



Tema: Lavra e tratamento de minérios

CARACTERIZAÇÃO DE CONTAMINAÇÕES EM UM QUARTZITO ARGILOSO DA FORMAÇÃO TABOÕES VISANDO SEU USO COMO MATÉRIA-PRIMA NA INDÚSTRIA*

Walter Gervásio Ladeira¹
Paulo Roberto Gomes Brandão²

Resumo

O quartzito Taboões é uma fonte potencial de matérias-primas de sílica (areias industriais), e precisa ser adequadamente caracterizado para se definir metodologias de beneficiamento que visem o seu melhor aproveitamento possível. Dois litotipos foram classificados nos quartzitos intemperizados da Formação Taboões presentes em São Joaquim de Bicas – MG: quartzito argiloso e quartzito. A principal diferença entre eles é a abundância relativa de argilominerais. Em uma amostra representativa do quartzito argiloso foram caracterizados quatro tipos de contaminações com auxílio de análises granulométricas e químicas, microscopia (óptica e eletrônica de varredura), e difração de raios-X. Estas contaminações são: incrustações no quartzo; películas de argilominerais e minerais de ferro aderidas ao quartzo; partículas de minerais de ferro liberadas em meio ao quartzito; e partículas liberadas de rochas estranhas ao quartzito. A caracterização realizada é um ponto de partida para se planejar rotas de processamento mineral visando obtenção de matérias-primas para a indústria.

Palavras-chave: Quartzito; Areias industriais; Caracterização; Contaminações.

CHARACTERIZATION OF CONTAMINATIONS IN A CLAYEY QUARTZITE FROM TABOÕES FORMATION AIMING AT ITS USE AS INDUSTRIAL RAW MATERIAL

Abstract

The Taboões quartzite is a potential source of silica raw materials (industrial sands), and must be adequately characterized to define ore dressing methodologies aimed at its best possible exploitation. Two rock types were classified in weathered quartzites from the Taboões Formation at São Joaquim de Bicas – Minas Gerais: clayey quartzite and quartzite. The main difference between them is the relative abundance of clay minerals. In a representative sample of clayey quartzite four types of contaminations have been characterized using chemical and particle size analysis, optical microscopy, SEM-EDS, and X-ray diffraction. These contaminations are: incrustations in quartz; films of clay and iron minerals adhered to quartz; particles of liberated iron minerals among quartzite; and released particles unrelated to quartzite rocks. The characterization performed is a starting point for planning ore dressing routes aiming at obtaining raw materials for the industry.

Keywords: Quartzite; Industrial sands; Characterization; Contaminations.

¹ Engenheiro de Minas, M.Eng., ERG Mineração e Comércio Ltda., Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Engenheiro de Minas, M.Sc., Ph.D., professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas, EE, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



1 INTRODUÇÃO

Os quartzitos da Formação Taboões do Quadrilátero Ferrífero são rochas metamórficas com grande potencial para o fornecimento de matérias-primas silicatadas de alta pureza. Na área em estudo, estes quartzitos se encontram profundamente intemperizados, se apresentando com granulometria variando de areia muito grossa (2 a 1mm), a silte médio (0,031 a 0,016mm), segundo a escala granulométrica de Wentworth [1].

Dois litotipos foram classificados nos quartzitos intemperizados da Formação Taboões presentes em São Joaquim de Bicas – MG: quartzito argiloso e quartzito. A principal diferença entre eles é a abundância relativa de argilominerais [2].

Nas porções medianas da Formação Taboões se encontram tão-somente quartzitos intemperizados, de altos teores de sílica, apresentando essencialmente quartzo e uma assembleia de minerais singenéticos à deposição [3]. Nas porções mais próximas ao contato com os filitos (rochas encaixantes), tem-se a presença de filitos em meio aos quartzitos. Isto resulta em uma mistura que dilui a sílica, cujo teor é um dos mais importantes quando se considera o uso de quartzito como matéria-prima para as indústrias, além de aumentar os teores de alumina, considerada composto indesejável para os usos industriais de matérias-primas silicatadas [4].

Estabelecer métodos e rotas de processo para separar da sílica os argilominerais oriundos de filitos se torna muito importante, tanto em termos de aproveitamento racional dos recursos minerais quanto em termos econômicos. Para tanto, é essencial caracterizar a maneira como se apresentam os minerais de ganga, neste artigo, denominados contaminações do quartzito.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A amostra considerada foi a amostra SJB01, típica do litotipo quartzito argiloso, por ser a mais didática, já que nela estão presentes todos os tipos de contaminações estudadas.

2.1 Preparação da Amostra

A amostra foi coletada, adequadamente identificada e georreferenciada. Foi então peneirada manualmente a seco em peneira de 10mm, e o retido submetido à quebra com marreta para destorroamento dos grânulos de quartzo aglomerados. Seguiu-se um quarteamento em lona, gerando fração representativa para estudo.

2.2 Análises Granuloquímicas

Optou-se pela análise granulométrica a úmido por ser este o método que melhor reproduz o peneiramento utilizado para areias industriais. As análises granulométricas e químicas foram feitas no laboratório da SGS Lakefield Geosol, seguindo a série de peneiras da tabela 1, que abrange um grande número de peneiras das diversas especificações dos potenciais produtos. Cada fração retida foi seca e pesada, inclusive toda a massa passante na última peneira (0,038mm). As frações granulométricas foram submetidas a análises químicas por espectrometria de fluorescência de raios-X (pastilha fundida), além da determinação da perda por calcinação (ou perda ao fogo).

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



2.3 Análises Instrumentais: Lupa Binocular

Cada fração granulométrica de interesse da amostra foi visualizada sob a lupa binocular Leica MZ6 do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Engenharia de UFMG, com aumentos variando de 10 a 40X. As 96 imagens mais interessantes e típicas de cada fração foram fotografadas usando a câmera adaptada a esta lupa, uma Canon PowerShot S80. Foram avaliadas presença de incrustações, recobrimentos, minerais e rochas presentes em meio ao quartzito e liberação das partículas.

2.4 Análises Instrumentais: MEV-EDS

Algumas frações foram selecionadas para exame no microscópio eletrônico de varredura (MEV) com microanalisador de raios-X dispersivo em energia (EDS). Foi utilizado o MEV-EDS da JEOL, modelo JSM 6360LV, tipo alto-baixo vácuo, do Centro de Microscopia da UFMG. O objetivo foi eliminar dúvidas sobre a natureza de contaminações no quartzito e quartzito, além de obter imagens com melhor resolução da fração abaixo de 0,038mm.

2.5 Análises Instrumentais: Difração De Raios-X (DRX)

Amostras selecionadas foram submetidas então a análise por difração de raios-X, no difratômetro para amostras em pó, marca Philips (Panalytical), sistema X'Pert-APD, controlador PW 3710/31, do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Engenharia da UFMG. Esta análise foi importantíssima para se determinar a mineralogia das fontes de contaminações de Fe_2O_3 e Al_2O_3 , quantificadas pelas análises químicas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados Análises Granuloquímicas

A amostra SJB01 foi coletada na porção do quartzito argiloso mais próxima ao contato com os filitos, o que refletiu nos teores mais altos de alumina, indicativos de presença de argilominerais (tabela 1). Nota-se uma concentração maior de contaminantes nas frações mais grossas e nas mais finas.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

**Tabela 1 – Resultados de análises granulométricas: amostra SJB01**

Peneiras		Amostra SJB01												
		Retido		Teores										
#Tyler	mm	%	%Acum. Acima	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃	%CaO	%MgO	%TiO ₂	%P ₂ O ₅	%Na ₂ O	%K ₂ O	%MnO	%PPC
6	3,350	11,16	11,16	91,50	2,55	4,55	0,04	0,19	0,23	0,013	<0,1	0,87	0,02	0,87
12	1,700	2,23	13,39	85,30	4,27	6,35	0,05	0,38	0,43	0,038	<0,1	1,39	0,05	1,43
20	0,850	1,19	14,58	88,20	3,43	4,71	0,05	0,27	0,31	0,020	<0,1	1,13	0,05	1,09
24	0,710	0,55	15,13	91,10	2,15	3,09	0,03	0,17	0,17	<0,01	<0,1	0,70	0,04	0,58
35	0,500	1,51	16,64	94,50	1,29	1,63	0,01	<0,1	0,10	<0,01	<0,1	0,41	<0,01	0,41
50	0,300	4,27	20,91	98,30	1,04	1,30	0,01	<0,1	0,07	<0,01	<0,1	0,33	<0,01	0,51
70	0,212	3,91	24,82	97,20	1,19	1,49	0,01	<0,1	0,09	<0,01	<0,1	0,38	0,01	0,43
100	0,150	3,50	28,32	95,40	1,21	1,31	0,01	<0,1	0,09	<0,01	<0,1	0,40	<0,01	0,43
140	0,106	4,82	33,14	95,20	1,27	1,23	<0,01	<0,1	0,09	<0,01	<0,1	0,43	<0,01	0,49
200	0,075	8,63	41,77	95,20	1,08	1,08	<0,01	<0,1	0,07	<0,01	<0,1	0,35	<0,01	0,30
270	0,053	6,37	48,15	98,00	0,88	1,22	0,01	<0,1	0,07	<0,01	<0,1	0,29	<0,01	0,22
325	0,045	6,91	55,05	98,50	0,64	1,12	<0,01	<0,1	0,06	<0,01	<0,1	0,21	<0,01	0,21
400	0,038	5,49	60,55	96,30	0,80	1,84	0,01	<0,1	0,10	<0,01	<0,1	0,26	<0,01	0,30
FUNDO	-	39,45	100,00	69,80	12,50	7,04	0,03	0,85	0,72	0,056	<0,1	3,46	0,02	4,16
Total:		100,00	-	85,11	5,82	4,09	0,02	0,41	0,36	0,03	<0,1	1,66	0,02	1,94

3.2 Resultados da Visualização sob Lupa Binocular e da Difração de Raios-X

Além do abundante quartzo, foram identificadas as presenças de (tabela 2):

- Minerais de ferro (hematita e goethita), já esperados num quartzito próximo à formação ferrífera. Foram identificados tanto na forma de grãos liberados quanto em incrustações na superfície do quartzo, e em raras partículas mistas com quartzo.
- Argilominerais, resultantes do profundo intemperismo químico a que foi submetido o quartzito, que o tornou friável. A presença de moscovita é explicada por ser a mica com a menor cinética de dissolução em ambiente submetido ao intemperismo químico [5]. Já a caulinita é oriunda do intemperismo das micas, de modo similar ao descrito por Alencar [6].
- Partículas estranhas ao quartzito, aqui denominadas genericamente xenopartículas, incorporadas a ele por ação sequencial de basculamento associado ao metamorfismo e seguida por processos erosivos, conforme descrito por Uhlein e Oliveira [7].



Tabela 2 – Amostra SJB01: frações granulométricas, descrição da visualização sob lupa binocular, e resultados da difração de raios-X

Peneiras			Amostra SJB01	
#Tyler	mm	% Retida acumul. acima	Visualização sob LUPA (descrição)	Difração de raios-X (minerais/fases presentes)
6	3,350	11,16		
12	1,700	13,39	Grãos e grânulos angulosos de quartzo leitoso, esfericidade 0,5-0,7, arredondamento 0,3-0,5, alguns com cobertura ocre de argilominerais e minerais de ferro, alguns com incrustações de minerais de ferro, pouco quartzo hialino, xenogrãos liberados de itabirito, grãos de minerais de ferro (hematita e goethita).	quartzo (abundante); moscovita (baixo); hematita (baixo); goethita (traço)
20	0,850	14,58	Grãos e grânulos de quartzo leitoso, angulosos, esfericidade 0,5-0,7, arredondamento 0,3, alguns com cobertura ocre de argilominerais e minerais de ferro, alguns com incrustações de minerais de ferro, pouco quartzo hialino, xenogrãos liberados de itabirito, grãos de minerais de ferro (hematita e goethita).	quartzo (abundante); moscovita (baixo); hematita (baixo); goethita (traço)
24	0,710	15,13	Grãos e grânulos de quartzo leitoso, angulosos, esfericidade 0,5-0,7, arredondamento 0,3, alguns com cobertura ocre de argilominerais e minerais de ferro, alguns com incrustações de minerais de ferro, pouco quartzo hialino, xenogrãos liberados de itabirito, grãos de minerais de ferro (hematita e goethita).	
35	0,500	16,64	Grãos e grânulos de quartzo leitoso, angulosos, esfericidade 0,5-0,7, arredondamento 0,3, alguns com cobertura ocre de argilominerais e minerais de ferro, alguns com incrustações de minerais de ferro, pouco quartzo hialino, xenogrãos liberados de itabirito, grãos de minerais de ferro (hematita e goethita).	
50	0,300	20,91		
70	0,212	24,82	Grânulos e grãos de quartzo leitoso e hialino, angulosos, esfericidade 0,7-0,9, arredondamento 0,3, algumas com cobertura ocre de argilominerais e minerais de ferro, raras partículas liberadas de minerais de ferro, presença de incrustações em quartzo.	
100	0,150	28,32	Grãos e grânulos de quartzo leitoso e hialino, angulosos, esfericidade 0,7-0,9, arredondamento 0,3, sem incrustações visíveis, grãos, algumas com cobertura ocre de minerais de ferro e argilominerais, partículas de minerais de ferro liberadas.	quartzo (abundante); moscovita (baixo-traço); hematita (baixo-traço); goethita (traço)
140	0,106	33,14	Grãos e grânulos de quartzo leitoso e hialino, angulosos, esfericidade 0,7-0,9, arredondamento 0,3, raras destas partículas com película de minerais de ferro e argilominerais, poucas partículas liberadas de minerais de ferro, raras incrustações de minerais de ferro.	
200	0,075	41,77	Grãos de quartzo leitoso e hialino, angulosos, esfericidade 0,7-0,9, arredondamento 0,5, raras destas partículas com película de minerais de ferro e argilominerais, poucas partículas liberadas de minerais de ferro, não visíveis incrustações de minerais de ferro.	
270	0,053	48,15	Grãos de quartzo hialino, sacaróides, esfericidade 0,7-0,9, arredondamento 0,5, raras destas partículas com película de minerais de ferro e argilominerais, algumas partículas liberadas de minerais de ferro, não visíveis incrustações de minerais de ferro.	
325	0,045	55,05	Grãos de quartzo hialino, sacaróides, esfericidade 0,7-0,9, arredondamento 0,5, raras destas partículas com película de minerais de ferro e argilominerais, algumas partículas liberadas de minerais de ferro, não visíveis incrustações de minerais de ferro.	
400	0,038	60,55	Grãos de quartzo hialino, sacaróides, esfericidade 0,7-0,9, arredondamento 0,5, raras destas partículas com película de minerais de ferro e argilominerais, algumas partículas liberadas de minerais de ferro, não visíveis incrustações de minerais de ferro.	quartzo (abundante); moscovita (baixo); hematita (traço); goethita (traço)
FUNDO	<0,038	100,00	Grãos de quartzo hialino, sacaróides, esfericidade 0,7-0,9, arredondamento 0,5, muitas partículas com película de minerais de ferro e lama vinda das demais frações, muitas partículas liberadas de minerais de ferro.	Quartzo (abundante); moscovita (médio); caulinita (médio-baixo); hematita (médio-baixo), goethita (baixo).

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

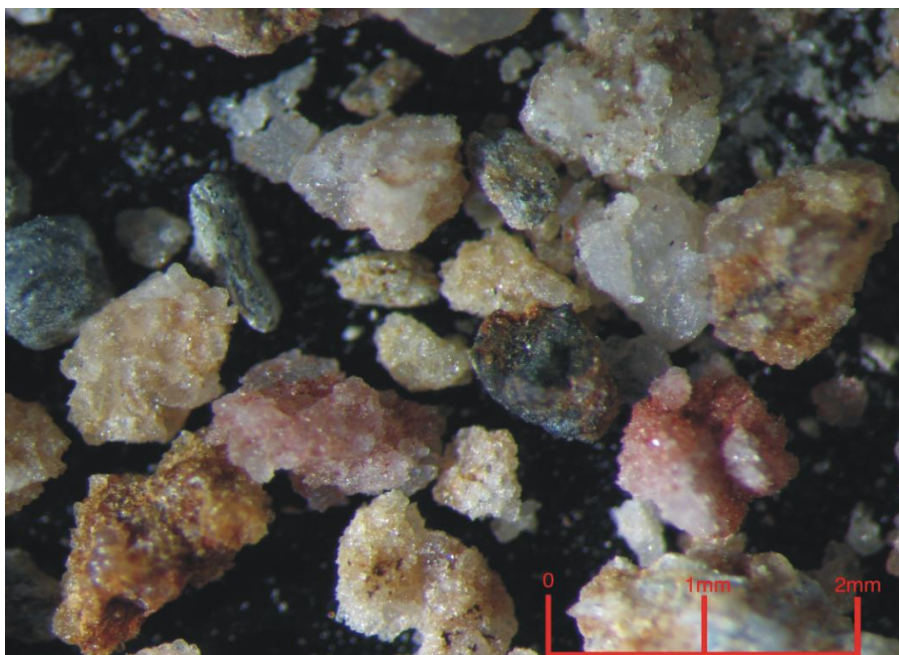


Figura 1 – Amostra SJB01, fração $>0,85\text{mm}$ ($>20\#$ Tyler), 20x aumento, ilustrativa das muitas amostras e áreas estudadas. Notar incrustações de minerais de ferro nas partículas de quartzo leitoso no canto inferior esquerdo e no canto superior direito, mineral de ferro liberado ao centro, partículas com cobertura de película de argilominerais e/ou minerais de ferro no canto inferior esquerdo, e duas xenopartículas de itabirito na porção superior central.

3.3 Resultados da Descrição de Amostras no MEV-EDS

Para completar a descrição das contaminações no quartzito e obter melhor visualização e entendimento da fração mais fina, foram examinadas no MEV-EDS duas frações da amostra SJB01: $>0,85\text{mm}$ e $<0,038\text{mm}$, obtendo-se imagens de elétrons retroespalhados (IER).

Para a fração mais grosseira, $>0,85\text{mm}$, confirmou-se que a absoluta maioria da amostra é composta por quartzo, estando presentes partículas com contaminações pontuais de diversos minerais, como visto na figura 2.

A figura 3 corrobora com o que foi descrito sob lupa binocular e com os resultados de DRX, e acrescenta a informação da origem do teor de titânio analisado nesta fração.

Na figura 4, também a microanálise confirma a descrição de contaminação da partícula de quartzo com moscovita.

As figuras 5 e 6 caracterizam com maiores detalhes contaminações que foram descritas sob lupa binocular, confirmando-as.

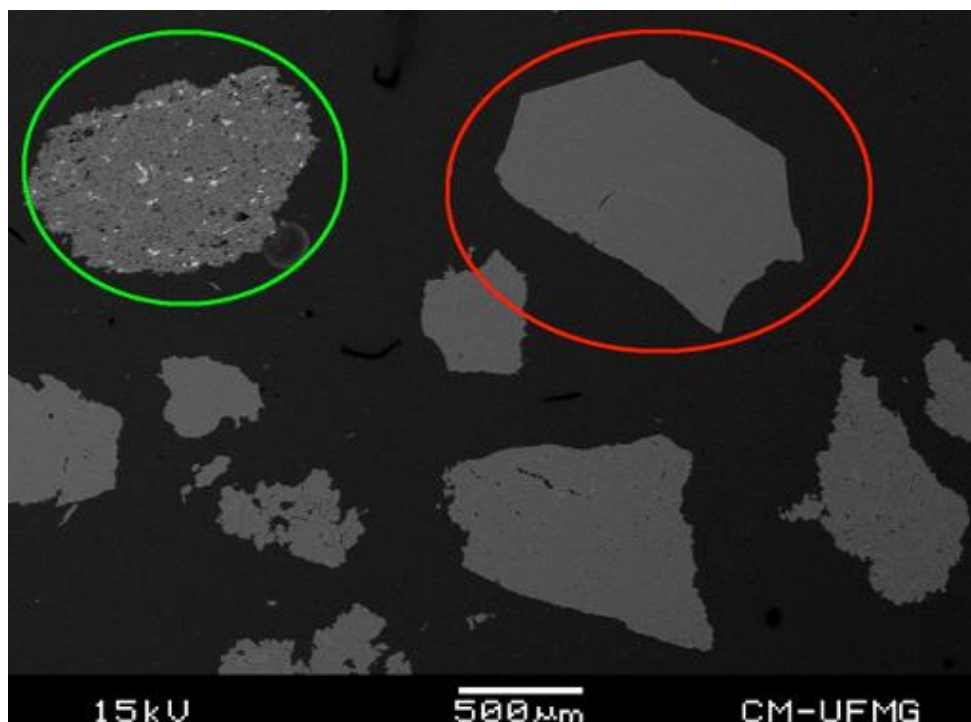


Figura 2 – Detalhe de seção polida da amostra SJB01, fração >0,85mm. Partícula de quartzo com contaminações de diversos minerais (círculo verde), e partícula de quartzo sem contaminações visíveis nesta imagem (círculo vermelho).

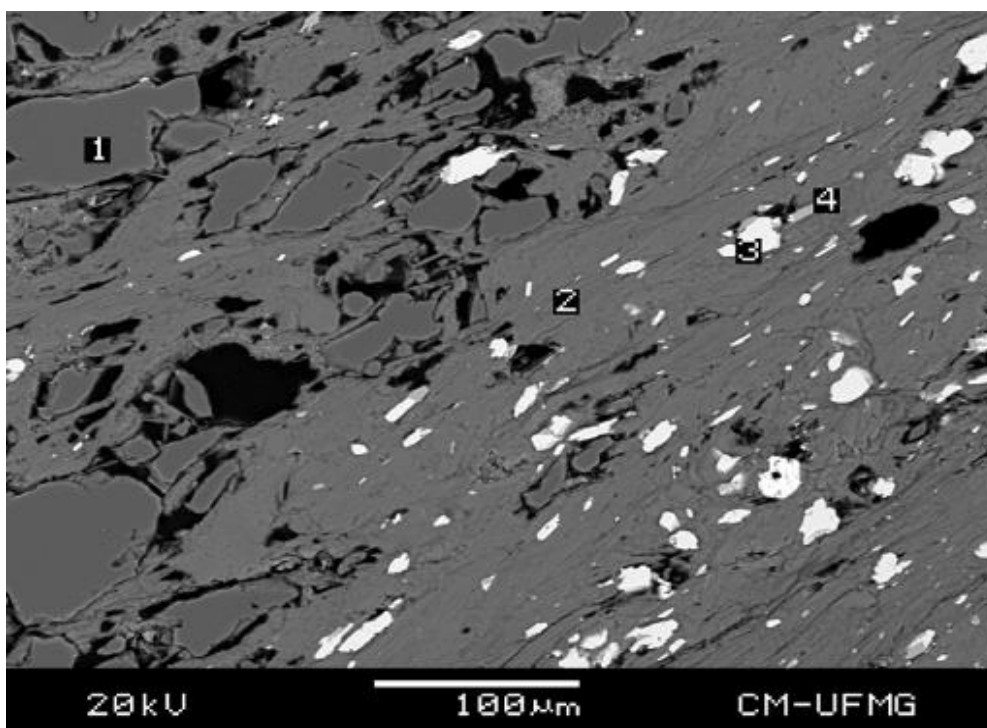


Figura 3 – Detalhe de seção polida da amostra SJB01, fração >0,85mm, partícula 1, dentro do círculo verde da Figura III.2. Área 1: grão de quartzo sem contaminação. Área 2: filossilicato (moscovita). Área 3: hematita. Área 4: mineral de titânio, rutilo (esta fração tem análise química de 0,31% TiO₂). As microanálises são mostradas na tabela 3.

Tabela 3.

Área	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃	%CaO	%MgO	%TiO ₂	%K ₂ O	Mineral ou fase
1	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Quartzo
2	52,4	24,1	6,3	0,0	1,7	1,5	14,1	Filossilicato (moscovita)
3	0,0	0,0	99,2	0,0	0,0	0,8	0,0	Hematita
4	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	98,0	0,4	Rutilo

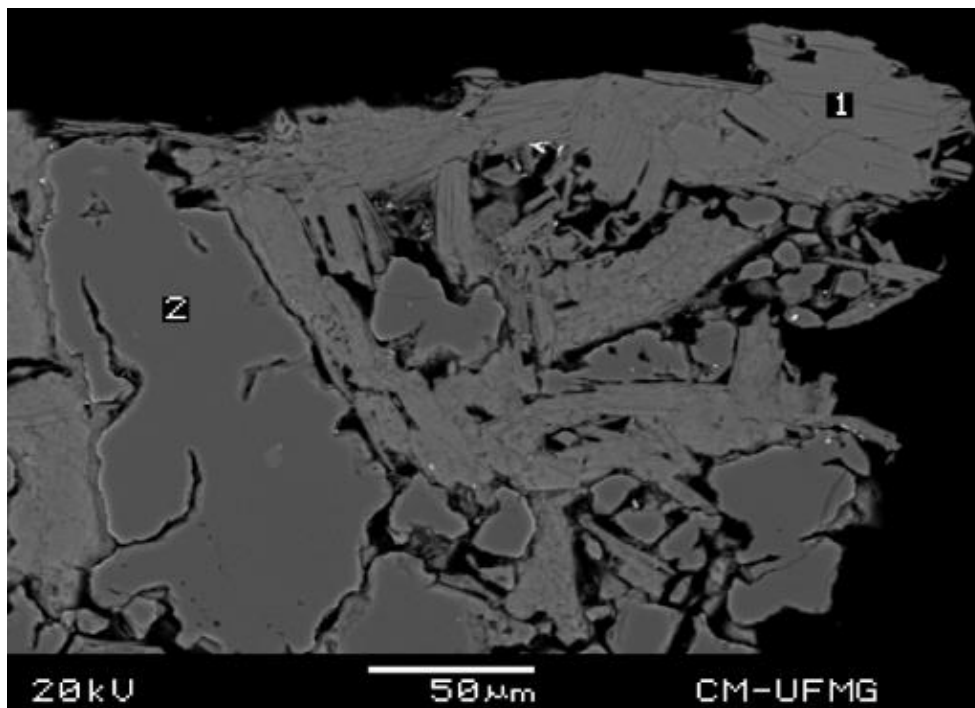


Figura 4 – Detalhe de seção polida da amostra SJB01, fração >0,85mm, partícula 2. Área 1: filossilicato (moscovita). Área 2: grão de quartzo. As microanálises são mostradas na tabela 4.

Tabela 4.

Área	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃	%CaO	%MgO	%TiO ₂	%K ₂ O	Mineral ou fase
1	49,9	25,9	7,2	0,0	0,9	1,3	14,8	Filossilicato (moscovita)
2	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Quartzo

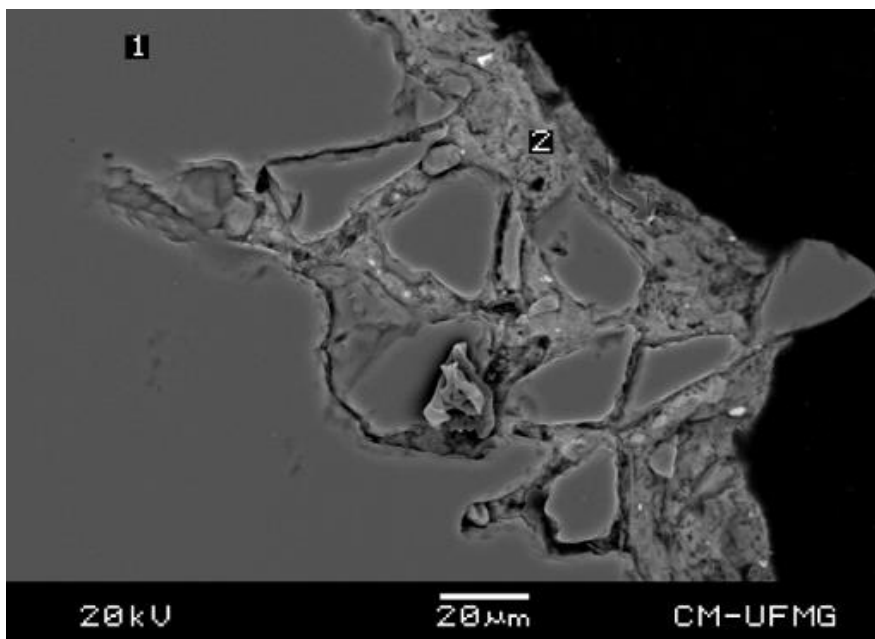


Figura 5 – Detalhe de seção polida da amostra SJB01, fração >0,85mm, partícula 3. Área 1: quartzo. Área 2: mistura de minerais de ferro com presença de alumínio, sílica e potássio, provável hematita com goethita, caulinita e moscovita. Recobrimento por película similar às visualizadas em lupa binocular. As microanálises são mostradas na tabela 5.

Tabela 5.

Área	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃	%CaO	%MgO	%TiO ₂	%K ₂ O	Mineral ou fase
1	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Quartzo
2	18,4	18,1	58,7	0,0	0,2	1,1	3,5	Hematita com goethita, caulinita e moscovita

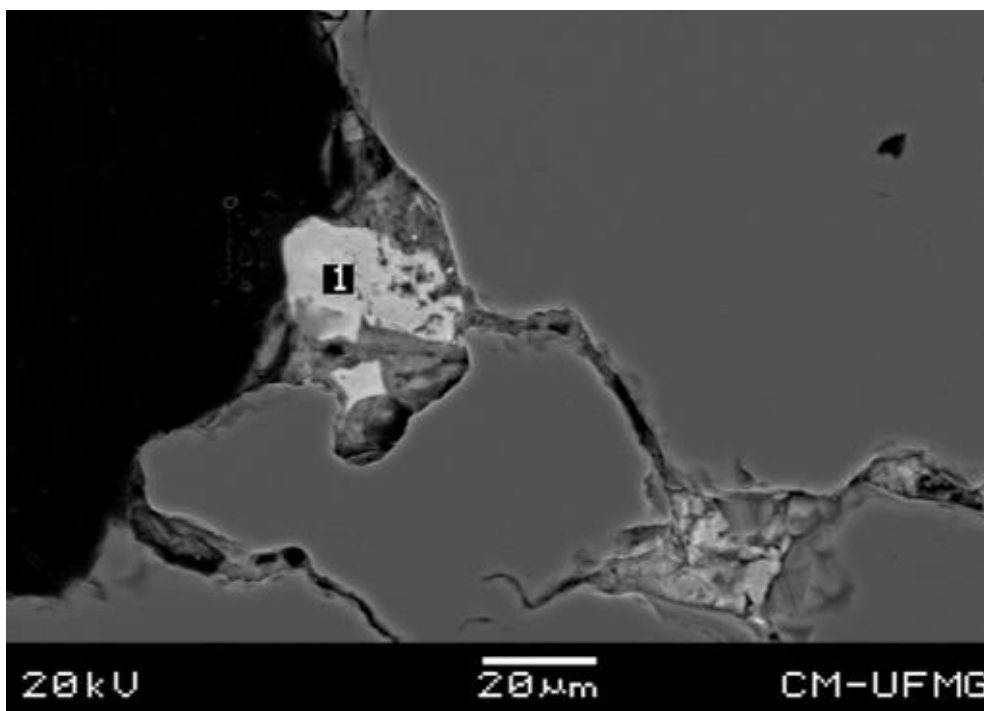


Figura 6 – Detalhe de seção polida da amostra SJB01, fração >0,85mm, partícula 3. Área 1: minerais de ferro, hematita com goethita. Incrustação de minerais de ferro. As microanálises são mostradas na tabela 6.

Tabela 6.

Área	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃	%CaO	%MgO	%V ₂ O ₅	%Cr ₂ O ₃	Mineral ou fase
1	1,4	10,1	87,6	0,0	0,0	0,2	0,8	Hematita/goethita

A fração <0,038mm da amostra SJB01, devido à limitação intrínseca da lupa binocular, não pôde ser adequadamente descrita. Até este ponto, as informações mais completas de sua composição vieram da DRX e da análise química. A figura 7 mostra o aspecto geral desta fração sob MEV-EDS. Vê-se que esta fração granulométrica é composta por quartzo em sua maioria, mineral de ferro hematita e moscovita. Goethita e caulinita, apesar de aparecerem na DRX, não foram visualizadas nesta imagem.

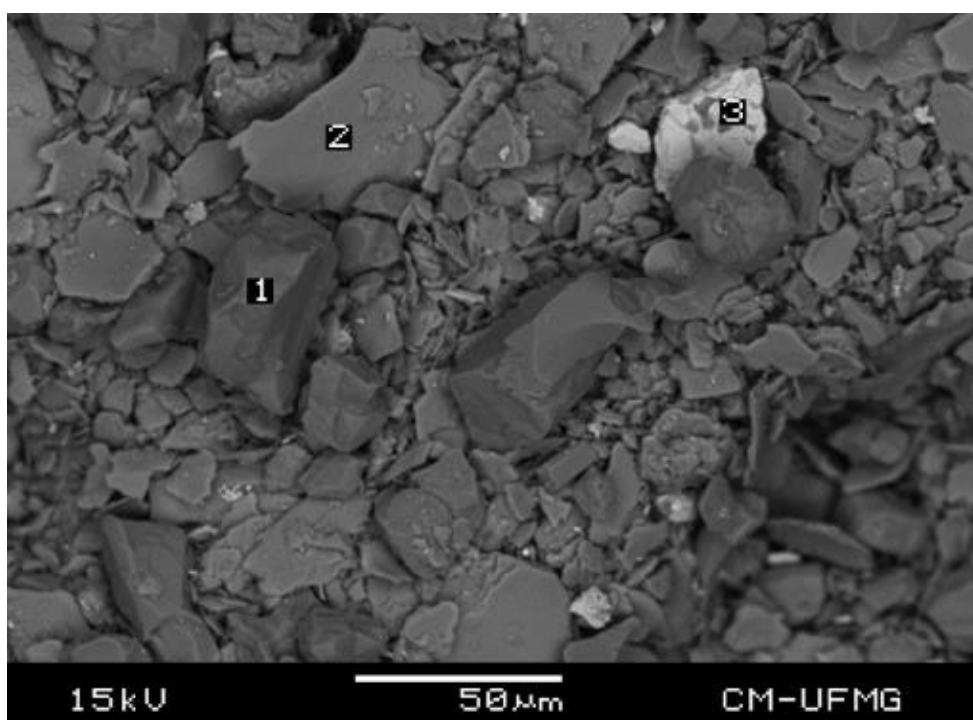


Figura 7 – Detalhe da amostra SJB01, fração <0,038mm, amostra em pó. Partícula 1: quartzo. Partícula 2: filossilicato (moscovita). Partícula 3: mineral de ferro, hematita. As microanálises são mostradas na tabela 7.

Tabela 7.

Partícula	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃	%CaO	%MgO	%TiO ₂	%K ₂ O	Mineral ou fase
1	98,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Quartzo
2	54,6	27,5	3,1	0,0	2,8	1,1	10,9	Filossilicato (moscovita)
3	6,8	4,0	85,8	0,0	0,0	3,4	0,0	Hematita

3.4 Classificação dos Tipos de Contaminações do Quartzito

A visualização das amostras sob lupa binocular e MEV-EDS, aliadas aos resultados da difração de raios-X, análises granulométricas e químicas, permitiram classificar os tipos de contaminações encontradas no quartzito. A figura 7 ilustra estas contaminações. Tem-se então:

a) Tipo incrustação: contaminação do quartzo por incrustações de minerais de ferro. É caracterizada por pintas ou manchas de minerais de ferro (hematita e/ou goethita) incrustadas na superfície dos grânulos e grãos de quartzo.

* Contribuição técnica ao 69^o Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14^o ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



- b) Tipo película: contaminação do quartzo por película de minerais de ferro e/ou argilominerais aderida à superfície das partículas de quartzo.
- c) Tipo minerais de ferro: contaminação do quartzito por minerais de ferro liberados. Caracteriza-se pela presença de partículas de minerais de ferro (hematita e goethita) liberadas em meio ao quartzito.
- d) Tipo xenopartículas: contaminação do quartzito por xenopartículas. Aqui foram agrupadas todas aquelas partículas que foram encontradas e descritas que não pertencem normalmente à assembleia de minerais de um quartzito típico. Este tipo de contaminação só foi detectado nas frações acima de 0,5mm da amostra SJB01 (>0,5mm).

4 CONCLUSÕES

O quartzito argiloso da Formação Taboões, ocorrente em São Joaquim de Bicas-MG, é composto essencialmente por quartzo, tendo como minerais acessórios hematita, goethita, moscovita, caulinita.

No quartzito argiloso, foram caracterizados quatro tipos básicos de contaminações: tipo incrustação, tipo película, tipo minerais de ferro, e tipo xenopartículas.

Esta caracterização e resultante classificação das contaminações são muito úteis para se planejar a determinação de rotas de processos para obtenção de matérias-primas adequadas para as indústrias de sílica.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos seguintes órgãos e instituições: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas (PPGEM), e CAPES / PROEX, pelo apoio acadêmico e financeiro. O coautor P.R.G. Brandão também agradece ao CNPq por uma bolsa e recursos de pesquisa.

REFERÊNCIAS

- 1 Wentworth CK. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. The Journal of Geology, 1922, 30(5).
- 2 Bueno CM. Quartzito de Mário Campos (Relatório Interno). Belo Horizonte: ERG Mineração, 2013. 8p.
- 3 Ladeira JGB. Relatório Final de Pesquisa Mineral – Quartzito de Mário Campos. Belo Horizonte: ERG Mineração, 1984. 322 p.
- 4 Coelho JM. Relatório Técnico 44 – Areia Industrial – Projeto ESTAL. Belo Horizonte: J. Mendo Consultoria, Outubro. 2010. 52 p.
- 5 Martins JC, Martins ES, Reatto A. Revisão de intemperismo de micas. Documentos n. 123. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 48p. ISSN 1517-5111.
- 6 Alencar ELL. Química e mineralogia de três pedons originários de calcário na Chapada do Apodi – CE. 2002. 61p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- 7 Uhlein A, Oliveira HA. História Geológica do Quadrilátero Ferrífero. Revista Ciência Hoje, 2000; 27(160): 68-71.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.