

TÉCNICAS DE MICROSCOPIA ÓTICA E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA AUTOMATIZADA (QEMSCAN) APLICADAS A DIFERENTES TIPOLOGIAS DE MINÉRIO DE FERRO

Tatiane Aparecida Rocha Gonçalves¹
Antônio Eduardo Clark Peres¹

Resumo

A realidade do mercado de minério de ferro é a exaustão dos minérios com elevado teor de ferro e o aumento da exploração de minérios pobres, com presença de complexas associações mineralógicas, que necessitam de maior detalhamento em suas caracterizações, aplicando técnicas tais como difração de raios-X, microscopia ótica, Mossbauer, QEMSCAN (*Quantitative Evaluation of Minerals by Scanning Electron Microscopy*), entre outras. Uma adequada caracterização mineralógica é fundamental para a determinação da melhor rota de processo a ser aplicada ao minério, através das informações sobre a assembleia mineralógica, morfologia e textura dos cristais e grau de liberação. O trabalho em questão avaliou quatro diferentes tipos de itabiritos, através das duas técnicas atualmente mais utilizadas para a caracterização mineralógica, sendo elas: microscopia ótica e QEMSCAN. Os resultados das análises indicam que as técnicas de caracterização se complementam.

Palavras-chave: QEMSCAN; Microscopia ótica; Minério de ferro.

OPTICAL MICROSCOPY AND QUANTITATIVE EVALUATION OF MINERALS BY SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (QEMSCAN) APPLIED TO DIFFERENT TYPES OF IRON ORE

Abstract

The reality of the iron ore market is the exhaustion of ore with high iron content and the increased exploitation of poor ores, with the presence of complex mineralogical associations, that need more detailed in their characterizations, applying techniques such as X-ray diffraction, optical microscopy, Mossbauer, Quantitative Evaluation of Minerals by Scanning Electron Microscopy, among others. A suitable mineralogical characterization is essential to determine the best process route to be applied to the ore through the information about mineralogical assembly, morphology and texture of the crystals and the degree of liberation. The study in question assessed four different types of itabirites, using methods currently to mineralogical characterization, called: optical microscopy and Quantitative Evaluation of Minerals by Scanning Electron Microscopy – QEMSCAN. Allowing thus to determine the most appropriate technique for each type of mineralogical assembly.

Keywords: QEMSCAN; Optical microscopy; Iron ore.

I INTRODUÇÃO

O cenário atual do minério de ferro consiste na exaustão dos depósitos de hematitas e exploração dos depósitos de itabiritos que apresentam uma diversificada assembleia mineralógica, complexas associações entre os minerais e diminuição dos tamanhos de cristais. Este fato gera a necessidade de aplicação cada vez maior de técnicas de caracterização mineralógica mais modernas, tais

como QEMSCAN e análise de imagens, que possibilitam o entendimento da mineralogia dos itabiritos e seus efeitos nos processos de concentração mineral. A caracterização mineralógica é o primeiro passo realizado na caracterização tecnológica de minérios, fornecendo informações da morfologia, quantificação dos minerais, tipos de associações, granulação e liberação, que podem interferir nos processos subsequentes de

¹Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil. E-mail: aecperes@demet.ufmg.br

concentração mineral. Uma boa caracterização é fundamental para entender o comportamento do minério e gerar dados confiáveis para serem aplicados nesses processos. A técnica QEMSCAN possibilita a automatização do microscópio eletrônico de varredura, devido a presença de um sistema moderno de *software* e *hardware*. Este microscópio eletrônico é composto por um conjunto de detectores de sinais de elétrons retroespalhados e energia dispersiva de raios-X (EDS), que permitem identificar o mineral pelo seu brilho e composição química. As informações geradas são comparadas a uma lista mineral pré-definida denominada SIP (*Species Identification Protocol*) que possibilita a identificação e quantificação do mineral a partir da composição química e espectros padrão [1]. A microscopia ótica de luz refletida é aplicada na identificação de minerais opacos. Nesta técnica, as propriedades óticas como brilho, cor, traço e luminescência relacionadas com a interação da luz nos minerais são utilizadas como critério de identificação mineralógica. Trabalhos como de Donskoi et al. [2] já estudaram as técnicas de caracterização mineralógica QEMSCAN e análise de imagens na microscopia ótica (OIA), aplicadas aos minérios de ferro australianos. Este estudo apresentou as características específicas de cada método e demonstrou uma melhor identificação de minerais de ganga pelo QEMSCAN comparado ao OIA. Sendo assim este estudo visou aprofundar a caracterização mineralógica dos minérios itabiríticos utilizando estas duas técnicas analíticas empregadas atualmente, microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura automatizada (QEMSCAN), possibilitando assim determinar qual a mais adequada para cada tipo de assembleia mineralógica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

O presente estudo foi executado com quatro amostras de itabiritos: itabirito compacto, itabirito goethítico, itabirito magnetítico e itabirito dolomítico. Na Figura 1 é apresentado o fluxograma com os ensaios a serem executados com as quatro amostras selecionadas para este estudo.

As amostras selecionadas inicialmente foram britadas em 1,0mm em britador giratório de laboratório até o ponto em que toda a massa apresenta-se granulometria inferior à fração citada. Posteriormente as amostras foram homogeneizadas, quarteadas e separadas em divisor rotativo do tipo carrossel para gerar alíquotas para a granulometria, química faixa e caracterizações mineralógicas. As faixas granulométricas aplicadas foram: $-1,0\text{mm} + 0,15\text{mm}$; $-0,15\text{mm} + 0,075\text{mm}$; $-0,075\text{mm} + 0,045\text{mm}$ e $-0,045\text{mm}$. As análises químicas foram realizadas através do método de fluorescência de raios-X (pastilha fundida), sendo analisados os seguintes compostos: Fe, SiO_2 , P, Al_2O_3 , Mn, TiO_2 , CaO e MgO. O valor de PPC foi obtido via gravimetria. As amostras para o QEMSCAN e microscopia ótica foram embutidas em resina epóxi e polidas em politriz manual. As amostras para o microscópio eletrônico de varredura automatizado ainda

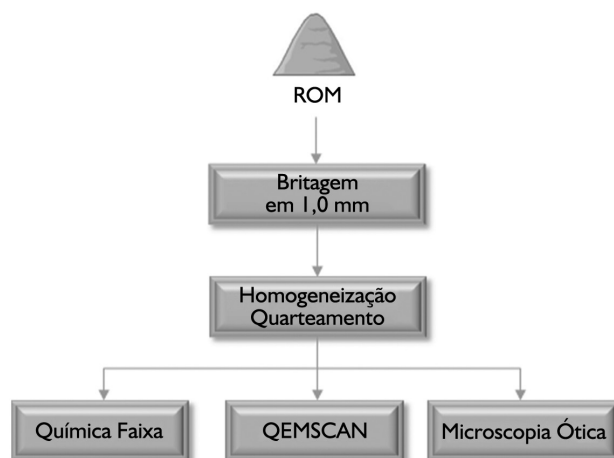


Figura 1. Fluxograma dos ensaios do estudo.

foram metalizadas com camada de carbono, para torná-las condutoras quando forem incididas pelos feixes de elétrons.

2.2 Metodologia

Na microscopia ótica utilizou-se microscópio petrográfico Leica, modelo DMLP. A quantificação mineralógica foi realizada através da estimativa em percentual da área ocupada por cada mineral identificada no campo visual em análise, através da contagem por ponto, linha e áreas. O campo visual possui referências que facilitam a quantificação, entretanto foi de fundamental importância a experiência do mineralogista, para a interpretação das análises. A estimativa foi realizada dividindo o campo visual em sub-campos de igual percentual em área e em seguida converteu em 100% da seção polida. Neste trabalho foi avaliada apenas a microscopia de luz refletida, utilizada para identificar minerais opacos, como os óxidos e hidróxidos de ferro, que compõem os minerais de interesse do estudo. Para o cálculo da composição química através da quantificação mineralógica, utilizou-se a média da composição química de cada espécie mineral. A validação das quantificações mineralógicas foi realizada através da comparação entre os resultados da análise química obtida em laboratório (via espectroscopia de fluorescência de raios-X) e a composição química calculada, que é determinada a partir da quantificação mineralógica. O estudo também contempla a caracterização mineralógica realizada aplicando o microscópio eletrônico de varredura automatizado com o sistema QEMSCAN, através do *software iMeasure* e os dados foram tratados a partir do *software iExplorer*. Foi utilizado o modelo de análise PMA (*Particle Mineral Analysis*).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 a seguir apresenta a distribuição granulométrica e química faixa das amostras após britagem em 1,0mm. A amostra de itabirito dolomítico apresenta-se mais fina comparada as outras amostras. Com exceção

Tabela 1. Análise química por fração das amostras

Amostra	Fração	Retido Simples (%)	Análise Química (%)								
			Fe	SiO ₂	P	Al ₂ O ₃	Mn	TiO ₂	CaO	MgO	PPC
Itabirito Dolomítico	-1,0 + 0,150mm	10,53	16,95	40,95	0,025	0,84	0,128	0,040	9,592	7,674	15,94
	-0,150 + 0,075mm	19,91	14,54	43,90	0,019	0,44	0,123	0,018	10,836	6,935	17,18
	-0,075 + 0,045mm	27,26	11,12	27,83	0,019	0,30	0,183	0,009	17,660	9,827	28,08
	-0,045mm	42,30	11,15	16,44	0,031	0,70	0,226	0,025	20,776	12,087	33,12
	Global	100,00	12,58	28,01	0,025	0,63	0,177	0,021	16,468	9,942	26,44
Itabirito Anfibolítico	-1,0 + 0,150mm	34,79	32,77	43,74	0,042	0,24	0,064	0,011	2,355	2,945	3,12
	-0,150 + 0,075mm	23,82	30,32	45,89	0,038	0,19	0,058	0,006	2,887	3,039	3,80
	-0,075 + 0,045mm	15,24	25,28	45,36	0,045	0,18	0,093	0,005	5,032	4,555	7,97
	-0,045mm	26,15	24,13	38,36	0,098	0,53	0,153	0,022	6,617	7,796	11,47
	Global	100,00	29,31	43,24	0,059	0,33	0,082	0,010	3,942	4,666	6,28
Itabirito Goethítico	-1,0 + 0,150mm	49,46	48,69	16,87	0,315	2,88	0,892	0,235	0,021	0,065	8,37
	-0,150 + 0,075mm	09,14	47,59	16,05	0,319	3,76	1,080	0,996	0,040	0,086	8,20
	-0,075 + 0,045mm	04,84	49,92	12,84	0,315	3,76	0,962	0,907	0,078	0,125	8,12
	-0,045mm	36,56	49,08	10,52	0,327	8,11	0,477	0,458	0,071	0,141	8,96
	Global	100,00	49,20	13,80	0,324	4,86	0,870	0,421	0,023	0,084	8,68
Itabirito Compacto	-1,0 + 0,150mm	45,33	44,19	36,39	0,010	0,12	0,601	0,003	0,024	0,075	0,16
	-0,150 + 0,075mm	18,60	35,01	49,97	0,008	0,09	0,331	0,001	0,031	0,094	0,21
	-0,075 + 0,045mm	12,00	29,70	57,46	0,011	0,13	0,224	0,004	0,027	0,095	0,33
	-0,045mm	24,07	36,59	46,56	0,020	0,27	0,418	0,006	0,038	0,106	0,68
	Global	100,00	38,59	43,87	0,013	0,14	0,498	0,003	0,022	0,078	0,38

da amostra de itabirito compacto, as demais apresentam significativo percentual de contaminantes tais como P, Mn e Al₂O₃ na amostra de itabirito goethítico, CaO e MgO nas amostras de itabirito dolomítico e anfibolítico. Ressalta-se o baixo teor de ferro da amostra de itabirito dolomítico com percentual global igual a 12,58%.

A Tabela 2 a seguir apresenta a caracterização mineralógica realizada utilizando microscópio ótico de luz refletida.

Esta técnica permite diferenciar os tipos de hematitas e goethitas pela textura. As amostras de itabirito dolomítico e anfibolítico são tipicamente magnetíticas. Já a amostra de itabirito goethítico apresenta elevado grau de hidratação com altos percentuais de goethita terrosa (11,02%) e goethita compacta (47,58%), esta última sendo predominantemente maciça (47,41%). Na amostra de itabirito compacto prevalece as hematitas compactas (49,49%) tendo como principal morfologia as hematitas granulares (29,03%).

Em relação aos minerais de ganga, o quartzo predomina em todas as amostras, com exceção do itabirito dolomítico, que prevalece os outros minerais, que por se tratar de uma técnica de microscopia ótica de luz refletida não foi possível a diferenciação, mas supõe-se que são carbonatos pela análise química, textural e macroscópica. Óxidos de manganês e gibbsita são relevantes apenas na amostra de itabirito goethítico, sendo 2,16% e 5,16%, respectivamente.

A Tabela 3 a seguir apresenta a caracterização mineralógica realizada através da técnica QEMSCAN. Diferente do observado na microscopia ótica, esta última possibilita maior diferenciação entre os minerais, que na

técnica anterior era classificado como “Outros”, tais como clorita, anfibólitos, talco, ilmenita, ankerita, siderita, apatita e pirita. Percebe-se uma certa participação de talco nas amostras de itabirito dolomítico (1,27%) e anfibolítico (1,20%) e nas mesmas predomina o carbonato ankerita, sendo 58,92% e 11,39%, respectivamente.

Por uma característica construtiva intrínseca ao sistema QEMSCAN com fonte de tungstênio, não é possível o discernimento entre os óxidos de Fe, sendo agrupados em uma única fase. São possíveis, porém, inferências do tipo predominante de óxido de Fe através das características texturais e químicas observadas por microscopia eletrônica.

As Figuras 2 e 3 apresentam fotomicrografias via microscopia ótica e imagens digitais via QEMSCAN obtidas da fração -1,0+0,150mm da amostra de itabirito anfibolítico.

A Tabela 4 a seguir apresenta um quadro comparativo da quantificação mineralógica via microscopia ótica versus QEMSCAN.

Uma suposição é que as discrepâncias encontradas entre as metodologias principalmente para os óxidos de ferro e quartzo devem-se as diferenças nos princípios de análises de cada técnica. A microscopia ótica utiliza propriedades óticas como brilho, cor, traço e luminescência relacionadas com a interação da luz nos minerais como critério de identificação [3], enquanto o microscópio eletrônico de varredura automatizado utilizada os sinais de elétrons retroespalhados (BSE) e energia dispersiva de raios-X gerados a partir de um feixe de elétrons incidente sobre uma amostra, que permitem identificar o mineral pelo seu brilho e composição química.

Tabela 2. Quantificação mineralógica via microscopia ótica de luz refletida

		Quantificação Mineralógica (%) - Microscopia Ótica																				
Amostra	Fração	Retido Simples (%)	Hematita Especular	Hematita Lamelar	Hematita Granular	Hematita Microcristalina	Hematita Sinuosa	Hematitas Compactas	Hematita Martítica	Magnetita	Goethita Anfibolítica	Goethita Alveolar	Goethita Maciça	Goethita	Goethita Terrosa	Quartzo	Manganes	Caulinita	Gibbsita	Mica	Outros Minerais	
Dolomítico	-1,0 + 0,150mm	10,53	0,00	0,00	0,00	0,65	0,00	0,65	0,46	21,60	0,00	0,00	1,19	1,19	0,00	40,56	0,00	0,21	0,00	0,00	0,00	35,33
	-0,150 + 0,075mm	19,91	0,00	0,00	0,37	0,68	0,00	1,04	0,56	25,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,68
	-0,075 + 0,045mm	27,26	0,00	0,27	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	16,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	34,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,72
	-0,045mm	42,30	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,11	0,55	13,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,42	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	69,72
Anfibolítico	Global	100,00	0,00	0,07	0,12	0,20	0,00	0,40	0,39	17,21	0,00	0,00	0,13	0,13	0,00	29,37	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	52,40
	-1,0 + 0,150mm	34,79	0,00	0,86	0,00	0,00	0,00	0,86	0,00	44,65	0,00	0,00	0,33	0,33	0,00	43,59	0,00	0,57	0,00	0,00	0,00	10,01
	-0,150 + 0,075mm	23,82	0,00	0,09	0,13	0,00	0,00	0,22	0,00	43,56	0,00	0,00	0,19	0,19	0,00	46,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,45
	-0,075 + 0,045mm	15,24	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	36,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,53	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	19,06
Goethítico	-0,045mm	26,15	0,00	0,53	0,64	0,00	0,00	1,17	0,00	28,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,70	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	31,89
	Global	100,00	0,00	0,49	0,20	0,00	0,00	0,69	0,00	38,86	0,00	0,00	0,16	0,16	0,00	43,01	0,10	0,20	0,00	0,00	0,00	16,98
	-1,0 + 0,150mm	49,46	0,00	0,00	0,64	0,00	0,64	1,28	8,98	8,32	0,00	0,00	53,24	53,24	6,69	15,21	3,01	0,62	2,54	0,00	0,00	0,10
	-0,150 + 0,075mm	09,14	0,00	0,65	0,45	0,00	0,00	1,10	13,16	12,76	1,01	0,00	39,04	40,05	7,05	14,22	3,67	2,09	5,76	0,00	0,00	0,15
Compacto	-0,075 + 0,045mm	04,84	0,00	0,00	0,76	0,00	0,00	0,76	15,82	9,07	1,64	0,00	42,85	44,49	8,06	10,98	2,91	0,76	6,92	0,00	0,00	0,25
	-0,045mm	36,56	0,00	0,32	0,27	0,00	0,00	0,60	16,44	1,62	0,00	0,00	42,20	42,20	18,25	10,15	0,54	1,57	8,33	0,00	0,00	0,28
	Global	100,00	0,00	0,18	0,50	0,00	0,32	0,99	12,42	6,31	0,17	0,00	47,41	47,58	11,02	13,06	2,16	1,11	5,16	0,00	0,00	0,18
	-1,0 + 0,150mm	45,33	0,00	5,55	26,58	0,00	20,27	52,41	2,04	6,03	0,00	0,00	0,06	0,06	0,00	36,28	3,09	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00
Itebrítico	-0,150 + 0,075mm	18,60	1,03	6,17	28,13	0,00	12,91	48,23	0,00	2,06	0,00	0,00	0,42	0,42	0,12	47,37	1,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	-0,075 + 0,045mm	12,00	1,57	6,64	24,73	0,00	7,57	40,50	0,00	1,04	0,00	0,00	0,15	0,15	0,03	57,52	0,41	0,13	0,07	0,00	0,00	0,15
	-0,045mm	24,07	2,15	10,83	36,49	0,00	0,00	49,47	0,00	1,65	0,00	0,00	0,44	0,44	1,16	46,63	0,56	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00
	Global	100,00	0,90	7,07	29,03	0,00	12,50	49,49	0,93	3,64	0,00	0,00	0,23	0,23	0,30	43,38	1,91	0,02	0,07	0,01	0,00	0,02

Tabela 3. Quantificação mineralógica via microscopia eletrônica de varredura automatizada (QEMSCAN)

Litologia	Fração	Retido Simples (%)	Quantificação Mineralógica (%) QEMSCAN															
			Óxidos de Fe			Silicatos				Óxidos de Mn			Carbonatos				Outros	
			Quartzo	Clorita	Biotita	Anfíbios	Caulinita	Talco	Outros silicatos	Gibbsita	Ilmenita	Óxidos de Mn	Ankerita	Siderita	Apatita	Pirita		
Itabirito Dolomítico	-1,0 + 0,150mm	10,53	18,03	34,62	3,57	0,87	2,31	0,02	3,40	0,19	0,00	0,04	0,00	30,97	5,41	0,13	0,39	0,03
	-0,150 + 0,075mm	19,91	18,96	37,07	1,97	0,22	0,81	0,01	1,33	0,18	0,00	0,05	0,00	35,43	3,42	0,08	0,45	0,00
	-0,075 + 0,045mm	27,26	7,06	26,60	1,02	0,13	0,63	0,00	0,64	0,20	0,00	0,01	0,00	60,50	2,83	0,10	0,27	0,01
Itabirito Anfíbolítico	-0,045mm	42,30	6,07	9,87	2,62	0,31	1,47	0,02	1,12	0,57	0,00	0,01	0,00	75,91	1,83	0,15	0,00	0,05
	Global	100,00	10,17	22,45	2,16	0,30	1,20	0,01	1,27	0,35	0,00	0,02	0,00	58,92	2,80	0,12	0,20	0,03
	-1,0 + 0,150mm	34,79	46,84	39,41	0,42	0,72	0,33	0,02	2,21	0,52	0,00	0,00	0,00	6,40	2,81	0,16	0,14	0,01
Itabirito Compacto	-0,150 + 0,075mm	23,82	49,37	37,40	0,38	0,48	0,45	0,01	1,81	0,20	0,00	0,00	0,00	7,73	2,02	0,06	0,08	0,00
	-0,075 + 0,045mm	15,24	40,36	36,96	0,27	0,27	0,50	0,00	1,41	0,10	0,00	0,06	0,01	15,60	3,96	0,16	0,31	0,01
	-0,045mm	26,15	38,43	27,01	1,42	0,73	1,30	0,00	6,52	0,64	0,00	0,01	0,02	18,89	4,63	0,36	0,00	0,03
Itabirito Goethítico	Global	100,00	44,26	35,32	0,65	0,60	0,64	0,01	3,12	0,41	0,00	0,01	0,01	11,39	3,27	0,19	0,12	0,01
	-1,0 + 0,150mm	49,46	80,29	12,45	1,29	0,00	0,00	1,07	0,01	0,03	2,35	0,37	2,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
	-0,150 + 0,075mm	09,14	82,82	8,92	1,62	0,00	0,00	1,58	0,00	0,06	1,48	1,07	2,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
Itabirito Compacto	-0,075 + 0,045mm	04,84	87,99	3,65	1,58	0,00	0,01	1,41	0,01	0,06	1,35	1,50	2,32	0,09	0,04	0,00	0,00	0,00
	-0,045mm	36,56	86,48	3,33	5,47	0,00	0,01	2,35	0,00	0,24	1,34	0,16	0,61	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
	Global	100,00	83,16	8,37	2,86	0,00	0,00	1,60	0,01	0,11	1,85	0,41	1,62	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Itabirito Compacto	-1,0 + 0,150mm	45,33	60,31	37,86	0,03	0,00	0,01	0,03	0,00	0,06	0,00	0,00	1,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	-0,150 + 0,075mm	18,60	58,97	39,61	0,11	0,01	0,01	0,12	0,00	0,26	0,03	0,00	0,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	-0,075 + 0,045mm	12,00	49,31	49,53	0,05	0,01	0,01	0,11	0,01	0,07	0,00	0,00	0,81	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
Itabirito Compacto	-0,045mm	24,07	54,24	44,21	0,14	0,00	0,05	0,10	0,00	0,26	0,01	0,00	0,98	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
	Global	100,00	57,28	41,12	0,07	0,00	0,02	0,08	0,00	0,15	0,01	0,00	1,26	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

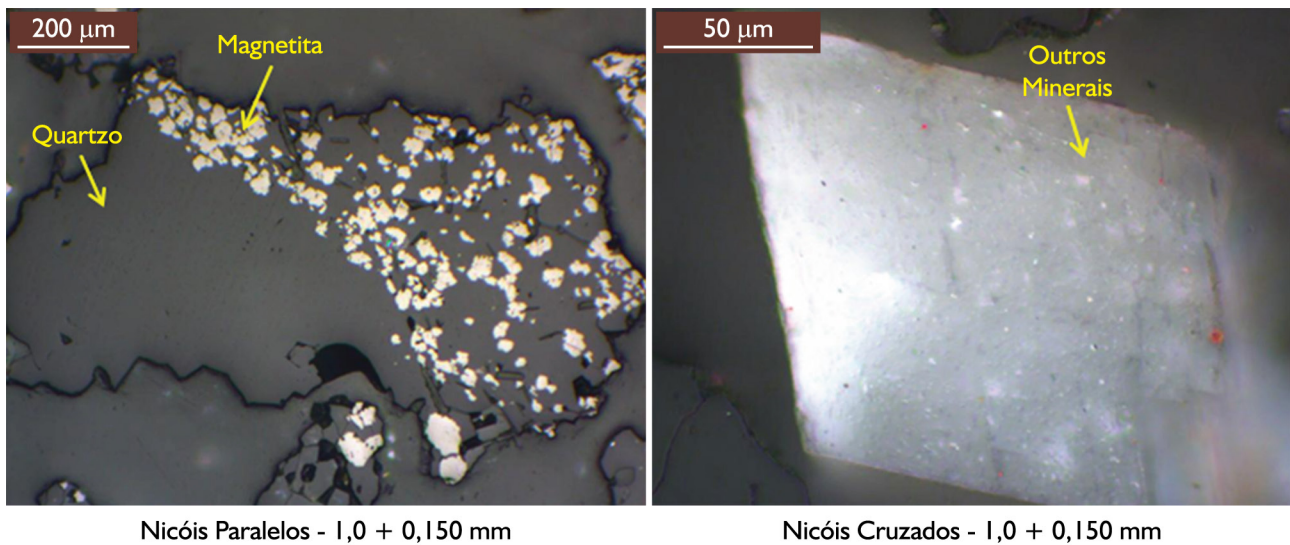


Figura 2. Fotomicrografias dos minerais presentes na amostra de itabirito anfibolítico obtidas via microscopia ótica – Fração –1,0+0,150mm.

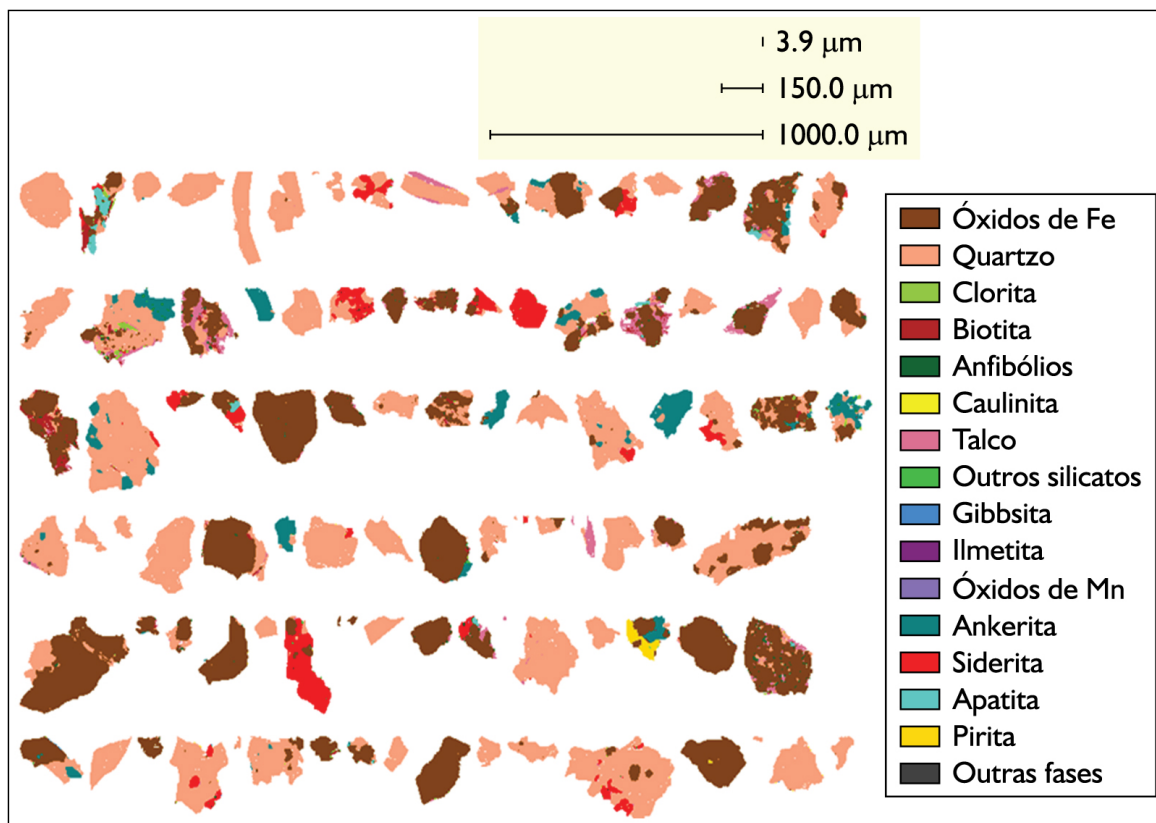


Figura 3. Imagens digitais dos minerais presentes na amostra de itabirito anfibolítico obtidas via QEMSCAN – Fração –1,0+0,150mm.

Uma segunda proposição é que pode ter ocorrido a segregação densitária no embutimento das seções polidas das amostras. Em que os minerais que apresentam massas específicas maiores tendem a sedimentar em relação aos menos densos no momento de cura da seção polida. Para minimizar a segregação densitária, Ribeiro [4] desenvolveu uma metodologia de preparação de seções polidas para

QEMSCAN denominada secagem dinâmica. Este processo baseia-se na utilização de rotação em baixa velocidade durante a cura da resina após a impregnação das partículas com a mesma. Ressalta-se também que na preparação das seções polidas para a análise no microscópio eletrônico de varredura automatizado utilizou-se maior proporção de acetona para a diluição da resina com intuito de minimizar

Tabela 4. Resumo comparativo da quantificação mineralógica via microscopia ótica versus QEMSCAN

Amostra	Fração	Retido Simples (%)	Quantificação Mineralógica (%)																
			Óxidos de Fe			Quartzo			Caulinita			Gibbsita			Óxidos de Mn			Outros	
			MO	QEMSCAN	MO	QEMSCAN	MO	QEMSCAN	MO	QEMSCAN	MO	QEMSCAN	MO	QEMSCAN	MO	QEMSCAN	MO	QEMSCAN	
Itabirito Dolomítico	-1,0 + 0,150mm	10,53	23,90	18,03	40,56	34,62	0,21	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,33	47,33
	-0,150 + 0,075mm	19,91	26,92	18,96	43,41	37,07	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,68	43,95
	-0,075 + 0,045mm	27,26	16,39	7,06	34,90	26,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,72	66,34
	-0,045mm	42,30	13,67	6,07	16,42	9,87	0,19	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	69,72	84,03
	Global	100,00	18,13	10,17	29,37	22,45	0,10	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	52,40	67,36
Itabirito Anfibolítico	-1,0 + 0,150mm	34,79	45,84	46,84	43,59	39,41	0,57	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,01	13,73
	-0,150 + 0,075mm	23,82	43,97	49,37	46,59	37,40	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,45	13,22
	-0,075 + 0,045mm	15,24	37,07	40,36	43,53	36,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,06	22,66
	-0,045mm	26,15	29,22	38,43	38,70	27,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,89	34,54
	Global	100,00	39,71	44,26	43,01	35,32	0,20	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,98	20,41
Itabirito Goethítico	-1,0 + 0,150mm	49,46	78,52	80,29	15,21	12,45	0,62	1,07	2,54	2,35	3,01	2,15	0,10	1,70					
	-0,150 + 0,075mm	09,14	74,12	82,82	14,22	8,92	2,09	1,58	5,76	1,48	3,67	2,43	0,15	2,78					
	-0,075 + 0,045mm	04,84	78,19	87,99	10,98	3,65	0,76	1,41	6,92	1,35	2,91	2,32	0,25	3,29					
	-0,045mm	36,56	79,12	86,48	10,15	3,33	1,57	2,35	8,33	1,34	0,54	0,61	0,28	5,88					
	Global	100,00	78,32	83,16	13,06	8,37	1,11	1,60	5,16	1,85	2,16	1,62	0,18	3,40					
Itabirito Compacto	-1,0 + 0,150mm	45,33	60,53	60,31	36,28	37,86	0,00	0,03	0,10	0,00	3,09	1,68	0,00	0,10					
	-0,150 + 0,075mm	18,60	50,83	58,97	47,37	39,61	0,00	0,12	0,00	0,03	1,77	0,88	0,03	0,40					
	-0,075 + 0,045mm	12,00	41,71	49,31	57,52	49,53	0,13	0,11	0,07	0,00	0,41	0,81	0,15	0,25					
	-0,045mm	24,07	52,72	54,24	46,63	44,21	0,00	0,10	0,09	0,01	0,56	0,98	0,00	0,46					
	Global	100,00	54,59	57,28	43,38	41,12	0,02	0,08	0,07	0,01	1,91	1,26	0,02	0,26					

a formação de bolhas que atrapalham significativamente na análise no QEMSCAN, além da adição de grafita para a separação das partículas.

Observa-se também que ao avaliar o teor de sílica de ambas as técnicas, considerando que todos o teor de SiO_2 é oriundo do quartzo, a microscopia ótica apresenta valores mais próximos a química analisada.

Em resumo, percebe-se que uma técnica é complemento da outra. Os microscópios óticos apresentam filtros de polarização que permite realizar análises das propriedades como cor, birreflectância e reflectância a partir da luz polarizada obtida quando descruza os nicois. Outra situação são análises com nicois cruzados em que propriedades como reflexões internas e anisotropismo podem ser avaliadas. Uma das desvantagens da microscopia ótica é o efeito estereológico. A quantificação mineralógica é realizada em um plano bidimensional, para a conversão em percentagens volumétricas necessita-se das densidades teóricas de cada mineral, que, por exemplo para magnetita, não é conhecida [5]. A caracterização mineralógica pelo QEMSCAN permite a identificação mais precisa de minerais contaminantes, que é de extrema importância para o processo de beneficiamento de minérios. Ao passo que esta técnica não proporciona a

diferenciação entre os óxidos de ferro, tais como hematita, magnetita e goethita.

4 CONCLUSÃO

Os resultados das análises indicam que as técnicas de caracterização se complementam. Dependendo do foco do estudo uma se destaca em relação a outra. A microscopia ótica permite obter informações de textura e diferenciação de óxidos de Fe, ao passo que o QEMSCAN possibilita identificar contaminantes presentes nas amostras além de fornecer análise química através do dispositivo EDS.

Agradecimentos

Os autores agradecem à gerência de Desenvolvimento de Tratamento de Minérios pela motivação ao desafio do estudo e à equipe técnica do Centro de Pesquisas Tecnológicas da Vale na Mina de Alegria pelo apoio no desenvolvimento do trabalho. Agradecem a CAPES-PROEX, CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- 1 Jackson BR, Sutherland DN, Gottlieb P, Quittner VH. QEM*SEM: the mineralogical assessment system for the metallurgist. In: International Conference on Base Metals Technology; 1989 February 8-10; Jamshedput, India. Australia: CSIRO; 1989. p. 471-483.
- 2 Donskoi E, Manuel JR, Austin P, Poliakov A, Peterson MJ, Hapugoda S. Comparative study of iron ore characterisation by optical image analysis and QEMSCAN™. In: CSIRO, The AusIMM. Proceedings of the Iron Ore Conference; 2011 July 11-13; Perth, Western Australia. Perth: CSIRO; 2011. 213 p.
- 3 Klein C, Dutrow B. Manual de ciência dos minerais. 23. ed. Porto Alegre: Bookman; 2012.
- 4 Ribeiro RK. New sample preparation developments to minimize mineral segregation in process mineralogy. In: International Council for Applied Mineralogy. Proceedings of the 10th International Congress for Applied Mineralogy; 2011 August 01-05; Trondheim, Norway. Trondheim: ICAM; 2011.
- 5 Costa GM, Resende VG, Toríbio NM. Quantitative phase analysis of iron ore concentrates. Rem: Revista Escola de Minas. 2002;55(4):263-266.

Recebido em: 10 Jan. 2015

Aceito em: 02 Ago. 2015