operando com gás hélio (*He*).

A determinação do tamanho de partícula também foi realizada em analisador Coulter-Counter, marca Silas 1064L, que opera segundo o princípio de espalhamento de luz a laser. O equipamento permite observar tamanhos de partícula entre 0,4  $\mu\text{m}$  a 500  $\mu\text{m}$ . Com base no fator de forma e na massa específica é possível estimar a área superficial das partículas.

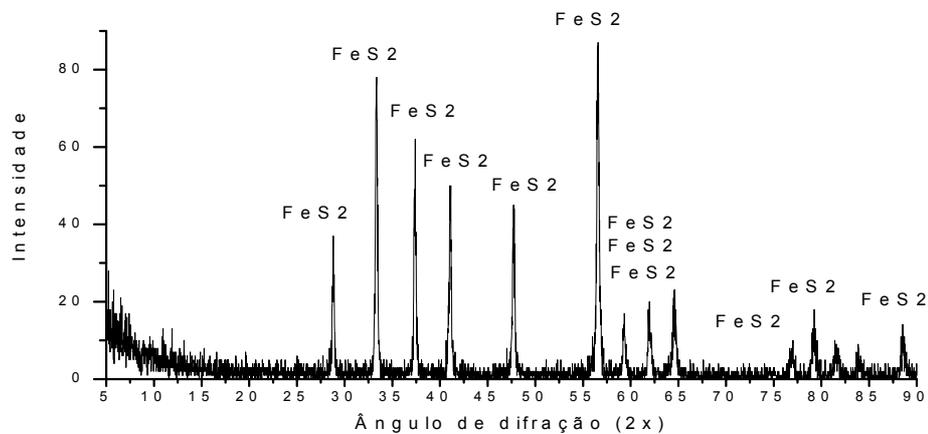
Foi realizada análise termogravimétrica, que avaliou a perda de massa do dissulfeto de ferro sintetizado em função do aumento de temperatura. O equipamento empregado era um Polymer STA 1500. A rampa de aquecimento utilizada foi de 10°C/min com vazão de gás inerte (argônio) de 60 mL/min. A faixa de operação encontrou-se entre 25°C e 700°C. Foram levantadas as curvas termogravimétrica (TG) e diferencial termogravimétrica (DTG).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

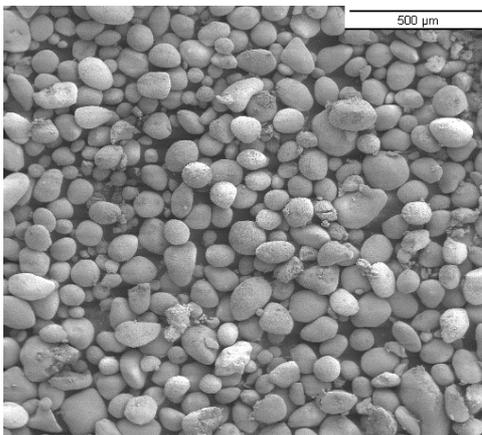
O difratograma que consta da Figura 1 ilustra o produto de reação de síntese do dissulfeto de ferro para tempo de reação de duas horas à 500°C de temperatura. Pode-se notar que só há a presença da fase  $FeS_2$ . O difratograma da Figura 1 é bastante semelhante ao difratograma do dissulfeto de ferro obtido por Ming Au [11], através da purificação da pirita. Todos os ângulos de difração coincidem, sendo os ângulos ( $2\theta$ ) e planos (h,k,l) correspondentes iguais a: 28,51° (1,1,1); 33,08° (2,0,0); 37,11° (2,1,1); 40,78° (2,1,1); 47,41° (2,2,0); 56,28° (3,1,1); 59,02° (2,2,2); 61,69° (0,2,3); 64,28° (3,2,1); 76,60° (3,3,1) e 78,96° (4,2,0), à exceção dos ângulos e planos 81,317° (1,2,4), 83,640° (3,3,2) e 88,291° (4,2,2) que não aparecem no difratograma obtido por Ming Au [11]. Não há nenhum pico que possa ser associado significativamente à presença das matérias-primas empregadas na síntese do  $FeS_2$ , tais como: Fe [8],  $Fe_2O_3$  [9] e S [5] ou de compostos de reações secundárias de síntese, tais como: a pirrotita –  $F_7S_8$  [6] e  $FeS_2$  [10] na forma cristalina de marcassita.

A Figura 2 mostra, em pequeno aumento, de 50 vezes, um determinado número de partículas de  $FeS_2$ , obtido por síntese a 500°C, em 2h de reação. A aparência das partículas é arredondada, algumas com eixos perpendiculares de tamanhos diferentes, indicando um alongamento em uma das dimensões, caracterizando uma geometria elipsoidal. Embora haja nitidamente uma distribuição de tamanhos de partículas, um número considerável de partículas de  $FeS_2$  se

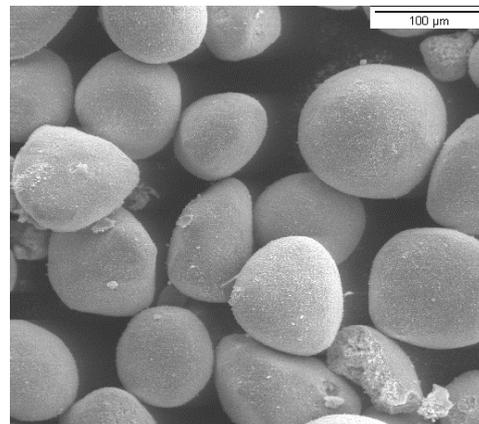
enquadra na faixa entre  $100\mu\text{m}$  e  $150\mu\text{m}$ . A Figura 3, em aumento de 200 vezes, apresenta partículas de  $\text{FeS}_2$ , sintetizadas também a  $500^\circ\text{C}$  em 2h de reação, ressalta as características levantadas pela Figura 2.



**Figura 1.** Difratoograma do dissulfeto de ferro sintetizado em de duas horas de reação a  $500^\circ\text{C}$ .

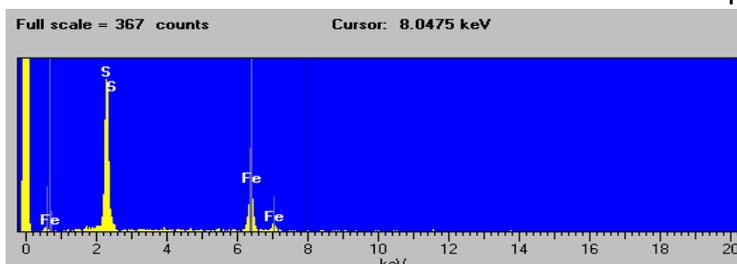


**Figura 2.** Micrografia de várias partículas de  $\text{FeS}_2$  obtido por síntese a  $500^\circ\text{C}$  e 2h de reação, com aumento de 50 vezes.



**Figura 3.** Micrografia de várias partículas de  $\text{FeS}_2$  obtido por síntese a  $500^\circ\text{C}$  e 2h de reação, com aumento de 200 vezes.

A Figura 4 apresenta a análise química elementar por intermédio de EDS de partículas de  $\text{FeS}_2$  que se encontram na Figura 3. A Tabela 1 resume a análise elementar e mostra uma estimativa de fórmula molecular para o dissulfeto de ferro.



**Figura 4.** Análise elementar por EDS de partículas de  $\text{FeS}_2$  sintetizadas.

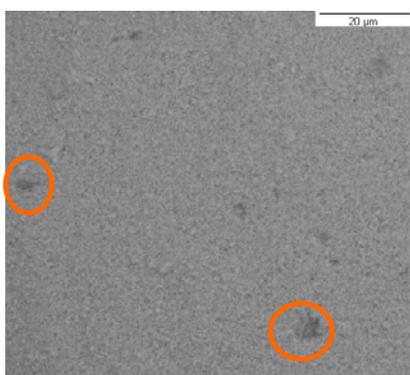
**Tabela 1.** Resultado de composição elementar por EDS de partículas de  $FeS_2$  sintetizadas e estimativa de composição molecular.

Elemento	Porcentagem atômica
Fe	33,63 %
S	66,37%
Composto	Fórmula molecular aproximada
Dissulfeto de ferro	$FeS_{1,97}$

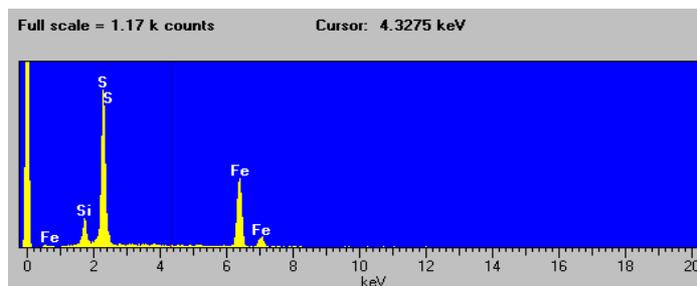
Com base nas informações de análise elementar:  $Fe$  (33,67%) e  $S$  (66,33%), chega-se à proporção 1:1,97 para  $Fe$  e  $S$  respectivamente, o que conduz a fórmula molecular  $FeS_{1,97}$  para o dissulfeto de ferro sintetizado.

Uma das impurezas que limitam a capacidade eletroquímica do dissulfeto de ferro é a sílica ( $SiO_2$ ). O conhecimento da forma em que a sílica se encontra na matriz do dissulfeto de ferro passa a ser uma informação relevante. A Figura 5 mostra em ampliação de 1000 vezes a superfície de uma partícula de  $FeS_2$  sintetizada, em imagem obtida por elétrons retro-espalhados, que permite um contraste entre elementos mais leves e mais pesados por diferença de intensidade em tons de cinza na imagem. Dessa forma, a maior parte da superfície constituída majoritariamente de  $FeS_2$  apresenta-se mais clara que as pequenas regiões escuras, constituídas, provavelmente, de  $SiO_2$ .

A hipótese de associar as regiões mais escuras à presença de  $SiO_2$  é respaldada pela análise de EDS pontual dessas regiões, conforme elucidada a Figura 6. Pode-se notar então, em linhas gerais, que o  $SiO_2$  surge na forma de poucas “ilhas” imersas na matriz de dissulfeto de ferro. Embora na análise global elementar em amostras de  $FeS_2$  sintetizado não seja possível notar a presença de  $Si$ , quando se realiza a mesma análise nas regiões mais escuras, o  $Si$  é detectado, chegando a representar 10% do total em massa mensurado.



**Figura 5.** Micrografia de elétrons retro-espalhados da superfície de uma partícula de  $FeS_2$ , aumento de 1000 vezes, com os pontos escuros em destaque

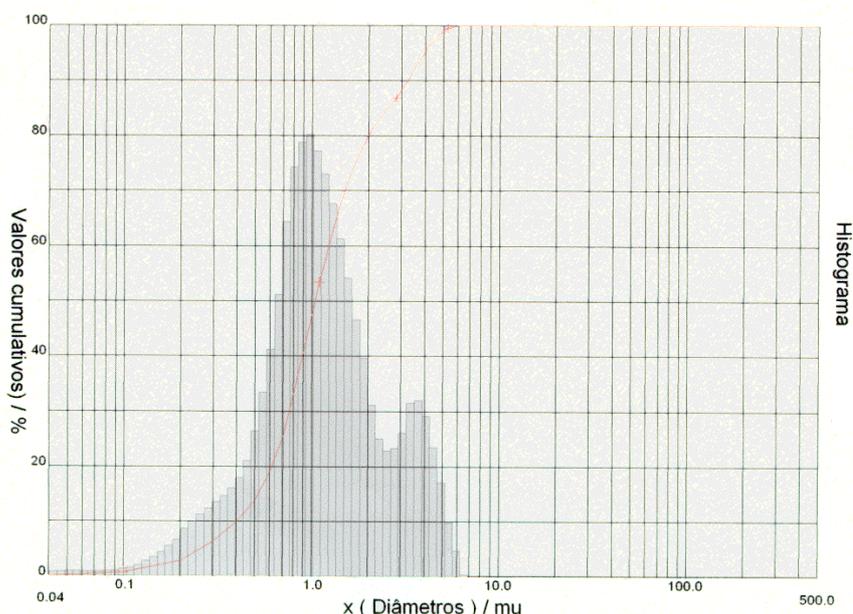


**Figura 6.** Análise elementar pontual por meio de EDS de região escura da superfície de uma partícula de  $FeS_2$ .

A Figura 7 mostra a curva de distribuição de tamanhos de partícula típica para o dissulfeto de ferro sintetizado. Foi observado que 10% das partículas dispersas apresentaram diâmetro médio abaixo de  $0,41\mu m$ , 50% das partículas se situaram abaixo de  $1,05\mu m$ , e 90% das partículas ficaram abaixo de  $3,25\mu m$ . O diâmetro médio de partícula foi de  $1,42\mu m$ . Para um fator de forma de 0,8 e massa específica de  $4,7\text{ g/cm}^3$  estimou-se a superfície específica em  $1,45\text{ g/cm}^2$ .

Os resultados da determinação dos traços de elementos presentes na amostra obtidos por meio de ICP-OES estão resumidos na Tabela 2. As percentagens em massa de traços de metais presentes em amostras típicas de dissulfeto de ferro natural purificado [12,13,14,15] indicam valores cerca de dez a cem vezes superiores para *Mn*, *Al*, *Ca*, *Cu*, *Zn*, *As*, *Co* e *Si*. O *Al* e o *Ca* encontram-se comumente na forma dos óxidos  $Al_2O_3$  e  $CaO$ , respectivamente.

A principal impureza presente no  $FeS_2$  sintetizado é o *Si*, que se encontra na forma de anidrido silícico ( $SiO_2$ ). O  $SiO_2$  é uma impureza que não se dissolve em ácidos convencionais como o ácido nítrico, nem em ácido clorídrico; só se dissolve em ácido fluorídrico concentrado. O  $SiO_2$  costuma ser classificado na literatura como impureza não solúvel em ácido. Segundo Guidotti [12], valores de  $SiO_2$  superiores a 2 % em massa comprometem o desempenho eletroquímico do dissulfeto de ferro, diminuindo sua capacidade despolarizante. Portanto o  $FeS_2$  sintetizado no presente trabalho, como apresenta 1,4 % em massa de  $SiO_2$ , valor calculado a partir do teor de *Si* de 0,69% em massa, atende a esse critério tecnológico. A Tabela 3 mostra o teor de óxidos presentes no dissulfeto de ferro sintetizado.



**Figura 7.** Curva de distribuição granulométrica para o dissulfeto de ferro sintetizado.

**Tabela 2.** Concentração de traços de elementos no  $FeS_2$  sintetizado.

Elemento	Concentração (ppm)	Porcentagem em massa
<i>Co</i>	< 0,036	< $3,6 \times 10^{-4}$ %
<i>Mn</i>	484,10	0,048 %
<i>Cr</i>	398,97	0,039 %
<i>Cu</i>	354,10	0,035 %
<i>Al</i>	131,27	0,013 %
<i>Ca</i>	35,40	0,0035 %
<i>Zn</i>	236,18	0,0236 %
<i>As</i>	< 1,54	< $1,5 \times 10^{-4}$ %
<i>P</i>	< 0,066	< $6,6 \times 10^{-6}$ %
<i>Si</i>	6929,9	0,69 %
Total máximo	8571,6	0,85 %

Tabela 3. Concentração de óxidos no  $FeS_2$  sintetizado.

Elemento	Óxido	% em massa do elemento	% em massa do óxido
Al	$Al_2O_3$	0,013 %	0,0246 %
Ca	$CaO$	0,0035 %	0,0049 %
Si	$SiO_2$	0,69 %	1,402 %

O termograma exposto na Figura 8 consta das curvas de TG e DTG para o dissulfeto de ferro sintetizado. Pode-se notar a presença de cinco picos específicos, mais relevantes, nas temperaturas: 77,56°C (1), 108,86°C (2), 456,88°C (3), 512,93°C (4), 636,68°C(5). Os primeiros dois picos estão associados à eliminação de água tanto como umidade como devido à desidratação de sulfatos gerados por pequena oxidação superficial da amostra. Os demais picos estão associados ao processo de decomposição do dissulfeto de ferro. Segundo Ennaoui et al [16], a decomposição do dissulfeto de ferro é um processo complexo que envolve eliminação progressiva de átomos de enxofre, que apresentam energias de ligação distintas na superfície e no interior da partícula de dissulfeto de ferro. A reação de decomposição da pirita pode ser representada pela equação química (1):



Sendo que ao fim do processo ocorre a formação de pirrotita  $Fe_7S_8$  que pode ser escrita como  $FeS_{1,14}$ , com perda teórica de massa de cerca de 22,9%, para um valor de  $x$  equivalente a 0,43 [17].

A decomposição do dissulfeto de ferro sintetizado gerou perda de massa total de 23,73% a 700°C, consistente com valores de perda de massa final encontrados na literatura. Peled et al [17] estudaram o processo de decomposição do dissulfeto de ferro e encontraram para diferentes amostras sintéticas e naturais, perda de massa total, a 700°C, variando na faixa de 23% a 26%.

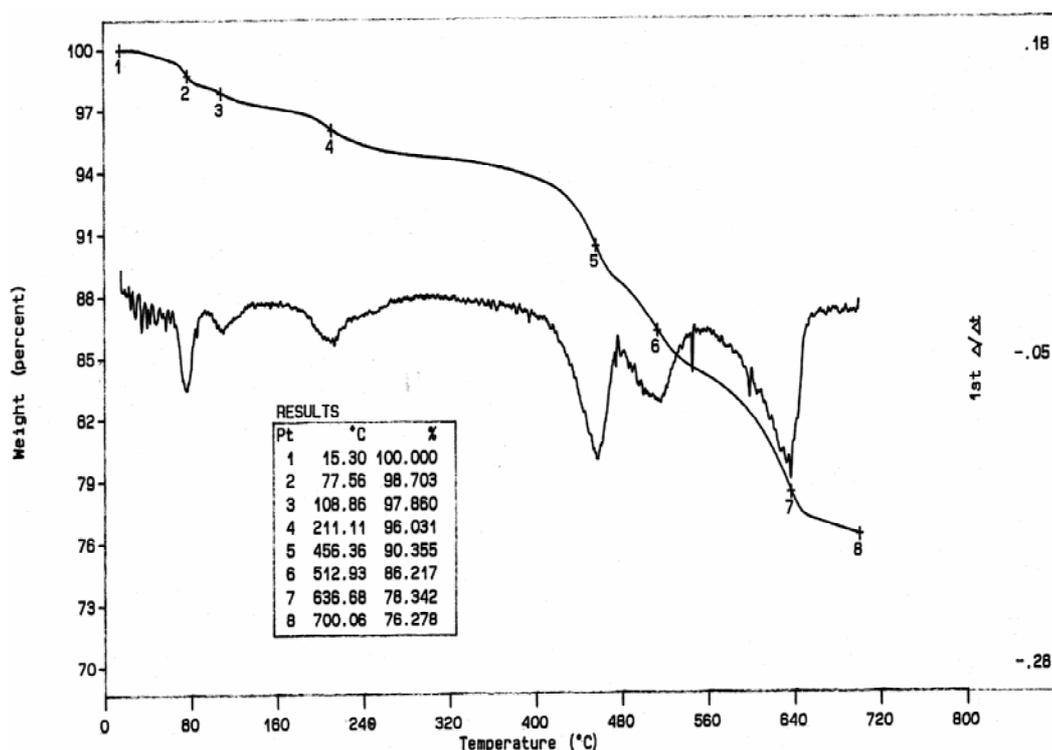


Figura 8. Termograma do dissulfeto de ferro sintetizado.

#### 4 CONCLUSÕES

O dissulfeto de ferro sintetizado atende aos requisitos de pureza necessários para aplicação em fontes eletroquímicas primárias e secundárias. A difração de raios-X do produto de síntese indicou a presença de uma única fase de  $\text{FeS}_2$  na forma cristalina de pirita. Não foram encontradas outras fases típicas que podem acompanhar o  $\text{FeS}_2$ , tais como: S – [5],  $\text{Fe}_7\text{S}_8$  – [6], Fe – [8],  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – [9],  $\text{FeS}_2$  na forma cristalina de marcassita – [10]. A análise química elementar por ICP-OES do  $\text{FeS}_2$  sintetizado verificou baixas concentrações de metais (Co, Mn, Cr, Cu, Al, Ca, Zn, As, Si e P) e teor de  $\text{SiO}_2$  de 1,4%, abaixo do valor limite de 2% para aplicações eletroquímicas.

A análise morfológica por MEV mostra que o aglomerado de  $\text{FeS}_2$  sintetizado apresenta forma aproximadamente elipsoidal, com regularidade de contorno e tamanho médio de 150  $\mu\text{m}$ . A análise de tamanhos realizadas no equipamento Coulter-Counter indicou tamanho médio de partícula 1,42  $\mu\text{m}$ , cem (100) vezes inferior ao tamanho de partícula obtido por MEV. Esse fato permite inferir que os aglomerados de  $\text{FeS}_2$  são formados por partículas bem menores, liberadas por ação simultânea do líquido dispersante e do ultra-som. A massa específica medida por picnometria gasosa foi de 4,7  $\text{g}/\text{cm}^3$  e a superfície específica foi estimada em 1,45  $\text{g}/\text{cm}^2$ , valores satisfatórios para fins eletroquímicos.

A análise térmica do  $\text{FeS}_2$  sintetizado mostra que a perda de massa total do dissulfeto de ferro é de 23,73% a 700°C, valor consistente com o processo padrão de decomposição  $\text{FeS}_2$ .

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 D.Linden. **"Handbook of Batteries and Fuel Cells"**, MacGraw-Hill Book Company, (1984).
- 2 Ennaoui, A.; Bronold, M.; Fiechter, S.; Pettenkofer, Ch.; Alonso-Vante, N.; Bilker, K.; Tributsch, H.; Höpfner, Ch.; **"Iron disulfide for solar energy conversion"**, Solar Energy Materials and Solar Cells, n° 29, 289-370, 1993.
- 3 Amorim, B.V.F.L.; Valverde, L.F.M.; Rupp, M.T.C.; Vieira, M.J.P.; Kolher, H.M.; **"Sulfetos Metálicos para Aplicações em Sais Fundidos"**, 55° Congresso Anual da ABM; Rio de Janeiro, 2000.
- 4 Amorim, B.V.F.L.; **"Síntese e Caracterização do Dissulfeto de Ferro (FeS<sub>2</sub>)"**; Tese de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica-RJ, 2004.
- 5 Joins Commission of Powder Diffraction File Sets, **File # 23 – 0562**, International Center for Diffraction Data, Newtown Square, PA.
- 6 Joins Commission of Powder Diffraction File Sets, **File # 25 – 0411**, International Center for Diffraction Data, Newtown Square, PA.
- 7 Joins Commission of Powder Diffraction File Sets, **File # 42 – 1340**, International Center for Diffraction Data, Newtown Square, PA.
- 8 Joins Commission of Powder Diffraction File Sets, **File # Fe – 06 – 0696**, International Center for Diffraction Data, Newtown Square, PA.
- 9 Joins Commission of Powder Diffraction File Sets, **File # 33 – 0664**, International Center for Diffraction Data, Newtown Square, PA.
- 10 Joins Commission of Powder Diffraction File Sets, **File # 37 – 0475**, International Center for Diffraction Data, Newtown Square, PA.
- 11 Ming Au; **"Nanostructured thermal batteries with high power density"**, Journal of Power Sources, n° 115, 360–366, 2003.
- 12 Guidotti, R.A.; Reinhardt, F.W.; **"Evaluation of Flotation for Purification of Pyrite for Use in Thermal Batteries"**, Sandia n° 92-0874; Albuquerque, 1992.
- 13 Horn, Yang Shao; Horn, Quin. C.; **"Chemical, structural and electrochemical comparison of natural and synthetic FeS<sub>2</sub> pyrite in lithium cells"**, Electrochimica Acta n° 46, 2613-2621, 2001.
- 14 Fong, R.; Jones, C.H.W.; Dahn, J.R.; **"A study of pyrite-based cathodes for ambient temperature lithium batteries by in situ Fe Mossbauer Spectroscopy"**, Journal of Power Sources, n° 26, 333 – 339, 1989.
- 15 Montoro, L.A.; Rosolen, J.M.; Shin, J.H.; Passerini, S.; **"Investigations of natural pyrite free-polymer electrolyte, lithium metal batteries"**; Electrochimica Acta, n° 49, 3419-3427, 2004.
- 16 Boyabat, N.; Özer, A.K.; Bayrakçeken, S.; Gülabolu, M.S.; **"Thermal decomposition of pyrite in the nitrogen atmosphere"**; Fuel Processing Technology, n°85, 179-188, 2003.
- 17 Peled, E.; Strauss, E.; Ardel, G.; Livshits, V.; Burstein, L.; Golodnitsky, D.; **"Lithium polymer electrolyte pyrite rechargeable battery: comparative characterization of natural pyrite from different sources as cathode material"**, Journal of Power Sources, n° 88, 206–218, 2000.

# SYNTHETIC IRON DISULFIDE CHARACTERIZATION

Bruno Vinicius da Fonseca Lima Amorim<sup>8</sup>  
Francisco José Moura<sup>9</sup>  
Eduardo de Albuquerque Brocchi<sup>10</sup>  
Mirna Tamiozzo da Costa Rupp<sup>11</sup>  
Carlos Augusto Ribeiro Queiroz<sup>12</sup>  
Maria José Panichi Vieira<sup>13</sup>

## Abstract

Nowadays exists a growing technological demand for systems of high-energy yield. Among these systems the thermal batteries and secondary batteries for vehicles with iron disulfide cathodes are a promising option. The subject in this work is iron disulfide characterization, obtained by iron oxide sulphidation, and evaluation of cathodic high energy yield requisites. Among the mainly techniques of iron disulfide characterization are: X-ray diffraction associated with Rietvelt method, scanning electronic microscopy equipped with energy dispersive X-ray, chemical elementary analysis (ICP-OES) thermal analysis and gas picnometry.

**Key-words:** Iron disulfide; FeS<sub>2</sub>; Thermal batteries; Secondary batteries.

---

<sup>8</sup> Pesq. do Centro Tecnológico do Exército- M.Sc pela PUC-Rio-RJ- [bamorim@ctex.eb.br](mailto:bamorim@ctex.eb.br)

<sup>9</sup> Prof. do Dep. de Ciências dos Materiais e Metalurgia, PUC-Rio/RJ - Ph. D. – [moura@dcmm.puc-rio.br](mailto:moura@dcmm.puc-rio.br)

<sup>10</sup> Prof. do Dep. de Ciências dos Materiais e Metalurgia, PUC-Rio/RJ - Ph. D. – [ebrocchi@dcmm.puc-rio.br](mailto:ebrocchi@dcmm.puc-rio.br)

<sup>11</sup> Pesq. do Centro tecnológico do Exército - D. Sc pela COPPE/UFRJ-RJ. – [mirna@ctex.eb.br](mailto:mirna@ctex.eb.br)

<sup>12</sup> Pesq. do Dep. de Ciências dos Materiais e Metalurgia PUC-Rio - M.Sc pela PUC-Rio-RJ – [queiroz@dcmm.puc-rio.br](mailto:queiroz@dcmm.puc-rio.br)

<sup>13</sup> Pesq do Centro Tecnológico do Exército - Doutoranda do DCMM/PUC-RJ - [pmaria@ipd.eb.br](mailto:pmaria@ipd.eb.br)