

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
METALÚRGICA E DE MINAS

Tese de Doutorado

**Definição da tipologia e caracterização
mineralógica e microestrutural dos itabiritos
anfíbolíticos das Minas de Alegria da
Samarco Mineração S.A. – Minas Gerais
Volume 1**

Autor: Júnia Maria de Pinho Rocha

Orientador: Paulo Roberto Gomes Brandão

Fevereiro, 2008

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
METALÚRGICA E DE MINAS**

Júnia Maria de Pinho Rocha

**Definição da Tipologia e Caracterização Mineralógica e
Microestrutural dos Itabiritos Anfibolíticos das Minas de
Alegria da Samarco Mineração S.A. – Minas Gerais**

**Tese de doutorado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica e de Minas da Universidade Federal de Minas
Gerais**

Área de Concentração: Tecnologia Mineral

Orientador: Prof. Paulo Roberto Gomes Brandão

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2008

Essa tese é dedicada aos meus adoráveis pais, Ayrton e Isa, ao meu marido, Luiz Eduardo, a Paula, a Renata e aos meus meninos Dudu, Matheus e Luiz.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho e especialmente:

À SAMARCO MINERAÇÃO S.A. pela oportunidade, total apoio e confiança depositada.

Ao Professor, orientador e amigo Paulo Roberto Gomes Brandão por sua confiança, compreensão, disponibilidade e orientação.

A João Pedro da Silva por todo apoio e confiança depositados.

A Walmir Pereira pela compreensão, cooperação e sobretudo por ter proporcionado condições para a conclusão deste trabalho.

A Leonardo Bonfioli, Ailton Gonçalves e Sheila Bárbara por todo o apoio dado no decorrer dessa pesquisa.

A Marta Lemos por todo apoio, incentivo, interesse na pesquisa e carinho sempre concedidos a mim.

As Gerências de Engenharia de Processo e Automação das Unidades de Germano e Ubu pelo apoio dado na realização de análises e testes.

A Marcos Gomes e João Miranda pelo apoio dado na realização de análises químicas e granulométricas.

A Vinícius Fonseca, Alaécio Meschiatti, Heidy Ferreira, Alexandre Reis e Ramiro Blacut pelo apoio dado na realização dos testes em forno de *Pot Grate* e pelas sugestões que contribuíram com os resultados dessa pesquisa.

A Manoel Raimundo, o Manuelzinho e, a toda a equipe da Fundação Gorceix pelo apoio na amostragem, preparação das amostras e realização dos testes em planta piloto.

A Juscelino Rosa e toda a equipe da PCM por toda a presteza e pelo compromisso com a qualidade dos resultados que esteve sempre presente nas preparações das amostras, nas análises mineralógicas e na realização dos testes de bancada.

Aos professores Leonardo Lagoeiro e César Mendonça pela presteza na disponibilização dos microscópios ópticos.

A Professora Maria Eliza, do departamento de Química da UFMG, pelo apoio na realização dos testes termogravimétricos.

A Izabel, minha amiga, pela presteza e dedicação na execução dos testes de difração de raios-X, espectroscopia no infravermelho e fluorescência de raios-X realizados nas amostras.

A Luiz Eduardo pelo apoio, incentivo, sugestões e compreensão que sempre estiveram presentes ao longo dessa pesquisa.

Aos meus pais, Ayrton e Isa, pelo apoio e incentivo sempre dados ao longo de minha vida.

ABSTRACT

The world iron ore production boomed by an expanding steel market forced the producers to seek for larger reserves achieved only through the better understanding of their mineral resources. This is possible through a detailed characterization of the natural resource and of the ores to be exploited. In this study it was performed a detailed mineralogical characterization of the Alegria's mines amphibolitic itabirites which represents 36% of the total resources and more than 20% of Samarco's reserves and are mined either as ore and waste. The first purpose of this study was to identify different types of amphibolitic itabirites based on their chemical and mineralogical characteristics as well as on their performance through laboratory tests that simulate Samarco's production processes. The second purpose was to have a more detailed chemical and mineralogical characterization of the several aliquots coming from the products of the laboratory simulating processes tests. It was identified in Alegria's Mines five visual different amphibolitic itabirites and from each one it was taken 400kg to compose the samples. The samples were submitted to size and chemical analysis, x-Ray diffractometry, infrared spectrometry, thermogravimetry, optical and scanning electron microscopy, microprobe, grinding, desliming and flotation laboratory tests. The products of these laboratory processes tests were also analyzed. More five tons of each sample was taken in order to produce concentrates to generate pellets to be tested in Pot Grate furnace.

The five amphibolitic itabirites are not compact and potentially ore. Their iron content are typical of the poor itabirites (<50%), the LOIs are considered high tenures (>3%), the Al_2O_3 , as well as MnO_2 and FeO contents are within the typical values presented by the Alegria's ores. The main iron ore minerals are goethite (botryoidal, massive, pseudomorphs of amphibole, product of the alteration of the magnetite and earthy) and the porous martitic hematite. The iron ore minerals alteration and porosity grades are elevated and the size of their particles variable (from few micrometers to millimeters). The goethites loss their hydroxyl content in an abrupt way and around 315°C. The slimes percentages of these itabirites are high and by their weight and metallic global recoveries numbers they can be classified as potential ores. Simple modifications on the ignition Pot Grate furnace parameters led to improvements and to pellets within the required specifications. The five amphibolitic itabirites are suitable to be divided into four different types. The mineralogical association of amphiboles, iron oxides, quartz

and carbonates present on the fresh amphibolitic itabirites recently found in Alegria's mines reinforce their origin to be the iron ore formations of the silicate or oxide-silicate facies associated with carbonates impurities or layers.

RESUMO

O aumento de produção de minério de ferro, demandada por um mercado siderúrgico aquecido e em franco crescimento, tem levado à necessidade das empresas mineradoras de aumentarem suas reservas através do conhecimento melhor de seu recurso mineral. Isso só é possível através da caracterização detalhada de suas jazidas e dos minérios a serem explorados. Neste trabalho, foi proposto fazer-se um estudo de caracterização mineralógica dos itabiritos anfíbolíticos das minas de Alegria, que representam 36% do total dos recursos geológicos da Samarco e cerca de 20% de sua reserva total e que ora são lavrados como minério ora são dispostos como estéril. Os objetivos desse trabalho foram o de identificar diferentes tipos de itabirito anfíbolítico nas minas de Alegria, baseando-se em suas características químicas, mineralógicas e de comportamento em testes que simulam o processo produtivo da Samarco Mineração S.A., além de fazer-se uma caracterização química e mineralógica mais detalhada, de diversas alíquotas provenientes dos testes de laboratório. Para tanto, foram identificadas cinco amostras de itabiritos anfíbolíticos visualmente distintos e pertencentes às minas de Alegria 3/4/5, Alegria 1/2/6 e Alegria 9. De cada amostra, foram coletados 400kg para serem submetidos às análises granulométricas, químicas, difratometria de raios-X, espectroscopia no infravermelho, termogravimetria, microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura e microanálise EDS, além de testes de laboratório de moagem, deslamagem e de flotação de bancada cujos produtos foram também analisados. Foram ainda amostradas cerca de cinco toneladas de cada itabirito anfíbolítico, para a preparação de concentrados em planta piloto e a geração de pelotas para queima em forno de "Pot Grate" e determinação de suas principais características.

Os cinco itabiritos anfíbolíticos estudados não são compactos e, portanto, potencialmente minérios. Seus teores de Fe_T são típicos de itabiritos pobres (<50%), os de P são relativamente altos (>0,050%), os de PPC são elevados (>3%) e os de Al_2O_3 , MnO_2 e FeO estão geralmente dentro da faixa média dos minérios das minas de Alegria. Os principais minerais de ferro são a goethita (botrioidal, maciça, pseudomórfica de anfíbolio, produto de alteração da magnetita e terrosa) e a hematita martítica porosa. Os graus de alteração e de porosidade dos minerais de ferro são elevados e o tamanho de suas partículas é bem variado (desde poucos micrometros até milímetros). A desidroxilação das goethitas ocorre de forma relativamente abrupta

e por volta de 315°C. A porcentagem de lama desses itabiritos é relativamente elevada e suas recuperações em massa e metálicas globais os classificam como potencialmente minérios. Simples modificações nos parâmetros de queima levaram a melhores queimas e a pelotas dentro dos parâmetros de especificação. Para os cinco itabiritos anfíbolíticos estudados, propõe-se a formação de quatro tipos diferenciados. A associação mineralógica de anfíbolios, óxidos de ferro, quartzo e carbonatos, encontrada nos itabiritos anfíbolíticos frescos recém-identificados nos furos de sondagem de Alegria, corroboraram sua origem atribuída a formações ferríferas da fácies silicato ou óxido-silicato, contendo intercalações e impurezas carbonáticas.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	41
2 OBJETIVOS E RELEVÂNCIA.....	42
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	44
3.1 OS PRINCIPAIS ÓXIDOS E OXI-HIDRÓXIDOS DE FERRO DA MINA DE ALEGRIA	44
3.1.1 <u>Hematita</u>	47
3.1.1.1 Características gerais	47
3.1.1.2 Características das hematitas da Mina de Alegria	48
3.1.2 <u>Magnetita</u>	49
3.1.2.1 Características gerais	48
3.1.2.2 Características das magnetitas da Mina de Alegria.....	50
3.1.3 <u>Goethita</u>	50
3.1.3.1 Características gerais.....	50
3.1.3.2 Características das goethitas da Mina de Alegria.....	52
3.2 PRINCIPAIS ANFIBÓLIOS.....	53
3.2.1 <u>Antofilita</u> $(Mg, Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$	56
3.2.2 <u>Cumingtonita</u> $(Mg, Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$ ↔ <u>Grunerita</u> $Fe_7Si_8O_{22}(OH)_2$	57
3.2.3 <u>Tremolita</u> $Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$ ↔ <u>Actinolita</u> $Ca_2(Mg, Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$	58
3.2.4 <u>Glaucofana</u> $Na_2Mg_3Al_2Si_8O_{22}(OH)_2$ ↔ <u>Riebeckita</u> $Na_2Fe_3^{2+}Fe_2^{3+}Si_8O_{22}(OH)_2$	58
3.3 PSEUDOMORFISMO	59
3.4 FORMAÇÃO FERRÍFERA BANDADA (BANDED IRON FORMATION - BIF).....	60
3.5 MODIFICAÇÕES NAS BIFs POR PROCESSOS SUPERGÊNICOS CONTÍNUOS	62
3.6 TIPOS DE JAZIDAS EM MINAS GERAIS	65
3.7 OS MINÉRIOS DE FERRO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO	66
3.8 MINÉRIOS E MINERAIS DE FERRO DA MINA DE ALEGRIA	67
3.9 EVOLUÇÃO TECTONO-METAMÓRFICA DOS MINÉRIOS DE FERRO DA MINA DE ALEGRIA	68
3.10 TIPOLOGIA DOS MINÉRIOS DE FERRO DA MINA DE ALEGRIA – SAMARCO MINERAÇÃO S.A.	69
3.10.1 <u>Histórico da tipologia na Samarco</u>	69
3.10.2 <u>Principais tipos de minério das minas de Alegria</u>	71

3.11 PROCESSAMENTO DOS ITABIRITOS DAS MINAS DE ALEGRIA NA SAMARCO MINERAÇÃO S.A.	79
3.12 CARACTERÍSTICAS DE ITABIRITOS ANFIBOLÍTICOS EM TESTES DE PROCESSO	80
3.13 MÉTODOS E TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO	84
3.13.1 – <u>Microscopia óptica</u>	85
3.13.2 – <u>Microscopia eletrônica de varredura e microanalisador EDS</u>	86
3.13.3 – <u>Difração de raios-X</u>	87
3.13.4 – <u>Espectroscopia no Infravermelho</u>	88
3.13.5 – <u>Termoanálises</u>	90
4 METODOLOGIA	91
4.1 DEFINIÇÃO, AMOSTRAGEM E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	91
4.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	100
4.3 ANÁLISES QUÍMICAS	100
4.4 MICROSCOPIA ÓPTICA	101
4.5 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA E MICROANALISADOR EDS	101
4.6 DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X	101
4.7 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO	101
4.8 TERMOANÁLISES	102
4.9 ANÁLISE DA ASE E DA POROSIDADE	102
4.10 TESTES	102
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	106
5.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	106
5.1.1 <u>Amostras Tal e Qual</u>	106
5.1.2 <u>Alíquotas Britado 2</u>	114
5.1.3 <u>Alíquotas Descarga da Moagem</u>	122
5.2 ANÁLISES QUÍMICAS.....	129
5.2.1 <u>Alíquotas Britado 2</u>	129
5.2.2 <u>Alíquotas Underflow Deslamado</u>	132
5.2.3 <u>Alíquotas Lama</u>	134
5.2.4 <u>Alíquotas Concentrado</u>	136
5.2.5 <u>Alíquotas Rejeito</u>	138
5.3 ANÁLISES MINERALÓGICAS.....	141
5.3.1 <u>Alíquotas Britado 2</u>	141
5.3.2 <u>Alíquotas Underflow Deslamado</u>	145

5.3.2.1 <i>Descrição mineralógica qualitativa das seções polidas</i>	149
(A) Amostra A31.....	149
(B) Amostra A61.....	160
(C) Amostra A62.....	174
(D) Amostra A91.....	190
(E) Amostra A93.....	204
5.3.2.2 <i>Análise comparativa da mineralogia das seções polidas</i>	218
5.3.3 <u>Alíquotas Lama</u>	219
5.3.3.1 <i>Mineralogia observada no MEV-EDS</i>	222
(A) Amostra A31.....	222
(B) Amostra A61.....	222
(C) Amostra A62.....	226
(D) Amostra A91.....	226
(E) Amostra A93.....	230
5.3.4 <u>Alíquotas Concentrado</u>	234
5.3.4.1 <i>Descrição mineralógica qualitativa das seções polidas</i>	237
(A) Amostra A31.....	237
(B) Amostra A61.....	243
(C) Amostra A62.....	249
(D) Amostra A91.....	256
(E) Amostra A93.....	263
5.3.4.2 <i>Análise comparativa da mineralogia das seções polidas</i>	270
5.3.5 <u>Alíquotas Rejeito</u>	270
5.3.5.1 <i>Descrição mineralógica qualitativa das seções polidas</i>	272
5.4 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO.....	280
5.4.1 <u>Alíquotas Britado 2</u>	280
5.4.2 <u>Alíquotas Underflow Deslamado</u>	282
5.4.3 <u>Alíquotas Lama</u>	284
5.4.4 <u>Alíquotas Concentrado</u>	284
5.4.5 <u>Alíquotas Rejeito</u>	286
5.5 TERMOGRAVIMETRIA.....	288
5.5.1 <u>Alíquotas Britado 2</u>	288
5.5.2 <u>Alíquotas Underflow Deslamado</u>	290
5.5.3 <u>Alíquotas Lama</u>	292
5.5.4 <u>Alíquotas Concentrado</u>	294

5.6 ASE E POROSIDADE.....	297
5.6.1 <u>Alíquotas Concentrado</u>.....	297
5.6.2 <u>Alíquotas Concentrado Remoído</u>.....	297
5.7 TESTES DE BENEFICIAMENTO.....	300
5.7.1 <u>Moagem e remoagem</u>.....	300
5.7.2 <u>Deslamagem</u>.....	302
5.7.3 <u>Flotação</u>.....	304
5.8 TESTES NAS PELOTAS.....	307
5.8.1 <u>Teste de pelotamento em pneu</u>.....	307
5.8.2 <u>Teste de pelotamento em disco e resultados dos testes nas pelotas cruas</u>.....	310
5.8.3 <u>Teste de queima em forno de Pot Grate e resultados dos testes nas pelotas queimadas</u>.....	313
5.8.4 <u>Testes de queima com parâmetros modificados</u>.....	317
5.9 BREVE DISCUSSÃO ACERCA DA ORIGEM DA GOETHITA PSEUDOMÓRFICA DE ANFIBÓLIO.....	322
6 CONCLUSÕES.....	333
7 CONTRIBUIÇÕES ORIGINAIS AO CONHECIMENTO.....	338
8 RELEVÂNCIA DOS RESULTADOS.....	339
9 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	340
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	341
ANEXOS.....	347

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Estrutura de empacotamento hexagonal vista em três dimensões.....	45
Figura 3.2: Estrutura de empacotamento hexagonal vista planar.....	45
Figura 3.3: Estrutura de empacotamento cúbico vista em três dimensões.....	46
Figura 3.4: Estrutura de empacotamento cúbico vista planar.....	46
Figura 3.5: Composição dos anfibólios no sistema $Mg_7Si_8O_{22}(OH)_2 - Fe_7Si_8O_{22}(OH)_2 - Ca_7Si_8O_{22}(OH)_2$	55
Figura 3.6: Fotografia de testemunho de sondagem da mina de Alegria 1/2/6 apresentando o aspecto fibroso dos pseudomorfos de anfibólio. Os pseudomorfos de coloração branca são quartzo e em cor castanha a goethita.	76
Figura 3.7: Fotografia de uma amostra de mão de itabirito anfibolítico de Alegria 9 mostrando a coloração ocre amarronzada típica dos itabiritos anfibolíticos com a presença de goethita fibrosa pseudomórfica de anfibólio.....	76
Figura 3.8: Fotografia de uma amostra de mão de itabirito anfibolítico de Alegria 9 mostrando a alternância de bandas de coloração ocre, compostas por goethita pseudomórfica de anfibólio, alternadas com bandas cinza amarronzadas compostas principalmente por martita e goethita.	77
Figura 3.9: Fotografia de uma amostra de mão de Alegria 1/2/6 mostrando itabirito anfibolítico finamente bandado onde se observam bandas claras compostas principalmente por quartzo (que pode ser pseudomórfico de anfibólio), alternadas com bandas amarronzadas compostas principalmente por goethita (pseudomórfica ou não) e martita.	77
Figura 3.10: Fluxograma simplificado das operações de mina, beneficiamento e transporte por mineroduto da Samarco Mineração S.A.	81

Figura 3.11: Fluxograma simplificado das operações de pelotização, estocagem e porto da Samarco Mineração S.A.	82
Figura 4.1 – Fotografia da amostra A31 (400kg) antes do início de sua preparação..	93
Figura 4.2 – Fotografia da amostra A61 (400kg) antes do início de sua preparação..	94
Figura 4.3 – Fotografia da amostra A62 (400kg) antes do início de sua preparação..	94
Figura 4.4 – Fotografia da amostra A91 (400kg) antes do início de sua preparação..	95
Figura 4.5 – Fotografia da amostra A93 (400kg) antes do início de sua preparação..	95
Figura 4.6 – Fluxograma da preparação das amostras, análises e testes de moagem, deslamagem e flotação.....	98
Figura 4.7 – Fluxograma empregado na geração de concentrado das amostras A31, A61, A62, A91 e A93 na Planta Piloto da Fundação Gorceix.....	99
Figura 5.1 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1 μ m) da amostra A31.....	111
Figura 5.2 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1 μ m) da amostra A61.....	112
Figura 5.3 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1 μ m) da amostra A62.....	112
Figura 5.4 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1 μ m) da amostra A91.....	113
Figura 5.5 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1 μ m) da amostra A93.....	113

Figura 5.6 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1 μ m) da amostra A31.....	119
Figura 5.7 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1 μ m) da amostra A61.....	120
Figura 5.8 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1 μ m) da amostra A62.....	120
Figura 5.9 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1 μ m) da amostra A91.....	121
Figura 5.10 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1 μ m) da amostra A93.....	121
Figura 5.11 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1 μ m) da amostra A31.....	126
Figura 5.12 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1 μ m) da amostra A61.....	127
Figura 5.13 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1 μ m) da amostra A62.....	127
Figura 5.14 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1 μ m) da amostra A91.....	128
Figura 5.15 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1 μ m) da amostra A93.....	128
Figura 5.16 – Difratoograma de raios-X da alíquota Britado 2 da amostra A31.....	142
Figura 5.17 – Difratoograma de raios-X da alíquota Britado 2 da amostra A61.....	143

Figura 5.18 – Difratoograma de raios-X da alíquota Britado 2 da amostra A91..... **143**

Figura 5.19 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando grande grão de goethita pseudomórfica de anfibólio, grãos menores de goethita maciça e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **151**

Figura 5.20 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando hematita martítica, goethitas (maciça e produto de alteração da magnetita), goethita terrosa e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **151**

Figura 5.21 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando hematita martítica muito porosa, goethitas (maciça, produto de alteração da magnetita e botrioidal), caulinita e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **152**

Figura 5.22 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita produto de alteração da magnetita (centro), goethitas botrioidais, hematita martítica, caulinita e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **152**

Figura 5.23 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethitas botrioidal (intergranular), hematita martíticas (textura treliça) e goethita produto de alteração da magnetita. Aumento 200X. LRND..... **154**

Figura 5.24 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando hematita martítica muito porosa, hematitas martíticas mediamente porosas, goethita maciça, goethita botrioidal com grandes poros e caulinita e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **154**

Figura 5.25 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita botrioidal e maciça, caulinita e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **155**

Figura 5.26 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando hematitas martíticas em diferentes graus de alteração e porosidade, goethita botrioidal e maciça e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **155**

Figura 5.27 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethitas terrosas, goethita botrioidal e maciça e hematita martítica. Aumento 200X. LRND..... **156**

Figura 5.28 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando hematita martítica muito alterada e porosa e goethita botrioidal. Aumento 200X. LRND..... **156**

Figura 5.29 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando hematita martítica, magnetita, goethitas botrioidais com diferentes porosidades, goethitas maciças e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **158**

Figura 5.30 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando caulinita, goethita maciça e hematita martítica. As áreas marcadas foram analisadas no MEV- EDS. MEV-IRE. 500X..... **158**

Figura 5.31 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando principalmente goethitas botrioidais, caulinita e gibbsita. As áreas marcadas foram analisadas no MEV-EDS. MEV-IRE. 750X..... **159**

Figura 5.32– Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando hematita martítica, goethita botrioidal, goethita produto de alteração da magnetita, magnetita e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **162**

Figura 5.33– Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando magnetita martitzada, goethitas botrioidais, hematitas martíticas e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **162**

Figura 5.34 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando magnetita martitzada, goethitas botrioidais, hematitas martíticas e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **163**

Figura 5.35 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando magnetita martitzada, goethitas botrioidais, hematitas martíticas e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **163**

- Figura 5.36 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita botrioidal, hematitas martíticas e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **164**
- Figura 5.37 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando hematitas martíticas, goethitas botrioidais e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **164**
- Figura 5.38– Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando hematitas martíticas também goethitizadas, magnetitas, goethita botrioidal e hematita martítica porosa. Aumento 200X. LRND..... **166**
- Figura 5.39– Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando magnetitas que estão pouco martitizadas e pouco goethitizadas. Quartzo é também observado. Aumento 200X. LRND..... **166**
- Figura 5.40– Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethitas botrioidais, hematitas martíticas e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **167**
- Figura 5.41 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita terrosa, hematitas martíticas e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **167**
- Figura 5.42 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) enfocando uma bela goethita botrioidal (centro). Aumento 200X. LRND..... **168**
- Figura 5.43 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) enfocando goethita botrioidal alterando a goethita terrosa (centro). Aumento 200X. LRND..... **168**
- Figura 5.44 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) enfocando uma bela hematita martítica subédrica e porosa bordejada por bela goethita botrioidal (centro da foto). Aumento 200X. LRND..... **169**
- Figura 5.45 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) enfocando uma bela hematita martítica muito porosa. Aumento 200X. LRND..... **169**
- Figura 5.46 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) enfocando belas magnetitas euédricas em início de processo de martitização e goethitização, goethita botrioidal, caulinitas.e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **171**

- Figura 5.47 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando hematitas martíticas euédricas e subédricas mediamente a muito porosas, magnetita, goethitas e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **171**
- Figura 5.48 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) enfocando goethita pseudomórfica de anfibólio. MEV-IRE. 1000X..... **172**
- Figura 5.49 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando aspecto da goethita pseudomórfica de anfibólio. MEV-IRE. 1500X..... **173**
- Figura 5.50 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando aspecto da hematita martítica muito porosa. MEV-IRE. 500X..... **173**
- Figura 5.51 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethitas botrioidais, hematita martítica e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **175**
- Figura 5.52 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethitas e quartzo pseudomórficos de anfibólio, hematitas martíticas relictas e quartzos anédricos. Aumento 200X. LRND..... **177**
- Figura 5.53 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethitas (pseudomórficas de anfibólio, produto de alteração da magnetita, botrioidal e terrosa) hematitas martíticas, magnetita e quartzos. Aumento 200X. LRND..... **177**
- Figura 5.54 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethitas (pseudomórficas de anfibólio, produto de alteração da magnetita, botrioidal e terrosa) hematitas martíticas, magnetita e quartzos. Aumento 200X. LRND..... **178**
- Figura 5.55 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando hematitas martíticas, magnetita, goethitas pseudomórficas de anfibólio e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **178**

Figura 5.56 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio e hematitas martíticas.altamente porosas. Aumento 200X. LRND..... **179**

Figura 5.57 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethitas (pseudomórfica de anfibólio e de alteração da magnetita), hematitas martíticas e magnetita. Aumento 200X. LRND..... **179**

Figura 5.58 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethitas (pseudomórficas de anfibólio e botrioidal). Aumento 200X. LRND..... **181**

Figura 5.59 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando uma bela goethita pseudomórfica de anfibólio. Aumento 200X. LRND..... **182**

Figura 5.60 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio alterada, goethita terrosa e hematita martítica. Aumento 200X. LRND..... **182**

Figura 5.61 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio e hematita martítica. Aumento 200X. LRND..... **183**

Figura 5.62 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando uma bonita goethita com diferentes texturas (relevos). Aumento 200X. LRND..... **183**

Figura 5.63 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando uma grande e bela goethita pseudomórfica de anfibólio Aumento 200X. LRND..... **184**

Figura 5.64 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando belíssimas hematitas martíticas altamente porosas em meio a goethitas produto de alteração da magnetita alteradas e porosas. Aumento 200X. LRND..... **184**

Figura 5.65 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio (áreas 1 e 2) e hematita martítica (áreas 3, 4 e 5). MEV-IER. 150X..... **185**

- Figura 5.66 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando em detalhe a goethita pseudomórfica de anfibólio da área 1. MEV-IRE. 1500X..... **187**
- Figura 5.67 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando em detalhe a goethita pseudomórfica de anfibólio da área 2. MEV-IRE. 750X..... **187**
- Figura 5.68 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando em detalhe hematita martítica contendo goethitas impuras alinhadas segundo uma direção preferencial. MEV-IRE. 750X..... **188**
- Figura 5.69 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando em detalhe hematita martítica porosa. MEV-IRE. 1000X..... **189**
- Figura 5.70 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando em detalhe hematita martítica porosa apresentando textura granular (terrosa). MEV-IRE. 500X..... **189**
- Figura 5.71 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando hematitas martíticas porosas. Aumento 200X. LRND..... **192**
- Figura 5.72 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando uma grande partícula de goethita pseudomórfica de anfibólio, hematitas martíticas e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **192**
- Figura 5.73 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethitas (pseudomórficas de anfibólio, botrioidal e de alteração da magnetita), hematitas martíticas, magnetita e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **193**
- Figura 5.74 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethitas (pseudomórfica de anfibólio, alteração da magnetita e maciça), hematitas martíticas e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **193**
- Figura 5.75 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando uma grande partícula formada por goethita pseudomórfica de anfibólio alterada (terrosa). Aumento 200X..... **194**

- Figura 5.76 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando diversas hematitas martíticas. Aumento 200X. LRND..... **194**
- Figura 5.77 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita terrosa. Aumento 200X. LRND..... **196**
- Figura 5.78 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando grande partícula de quartzo pseudomórfico de anfibólio. Aumento 200X. LRND.....**196**
- Figura 5.79 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando grande partícula de goethita pseudomórfica de anfibólio. Aumento 200X. LRND..... **197**
- Figura 5.80 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita e quartzo pseudomórficos de anfibólio e hematitas martíticas. Aumento 200X. LRND..... **197**
- Figura 5.81 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando bela goethita pseudomórfica de anfibólio, goethitas produto de alteração da magnetita, hematitas martíticas e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **198**
- Figura 5.82 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando grande goethita pseudomórfica de anfibólio associada com hematitas martíticas, quartzos (anédricos e pseudomórficos). Aumento 200X. LRND..... **198**
- Figura 5.83 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando bela goethita pseudomórfica de anfibólio com hematitas martíticas altamente porosas. Aumento 200X. LRND..... **199**
- Figura 5.84 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando hematitas martíticas porosas, goethita produto de alteração da magnetita e magnetita. Aumento 200X. LRND..... **199**
- Figura 5.85 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando típica goethita botrioidal alterada e porosa. Aumento 200X. LRND..... **200**

Figura 5.86 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio e belas hematitas martíticas porosas e também goethitizadas. Aumento 200X. LRND..... **200**

Figura 5.87 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando em detalhe hematita martítica (pouco porosa) e goethita pseudomórfica de anfibólio (fibrosa). As áreas marcadas também foram analisadas no microanalisador EDS. MEV-IRE. 500X..... **202**

Figura 5.88 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando em detalhe as fibras da goethita e quartzo pseudomórficos de anfibólio. As áreas marcadas também foram analisadas no microanalisador EDS. MEV-IRE. 1000X..... **203**

Figura 5.89 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando magnetita, hematitas martíticas goethitizadas e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **206**

Figura 5.90 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio, hematitas martíticas porosas e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **206**

Figura 5.91 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando bela goethita pseudomórfica de anfibólio. Aumento 200X. LRND..... **207**

Figura 5.92 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethitas pseudomórfica de anfibólio e de alteração da magnetita, hematitas martíticas de diferentes microporosidades e magnetita relictas. Aumento 200X. LRND..... **207**

Figura 5.93 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio alterada, hematitas martíticas microporosas e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **208**

Figura 5.94 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando belas hematitas martíticas subédricas porosas (macroporosas). Aumento 200X. LRND..... **208**

Figura 5.95 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita botrioidal, hematitas martíticas de variadas porosidades e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **210**

Figura 5.96 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio alterada e hematita martítica. Aumento 200X. LRND..... **210**

Figura 5.97 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando hematitas martíticas de diferentes graus de porosidade e de goethitização. Aumento 200X. LRND..... **211**

Figura 5.98 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita botrioidal porosa e hematitas martíticas porosas. Aumento 200X. LRND..... **211**

Figura 5.99 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando bela goethita pseudomórfica de anfibólio. Aumento 200X. LRND..... **212**

Figura 5.100 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethitas pseudomórficas de anfibólio de diferentes porosidades e hematitas martíticas porosas. Aumento 200X. LRND..... **212**

Figura 5.101 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando hematitas martíticas muito porosas e esquelética, goethita de alteração da magnetita muito porosa e goethita pseudomórfica de anfibólio porosa. Aumento 200X. LRND..... **213**

Figura 5.102 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita de alteração da magnetita, hematitas martíticas e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **213**

Figura 5.103 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita de alteração da magnetita, hematitas martíticas e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **215**

- Figura 5.104 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando hematitas martíticas anédricas porosas, goethita de alteração e magnetita. Aumento 200X. LRND..... **215**
- Figura 5.105 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando pela goethita pseudomórfica de anfibólio. Aumento 200X. LRND..... **216**
- Figura 5.106 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando pela goethita botrioidal (centro). Aumento 200X. LRND..... **216**
- Figura 5.107 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando em detalhe hematitas martíticas microporosas e goethita botrioidal intragranular. A área marcada foi também analisada no microanalisador EDS. MEV-IRE 500X..... **217**
- Figura 5.108 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota Lama) mostrando aspecto geral dos minerais presentes na lama. As áreas marcadas foram também analisada no microanalisador EDS. MEV-IRE. 1000X..... **223**
- Figura 5.109 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota Lama) mostrando em detalhe goethita pseudomórfica de anfibólio. A área marcada foi também analisada no microanalisador EDS. MEV-IRE. 3500X..... **223**
- Figura 5.110 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota Lama) mostrando em detalhe fibra de goethita pseudomórfica de anfibólio. MEV-IRE. 3500X..... **224**
- Figura 5.111 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota Lama) mostrando em detalhe goethita pseudomórfica de anfibólio (fibrosa). MEV-IRE. 5000X..... **224**
- Figura 5.112 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota Lama) mostrando aspecto geral da lama. MEV-IRE. 500X..... **225**
- Figura 5.113 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota Lama) mostrando em detalhe goethita pseudomórfica de anfibólio (centro). MEV-IRE. 1500X..... **227**
- Figura 5.114 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota Lama) mostrando em detalhe goethita pseudomórfica de anfibólio (fibrosa). MEV-IRE. 3500X..... **227**

- Figura 5.115 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota Lama) mostrando aspecto geral da lama. MEV-IRE. 500X..... **228**
- Figura 5.116 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota Lama) mostrando em detalhe goethita pseudomórfica de anfibólio (fibrosa). MEV-IRE. 1000X..... **228**
- Figura 5.117 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Lama) mostrando aspecto geral da lama. MEV-IRE. 500X..... **229**
- Figura 5.118 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Lama) mostrando em detalhe hematita martítica pouco porosa. MEV-IRE. 1500X..... **231**
- Figura 5.119 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Lama) mostrando em detalhe hematita martítica porosa. MEV-IRE. 1500X..... **231**
- Figura 5.120 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota Lama) mostrando aspecto geral da lama. MEV-IRE. 350X..... **232**
- Figura 5.121 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota Lama) mostrando em detalhe goethita pseudomórfica de anfibólio (fibrosa). MEV-IRE. 2000X..... **232**
- Figura 5.122 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota Lama) mostrando em detalhe goethita e quartzo pseudomórficos de anfibólio. MEV-IRE. 1000X..... **233**
- Figura 5.123 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota Concentrado) mostrando goethitas botrioidais de diferentes porosidades e hematita martítica porosa (centro). Aumento 200X. LRND..... **239**
- Figura 5.124 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota Concentrado) mostrando hematitas martíticas (micro e macroporosas) e goethitas (botrioidal e de alteração da magnetita). Aumento 200X. LRND..... **239**
- Figura 5.125 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota Concentrado) mostrando duas belas goethitas botrioidais de dimensões milimétricas. Aumento 200X. LRND..... **240**

Figura 5.126 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota Concentrado) mostrando goethita botrioidal porosa (esquerda), goethita pseudomórfica de anfibólio (centro) e hematita martítica muito porosa (centro e inferior). Aumento 200X. LRND..... **240**

Figura 5.127 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota Concentrado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio (centro) e goethitas maciças e botrioidais microporosas. Aumento 200X. LRND..... **241**

Figura 5.128 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota Concentrado) mostrando partícula formada por goethita botrioidal intragranular, caulinitas, gibbsita e goethita terrosa. Também estão presentes goethitas (maciças e botrioidal) e hematita martítica também goethitizada. Aumento 200X. LRND..... **241**

Figura 5.129 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota Concentrado) mostrando goethitas (botrioidais, maciças e de alteração da magnetita) e hematitas martíticas. Aumento 200X. LRND..... **242**

Figura 5.130 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota Concentrado) mostrando hematitas martíticas porosas (micro e macroporosas) e goethitas botrioidais e maciças de diferentes porosidades. Aumento 200X. LRND..... **242**

Figura 5.131 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota Concentrado) mostrando magnetita em início de processo de martitização (centro), magnetitas um pouco mais martitizadas, hematitas martíticas microporosas e goethitas botrioidais. Aumento 200X. LRND..... **244**

Figura 5.132 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota Concentrado) mostrando goethita botrioidal porosa associada com hematitas martíticas porosas subédricas podendo conter magnetita relictas. Aumento 200X. LRND..... **244**

Figura 5.133 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota Concentrado) mostrando goethita botrioidal porosa associada com hematita martítica euédrica e porosa (centro), hematitas martíticas de porosidades variadas e goethita terrosa. Aumento 200X. LRND..... **246**

Figura 5.134 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota Concentrado) mostrando goethitas terrosas, hematitas martíticas porosas (micro e macroporos) e goethita botrioidal associada com quartzo (porção inferior). Aumento 200X. LRND..... **246**

- Figura 5.135 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota Concentrado) mostrando goethitas (botrioidais e de alteração da magnetita), hematitas martíticas (microporosas e relictas) e magnetitas martitizadas. Aumento 200X. LRND..... **247**
- Figura 5.136 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota Concentrado) mostrando quartzos associados a magnetitas martitizadas (diferentes estágios de martitização). Aumento 200X. LRND..... **247**
- Figura 5.137 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota Concentrado) mostrando quartzos associados com goethita botrioidal e hematitas martíticas porosas. Aumento 200X. LRND..... **248**
- Figura 5.138 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota Concentrado) mostrando partículas de quartzos associados com hematitas martíticas porosas e goethita botrioidal, partícula de goethita botrioidal pouco porosa contendo hematita martítica euédrica e porosa (micro e macroporos). Aumento 200X. LRND..... **248**
- Figura 5.139 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota Concentrado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio, hematitas martíticas porosas (micro e macroporos), goethitas botrioidais (pouco porosas e muito porosas) e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **250**
- Figura 5.140 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota Concentrado) mostrando bela goethita pseudomórfica de anfibólio muito alterada e porosa. Aumento 200X. LRND... **250**
- Figura 5.141 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota Concentrado) mostrando diferentes goethitas (botrioidal, de alteração da magnetita, pseudomórfica de anfibólio e terrosa) porosas e hematitas martíticas porosas. Aumento 200X. LRND..... **252**
- Figura 5.142 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota Concentrado) mostrando partícula contendo goethita e quartzo intimamente associados. Aumento 200X. LRND. **252**
- Figura 5.143 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota Concentrado) mostrando goethita muito alterada e porosa (terrosa) e hematita martítica muito porosa ambas associadas ao quartzo. Aumento 200X. LRND..... **253**

- Figura 5.144– Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota Concentrado) mostrando bela goethita botrioidal alterada e porosa. Aumento 200X. LRND..... **253**
- Figura 5.145 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota Concentrado) mostrando diferentes goethitas (pseudomórfica de anfibólio, botrioidal e de alteração da magnetita) e hematitas martítica porosas. Aumento 200X. LRND..... **254**
- Figura 5.146 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota Concentrado) mostrando diferentes goethitas (terrosa, botrioidais e pseudomórficas de anfibólio). Aumento 200X. LRND..... **254**
- Figura 5.147 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota Concentrado) mostrando bela goethita pseudomórfica de anfibólio que está alterada e porosa. Aumento 200X. LRND..... **255**
- Figura 5.148 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota Concentrado) mostrando bela goethita pseudomórfica de anfibólio associada com quartzo e hematita martítica euédrica e porosa. Aumento 200X. LRND..... **255**
- Figura 5.149 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Concentrado) mostrando goethita botrioidal associada com quartzo. Aumento 200X. LRND..... **257**
- Figura 5.150 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Concentrado) mostrando hematitas martíticas subédricas a anédricas microporosas. Aumento 200X. LRND..... **257**
- Figura 5.151 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Concentrado) mostrando belas goethitas pseudomórficas de anfibólio e hematitas martíticas microporosas. Aumento 200X. LRND..... **259**
- Figura 5.152 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Concentrado) mostrando goethitas botrioidais porosas, goethita terrosa, hematitas martíticas porosas (micro e macroporos) e quartzo liberado. Aumento 200X. LRND..... **259**
- Figura 5.153 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Concentrado) mostrando bela goethita pseudomórfica de anfibólio, hematitas martíticas porosas (micro e macroporos) e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **260**

- Figura 5.154 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Concentrado) mostrando hematitas martíticas muito porosas (praticamente esqueletais) associadas com a goethita botrioidal e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **260**
- Figura 5.155 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Concentrado) mostrando hematitas martíticas com diferentes porosidades (microporosas e macroporosas). Aumento 200X. LRND..... **261**
- Figura 5.156 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Concentrado) mostrando goethitas (botrioidal e de alteração da magnetita), hematitas martíticas microporosas, magnetita e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **261**
- Figura 5.157 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Concentrado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio alterada e porosa e goethita botrioidal porosa associada com hematitas martíticas bem porosas. Aumento 200X. LRND..... **262**
- Figura 5.158 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Concentrado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio (centro), hematitas martíticas microporosas e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **262**
- Figura 5.159 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota Concentrado) mostrando goethita botrioidal intragranular associada com hematitas martíticas porosas (micro e macroporos) e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **264**
- Figura 5.160 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota Concentrado) mostrando partícula mista de quartzo e hematitas martíticas porosas (micro e macroporos) também goethitizadas. Aumento 200X. LRND..... **264**
- Figura 5.161 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota Concentrado) mostrando goethitas (botrioidal e de alteração da magnetita), hematitas martíticas microporosas, quartzo e magnetita. Aumento 200X. LRND..... **266**
- Figura 5.162 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota Concentrado) mostrando goethita terrosa com “moldes” de caulinita e hematitas martíticas microporosas associadas com goethita botrioidal intragranular. Aumento 200X. LRND.....**266**

Figura 5.163 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota Concentrado) mostrando magnetitas martitizadas e goethitizadas, hematitas martíticas microporosas e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **267**

Figura 5.164 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota Concentrado) mostrando goethitas botrioidais, hematitas martíticas microporosas e quartzo. Aumento 200X. LRND..... **267**

Figura 5.165 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota Concentrado) mostrando uma bela goethita pseudomórfica de anfibólio alterada e porosa (região central). Aumento 200X. LRND..... **268**

Figura 5.166 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota Concentrado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio (centro), hematitas martíticas microporosas e goethitas botrioidais. Aumento 200X. LRND..... **268**

Figura 5.167 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota Concentrado) mostrando hematitas martíticas de diferentes porosidades. Aumento 200X. LRND..... **269**

Figura 5.168 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota Rejeito) mostrando quartzos de tamanhos variados, goethitas botrioidais e hematita martítica (goethitizada). Aumento 200X. LRND..... **274**

Figura 5.169 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota Rejeito) mostrando quartzos, hematita lamelar, hematita martítica e goethitas. Aumento 200X. LRND..... **274**

Figura 5.170 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota Rejeito) mostrando partículas de quartzo, hematita martítica goethita botrioidal e magnetita. Aumento 200X. LRND..... **275**

Figura 5.171 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota Rejeito) mostrando quartzo associado com goethitas (botrioidal e de alteração da magnetita), hematitas martíticas microporosas e magnetita. Aumento 200X. LRND..... **275**

Figura 5.172 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota Rejeito) mostrando partículas de quartzo, goethita pseudomórfica de anfibólio associada a quartzo pseudomórfico de anfibólio. Aumento 200X. LRND..... **276**

- Figura 5.173 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota Rejeito) mostrando partículas de quartzo, hematita martítica microporosa, goethita alterada (botrioidal) e magnetita. Aumento 200X. LRND..... **276**
- Figura 5.174 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Rejeito) mostrando partículas de quartzo e goethita pseudomórfica de anfibólio. Aumento 200X. LRND..... **277**
- Figura 5.175 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Rejeito) mostrando bela fibra de quartzo pseudomórfico de anfibólio. Aumento 200X. LRND..... **277**
- Figura 5.176 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota Rejeito) mostrando partículas de quartzo e goethita botrioidal liberados e partícula mista de quartzo, goethita botrioidal e hematitas martíticas microporosas (goethitizadas). Aumento 200X. LRND..... **279**
- Figura 5.177 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota Rejeito) mostrando partículas de quartzo liberadas e goethita botrioidal (porosa) associada com hematitas martíticas e contendo pequenas inclusões de quartzo. Aumento 200X. LRND..... **279**
- Figura 5.178 – Aspecto do concentrado da amostra A31 antes do pelotamento..... **311**
- Figura 5.179 – Aspecto do concentrado da amostra A61 antes do pelotamento..... **311**
- Figura 5.180 – Aspecto do concentrado da amostra A62 antes do pelotamento..... **311**
- Figura 5.181 – Aspecto do concentrado da amostra A91 antes do pelotamento..... **311**
- Figura 5.182 – Aspecto do concentrado da amostra A93 antes do pelotamento..... **311**
- Figura 5.183 – Aspecto final das pelotas da amostra A31 após teste de queima em *Pot Gate*..... **314**
- Figura 5.184 – Aspecto final das pelotas da amostra A61 após teste de queima em *Pot Gate*..... **314**
- Figura 5.185 – Aspecto final das pelotas da amostra A62 após teste de queima em *Pot Gate*..... **314**

- Figura 5.186 – Aspecto final das pelotas da amostra A91 após teste de queima em *Pot Gate*..... **314**
- Figura 5.187 – Aspecto final das pelotas da amostra A93 após teste de queima em *Pot Gate*..... **314**
- Figura 5.188 – Fotografia tirada de furo de sondagem da Mina de Alegria Norte mostrando passagem alterada dentro do itabirito anfíbolítico fresco..... **326**
- Figura 5.189 – Fotografia tirada de furo de sondagem da Mina de Alegria Norte mostrando em detalhe o itabirito anfíbolítico fresco..... **327**
- Figura 5.190 – Fotografias tiradas de testemunho de sondagem das Minas de Alegria mostrando itabirito anfíbolítico fresco..... **328**
- Figura 5.191 – Fotomicrografia mostrando aspecto geral da amostra AF3 (pulverizada). MEV-IRE. 75X..... **329**
- Figura 5.192 – Fotomicrografia da amostra AF3 mostrando em detalhe a região 1 da Figura 5.191. MEV-IRE. 500X..... **329**
- Figura 5.193 – Fotomicrografia da amostra AF3 mostrando em detalhe a região 2 da Figura 5.191. MEV-IRE. 750X..... **330**
- Figura 5.194 – Fotomicrografia da amostra AF3 mostrando em detalhe a região 3 da Figura 5.191. MEV-IRE. 500X..... **330**
- Figura 5.195 – Fotomicrografia mostrando partículas presentes na amostra AF4 pulverizada onde as regiões marcadas foram também analisadas pelo microanalisador EDS. MEV-IRE. 50X..... **331**

LISTA DE TABELAS

Tabela IV.1 – Procedimentos empregados nos testes de moagem, deslamagem, flotação e remoagem na empresa PCM.....	103
Tabelas V.1 – Resultados das análises granulométricas (séries grossa a fina) das amostras de itabiritos anfíbolíticos – (A) A31; (B) A61; (C) A62; (D) A91 e (E) A93..	107
Tabelas V.2 – Distribuição granulométrica das alíquotas Britado 2 das amostras de itabiritos anfíbolíticos – (A) A31; (B) A61; (C) A62; (D) A91 e (E) A93.....	115
Tabela V.3 – Valores de d_{50} e porcentagem de partículas de tamanho inferior a $1\mu\text{m}$ das distribuições granulométricas das frações mais finas das amostras Tal e Qual e alíquotas de Britado 2.....	122
Tabelas V.4 – Distribuição granulométrica das alíquotas das amostras de itabiritos anfíbolíticos após terem sido moídas – (A) A31; (B) A61; (C) A62; (D) A91 e (E) A93.....	123
Tabela V.5 – Resultados das análises químicas quantitativas das alíquotas Britado 2 – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.....	130
Tabela V.6 – Resultados das análises de fluorescência de raios-X, das alíquotas Britado 2 – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.....	130
Tabela V.7 – Resultados das análises químicas quantitativas das alíquotas Underflow Deslamado – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.....	133
Tabela V.8 – Resultados das análises de fluorescência de raios-X das alíquotas Underflow Deslamado – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.....	133
Tabela V.9 – Resultados das análises químicas quantitativas das alíquotas Lama – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.....	135

Tabela V.10 – Resultados das análises de fluorescência de raios-X das alíquotas Lama – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.....	135
Tabela V.11 – Resultados das análises químicas quantitativas das alíquotas Concentrado – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.....	137
Tabela V.12 – Resultados das análises de fluorescência de raios-X das alíquotas Concentrado – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.....	137
Tabela V.13 – Resultados das análises químicas quantitativas das alíquotas Rejeito – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.....	139
Tabela V.14 – Resultados das análises de fluorescência de raios-X das alíquotas Rejeito – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.....	139
Tabela V.15 – Resultados das análises de difratometria de raios-X das alíquotas Britado 2 das amostras A31, A61, A62, A91 e A93.....	142
Tabela V.16 – Legenda geral empregada para os minerais e em todas as fotomicrografias.....	146
Tabela V.17 – Resultados das análises mineralógicas quantitativas das alíquotas Underflow Deslamado – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.....	147
Tabela V.18 – Resultados das análises de difratometria de raios-X das alíquotas Underflow Deslamado – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.....	147
Tabela V.19 – Resultados das análises de difratometria de raios-X das alíquotas Lama – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.....	220
Tabela V.20 – Resultados das análises mineralógicas quantitativas das alíquotas Concentrado – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.....	235
Tabela V.21 – Resultados das análises de difratometria de raios-X das alíquotas Concentrado – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.....	235

Tabela V.22 – Resultados das análises mineralógicas quantitativas das alíquotas Rejeito – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.....	271
Tabela V.23 – Resultados das análises de difratometria de raios-X das alíquotas Rejeito – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.....	271
Tabela V.24 – Resultados das análises de espectroscopia no infravermelho das alíquotas Britado 2.....	281
Tabela V.25 – Resultados das análises de espectroscopia no infravermelho das alíquotas Underflow Deslamado.....	283
Tabela V.26 – Resultados das análises de espectroscopia no infravermelho das alíquotas Lama.....	285
Tabela V.27 – Resultados das análises de espectroscopia no infravermelho das alíquotas Concentrado.....	285
Tabela V.28 – Resultados das análises de espectroscopia no infravermelho das alíquotas Rejeito.....	287
Tabela V.29 – Resultados das análises termogravimétricas das alíquotas Britado 2.....	289
Tabela V.30 – Resultados das análises termogravimétricas das alíquotas Underflow Deslamado.....	291
Tabela V.31 – Resultados das análises termogravimétricas das alíquotas Lama.....	293
Tabela V.32 – Resultados das análises termogravimétricas das alíquotas Concentrado.....	295

Tabela V.33 – Resultados de ASE e porosidade das alíquotas Concentrado das amostras A31, A61, A62, A91 e A93.....	298
Tabela V.34 – Resultados de ASE e porosidade das alíquotas Concentrado Remoído das amostras A31, A61, A62, A91 e A93.....	298
Tabela V.35 – Tempo de moagem (10%>0,150mm) e de remoagem (10%>0,044mm) determinados para cada amostra.....	301
Tabela V.36 – Resultados dos testes de deslamagem das amostras A31, A61, A62, A91 e A93 e valores médios das recuperações em massa e metálica dos minérios de Alegria (amostras de furos de sondagem).....	303
Tabela V.37– Resultados das recuperações metálica e em massa dos testes de flotação de bancada das amostras A31, A61, A62, A91 e A93 e as recuperações médias calculadas (testes de flotação em minérios de amostras dos furos de sondagem de Alegria).....	305
Tabela V.38 – Resultados das recuperações em massa e metálica globais das amostras A31, A61, A62, A91 e A93 e as médias calculadas globais (minérios de amostras dos furos de sondagem).....	305
Tabela V.39 – Características químicas, granulométricas, físicas, mineralógicas e teores de umidade dos concentrados (pellet feed) das amostras A31, A61, A62, A91, A93 e PFN (composição média de um pellet feed para pelotas PBF).....	308
Tabela V.40 – Resultados dos testes de pelotamento em pneu das amostras A31, A61, A62, A91 e A93.....	309
Tabela V.41 – Valores padrão de resiliência, compressão da pelota crua úmida (CPCU), compressão da pelota crua seca (CPCS) e umidade de um PFN.....	312
Tabela V.42 – Resultados dos testes de resiliência, CPCU, CPCS e umidade realizados nas pelotas cruas das amostras A31, A61, A62, A91 e A93.....	312

Tabela V.43 – Resultados químicos e físicos das pelotas queimadas (amostras A31, A61, A62, A91 e A93) e temperaturas máximas atingidas nos leitos de pelotas durante a queima em <i>Pot Grate</i>	315
Tabela V.44 – Características de umidade das novas misturas das amostras A91 e A93 e novos resultados dos testes de resiliência, CPCU, CPCS e umidade.....	319
Tabela V.45 – Resultados dos novos testes de queima efetuados nas amostras A91 e A93.....	321
Tabela V.46 – Resultados de fluorescência de raios-X de amostras de itabirito fresco.....	324
Tabela V.47 – Resultados de difratometria de raios-X de amostras de itabirito fresco.....	324

LISTA DE NOTAÇÕES

d_{50} – diâmetro cujo qual 50% do material tem tamanho superior e 50% tem tamanho inferior.

MEV – microscópio eletrônico de varredura.

IRE – imagem de elétrons retroespalhados.

EDS – método de dispersão de energia.

DRX – difratometria de raios-X.

EIV – espectroscopia no infravermelho.

TG – termogravimetria

PFN – pellet feed para geração de pelotas para alto-forno.

PBF – pelotas para alto-forno.

CPCU – compressão da pelota crua úmida.

CPCS – compressão da pelota crua seca.

PPC – perda por calcinação.

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda de minério de ferro por parte de um mercado siderúrgico aquecido e em franco crescimento, faz com que as empresas mineradoras mundiais se preparem e busquem um aumento de produção, com garantia de qualidade do produto e respeito ao meio ambiente.

O Brasil figura entre os maiores produtores e exportadores de minério de ferro do mundo. Suas empresas mineradoras já estão em busca de aumento de suas produções para atender a esse crescente e competitivo mercado.

Para o aumento de produção, diante do cenário exposto, faz-se necessário que as empresas busquem o aumento de suas reservas através do melhor conhecimento de seu recurso mineral. Esse conhecimento só é possível através da caracterização detalhada de suas jazidas e dos minérios a serem explorados.

A Samarco Mineração S.A., que está entre os grandes produtores mundiais de pelotas de Minério de Ferro, vem investindo, nesses últimos anos, em estudos mineralógicos e tecnológicos relativos aos minérios explorados nas suas minas do Complexo Alegria, localizadas no município de Mariana, em Minas Gerais. Esses estudos se estendem desde a lavra até a pelotização e são fundamentais na medida em que dão suporte à otimização das atividades de lavra, concentração, pelotização e transporte do minério.

Neste trabalho, propõe-se fazer um estudo de caracterização mineralógica dos itabiritos anfíbolíticos das minas de Alegria, que são considerados itabiritos marginais ora sendo lavrados como minério ora como estéril. Esse estudo abrange amostras de ROM, amostras de produtos e subprodutos de todos os testes que reproduzem o processo de concentração e a avaliação das características de qualidade (física e mineralógica) da pelota gerada.

2 OBJETIVOS E RELEVÂNCIA

Os objetivos desse trabalho são: 1) identificar diferentes tipos de itabirito anfibolítico nas minas de Alegria, baseando-se em suas características químicas e mineralógicas determinadas através do uso de um conjunto de técnicas instrumentais apropriadas, bem como no comportamento desses itabiritos em testes que simulam tanto o processo de concentração como o de pelotização da Samarco Mineração S.A.; 2) fazer a caracterização química e mineralógica, mais detalhada, das diversas alíquotas provenientes dos testes de laboratório que simulam as principais etapas do processo de concentração da Samarco, de forma que esses dados possam embasar ou adequações aos atuais processos de tratamento desses itabiritos, ou sugestões de novas rotas de processo mais adequadas à concentração e pelotização desses itabiritos. Um outro objetivo, secundário e menos relevante, é o de investigar-se a questão da origem da goethita dita pseudomórfica de anfibólio.

Os itabiritos anfibolíticos representam 36% do total dos recursos geológicos da Samarco e cerca de 20% de sua reserva total. Na Samarco, sob a denominação de “itabirito anfibolítico” estão mapeados todos aqueles que apresentam pseudomorfos de anfibólio. Esses materiais podem apresentar diferenças visualmente observáveis, tais como: abundância, tamanho e disposição dos pseudomorfos de anfibólio; granulação e coloração da rocha e espessura do bandamento. Ainda não há uma correlação estabelecida entre os itabiritos anfibolíticos visualmente diferentes e seus respectivos comportamentos nos processos. Sendo assim, ainda não há uma tipologia proposta para os itabiritos anfibolíticos, que auxilie na previsão de seu comportamento ao longo dos processos da Samarco e direcione a lavra desses materiais.

Esses itabiritos, quando processados, levam normalmente à ocorrência de problemas de comportamento nos processos, tais como: a geração elevada de lama, levando ao surgimento de dificuldades na etapa de flotação; aumentam excessivamente a quantidade de finos no concentrado final, levando a dificuldades na etapa de filtração e, por apresentarem um conteúdo maior de goethitas (mais de 20%), contribuem tanto para a queda de temperatura dentro do forno de queima, o que implica em um aumento de consumo de combustível, como para a fragilização da pelota queimada. Essas dificuldades de processamento levam frequentemente à esterilização de grande parte desses itabiritos. Isso poderia ser revertido através do conhecimento detalhado de seus constituintes mineralógicos, que venha a embasar adequações nas atuais rotas de processo ou suporte propostas de novas rotas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 OS PRINCIPAIS ÓXIDOS E OXI-HIDRÓXIDOS DE FERRO DA MINA DE ALEGRIA

A unidade estrutural básica para todos os óxidos e oxi-hidróxidos de ferro é um octaedro, no qual cada átomo de ferro está circundado quer por seis oxigênios, quer por ambos oxigênio e hidroxila. Os íons O^{2-} e OH^- formam camadas que estão, ou empacotadas hexagonalmente (hexagonally close-packed – hcp), como por exemplo na goethita e hematita, ou aproximadamente cúbicas (cubic close-packed – ccp), como na lepidocrocita e maghemita. As figuras 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4 ilustram essas estruturas. Em ambas estruturas, existem também interstícios tetraédricos entre três O ou OH em um plano e o ânion do plano acima. As duas formas hcp, goethita e hematita são denominadas fases- α , enquanto as formas ccp, correspondentes a lepidocrocita e maghemita, são denominadas fases- γ . As fases- α são mais estáveis que as fases- γ (Schwertmann & Cornel, 1991).

Feitosa et al. (1993) no período compreendido entre dezembro de 1992 e junho de 1993 fizeram determinações mineralógicas no minério de Alegria e concluíram que seus principais constituintes são:

- 1) A hematita porosa (hematita martítica), constituinte mais abundante da jazida de Alegria, que é de formação secundária, fruto do processo de martitização das magnetitas primárias, em função das alterações ambientais, particularmente de Eh-pH;
- 2) Espicularita (hematita especular), constituinte menos abundante que o citado anteriormente, que está associado aos minérios mais “limpos”, ou seja, menos aluminosos e menos fosforosos;
- 3) Goethita, que pode estar presente dentro de grãos de hematita porosa, sendo produto da martitização das magnetitas ou pode ter hábito botrioidal e ser produto do intemperismo;
- 4) Magnetitas residuais, presentes em pequena proporção;
- 5) Quartzo, que é o principal mineral da ganga.

A goethita terrosa “(limonita)” (Rocha & Brandão, 1996) e as argilas constituem um grupo de constituintes secundários, que, apesar da ocorrência menos expressiva

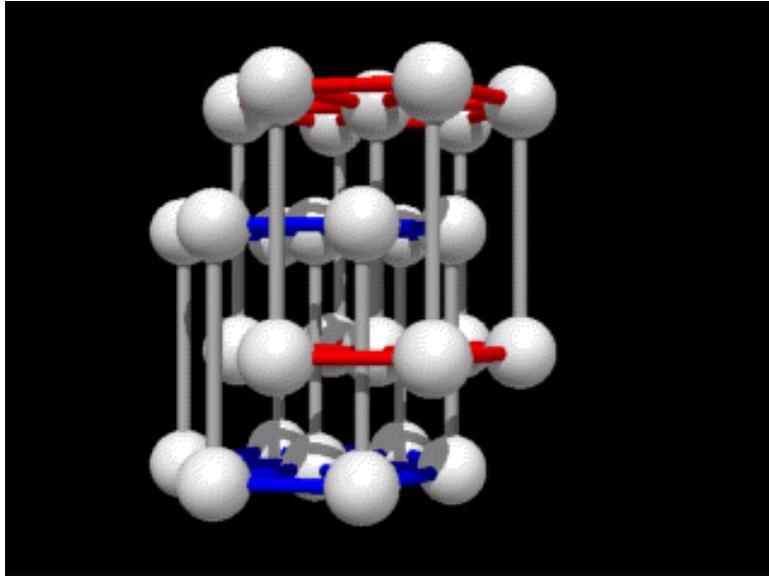


Figura 3.1 – Estrutura de empacotamento hexagonal vista em três dimensões (McClure, 2005).

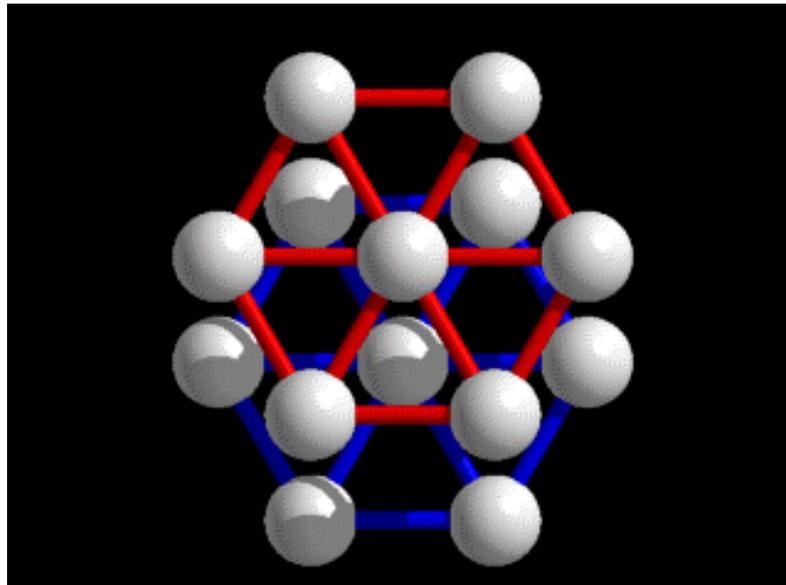


Figura 3.2 – Estrutura de empacotamento hexagonal vista planar (McClure, 2005).

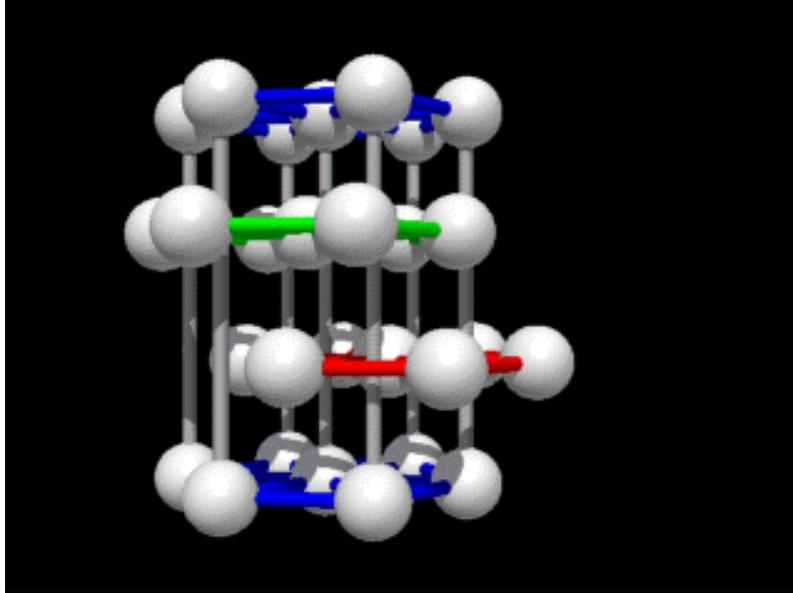


Figura 3.3 – Estrutura de empacotamento cúbico vista em três dimensões (McClure, 2005).

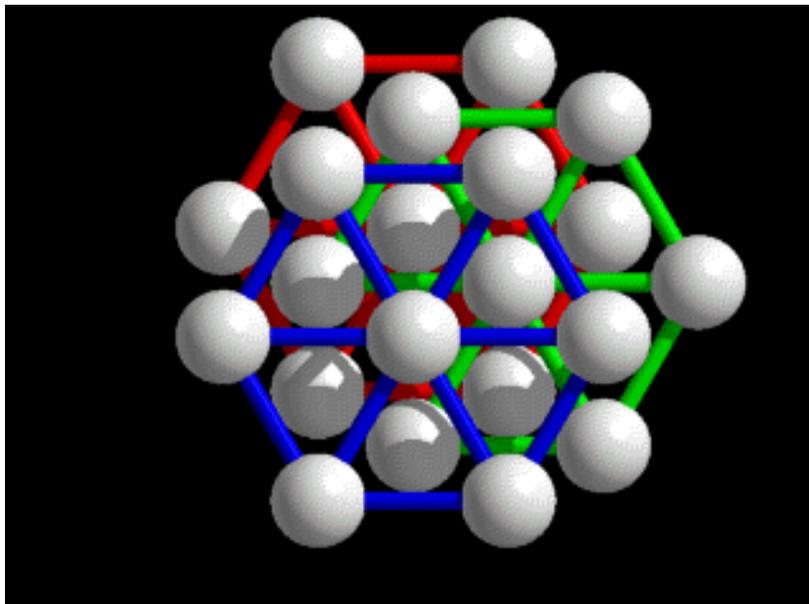


Figura 3.4 – Estrutura de empacotamento cúbico vista planar (McClure, 2005).

quando comparados aos principais minerais constituintes do minério, requerem atenção, pelos efeitos nocivos que podem causar no tratamento do minério, gerando lamas e arrastando consigo impurezas diversas, das quais as mais críticas são o fósforo e o alumínio.

3.1.1 Hematita

3.1.1.1 Características gerais

Fórmula química (α -Fe₂O₃)

Dados gerais. Frequentemente muito pura. O conteúdo de FeO, sem exceção, parece ser devido a magnetita misturada. Sistema hexagonal, classe trigonal-escalenoédrica. Os cristais são de morfologias muito diferentes podendo estar sob a forma de placas delgadas agrupadas em forma de rosetas; mais raramente podem ser nitidamente romboédricos, usualmente terrosa, também em configurações botrioidais a reniformes, micácea e laminada, especular. Dureza = 6, densidade = 4.9-5.3 e, em cristais puros, 5.2. Brilho metálico azul do aço, comumente variadamente embaçado nos cristais, e opaco nas variedades terrosas. Cor do traço vermelho.

Comportamento na microscopia de luz refletida. Muito brilhante e branca, pura quando não comparada a outros minerais. Em comparação com sulfetos amarelos, e especialmente com o ouro, a hematita aparece embaçada e muito mais acinzentada do que dá a impressão, quando em contrastes normais. Reflexões internas: vermelho intenso; no ar são visíveis, ocasionalmente; no óleo e/ou com nicóis cruzados, são abundantes.

Estruturas e texturas. Todas as propriedades estruturais são fortemente dependentes das condições de formação e, desta forma, completamente variáveis. Geralmente, existe uma forte tendência ao idiomorfismo. A hematita formada a altas temperaturas é, via de regra, desenvolvida sob a forma de cristais robustos. As que ocorrem em locais de contato metassomático são, com frequência, aproximadamente isométricas, por causa do desenvolvimento preferencial de $(10\bar{1}1)$ e $(22\bar{4}3)$. Ela é frequentemente

tabular e muitas vezes desenvolve-se sob a forma de lâminas delgadas, que são facilmente onduladas durante o processo tectônico (Ramdohr, 1980).

3.1.1.2 Características das hematitas da Mina de Alegria

É um dos minerais de ferro predominantes na jazida de Alegria, ocorrendo em várias gerações e formas, como por exemplo, em cristais octaédricos pseudomorfs da magnetita (martita), em cristais lamelares ou placóides (especularita) e em concreções e preenchimento de cavidades (Samarco, 2004).

A geração da martita a partir da magnetita pode acontecer por atuação de processos metamórficos ou por processos supergênicos. A martita metamórfica ocorre nas porções onde os processos supergênicos tiveram pouca atuação, e próximo às zonas de alta deformação, onde a migração de fluidos permitiu a difusão de átomos de oxigênio segundo planos do retículo cristalino da magnetita. A martita supergênica é o exemplar mineral mais abundante na jazida de Alegria, apresentando diferentes graus de alteração e, conseqüentemente, diferentes graus de porosidade.

A specularita ocorre em duas gerações principais. A principal ocorrência corresponde a cristais hipidiomórficos a idiomórficos de dimensões variando entre 0,02 e 0,3mm, orientados paralelamente ou subparalelamente ao plano da foliação principal definindo uma trama lepidoblástica ou milonítica, associada a zonas de alta deformação.

A segunda ocorrência de specularita possui cristais semelhantes aos da geração principal, porém de menor expressividade na jazida. Essas specularitas foram formadas, em ambiente de menor temperatura e pressão, pela recristalização e reorientação ao longo de uma foliação S2, gerada durante o dobramento da foliação principal S1.

Ocorre ainda geração de hematita com hábito coloforme causada pela dissolução e precipitação de óxidos de ferro no interior de cavidades em processo superficial que antecede, possivelmente, processos de goethitização e laterização.

3.1.2 Magnetita

3.1.2.1 Características gerais

Fórmula química ($\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$ ou Fe_3O_4) (Ramdhor, 1980).

Dados Gerais. Sistema isométrico, classe hexaoctaédrica. Frequentemente ocorre em cristais de hábito octaédrico, geminados ocasionalmente. Os dodecaedros são mais raros. Outras formas são raras. Usualmente maciça granular, com granulação grossa ou fina (Dana, 1981). Apresenta dureza = 5 ½ e densidade = 5,2 (variável). É fortemente magnética, opaca, brilho submetálico preto do ferro, com perceptíveis tons variados de marrom ou cinza, azul do aço em partes intemperizadas. No que concerne à estrutura, parece que a fórmula da magnetita deva ser mais apropriadamente escrita como $\text{Fe}^{3+}(\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+})\text{O}_4$, uma vez que o íon maior Fe^{2+} está, extraordinariamente, situado nos pequenos espaços tetraédricos dos oxigênios densamente empacotados (“estrutura de espinélio invertida”). Nas formas de alta temperatura, Fe^{2+} pode ser substituído por Mg, Mn, Zn, Ni, Ti; e Fe^{3+} por Al, Ti, V, Cr.

Comportamento na microscopia de luz refletida. A reflectividade é moderada; a primeira impressão de cor é um cinza, com tonalidades variáveis de marrom claro.

Físico-química. Magnetita é o óxido de ferro que, comparado com a hematita, vem a ser o mais estável a alta temperatura e baixa pressão de oxigênio, (o óxido de menor conteúdo em oxigênio, FeO (wüstita) é formado muito raramente em condições excepcionalmente redutoras e preservado somente por resfriamento extremamente rápido). Para geotermobarometria, magnetita pode somente ser utilizada raramente, e.g. se a pressão de oxigênio é conhecida, naquele caso em particular.

A deformação é muito comum. A magnetita frequentemente forma-se muito cedo e, por esta razão, tem muita oportunidade de sofrer deformação (Ramdhor, 1980).

3.1.2.2 Características das magnetitas da Mina de Alegria

É o óxido de ferro mais antigo presente nos minérios de Alegria e ocorre formando agregados com outros minerais de ferro, em níveis ou bandas que se intercalam com bandas quartzosas. Os cristais individuais são em sua maioria hipidiomórficos, variando de 0,05 a 5mm, na maioria das vezes martitizados e apresentando estrutura em treliça, típica do processo de martitização. Nas zonas de maior deformação ocorre definindo a superfície “S” da foliação milonítica ou como porfiroclastos contornados por especularita (Samarco, 2004).

O termo magnetita, para o complexo Alegria, refere-se àquela magnetita não estequiométrica e estudada por Morris (1983) nos minérios de ferro da Província de Hamersley, na Austrália, conhecida da literatura pela denominação de kenomagnetita.

3.1.3 Goethita

3.1.3.1 Características gerais

Fórmula geral α -FeOOH.

Dados gerais. A goethita é um mineral do sistema ortorrômbico, classe bipiramidal, com seus cristais de forma acicular, maciça, reniforme, estalactítica, em agregados fibrosos radiais. Apresenta clivagem {010} perfeita, dureza 5-5 $\frac{1}{2}$, densidade 4,3, brilho adamantino a opaco, podendo ser sedoso em algumas variedades finamente escamosas ou fibrosas. Sua cor varia de castanho-amarelada a castanho-escuro; amarela a vermelho-alaranjada em seções delgadas e, em luz refletida, apresenta-se cinza com anisotropismo moderado. Além da fórmula básica FeOOH, pode conter quantidades variáveis de água adsorvida, bem como Al₂O₃, CaO, BaO, SiO₂.

Ela é uniaxial negativa, a temperaturas normais, para comprimentos de onda entre 610 e 620 μ m e, frequentemente, ocorre em variedades fibrosas que podem mostrar efeitos ópticos anômalos. Difere da hematita por seu traço amarelo; em geral, ela tem

cor mais próxima de amarelada do que a lepidocrocita, que é amarronzada. Na desidratação, ela resulta em hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$).

Este mineral comumente ocorre como um produto de intemperismo de minerais de ferro, tais como a siderita, magnetita, pirita e outros. É normalmente formada sob condições oxidantes e engloba muito material classificado, até o momento, como limonita. Ela acumula-se como um precipitado direto, tanto de águas meteóricas, como marinhas (Deer et al., 1997).

Comportamento na microscopia de luz refletida. A cor e os valores da reflectividade variam bastante, dependendo do polimento, porosidade, tamanho de grão, etc. Massas finamente granuladas têm, pela frequência de reflexões internas translúcidas, reflectividade baixa. A birreflectância é pequena, mas sempre visível em grãos grossos. Esta modifica-se um pouco com a quantidade de água adsorvida. No ar, paralela à alongação, é cinza mais claro e cinza amarronzado; perpendicular, é parcialmente cinza claro, parcialmente mais escuro, e sendo a cor mais amarronzada em ambas as direções.

Trama. Propriedades internas dos grãos. Frequentemente, texturas características de gel cristalizado podem ser reconhecidas. As fibras cristalinas são sempre arranjadas perpendicularmente às superfícies das massas botrioidais ou do tipo crosta. Frequentemente, belas e ritmicamente alternadas conchas concêntricas, que estão conformantes com a superfície dos agregados, tornam-se visíveis, devido a pequenas variações no tamanho de grão, propriedades de polimento ou sensibilidade ao ataque de ácidos. Muito comumente, as fibras ocorrem em um arranjo radial. Localmente, a forma de outros minerais é exatamente retida por pseudomorfismo de óxidos hidratados de ferro. Entretanto, intercrescimentos cristalograficamente orientados com os minerais originais, só são raramente observados. Grandes cristais independentes são raros.

Substituições de quase todos os minerais portadores de ferro por goethita (limonita) são comuns, geralmente como resultado de intemperismo.

Limonita, classicamente conhecida da literatura como $\text{FeOOH}\cdot n\text{H}_2\text{O}$, tem seu nome derivado da palavra grega significando prado, em alusão à sua ocorrência nos pântanos ou brejos (Klein & Hurlbut, 1999).

Embora considerada originalmente como tendo uma fórmula definida ($2\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 3\text{H}_2\text{O}$), tem sido mostrado que ela constitui-se principalmente de goethita criptocristalina ou lepidocrocita ($\gamma\text{-FeOOH}$), podendo estar com baixa cristalinidade ou até amorfas, contendo água adsorvida: alguma hematita deve também estar presente (Shwertmann & Taylor, 1977). O nome limonita não é mais aceito como um nome de mineral, mas foi previamente usado na literatura de solos para descreverem-se acumulações de óxidos de ferro marrons, da cor da ferrugem. Este nome é reservado como um termo de campo ou para descrever óxidos hidratados de ferro pobremente cristalinos e de identidade desconhecida (Dana, 1981).

Análises de limonitas, além de mostrarem um conteúdo variável em água, frequentemente apresentam outros elementos, devido à íntima mistura de óxidos hidratados de ferro com sílica coloidal, fosfatos, argilominerais, produtos de decomposição orgânica e óxidos hidratados de alumínio (Dana, 1981).

Ramdohr (1980) descreve “limonita” como um termo empregado a uma rocha composta por uma massa de óxidos hidratados de ferro, quando não se quer dar referência à sua natureza mineralógica e homogeneidade. Rocha e Brandão (1996) sugerem que esse termo, “limonita”, deve ser guardado como um termo de campo, uma vez que o que na realidade se observa é uma goethita quimicamente impura, com consistência e finura terrosas e possuindo um grau de hidroxilação mais elevado.

3.1.3.2 Características das goethitas da Mina de Alegria

Juntamente com a hematita, é um dos minerais predominantes na jazida de Alegria. De acordo com Veríssimo (1999), nos itabiritos, afora os anfibolíticos, a goethita substitui quartzo, magnetita e martita. Nos itabiritos anfibolíticos a goethita substitui quartzo, magnetita e anfibólios ferríferos da série cummingtonita/grunerita.

Diferentes fases de goethita ocorrem, ainda, como veios, concreções, ou crostas secundárias, apresentando estruturas diversas (fibrorradiada, coliforme, maciça e criptocristalina) originadas pela precipitação de hidróxidos de ferro ao longo de descontinuidades, interstícios e espaços vazios, abertos por processos de dissolução e movimentações neotectônicas durante a evolução do relevo local (Veríssimo, 1999).

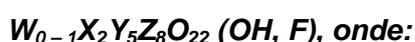
A geração principal de goethita e a nitidamente mais antiga, tem como característica a goethita substituindo o quartzo, óxidos e silicatos de ferro, aparentemente de forma mimética, sem alterar a estrutura original dos itabiritos. A substituição ocorre preferencialmente no centro dos cristais de magnetita, preservando lamelas de hematita (martita), resultando em uma textura esquelética, muito comum na jazida.

Além da goethita mais antiga, ocorrem ainda diferentes fases de goethita como veios, concreções ou crostas secundárias, apresentando estruturas diversas (fibrorradiada, coliforme, maciça criptocristalina), originadas pela precipitação de hidróxidos de ferro ao longo de descontinuidades e espaços vazios.

3.2 PRINCIPAIS ANFIBÓLIOS

Numerosos nomes foram dados aos anfibólios para distinguir suas pequenas diferenças na composição química e nas propriedades óticas. Não é de se surpreender que o grupo dos anfibólios tenha recebido tantas terminologias já que existe uma enorme dificuldade em identificar e classificar seus membros devido à vasta variedade de substituições atômicas possíveis de existir. O nome “anfíbólio” é perfeito para designar esse grupo de minerais e tem sua origem no grego *amphibolos*, que quer dizer ambíguo (Deer et al., 1997).

A composição química dos membros do grupo dos anfibólios pode ser expressa pela fórmula geral:



- W representa Na e K no sítio A;
- X significa Ca^{2+} , Na^+ , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} e Li^+ nos sítios M4;

- Y representa Mn^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} e Ti^{4+} nos sítios M1, M2 e M3;
- Z refere-se a Si^{4+} e Al^{3+} nos sítios tetraédricos.

Essencialmente, substituição iônica completa pode ocorrer entre Na e Ca e entre Mg, Fe^{2+} e Mn^{2+} . Há substituição limitada entre Fe^{3+} e Al e entre Ti e outros íons do tipo Y.

Há substituição parcial de Al por Si nos sítios tetraédricos das correntes duplas. Substituição parcial de F e O por OH nos sítios de hidroxila também são comuns.

Algumas séries comuns do grupo do anfibólio podem ser representadas composicionalmente no sistema químico $Mg_7Si_8O_{22}(OH)_2 \rightarrow$ antofilita; $Fe_7Si_8O_{22}(OH)_2 \rightarrow$ grunerita; " $Ca_7Si_8O_{22}(OH)_2$ " composição final de um membro hipotético. Uma série completa existe da tremolita, $CaMg_5Si_8O_{22}(OH)_2$, para a ferroactinolita, $Ca_2Fe_5Si_8O_{22}(OH)_2$. A composição comum de ocorrência da actinolita é geralmente sob a forma de um membro rico em Mg da série tremolita-actinolita. A antofilita, uma espécie ortorrômbica, representa o espaço composicional de $Mg_7Si_8O_{22}(OH)_2$ até aproximadamente de $Fe_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$. A série cummingtonita-grunerita é monoclinica e estende-se de aproximadamente $Fe_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$ até $Fe_7Si_8O_{22}(OH)_2$. A Figura 3.5 mostra o diagrama composicional para as séries de anfibólios.

A estrutura dos anfibólios é baseada em cadeias duplas de Si_4O_{11} que seguem paralelas ao eixo *c*. A estrutura contém vários sítios de cátions denominados *A*, *M4*, *M3*, *M2*, *M1*, bem como os sítios tetraédricos nas cadeias. O sítio *A* tem coordenações 10 a 12 com oxigênio e (OH) e aloja principalmente o Na e às vezes, pequenas quantidades de K. O sítio *M4* tem coordenação 6 a 8 e aloja cátions do tipo Y. Os Octaedros *M1*, *M2*, e *M3* acomodam cátions do tipo Y e dividem as bordas para formarem bandas octaédricas paralelas à *c*. *M1* e *M3* são coordenados por quatro oxigênios e dois grupos de (OH, F), enquanto que *M2* é coordenado por seis oxigênios.

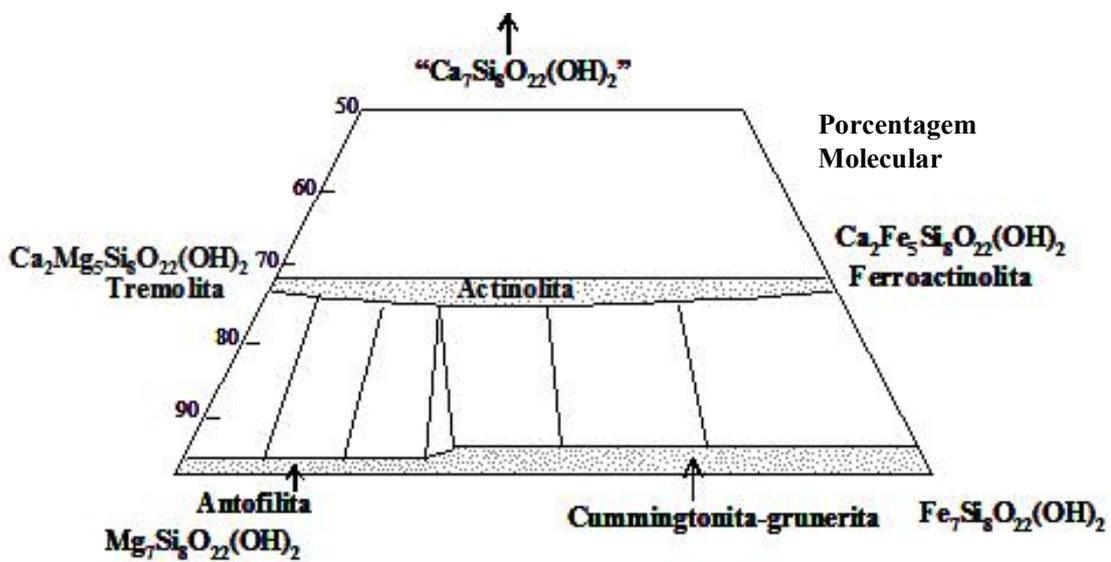


Figura 3.5 – Composição dos anfibólios no sistema $Mg_7Si_8O_{22}(OH)_2 - Fe_7Si_8O_{22}(OH)_2 - Ca_7Si_8O_{22}(OH)_2$ (Klein & Hurlbut, 1985).

A maioria dos anfibólios pode ser atribuída a um dos três grupos espaciais (Klein e Hurlbut, 1985): dois monoclinicos ($C2/m$ e $P2_1/m$) e um ortorrômbico ($Pnma$). A estrutura $C2/m$ é encontrada em todos os clinoanfibólios tais como a tremolita e hornblenda. O grupo espacial $P2_1/m$ é encontrado em algumas cummingtonitas ricas em manganês, próximas à composição $(Mg, Fe)_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$ e ocorrem porque o sítio $M4$ é de alguma forma colapsado para alojar os íons Mg e Fe^{2+} relativamente pequenos.

A classificação do grupo dos anfibólios é baseada na característica predominante do íon que ocupa a posição X na estrutura. Assim:

1. (Mg, Fe^{2+}) ocupando X : subgrupo da antofilita-cummingtonita. Os membros ortorrômbicos são a tremolita, gedrita, ferrogedrita e holmquistita. Os monoclinicos são a cummingtonita e grunerita.
2. Ca ocupando X : subgrupo dos anfibólios cálcicos ou da hornblenda. Os membros monoclinicos são a tremolita, ferroactinolita, hornblenda, kaersutita e bakervikita.
3. Na ocupando X : subgrupo dos anfibólios alcalinos. Os membros monoclinicos são a glaucofana, magnesioriebeckita, riebeckita, richterita, katoforita, magnesiokatoforita, eckermannita e arfvedsonita (Silva, 1995).

3.2.1 **Antofilita** $(Mg, Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$

Cristalografia – Sistema ortorrômbico; $2/m2/m2/m$. Raramente ocorre em cristais distintos. Comumente lamelar e fibrosa.

Propriedades Físicas – Clivagem $\{210\}$ perfeita. D $5\frac{1}{2}$ -6, d 2,85-3,2. Brilho vítreo, coloração cinza a várias tonalidades de verde, marrom e bege.

Composição e Estrutura – A antofilita faz parte de uma série de solução sólida desde $Mg_7Si_8O_{22}(OH)_2$ a aproximadamente $Fe_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$. Conteúdos elevados de Fe resultam na estrutura monoclinica da cummingtonita.

Feições Diagnósticas – Caracterizada pela cor marrom-cravo, mas a não ser sob a forma de cristais, não pode ser distinta da cummingtonita e grunerita sem difração de raios-X ou óptica. Corresponde a 5 na escala de fusão gerando um esmalte preto magnético.

Ocorrência – Antofilita é produto metamórfico de rochas ricas em Mg, tais como rochas ígneas ultrabásicas e folhelhos dolomíticos impuros.

3.2.2 Cummingtonita $(Mg, Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2 \leftrightarrow$ Grunerita $Fe_7Si_8O_{22}(OH)_2$

Cristalografia – Sistema monoclinico; $2/m$. Raramente ocorre em cristais distintos. Comumente fibrosa ou lamelar e muitas vezes radiada.

Propriedades Físicas – Clivagem $\{110\}$ perfeita. **D** $5\frac{1}{2}$ -6, **d** 3,1-3,6. Brilho sedoso, fibrosa, várias tonalidades de marrom claro; translúcida.

Composição e Estrutura – A série cummingtonita-grunerita estende-se de aproximadamente $Fe_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$ até o membro final $Fe_7Si_8O_{22}(OH)_2$. Membros com $Mg < Fe$ (porcentagem atômica) são referidos como cummingtonita; aqueles com $Fe > Mg$ como grunerita (na literatura, essa divisão é frequentemente adotada na proporção atômica de 30% de Fe).

Feições Diagnósticas – Caracterizada pela cor marrom claro e o hábito acicular frequentemente radiado. Pode ser impossível distinguí-la da antofilita ou gedrita sem testes ópticos ou de difração de raios-X.

Ocorrência – A cummingtonita é constituinte de rochas regionalmente metamorizadas e de metamorfismo de contato. Variedades ricas em Mg ocorrem em unidades metamórficas ricas em Mg. As gruneritas são características de formações ferríferas metamorizadas na região do Lago Superior e na calha do Labrador (Klein e Hurlbut, 1985).

3.2.3 **Tremolita** $\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2 \leftrightarrow$ **Actinolita** $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

Cristalografia – Sistema monoclinico; $2/m$. Cristais usualmente prismáticos. A tremolita é normalmente foliada e frequentemente ocorre sob a forma de agregados colunares radiados. Em alguns casos ocorre sob a forma de fibras sedosas. Grossa a finamente granular e compacta.

Propriedades físicas – Clivagem $\{110\}$ perfeita. **D** 5-6 e **d** 3,0-3,3. Brilho vítreo, frequentemente com brilho intenso sedoso na zona do prisma. A cor varia do branco ao verde na actinolita. A coloração intensifica e o peso específico aumenta com o aumento do conteúdo em Fe. É transparente à translúcida.

Composição e Estrutura – Há uma solução sólida completa entre a tremolita até a ferroactinolita. O nome actinolita é utilizado para membros intermediários. As estruturas dos membros da série tremolita-ferroactinolita são do tipo $C2/m$.

Feições Diagnósticas – Caracterizada por prismas delgados e uma boa clivagem prismática. Corresponde ao número 4 na escala de fusão e gera um vidro claro.

Ocorrência – A tremolita é encontrada mais frequentemente em calcários dolomíticos. A actinolita é um mineral característico da fácies xisto verde de metamorfismo.

3.2.4 **Glaucofana** $\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2 \leftrightarrow$ **Riebeckita** $\text{Na}_2\text{Fe}_3^{2+}\text{Fe}_2^{3+}\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

Cristalografia – Sistema monoclinico; $2/m$. Em cristais aciculares delgados; freqüentemente agregada; a riebeckita está algumas vezes asbestiforme.

Propriedades físicas – Clivagem $\{110\}$ perfeita. **D** 6 e **d** 3,1-3,4. Brilho vítreo. A cor varia de azul, azul-lavanda ao preto, sendo mais escura com o aumento do conteúdo em Fe. Traço varia de branco a azul claro. Translúcida.

Composição e Estrutura – Muito poucas glaucofanas têm composição próxima ao membro final $\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$, por causa de alguma substituição de Mg por Fe^{2+} e de Al por Fe^{3+} . Análises em riebeckitas não correspondem muito bem ao membro final da fórmula $(\text{Na}_2\text{Fe}_3^{2+}\text{Fe}_2^{3+}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2)$, pois a soma dos cátions X + Y é freqüentemente maior que 7 com o Na entrando no sítio vazio A. Uma série parcial existe entre a glaucofana e a riebeckita, com uma composição intermediária conhecida como crossita. A estrutura de ambos anfibólios sódicos são similares àquela da tremolita *C2/m*.

Feições Diagnósticas – Glaucofana e riebeckita são caracterizadas pelo *habitus* geralmente fibroso e pela cor azul. Corresponde ao número 3 na escala de fusibilidade.

Ocorrência – Glaucofana é encontrada apenas em rochas metamórficas tais como xistos, eclogitos e mármore. A ocorrência de glaucofana reflete baixa temperatura e condição de metamorfismo de relativa alta pressão em associação a jadeíta, lawsonita e aragonita. A riebeckita ocorre mais comumente em rochas ígneas tais como os granitos, sienitos, nefelina sienitos e pegmatitos relacionados. Está presente em alguns xistos originados de metamorfismo regional. A variedade asbestiforme é conhecida como *crocidolita*.

3.3 PSEUDOMORFISMO

A existência de um mineral apresentando a forma externa do cristal de outro mineral é conhecida como pseudomorfismo (Klein e Hurlbut, 1985). Se o cristal de um mineral é alterado de forma que a estrutura interna ou a composição química são modificadas, mas a forma externa é preservada, ele é denominado de um pseudomorfo (do grego “forma falsa”). A composição química e a estrutura de um pseudomorfo pertencem a uma espécie mineral, enquanto a forma do cristal corresponde a outro. Os pseudomorfos são normalmente definidos de acordo com a maneira com a qual foram formados, assim:

1. Substituição – Nesse tipo de pseudomorfos, há uma remoção gradual do material original e uma substituição simultânea e correspondente dele por um

outro sem que haja reação química entre ambos. Um exemplo comum é a substituição da sílica pelas fibras de madeira na formação da madeira petrificada. Outro exemplo é o quartzo, SiO_2 , após fluorita, CaF_2 .

2. Encrustação – Na formação desse tipo de pseudomorfo uma crosta de um mineral é depositada sobre cristais de outro mineral. Um exemplo comum é o do quartzo incrustando cubos de fluorita. A fluorita pode mais tarde ser carregada totalmente por solução, mas sua presença anterior é indicada pelos aspectos deixados no quartzo.
3. Alteração – Nesse tipo de pseudomorfo houve apenas uma adição parcial de um novo material ou a remoção parcial do material original. A modificação da anidrita (CaSO_4) em gipso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e a modificação da galena (PbS) em anglesita (PbSO_4) são exemplos de pseudomorfos alterados. Um relicto do mineral não alterado deve ser encontrado nesse tipo de pseudomorfos.

3.4 FORMAÇÃO FERRÍFERA BANDADA (BANDED IRON FORMATION - BIF)

Atualmente, em geral é aceito que este termo refere-se a “rochas finamente acamadadas ou laminadas, nas quais camadas de chert (ou seu equivalente metamórfico) alternam-se com camadas que são compostas principalmente de minerais de Fe” (James, 1983). Os minerais de Fe incluem hematita, magnetita e silicatos ou carbonatos, usualmente intercrescidos, até certo grau, com chert. Goethita é encontrada apenas em rochas intemperizadas.

Neste trabalho, o termo “BIF” geralmente refere-se às rochas ricas em óxidos, a partir das quais o volume principal dos minérios de Fe enriquecidos foi formado. Estas BIFs são algumas vezes descritas como consistindo inteiramente de quartzo e óxidos, possivelmente porque nenhuma amostra fresca estava disponível para um exame petrográfico. Um estudo mais detalhado, particularmente em amostras não intemperizadas, geralmente mostra evidências de ambos carbonatos e silicatos, mesmo que em menor proporção.

As formações ferríferas bandadas tipo Superior e Algoma ocorrem nas fácies óxido, silicato, carbonato e sulfeto, conforme as espécies minerais que concentram o ferro.

Segundo Biondi (2003), na fácies óxido, os minerais de minério são a magnetita e a hematita. O que se observa é que esses minerais associados a goethita são os principais minerais minérios encontrados nessa fácies. Essa fácies é a mais importante tanto volumétrica quanto economicamente. Na fácies carbonato, o ferro ocorre nos minerais siderita e ankerita e na fácies sulfeto ocorre, sobretudo como pirita. Quando metamorfsada, a fácies óxido transforma-se no *itabirito*¹, a fácies carbonato transforma-se em mármores sideríticos e a fácies sulfeto muda sua paragênese, sobretudo com a transformação da pirita em pirrotita.

A importância da fácies silicato das formações ferríferas é difícil de ser avaliada devido à complexidade da sua paragênese, o que dificulta a sua identificação. Os principais minerais diagenéticos dessa fácies são a greenalita (argilomineral semelhante às serpentinas, com espaçamento basal de 7Å) e o stilpnomelano. A chamosita é comum nos depósitos do proterozóico e a nontronita ocorre nos depósitos recentes. As fácies metamórficas de baixo grau têm minessotaíta (talco rico em Fe) e nas rochas mais ricas em Na, ocorrem crocidolita, amosita e riebeckita. As de grau alto têm piroxênios da série ferrohiperstênio – hedenbergita (Biondi, 2003). Segundo Klein (1983), muitas assembléias de formações ferríferas de origem de metamorfismo de médio grau são caracterizadas pelo desenvolvimento comum de anfibólios, na maioria membros da série cummingtonita-grunerita.

Os corpos mineralizados dos depósitos de *ferro tipo Superior* são camadas espessas de jaspilito (rocha sedimentar química constituída por uma alternância rítmica de bandas de hematita ou magnetita e sílica com espessuras milimétricas a centimétricas). Geralmente, os jaspilitos estão metamorfsados, transformados em itabirito e a hematita forma corpos mineralizados maciços e compactos.

O itabirito deve ser definido como uma “formação ferrífera bandada da fácies óxido, laminada e metamorfsada, na qual as bandas de chert ou jaspe originais foram recristalizadas em quartzo granular megascopicamente distinguível e na qual o ferro está presente como hematita, magnetita ou martita” (Dorr, 1964). Dolomita ou

¹ Itabirito – Termo de origem indígena significando “pedra de amolar”, empregado pela primeira vez na literatura geológica por Eschwege (1883, apud Guild, 1957), para descrever as rochas ricas em ferro da região de Minas Gerais e, mais tarde, por Dorr & Barbosa (1963), para definir as rochas caracterizadas pela alternância de bandas escuras, ricas em ferro – onde hematita e magnetita representam os principais minerais – com bandas claras, constituídas essencialmente de quartzo (Veríssimo, 1999).

anfíbólios, estes últimos comumente cummingtonita e tremolita, localmente substituem, em maior ou menor grau, o quartzo no itabirito. Onde a dolomita ou anfibólio são abundantes, a magnetita e seus produtos de oxidação também o são.

Para Door (1964), a rocha mãe de todos os minérios de ferro em Minas Gerais (Brasil) é o itabirito. Atualmente, o conceito de itabirito como rocha-minério está consagrado na literatura internacional como sinônimo de formação ferrífera bandada metamorfolizada.

3.5 MODIFICAÇÕES NAS BIFs POR PROCESSOS SUPERGÊNICOS CONTÍNUOS

O enriquecimento supergênico é um processo de preservação textural por substituição metassomática (Morris, 1985).

Os principais depósitos de minérios de ferro² *in situ* derivados de BIFs do mundo formaram-se inicialmente ou totalmente por enriquecimento supergênico. O processo envolve recolocação metassomática da ganga por óxidos hidratados de ferro derivados dos afloramentos atualmente erodidos, aliado à lixiviação sem recolocação. Os óxidos hidratados de ferro cristalizaram-se principalmente como goethita (Morris, 1985).

Exposta à superfície, as rochas são intemperizadas. O processo inicia-se com a hidratação, oxidação e hidrólise dos minerais na zona de oxidação, onde há circulação intensa de água meteórica, o pH é neutro a ácido e o Eh é neutro a oxidante. Os silicatos são, em parte, solubilizados e as substâncias solúveis são carregadas para fora do sistema, causando o rebaixamento da superfície. As substâncias insolúveis permanecem e passam a se concentrar residualmente. A continuação desse processo gera, após um longo período de atividade, os depósitos residuais, dentro da zona de oxidação (Biondi, 2003).

Na maior parte das vezes, os processos de concentração residual e supergênica se desenvolvem concomitantemente, embora com mecanismos diferentes. O processo de concentração residual se desenvolve quando o intemperismo das rochas causa a

² No presente trabalho, minério de ferro ou minério, quando usado sozinho irá indicar material derivado de BIF e de importância econômica, no qual o conteúdo em Fe é geralmente maior que 30%, como um resultado de enriquecimento natural.

lixiviação de várias substâncias que a compõem e a preservação de outras. As substâncias não lixiviadas têm seus teores aumentados por se concentrarem como resíduos da lixiviação, caracterizando a concentração residual (Biondi, 2003).

Os minérios inicialmente supergênicos consistem predominantemente de três componentes: kenomagnetita, hematita e hidróxidos de ferro (principalmente goethita). Hematita, se presente como remanescente primária da formação ferrífera bandada ou derivada da oxidação da magnetita, é geralmente bem cristalizada. Os óxidos hidratados são principalmente posteriores ao chert, aos carbonatos e aos silicatos. Esses pseudomorfos variam tanto em cor como em textura. Goethitas “terciárias” preenchendo vazios estão presentes também, mas durante essa fase inicial de enriquecimento, hematita secundária diferente de martita, parece ser mais rara (Morris, 1985).

Em direção ao final do estágio inicial de formação do minério, os últimos resíduos de afloramento de BIFs tornam-se muito lixiviados em ferro para que o processo de enriquecimento continue em profundidade. Conseqüentemente, as águas que estão adentrando as zonas de minério nesse momento serão insaturadas em ferro e irão tender a lixiviá-lo do minério. Observações consistentes dos minérios de Hamersley, no oeste da Austrália, mostram que a goethita é mais prontamente dissolvida por águas subterrâneas do que a hematita. Isso se dá, provavelmente, devido à natureza microcristalina da goethita (Smith e Eggleton, 1983) que efetivamente proporciona uma área superficial muito maior para ser atacada. Porque o ferro férrico é virtualmente insolúvel em água subterrânea oxigenada na faixa de pH variando de 3-9, assume-se que condições especiais são requeridas para que uma lixiviação substancial de goethita ocorra. Isso provavelmente inclui: 1 – fluxo persistente de água por longos períodos sem condições de estagnação, como é indicado pela ausência de goethita reprecipitada em minérios lixiviados; 2 – formação de complexos de ferro férrico ou redução das condições ácidas para formação de Fe^{2+} , cada qual podendo ser devido à presença de matéria orgânica (Morris, 1985).

A lixiviação tende a seguir uma sequência bem definida. Goethita, após kenomagnetita e quartzo, parece ser prontamente lixiviada provavelmente sobreposta pelas partes menos cristalinas dos ex-silicatos. Esse processo é seguido dos ex-silicatos que provavelmente também têm uma sequência de alteração determinada pela afiliação –

por exemplo, pseudomorfos de talco ou minessotaíta parecem ser os mais resistentes, mas a sequência de ex-silicatos não é facilmente determinada por causa da dificuldade em reconhecer-se a espécie original (Morris, 1985).

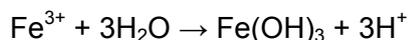
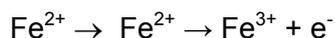
As alterações dos mais importantes componentes, sílica e óxidos de ferro, têm sido muito estudadas, mas ainda existem áreas de controvérsia em muitos aspectos dos sistemas naturais. Pouca informação é disponível sobre a alteração de silicatos ricos em ferro e carbonatos das formações ferríferas (Morris, 1983).

Uma vez que os processos de enriquecimento envolvem solução e substituição, todos os minérios supergênicos contêm uma proporção significativa de vazios preenchidos ou bordejados por goethita “terciária”. Essa goethita pode também ser lixiviada e produzir texturas próprias. Similarmente, em minérios mais maduros nos quais a goethita foi recristalizada até o estágio em cujo qual os pseudomorfos originais não são mais reconhecíveis, a lixiviação seletivamente remove os hidróxidos intersticiais menos cristalinos entre as ripas radiais das esferas deixando a goethita melhor cristalizada como agulhas projetadas (Morris, 1985).

Goethita pseudomórfica de chert, silicatos e carbonatos são algumas vezes encontradas desidratadas em uma hematita finamente granulada. Isso parece estar associado a uma longa exposição do minério acima do nível do lençol freático e nos depósitos de Hamersley parece prevalecer próximo ou na superfície. A desidratação da goethita é um processo seletivo e progressivo. Goethita após o quartzo parece ser o componente mais facilmente transformado, seguido de ex-silicatos e finalmente dos ex-carbonatos (Morris, 1985).

Na Formação Ferrífera de Marra Mamba, na província de Hamersley, a substituição pseudomórfica dos silicatos e carbonatos por goethita e a subsequente lixiviação diferencial desses pseudomorfos, dá origem ao característico minério ocre-amarelado (Morris, 1985).

Estudos petrográficos em ambos carbonatos e silicatos sugerem que a substituição procede geralmente de dentro dos grãos, nas superfícies de clivagem e não nas bordas externas, como no caso do chert (Morris, 1985). Produção de H^+ dentro dos grãos como resultado da oxidação do



parece acentuar a dissolução, particularmente se, nos silicatos, concomitante hidratação causa expansão da estrutura mineral, como encontrado experimentalmente para o stilpnomelano (Morris, 1985).

3.6. TIPOS DE JAZIDAS EM MINAS GERAIS

Segundo Dorr II (1964a), existem cinco tipos gerais de jazidas de importância comercial em Minas Gerais. Cada tipo produz minério de uma natureza diferente e cada qual ocorre em corpos de formas diferentes.

1) Depósito hipogênico de substituição - este tipo de depósito, formado pela substituição do quartzo dos itabiritos por óxidos de ferro, carreados para o local da formação do minério por fluidos quentes originados em profundidade, produzem os famosos depósitos de hematita de alto teor do Brasil. O minério formado desta maneira comumente contém mais de 66% de ferro e localmente se aproxima da pureza teórica da hematita. O teor destes depósitos não diminui com a profundidade.

2) Depósitos supergênicos de substituição - estes depósitos são formados pela substituição do quartzo e outros minerais do itabirito, pelo ferro trazido por soluções frias originárias na superfície da terra. O mineral que substitui é normalmente a goethita, mas maghemita³ ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), hematita ou lepidocrocita ($\gamma\text{-FeOOH}$)⁴ podem também estar presentes. Estes são geralmente pouco profundos, diminuindo o teor com a profundidade e comumente são de teor mais alto em fósforo do que outros tipos de minério.

³ Maghemita é uma forma metaestável de Fe_2O_3 , com a estrutura de magnetita. Do ponto de vista estrutural, seria bem mais apropriado denominá-la como uma magnetita deficiente em ferro (Ramdohr, 1980).

⁴ Lepidocrocita é dimorfa com a goethita e ocorre com ela (Dana, 1981). É mais rara que a goethita e forma-se preferencialmente a partir da pirita e da arsenopirita e mesmo aí, associada à goethita (Ramdohr, 1980).

3) Depósitos de enriquecimento residual - a lixiviação supergênica de rochas ricas em ferro, tais como o itabirito, por soluções frias originárias na superfície da terra, pode produzir minérios de médio teor e alguns de alto teor. Normalmente quartzo e/ou dolomita são removidos da formação ferrífera, deixando a hematita relativamente insolúvel, resultando em enriquecimento residual e na desagregação da formação ferrífera. Tais depósitos normalmente estão sotopostos e passam gradativamente aos do tipo 2. Estão intimamente relacionados à superfície topográfica atual e o teor do minério diminui gradativamente com a profundidade.

4) Minério detrítico ou coluvial - é um depósito superficial de hematita compacta, normalmente de poucos metros de espessura, derivado de jazidas do tipo 1 ou itabirito enriquecido de depósitos do tipo 2 e 3. O material pode ser transportado por deslizamento ou por água corrente, ou em alguns casos, por colapso geral dos depósitos mais importantes. O material é denominado “rolado”.

5) Certos corpos de minério residuais, isto é, por causa da grande resistência da hematita densa para a intemperização química, blocos de hematita compacta podem ser arrastados para cima de outras rochas por erosão química e mecânica das rochas mais moles e menos resistentes que os suportam.

6) Canga - os depósitos de canga podem originar-se de uma combinação de um ou mais dos processos 2, 3, 4 e 5 com a introdução de goethita terrosa como material cimentante ou de substituição.

3.7 OS MINÉRIOS DE FERRO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

Os minérios de ferro do Quadrilátero Ferrífero são normalmente diferenciados considerando sua constituição mineralógica, química e granulométrica. Dependendo da composição dos minerais neles presentes, os itabiritos dividem-se em: 1) normais ou comuns (bandas ricas em quartzo e óxidos de ferro) e 2) dolomíticos (bandas com anfibólios e óxidos de ferro). Subordinadamente são descritos, ainda, 3) itabiritos anfibolíticos-carbonáticos, nos quais variam as proporções de anfibólio, quartzo, carbonatos, hematita e magnetita (Mina de Timbopeba) e 4) itabiritos manganésíferos

(Mina de Miguel Congo), com teores de manganês variando entre 1% e 5% que, por alteração, geram minérios de ferro-manganês (Veríssimo, 1999).

A classificação mais comum dos minérios, amplamente empregada e visando ao aproveitamento econômico, leva em consideração os teores relativos de ferro. As hematitas correspondem ao minério de alto teor (64-67% de Fe), enquanto os itabiritos correspondem, na maioria dos casos, ao protominério e apresentam teores muito variados (30-60%) de Fe em função do grau de dessilicificação e enriquecimento residual em ferro. Em algumas minas (Águas Claras, Mutuca e Pico) chamam-se itabiritos ricos aos minérios itabiríticos que apresentam teores intermediários (45-64%) de ferro.

Outro critério de classificação tão importante quanto o da constituição químico-mineralógica baseia-se nas propriedades física dos minérios e é utilizado para definir a forma de utilização desses na siderurgia. Assim, conforme o grau de compactidade, itabiritos e hematitas diferenciam-se em duros (as) ou compactos (as), friáveis, moles e pulverulentos (as). Esses termos são empregados de maneira sistemática para caracterizar as massas de minério de ferro nas jazidas, principalmente no Distrito Ferrífero de Itabira e em outras minas da porção leste do Quadrilátero (Alegria, Timbopeba e Capanema).

3. 8 MINÉRIOS E MINERAIS DE FERRO DA MINA DE ALEGRIA

Na região de Alegria afloram quase todas as unidades do Supergrupo Minas e do Grupo Itacolomi, representadas pelas formações Moeda, Batatal, Cauê e os Grupos Piracicaba, Sabará e Itacolomi. Estão presentes diques e soleiras de rochas básicas e ainda, crostas lateríticas e depósitos de tálus (Samarco, 2004).

A Formação Cauê caracteriza-se por apresentar formações ferríferas bandadas do tipo Lago Superior metamorizadas (itabiritos silicosos ou normais, itabiritos dolomíticos, itabiritos anfíbolíticos) e filitos. O ambiente deposicional dos sedimentos ferríferos originais pode ser considerado como tendo sido uma plataforma continental, onde a precipitação química se deu em grandes períodos transgressivos, ocorrendo deposição de sedimentos de fácies óxido, silicato e carbonato (Samarco, 2004)

As transformações mineralógicas e texturais dos minérios de Alegria encontram-se fortemente vinculadas às condições de temperatura e pressão que acompanharam os processos tectônicos e aos processos de origem intempérica e supergênica mais recentes, além é claro, de variações intrínsecas às condições de deposição da formação ferrífera. Dessa forma, ao final da atuação desses processos, tem-se como resultado uma gama variada de tipos de minérios de ferro e rochas associadas.

Ocorrem na jazida de Alegria, minérios hematíticos (>64% Fe) friáveis e compactos e minérios itabiríticos (de 30 a 64% Fe) friáveis e pulverulentos. Os itabiritos apresentam assembléias variadas em relação à predominância de um, dois ou mais dos minerais-minérios: especularita (hematita especular ou lamelar), martita (hematita martítica), goethita e magnetita, além de quartzo, argilominerais e minerais acessórios. Além disso, ocorrem os itabiritos anfibolíticos que apresentam pseudomorfos de anfibólio da série cummingtonita-grunerita, pseudomorfizados para goethita (Veríssimo, 1999).

As assembléias mineralógicas, onde estão presentes a hematita (especular ou martítica), magnetita e quartzo, sugerem uma origem de formações ferríferas da fácies óxido, enquanto que os itabiritos anfibolíticos se originam, provavelmente, de formações ferríferas da fácies silicato ou óxido-silicato, contendo intercalações e impurezas carbonáticas (Veríssimo, 1999).

3.9 EVOLUÇÃO TECTONO-METAMÓRFICA DOS MINÉRIOS DE FERRO DA MINA DE ALEGRIA

Durante os estágios iniciais de desenvolvimento da foliação principal S1, gerada na primeira fase de deformação, iniciou-se a geração de magnetita e de grunerita, juntamente com o quartzo e, mais raramente, turmalina e moscovita. Ainda durante essa fase, ocorre geração de especularita associada a zonas de maior deformação com desenvolvimento de estruturas S-C, com as superfícies tendendo, progressivamente, ao paralelismo (Veríssimo, 1999).

O aumento da fugacidade do oxigênio, associado à mobilização de fluidos, pode ter contribuído para a geração de martita metamórfica a partir da magnetita, ao final dessa

fase. A presença de cristais estirados de magnetita martitizada associada a especularita, em zonas de alta deformação, reforça essa hipótese (Veríssimo, 1999).

Durante a segunda fase de deformação, ocorre recristalização de novas gerações de especularita, grunerita e, mais raramente, sericita, originada por processos de dissolução por pressão, causados pela deformação (dobramento). Nessa fase prossegue a formação de quartzo, a sericita substitui a moscovita, e pode ter ocorrido a formação de martita a partir da magnetita.

Na terceira fase de deformação, sob um regime rúptil-dúctil, ocorre formação localizada de especularita, quartzo e sericita ao longo das foliações S1 e S2 e em veios e planos de falha.

Tardiamente aos processos tectono-metamórficos, causadores das transformações mineralógicas até aqui mencionadas, ocorrem processos superficiais (intempéricos) responsáveis pela substituição da magnetita por hematita (martita) e pela formação de goethita e argilominerais.

3.10 TIPOLOGIA DOS MINÉRIOS DE FERRO DA MINA DE ALEGRIA – SAMARCO MINERAÇÃO S.A.

3.10.1 Histórico da tipologia na Samarco

Desde 1977 a Samarco Mineração S.A. realiza a lavra e o beneficiamento de minério de ferro itabirítico, localizado nos municípios de Mariana e Ouro Preto (MG) e o tratamento do concentrado obtido, no município de Anchieta (ES). Atualmente, a Samarco lavra e blenda o minério de três minas do complexo Alegria, conhecidas como Alegria 3/4/5, Alegria 1/2/6 e Alegria 9. As principais etapas dos processos da Samarco são a britagem, moagem, deslamagem, flotação convencional, remoagem, flotação em coluna, bombeamento por mineroduto, filtragem da polpa, pelotamento e queima das pelotas.

A Samarco iniciou suas atividades lavrando e beneficiando um corpo de minério muito homogêneo (Mina do Germano) quanto às suas características químicas, físicas e mineralógicas (minério essencialmente especularítico). Até 1992, a lavra era realizada apenas nessa mina e o desenvolvimento tecnológico ocorrido nesse período, levou a empresa a atingir patamares ótimos de produção e de qualidade. O modelo geológico-tipológico existente para essa jazida era relativamente simples e a divisão dos tipos de minério era baseada em variáveis físicas, químicas e testes de processo de concentração. Esses minérios apresentavam, no geral, grande facilidade de flotação, pequena geração de lama e boa recuperação metálica global.

Com a exaustão da Mina de Germano, a Samarco passou a lavrar uma de suas áreas localizada no Complexo de Alegria denominada Alegria 3/4/5. As dificuldades de processamento dos minérios cresceram enormemente devido à grande diversidade entre os tipos de itabiritos, relativamente às suas características físicas e principalmente com relação à composição mineralógica. Dificuldades de cominuição do minério e grande geração de lama, em função de uma maior hidratação dos itabiritos, afetaram drasticamente a “performance” do processo de flotação. Da mesma forma, houve necessidade de ajuste das variáveis dos processos de filtragem, misturamento, pelotamento e queima das pelotas, de modo a garantir produtividade e qualidade física, química e metalúrgica do produto final.

Em 1992 e 1994, foram propostos modelos geológico-tipológicos tridimensionais para as jazidas de Alegria 3/4/5 e Alegria 1/2/6, respectivamente. Os critérios principais utilizados para a divisão dos diferentes tipos de minério consistiam na identificação do mineral predominante e nas características físicas dos itabiritos. A metodologia de trabalho envolveu mapeamentos sistemáticos das jazidas, realizados por Hasui et al. (1993 e 1994) para Alegria 3/4/5 e Grossi et al. (1994) para Alegria 1/2/6. Foram efetuados trabalhos de redescrição de testemunhos de sondagem e a realização de análises (granulométricas, químicas e mineralógicas) e testes (flotação) nas amostras.

Assim, os tipos de itabirito foram classificados como itabiritos martílicos, especularíticos, goethíticos e magnetíticos de acordo com o mineral predominante e o itabirito portador de pseudomorfos de anfibólio, como itabiritos anfibolíticos. Quanto às características físicas (consistência), foram classificados como friáveis, intermediários e compactos.

Tendo como premissa básica essa filosofia de modelamento tipológico, foi possível, a partir da disponibilidade de um maior número de informações de análises físicas, químicas e mineralógicas de novos furos de sonda, realizar um refinamento da caracterização proposta em 1994. Notou-se que para as áreas de Alegria 3/4/5, Alegria 1/2/6 e Alegria 9, apesar de existir a predominância de um mineral em relação aos outros, é comum a presença de um segundo ou até de um terceiro mineral com percentuais elevados. Essa assembléia mineralógica confere ao minério características físicas, químicas e de comportamento no processo muito diferentes dos materiais com franco predomínio de apenas um mineral. Assim, passou-se a adotar a classificação baseada em associações mineralógicas para as jazidas e os modelos tipológicos propostos para Alegria 3/4/5 (1992) e Alegria 1/2/6 (1994), foram reinterpretados baseados na nova classificação (Costa et al., 1998).

Todos os tipos de minério das três áreas foram testados nas etapas dos processos de concentração e pelotização. Essas informações em conjunto com o conhecimento da localização espacial dos diversos tipos de minério nas jazidas (através das seções verticais e horizontais), auxiliam o planejamento de lavra e controle de qualidade na geração de *blendings* de minério adequados a produzirem concentrados e pelotas de qualidade.

3.10.2 Principais tipos de minério das minas de Alegria

A interpretação geológica das minas de Alegria e a determinação da tipologia das mesmas são feitas baseadas nas informações advindas dos furos de sondagem e mapeamentos de campo.

As minas de Alegria 1/2/6, Alegria 3/4/5 e Alegria 9 apresentam grande diversidade de tipos de minério (itabirito). Em Alegria 3/4/5 ocorrem no topo da formação ferrífera: 1) itabiritos anfíbolíticos e dolomíticos alterados; 2) itabiritos silicosos friáveis do tipo “chapinha”, com composição mineralógica variando de especularítico-martítica a martítico-especularítica e podendo apresentar quantidades consideráveis de goethita; 3) itabiritos especularíticos; 4) itabiritos martítico-goethíticos; 5) itabiritos magnetíticos;

6) itabiritos goethíticos; 7) itabiritos especularíticos-goethíticos e 8) itabiritos martítico-especularítico-goethíticos.

A área de Alegria 1/2/6 pode ser dividida, em termos de predominância de tipos de minério, em duas áreas. Em Alegria 2, ocorrem itabiritos especularíticos, especularítico-goethíticos e em menor proporção, itabiritos martítico-especularítico-goethíticos, magnetíticos e martítico-goethíticos. Nessa área, ocorre grande lente de hematita compacta, circundada por porções de hematita friável a pulverulenta (brechas), que aflora na topografia atual da mina e se estende, em profundidade, por mais de 100m.

Entre as áreas de Alegria 2 e Alegria 1/6, ocorre uma camada espessa de itabirito anfibolítico argiloso em contato direto (basal) com a lente de hematita descrita acima. Na área de Alegria 1/6, predominam os itabiritos martítico-especularítico-goethíticos, itabiritos martítico-goethíticos, itabiritos anfibolíticos e itabiritos magnetíticos.

A área de Alegria 9, de forma geral, apresenta os itabiritos que podem ser agrupados em três domínios geológico-tipológicos distintos: o primeiro localizado a oeste, onde se encontram os itabiritos menos hidratados e, portanto, mais especularíticos (martíticos-especularíticos e especularíticos-martíticos). O segundo, localizado na região mais central, é composto principalmente por itabiritos anfibolíticos, martíticos-goethíticos e martíticos, sendo então um domínio mais hidratado e onde a especularita está praticamente ausente. No terceiro domínio, localizado a leste, a especularita volta a estar presente em grandes proporções, podendo chegar a ser o único mineral predominante.

Segundo Samarco (2004), de forma geral, a descrição dos tipos de itabirito presentes nas áreas de Alegria é dada a seguir:

Itabirito martítico (IM)

Macroscopicamente, esse tipo normalmente apresenta coloração cinza escuro fosca, podendo apresentar intercalações de lâminas avermelhadas (hematita alterada). Caracteriza-se pela presença de martita como mineral-minério predominante, proveniente da alteração da magnetita. A goethita, a especularita e a magnetita estão

presentes em porcentagens inferiores a 15%. O mineral da ganga é principalmente o quartzo. Apresenta densidade média de 2,34g/cm³ para Alegria 9 e 2,50g/cm³ para Alegria 3/4/5. Usualmente é friável podendo localmente estar pulverulento. Está presente em praticamente todas as áreas de Alegria.

Itabirito martítico-especularítico (IME)

Apresenta coloração variando de cinza a cinza azulada brilhante. Caracteriza-se pela presença de martita e specularita sendo a primeira mais abundante que a segunda. Normalmente a goethita está presente em porcentagens inferiores a 15% e a magnetita está sob a forma de traços. O mineral da ganga é principalmente o quartzo, podendo conter quantidades pequenas de caulinita. É um tipo muito expressivo na área de Alegria 9 estando normalmente friável e apresentando densidade média 2,59g/cm³.

Itabirito specularítico-martítico (IEM)

Rocha de coloração cinza azulada brilhante. Ao olho desarmado, diferencia-se do IME, descrito anteriormente, pelo brilho um pouco mais intenso indicando a maior abundância da specularita relativamente à martita. É o inverso do itabirito martítico-especularítico. Neste caso, caracteriza-se pela presença de specularita e martita, sendo a primeira mais abundante que a segunda. Normalmente a goethita está presente em porcentagens inferiores a 15% e a magnetita está sob a forma de traços. O mineral da ganga é principalmente o quartzo e, como os itabiritos IME, pode apresentar quantidades pequenas de caulinita. Está presente em praticamente todas as áreas excetuando-se Alegria 1/26. A sua densidade média varia de 2,59g/cm³ em Alegria 9 e 2,50g/cm³ em Alegria 3/4/5 e apresenta-se principalmente friável.

Itabirito specularítico-goethítico (IEG)

Apresenta coloração cinza amarronzada um pouco brilhante. É constituído de specularita e goethita. A martita apresenta-se em quantidade inferior a 15%. Em

algumas amostras foi constatada a presença significativa de magnetita (entre 15% e 40%). Apresenta quartzo como principal mineral da ganga. A densidade média desse tipo é de $2,93\text{g/cm}^3$, normalmente está friável e está presente em Alegria 1/2/6.

Itabirito martítico-especularítico-goethítico (IMEG)

Sua coloração é cinza um pouco amarronzada. Diferentemente dos outros tipos, este itabirito é constituído pelos três minerais: specularita, martita e goethita. Os três constituintes mineralógicos apresentam-se em quantidades semelhantes. O quartzo é o principal mineral da ganga. É um tipo presente em Alegria 3/4/5 e Alegria 1/2/6. Normalmente é friável podendo estar localmente compacto. Sua densidade média varia de $2,60\text{g/cm}^3$ em Alegria 1/2/6 a $2,79\text{g/cm}^3$ em Alegria 3/4/5. Quando a specularita está um pouco mais abundante que os demais constituinte, a densidade média passa a $2,93\text{g/cm}^3$ (Alegria 3/4/5).

Itabirito specularítico (IE)

Trata-se de um tipo predominantemente specularítico de coloração azul brilhante. A specularita está presente em quantidades superiores a 75%. Os outros 25% restantes são constituídos por martita e goethita. O mineral da ganga é principalmente o quartzo, podendo conter quantidades variáveis de caulinita. Está presente em Alegria 3/4/5 não sendo muito abundante. É normalmente pulverulento e apresenta densidade média $3,44\text{g/cm}^3$.

Itabirito anfibolítico (IA)

É um tipo abundante nas três áreas e é reconhecido pela presença de anfibólios alterados a goethita e, menos frequentemente, a quartzo, além da sua coloração típica castanha (ocre) acinzentada. Além dos pseudomorfos de anfibólio, podem estar presentes ainda martita, goethita botrioidal, goethita terrosa, specularita e magnetita.

A goethita (pseudomorfa + botrioidal + terrosa) e a martita são os minerais essenciais desta rocha. Ora a goethita é o mineral predominante, ora a martita o é. Quanto à especularita e à magnetita, estas estão presentes em menor proporção.

O principal mineral da ganga é o quartzo, que segundo Souza Junior (1994), apresenta-se liberado em todas as faixas granulométricas inferiores a 0,149mm (100#).

Normalmente, os itabiritos anfíbolíticos apresentam altos teores de P e Al (reportado como Al_2O_3). Por terem a goethita como um dos principais minerais, apresentam também um alto grau de PPC (perda por calcinação). Uma vez que até o presente momento não foram identificados minerais portadores de fósforo, como é o caso dos fosfatos, a presença do P está associada principalmente aos minerais hidratados de ferro (goethita). Isso foi determinado por Rabelo (1994) que estudou a localização desse elemento nos minérios de ferro da Mina de Alegria 3/4/5 e posteriormente, comprovado por Souza Junior (1994) em seus estudos nos itabiritos anfíbolíticos de Alegria. Ambos utilizaram, principalmente, a microscopia óptica e a microscopia eletrônica de varredura com microanalisador EDS para auxiliar na localização desse fósforo. O mesmo pode ser dito do alumínio, quando não são observados minerais portadores deste elemento (i.e. caulinita e mica) (Rocha, 1997).

Essa rocha pode apresentar-se friável ou compacta e apresenta densidade média variando de $2,15g/cm^3$ em Alegria 3/4/5 e Alegria 9 e $2,24g/cm^3$ em Alegria 1/2/6. As Figuras 3.6, 3.7 3.8 e 3.9 ilustram fotografias de amostras de mão de itabiritos anfíbolíticos.

Os silicatos de ferro da série cummingtonita-grunerita, pseudomorfizados para goethita, representam o mineral dominante dos itabiritos anfíbolíticos. O hábito fibroso e acicular bem desenvolvido, assim como o alto conteúdo em ferro e baixo em alumínio, sugerem tratar-se do membro final rico em ferro (teores da ordem de 70 a 90%) – a grunerita.



Figura 3.6 – Fotografia de testemunho de sondagem da mina de Alegria 1/2/6 apresentando o aspecto fibroso dos pseudomorfos de anfibólio. Os pseudomorfos de coloração branca são quartzo e em cor castanha, goethita.



Figura 3.7 – Fotografia de uma amostra de mão de itabirito anfibolítico de Alegria 9 mostrando a coloração ocre amarronzada típica dos itabiritos anfibolíticos com a presença de goethita fibrosa pseudomórfica de anfibólio.



Figura 3.8 – Fotografia de uma amostra de mão de itabirito anfibolítico de Alegria 9 mostrando a alternância de bandas de coloração ocre, compostas por goethita pseudomórfica de anfibólio, alternadas com bandas cinza amarronzadas compostas principalmente por martita e goethita.



Figura 3.9 – Fotografia de uma amostra de mão de Alegria 1/2/6 mostrando itabirito anfibolítico finamente bandado onde se observam bandas claras compostas principalmente por quartzo (que pode ser pseudomórfico de anfibólio), alternadas com bandas amarronzadas compostas principalmente por goethita (pseudomórfica ou não) e martita.

Duas gerações desse mineral foram observadas: 1) uma associada a planos de maior deformação, exibindo hábito acicular alongado e outra 2) formada em condições de temperatura e pressão mais baixas, relacionadas a planos de foliação S_2^5 e desenvolvida durante a formação das dobras D_2^6 . Localmente, os cristais desta segunda geração podem apresentar hábito acicular fibrorradiado.

Até recentemente, não havia sido registrada a presença de anfibólio inalterado (relictos) nos itabiritos anfibolíticos da Mina de Alegria. Somente a partir de 2005, quando as campanhas de sondagem atingiram regiões mais profundas das rochas pesquisadas, é que se começou a encontrar itabiritos esverdeados, que após serem analisados, foram caracterizados como itabiritos anfibolíticos frescos. Porém, Já era de conhecimento a presença de itabiritos contendo anfibólios frescos em áreas do Quadrilátero Ferrífero. Na Mina de Timbopeba (Ouro Preto – MG), Silva (1995) em seu trabalho de mestrado relata a presença de cummingtonita (inclusões em quartzo) nos itabiritos anfibolíticos por ele estudado. Sabe-se também, através de informações verbais, da ocorrência de itabiritos anfibolíticos frescos, de coloração esverdeada e contendo bandas ricas em anfibólio, em áreas localizadas na borda leste do Quadrilátero Ferrífero (próximas da cidade de Rio Piracicaba – MG).

Souza Junior (1994) realizou uma pesquisa de mestrado nos minérios de ferro itabiríticos anfibolíticos de Alegria e determinou que esses são compostos basicamente de goethita e martita porosa. Os anfibólios estão alterados e apresentam-se como goethita pseudomórfica de anfibólio, que está acicular, geralmente presente como agregados radiais e mostram-se associados formando partículas em forma de “farpas”.

Silva (1995), em seu trabalho de mestrado nos minérios da mina de Timbopeba⁷, identificou através de análises em microanalisador EDS e difratometria de raios-X a presença de cummingtonita não alterada inclusa em quartzo. Ele notou, contudo, que normalmente a cummingtonita está presente quase totalmente alterada a goethita, tendo apenas sua forma externa preservada (hábito fibroso).

⁵ A foliação S_2 é aquela plano-axial à deformação S_1 , que é resultante da primeira deformação D_1 .

⁶ D_2 - segunda fase deformacional.

⁷ A jazida de ferro de Timbopeba localiza-se no quadrante sudeste do Quadrilátero Ferrífero, no município de Ouro Preto (MG) (Silva, 1995).

Itabirito martítico-goethítico (IMG)

Apresenta coloração castanha a castanha avermelhada. Caracteriza-se pela presença de goethita e martita como minerais predominantes. Os outros minerais (especularita e magnetita) estão presentes em proporções inferiores a 15%. Está presente em todas as minas, onde normalmente apresenta-se friável e com densidade média que varia de 2,14g/cm³ em Alegria 1/2/6, 2,15g/cm³ em Alegria 9 e 2,23g/cm³ em Alegria 3/4/5.

Itabirito goethítico (IG)

Esta rocha é menos expressiva nas jazidas e apresenta coloração marrom. Seu mineral mais abundante é a goethita (botrioidal e terrosa). Está invariavelmente muito alterada, friável e muito argilosa (goethita). Normalmente é estéril. Sua densidade média varia de 2,23g/cm³ em Alegria 3/4/5 a 2,50g/cm³ em Alegria 9.

Itabirito magnetítico (IK)

Esta rocha está presente localmente (Alegria 3/4/5) e é pouco expressiva. Sua coloração é cinza e o mineral mais abundante é a magnetita. A sua densidade média é 3,44g/cm³.

3.11 PROCESSAMENTO DOS ITABIRITOS DAS MINAS DE ALEGRIA NA SAMARCO MINERAÇÃO S.A.

De maneira simplificada, o processamento do minério na Samarco se dá da seguinte maneira: os minérios provenientes das minas (ROM - Run of Mine) seguem em correias transportadoras (sistema de longa distância) até a estação de peneiramento e britagem, onde é cominuído e classificado até que haja um máximo de 2% de material acima de 12mm. Este é então encaminhado à usina de concentração, onde primeiramente passa por uma primeira etapa de cominuição em moinhos de bolas (moagem pré-primária), seguindo para uma segunda etapa de moagem, também em moinhos de bolas (moagem primária). Daí é classificado e deslamado em ciclones e

encaminhado ou para o circuito de recuperação de finos ou para a flotação convencional. O concentrado desta flotação sofre nova cominuição, mais uma vez em moinhos de bolas (moagem secundária) e segue para a flotação em coluna. O concentrado da coluna segue para espessadores juntamente com o concentrado do circuito de recuperação de finos. Daí, o concentrado segue para os tanques de estocagem e, posteriormente, é bombeado (mineroduto) para a usina de pelotização situada em Ubu, no estado do Espírito Santo. A Figura 3.10 mostra o fluxograma simplificado dessa etapa do processo.

Em Ponta Ubu, o concentrado bombeado é novamente espessado, homogeneizado e segue para a filtragem. O produto filtrado é prensado em Roller Press e é transportado para o silo de pellet feed. Posteriormente, o pellet feed juntamente com o calcário, a bentonita e o carvão são misturados (misturador) e vão para os discos de pelotamento. Uma vez formada a pelota crua, essa sofre uma classificação em mesa de rolos e é levada para o forno de endurecimento de pelotas. Após passar pelo forno, a pelota passa por uma nova classificação (peneiramento) e é transportada até o pátio de estocagem de onde será retomada e carregada em navios para exportação. A Figura 3.11 mostra o fluxograma simplificado dessa etapa do processo.

3.12 CARACTERÍSTICAS DE ITABIRITOS ANFIBOLÍTICOS EM TESTES DE PROCESSO

Óxidos de ferro hidratados, quando pulverulentos, impedem a concentração gravítica e quando ocorrem sob a forma de massas densas e duras não têm valor econômico (Door II, 1964b).

Itabirito anfibolítico, assim como o itabirito dolomítico, do qual ele é derivado por metamorfismo, comumente não é adequado para concentração, nem é sabido que ele esteja associado a itabirito de grau intermediário, a não ser localmente. Os anfibólios, comumente a cumingtonita ou a tremolita, transformam-se sob intemperismo em óxidos de ferro hidratados, macios e de cor amarelada, que são mais difíceis de serem recuperados.

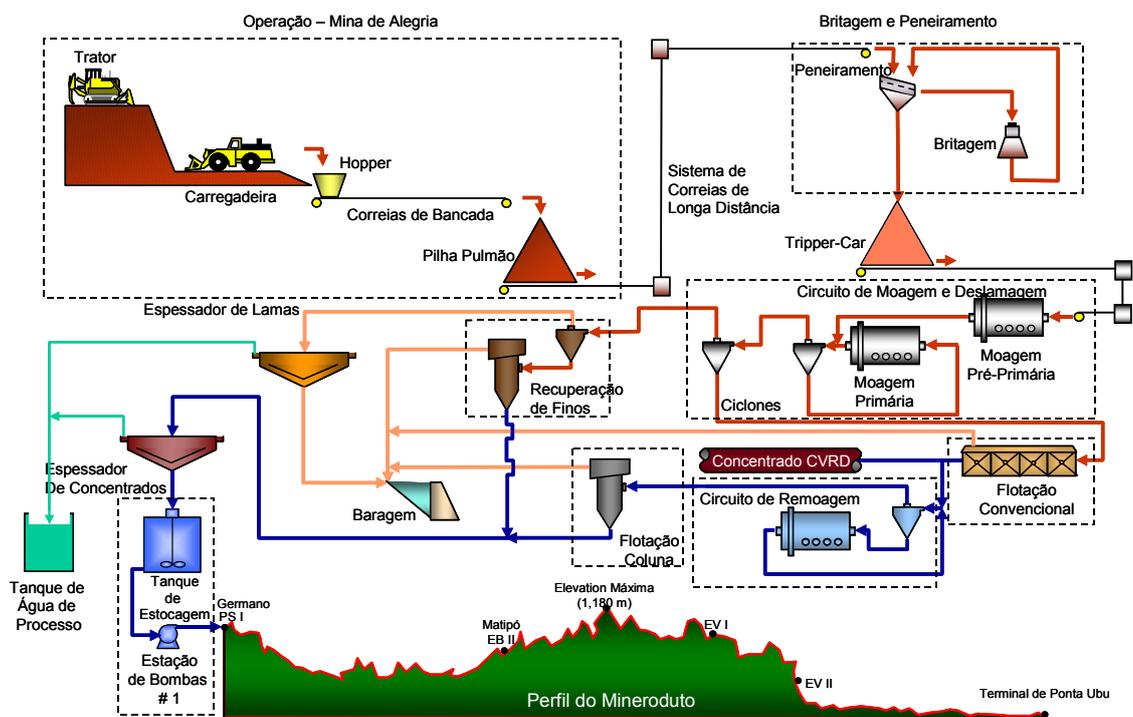


Figura 3.10 - Fluxograma simplificado das operações de mina, beneficiamento e transporte por mineroduto da Samarco Mineração S.A.

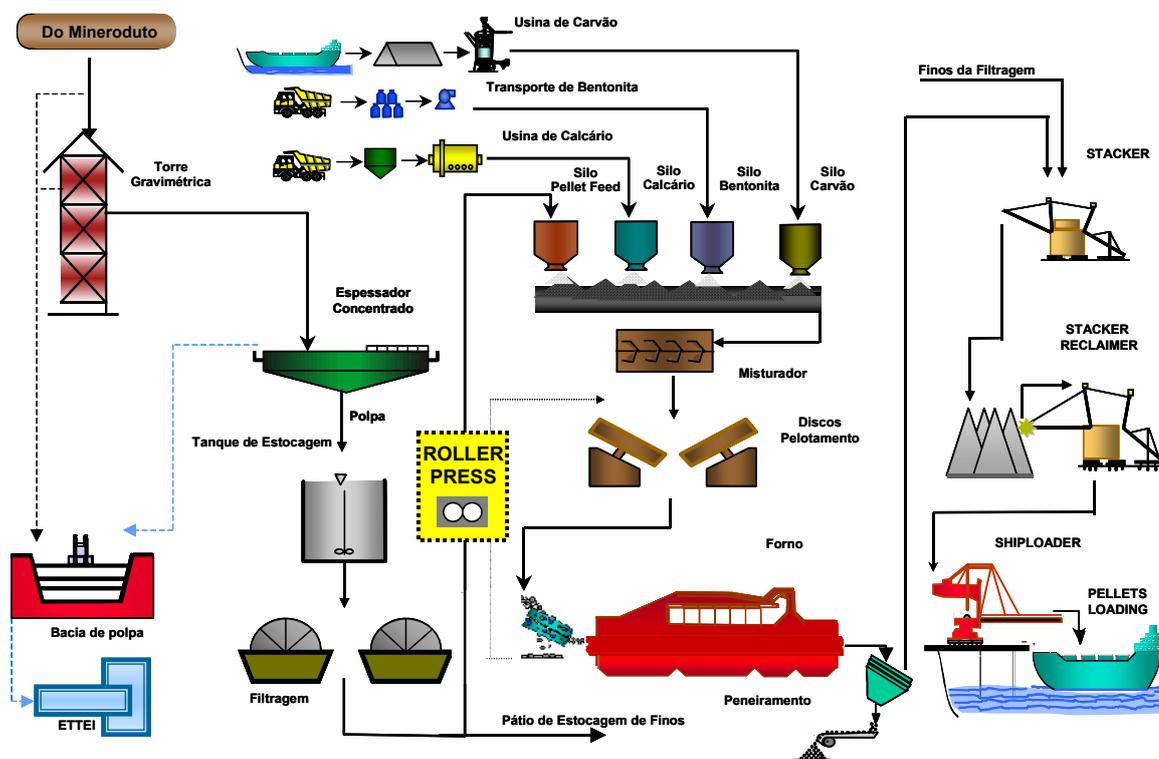


Figura 3.11 - Fluxograma simplificado das operações de pelotização, estocagem e porto da Samarco Mineração S.A.

Ambos, itabirito dolomítico e itabirito anfíbolítico em geral contêm relativamente altas porcentagens de magnetita. Conceitualmente esse tipo de material pode ser concentrado por concentração magnética.

Silva (1995), constatou que a separação magnética não se mostrou indicada para concentrar os itabiritos anfíbolíticos de Timbopeba. Isso porque os concentrados gerados apresentaram-se muito contaminados com partículas mistas de quartzo e minerais de ferro. Por outro lado, a flotação mostrou-se mais seletiva e, portanto, mais indicada como um processo de concentração desse tipo de itabirito.

Souza Junior (1994), testando os itabiritos anfíbolíticos da mina de Alegria (3/4/5), constatou que, em termos processuais, esses apresentam uma elevada quantidade de lama, cerca de 26% da massa. A etapa de deslamagem é de grande importância no processamento desse minério e o NaOH (através da variação do pH) e o silicato de sódio mostraram ser os dispersantes mais eficientes.

A lama influencia muito na recuperação metálica da flotação. Seu efeito é minimizado quando se trabalha sob condições de pH mais elevado.

É possível se obter concentrados que atendam às especificações de sílica para a redução direta (teor de SiO₂ de aproximadamente 1%), a partir dos itabiritos anfíbolíticos da mina de Alegria. Porém, o teor de fósforo no concentrado desses itabiritos é elevado (0,086%) e as tentativas de removê-lo não foram bem sucedidas até o momento (Souza Junior, 1996). As eterdiaminas e o propilenodiamina foram os coletores que apresentaram os melhores resultados nos testes de concentração efetuados nesses itabiritos por Souza Junior (1994) em sua pesquisa de mestrado.

Posteriormente, Souza Junior (1996) constatou que o elevado teor de fósforo e a alta quantidade de lama nos itabiritos anfíbolíticos de Alegria são os fatores principais que dificultam ou até inviabilizam a sua utilização na Usina de Concentração da Samarco Mineração S.A. Sua utilização é possibilitada através da blendagem desses materiais com outros itabiritos menos hidratados e com teores de fósforo mais baixos.

O processamento térmico das pelotas cruas nos fornos contínuos de grelhas (caso da Samarco) deve ser ajustado, dentre outros fatores, em função da constituição mineralógica das partículas que formam esse aglomerado. Pelotas constituídas predominantemente de partículas specularíticas devem ser processadas termicamente de forma diferente daquelas ricas em partículas martíticas (mais porosas) e goethíticas. O tempo de residência das pelotas durante o tratamento térmico, assim como o perfil térmico do forno, devem ser controlados diferentemente para cada um desses casos, de modo que as características mecânicas e metalúrgicas das pelotas queimadas sejam satisfatórias.

Tem-se observado que partículas specularíticas apresentam ótimo comportamento na moagem primária, facilidade de flotação além de contribuir para o aumento da resistência física das pelotas queimadas. Por outro lado, são de difícil remoagem, sendo más geradoras de áreas superficiais específicas (ASE) elevadas. Conferem uma menor redutibilidade às pelotas queimadas, quando comparadas às partículas martíticas e goethíticas que são mais porosas. No outro extremo, encontram-se as partículas goethíticas, maiores geradoras de lama, levando a maiores dificuldades de flotação, porém geradoras preferenciais de ASE elevadas e conferindo excelente redutibilidade à pelota queimada. Por outro lado, contribuem para a diminuição da resistência à compressão das pelotas, devido a sua porosidade e desidratação (perda de OH) dentro do forno de endurecimento.

Os itabiritos anfíbolíticos por serem compostos basicamente por goethitas e martitas, normalmente tendem a ter facilidade de pelotamento, devido à maior presença de finos e uma maior ASE e normalmente tendem a gerar pelotas com menor resistência à compressão (porosidade e desidratação da goethita).

3.13 MÉTODOS E TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO

No estudo de caracterização mineral são utilizadas várias técnicas e instrumentos para que se obtenham dados suficientes que suportem e auxiliem na escolha de etapas de beneficiamento. O conhecimento das características dos constituintes de interesse de um determinado minério é fundamental para que se possa prever seu comportamento mediante um determinado processo.

A seguir, será apresentado um resumo das principais técnicas utilizadas em caracterização mineralógica de minérios de ferro.

3.13.1 – Microscopia óptica

O microscópio óptico é um instrumento que gera imagens na faixa de radiação visível, com comprimento de onda entre 400nm e 700nm. Os dois tipos de microscópio mais utilizados na identificação mineral são o microscópio óptico de luz transmitida (MOLT) e o microscópio óptico de luz refletida (MOLR). Tanto os microscópios de luz transmitida como os de luz refletida, utilizados em petrografia e em microscopia de minérios, têm o recurso de usarem a luz polarizada.

O microscópio de luz transmitida (MOLT) é utilizado para minerais transparentes onde a luz atravessa a amostra. Para esse caso, os métodos de preparação da amostra mais difundidos são o de fragmentos dispersos, utilizado para amostras muito finas e seções delgadas a partir de fragmentos de rocha. No MOLR, a luz incide sobre a amostra e é refletida de modo especular. Para esse tipo de microscópio, utilizam-se seções polidas das amostras a serem investigadas. As seções polidas-delgadas podem ser investigadas em ambos os microscópios (MOLT e MOLR).

Através da determinação da composição percentual das fases presentes, feita a partir de contagem por pontos, linhas e áreas e conhecida como análise modal, faz-se a análise quantitativa na microscopia óptica. Na análise qualitativa, identificam-se os minerais por suas propriedades ópticas e suas características mineralógicas além de se investigarem outras características tais como, forma e contorno dos grãos, diferentes texturas, porosidade (tamanho, tipo e quantidade de poros), associações interiores e entre grãos, grau de liberação das fases presentes, entre outras (Jones, 1987; Craig e Vaughan, 1994; Brandão, 2007).

3.13.2 – Microscopia eletrônica de varredura e microanalisador EDS

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) e os microanalisadores (EDS – método de dispersão de energia e WDS – método de dispersão de comprimento de onda) são instrumentos que permitem a observação e análise de materiais e superfícies heterogêneas em escala local. Assim, a microscopia eletrônica de varredura é geralmente utilizada na caracterização mineralógica para estudar detalhadamente partículas de dimensões ínfimas (menores que $1\mu\text{m}$), microestruturas e tipologia das superfícies das espécies presentes e elucidar dúvidas geradas na microscopia óptica. O microanalisador EDS, um espectrômetro de raios-X dispersivo em energia, adaptado ao MEV, permite associar-se a composição química à imagem da amostra.(Brandão, 2007).

No MEV-EDS, as áreas ou microvolumes a serem examinados, são irradiadas com um feixe de elétrons finamente focado que pode ser estático ou varrer a superfície da amostra. Os tipos de sinais produzidos quando o feixe de elétrons atinge a amostra incluem elétrons secundários, elétrons retroespalhados, elétrons Auger, raios-X característicos e fótons de várias energias. Esses sinais são obtidos de um volume de emissão específica dentro da amostra e podem ser usados para examinar várias de suas características (i.e. superfície topográfica, cristalografia e composição).

Os sinais de maior interesse para o MEV são os elétrons secundários e os retroespalhados. Os elétrons secundários vêm de um volume relativamente pequeno da amostra, possuem uma energia relativamente baixa, gerando uma imagem de alta resolução e a possibilidade de se obterem maiores aumentos. Os elétrons retroespalhados são de energia relativamente elevada, sendo que a intensidade varia também com a composição química dos átomos da amostra. Há formação de imagens que enfatizam a composição química (tipo COMPO) e imagens ressaltando a topografia. A imagem gerada por esses elétrons é de menor resolução e o aumento máximo é menor.

No MEV conseguem-se aumentos de 50 até 200.000 vezes e resoluções de até 100Å . A imagem gerada apresenta a facilidade de se manipular os aumentos, resoluções compatíveis com os aumentos e grande profundidade de campo, o que proporciona às amostras um aspecto tridimensional e um efeito de relevo-sombreamento além do

efeito do contraste dos elétrons secundários e retroespalhados (England, 1991, Liu & Orsz, 1975, Goldstein et al., 1992).

Nos microanalisadores, os raios-X característicos dos elementos gerados na amostra podem ser analisados, como já mencionado anteriormente, pelo método de dispersão de energia (EDS) ou pelo método de dispersão de comprimento de onda (WDS).

As principais vantagens dos microanalisadores (EDS e WDS) são:

- É uma técnica de alta resolução espacial, permitindo a determinação (qualitativa, semiquantitativa e quantitativa) da composição química de partículas com diâmetros da ordem de poucos micrômetros.
- O material pode ser visualizado ao tempo real da análise, propiciando assim, a correlação estreita entre a composição química e a microestrutura da amostra.
- O material é analisado *in situ* recorrendo apenas a seções polidas ou mesmo lâminas delgadas, podendo a observação prévia ser feita em luz transmitida, refletida ou mesmo polarizada.
- Para a maioria das aplicações, os microanalisadores (EDS e WDS) podem ser considerados como não destrutivos, uma vez que a incidência do feixe, normalmente não acarreta em modificações na composição química da amostra.
- A técnica é de grande eficiência no que diz respeito à geração de um grande número de informações químicas em intervalo de tempo curto, devido ao uso de computadores acoplados ao aparelho.

3.13.3 – Difração de raios-X

A difração de raios-X é uma técnica que se aplica às substâncias cristalinas. O fato de os cristais funcionarem como redes de difração para os raios-X faz com que eles possam ser identificados pela mencionada radiação. As substâncias amorfas com carência de periodicidade nos arranjos atômicos (iônicos ou moleculares) já não podem ser caracterizadas ou, em casos especiais, o são com grande dificuldade.

A difração de raios-X pelos cristais resulta de um processo em que os raios-X de um feixe incidente são dispersos pelos elétrons dos átomos dos cristais sem mudança de

comprimento de onda (dispersão coerente ou de Bragg). Um feixe difratado é produzido por dispersão só quando algumas condições geométricas expressas pela lei de Bragg ⁸, são satisfeitas. A difração resultante de um cristal, compreendendo posições e intensidades das linhas de difração, é uma propriedade física fundamental da substância, servindo não somente à sua identificação como também ao estudo de sua estrutura (Formoso, 1984).

A difração é aplicada para o estudo da estrutura de cristais desconhecidos e é uma técnica aplicada para a identificação de 95% das substâncias inorgânicas.

Dos métodos de difração de raios-X o do pó é o de uso mais amplo. Nesse método, o qual foi empregado nessa pesquisa, o material a ser analisado deve ser reduzido a um pó muito fino (< 20µm e > 5 µm) e exposto a um feixe de raios-X monocromático. Cada partícula do pó é um pequenino cristal aleatoriamente orientado com relação ao feixe incidente. Cada cristalito satisfará à lei de Bragg para alguns dados planos cristalográficos. A amostra deve ser homogênea, a quantidade de partículas deve ser suficiente para gerar um espectro contínuo e as partículas devem possuir orientação aleatória.

3.13.4 – Espectroscopia no infravermelho

A imensa importância da espectroscopia no infravermelho (EIV) provém do fato de que a faixa de sua região espectral engloba as frequências de vibração de ligações químicas dos compostos orgânicos e minerais. Assim, a absorção da energia da radiação IV é possível para uma enorme gama de ligações químicas, que são ativas nesta região espectral. As moléculas interagem com a radiação eletromagnética, especialmente na faixa do IV, absorvendo esta energia, que é convertida em vibrações e/ou rotações moleculares. As bandas de vibração são utilizadas na identificação dos compostos, especialmente aquelas situadas entre 4000 e 600cm⁻¹ (Brandão et al., 1990).

⁸ A lei de Bragg, que é a condição de difração em fase é dada pela equação $n\lambda = 2d\sin\theta$, onde λ é o comprimento de onda da radiação X (aproximadamente monocromática); d é a distância intraplanar; θ é o ângulo de Bragg, que é o complemento do ângulo de incidência i da óptica geométrica e n é um número inteiro correspondente à ordem de difração.

É impraticável a previsão teórica precisa das bandas que apareceriam num espectro IV. Assim, a metodologia usada tem sido sempre aquela em que se obtém o espectro

IV de um composto conhecido e puro - um padrão - e faz-se a correlação entre as raias observadas e os grupos funcionais e/ou entidades químicas fundamentais do composto. Dispondo-se de coleções destes espectros-referências, pode-se então realizar a correlação entre as bandas observadas e as vibrações moleculares que as originaram, para amostras desconhecidas, o que resulta em sua identificação. Coleções ou bibliotecas de espectros referência estão disponíveis em meio digital e impresso.

Até o final da década de 70, dispunha-se apenas de espectômetros do tipo dispersivo. Seu inconveniente, contudo, consistia em sua lentidão. Mais recentemente, tornaram-se disponíveis os espectômetros a transformada de Fourier (IV-FTIR). Estes espectrômetros apresentam a enorme vantagem de um tempo de varredura extremamente curto, mas a relação sinal/ruído é muito maior. Esta é totalmente compensada e reduzida pela técnica de registro de espectros múltiplos (8 a 64, normalmente) e o cálculo por computador do espectro médio (Brandão et al., 1990).

A espectroscopia no infravermelho tem sido largamente utilizada na pesquisa de adsorção de gases e líquidos em substratos sólidos e em análises minerais, existem algumas áreas principais onde é útil:

- ❖ Identificação de minerais de diferentes (mas constantes) composições químicas;
- ❖ Esta técnica pode permitir a distinção entre dois minerais que exibem uma faixa de composição dentro de um grupo;
- ❖ Esta técnica pode ser usada para distinguir-se entre dois minerais que variam em ambos aspectos: modificação estrutural e composição química.
- ❖ Minerais que contêm grupos funcionais detectáveis pela EIV, como CO_3^{2-} , OH^- , H_2O , etc;
- ❖ É uma técnica aplicável a compostos cristalinos, microcristalinos e amorfos (Farmer, 1974).

3.13.5 – Termoanálises

Nos métodos termométricos, a propriedade das substâncias de poderem sofrer transformações químicas e físicas, quando sob a ação da temperatura, pode ser observada e medida em termos de parâmetros como: peso, absorção ou liberação de calor, radiação, magnetismo e propriedades elétricas.

A termogravimetria (TG) e a análise térmica diferencial (ATD) estão entre os principais métodos termométricos e são os de interesse nessa pesquisa. Esses dois métodos diferem basicamente em relação ao tipo de medida adotada. Assim, na análise termodiferencial tem-se informações sobre a ocorrência de reações exotérmicas ou endotérmicas na amostra, enquanto na termogravimétrica estas reações são detectadas através de variações na massa (peso) da amostra (Salum, 1990).

Em termos dos sistemas minerais, essas técnicas podem fornecer importantes informações, como: a caracterização mineralógica qualitativa (em alguns casos, quantitativa) das amostras; informações para estudos de reações químicas, temperatura de estabilidade de espécies e cinética de reações e estudos de adsorção/dessorção de reagentes de flotação.

A utilização de ambas as técnicas (TG e DTA) na caracterização de mesmas amostras é comum e apropriada, já que a diferença existente entre elas pode ser de grande importância quando se lida com reações que não envolvam variação de peso e a interpretação quantitativa é mais aplicável às curvas de TG do que às de ATD. O método quantitativo correspondente à ATD é a DSC (differential scanning calorimetry).

4 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a metodologia seguida, que se inicia com a definição das amostras de diferentes itabiritos anfíbolíticos. Esses itabiritos após serem amostrados e devidamente preparados, foram submetidos a análises granulométricas, análises químicas, difratometria de raios-X (DRX), espectrometria no infravermelho (EIV), termogravimetria (TG) e análises ao microscópio óptico (MO), microscópio eletrônico de varredura (MEV) e microanalisador EDS. Essas amostras foram também submetidas a testes de moagem, deslamagem e de flotação em escala de laboratório, os produtos desses ensaios, por sua vez, também foram analisados por: análises granulométricas, químicas, DRX, EIV, TG, ASE e porosidade, MO, MEV e microanalisador EDS. Foram ainda preparados concentrados em planta piloto a partir dessas amostras, para a geração de pelotas, que foram submetidas a testes de pelotamento antes da queima em “*Pot Grate*” e de tamboramento e resistência à compressão após a queima.

4.1 DEFINIÇÃO, AMOSTRAGEM E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Para a definição das amostras, primeiramente foram identificados nas minas de Alegria, corpos individualizáveis e mapeáveis em escala 1:1000 de itabiritos anfíbolíticos visualmente distintos. Em seguida, definiu-se que haveria a escolha de pelo menos um tipo de itabirito anfíbolítico para cada mina. Assim, para a mina de Alegria 1/2/6 foram selecionados dois tipos de itabirito anfíbolítico que constituíram as amostras A61 e A62. Na mina de Alegria 3/4/5, apenas o tipo de itabirito anfíbolítico mais abundante compoendo a amostra A31 e na mina de Alegria 9, mais dois tipos representados nas amostras A91 e A93. As principais características observadas nas amostras são descritas a seguir:

- as amostras A61 e A62 se mostraram visualmente diferentes, pois A61 apresentava pseudomorfos de anfíbólio fibrosos em relativa abundância, orientados em várias direções, mas dispostos em mesmos níveis determinando, assim, uma foliação (S1). A coloração dos pseudomorfos variava de esbranquiçada a castanha e o tamanho dos cristais era variado podendo chegar a dimensões centimétricas. O aspecto geral da coloração dos níveis anfíbolíticos variava de cinza-esbranquiçada

a castanho-acinzentada. Já a amostra A62, era uma rocha onde não foram observados pseudomorfos de anfibólio nítidos, mas sim um material argiloso de coloração castanho-amarelada (ocre). É importante salientar que ambas as amostras foram retiradas de regiões da mina onde estavam mapeados itabiritos anfibolíticos.

- A amostra A31 apresentava tanto pseudomorfos de anfibólio (milimétricos a centimétricos) facilmente observáveis ao olho desarmado como pseudomorfos finamente cristalizados, de difícil distinção e formando níveis de aspecto ocre argiloso. A característica mais marcante dessa amostra é uma coloração geral cinza-ocre-amarelada e essa presença em abundância de um fino bandamento de coloração ocre-amarelada e aspecto argiloso.
- As amostras A91 e A93 eram visualmente diferentes, pois em A91 os pseudomorfos de anfibólio eram fibrosos, apresentavam coloração ocre, eram abundantes e intimamente associados, estavam dispostos em níveis determinando uma foliação (S1) e apresentavam-se principalmente orientados concordantemente com essa foliação. Nessa amostra, o aspecto geral dos níveis anfibolíticos assemelhava-se a uma “madeira prensada”. Já em A93, embora os pseudomorfos de anfibólio fossem abundantes, fibrosos, de coloração ocre e apresentarem-se dispostos em níveis determinando uma foliação (S1), eles não possuíam apenas uma orientação principal (segundo a foliação S1), podendo estar orientados em todas as direções e inclusive, perpendiculares ao plano da foliação. Nesse caso, os níveis anfibolíticos não apresentavam aspecto geral semelhante à madeira prensada. Outra diferença estava no tamanho dos cristais (fibras) dos pseudomorfos de anfibólio, que em A91 eram de dimensões submilimétricas ou menores e em A93 essas dimensões variavam de milimétricas a centimétricas.

Para a composição das cinco amostras de itabirito anfibolítico foram coletados, em campo, aproximadamente 400kg de cada. As Figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5 são fotografias tiradas dessas amostras antes de serem preparadas para os testes e análises.

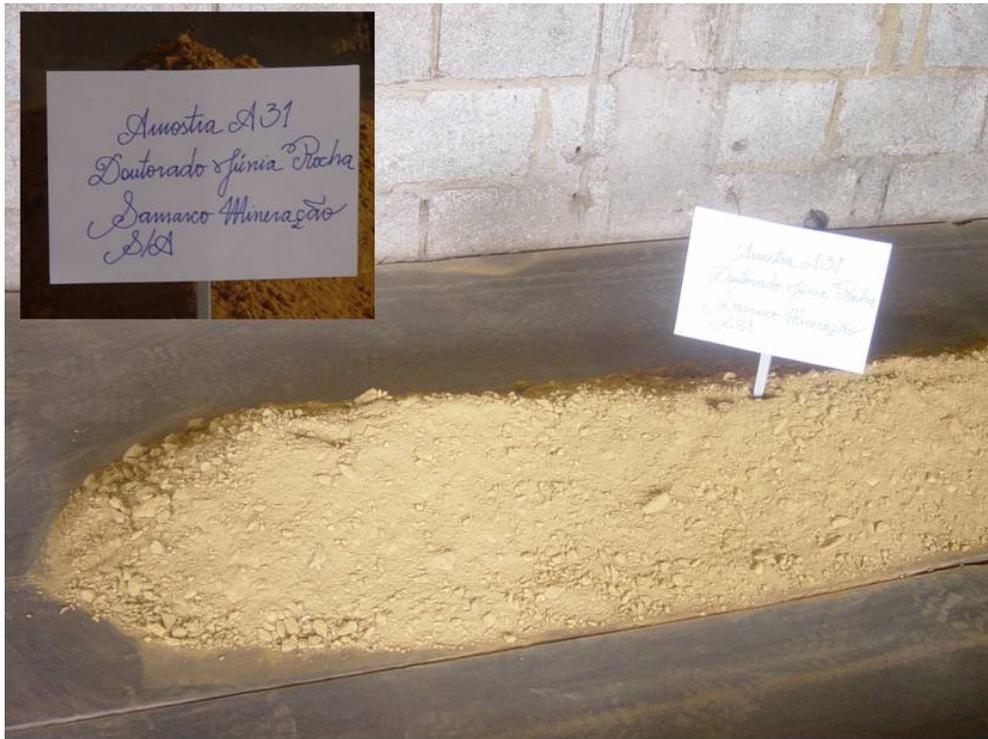


Figura 4.1 – Fotografia da amostra A31 (400kg) antes do início de sua preparação.



Figura 4.2 – Fotografia da amostra A61 (400kg) antes do início de sua preparação.



Figura 4.3 – Fotografia da amostra A62 (400kg) antes do início de sua preparação.



Figura 4.4 – Fotografia da amostra A91 (400kg) antes do início de sua preparação.



Figura 4.5 – Fotografia da amostra A93 (400kg) antes do início de sua preparação.

A preparação das amostras se iniciou com a secagem em estufa, seguida de homogeneizações e quarteamentos até obterem-se alíquotas correspondendo à quarta parte da amostra total (100kg de amostra tal e qual) e o restante de cada amostra foi guardado como amostra reserva. Essas alíquotas de 100kg foram submetidas a análises granulométricas passando inicialmente por uma série grossa de peneiras (de 150mm a 8mm). Do material passante nessa série, foram retiradas 1500g que passaram pelas séries média e fina de peneiras (de 6,25mm a 0,038mm) e o passante em 0,038mm, teve sua distribuição granulométrica determinada em granulômetro de espalhamento a laser (Mastersizer). O material retido na série grossa foi então britado em britador de mandíbula de abertura de saída de 8mm. O produto dessa britagem foi adicionado ao restante do material passante na série grossa e compôs uma amostra, que após ter sido homogeneizada e quarteada foi novamente britada (britador de mandíbula de abertura de saída de 3,36mm). Para cada amostra, o produto dessa segunda britagem (britado 2) foi submetido a homogeneizações e quarteamentos até a geração de:

- alíquotas de 700g para serem submetidas a análises granulométricas.
- Alíquotas de aproximadamente 50g, que após serem pulverizadas em moinho orbital de placas até atingirem a granulometria inferior a 0,038mm, seguiram para as análises químicas, DRX, EIV e TG.
- Alíquotas de aproximadamente 1750g para determinação do tempo de moagem (DTM) e para os testes de moagem.
- Alíquotas de 100g da descarga do moinho para serem submetidas a análises granulométricas.
- Alíquotas de 1750g para os testes de deslamagem e flotação em bancada.

Dos produtos dos testes de deslamagem e de flotação, ou seja, da lama, do *underflow* deslamado, do concentrado e do rejeito, foram ainda retiradas algumas alíquotas para serem analisadas. Assim:

- alíquotas de 50g do *underflow* deslamado e do concentrado para serem submetidas a testes de determinação da ASE e da porosidade.
- Alíquotas de 50g do *underflow* deslamado, da lama, do concentrado e do rejeito, que após serem pulverizadas (moinho orbital de painéis) à mesma granulometria descrita anteriormente (menor que 0,038mm), foram encaminhadas para análises químicas, DRX, EIV e TG.
- Alíquotas de 50g da lama, do *underflow* deslamado, do concentrado e do rejeito, que após serem elaboradas seções polidas, seguiram para as análises mineralógicas no microscópio óptico e/ou no MEV-EDS. Foram também retiradas alíquotas da lama (teste de deslamagem), para serem analisadas em MEV-EDS.
- Alíquotas de aproximadamente 1kg do concentrado para testes de remoagem e que, após serem remoídas, seguiram para os testes de determinação da ASE e da porosidade.

O fluxograma da Figura 4.6 ilustra resumidamente o procedimento descrito anteriormente.

Dos itabiritos anfibolíticos que compuseram as amostras A61, A62, A31, A91 e A93, foram ainda amostradas aproximadamente cinco toneladas de cada, para serem processadas em planta piloto pertencente à Fundação Gorceix (Ouro Preto) e gerarem concentrados (aproximadamente 1,5t) para a preparação de pelotas e queima em forno de *Pot Gate*. A Figura 4.7 mostra o fluxograma adotado na planta da Fundação Gorceix para o processamento dessas amostras. Foi estabelecido que fosse aplicado o mesmo procedimento em todas as amostras e que se tentasse obter concentrados com teores de SiO₂ próximos aos de pelotas para alto-forno (entre 1,50% a 1,60%) e com percentual passante em 0,044mm, próximo a um mínimo de 86%. É importante salientar que a planta piloto foi utilizada unicamente para a geração dos concentrados em quantidades suficientes (1,5t) para os testes subseqüentes (nas pelotas). Assim, não foi o objetivo, a utilização dessa planta, para estudarem-se parâmetros de processo.

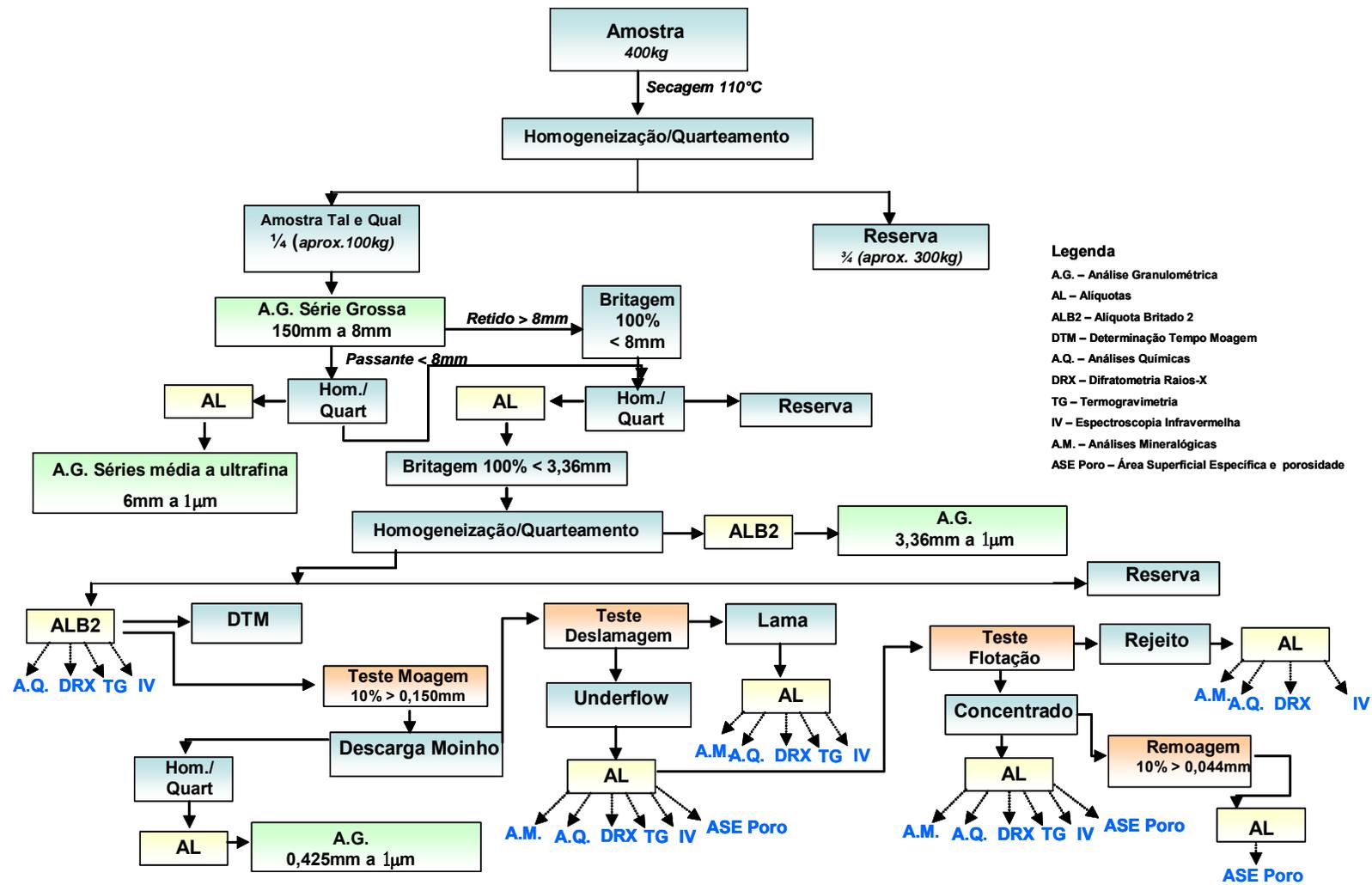


Figura 4.6 – Fluxograma da preparação das amostras, análises e testes de moagem, deslamagem e flotação.

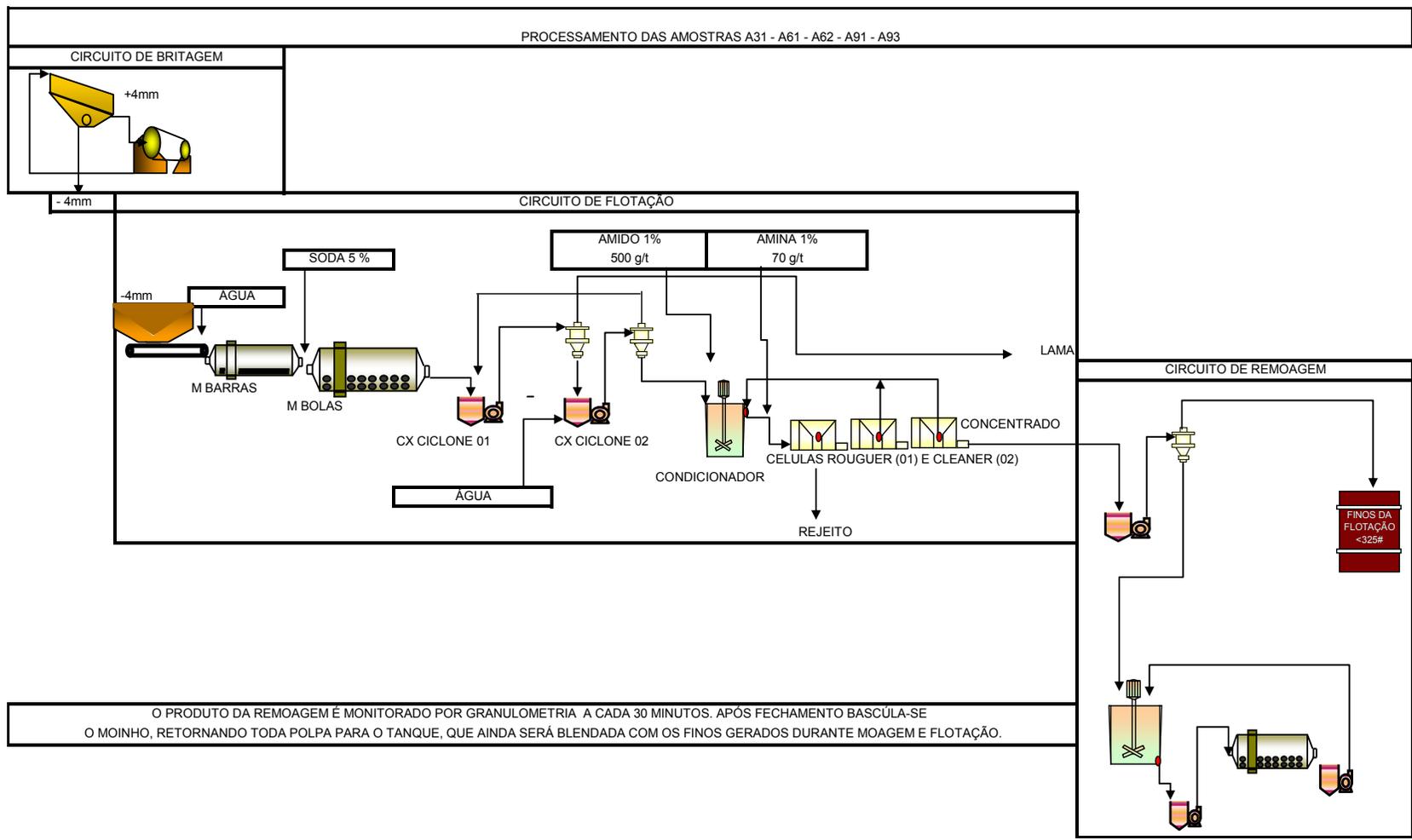


Figura 4.7 – Fluxograma empregado na geração de concentrado das amostras A31, A61, A62, A91 e A93 na Planta Piloto da Fundação Gorceix.

4.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Todas as amostras seguiram a metodologia de análise granulométrica padrão da Samarco Mineração S.A., que consiste de peneiramentos a seco e a úmido em três séries de peneiras Abbronzinox: 1) **série grossa**, com as peneiras 150mm (6"), 125mm (5"), 100mm (4"), 75mm (3"), 50mm (2"), 25mm (1"), 9,4mm (3/8"), 8mm (5/16"); 2) **série média**, com as peneiras 6,3mm (1/4"), 4,76mm (4#), 3,36mm (6#), 2,36mm (8#), 1,70mm (10#), 1,18mm (14#), 0,85mm (20#), 0,60mm (28#), 0,425mm (35#); 3) **série fina**, com as peneiras 0,300mm (48#), 0,210mm (65#), 0,150mm (100#), 0,105mm (150#), 0,075mm (200#), 0,053mm (270#), 0,044mm (325#) e 0,038mm (400#).

Para a determinação da distribuição granulométrica de frações mais finas (inferior a 0,038mm) foi utilizado o granulômetro a espalhamento laser Mastersizer Micro, da MALVERN Instruments Ltda.

4.3 ANÁLISES QUÍMICAS

As alíquotas geradas da segunda britagem (britado 2), bem como as do *underflow*, do concentrado, da lama e do rejeito (testes de moagem, deslamagem e flotação) foram analisadas por via úmida (dicromatometria) para a determinação do Fe total e FeO e, por espectrômetro de emissão atômica a plasma (ICP) modelo Cirrus CCD da Spectro Instruments, para a determinação de Al₂O₃, MnO₂, P e SiO₂ do concentrado. Para a determinação dos valores de SiO₂ do britado, *underflow*, lama e rejeito, que normalmente são superiores a 7% e, portanto, extrapolam a curva de calibração do espectrômetro a plasma, foi utilizada para o cálculo a equação: $100 - \%Fe * 1,4297 - \%Al_2O_3 - \%P * 2,2913 - \%PPC - \%MnO$. Foram ainda determinados os valores de PPC (perda por calcinação) de todas as alíquotas.

A espectrometria de fluorescência de raios-X foi utilizada em todas as alíquotas anteriores para varredura espectral, visando detectar outros elementos porventura presentes. As amostras foram analisadas em espectrômetro de fluorescência de raios-X seqüencial marca Philips PW 2400.

4.4 MICROSCOPIA ÓPTICA

As seções polidas elaboradas foram analisadas quantitativa e qualitativamente com o auxílio de um microscópio óptico, luz refletida e transmitida, marca Leitz/Leica, modelo Laborlux 12POL S.

4.5 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA E MICROANALISADOR EDS

As seções polidas, bem como amostras de lama, que apresentaram a necessidade de uma maior investigação de suas microestruturas e/ou de alguma fase mineralógica ou feição desconhecida ou duvidosa foram devidamente preparadas e levadas à análise no MEV marca Jeol JSM-5410, com um microanalizador dispersivo em energia (EDS) marca Noran TN-M3055.

4.6 DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X

As alíquotas geradas da segunda britagem (britado 2), bem como as do *underflow*, do concentrado, da lama e do rejeito (testes de moagem, deslamagem e flotação) foram analisadas em um difratômetro de raios-X para amostras em pó, marca Philips, sistema X'Pert-APD, controlador PW 3710/31, gerador PW 1830/40, goniômetro PW 3020/00 e tubo de cobre.

4.7 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO

As alíquotas geradas da segunda britagem (britado 2), bem como as do *underflow*, do concentrado, da lama e do rejeito (testes de moagem, deslamagem e flotação) foram preparadas como pastilhas de KBr (brometo de potássio) e levadas à análise em um espectrômetro infravermelho a transformada de Fourier, marca Perkin-Elmer, modelo 1760X, para investigar a mineralogia presente.

4.8 TERMOANÁLISES

As alíquotas geradas da segunda britagem (britado 2), bem como as do *underflow*, do concentrado, da lama e do rejeito (testes de moagem, deslamagem e flotação) foram levadas à análise termogravimétrica no aparelho TGA-50 da Shimadzu Corp. para estudar-se principalmente a questão da desidroxilação das goethitas.

4.9 ANÁLISE DA ASE E DA POROSIDADE

As alíquotas do concentrado e do concentrado remoído foram encaminhadas a análises no medidor de área superficial específica por adsorção de nitrogênio Quantachrome NOVA 1000 para a determinação da ASE (método BET) e obtenção de dados de porosidade através da adsorção–condensação de gás (nitrogênio).

4.10 TESTES

Os testes de bancada de deslamagem, moagem, flotação e remoagem foram efetuados pela empresa PCM – Processamento e Caracterização Mineral Ltda, situada em Antônio Pereira, Município de Ouro Preto. Todos os testes seguiram os mesmos padrões estabelecidos para os laboratórios da Samarco. A Tabela IV.1 mostra de forma resumida os procedimentos empregados nesses testes. Para as determinações do tempo de moagem e do tempo de remoagem de cada amostra, foram medidas as porcentagens retidas acumuladas em no mínimo três tempos de moagem/remoagem diferentes. As curvas de tempo de moagem/remoagem obtidas para todas as amostras estão disponíveis nos anexos (anexo 1).

Tabela IV.1 – Procedimentos empregados nos testes de moagem, deslamagem, flotação e remoagem na empresa PCM.

Procedimentos

MOAGEM	
Alimentação	<3,36mm - 1750g para batelada
Moinho	8"X 8"
Carga Moedora (bolas)	12260g
Enchimento	40%
Rotação	65rpm
% Sólido	70%
Produtos	100%<0,60mm e 10%>0,150mm

DESLAMAGEM	
Cuba de PVC Capacidade	4000ml
pH	10,5
Tempo de Equilíbrio/Repouso	05 minutos
Etapas de Sintonamento	03 etapas
Produtos	<i>Underflow e Overflow</i>

FLOTAÇÃO	
Alimentação	<i>Underflow</i> da deslamagem 100%<0,60mm e 10%>0,150mm
Célula de Flotação	Bancada
Condicionamento - Depressor (amido de milho)	05 minutos
Condicionamento - Coletor (amina 49% LDD e 51% EDA)	01 minutos
pH da água utilizada	10
Tempo de flotação – rougher/cleaner	5 minutos
Rotação	1300rpm
Produtos	Concentrado 10% >0,150mm

REMOAGEM	
Alimentação	Concentrado 100%<0,60mm e 10% >0,150mm
Moinho	8" x 8"
Cargas Moedoras (bolas)	9180g
Enchimento	40%
Rotação	67rpm
% Sólido	75%
Produtos	Concentrado Remoído 10%>0,044mm

Os testes de pelotamento (em pneu e em disco) e de queima das pelotas geradas a partir dos concentrados (*pellet feed*) elaborados em planta piloto da Fundação Gorceix, seguiram os padrões adotados pela Samarco e foram realizados nos laboratórios da unidade de Ponta Ubu.

As seguintes premissas foram adotadas para os testes:

- As pelotas foram padronizadas como PBF-STD¹, com $B_2=0,85^2$.
- As umidades ideais ao pelotamento deveriam ser determinadas em testes de pelotamento em pneu e poderiam variar de amostra para amostra. O procedimento para esse teste está disponível nos anexos (anexo 2).
- A dosagem de bentonita e soda deveriam ser as mesmas (0,4% e 0,03%, respectivamente).
- O teste de pelotamento em disco, cujo procedimento encontra-se disponível nos anexos (anexo 2), seria o padrão para 240kg, gerando pelotas para duas queimas.
- Os testes deveriam ser realizados com réplica.
- As amostras não deveriam ser prensadas, pois apresentavam superfície específica muito alta ($>2500\text{cm}^2/\text{g}$).
- As queimas subseqüentes em *Pot Grate* (procedimento disponível no anexo 2) seriam realizadas com o perfil da Usina 01 para um ritmo de produção de 13,8 milhões de toneladas (produção para 02 usinas).

O procedimento empregado nos testes de pelotamento e queima das amostras é apresentado a seguir:

1. Homogeneização de cada amostra de concentrado de itabirito anfíbolítico com a retirada de alíquotas para a realização de análises químicas, distribuição granulométrica (peneiras e Mastersizer), determinação da superfície específica (SE) e do peso específico.

¹ Pelota para alto-forno (*blast furnace*) padrão (*Standard*).

² Basicidade Binária - razão entre o percentual de CaO e o percentual de SiO₂ da mistura (*pellet feed* + insumos).

2. Preparação da mistura (vide anexo 2) e realização dos ensaios de pelotamento (pneu e disco – vide anexo 2). Os seguintes insumos foram adotados para a geração de pelotas PBF/STD:

- ✚ Calcário para B2 = 0,85 na pelota queimada.
- ✚ Carvão Mineral para um carbono total de 1,05% na mistura.
- ✚ Aglomerantes: Conforme programação.

Para o teste de pelotamento em disco os seguintes parâmetros foram empregados:

- ✚ Rotação do disco: 15rpm.
- ✚ Inclinação do disco: 45°.
- ✚ Alimentação do disco: centro/borda esquerda.

3. Caracterização das pelotas cruas determinando-se os seguintes parâmetros:

- ✚ CPCU (compressão da pelota crua úmida) – Prensa Kratos.
- ✚ CPCS (compressão da pelota crua seca) - Prensa Kratos.
- ✚ Resiliência (resistência a quedas subseqüentes).
- ✚ Umidade.

4. Peneiramento das pelotas produzidas e composição da amostra (panela cheia com 40kg) para queima, conforme distribuição granulométrica abaixo:

>12,5mm e <16,0mm = 20,0kg

>9,0mm e <12,5= 20,0kg

5. Execução das queimas de acordo com o perfil térmico definido para a Usina 01 para os ritmos de produção anual de 13,8 milhões de toneladas de pelotas. Manteve-se a camada total constante (panela cheia, aproximadamente 40kg).

6. Caracterização das pelotas queimadas determinando-se:

- ✚ Resistência à compressão (procedimento vide anexo 2).
- ✚ Tamboramento³, e Abrasão (procedimento vide anexo 2).
- ✚ Análise Química Completa.

7. Arquivamento do restante das amostras.

8. Anotação, ao longo dos testes, de todas as observações visuais e comentários pertinentes, registrando-se com fotos.

9. Registro dos resultados no papel de trabalho e lançamento dos dados em arquivo eletrônico.

³ O teste de tamboramento mede dois índices: **1) Índice de Abrasão** – é a medida relativa da degradação do material por abrasão. Essa medida é feita com base no percentual de material passante na peneira de 0,5 mm após o teste de tamboramento, sendo expresso com uma casa decimal. **2) Índice de Tamboramento** – é a medida relativa da resistência à quebra ou degradação do material por impacto. Essa medida é feita com base no percentual de material retido na peneira de 6,3 mm após o teste de tamboramento e é expressa com uma casa decimal.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo apresentam-se e discutem-se os resultados das análises e testes efetuados nas cinco amostras de itabirito anfíbolítico. Primeiramente, são apresentados os resultados das análises granulométricas das cinco amostras de itabirito anfíbolítico: 1) alíquotas Tal e Qual; 2) alíquotas Britado 2 (granulometria <3,36mm) e 3) alíquotas Descarga da Moagem. Em seguida, são examinados os resultados das análises químicas (quantitativa e qualitativa/semiquantitativa), mineralógicas no MOLR (quantitativa e qualitativa), difratometria de raios-X, espectroscopia no infravermelho, termogravimetria, ASE e porosidade. Finalmente, são analisados os resultados referentes aos testes de deslamagem, moagem/remoagem, flotação de bancada e dos testes realizados nas pelotas.

Como um último ponto de discussão, levanta-se a questão acerca da origem da goethita dita pseudomórfica do anfíbólio.

5.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

5.1.1 Amostras Tal e Qual

Os resultados das análises granulométricas das séries grossa, média e fina das amostras Tal e qual estão listados nas Tabelas V.1 (A, B, C, D e E).

Baseado nas Tabelas pode-se notar que as distribuições granulométricas (séries grossa a fina) das amostras A61 e A93 são semelhantes entre si, bem como as distribuições das amostras A62 e A91. A amostra A31 mostrou-se relativamente distinta das demais. A61 tem a granulometria mais grossa de todas, apresentando mais de 50% do material que a compõe com tamanho maior que 9,4mm ($d_{50} = 9,4\text{mm}$). Em seguida e em ordem decrescente estão: A93 ($d_{50} = 4,76\text{mm}$), A31 ($d_{50} = 2,36\text{mm}$) e A62 e A91 (ambas com $d_{50} = 1,18\text{mm}$, aproximadamente).

Tabelas V.1 – Resultados das análises granulométricas (séries grossa a fina) das amostras de itabiritos anfíbolíticos – (A) A31; (B) A61; (C) A62; (D) A91 e (E) A93.

(A) Amostra A31

Peneira Tyler	Abertura (mm)	% Retido Simples	% Retido Acum.	% Passante
6,0"	150	0,00	0,00	100,00
5,0"	125	0,00	0,00	100,00
4,0"	100	0,00	0,00	100,00
3,0"	75	0,00	0,00	100,00
2,0"	50	1,07	1,07	98,93
1,0"	25	2,39	3,45	96,55
3/8"	9,4	13,19	16,65	83,35
5/16"	8	1,89	18,53	81,47
1/4"	6,3	6,23	24,77	75,23
4#	4,76	6,84	31,60	68,40
6#	3,36	8,22	39,82	60,18
8#	2,36	9,65	49,47	50,53
10#	1,7	2,56	52,03	47,97
14#	1,18	5,35	57,38	42,62
20#	0,85	3,43	60,81	39,19
28#	0,6	2,86	63,67	36,33
35#	0,425	2,94	66,61	33,39
48#	0,3	1,99	68,60	31,40
65#	0,21	2,10	70,70	29,30
100#	0,15	3,35	74,06	25,94
150#	0,105	3,49	77,55	22,45
200#	0,075	4,41	81,96	18,04
270#	0,053	2,94	84,90	15,10
325#	0,044	3,43	88,33	11,67
400#	0,038	0,90	89,23	10,77
<400#	-	10,77	100,00	0,00

(B) Amostra A61

Peneira Tyler	Abertura (mm)	% Retido Simples	% Retido Acum.	% Passante
6,0"	150	6,58	6,58	93,42
5,0"	125	9,26	15,84	84,16
4,0"	100	10,50	26,33	73,67
3,0"	75	2,54	28,87	71,13
2,0"	50	5,07	33,94	66,06
1,0"	25	8,31	42,25	57,75
3/8"	9,4	11,25	53,50	46,50
5/16"	8	0,00	53,50	46,50
1/4"	6,3	1,13	54,63	45,37
4#	4,76	2,11	56,75	43,25
6#	3,36	2,14	58,88	41,12
8#	2,36	1,70	60,58	39,42
10#	1,7	1,45	62,04	37,96
14#	1,18	1,47	63,51	36,49
20#	0,85	1,16	64,66	35,34
28#	0,6	0,97	65,63	34,37
35#	0,425	1,27	66,91	33,09
48#	0,3	1,01	67,92	32,08
65#	0,21	1,69	69,61	30,39
100#	0,15	3,49	73,10	26,90
150#	0,105	4,03	77,13	22,87
200#	0,075	6,15	83,28	16,72
270#	0,053	4,59	87,88	12,12
325#	0,044	3,46	91,34	8,66
400#	0,038	1,36	92,69	7,31
<400#	-	7,31	100,00	0,00

(C) Amostra A62

Peneira Tyler	Abertura (mm)	% Retido Simples	% Retido Acum.	% Passante
6,0"	150	0,00	0,00	100,00
5,0"	125	0,00	0,00	100,00
4,0"	100	3,24	3,24	96,76
3,0"	75	0,00	3,24	96,76
2,0"	50	2,74	5,97	94,03
1,0"	25	7,02	12,99	87,01
3/8"	9,4	15,78	28,78	71,22
5/16"	8	1,56	30,34	69,66
1/4"	6,3	3,15	33,49	66,51
4#	4,76	4,39	37,89	62,11
6#	3,36	4,55	42,44	57,56
8#	2,36	3,39	45,83	54,17
10#	1,7	2,97	48,80	51,20
14#	1,18	3,10	51,90	48,10
20#	0,85	2,40	54,30	45,70
28#	0,6	1,98	56,28	43,72
35#	0,425	2,48	58,76	41,24
48#	0,3	1,20	59,96	40,04
65#	0,21	2,07	62,03	37,97
100#	0,15	2,91	64,94	35,06
150#	0,105	2,76	67,70	32,30
200#	0,075	4,46	72,16	27,84
270#	0,053	4,28	76,45	23,55
325#	0,044	4,37	80,81	19,19
400#	0,038	2,29	83,11	16,89
<400#	0	16,89	100,00	0,00

(D) Amostra A91

Peneira Tyler	Abertura (mm)	% Retido Simples	% Retido Acum.	% Passante
6,0"	150	0,00	0,00	100,00
5,0"	125	0,00	0,00	100,00
4,0"	100	0,89	0,89	99,11
3,0"	75	0,00	0,89	99,11
2,0"	50	1,86	2,75	97,25
1,0"	25	7,34	10,09	89,91
3/8"	9,4	17,20	27,30	72,70
5/16"	8	1,07	28,36	71,64
1/4"	6,3	3,31	31,67	68,33
4#	4,76	3,98	35,65	64,35
6#	3,36	4,68	40,32	59,68
8#	2,36	3,26	43,59	56,41
10#	1,7	2,79	46,38	53,62
14#	1,18	2,66	49,03	50,97
20#	0,85	2,03	51,07	48,93
28#	0,6	1,60	52,66	47,34
35#	0,425	1,84	54,50	45,50
48#	0,3	0,88	55,38	44,62
65#	0,21	1,47	56,85	43,15
100#	0,15	2,90	59,76	40,24
150#	0,105	4,60	64,36	35,64
200#	0,075	7,90	72,26	27,74
270#	0,053	6,21	78,47	21,53
325#	0,044	5,43	83,90	16,10
400#	0,038	2,70	86,61	13,39
<400#	-	13,39	100,00	0,00

(E) Amostra A93

Peneira Tyler	Abertura (mm)	% Retido simples	% Retido Acum.	% Passante
6,0"	150	3,76	3,76	96,24
5,0"	125	0,00	3,76	96,24
4,0"	100	6,29	10,05	89,95
3,0"	75	4,87	14,92	85,08
2,0"	50	4,62	19,55	80,45
1,0"	25	8,26	27,80	72,20
3/8"	9,4	13,88	41,68	58,32
5/16"	8	1,41	43,09	56,91
1/4"	6,3	2,77	45,86	54,14
4#	4,76	3,58	49,45	50,55
6#	3,36	3,95	53,39	46,61
8#	2,36	2,92	56,32	43,68
10#	1,7	2,42	58,73	41,27
14#	1,18	2,30	61,03	38,97
20#	0,85	1,71	62,74	37,26
28#	0,6	1,33	64,06	35,94
35#	0,425	1,55	65,61	34,39
48#	0,3	1,54	67,14	32,86
65#	0,21	1,91	69,06	30,94
100#	0,15	4,21	73,26	26,74
150#	0,105	5,30	78,56	21,44
200#	0,075	6,88	85,44	14,56
270#	0,053	3,46	88,90	11,10
325#	0,044	3,52	92,42	7,58
400#	0,038	0,41	92,83	7,17
<400#	-	7,17	100,00	0,00

Nas Tabelas V.1 (A a E) as linhas assinaladas em amarelo ressaltam os valores encontrados para as malhas de abertura 9,4mm (3/8”), 0,15mm (100#) e 0,044mm (325#) de cada amostra, que são na Samarco, respectivamente: uma variável de corte nos recursos, um parâmetro de controle da usina de concentração e um item de controle do concentrado produzido. Assim, aqueles itabiritos que apresentem o valor de % retida em 9,4mm maiores que 70% são cortados no recurso como estéreis por serem compactos. O valor máximo desejável para o retido em 0,15mm é 12% e os minérios têm que ser moídos até que se atinja valor próximo a esse. O valor mínimo para o passante em 0,044mm é de 87,2% e os minérios são remoídos até que se atinja esse mínimo. Para as amostras, com base nos resultados encontrados para essas frações granulométricas pode-se dizer que:

- todas as amostras não são compactas e portanto, potencialmente minérios, uma vez que têm valores de % retida acumulada em 9,4mm inferiores a 70%. A amostra A61 apresentou o maior valor de % retida acumulada em 9,4mm (53,5%) e sua compacidade pode ser classificada como intermediária (semicompacta). A31 apresentou o menor valor % retida acumulada em 9,4mm (16,65%) e sua compacidade pode ser classificada como friável a pulverulenta. As demais amostras podem ser classificadas como: friável a intermediária para A93 e friável para A62 e A91.
- Todas as amostras terão que ser moídas, pois apresentam os valores da fração granulométrica retido acumulado em 0,15mm superiores a 12%. Nesse caso, os valores para essa fração são relativamente próximos para todas as amostras e estão na faixa compreendida entre aproximadamente 60% a 75%.
- Todas as amostras terão que ser remoídas, pois seus valores para o passante na fração granulométrica <0,044mm são muito inferiores a 87,2%. Assim, A61 e A93 apresentaram os menores valores (próximos a 8%) e as demais amostras apresentaram valores compreendidos na faixa entre 10% a 20%.

As figuras 5.1 a 5.5 mostram as distribuições granulométricas para as frações mais finas (0,075mm a 1 μ m) dessas cinco amostras (análises feitas no Mastersizer). Assim, a Figura 5.1 representa a distribuição granulométrica de 18% do total da amostra A31 (18% <0,075mm), a Figura 5.2 representa 17% (17% <0,075mm) da amostra A61, as

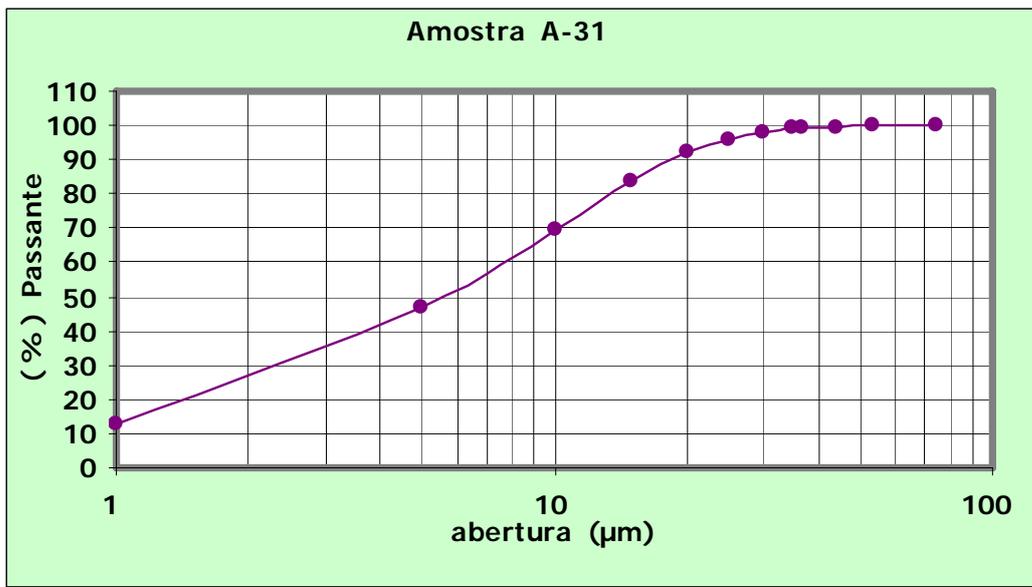


Figura 5.1 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a $1\mu\text{m}$) da amostra A31.

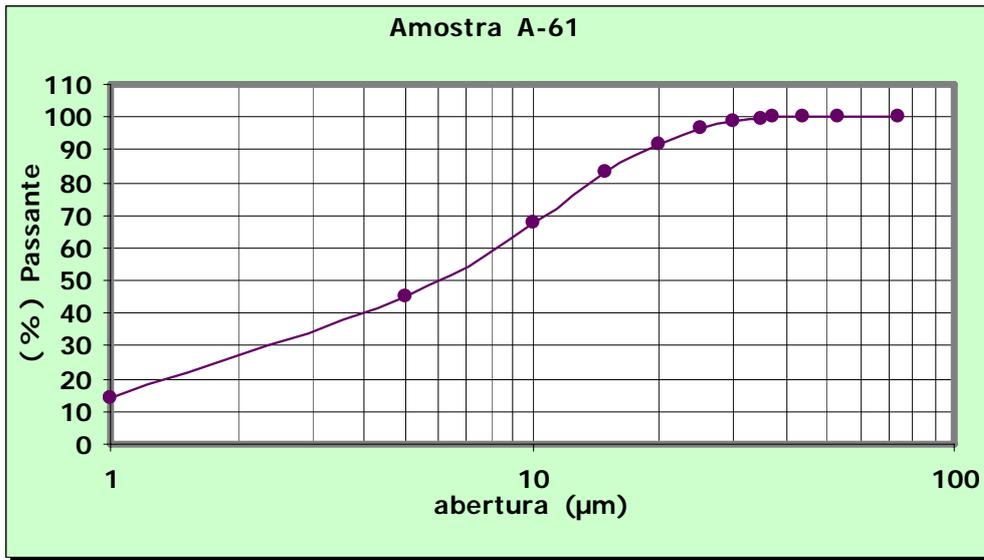


Figura 5.2 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1 μm) da amostra A61.

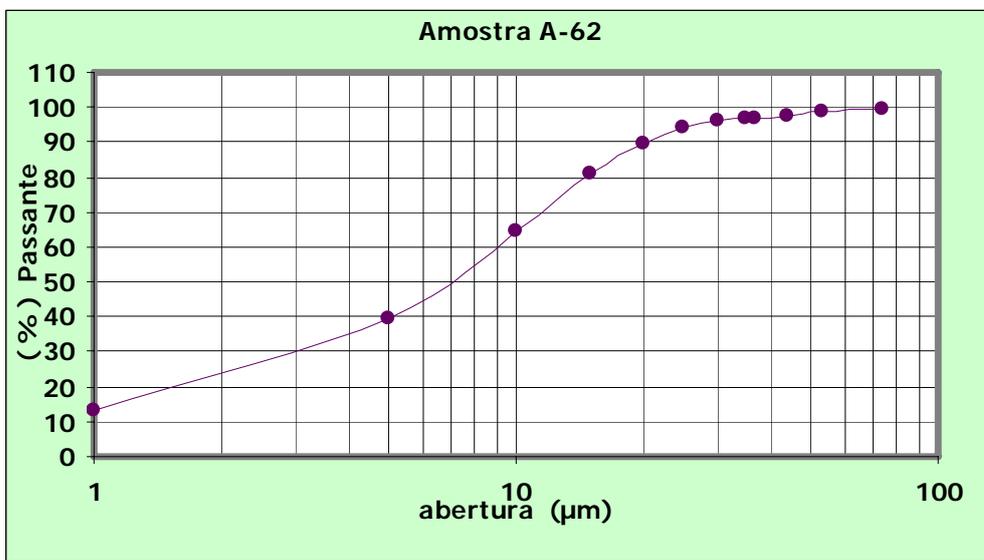


Figura 5.3 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1 μm) da amostra A62.

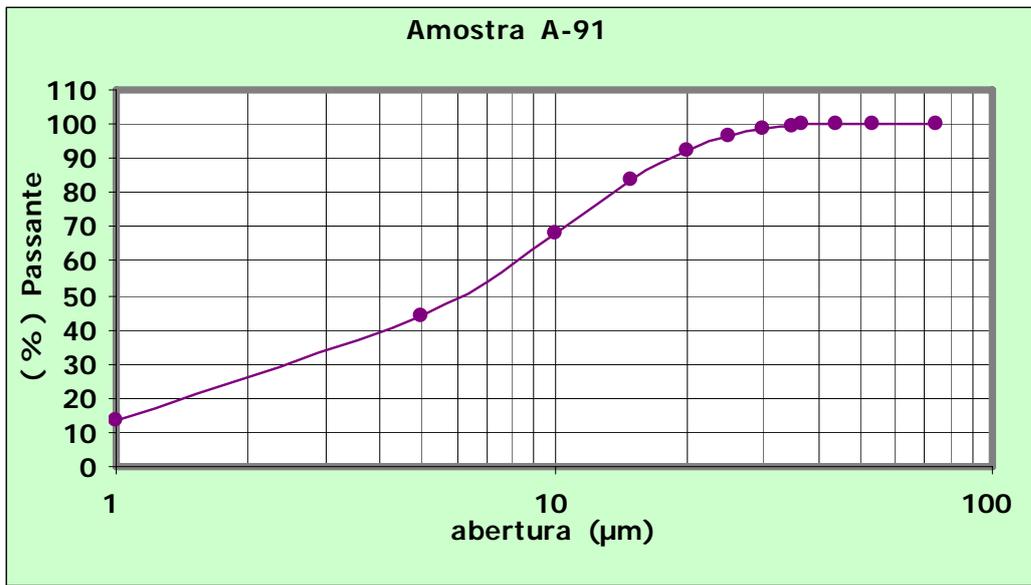


Figura 5.4 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1 μm) da amostra A91.

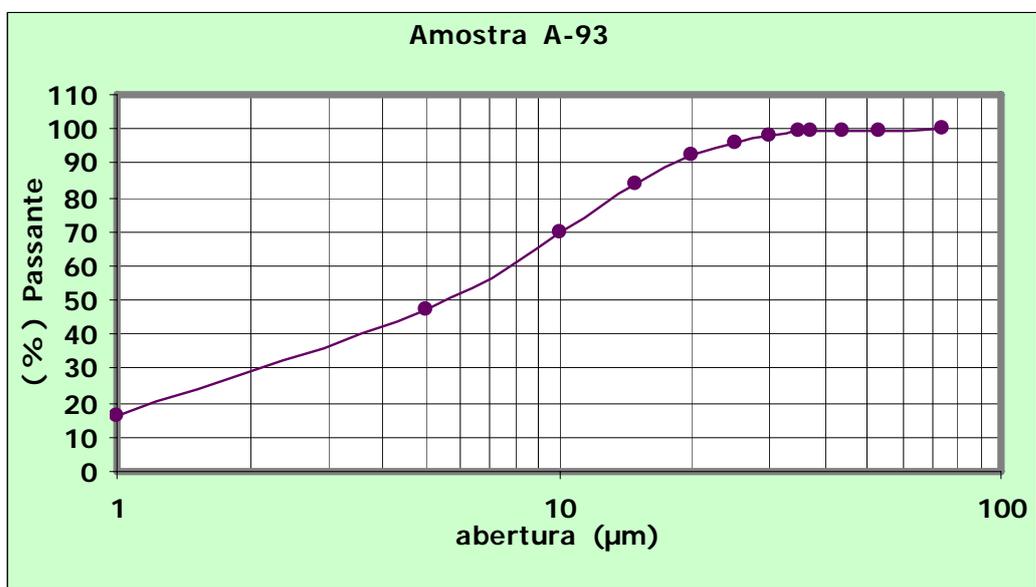


Figura 5.5 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1 μm) da amostra A93.

figuras 5.3 e 5.4 representam 28% (28% <0,075mm) das amostras A62 e A91 e a Figura 5.5 representa 15% (15% <0,075mm) da amostra A93.

De acordo com as figuras anteriores, pode-se notar que todas as cinco amostras de itabiritos anfíbolíticos apresentam distribuições granulométricas das frações mais finas muito semelhantes. Para todas elas, 50% das partículas de tamanho inferior a 0,075mm têm tamanho menor que aproximadamente 6 μ m e, assim, essa distribuição apresenta $d_{50}=6\mu$ m. Pode-se observar também que menos de 16% dessas partículas têm tamanho menor que 1 μ m.

5.1.2 Alíquotas Britado 2

Os resultados das análises granulométricas das cinco amostras de itabiritos anfíbolíticos britadas abaixo de 3,36mm, ou seja, resultados das alíquotas Britado 2, estão listados nas Tabelas V.2 (A, B, C, D e E).

Baseado nas tabelas anteriores pode-se notar que, de forma geral, as distribuições granulométricas das amostras são relativamente semelhantes entre si. A amostra A31 apresenta granulometria um pouco mais grossa ($d_{50}=0,42$ mm) e A91 tem a granulometria um pouco mais fina ($d_{50}=0,105$ mm) do que as demais (A61, A62 e A93) que apresentam d_{50} entre 0,21mm e 0,15mm. As amostras A62 e A91 são as que apresentam as maiores porcentagens de material passante em 0,038mm (25% e 21%, respectivamente). Essa porcentagem para as outras amostras encontra-se na faixa compreendida entre 11% e 16%.

Como nas Tabelas V.1, nas Tabelas V.2 (A a E) estão assinalados em amarelo os valores encontrados para as malhas de abertura 0,15mm e 0,044mm. Assim:

- comparando-se os valores da fração retida acumulada em 0,15mm das amostras Tal e Qual (Tabelas V.1) com os das alíquotas Britado 2 (Tabelas V.2) pode-se notar que houve um afinamento granulométrico generalizado para todas as amostras. Dessa forma, os valores para essa fração, que para as primeiras estavam na faixa compreendida entre 60% a 74%, passaram para as segundas, a estar na faixa entre 42% a 64%.

Tabelas V.2 – Distribuição granulométrica das alíquotas Britado 2 das amostras de itabiritos anfíbolíticos – (A) A31; (B) A61; (C) A62; (D) A91 e (E) A93.

(A) Amostra A31

Peneira Tyler	Abertura (mm)	% Retido Simples	% Retido Acum.	% Passante
6#	3,36	0,00	0,00	100,00
8#	2,36	19,00	19,00	81,00
10#	1,7	5,35	24,34	75,66
14#	1,18	10,35	34,69	65,31
20#	0,85	6,74	41,44	58,56
28#	0,6	6,29	47,73	52,27
35#	0,425	3,38	51,11	48,89
48#	0,3	3,67	54,78	45,22
65#	0,21	4,24	59,02	40,98
100#	0,15	5,05	64,07	35,93
150#	0,105	4,19	68,26	31,74
200#	0,075	7,34	75,60	24,40
270#	0,053	4,13	79,73	20,27
325#	0,044	5,14	84,87	15,13
400#	0,038	1,70	86,57	13,43
<400#	-	13,43	100,00	0,00

(B) Amostra A61

Peneira Tyler	Abertura (mm)	% Retido Simples	% Retido Acum.	% Passante
6#	3,36	0,00	0,00	100,00
8#	2,36	9,10	9,10	90,90
10#	1,7	7,52	16,61	83,39
14#	1,18	6,28	22,89	77,11
20#	0,85	3,92	26,82	73,18
28#	0,6	3,00	29,81	70,19
35#	0,425	3,59	33,40	66,60
48#	0,3	2,98	36,39	63,61
65#	0,21	3,46	39,85	60,15
100#	0,15	7,81	47,65	52,35
150#	0,105	9,42	57,08	42,92
200#	0,075	10,94	68,02	31,98
270#	0,053	7,59	75,60	24,40
325#	0,044	5,41	81,02	18,98
400#	0,038	3,32	84,34	15,66
<400#	0	15,66	100,00	0,00

(C) Amostra A62

Peneira Tyler	Abertura (mm)	% Retido Simples	% Retido Acum.	% Passante
6#	3,36	0,00	0,00	100,00
8#	2,36	14,05	14,05	85,95
10#	1,7	3,79	17,85	82,15
14#	1,18	7,26	25,11	74,89
20#	0,85	5,05	30,16	69,84
28#	0,6	4,95	35,11	64,89
35#	0,425	2,93	38,04	61,96
48#	0,3	3,05	41,09	58,91
65#	0,21	3,98	45,07	54,93
100#	0,15	5,00	50,07	49,93
150#	0,105	4,11	54,18	45,82
200#	0,075	7,40	61,58	38,42
270#	0,053	4,42	66,00	34,00
325#	0,044	6,01	72,00	28,00
400#	0,038	2,88	74,89	25,11
<400#	-	25,11	100,00	0,00

(D) Amostra A91

Peneira Tyler	Abertura (mm)	% Retido Simples	% Retido Acum.	% Passante
6#	3,36	0,00	0,00	100,00
8#	2,36	11,23	11,23	88,77
10#	1,7	3,20	14,43	85,57
14#	1,18	6,46	20,88	79,12
20#	0,85	4,51	25,39	74,61
28#	0,6	4,30	29,69	70,31
35#	0,425	2,45	32,14	67,86
48#	0,3	2,30	34,44	65,56
65#	0,21	2,45	36,89	63,11
100#	0,15	4,79	41,68	58,32
150#	0,105	8,12	49,80	50,20
200#	0,075	9,82	59,62	40,38
270#	0,053	7,11	66,73	33,27
325#	0,044	6,94	73,67	26,33
400#	0,038	5,28	78,95	21,05
<400#	-	21,05	100,00	0,00

(E) Amostra A93

Peneira Tyler	Abertura (mm)	% Retido Simples	% Retido Acum.	% Passante
6#	3,36	0,00	0,00	100,00
8#	2,36	12,53	12,53	87,47
10#	1,7	9,46	21,99	78,01
14#	1,18	7,53	29,52	70,48
20#	0,85	4,40	33,92	66,08
28#	0,6	3,30	37,22	62,78
35#	0,425	3,65	40,87	59,13
48#	0,3	2,95	43,82	56,18
65#	0,21	4,26	48,07	51,93
100#	0,15	7,24	55,31	44,69
150#	0,105	6,75	62,06	37,94
200#	0,075	13,15	75,21	24,79
270#	0,053	5,87	81,08	18,92
325#	0,044	6,34	87,42	12,58
400#	0,038	1,51	88,94	11,06
<400#	-	11,06	100,00	0,00

- Como é de se esperar, para todas as amostras os valores para o passante na fração granulométrica $<0,044\text{mm}$ são maiores do que para as amostras Tal e Qual. Assim, as sucessivas britagens (100% $<8\text{mm}$ e após 100% $<3,36\text{mm}$), afetaram a quantidade de material presente nas frações mais finas.

As figuras 5.6 a 5.10 a seguir, mostram as distribuições granulométricas para as frações mais finas ($0,075\text{mm}$ a $1\mu\text{m}$) das alíquotas Britado 2 (análises feitas no Mastersizer). Assim, A Figura 5.6 mostra a distribuição granulométrica de aproximadamente 24% do total da amostra A31 (24% $<0,075\text{mm}$), a Figura 5.7 representa 32% da amostra A61, a Figura 5.8 38% da amostra A62, a Figura 5.9 40% da amostra A91 e a Figura 5.10 25% da amostra A93.

De forma geral, pode-se observar que as distribuições granulométricas das frações mais finas dessas alíquotas são semelhantes entre si. Para todas elas, 50% das partículas de tamanho menor do que $0,075\text{mm}$ têm tamanho menor que $10\mu\text{m}$ a $15\mu\text{m}$ (d_{50} na faixa de $10\mu\text{m}$ a $15\mu\text{m}$) e menos que 9% dessas partículas têm tamanho menor que $1\mu\text{m}$.

A Tabela V.3 traz os valores de d_{50} e porcentagem de partículas de tamanho inferior a $1\mu\text{m}$ da distribuição granulométrica das frações mais finas das alíquotas Britado 2 e das amostras Tal e Qual. Da análise dos resultados pode-se notar que as frações mais finas das amostras após serem britadas (Britado 2) estão ligeiramente mais grossas do que estavam antes das britagens. Isso pode ser explicado pelo acúmulo de partículas provenientes da quebra/cominuição de partículas de faixas granulométricas mais grossas em faixas mais grossas que as frações granulométricas mais finas.

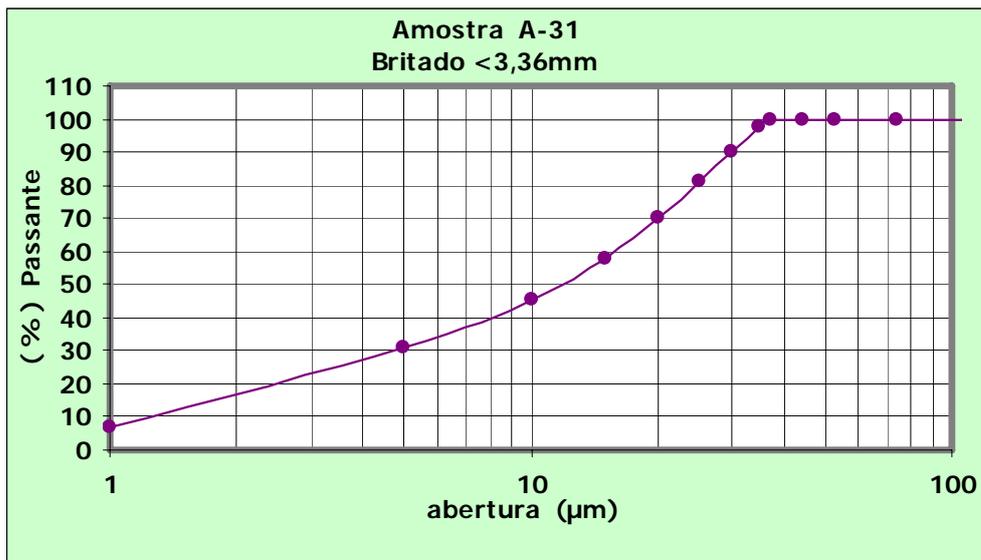


Figura 5.6 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1 μm) da amostra A31.

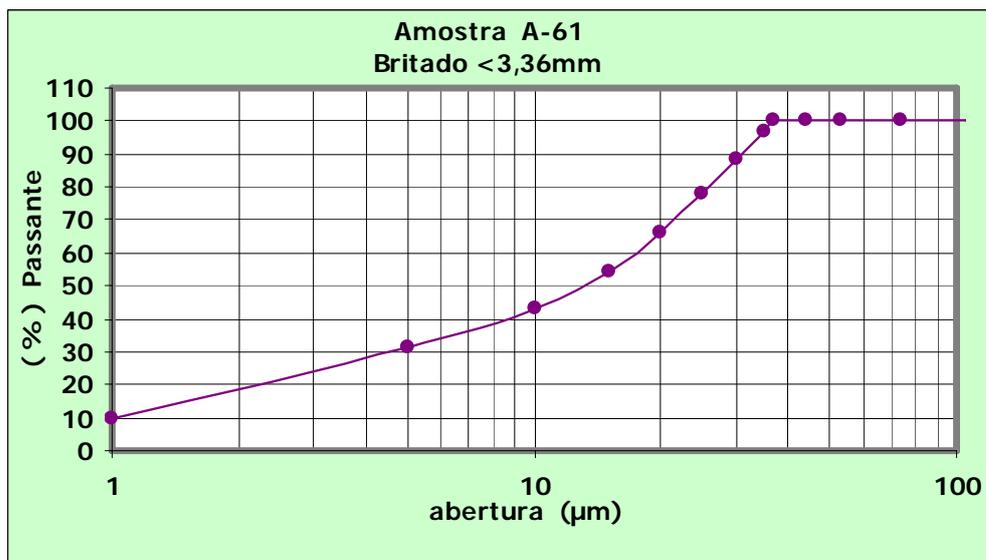


Figura 5.7 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1 μm) da amostra A61.

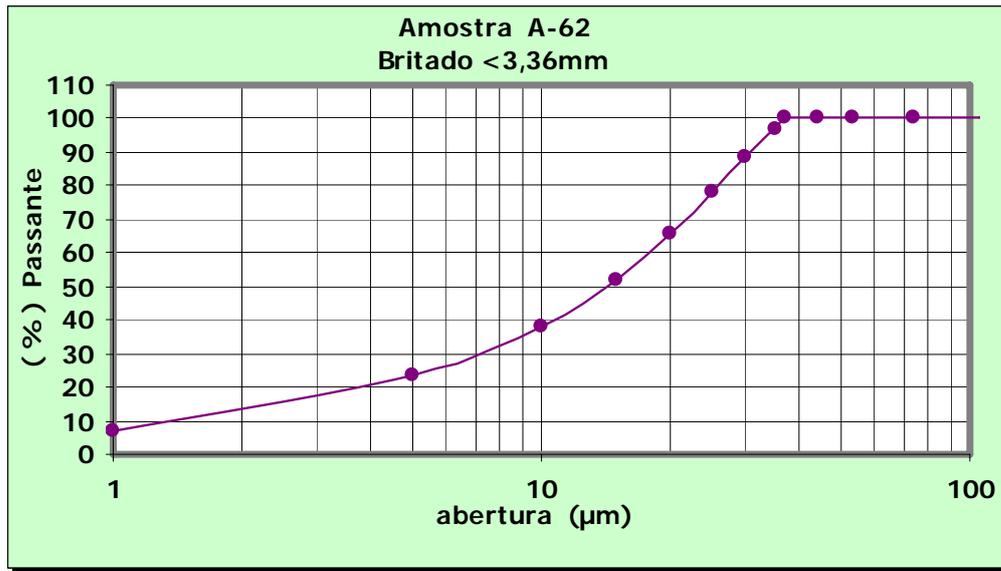


Figura 5.8 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1 μm) da amostra A62.

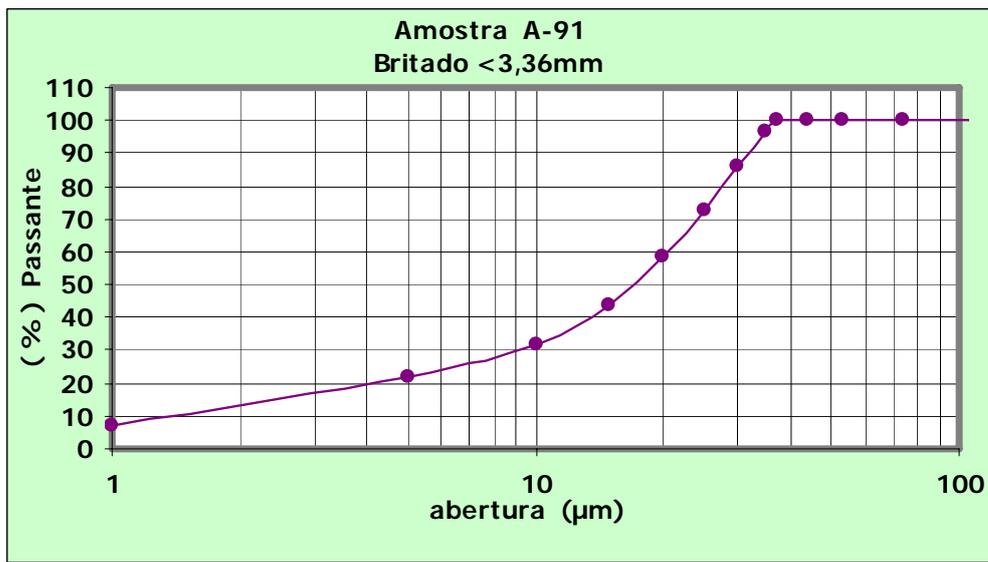


Figura 5.9 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1 μm) da amostra A91.

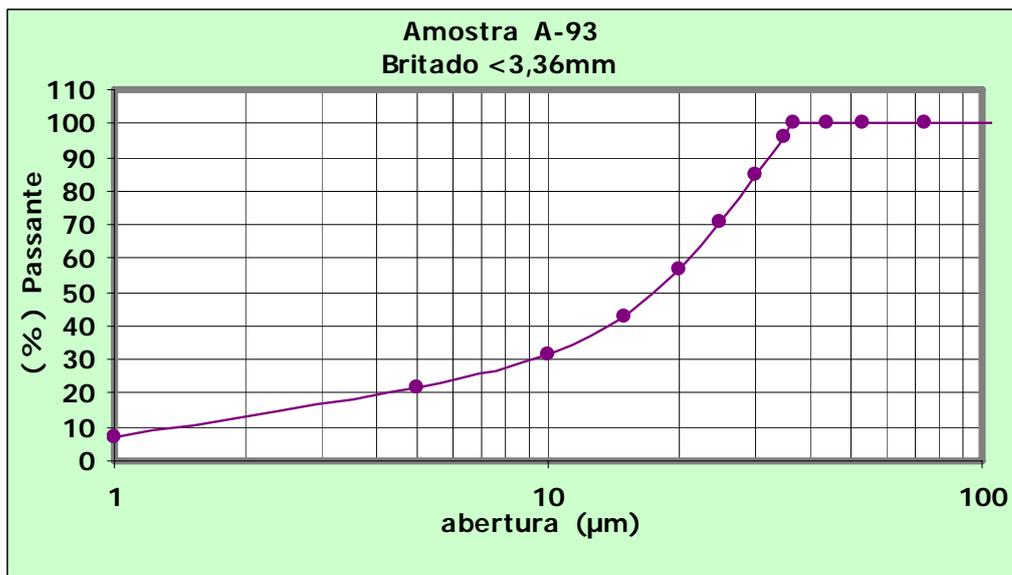


Figura 5.10 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1μm) da amostra A93.

Tabela V.3 – Valores de d_{50} e porcentagem de partículas de tamanho inferior a 1μm das distribuições granulométricas das frações mais finas das amostras Tal e Qual e alíquotas de Britado 2.

Amostras	d_{50} (μm)	% <1μm
Tal e Qual	6	16
Britado 2	10 -15	7-9

5.1.3 Alíquotas Descarga da Moagem

Os resultados das análises granulométricas das alíquotas das cinco amostras de itabiritos anfíbolíticos após terem sido moídas estão listados nas Tabelas V.4 (A, B, C, D e E).

Baseado nas tabelas V.4 pode-se notar que as distribuições granulométricas das amostras são relativamente semelhantes entre si. A amostra A62 apresenta granulometria um pouco mais fina do que as demais amostras com o $d_{50}=0,044\text{mm}$ ($d_{50}=0,053\text{mm}$ para as outras amostras). A amostra A62 é a que apresenta também, a maior porcentagem de material passante em $0,038\text{mm}$ (45%). Essa porcentagem para as outras amostras encontra-se na faixa compreendida entre 28% a 37%.

Comparando-se os valores da fração retida acumulada em $0,044\text{mm}$ das alíquotas Britado 2 (Tabelas V.2) com os dessas alíquotas de descarga da moagem (Tabelas V.4) nota-se que houve um afinamento generalizado, passando de valores maiores do que 80% para valores próximos de 50% a 60%. Assim, a moagem afetou a quantidade de material presente nas frações mais finas.

Como para as amostras Tal e Qual e alíquotas Britado 2, as figuras 5.11 a 5.15 a seguir, mostram as distribuições granulométricas das frações mais finas ($0,075\text{mm}$ a $1\mu\text{m}$) das alíquotas da descarga da moagem. A Figura 5.11 representa a distribuição granulométrica de aproximadamente 61% do total da amostra A31, a Figura 5.12 60% da amostra A61, a Figura 5.13 68% da amostra A62, a Figura 5.14 63% da amostra A91 e a Figura 5.15 57% da amostra A93.

Analisando as curvas das figuras 5.11 a 5.15, pode-se verificar que elas são bastante semelhantes entre si. Assim, o d_{50} para todas elas está na faixa compreendida entre $10\mu\text{m}$ e $15\mu\text{m}$ e menos de 7% das partículas pertencentes a essas frações, têm tamanho menor que $1\mu\text{m}$. Outra observação importante é que essas distribuições (frações mais finas das alíquotas da descarga da moagem) guardam bastante semelhança com as distribuições dessas mesmas frações das alíquotas Britado 2. Assim, a moagem aumentou a quantidade de material presente nas frações mais finas, mas não afetou a distribuição granulométrica dessas frações.

Tabelas V.4 – Distribuição granulométrica das alíquotas das amostras de itabiritos anfíbolíticos após terem sido moídas – (A) A31; (B) A61; (C) A62; (D) A91 e (E) A93.

(A) Amostra A31

Peneira Tyler	Abertura (mm)	% Retido Simples	% Retido Acum.	% Passante
35#	0.425	0.00	0.00	100.00
48#	0.3	0.28	0.28	99.72
65#	0.21	1.01	1.29	98.71
100#	0.15	7.32	8.60	91.40
150#	0.105	12.59	21.19	78.81
200#	0.075	17.53	38.73	61.27
270#	0.053	10.97	49.70	50.30
325#	0.044	10.89	60.59	39.41
400#	0.038	2.24	62.84	37.16
<400#	-	37.16	100.00	0.00

(B) Amostra A61

Peneira Tyler	Abertura (mm)	% Retido Simples	% Retido Acum.	% Passante
35#	0,425	0,21	0,21	99,79
48#	0,3	0,62	0,83	99,17
65#	0,21	1,33	2,16	97,84
100#	0,15	6,48	8,64	91,36
150#	0,105	12,58	21,22	78,78
200#	0,075	18,63	39,85	60,15
270#	0,053	12,08	51,93	48,07
325#	0,044	11,54	63,47	36,53
400#	0,038	3,19	66,66	33,34
<400#	-	33,35	100,00	0,00

(C) Amostra A62

Peneira Tyler	Abertura (mm)	% Retido Simples	% Retido Acum.	% Passante
35#	0,425	0,18	0,18	99,82
48#	0,3	0,69	0,87	99,13
65#	0,21	1,75	2,63	97,37
100#	0,15	7,05	9,68	90,32
150#	0,105	9,84	19,52	80,48
200#	0,075	12,58	32,11	67,89
270#	0,053	8,64	40,74	59,26
325#	0,044	10,69	51,43	48,57
400#	0,038	3,10	54,52	45,48
<400#	-	45,48	100,00	0,00

(D) Amostra A91

Peneira Tyler	Abertura (mm)	% Retido Simples	% Retido Acum.	% Passante
35#	0,425	0,27	0,27	99,73
48#	0,3	1,09	1,36	98,64
65#	0,21	2,38	3,74	96,26
100#	0,15	7,14	10,88	89,12
150#	0,105	10,99	21,87	78,13
200#	0,075	15,12	36,99	63,01
270#	0,053	11,42	48,41	51,59
325#	0,044	11,97	60,39	39,61
400#	0,038	3,81	64,20	35,80
<400#	-	35,80	100,00	0,00

(E) Amostra A93

Peneira Tyler	Abertura (mm)	% Retido Simples	% Retido Acum.	% Passante
35#	0,425	0,19	0,19	99,81
48#	0,3	0,51	0,70	99,30
65#	0,21	1,24	1,93	98,07
100#	0,15	6,51	8,45	91,55
150#	0,105	13,06	21,50	78,50
200#	0,075	21,64	43,14	56,86
270#	0,053	13,50	56,64	43,36
325#	0,044	11,66	68,30	31,70
400#	0,038	3,12	71,42	28,58
<400#	-	28,58	100,00	0,00

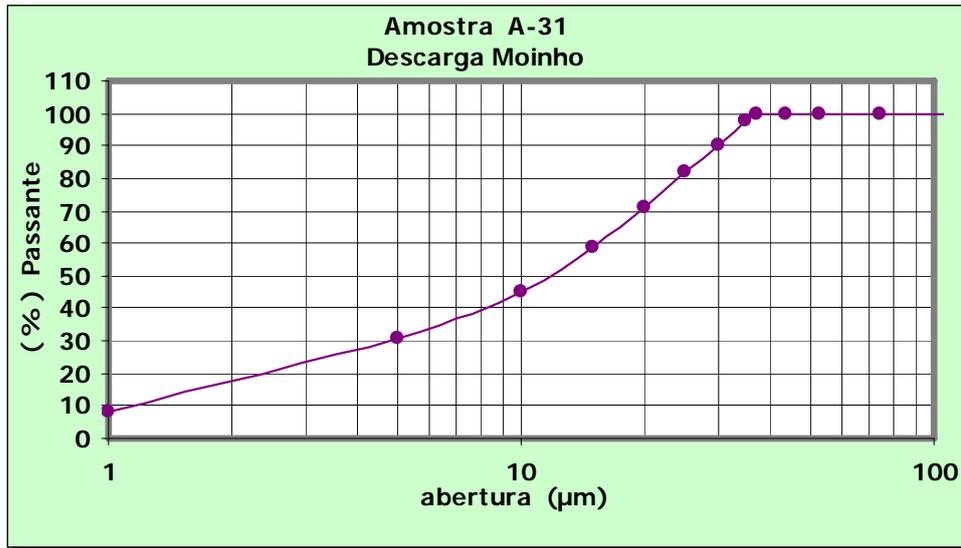


Figura 5.11 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1 μm) da amostra A31.

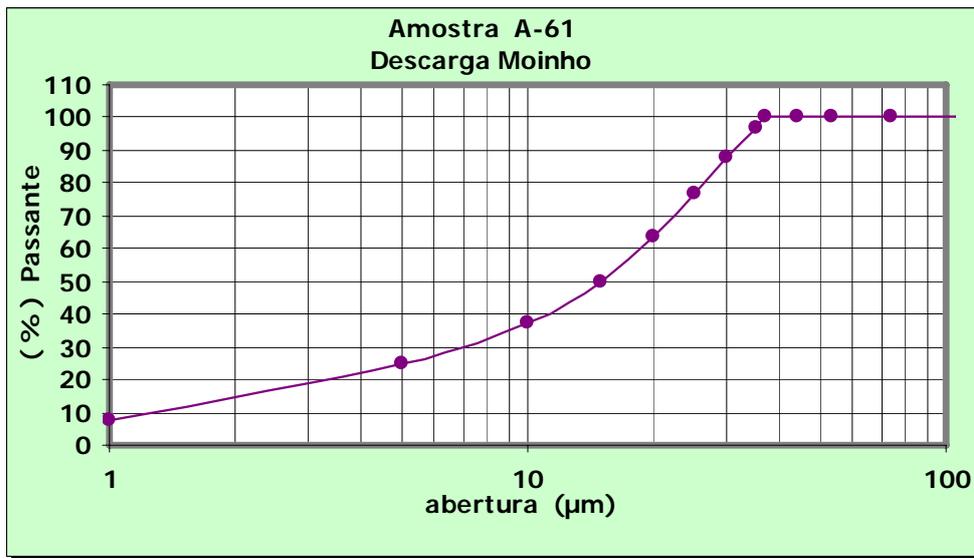


Figura 5.12 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1 μm) da amostra A61.

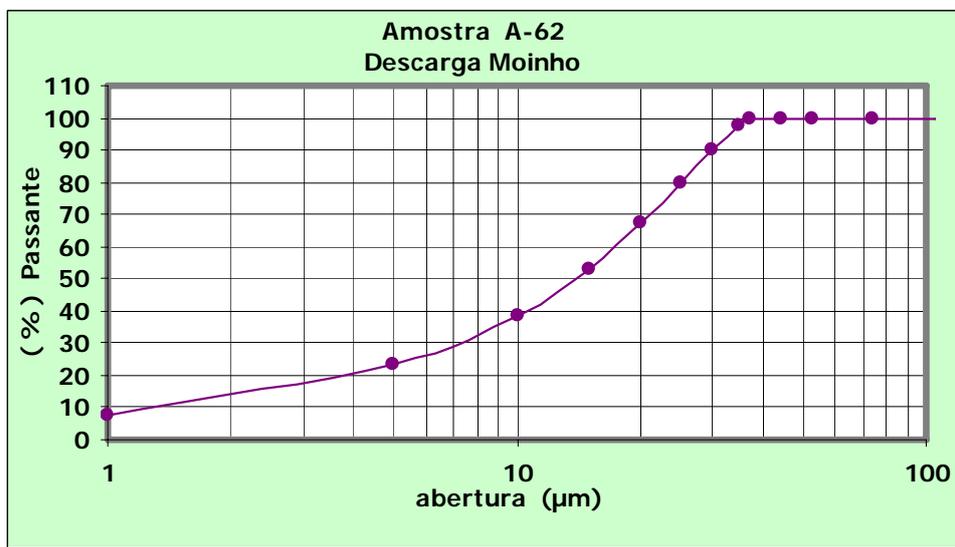


Figura 5.13 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1 μm) da amostra A62.

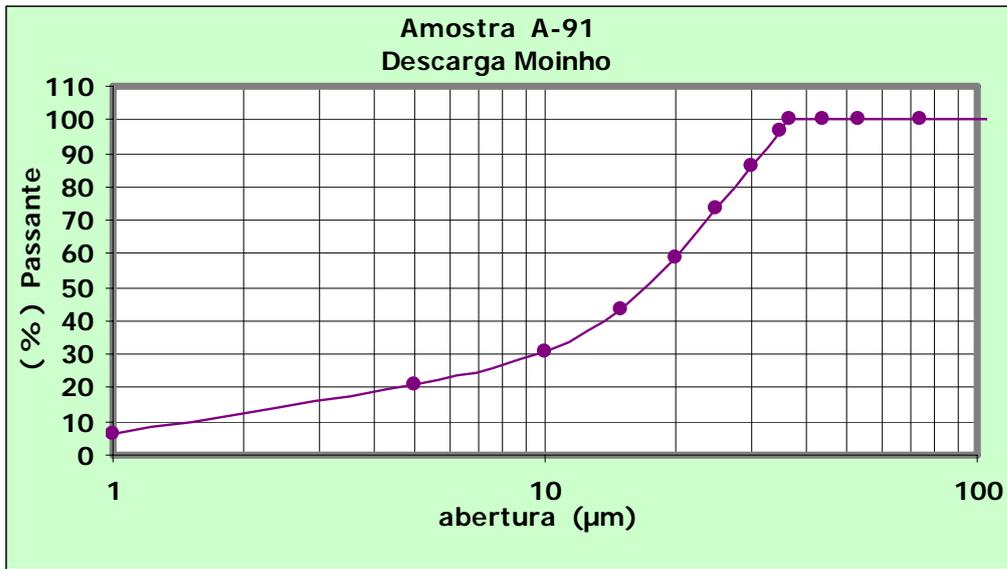


Figura 5.14 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1 μm) da amostra A91.

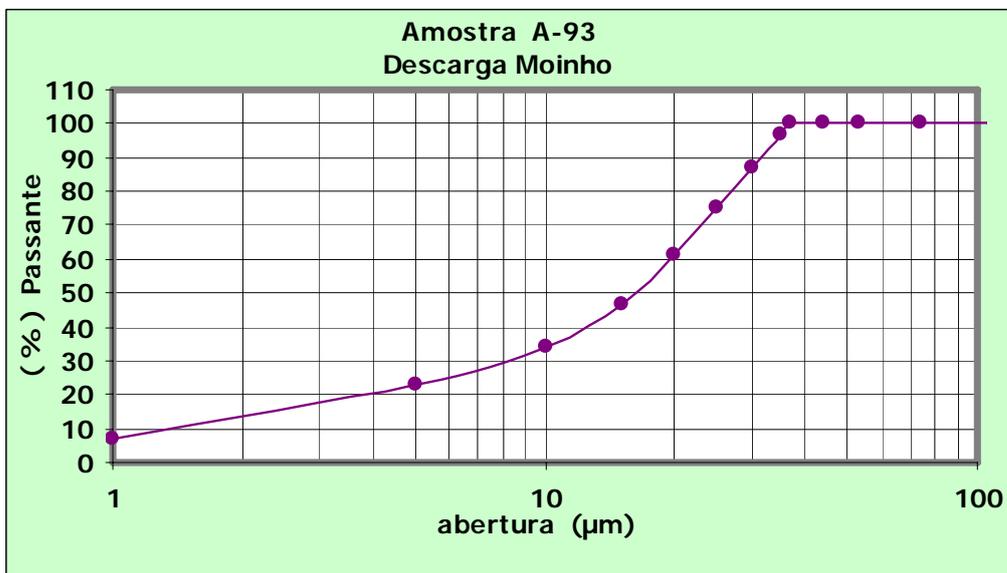


Figura 5.15 – Gráfico de distribuição granulométrica para as frações mais finas (0,075mm a 1 μm) da amostra A93.

5.2 ANÁLISES QUÍMICAS

5.2.1 Alíquotas Britado 2

Na Tabela V.5 estão listados os resultados das análises químicas quantitativas (plasma, via úmida e determinação da PPC) das alíquotas Britado 2 e na Tabela V.6, os resultados das análises químicas qualitativas/semiquantitativas (fluorescências de raios-X) dessas mesmas alíquotas.

Da Tabela V.5 pode-se dizer:

1. Os teores de Fe_T de todas as amostras não apresentam diferenças significativas e são relativamente baixos (<50%).
2. A amostra A31 destaca-se como tendo um teor de Al_2O_3 extremamente elevado (>1%) e é seguida pela amostra A61 que possui teor próximo a 1%. Um teor tão elevado como o da amostra A31 é indicativo da presença de minerais de Al_2O_3 (argilominerais), tais como a caulinita ou a gibbsita, nessa amostra. As demais têm teores de Al_2O_3 dentro da faixa média dos teores dos minérios das minas de Alegria.
3. Os teores de P são variados e relativamente altos (>0,050%) para praticamente todas as amostras. Essa é uma característica comum aos itabiritos anfíbolíticos e a exceção é a amostra A61, que tem um teor de P baixo (0,012%) não somente para um itabirito anfíbolítico, como também para os minérios das minas de Alegria.
4. Os teores de PPC são elevados (>3%) para todas as amostras, que também é uma característica dos itabiritos anfíbolíticos. Destacam-se A31 e A62 com teores de PPC muito altos (entre 6% e 9%).
5. Os teores de MnO_2 não são elevados, mas as amostras A31 e A61 apresentam valores mais altos que os mais comumente encontrados nos minérios de Alegria (0,01% e 0,02%).
6. A amostra A61 tem o maior teor de FeO (1,79%) e as demais apresentam teores dentro da faixa comum aos minérios de Alegria.
7. As densidades calculadas são relativamente parecidas para todas as amostras.

Tabela V.5 – Resultados das análises químicas quantitativas das alíquotas Britado 2 – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.

Alíquotas Britado 2

Amostra	Fe_T (%)	SiO₂ (%)	Al₂O₃ (%)	P (%)	PPC (%)	MnO₂ (%)	FeO (%)	d calc.⁴ (g/cm ³)
A31	42,00	26,10	4,53	0,127	8,99	0,04	0,28	3,44
A61	43,58	33,10	0,82	0,012	3,68	0,07	1,79	3,70
A62	46,06	26,67	0,27	0,098	6,96	0,02	0,26	3,66
A91	44,50	32,28	0,35	0,057	3,60	0,02	0,36	3,73
A93	43,87	33,28	0,21	0,065	3,63	0,01	0,44	3,71

Tabela V.6 – Resultados das análises de fluorescência de raios-X, das alíquotas Britado 2 – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.

Alíquotas Britado 2														
Amostra	Elementos presentes													
	Alta conc.		Média conc.		Baixa conc.	Traços								
A31	Fe	O	Si	Al	P	Mn	-	Cr	Ti	Ca	Cl	S	Mg	Na
A61	Fe	O	Si	-	Al	Mn	-	Cr	Ti	Ca	Cl	S	P	Na
A62	Fe	O	Si	-	P	Mn	Al	Cr	-	Ca	Cl	S	-	-
A91	Fe	O	Si	-	-	Mn	Al	Cr	-	Ca	Cl	S	P	Na
A93	Fe	O	Si	-	P	Mn	Al	Cr	-	Ca	Cl	S	-	Na

⁴ Densidade calculada pela fórmula – $[1394/(-3,7315*\%Fe + 526)]* [(100 - \%PPC)/100]$

Baseado na análise da Tabela V.6 pode-se dizer que:

1. Os resultados dos elementos *Fe*, *O*, *Si*, *Al*, *P* e *Mn* determinados pela fluorescência de raios-X estão em concordância com os resultados das análises químicas quantitativas. Assim, não há discrepâncias entre os métodos de análises químicas.
2. Em todas as amostras foram encontrados traços de *Cr*, *Ca*, *Cl* e *S*. Excetuando-se a amostra A62, em todas foi encontrado também o elemento *Na* como traços. Traços do elemento *Ti* foram encontrados nas amostras A61 e A31, que também apresenta traços do elemento *Mg*.

É sabido da literatura, que nos óxidos e oxi-hidróxidos de *Fe*, o Fe^{3+} na posição octaédrica pode ser parcialmente substituído por outros cátions metálicos trivalentes de tamanho similar, tais como Al^{3+} , Mn^{3+} e Cr^{3+} , sem modificação da estrutura (substituição isomórfica). Outros cátions, e.g. *Ni*, *Ti*, *Co*, *Cu* e *Zn* podem também ser incorporados na estrutura dos óxidos/oxi-hidróxidos de ferro (Schwertmann & Taylor, 1977). Também já é de conhecimento comum que a goethita apresenta quantidades variáveis de SiO_2 e Al_2O_3 dentro de sua estrutura cristalina, bem como de outros elementos tais como o *P*, *Ti*, *Mn*, *Cl*, *Mg* e *K* (Rocha, 1997). Assim, fica evidente a suposição de que os elementos traços encontrados nas amostras em estudo devam estar localizados, principalmente, na estrutura das goethitas dessas amostras.

A presença dos elementos traços *Ca*, *Na* e *Mg* na estrutura das goethitas, principalmente se essas forem pseudomórficas de anfibólio, pode ser um forte indicativo da presença anterior de um anfibólio que contivesse esses elementos em sua estrutura. Como se atribui a origem dos itabiritos anfibolíticos a, provavelmente, uma formação ferrífera da fácies silicato ou óxido-silicato, contendo intercalações e impurezas carbonáticas, os elementos *Ca* e *Mg* podem estar relacionados também aos carbonatos (ankerita ou dolomita). Assim, em se tratando de um ambiente rico em *Fe* e contendo carbonatos sugerem-se os anfibólios riebeckita (*Na* e *Fe*) e grunerita (*Fe*) como os possíveis predecessores.

5.2.2 Alíquotas Underflow Deslamado

Os dados químicos quantitativos das alíquotas *Underflow* Deslamado das cinco amostras de itabirito anfíbolítico estão listados na Tabela V.7 e na Tabela V.8 estão dispostos os resultados da fluorescência de raios-X dessas mesmas alíquotas.

Da Tabela V.7 pode-se dizer que:

1. Nessas alíquotas também, os teores de Fe_T não apresentam diferenças significativas entre si. Comparadas aos Britado 2, a amostra A31 teve um leve enriquecimento em Fe e as demais ou praticamente não tiveram alteração significativa (A61 e A62) ou apresentaram um leve empobrecimento (A91 e A93).
2. O teor de Al_2O_3 da amostra A31 continua sendo o maior de todas as amostras e, embora esteja menor que no Britado 2, ainda é um valor elevado e típico de minérios que contenham argilominerais. Todas as amostras tiveram queda no valor desse teor, pois normalmente a frações granulométricas mais finas (lamas) são mais enriquecidas, entre outros elementos, em Al_2O_3 .
3. Como para o Britado 2, a amostra A31 continua com o teor de P muito elevado ($>0,100\%$). Para todas as amostras, esse teor teve decréscimos variados do Britado 2 para o *underflow*, que indica que as lamas é que estão enriquecidas.
4. Os valores das PPC tiveram decréscimos variados ao serem deslamados, pois as goethitas terrosas (principalmente) e as argilas são muito finas e formam as lamas. Mesmo com esse decréscimo, os teores das amostras A31 e A62 continuam muito altos ($>6\%$) e as demais, continuam com teores relativamente elevados (próximos a 3%).
5. Para o MnO_2 , as mesmas observações feitas para o Britado 2 são válidas para o *Underflow*. As amostras A61 e A93 tiveram uma pequena redução de seus valores.
6. Os teores de FeO não tiveram modificações muito significativas do Britado 2 para o *Underflow*. Em algumas amostras houve um leve enriquecimento (A31 e A91), noutras um leve decréscimo dos valores (A62 e A93) e A61 permaneceu com o teor de FeO inalterado e ainda o mais elevado de todas as amostras.

Tabela V.7 – Resultados das análises químicas quantitativas das alíquotas *Underflow* Deslamado – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.

Alíquotas Underflow Deslamado

<i>Amostra</i>	Fe _T (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	P (%)	PPC (%)	MnO ₂ (%)	FeO (%)
<i>A31</i>	43,13	26,72	2,97	0,117	8,34	0,04	0,68
<i>A61</i>	43,85	34,02	0,42	0,011	2,80	0,04	1,79
<i>A62</i>	45,85	27,53	0,23	0,094	6,45	0,02	0,16
<i>A91</i>	43,08	35,03	0,25	0,051	2,99	0,02	0,43
<i>A93</i>	42,98	35,09	0,15	0,059	3,17	0,01	0,41

Tabela V.8 – Resultados das análises de fluorescência de raios-X das alíquotas *Underflow* Deslamado – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.

<i>Alíquotas Underflow Deslamado</i>															
<i>Amostra</i>	Elementos presentes														
	Alta conc.			Média conc.	Baixa conc.	Traços									
<i>A31</i>	Fe	O	-	Si	Al	P	-	Mn	Cr	Ti	Ca	Cl	S	Mg	Na
<i>A61</i>	Fe	O	-	Si	-	P	Al	Mn	Cr	Ti	Ca	Cl	S	Mg	Na
<i>A62</i>	Fe	O	-	Si	-	P	Al	Mn	Cr	-	Ca	Cl	S	Mg	Na
<i>A91</i>	Fe	O	Si	-	-	P	Al	Mn	Cr	-	Ca	Cl	S	-	Na
<i>A93</i>	Fe	O	-	Si	-	P	Al	Mn	Cr	Ti	Ca	Cl	S	-	Na

Como para o Britado 2 os resultados da fluorescência de raios-X para os elementos *Fe*, *O*, *Si*, *Al*, *P* e *Mn* estão em boa concordância com os resultados das análises químicas quantitativas. Os elementos *Cr*, *Ca*, *Cl* e *S* continuam como traços em todas as amostras e o *Na* passa a estar presente em todas elas. Traços de *Ti* estão presentes além de em A61 e A31, também em A93. O elemento *Mg* continua presente em A31 e passa a ser encontrado também em A61 e A62.

As mesmas observações feitas para o Britado 2, referentes à presença desses elementos traços nas amostras, são válidas para essas alíquotas de *underflow* da deslamagem.

5.2.3 Alíquotas Lama

Como para as alíquotas anteriores, os dados químicos quantitativos das alíquotas Lama estão listados na Tabela V.9 e na Tabela V.10 estão os resultados da fluorescência de raios-X dessas mesmas alíquotas.

Assim, da análise química quantitativa, pode-se dizer que:

1. Os teores Fe_T apresentam-se com maior variação, sendo que A91 e A93 têm os maiores teores (50% a 54%) e A31 é a de teor mais baixo (40%). Quando se comparam os resultados do Britado 2, *underflow* da deslamagem e a lama, verifica-se que a lama de A31 teve um pequeno empobrecimento em *Fe* e as demais enriqueceram nesse teor (lamas relativamente ricas).
2. A amostra A31 continua apresentando o maior teor de Al_2O_3 e nesse caso, está muito alto (11%) e, mais uma vez, evidenciando a presença de argilominerais. Todas as amostras tiveram aumento substancial no valor desse teor, que já era o esperado, pois como já dito anteriormente, normalmente a Al_2O_3 está contida principalmente nos minerais terrosos (goethita e argilas), de granulação mais fina e que formam a lama.
3. Os teores de *P* aumentaram para todas as amostras e excetuando-se em A61, são muito altos. O aumento desse teor nas lamas comprova a observação feita anteriormente, de que o *P* estaria concentrado nas lamas (lamas enriquecidas em *P*).

**Tabela V.9 – Resultados das análises químicas quantitativas das alíquotas Lama
– amostras A31, A61, A62, A91 e A93.**

Alíquotas Lama							
Amostra	Fe _T (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	P (%)	PPC (%)	MnO ₂ (%)	FeO (%)
A31	40,25	19,01	11,85	0,166	11,55	0,04	0,56
A61	45,21	23,54	3,89	0,024	7,81	0,07	0,40
A62	49,22	20,80	0,44	0,107	8,12	0,02	0,14
A91	54,47	14,27	1,07	0,100	6,54	0,02	0,29
A93	50,65	20,13	0,58	0,117	6,58	0,03	0,23

**Tabela V.10 – Resultados das análises de fluorescência de raios-X das alíquotas
Lama – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.**

Alíquotas Lama															
Amostra	Elementos presentes														
	Alta conc.		Média conc.		Baixa conc.			Traços							
A31	Fe	O	Si	Al	P	-	-	Mn	Cr	Ti	Ca	Cl	S	Mg	Na
A61	Fe	O	Si	-	-	Al	P	Mn	Cr	Ti	Ca	Cl	S	-	Na
A62	Fe	O	Si	-	P	Al	-	-	Cr	-	Ca	Cl	S	-	Na
A91	Fe	O	Si	-	P	Al	-	Mn	Cr	Ti	Ca	Cl	S	Mg	Na
A93	Fe	O	Si	-	P	Al	-	Mn	Cr	Ti	Ca	Cl	S	Mg	Na

4. Os valores das PPC tiveram acréscimos consideráveis evidenciando o já comentado, de que as goethitas terrosas (principalmente) e as argilas, que são muito finas, formam as lamas.
5. O MnO_2 não apresenta grandes variações e assim, as mesmas observações efetuadas para as outras alíquotas são válidas para essas.
6. Os teores de FeO estão mais baixos nessas alíquotas que nas de *underflow* da deslamagem.

Nesse caso também, os resultados da fluorescência de raios-X para os elementos *Fe*, *O*, *Si*, *Al*, *P* e *Mn* estão em boa concordância com os resultados das análises químicas quantitativas. Os elementos *Cr*, *Ca*, *Cl*, *S* e *Na*, como para o *underflow*, estão sob a forma de traços em todas as amostras. Excetuando-se A62, as demais amostras apresentam traços de *Ti*. O elemento *Mg* continua presente em A31 e passa a ser encontrado em A91 e A93.

As mesmas observações feitas anteriormente (Britado 2 e *underflow*), referentes à presença desses elementos traços nas amostras, são válidas para essas alíquotas de lama.

5.2.4 Alíquotas Concentrado

Os resultados das análises químicas quantitativas e das análises de fluorescência de raios-X dessas alíquotas estão listados nas tabelas V.11 e V.12, respectivamente.

Da Tabela V.11 pode-se dizer que:

1. Excetuando-se a amostra A31, que apresenta teor de Fe_T baixo para um concentrado de teste de flotação de bancada, as demais amostras têm teores relativamente semelhantes entre si e dentro da faixa considerada boa para esse tipo de produto.

Tabela V.11 – Resultados das análises químicas quantitativas das alíquotas Concentrado – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.

Alíquotas Concentrado							
<i>Amostra</i>	Fe _T (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	P (%)	PPC (%)	MnO ₂ (%)	FeO (%)
<i>A31</i>	58,09	9,05	1,61	0,146	5,90	0,05	0,34
<i>A61</i>	62,78	5,69	0,48	0,015	4,04	0,06	2,44
<i>A62</i>	61,65	2,82	0,28	0,119	8,59	0,03	0,38
<i>A91</i>	65,17	2,14	0,29	0,067	4,28	0,02	0,38
<i>A93</i>	64,31	3,07	0,21	0,081	4,58	0,02	0,61

Tabela V.12 – Resultados das análises de fluorescência de raios-X das alíquotas Concentrado – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.

Alíquotas Concentrado																
<i>Amostra</i>	Elementos presentes															
	Alta conc.		Baixa conc.			Traços										
<i>A31</i>	Fe	O	Si	Al	P	-	-	-	Mn	Cr	Ti	Ca	Cl	S	Mg	Na
<i>A61</i>	Fe	O	Si	-	-	P	-	Al	Mn	Cr	Ti	Ca	Cl	S	Mg	Na
<i>A62</i>	Fe	O	Si	-	-	P	-	Al	Mn	Cr	-	Ca	Cl	S	Mg	Na
<i>A91</i>	Fe	O	-	-	-	P	Si	Al	Mn	Cr	-	-	Cl	S	Mg	Na
<i>A93</i>	Fe	O	-	-	-	P	Si	Al	Mn	Cr	-	-	Cl	S	Mg	Na

2. Os teores de SiO_2 das amostras A31 e A61 são altos e estão acima da faixa desejável. Para as demais amostras esses valores são relativamente bons resultados (<4%) para testes de bancada.
3. Apenas a amostra A31 teve o teor de Al_2O_3 decrescido do *underflow* para o concentrado. Isso pode ser explicado pela presença de argilominerais no *underflow* e que são eliminados no rejeito. Para as demais amostras, esse teor teve um ligeiro aumento, ou seja, elas apresentaram um ligeiro enriquecimento do *underflow* para o concentrado.
4. Os teores de *P* aumentaram para todas as amostras e excetuando-se em A61, mais uma vez, são valores elevados e chegando a exceder, em alguns casos, 0,100%. Assim, as amostras concentram o *P*.
5. De forma geral, os valores das PPC aumentaram do *underflow* para o concentrado. Apenas A31 apresentou decréscimo nesse valor o que evidencia a presença de argilominerais no *underflow* e que são retirados no rejeito.
6. O MnO_2 aumentou um pouco do *underflow* para o concentrado
7. As amostras A61 A62 e A93 concentraram o teor de FeO (*underflow* para concentrado) e A31 e A93 tiveram seus valores reduzidos.

Como para as outras alíquotas, os resultados da fluorescência de raios-X para os elementos *Fe*, *O*, *Si*, *Al*, *P* e *Mn* estão em boa concordância com os resultados das análises químicas quantitativas. Nesse caso, os elementos *Cr*, *Cl*, *S*, *Na* e *Mg* estão presentes sob a forma de traços em todas as amostras. A31 e A61 apresentam traços de *Ti* e A31, A61 e A62 têm traços de *Ca*.

As mesmas observações feitas anteriormente referentes à presença desses elementos traços nas amostras também são válidas para essas alíquotas.

5.2.5 Alíquotas Rejeito

Nas tabelas V.13 e V.14 estão dispostos todos os resultados das análises químicas quantitativas e das análises de fluorescência de raios-X, das alíquotas dos rejeitos dos testes de flotação de bancada.

Tabela V.13 – Resultados das análises químicas quantitativas das alíquotas Rejeito – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.

Alíquotas Rejeito							
<i>Amostra</i>	Fe _T (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	P (%)	PPC (%)	MnO ₂ (%)	FeO (%)
<i>A31</i>	12,35	70,46	4,95	0,049	6,80	0,02	0,36
<i>A61</i>	14,25	78,45	0,29	0,007	0,86	0,01	0,52
<i>A62</i>	9,63	84,67	0,09	0,027	1,40	0,01	0,27
<i>A91</i>	7,58	88,35	0,21	0,014	0,56	0,01	0,22
<i>A93</i>	7,93	87,95	0,05	0,019	0,61	0,00	0,20

Tabela V.14 – Resultados das análises de fluorescência de raios-X das alíquotas Rejeito – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.

Alíquotas Rejeito												
<i>Amostra</i>	Elementos presentes											
	Alta conc.		Média conc.	Baixa conc.	Traços							
<i>A31</i>	Si	O	Fe	Al	Mn	Cr		Ca	Cl	S	P	Na
<i>A61</i>	Si	O	Fe	Al	Mn	Cr		Ca	Cl	S	P	Na
<i>A62</i>	Si	O	Fe	-	Mn	Cr	Al	Ca	Cl	S	P	Na
<i>A91</i>	Si	O	Fe	-	Mn	Cr	Al	Ca	Cl	S	P	Na
<i>A93</i>	Si	O	Fe	Al	Mn	Cr	-	-	Cl	S	P	Na

Dos resultados da Tabela V.13, pode-se dizer que:

1. Os teores de Fe_T de todas as amostras são inferiores a 15% e estão dentro de uma faixa considerada boa para resultados de testes de flotação de bancada. Os valores encontrados indicam que houve uma boa seletividade e que para o rejeito foram, principalmente, as partículas de quartzo.
2. O teor de Al_2O_3 da amostra A31, que é bastante elevado, confirma a afirmação feita anteriormente, de que os argilominerais presentes no *underflow* foram eliminados no rejeito dessa amostra. Para as outras amostras, os teores de Al_2O_3 do rejeito são mais baixos que os da alimentação da flotação e do que o do concentrado, que é o comportamento normal dos minérios itabiríticos de Alegria, quando não contêm quantidades expressivas de argilominerais.
3. Os teores de P também são mais baixos que os da alimentação e do concentrado. A explicação também está na maior presença do quartzo em relação aos minerais de ferro.
4. A PPC da amostra A31, que é um valor bastante elevado, corrobora a presença dos argilominerais no rejeito dessa amostra. Para as demais amostras, os valores estão bem mais baixos, já que o quartzo é o mineral mais abundante.
5. O MnO_2 , como era de se esperar, está presente em valores muito baixos.
6. O FeO também está presente em mais baixa concentração.

Como para as outras alíquotas, os resultados da fluorescência de raios-X para os elementos Fe , O , Si , Al , P e Mn estão em boa concordância com os resultados das análises químicas quantitativas. Nesse caso, os elementos Cr , Cl , S e Na estão presentes sob a forma de traços em todas as amostras. Traços de Ca só estão ausentes na amostra A93.

5.3 ANÁLISES MINERALÓGICAS

5.3.1 Alíquotas Britado 2

As análises mineralógicas quantitativas efetuadas pela metodologia de contagem de grãos em uma seção polida sob um microscópio óptico, não foram feitas para essas alíquotas de Britado 2. Esse método de análise é adequado quando não há presença de partículas ultrafinas (lamas), que prejudicam a nitidez da observação e dificultam a contagem dos demais grãos. Assim, somente se faz a contagem de grãos em amostras deslamadas.

Os resultados das análises mineralógicas qualitativas/semiquantitativas através da difratometria de raios-X para as cinco amostras estão disponíveis na Tabela V.15. Nas figuras 5.16, 5.17 e 5.18 estão ilustrados, respectivamente, os difratogramas de raios-X das amostras A31, A61 e A91. As amostras A62 e A93, cujos difratogramas estão disponíveis nos anexos (Anexo 3), podem ser representadas, com pequenas variações, pelos difratogramas de A61 e A91.

Com base nos dados da Tabela V.15, observa-se que a amostra A31 tem uma composição mineralógica diferenciada das demais, pois apresenta a caulinita e a gibbsita, além do quartzo e da goethita, em sua mineralogia principal. Nessa amostra a hematita, se presente, está em muito baixa concentração. Para as demais amostras, as principais fases mineralógicas encontradas são basicamente o quartzo, a goethita e a hematita, que podem apresentar pequenas variações em abundância. Apenas na amostra A61 são encontrados traços da magnetita e em A91 estão presentes traços da caulinita.

Ao confrontarem-se os resultados das difratometrias de raios-X (Tabela V.15) de cada alíquota com seus respectivos resultado de análise química (Tabela V.5) pode-se notar que:

Tabela V.15 – Resultados das análises de difratometria de raios-X das alíquotas Britado 2 das amostras A31, A61, A62, A91 e A93.

Alíquotas Britado 2						
Amostra	Mineralogia Presente					
	Abundante			Média		Traços
A31	Goethita	Caulinita	Quartzo	Gibbsita	-	-
A61	Quartzo	Goethita	Hematita	-	-	Magnetita
A62	Quartzo	-	-	Goethita	Hematita	-
A91	Quartzo	Goethita	Hematita	-	-	Caulinita
A93	Quartzo	-	-	Goethita	Hematita	-

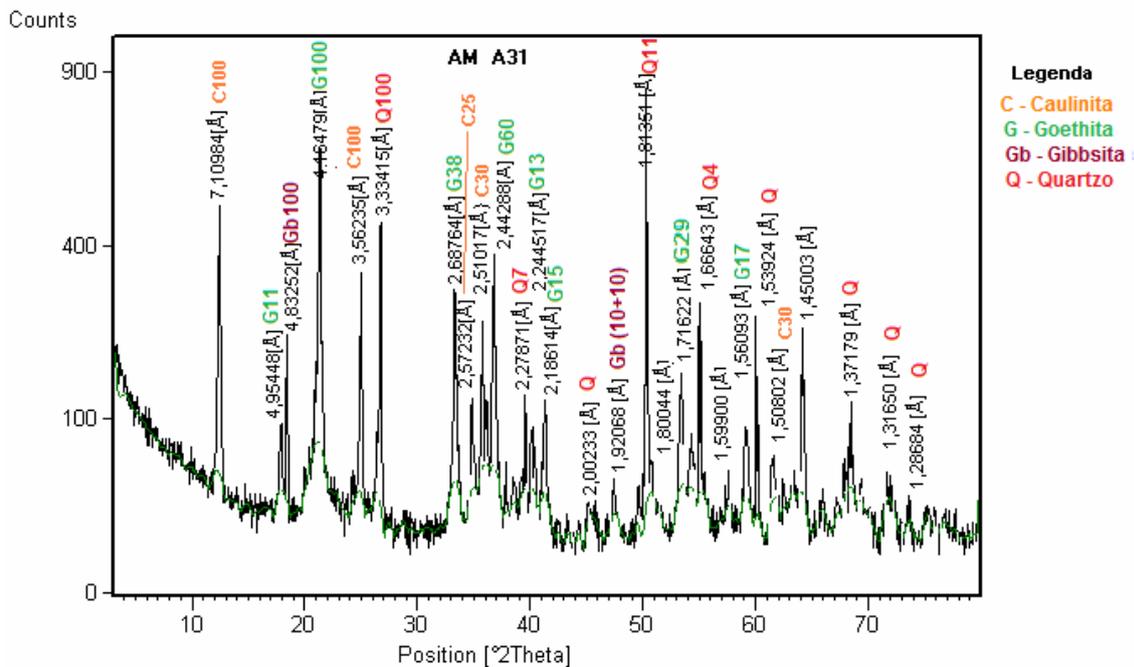


Figura 5.16 – Difratograma de raios-X da alíquota Britado 2 da amostra A31.

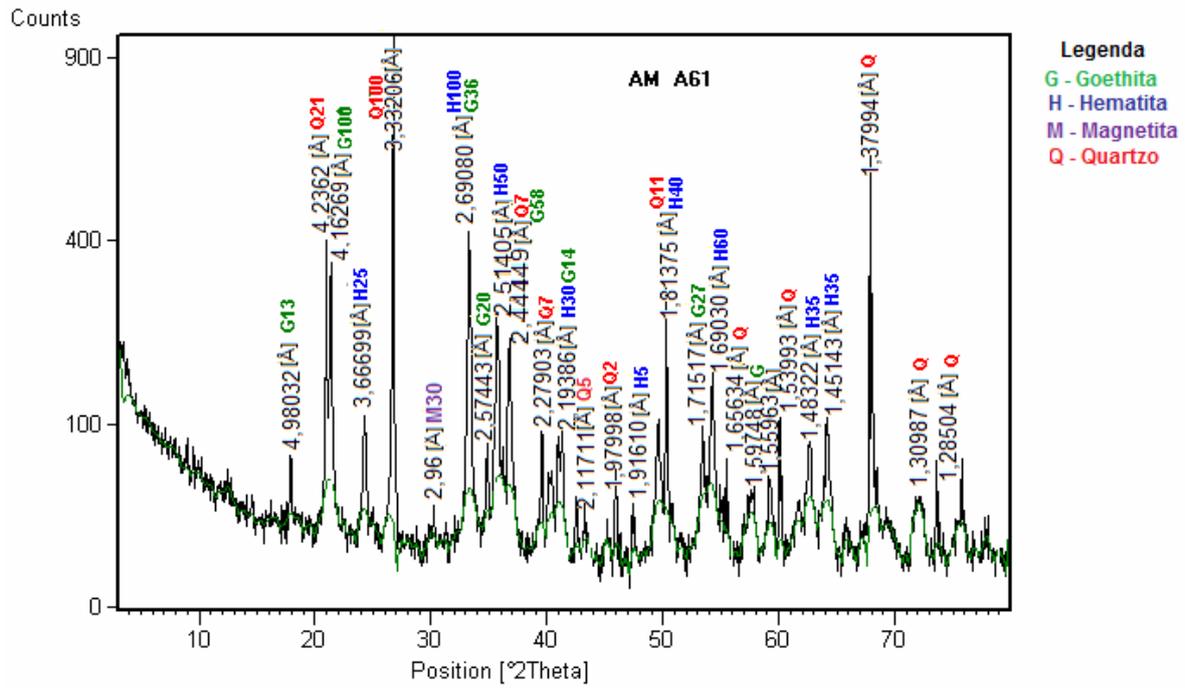


Figura 5.17 – Difratoograma de raios-X da alíquota Britado 2 da amostra A61.

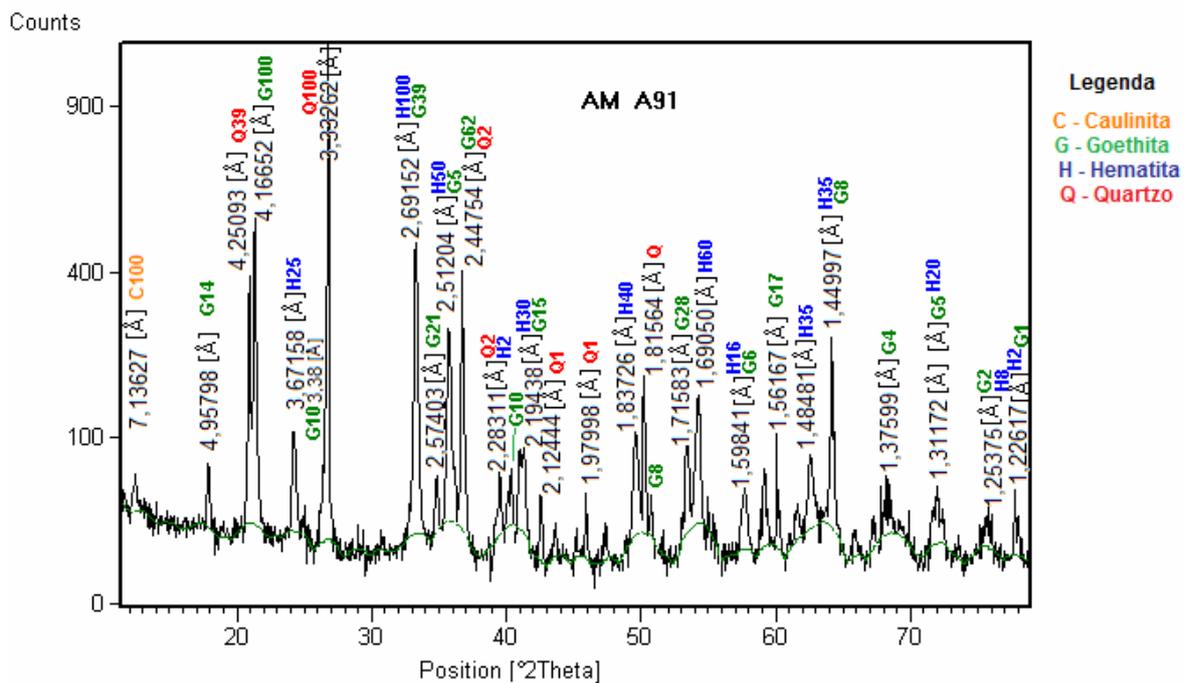


Figura 5.18 – Difratoograma de raios-X da alíquota Britado 2 da amostra A91.

1. Em todas as amostras os teores de SiO_2 são elevados e em todas elas o quartzo está abundante.
2. Os teores de Fe_T estão coerentes e compatíveis com a abundância dos minerais goethita e hematita presentes na mineralogia principal.
3. O teor mais elevado de Al_2O_3 da amostra A31, que como observado anteriormente era indicativo da presença de argilominerais, está bem explicado pela presença da caulinita e da gibbsita entre a mineralogia principal dessa amostra. A amostra A61, que como já visto anteriormente, tem um teor relativamente elevado de Al_2O_3 (próximo de 1%), não teve caulinita identificada em sua mineralogia. Já a amostra A91, que tem um teor bem inferior (0,35%), apresentou traços de caulinita. É bastante provável que a maior parte da alumina da amostra A61 esteja alojada dentro da estrutura das goethitas. Alguma caulinita eventualmente presente nessa amostra, não foi detectada, que pode ser explicado pelo fato ou do difratômetro utilizado possuir tubo de cobre, que como é sabido eleva o background de amostras ricas em ferro e dificulta a detecção de fases em muito baixa concentração, ou pelo fato de ter ocorrido a orientação preferencial desses filossilicatos e ter desfavorecido sua detecção. Para todas as amostras e especialmente para aquelas em que não foram detectados minerais de alumina, pode-se dizer que a maior parte dessa alumina, esteja alojada dentro da estrutura das goethitas.
4. Os resultados de PPC estão também em boa coerência com a mineralogia encontrada. Assim, a associação da caulinita com a goethita na amostra A31 leva a uma PPC bem mais elevada para essa amostra. A amostra A62 também apresenta PPC elevada (7%), mas não tem a caulinita em sua mineralogia e a goethita é um pouco menos abundante que nas amostras A61 e A91 (PPC de 3,6%). Isso sugere e pode ser explicado pela maior presença nessa amostra de goethitas terrosas possuindo graus de hidroxilação mais elevados (Rocha & Brandão, 1996).
5. Uma vez que não foram detectados minerais de P e MnO_2 , esses teores devem estar relacionados às goethitas dessas amostras. Assim, a maior parte desse fósforo e do manganês devem estar alojados na estrutura dessas goethitas.
6. A amostra que apresentou o maior teor de FeO foi A61, que também foi a única em que se detectou a magnetita.

Em materiais, como é o caso dessas amostras, onde a hematita e a goethita são abundantes, a identificação da magnetita torna-se muito dificultada por haver interferências entre as principais raias desses três minerais. Nesses casos, identifica-se a presença da magnetita pela raia 2,96Å de intensidade 30% e que não tem interferência com as demais raias da hematita e da goethita. Essa é, portanto, uma janela de detecção da magnetita, mas por ser uma raia de intensidade menor, demanda em uma maior abundância do mineral para sua melhor identificação. Além disso, a elevação do background, já explicada anteriormente, prejudica ainda mais na detecção/identificação dessa magnetita, tornando impossível detectá-la quando em baixa concentração. Assim, para as demais amostras que possuem porcentagens relativamente baixas de FeO, a pouca magnetita presente não foi detectada.

Das observações anteriores pode-se dizer então, que há boa concordância entre as duas técnicas de análises (química e difratometria de raios-X). Assim, os resultados das análises químicas corroboram a mineralogia determinada pela difratometria de raios-X.

5.3.2 Alíquotas Underflow Deslamado

A Tabela V.16 traz a legenda geral empregada para os minerais em todas as fotomicrografias. Os resultados, para as cinco amostras, das análises mineralógicas quantitativas (método de contagem de grãos) e qualitativas/semiquantitativas através da difratometria de raios-X estão dispostos nas tabelas V.17 e V.18. Os difratogramas de raios-X referentes a cada alíquota estão disponíveis nos anexos (Anexo 4).

Analisando-se os dados dessas tabelas pode-se observar que as duas técnicas de análise mineralógica (quantitativa e qualitativa) estão em boa concordância entre si. Assim, a mineralogia principal para as amostras A61, A62, A91 e A93 é basicamente goethita, hematita (martítica principalmente) e quartzo. A amostra A31 tem a caulinita, ao invés da hematita, entre seus principais minerais. Para todas as amostras a magnetita está presente em baixa concentração (<10%) o que leva, pelas razões já explicadas anteriormente, a dificuldades na sua detecção pela difratometria de raios-X. Dessa forma apenas na amostra A61, em que a concentração da magnetita está um pouco mais elevada (8%), a difratometria detectou-a em baixa concentração.

Tabela V.16 – Legenda geral empregada para os minerais e em todas as fotomicrografias.

<i>Símbolo</i>	Significado
<i>C</i>	Caulinita
<i>Gb</i>	Gibbsita
<i>G</i>	Goethita
<i>Gt</i>	Goethita terrosa
<i>Hm</i>	Hematita martítica
<i>He</i>	Hematita especularítica (lamelar)
<i>M</i>	Magnetita
<i>Q</i>	Quartzo
<i>p</i>	poro
<i>r</i>	resina
<i>LRND</i>	Luz refletida com nicóis descruzados
<i>MEV-IRE</i>	Microscópio eletrônico de varredura- imagem elétrons retro-espalhados
<i>ND</i>	Não detectado

Tabela V.17 – Resultados das análises mineralógicas quantitativas das alíquotas *Underflow* Deslamado – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.

Alíquotas <i>Underflow</i> Deslamado												
Amostras	He (%)		Hm (%)		G (%)		M (%)		Q (%)		C e Gb (%)	
	Vol	Peso	Vol	Peso	Vol	Peso	Vol	Peso	Vol	Peso	Vol	Peso
A31	0,50	0,70	8,80	11,80	55,20	62,80	0,20	0,20	33,60	23,30	1,70	1,20
A61	0,00	0,00	26,10	34,50	27,50	30,30	6,60	8,60	39,80	26,60	-	-
A62	0,90	1,20	15,30	20,70	42,80	48,20	2,80	3,80	38,20	26,10	-	-
A91	0,70	0,90	33,20	44,30	22,10	24,50	1,20	1,50	42,80	28,80	-	-
A93	0,70	0,90	27,30	36,80	28,40	30,90	1,20	1,60	42,40	29,80	-	-

Tabela V.18 – Resultados das análises de difratometria de raios-X das alíquotas *Underflow* Deslamado – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.

Alíquotas <i>Underflow</i> Deslamado								
Amostra	Mineralogia Presente							
	Abundante			Média		Baixa		Traços
A31	Goethita	Quartzo	-	Caulinita	-	Hematita	Gibbsita	-
A61	Quartzo	-	-	Goethita	Hematita	-	-	Magnetita
A62	Quartzo	Goethita	Hematita	-	-	-	-	-
A91	Quartzo	-	-	Goethita	Hematita	-	-	-
A93	Quartzo	Goethita	Hematita	-	-	-	-	-

Comparando-se os resultados de difratometria de raios-X dos Britado 2 (Tabela V.15) com os dos *underflows* (Tabela V.17) de cada amostra, pode-se notar que os minerais presentes são praticamente os mesmos e o que pode modificar é a abundância em que eles ocorrem numa e na outra alíquota. A explicação está na deslamagem, que carrega as partículas mais finas (ultrafinas) dos minerais presentes e leva a essa modificação na abundância em que eles ocorrem antes e depois de serem deslamados.

No caso da amostra A31, a hematita, que num *background* elevado (já explicado anteriormente), não pode ser bem detectada na amostra de Britado 2, após a deslamagem, ou seja, com a saída dos ultrafinos e em especial das argilas, ficou em maior concentração e pode ser evidenciada no *underflow*. Já a caulinita teve apenas sua concentração modificada do Britado 2 (um dos minerais mais abundantes) para o *underflow* (média concentração) e o mesmo ocorre com a gibbsita, que passa de média (Britado 2) para baixa concentração após a deslamagem.

As amostras A61 e A91 tinham mineralogias semelhantes entre si antes de serem deslamadas e mantiveram essa semelhança após a deslamagem. Note-se que a pouca caulinita (traços) presente na amostra A91 foi eliminada pela deslamagem. O mesmo ocorre com as amostras A62 e A93 que mantém a semelhança entre suas mineralogias antes e após a deslamagem.

Confrontando-se os resultados das análises mineralógicas de cada uma dessas alíquotas (*Underflow* Deslamado) com seus respectivos resultados de análises químicas (Tabela V.7) pode-se notar que as mesmas observações feitas para as alíquotas Britado 2 com relação aos teores de SiO_2 , Fe_T , Al_2O_3 , P , PPC, MnO_2 e FeO são válidas para essas alíquotas. Assim, nesse caso também, há boa concordância entre as técnicas de análises químicas e mineralógicas.

5.3.2.1 Descrição mineralógica qualitativa das seções polidas

(A) Amostra A31

A composição principal dessa amostra é goethita, quartzo e caulinita/gibbsita. A hematita martítica ocorre em baixa concentração (<15%) e a magnetita e hematita lamelar (especularítica) estão sob a forma de traços. De forma generalizada o estado de alteração dos minerais de ferro é relativamente alto, a porosidade varia de média a alta e o tamanho das partículas é variado (desde dimensões micrométricas até milimétricas).

A goethita é o principal mineral de ferro e está presente predominantemente sob a forma botrioidal e maciça, com grau de porosidade variando de baixo a médio. Pode também estar presente sob a forma de pseudomorfos de anfibólio, terrosa e intimamente associada à hematita martítica sendo produto de alteração da magnetita.

O quartzo é normalmente anédrico, monocristalino, normalmente está liberado, mas pode conter inclusões de hematita e/ou goethita.

A Caulinita (halloysita) está presente principalmente sob a forma cristais prismáticos associados as goethitas botrioidais ou maciças. Ela ocorre também sob a forma terrosa e, nesse caso, é encontrada em íntima associação com a gibbsita, que também está terrosa.

A hematita martítica pouco abundante é facilmente reconhecida pela típica textura de treliça. Ela normalmente está muito alterada e porosa e pode chegar a estar sob a forma esquelética. Normalmente está associada a goethita produto de alteração da magnetita (intragranular) e/ou botrioidal ou maciça (intergranular). A hematita lamelar é mais rara e foi observada tanto sob a forma de agregados como de cristais isolados. Normalmente é pouco porosa, muito lisa e de coloração típica esbranquiçada (ao microscópio).

A magnetita pode ser identificada por sua característica coloração cinza rosada e, quando presente, está relictada dentro das hematitas martíticas que podem também

apresentar goethitas como produto de alteração dessa magnetita. É importante salientar que por não ser escopo desse trabalho discutir-se a existência da kenomagnetita, adotou-se magnetita como termo geral para denominar essas fases mineralógicas de coloração cinza rosada.

A seguir serão apresentadas figuras contendo fotomicrografias tiradas dessa seção polida e que ilustram as principais feições mineralógicas observadas.

A Figura 5.19 é uma fotomicrografia que mostra na parte central um grande grão de goethita pseudomórfica de anfíbólio mediamente porosa, grãos menores de goethitas maciças pouco porosas e uma partícula de quartzo liberado.

A Figura 5.20 mostra, na parte central, uma partícula mista de hematita martítica e goethita produto de alteração da magnetita. Essa partícula é subédrica, está mediamente porosa (micro e macroporos) e a hematita martítica está presente em menor proporção sendo praticamente relictas. Ela pode ser reconhecida pela sua tonalidade esbranquiçada (>reflectividade que a goethita) e pela textura de treliça produto de formação dessa hematita nos planos ou entre os planos de partição octaédricos da magnetita. Observam-se também: 1) uma grande partícula de goethita maciça não porosa presente na parte inferior esquerda; 2) goethita terrosa (muito porosa) associada a goethita maciça (não porosa) localizadas na parte inferior direita da foto; 3) partículas de quartzo totalmente liberado.

Na Figura 5.21 pode-se ver na parte central hematita martítica subédrica muito porosa (micro e macroporos) bordejada por goethita botrioidal intergranular. Nesse caso, a goethita produto de alteração da magnetita está presente em pequena proporção. Também podem ser observados grãos de goethita maciça e botrioidal, caulinita e quartzo (liberado).

A Figura 5.22 traz na parte central uma bela goethita produto de alteração da magnetita, muito porosa e euédrica. Na parte inferior esquerda pode-se observar a presença de relictos de hematita martítica associada a goethita (botrioidal principalmente). Na porção centro e a direita pode ser observada uma partícula de goethita botrioidal, na parte inferior e no centro uma partícula de quartzo e à sua esquerda, uma partícula formada por caulinita associada a goethita maciça. As demais goethitas presentes são principalmente maciças com baixa porosidade.

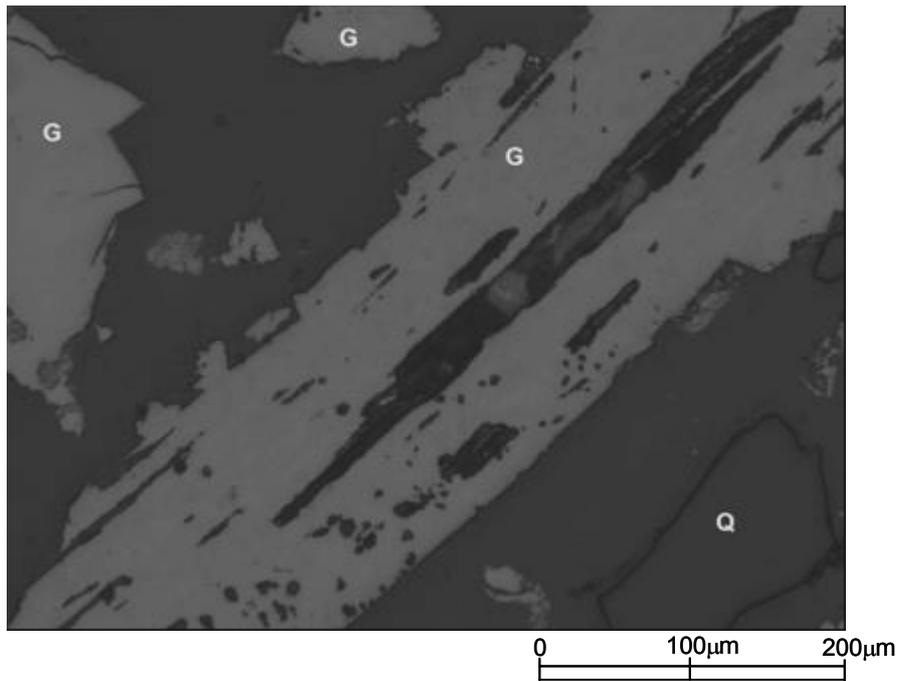


Figura 5.19 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando grande grão de goethita pseudomórfica de anfibólio, grãos menores de goethita maciça e quartzo. Aumento 200X. LRND.

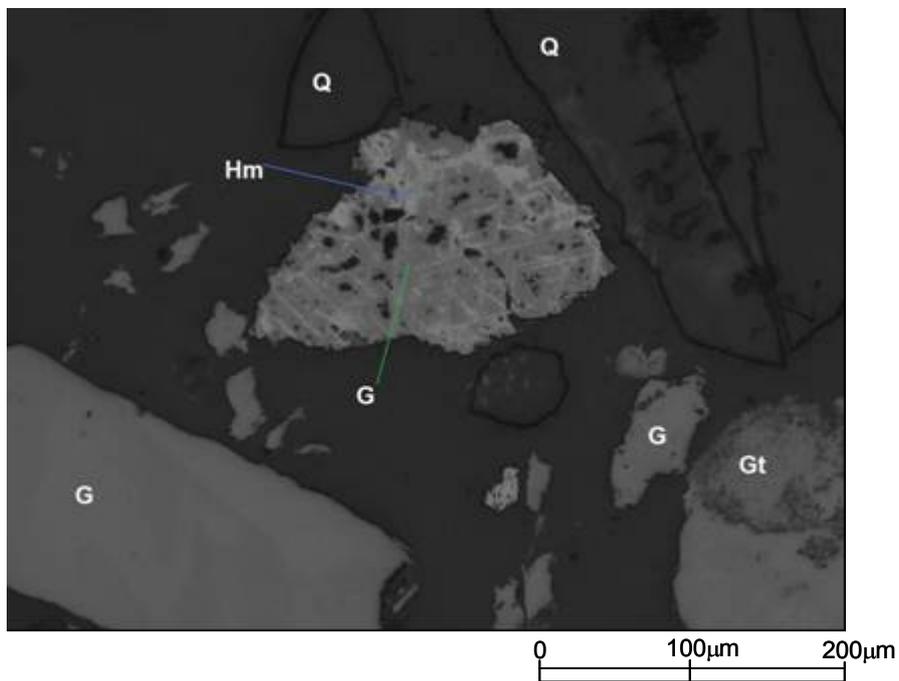


Figura 5.20 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando hematita martítica, goethitas (maciça e produto de alteração da magnetita), goethita terrosa e quartzo. Aumento 200X. LRND.

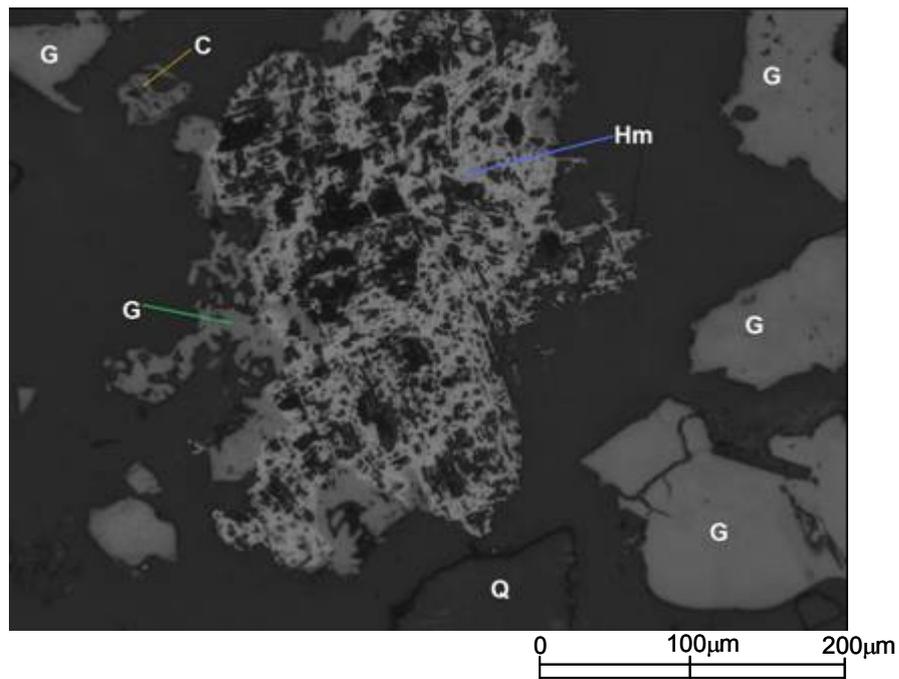


Figura 5.21 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando hematita martítica muito porosa, goethitas (maciça, produto de alteração da magnetita e botrioidal), caulinita e quartzo. Aumento 200X. LRND.

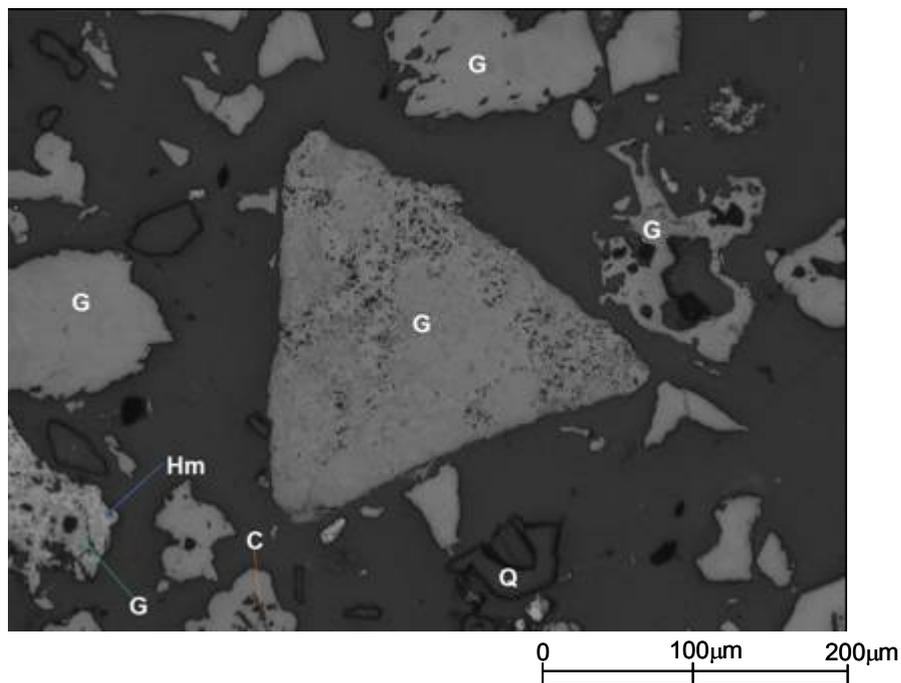


Figura 5.22 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando goethita produto de alteração da magnetita (centro), goethitas botrioidais, hematita martítica, caulinita e quartzo. Aumento 200X. LRND.

Na Figura 5.23 está ilustrada uma partícula formada por goethita botrioidal intergranular, mediamente porosa (microporosa) e hematitas martíticas contendo também goethita produto de alteração da magnetita. A hematita martítica é menos abundante e estão tão intimamente associadas a goethita, que aparentam ser impressões deixadas nessa goethita. Elas são reconhecidas por sua característica textura de treliça. O grau de porosidade é médio e o de hidratação é elevado.

A Figura 5.24 mostra uma grande partícula de hematita martítica muito alterada e porosa (micro e macroporos), partículas menores de hematita martítica menos porosa, goethita maciça não porosa (porção inferior da foto), goethita botrioidal contendo alguns grandes poros além de caulinita associada (porção central e a direita) e quartzo (liberado). Note-se que na medida em que o grau de alteração e porosidade das hematitas martíticas aumenta, essa vai se tornando menos reflectiva e sua coloração vai perdendo a tonalidade esbranquiçada tornando-se um pouco mais acinzentada.

Na Figura 5.25 mostra-se a caulinita presente sob a forma de cristais prismáticos freqüentemente associada a goethita botrioidal intergranular. Também estão presentes a goethita maciça pouco porosa e o quartzo.

A Figura 5.26 traz hematitas martíticas em diferentes graus de alteração e porosidade. A hematita martítica localizada na porção central da figura é muito porosa sendo praticamente esqueletal. À sua direita pode ser observada uma hematita martítica mediamente porosa e abaixo de ambas encontra-se uma pequena partícula de hematita martítica menos porosa que todas elas. Também podem ser observadas goethitas botrioidais e maciças e quartzo.

Na fotomicrografia da Figura 5.27 estão ilustradas goethitas terrosas (alto grau de porosidade e alteração), goethitas botrioidais mediamente porosas, goethitas maciças pouco porosas e partículas menores de hematitas martíticas subédricas (mediamente porosas) associadas a goethita botrioidal.

A Figura 5.28 mostra hematita martítica muito porosa e alterada associada a goethita botrioidal também muito porosa. Notar a textura de treliça característica das hematitas martíticas.

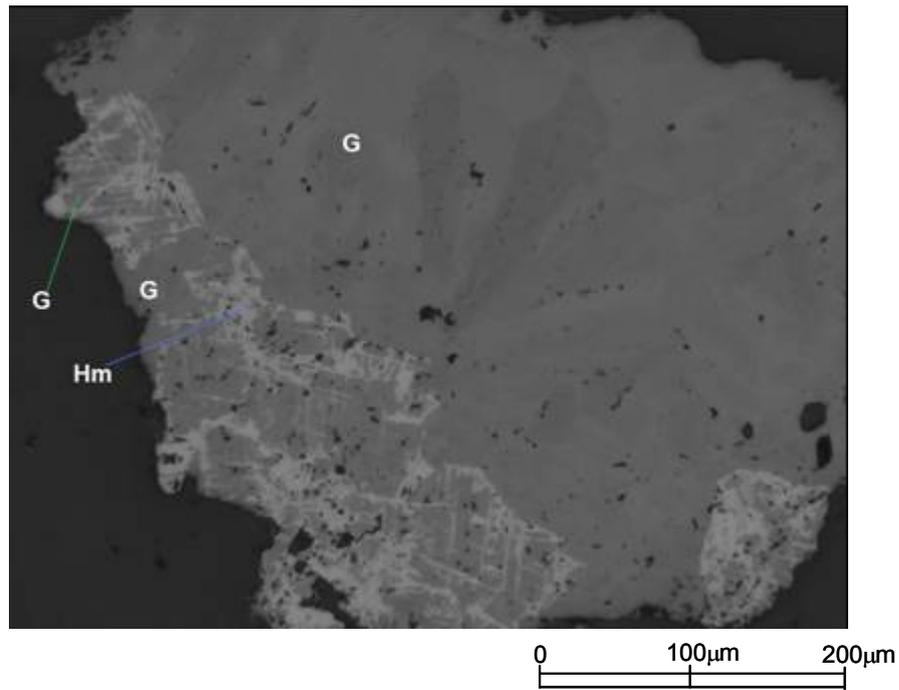


Figura 5.23 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita botrioidal (intergranular), hematita martítica (textura treliça) e goethita produto de alteração da magnetita. Aumento 200X. LRND.

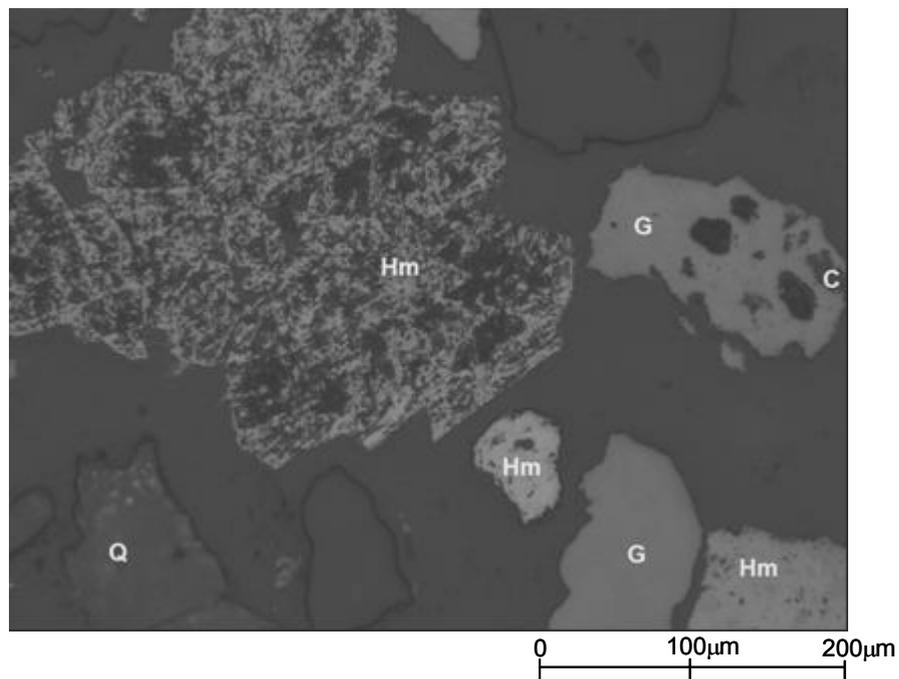


Figura 5.24 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando hematita martítica muito porosa, hematitas martíticas mediamente porosas, goethita maciça, goethita botrioidal com grandes poros e caulinita e quartzo. Aumento 200X. LRND.

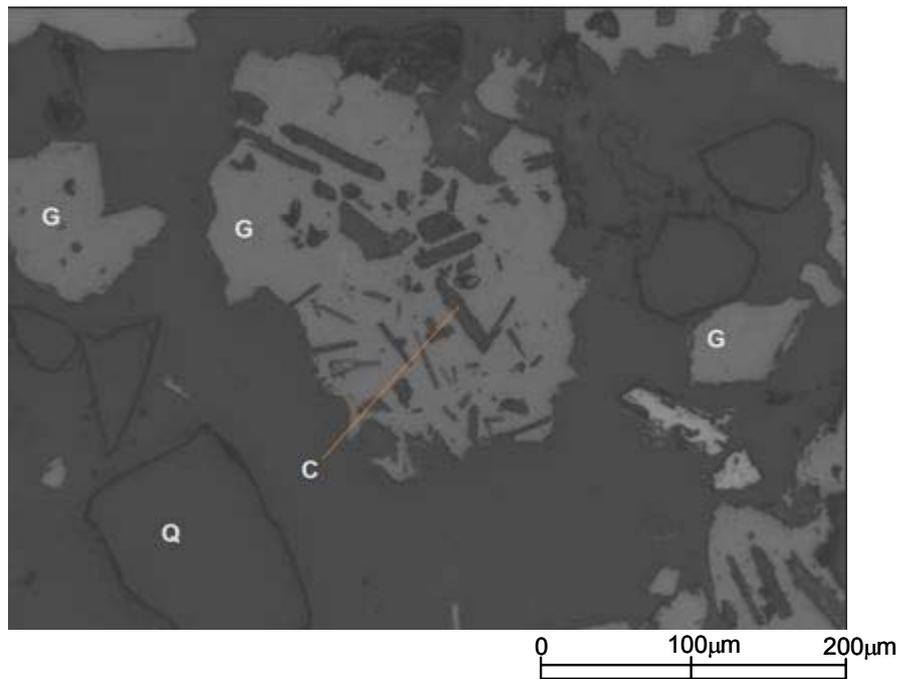


Figura 5.25 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita botrioidal e maciça, caulinita e quartzo. Aumento 200X. LRND.

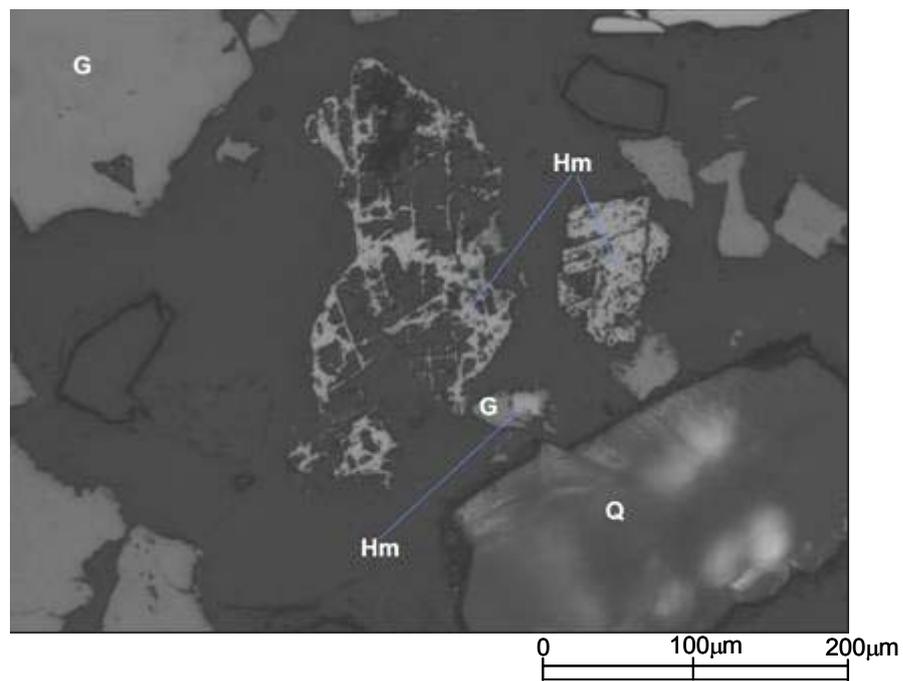


Figura 5.26 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando hematitas martíticas em diferentes graus de alteração e porosidade, goethita botrioidal e maciça e quartzo. Aumento 200X. LRND.

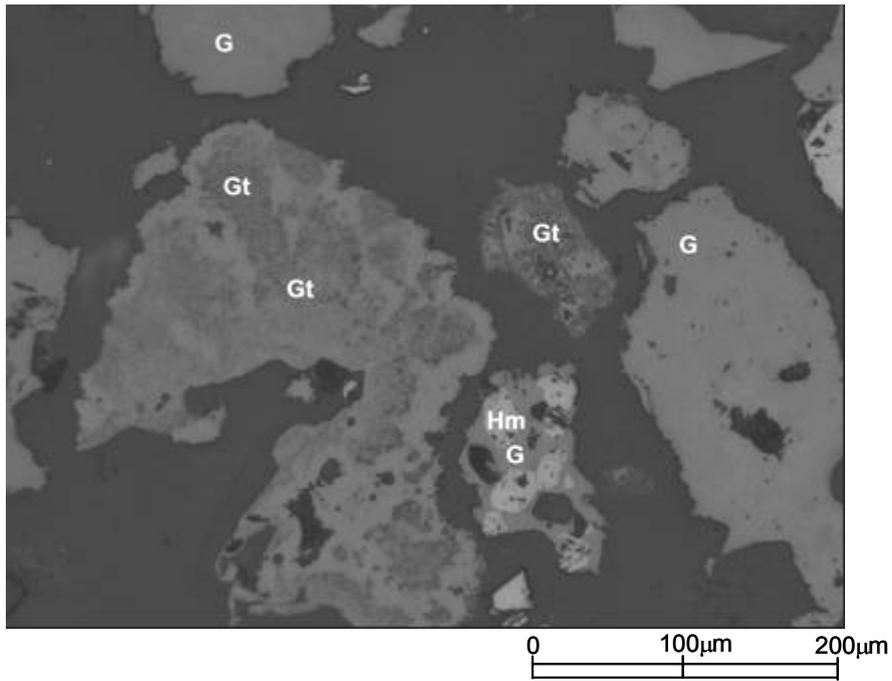


Figura 5.27 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethitas terrosas, goethita botrioidal e maciça e hematita martítica. Aumento 200X. LRND.

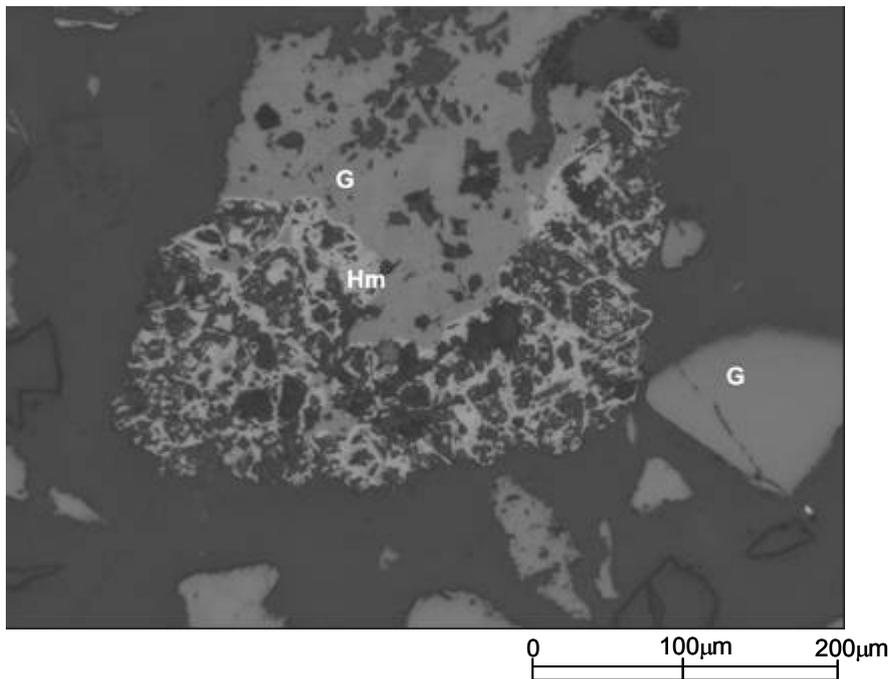


Figura 5.28 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando hematita martítica muito alterada e porosa e goethita botrioidal. Aumento 200X. LRND.

A Figura 5.29 mostra magnetitas mais ou menos alteradas a hematita martítica, bem como goethitas maciças pouco porosas, goethitas botrioidais muito alteradas e porosas já apresentando porções onde está terrosa e quartzo.

A Figura 5.30 traz uma fotomicrografia tirada no MEV-EDS que mostra uma partícula composta principalmente de goethita maciça associada a cristais prismáticos de caulinita. As regiões marcadas na figura foram também analisadas pelo microanalisador EDS. A composição química encontrada para região 1 é característica da caulinita e comprova a descrição mineralógica anterior. A região 2 apresenta leve diferença de coloração quando comparada à região 3, sendo um pouco mais esbranquiçada. A composição química encontrada para a região 2 a caracteriza como sendo uma hematita (martítica), pois tem alto teor de ferro e quantidades baixas de impurezas (SiO_2 , Al_2O_3 , MnO_2 e MgO). Já a composição da região 3 é característica da goethita, pois o teor de ferro é menor e os teores de impurezas maiores.

Salienta-se que por limitações da metodologia empregada na preparação dessas amostras, que utilizou o ouro ao invés do carbono para cobrir a superfície das seções polidas, não foi possível determinar-se adequadamente o elemento *P*, pois esse sofre interferências das emissões do ouro. Uma vez que o teor de *P* foi quantificado pelas análises químicas e sua forma de ocorrência nos itabiritos de Alegria (óxido dentro das goethitas) já estar amplamente conhecida, não se torna assunto relevante sua análise no microanalisador EDS.

Na Figura 5.31 encontram-se partículas fotografadas no MEV e as regiões marcadas (1 e 2) também foram analisadas pelo microanalisador EDS. As diferenças de colorações e relevo indicam fases mineralógicas diferentes. Na partícula central podem ser observadas, principalmente, fitas de goethita botrioidal de coloração mais clara (esbranquiçada), associadas a uma massa de aspecto terroso (microgranular) de coloração mais escura (cinza). Pelas análises das regiões 1 e 2, pode-se dizer que para a região 1, que tem um aspecto mais liso e coloração levemente mais escura, a composição química indica que é caulinita. A região 2, de aspecto mais terroso e coloração levemente mais clara, a composição indica a gibbsita.

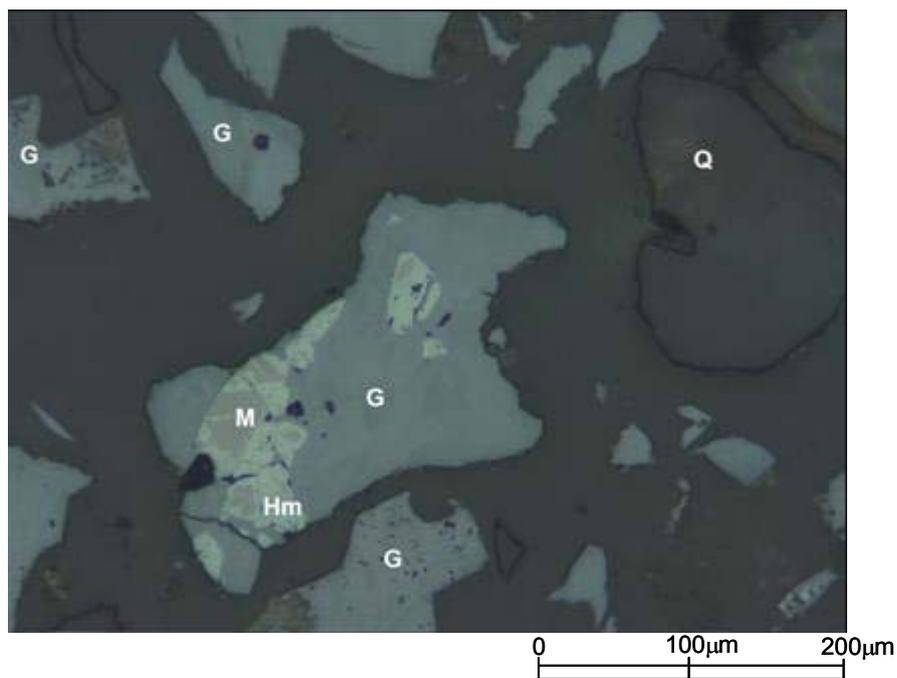


Figura 5.29 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando hematita martítica, magnetita, goethitas botrioidais com diferentes porosidades, goethitas maciças e quartzo. Aumento 200X. LRND.

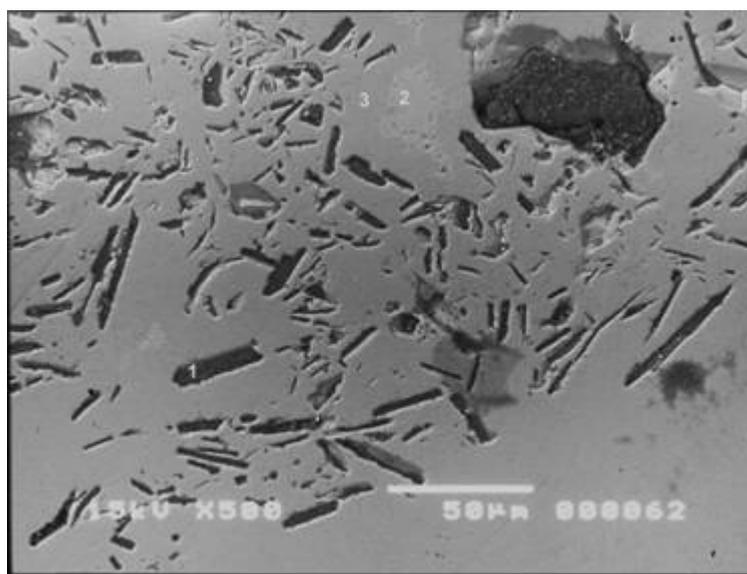


Figura 5.30 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando caulinita, goethita maciça e hematita martítica. As áreas marcadas foram analisadas no MEV- EDS. MEV-IRE. 500X.

		<i>Elementos Químicos (%)</i>							
Área	Mineral	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	MgO	S	Cl
1	Caulinita	3,26	55,55	41,11	ND	ND	ND	ND	ND
2	Hematita	68,06	0,77	0,24	0,04	0,04	0,27	ND	ND
3	Goethita	59,40	4,95	0,51	ND	0,10	0,05	ND	ND

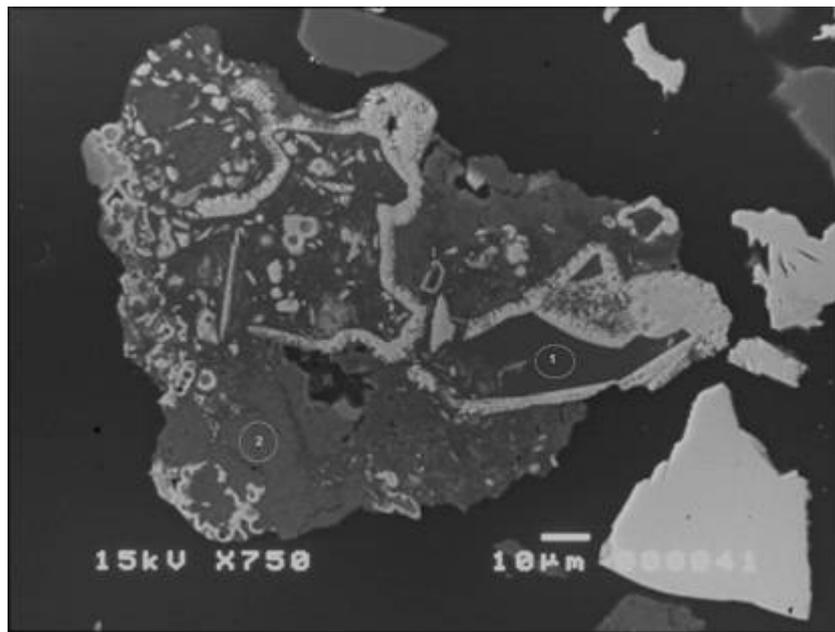


Figura 5.31 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando principalmente goethitas botrioidais, caulinita e gibbsita. As áreas marcadas foram analisadas no MEV- EDS. MEV-IRE. 750X.

Área	Mineral	<i>Elementos Químicos (%)</i>							
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	MgO	S	Cl
1	Caulinita	5,00	54,93	39,88	ND	0,17	ND	ND	0,02
2	Gibbsita	37,35	2,03	60,37	ND	0,25	ND	ND	ND

(B) Amostra A61

As fases mineralógicas mais abundantes são o quartzo, a goethita e a hematita martítica. A magnetita está presente em baixa proporção e a hematita lamelar está praticamente ausente. De forma geral o grau de alteração e da porosidade são medianos e como para a amostra A31, o tamanho das partículas é variado (desde dimensões micrométricas até milimétricas).

A goethita juntamente com a hematita martítica são as principais fases de ferro. As goethitas estão principalmente presentes sob as formas botrioidais e produto de alteração da magnetita. A goethita terrosa está presente em baixa proporção e são raros os pseudomorfos de anfibólio. A porosidade geral dessas goethitas é média.

A hematita martítica, muito abundante, apresenta-se com variados graus de alteração e porosidade, mas prevalecem aquelas mediamente alteradas e porosas. Assim, são encontradas desde hematitas martíticas pouco porosas e contendo grandes proporções de magnetita até hematitas martíticas muito porosas e muito goethitizadas, já não apresentando praticamente nenhuma magnetita relictas. Raros cristais isolados de hematita lamelar foram observados.

O quartzo é um dos minerais mais abundantes dessa amostra e como na amostra A31, é normalmente anédrico, monocristalino, na maioria das vezes está liberado, mas pode também ser encontrado associado principalmente com goethitas e/ou hematitas martíticas. Estão presentes também, quartzos contendo inclusões dos demais minerais de ferro.

A magnetita está presente em diferentes estágios de alteração, podendo estar em grande proporção e no estágio inicial do processo de martitização, até ser relictas em meio à hematita martítica e/ou goethita produto de sua alteração.

Localmente foi observada a presença de pequenos cristais prismáticos de caulinita em meio a goethita botrioidal mediamente porosa.

A Figura 5.32 traz na parte central: hematitas martíticas também goethitizadas, subédricas e pouco a mediamente porosas; goethita botrioidal (intergranular) pouco porosa em íntima associação com hematitas martíticas amplamente goethitizadas e que como já descrito para a amostra anterior, têm a aparência de serem impressões deixadas na goethita; grãos de quartzo maiores associados a esses minerais de ferro (não liberados). Também podem ser observados grãos menores de quartzo liberados, hematitas martíticas, goethitas e magnetitas martitizadas.

Na parte central da Figura 5.33 pode ser observada magnetita euédrica martitizada e pouco porosa, que está associada a goethita botrioidal e quartzo. Podem também ser observadas hematitas martíticas (subédricas e anédricas) mediamente porosas (inferior a direita), pequena hematita martítica pouco porosa contendo magnetita relictas e grãos liberados de quartzo.

A Figura 5.34 traz no centro uma grande partícula formada por várias hematitas martíticas goethitizadas subédricas a anédricas, mediamente porosas, podendo conter ou não magnetita relictas, associadas com a goethita botrioidal intergranular. Na região abaixo dessa partícula, podem ser observadas hematitas martíticas subédricas muito porosas associadas a goethita botrioidal.

A fotomicrografia da Figura 5.35 traz uma grande hematita martítica muito alterada e muito porosa junto com pequenas porções de goethita botrioidal. À direita dessa partícula encontra-se outra partícula formada por goethita muito alterada e já praticamente terrosa apresentando grandes poros. Esse tipo de textura semelhante a um favo de mel é conhecido como alveolar e assim, essa goethita pode ser classificada como goethita alveolar.

A Figura 5.36 mostra uma grande goethita botrioidal (centro) pouco porosa, apresentando porção mais alterada e porosa (início de processo de se tornar terrosa). Também são observadas hematitas martíticas com graus de porosidade variando de médio a elevado (partícula na porção inferior da foto) e quartzo liberado.

Na Figura 5.37 estão presentes hematitas martíticas apresentando diferentes graus de alteração e porosidade, sendo que a partícula central é a mais alterada e porosa de todas elas. São também observadas goethitas botrioidais e quartzo.

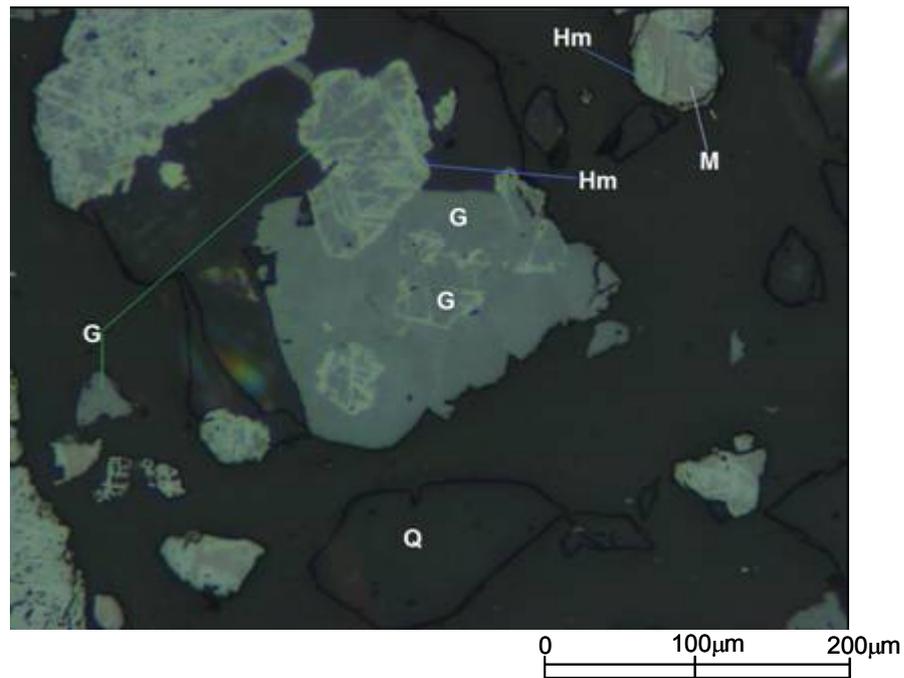


Figura 5.32– Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando hematita martítica, goethita botrioidal, goethita produto de alteração da magnetita, magnetita e quartzo. Aumento 200X. LRND.

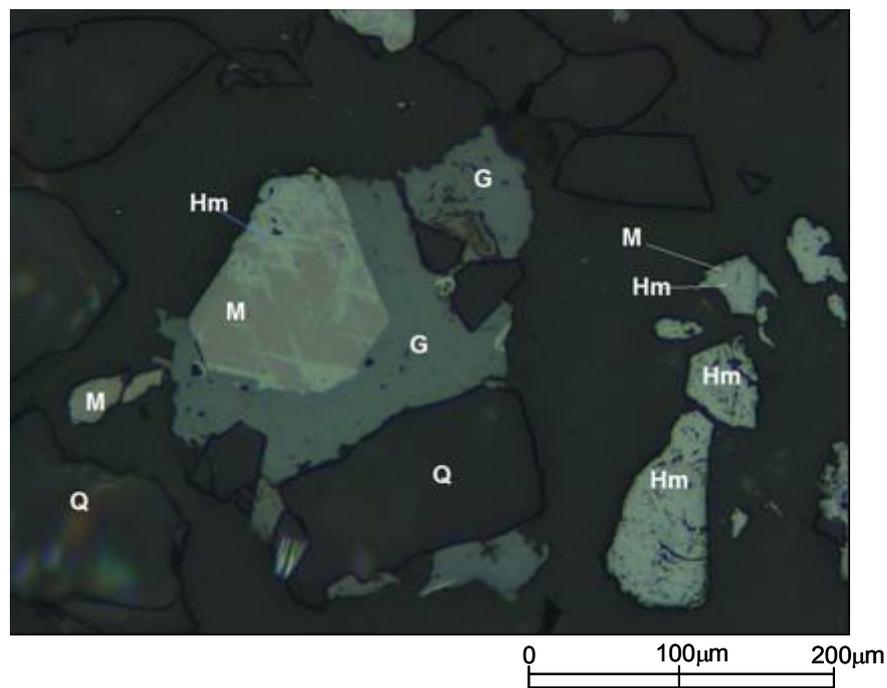


Figura 5.33– Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando magnetita martitzada, goethitas botrioidais, hematitas martíticas e quartzo. Aumento 200X. LRND.

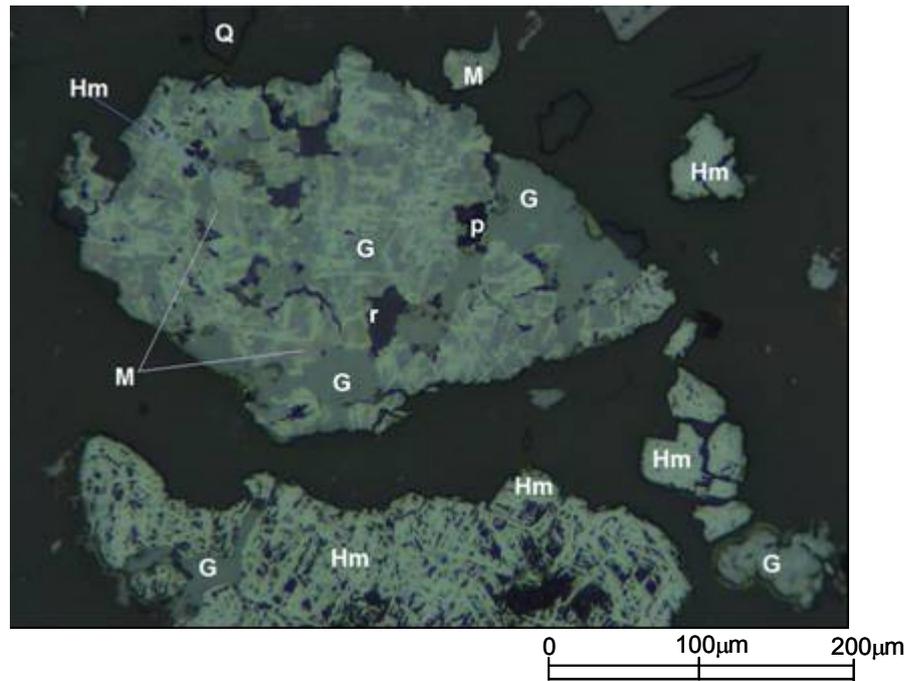


Figura 5.34 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando magnetita martitzada, goethitas botrioidais, hematitas martíticas e quartzo. Aumento 200X. LRND.

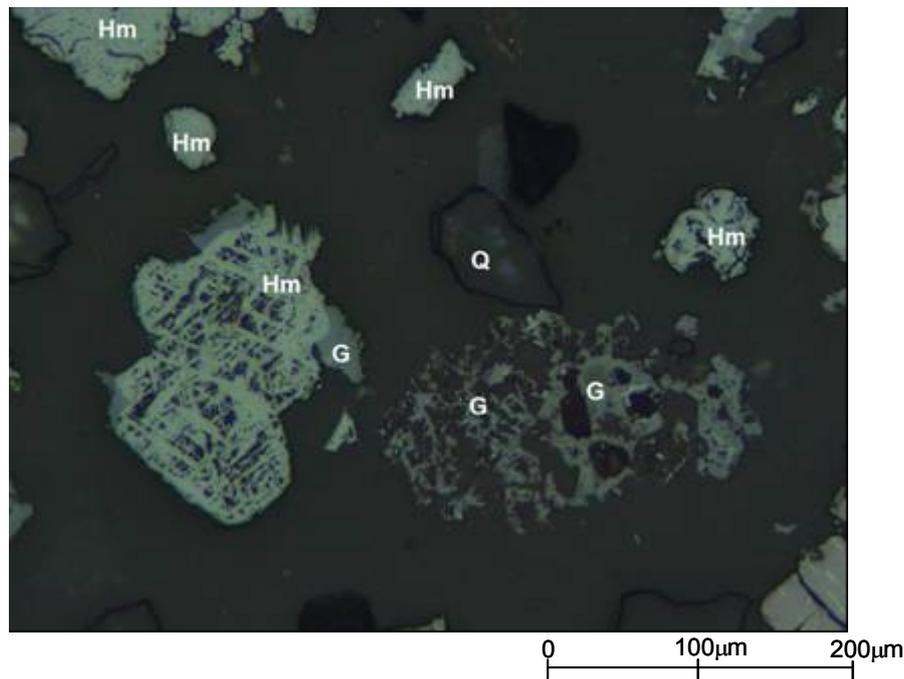


Figura 5.35 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando magnetita martitzada, goethitas botrioidais, hematitas martíticas e quartzo. Aumento 200X. LRND.

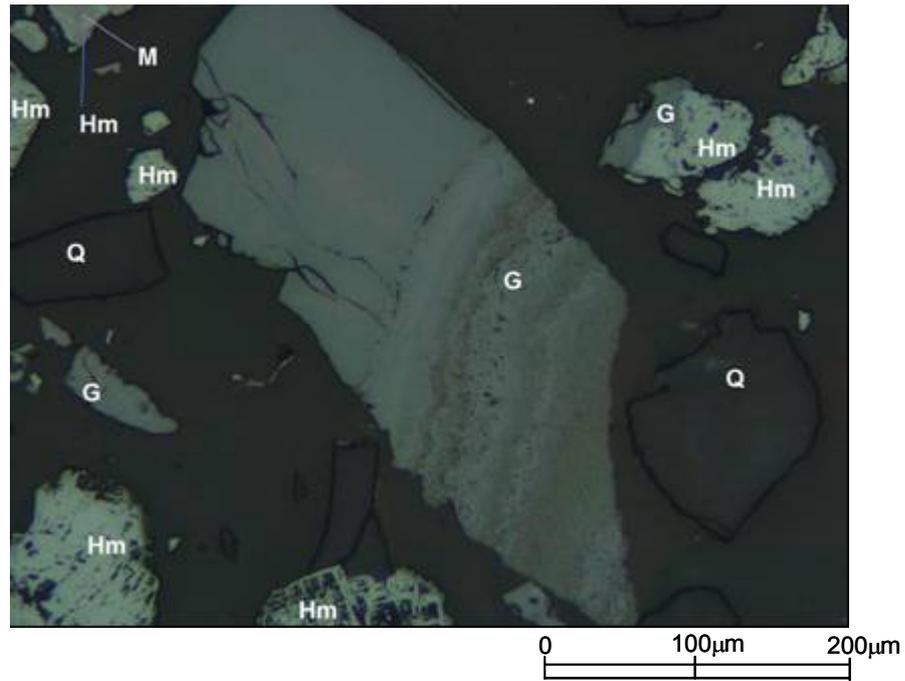


Figura 5.36 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita botrioidal, hematitas martíticas e quartzo. Aumento 200X. LRND.

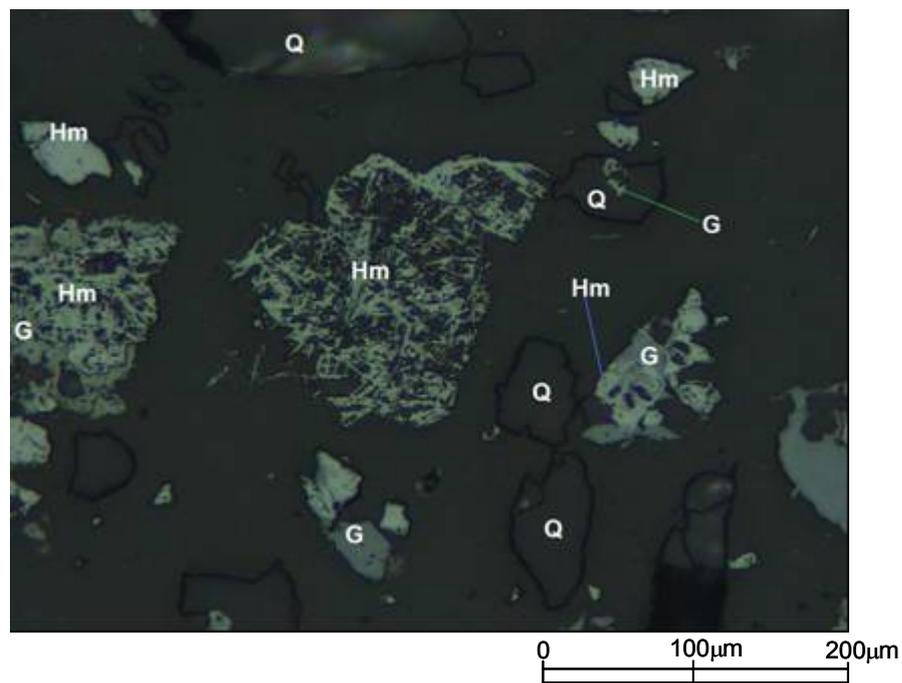


Figura 5.37 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando hematitas martíticas, goethitas botrioidais e quartzo. Aumento 200X. LRND.

A Figura 5.38 traz uma grande partícula formada por goethita botrioidal pouco porosa intimamente associada com hematitas martíticas goethitizadas, subédricas a anédricas e relictos de magnetita normalmente bordejados por finas lamelas de hematita martítica. A goethita é a fase mineralógica predominante e as hematitas martíticas, como já descrito anteriormente, têm aspecto de serem impressões nessa goethita e são reconhecidas por sua textura característica de treliça. As magnetitas estão preservadas pela ocorrência de hematitas martíticas bordejando-as (protegendo-as).

Já a Figura 5.39 mostra magnetitas anédricas pouco martitizadas e pouco goethitizadas. O grau de porosidade geral é baixo.

Na Figura 5.40 está presente na parte central uma grande partícula formada por goethita botrioidal pouco porosa e hematitas martíticas muito porosas e praticamente relictas. A partícula localizada a sua direita é composta por goethita botrioidal (típica) alterada (início do processo de se tornar terrosa) e hematitas martíticas mediamente porosas.

A Figura 5.41 traz goethita terrosa (porção central) associada com hematitas martíticas mediamente porosas.

A Figura 5.42 é para focar a presença de uma típica goethita botrioidal (porção central da foto) e a Figura 5.43 é para mostrar uma goethita botrioidal alterando a goethita terrosa, processo esse que ao final, dá origem a goethita alveolar.

Na Figura 5.44 está sendo enfocada a presença na parte central da foto hematita martítica subédrica e porosa bordejada por goethita botrioidal. Estão presentes também hematitas martíticas mediamente porosas que podem conter magnetita relictas, goethita botrioidal intragranular e quartzo.

O foco da Figura 5.45 é a presença de hematita martítica muito porosa. Notar a textura de treliça e o padrão triangular dado pela alteração preferencial do ferro nos planos de partição octaédricos da magnetita.

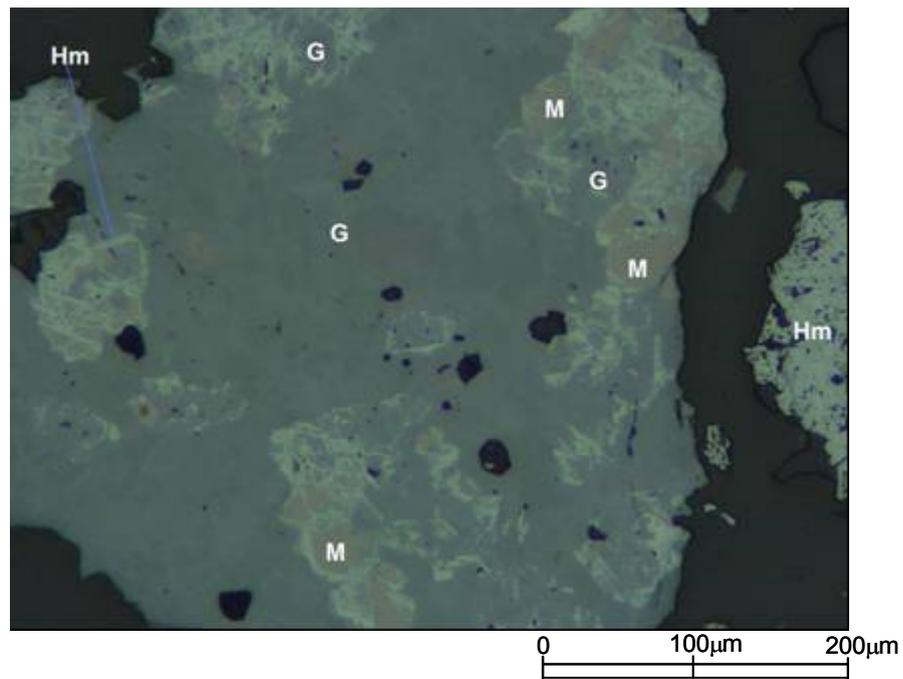


Figura 5.38– Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando hematitas martíticas também goethitizadas, magnetitas, goethita botrioidal e hematita martítica porosa. Aumento 200X. LRND.

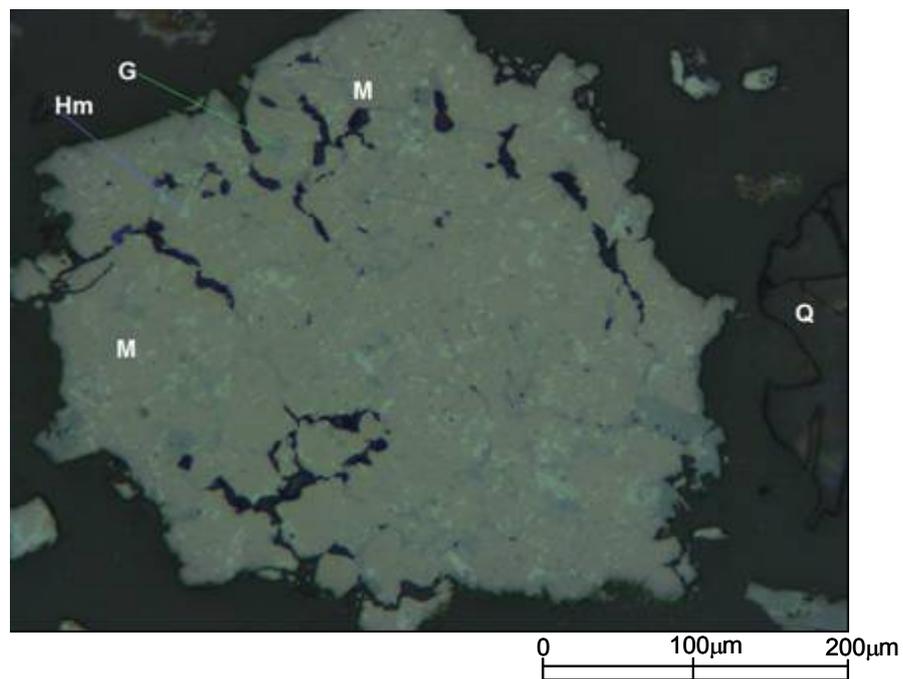


Figura 5.39– Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando magnetitas que estão pouco martitizadas e pouco goethitizadas. Quartzo é também observado. Aumento 200X. LRND.

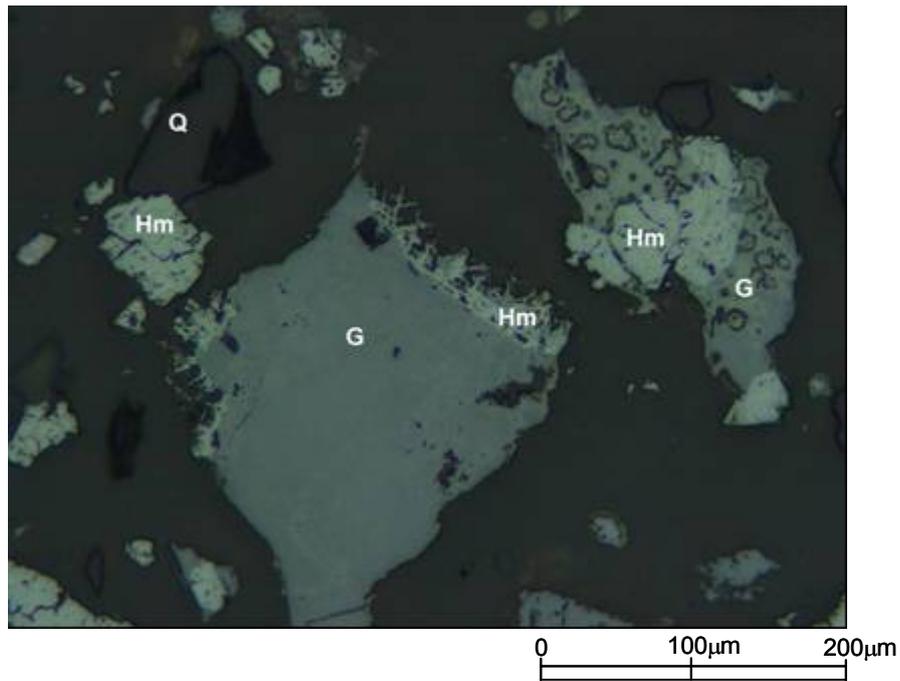


Figura 5.40– Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethitas botrioidais, hematitas martíticas e quartzo. Aumento 200X. LRND.

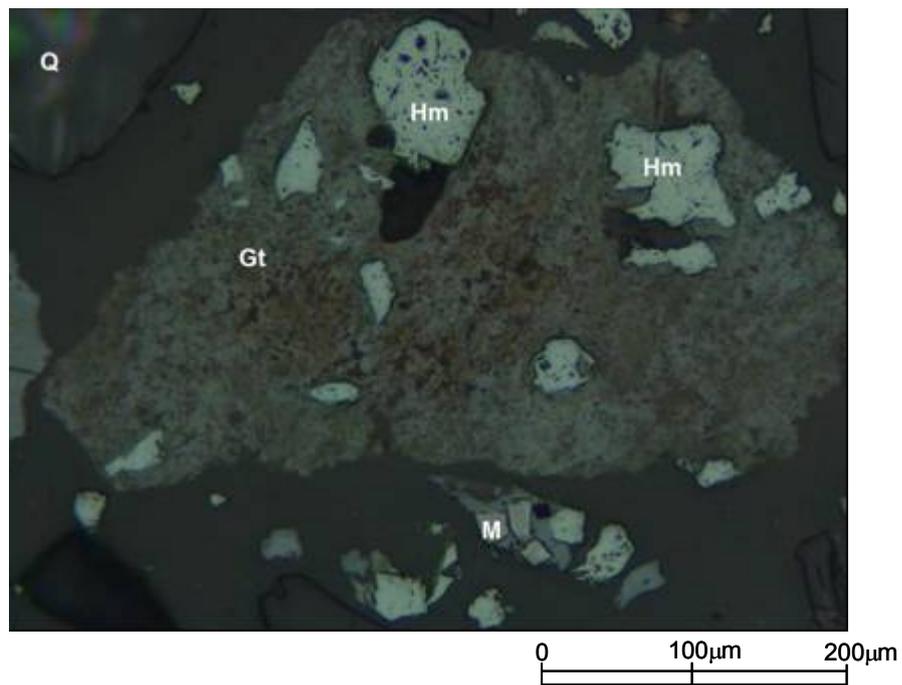


Figura 5.41 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita terrosa, hematitas martíticas e quartzo. Aumento 200X. LRND.

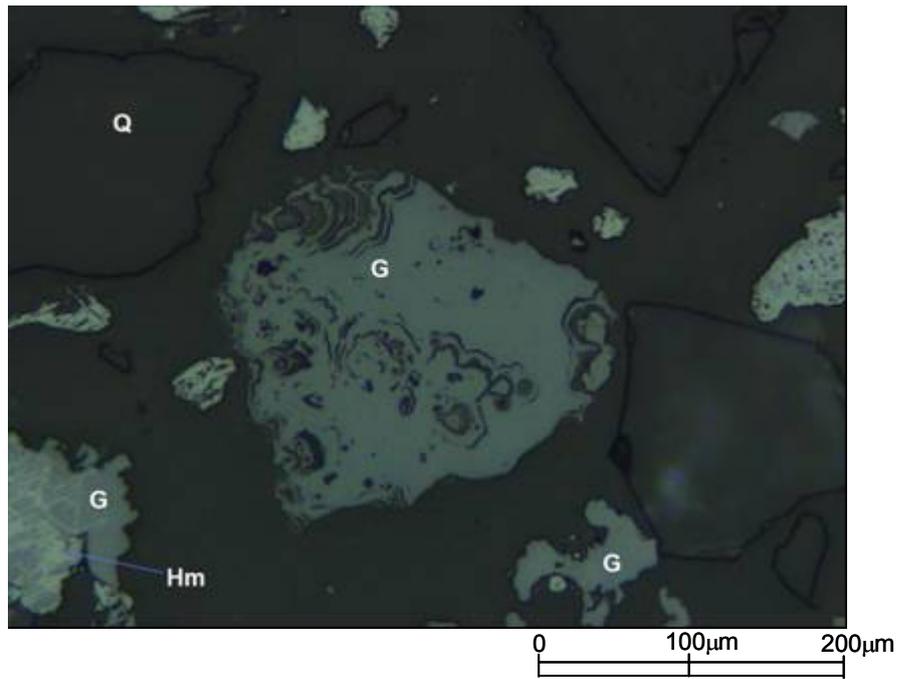


Figura 5.42 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) enfocando goethita botrioidal (centro). Aumento 200X. LRND.

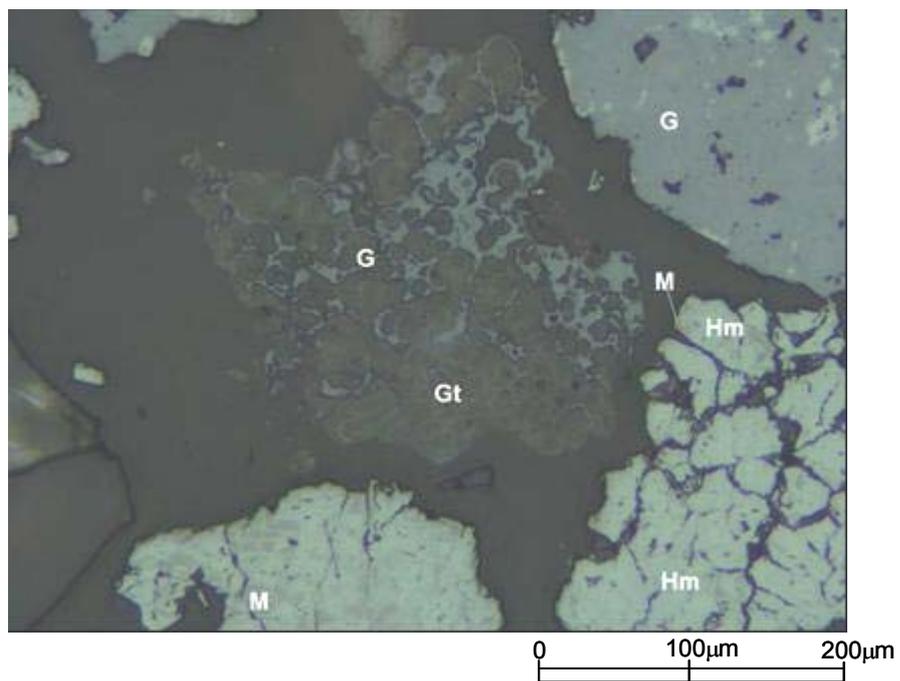


Figura 5.43 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) enfocando goethita botrioidal alterando a goethita terrosa (centro). Aumento 200X. LRND.

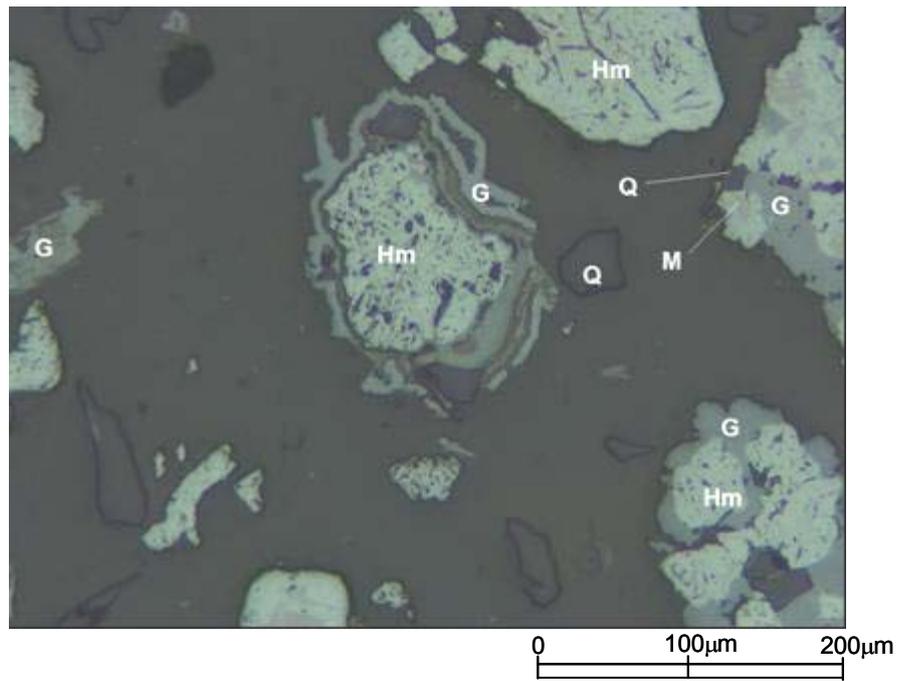


Figura 5.44 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) enfocando hematita martítica subédrica e porosa bordejada por bela goethita botrioidal (centro da foto). Aumento 200X. LRND.

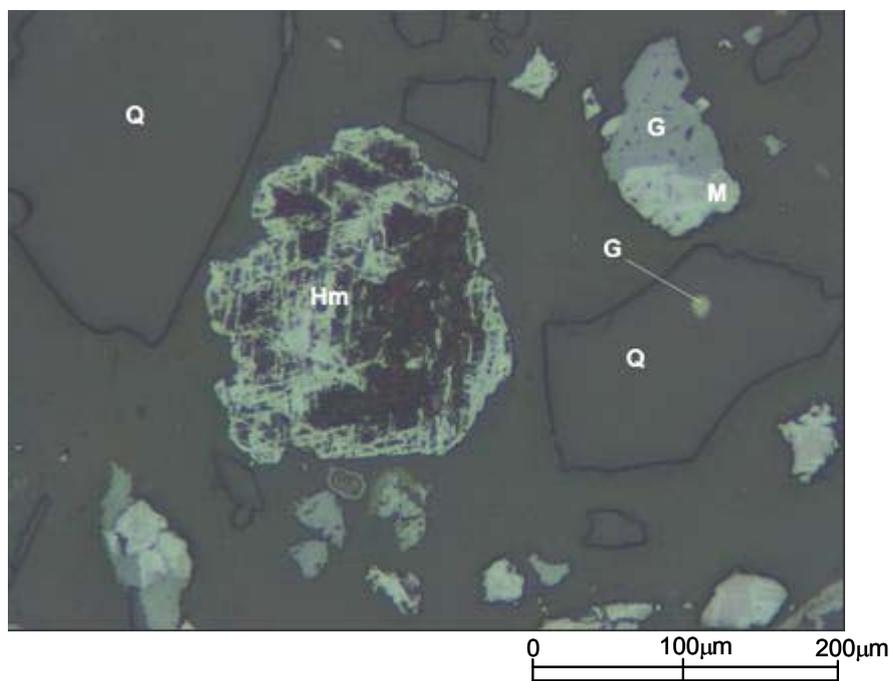


Figura 5.45 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) enfocando uma bela hematita martítica muito porosa. Aumento 200X. LRND.

Na Figura 5.46 pode-se observar a presença de magnetitas euédricas em início do processo de martitização e goethitização, goethita botrioidal mediamente porosa associada com caulinitas (cristais prismáticos).

Na Figura 5.47 estão ilustradas hematitas martíticas euédricas e subédricas apresentando variados graus de porosidade (médio a alto).

A fotomicrografia da Figura 5.48 foi tirada no MEV e está enfocando principalmente a goethita pseudomórfica de anfibólio. A região demarcada pelo círculo foi analisada no microanalisador EDS. Como pode ser visto, pelos mesmos motivos já explicados para a amostra A31, a composição química encontrada é característica da goethita. Pela mesma razão exposta para a amostra A31, o valor do elemento *P* não foi determinado.

A fotomicrografia da Figuras 5.49 é para ilustrar o aspecto da goethita botrioidal microfibrosa sob um maior aumento. Já a Figura 5.50 ilustra o aspecto apresentado por uma hematita martítica muito porosa.

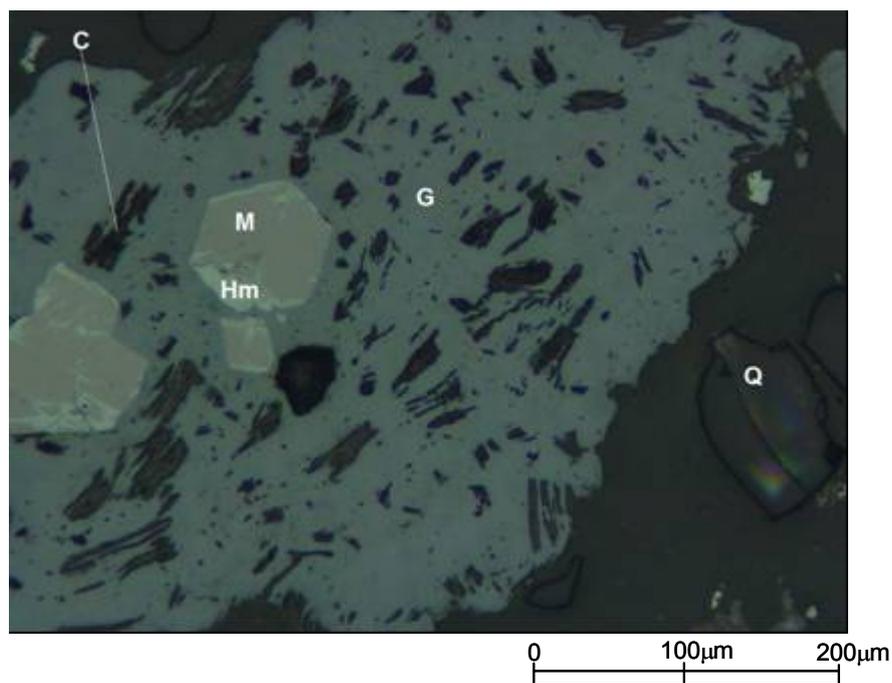


Figura 5.46 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) enfocando magnetitas euédricas em início de processo de martitização e goethitização, goethita botrioidal, caulinitas.e quartzo. Aumento 200X. LRND.

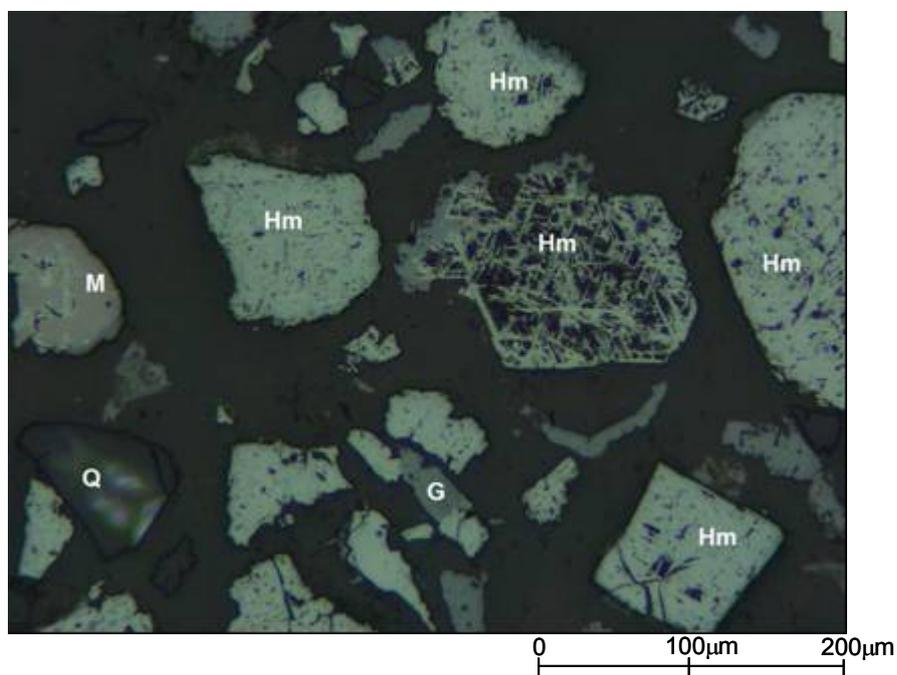


Figura 5.47 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando hematitas martíticas euédricas e subédricas mediamente a muito porosas, magnetita, goethitas e quartzo. Aumento 200X. LRND.

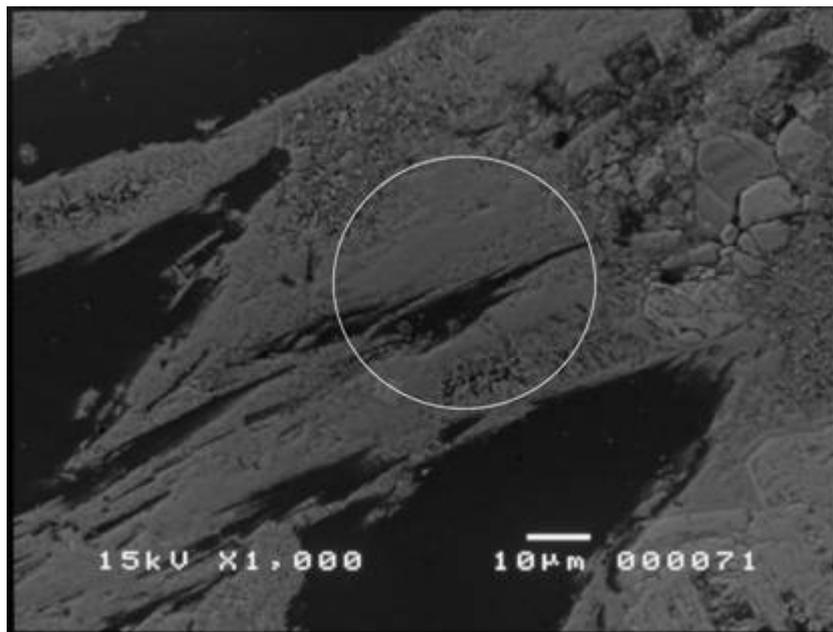


Figura 5.48 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) enfocando goethita pseudomórfica de anfibólio. MEV-IRE. 1000X.

		<i>Elementos Químicos (%)</i>							
Área	Mineral	Fe	SiO₂	Al₂O₃	TiO₂	MnO₂	MgO	S	Cl
	Goethita	60,63	2,47	1,11	ND	ND	0,15	ND	0,03

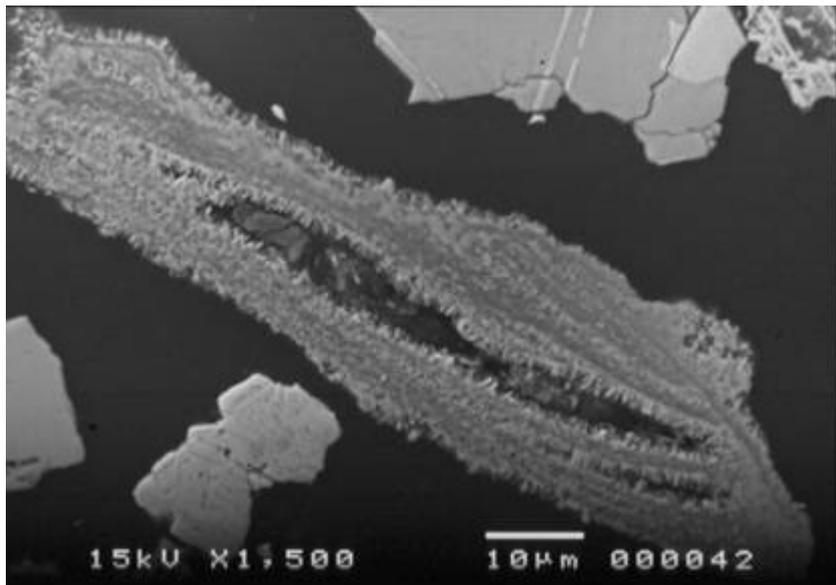


Figura 5.49 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando aspecto da goethita pseudomórfica de anfibólio. MEV-IRE. 1500X.



Figura 5.50 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando aspecto da hematita martítica muito porosa. MEV-IRE. 500X.

(C) Amostra A62

A mineralogia é basicamente goethita e quartzo como fases mais abundantes, hematita martítica um pouco menos abundante, magnetita em muito baixa proporção e traços de hematita especularítica (lamelar). De maneira generalizada, tanto o nível de alteração dos minerais de ferro como suas porosidades são ambos, de grau elevado e o tamanho das partículas varia como para as amostras anteriores.

A goethita ocorre principalmente em suas formas botrioidal, pseudomórfica de anfibólio e terrosa e todas elas estão geralmente muito porosas. Goethita alveolar também pode ser encontrada, bem como a goethita produto da alteração da magnetita não é rara.

O quartzo, como nas amostras anteriores, é normalmente anédrico, monocristalino e na maioria das vezes está liberado. Quartzo com inclusões de minerais de ferro também são encontrados e, localmente, podem ser encontrados quartzos pseudomórficos de anfibólio.

A hematita martítica apresenta-se usualmente muito alterada e muito porosa, não sendo rara a presença de hematitas martíticas esqueléticas em meio a goethita terrosa. Foram observados raros cristais isolados de hematita lamelar.

A magnetita, quando presente, está relictiva em meio à hematita martítica e a caulinita foi observada apenas localmente.

Na Figura 5.51 está apresentada uma fotomicrografia mostrando na porção ao centro e a direita uma partícula formada por goethita botrioidal alterada e porosa (grandes poros) associada com caulinita. A partícula localizada na porção ao centro e a esquerda é também composta por goethita botrioidal porosa, porém grau de alteração mais elevado (praticamente terrosa). Ambas representam estágios, porém diferentes, de evolução da textura alveolar. Também estão presentes goethita botrioidal (no alto e à direita), hematita martítica (no centro e totalmente à esquerda) e quartzos.

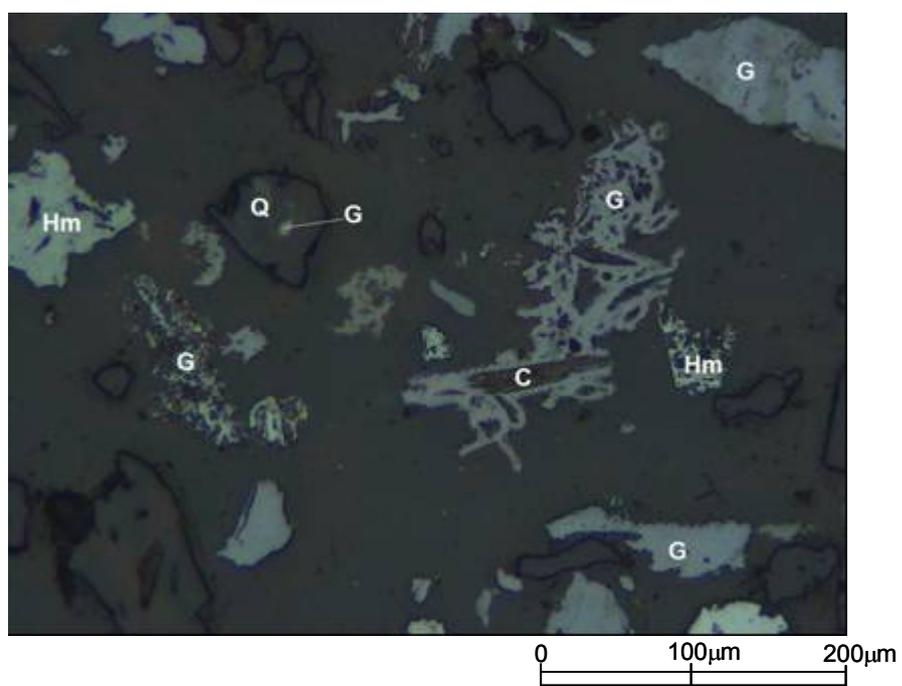


Figura 5.51 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando goethitas botrioidais, hematita martítica e quartzo. Aumento 200X. LRND.

A Figura 5.52 traz na região ao centro e a direita uma grande partícula formada por goethita e quartzo ambos pseudomórficos de anfibólio. Notar que em algumas regiões dessa partícula o quartzo está intimamente associado a goethita. Na foto ainda podem se observar outras goethitas pseudomórficas, hematitas martíticas e quartzos anédricos.

A Figura 5.53 mostra na parte central uma grande partícula formada por goethita pseudomórfica de anfibólio muito porosa e hematita martítica extremamente porosa e já praticamente relictas. Na porção superior e a esquerda da foto está presente outra grande partícula formada somente por goethita, que pela forma externa, sugere terem sido magnetitas, que foram totalmente alteradas a goethita (goethitizadas). Também podem se observadas na foto outras goethitas (terrosa, pseudomórficas e botrioidal), hematitas martíticas, magnetitas relictas e quartzos anédricos.

Na Figura 5.54 são observadas duas grandes partículas localizadas na parte central. A partícula da direita é formada por hematita martítica altamente porosa e a da esquerda, é formada por goethita produto de alteração da magnetita contendo hematita martítica praticamente relictas. Essas duas partículas evidenciam diferentes graus de alteração e hidratação da magnetita. São também observadas goethita terrosa, goethita pseudomórfica de anfibólio e quartzo.

A Figura 5.55 mostra uma grande partícula formada por um agregado de hematitas martíticas microporosas, anédricas a subédricas, de aparência compacta e com alta refletividade, não apresentando a textura de treliça, mas contendo pequenas ilhas de magnetita relictas. Essas hematitas estão tão bem associadas entre si, que forma um agregado em que em algumas regiões não se consegue mais determinar seus contornos. Observam-se também goethita pseudomórfica de anfibólio (abaixo na foto), hematitas martíticas porosas e quartzo.

Na Figura 5.56 está presente uma grande partícula formada por goethita pseudomórfica de anfibólio porosa e hematitas martíticas altamente porosas.

Na Figura 5.57 pode-se observar goethita pseudomórfica de anfibólio em associação com hematita martítica porosa contendo porções goethitizadas e magnetita.

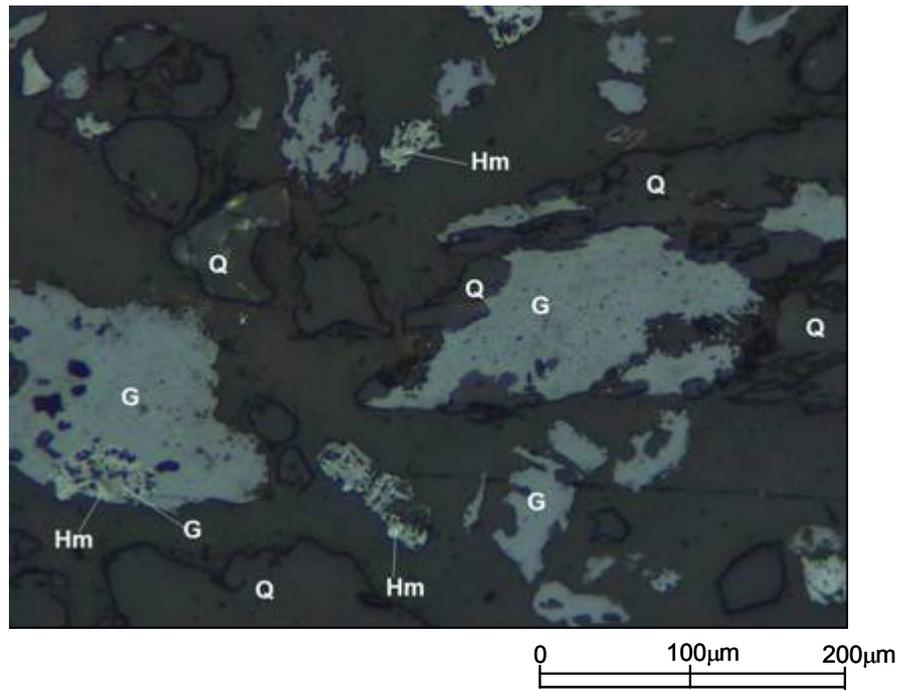


Figura 5.52 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando goethitas e quartzo pseudomórficos de anfibólio, hematitas martíticas relictas e quartzos anédricos. Aumento 200X. LRND.

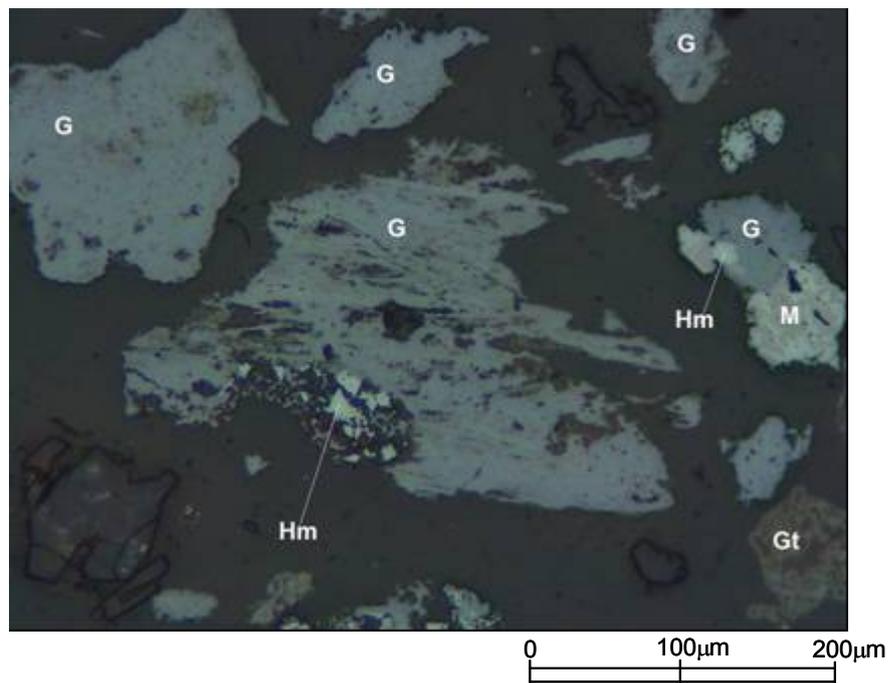


Figura 5.53 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando goethitas (pseudomórficas de anfibólio, produto de alteração da magnetita, botrioidal e terrosa) hematitas martíticas, magnetita e quartzos. Aumento 200X. LRND.

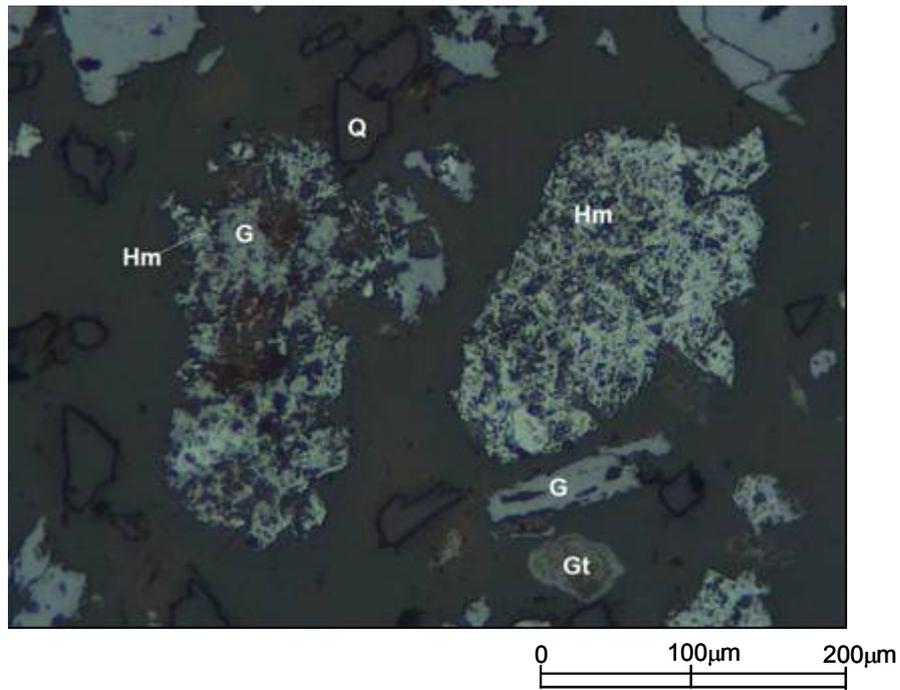


Figura 5.54 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando goethitas (pseudomórficas de anfibólio, produto de alteração da magnetita, botrioidal e terrosa) hematitas martíticas, magnetita e quartzos. Aumento 200X. LRND.

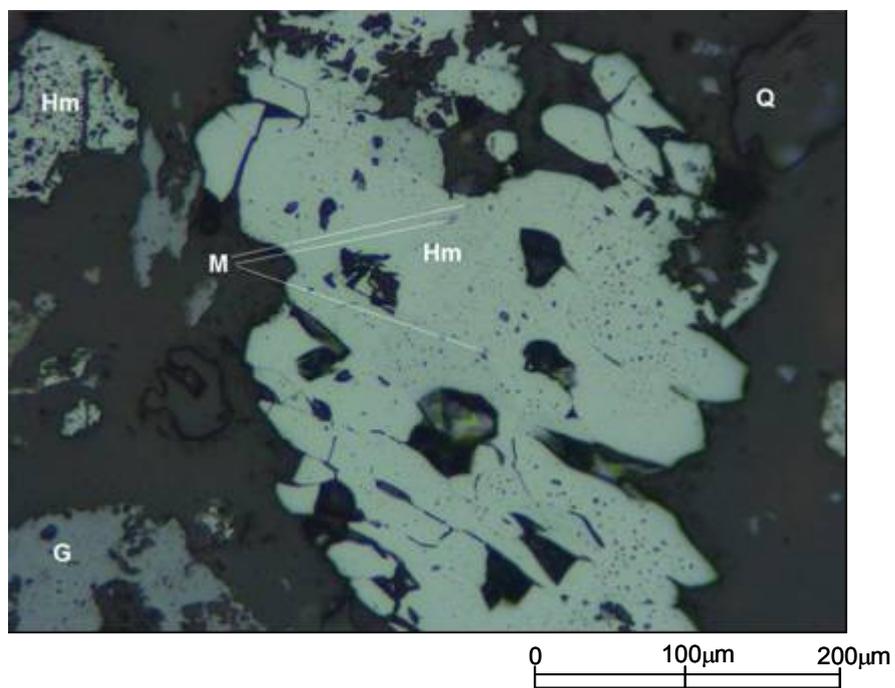


Figura 5.55 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando hematitas martíticas, magnetita, goethitas pseudomórficas de anfibólio e quartzos. Aumento 200X. LRND.

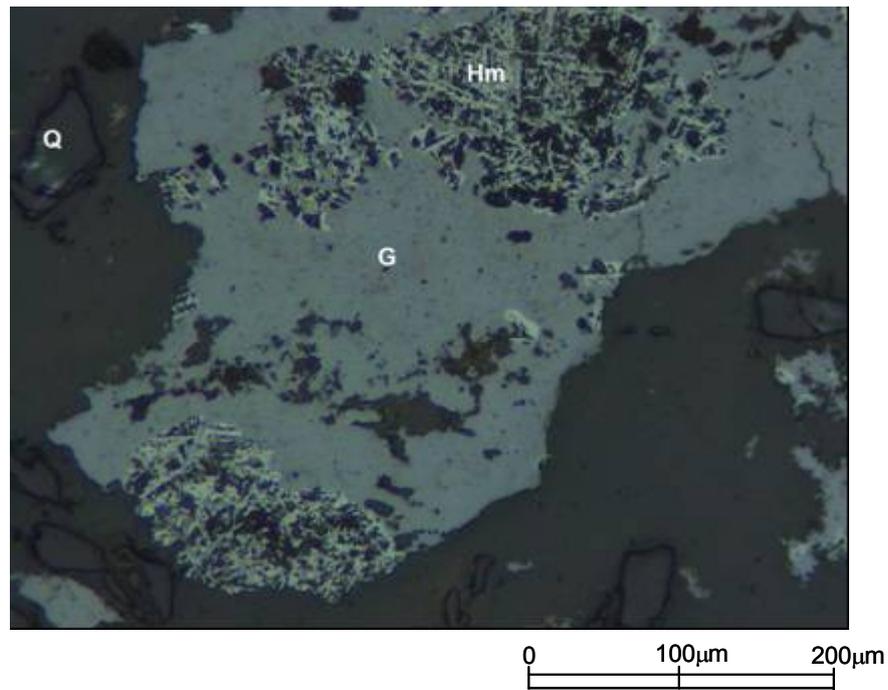


Figura 5.56 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio e hematitas martíticas.altamente porosas. Aumento 200X. LRND.

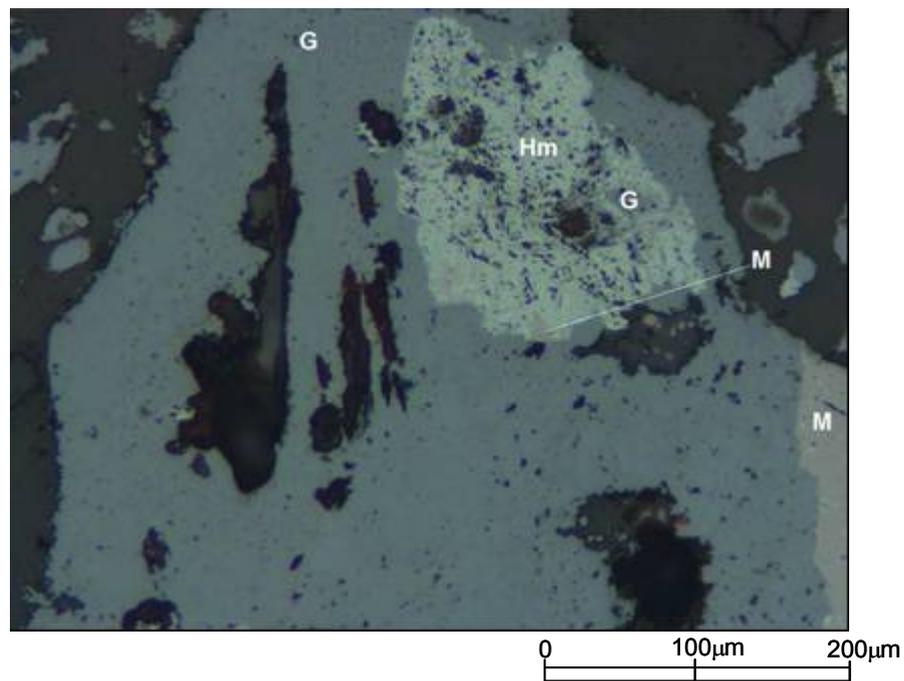


Figura 5.57 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethitas (pseudomórfica de anfibólio e de alteração da magnetita), hematitas martíticas e magnetita. Aumento 200X. LRND.

A Figura 5.58 enfoca uma grande partícula de goethita pseudomórfica de anfibólio com forma facilmente identificável (típica). Também estão presentes goethita botrioidal, outros pseudomorfos de anfibólio (goethita) e quartzo.

A Figura 5.59 mostra goethita pseudomórfica de anfibólio apresentando um grau médio de porosidade.

Na Figura 5.60 está presente na parte central uma partícula formada por goethita pseudomórfica de anfibólio muito alterada e já apresentando porções onde já está terrosa. Em meio a essa goethita, encontram-se algumas poucas lamelas de hematita martítica relictas.

A Figura 5.61 apresenta uma grande partícula formada por goethita pseudomórfica de anfibólio e hematita martítica bastante porosa apresentando um aspecto de moldura esquelética. Na Figura 5.62 está presente uma grande partícula de goethita com diferentes texturas ou relevos, que parecem ser impressões deixadas pelas fases mineralógicas anteriores (magnetitas martitizadas e/ou goethitizadas).

A Figura 5.63 mostra goethita pseudomórfica de anfibólio muito porosa e na Figura 5.64 estão ilustradas belíssimas hematitas martíticas com elevado grau de porosidade em meio, principalmente, a goethita produto de alteração de magnetita porosa que está muito alterada (estágio médio em tornar-se terrosa).

A Figura 5.65 é uma fotomicrografia tirada no MEV mostrando uma partícula composta essencialmente por goethitas pseudomórficas de anfibólio, goethitas terrosas e hematitas martíticas. As regiões assinaladas foram também analisadas pelo microanalisador EDS e investigadas sob um maior aumento.

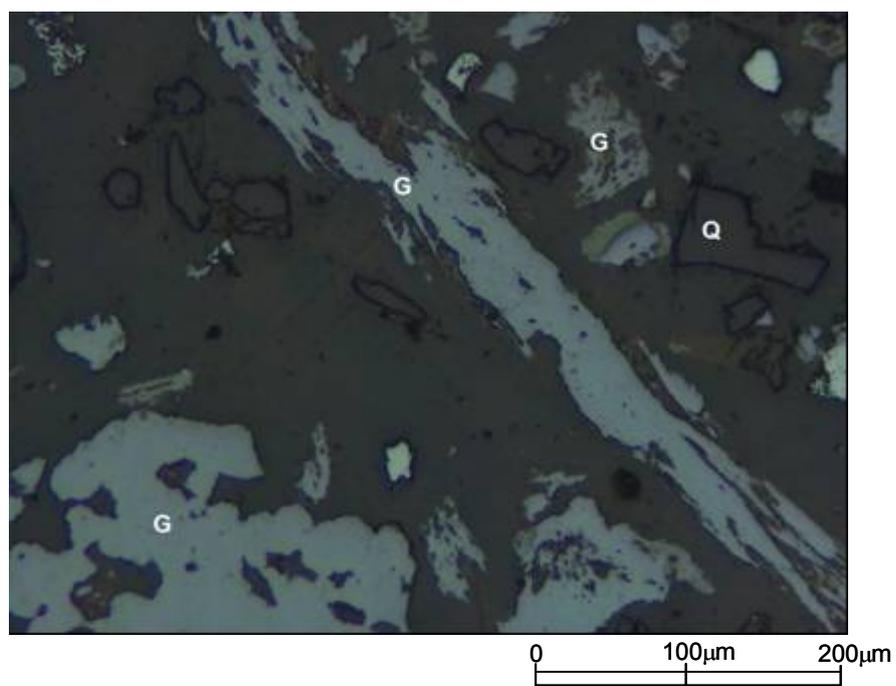


Figura 5.58 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethitas (pseudomórficas de anfibólio e botrioidal). Aumento 200X. LRND.

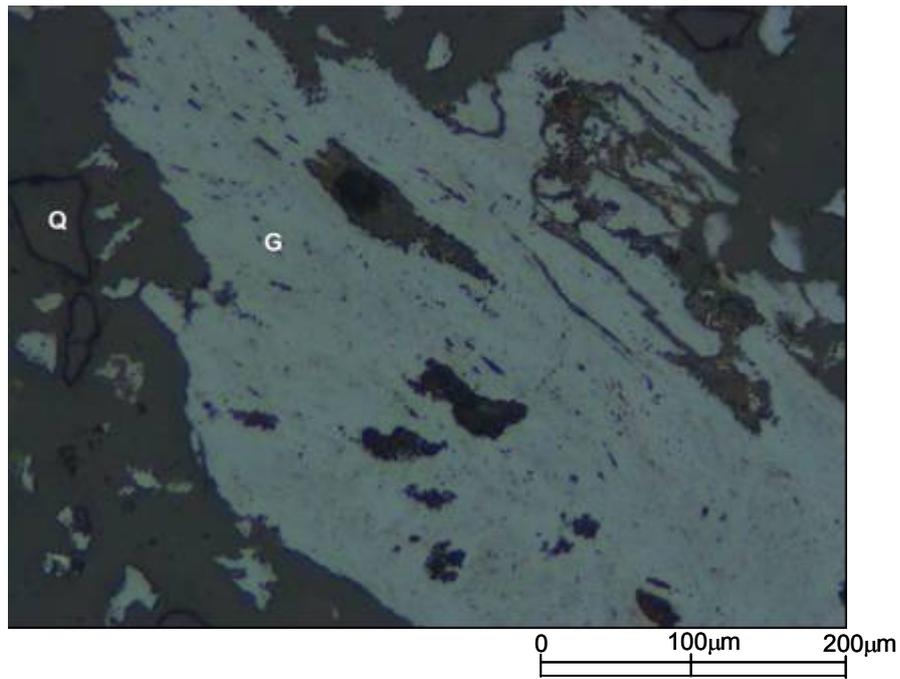


Figura 5.59 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio. Aumento 200X. LRND.

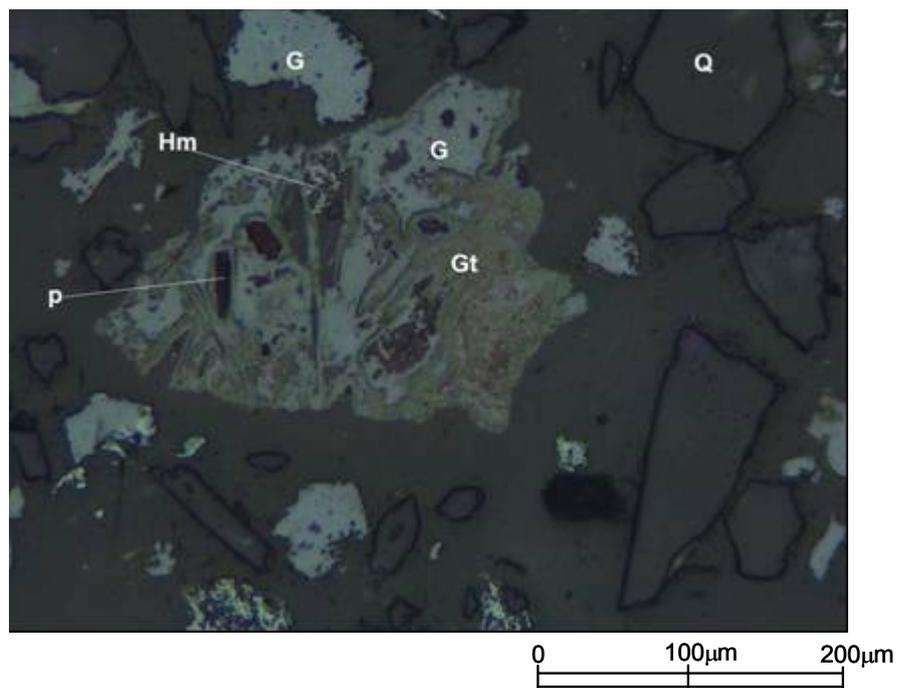


Figura 5.60 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio alterada, goethita terrosa e hematita martítica. Aumento 200X. LRND.

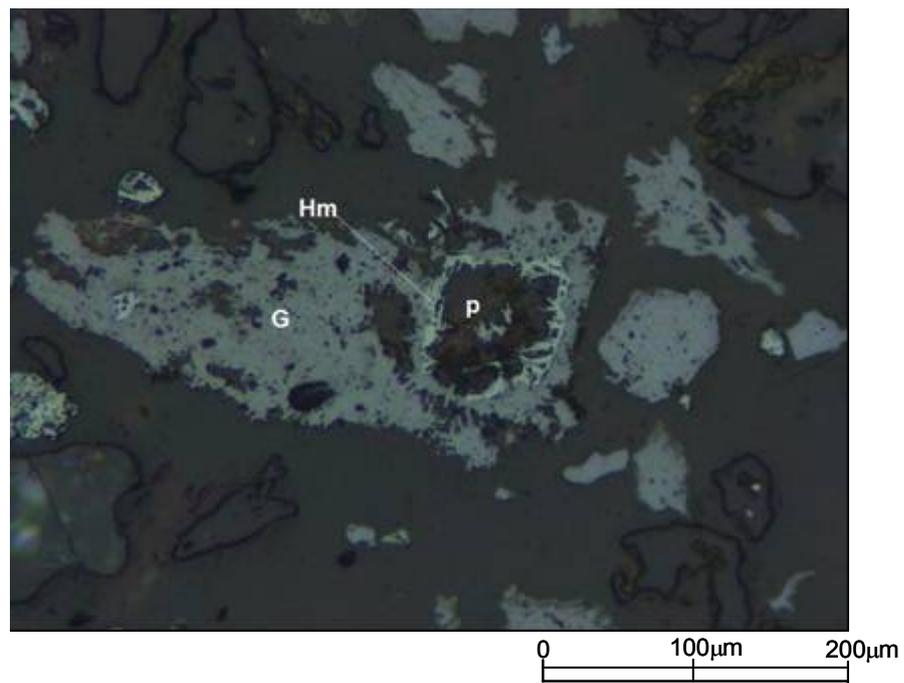


Figura 5.61 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio e hematita martítica. Aumento 200X. LRND.

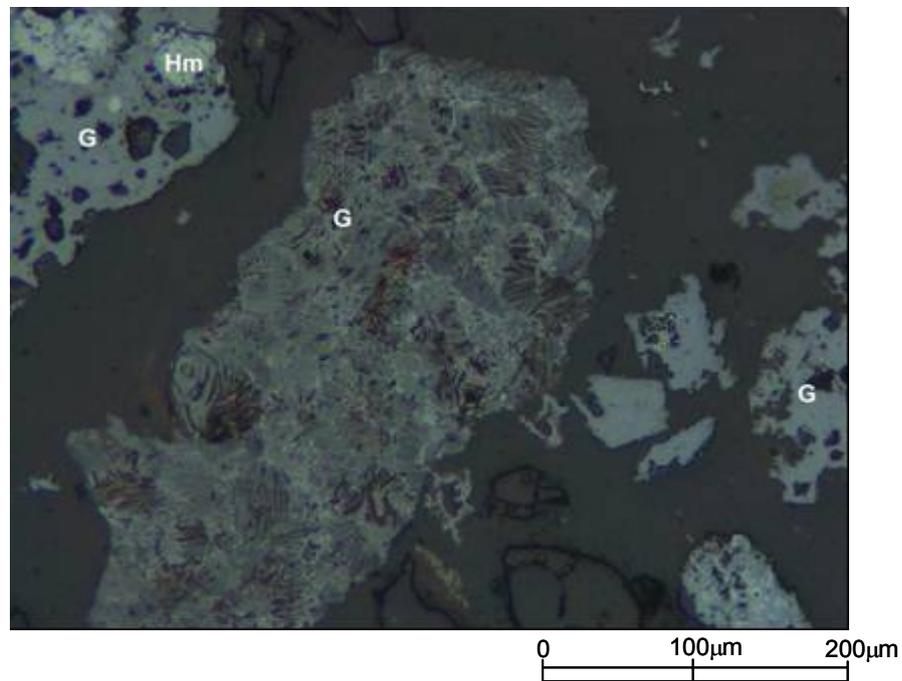


Figura 5.62 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando uma bonita goethita com diferentes texturas (relevos). Aumento 200X. LRND.

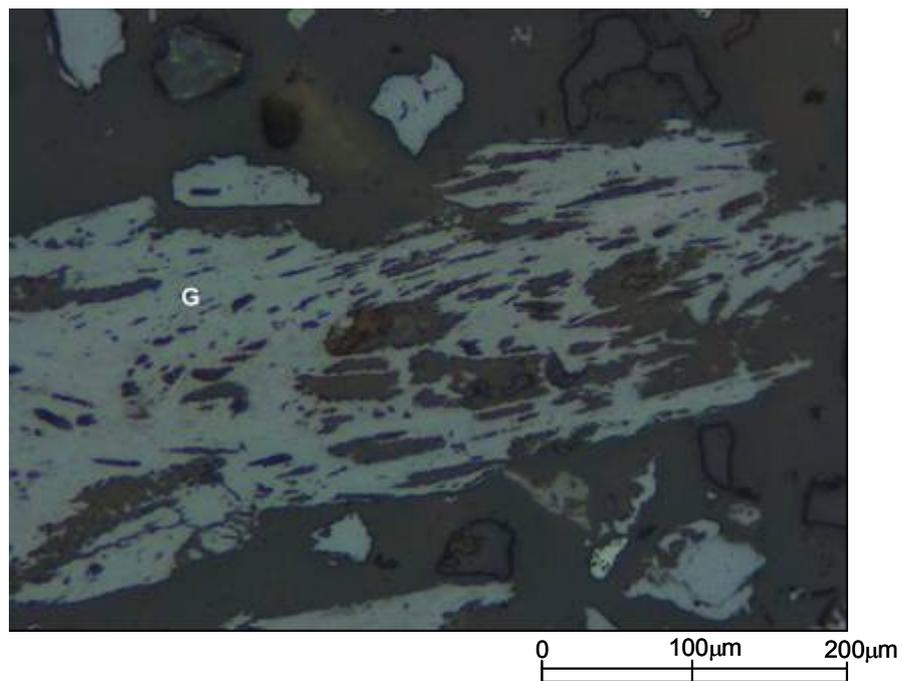


Figura 5.63 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando uma grande e goethita pseudomórfica de anfibólio Aumento 200X. LRND.

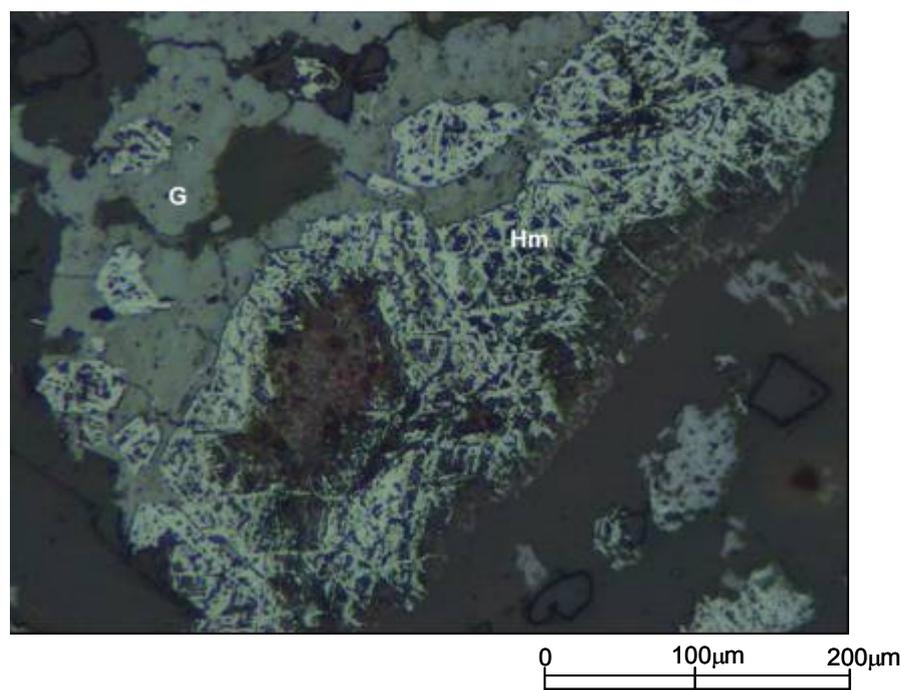


Figura 5.64 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando belíssimas hematitas martíticas altamente porosas em meio a goethitas produto de alteração da magnetita alteradas e porosas. Aumento 200X. LRND

As figuras 5.66 a 5.68 mostram as fotomicrografias (MEV) tiradas dessas regiões sob maior aumento.

As composições químicas das áreas 1 e 2 são típicas de goethita e as fotomicrografias (figuras 5.66 e 5.67) mostrando essas áreas em detalhe, deixam claro tratarem-se de goethitas pseudomórficas de anfibólio. É interessante notar o *habitus* fibroso do antigo anfibólio ainda bem preservado nessas goethitas. Já as composições apresentadas pelas áreas 3 e 4 as classificam como possivelmente goethitas muito impuras, ricas em alumina e contendo quantidades de *Ca*, *K*, *Cl* e *Na* (numa delas). Pela observação da fotomicrografia mostrando em detalhe essas áreas (Figura 5.68), nota-se que essas goethitas (?) estão presentes dentro das hematitas martíticas e que se apresentam orientadas segundo uma direção preferencial. A análise da área 5 a classifica como hematita e pela observação dessa área sob maior aumento (Figura 5.68) trata-se da hematita martítica.

As figuras 5.69 e 5.70 trazem fotomicrografias tiradas no MEV mostrando duas hematitas martíticas em diferentes estágios de alteração sendo ambas muito porosas. A primeira (Figura 5.69) é um pouco menos alterada, não apresentando goethita terrosa. Salienta-se a beleza apresentada pela nítida textura de treliça. A hematita martítica da Figura 5.70 apresenta várias porções onde a textura é granular.

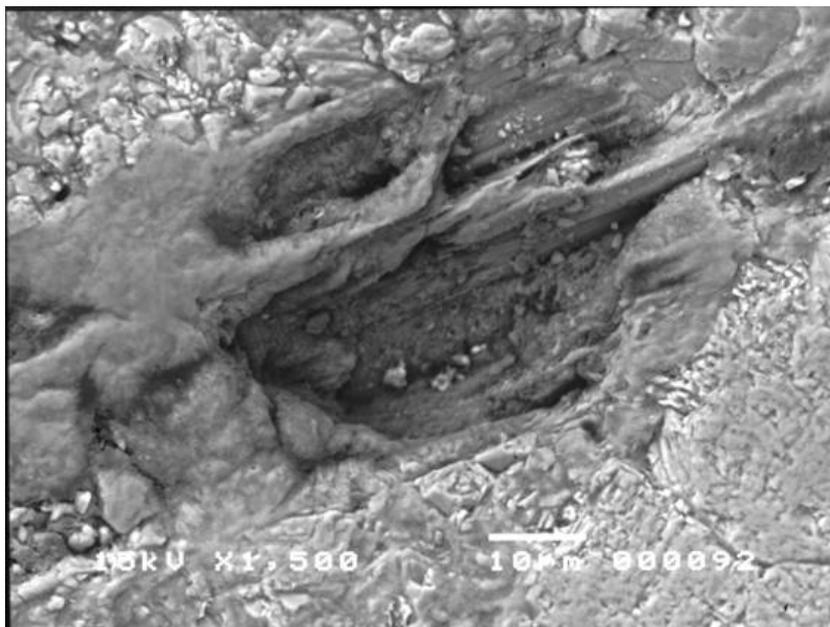


Figura 5.66 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando em detalhe a goethita pseudomórfica de anfibólio da área 1. MEV-IRE. 1500X.

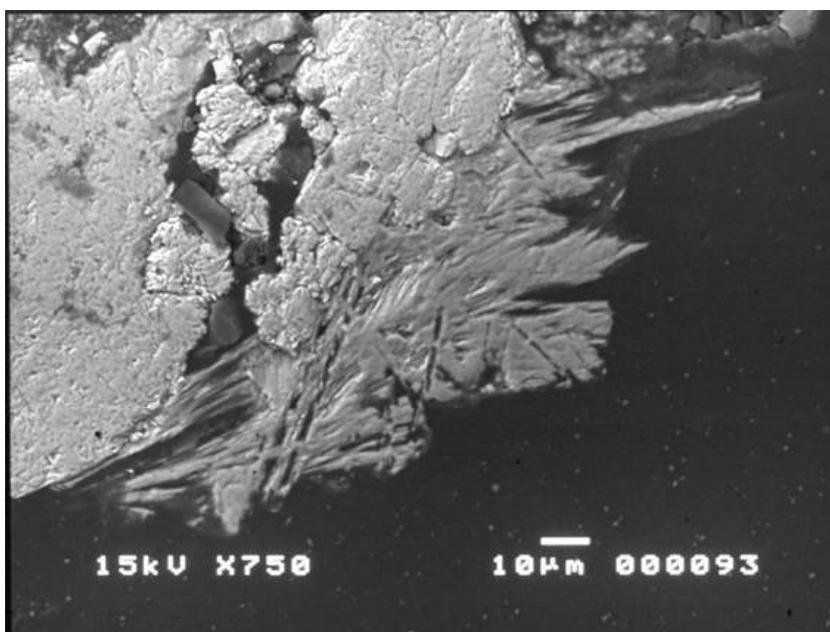


Figura 5.67 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando em detalhe a goethita pseudomórfica de anfibólio da área 2. MEV-IRE. 750X.

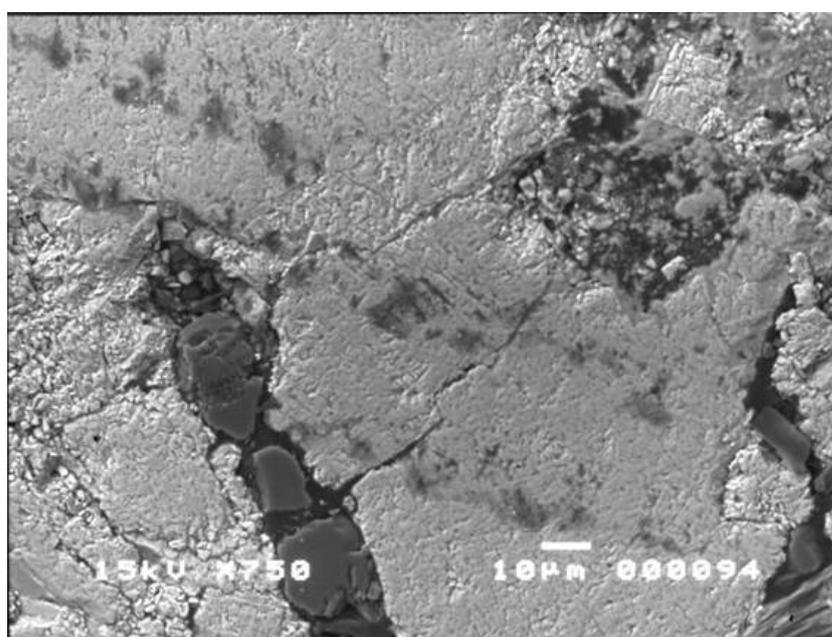


Figura 5.68 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando em detalhe hematita martítica contendo goethitas impuras alinhadas segundo uma direção preferencial. MEV-IRE. 750X.

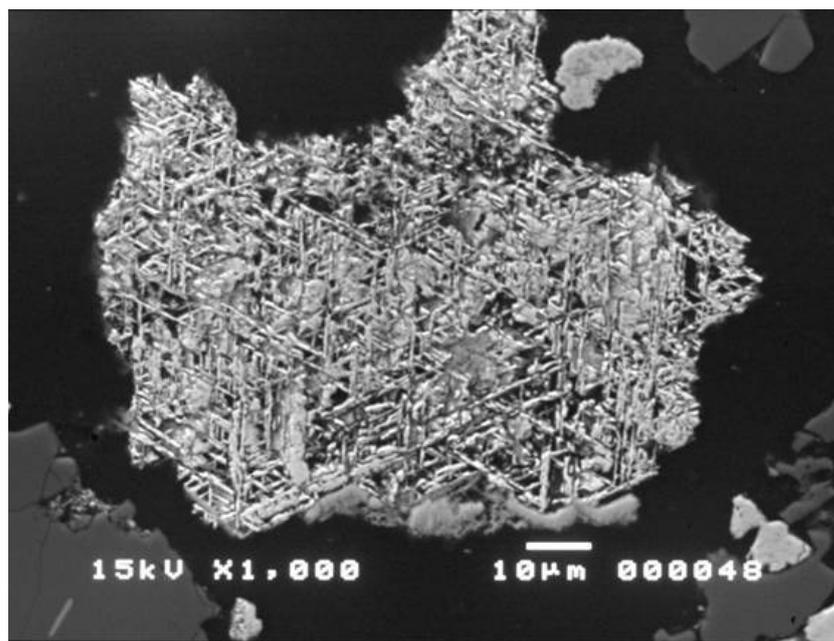


Figura 5.69 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando em detalhe hematita martítica porosa. MEV-IRE. 1000X.

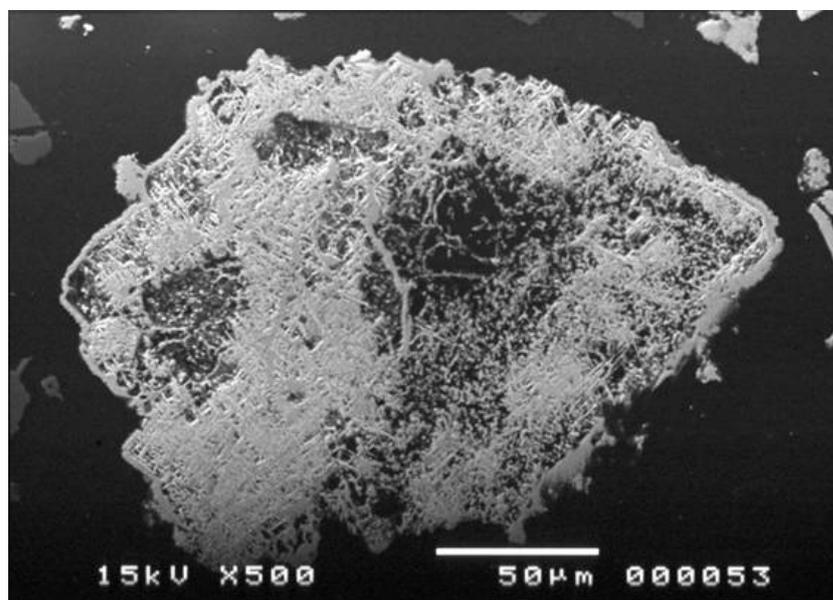


Figura 5.70 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando em detalhe hematita martítica porosa apresentando textura granular (terrosa). MEV-IRE. 500X.

(D) Amostra A91

A composição mineralógica dessa alíquota é basicamente quartzo, hematita martítica e goethita. A magnetita é pouco abundante e é encontrada normalmente como relictos dentro das hematitas martíticas. A hematita lamelar está presente em muito baixa quantidade (traços). De maneira generalizada, o grau de alteração, bem como o de porosidade das fases de ferro presentes, são elevados e o tamanho das partículas é variado, como ocorre nas amostras anteriores.

A hematita martítica é o principal mineral de ferro e está presente em diferentes graus de alteração e porosidade. Assim, ela pode ser encontrada desde pouco porosa contendo muita magnetita relictiva, como mediamente porosa e também goethitizada, como muito porosa e muito goethitizada, como também extremamente porosa e esquelética, até relictos de hematita martítica em meio a goethita. De qualquer forma, as hematitas martíticas mais porosas e contendo também a goethita são as mais comuns. A hematita lamelar é encontrada localmente sob a forma de cristais isolados.

A goethita está presente principalmente sob a forma de pseudomorfos de anfibólio muito porosos. Goethitas terrosas e produto de alteração da magnetita são também muito frequentes. Já as goethitas maciças e botrioidais são encontradas em bem menor proporção.

Como nas amostras anteriores, o quartzo é normalmente anédrico, monocristalino e na maioria das vezes está liberado. Quartzo com inclusões de minerais de ferro também são encontrados e, nessa amostra também, foi observado localmente a presença de pseudomórfico de anfibólio.

A magnetita está presente em baixa proporção e é encontrada relictiva dentro das hematitas martíticas. Como para as demais amostras, a hematita lamelar pode ser encontrada sob a forma de traços.

A Figura 5.71, a seguir, mostra uma grande partícula formada essencialmente por hematitas martíticas subédricas a anédricas, muito porosas.

A fotomicrografia da Figura 5.72 uma grande partícula de goethita pseudomórfica de anfibólio mediamente porosa, hematitas martíticas com porosidades diversas e quartzo.

Na Figura 5.73 podem ser observadas nas porções: superior e a esquerda e centro e inferior, são observadas duas partículas formadas por goethitas pseudomórficas de anfibólio (partículas de aspecto estirado). Na porção centro e mais esquerda está localizada uma partícula composta por hematita martítica pouco porosa e contendo magnetita relictas, que está bordejada por goethita botrioidal. Na região próxima ao centro da foto, está situada uma partícula de hematita martítica praticamente euédrica e mediamente porosa. Nessa figura ainda são observadas outras partículas de hematitas martíticas com diferentes graus de porosidade, que podem também apresentar porções goethitizadas e quartzo.

A Figura 5.74 mostra nas regiões: centro e a direita – hematitas martíticas (subédricas) mediamente porosas e também goethitizadas; central – goethita (botrioidal ou maciça) intimamente associada com hematita martítica (aspecto de impressão) e hematita martítica mediamente porosa e também goethitizada; centro e a esquerda – goethita pseudomórfica de anfibólio; alto – quartzo pseudomórfico de anfibólio.

A Figura 5.75 traz uma grande partícula de goethita pseudomórfica de anfibólio muito alterada (praticamente terrosa) e porosa.

A Figura 5.76 é para ilustrar as hematitas martíticas em diferentes estágios de alteração e de diferentes porosidades. Assim, no alto e a esquerda tem-se uma hematita martítica mediamente porosa, no alto e a direita encontra-se outra que está mais porosa que a primeira, na região central e na porção inferior e a direita estão presentes duas hematitas martíticas muito porosas e na porção centro e inferior, uma partícula formada por hematita martítica extremamente porosa, praticamente esquelética associada com goethita.

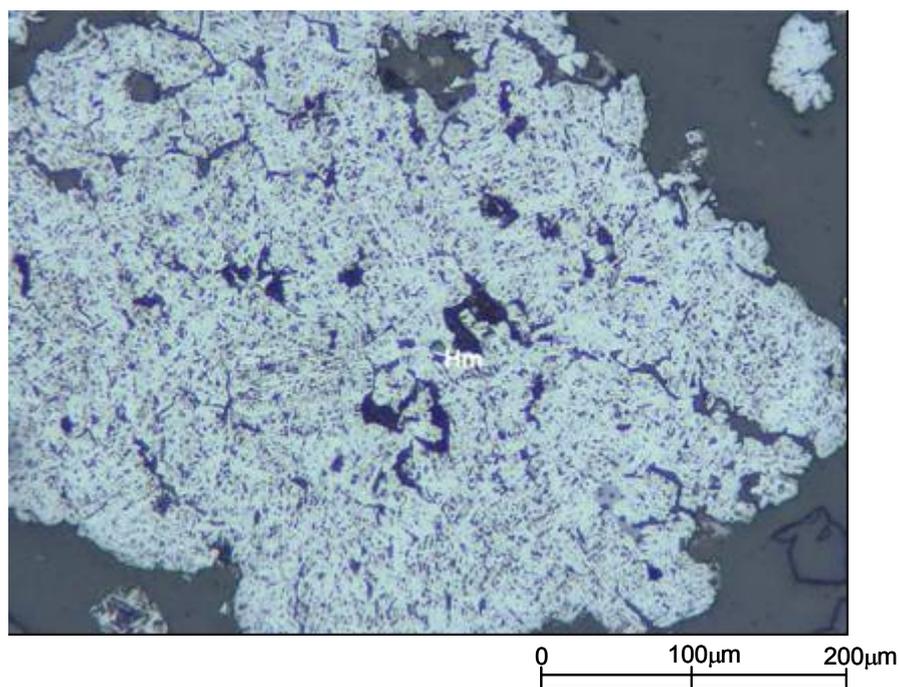


Figura 5.71 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando hematitas martíticas porosas. Aumento 200X. LRND.

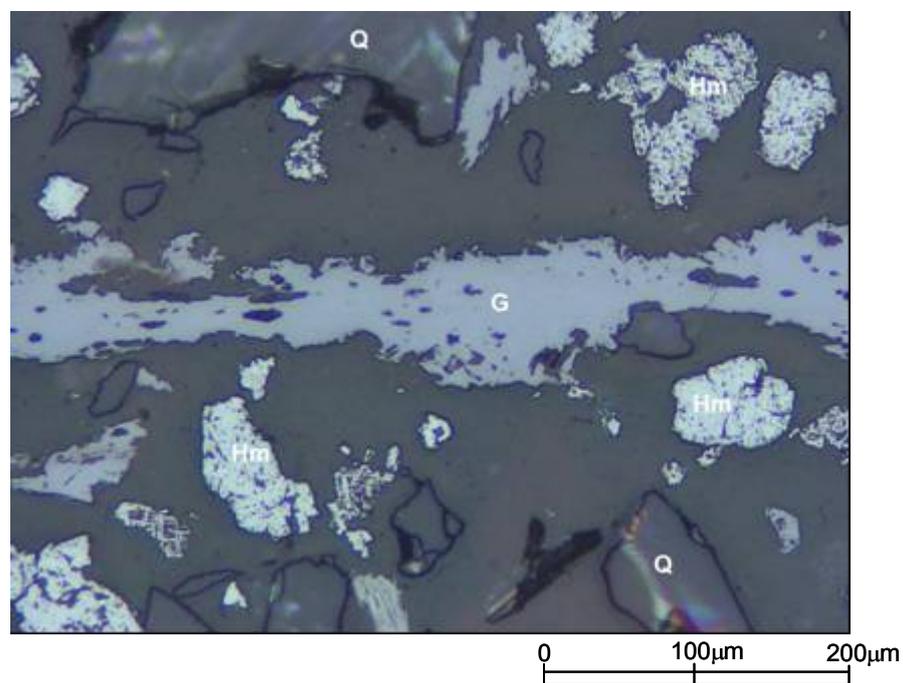


Figura 5.72 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando uma grande partícula de goethita pseudomórfica de anfibólio, hematitas martíticas e quartzo. Aumento 200X. LRND.

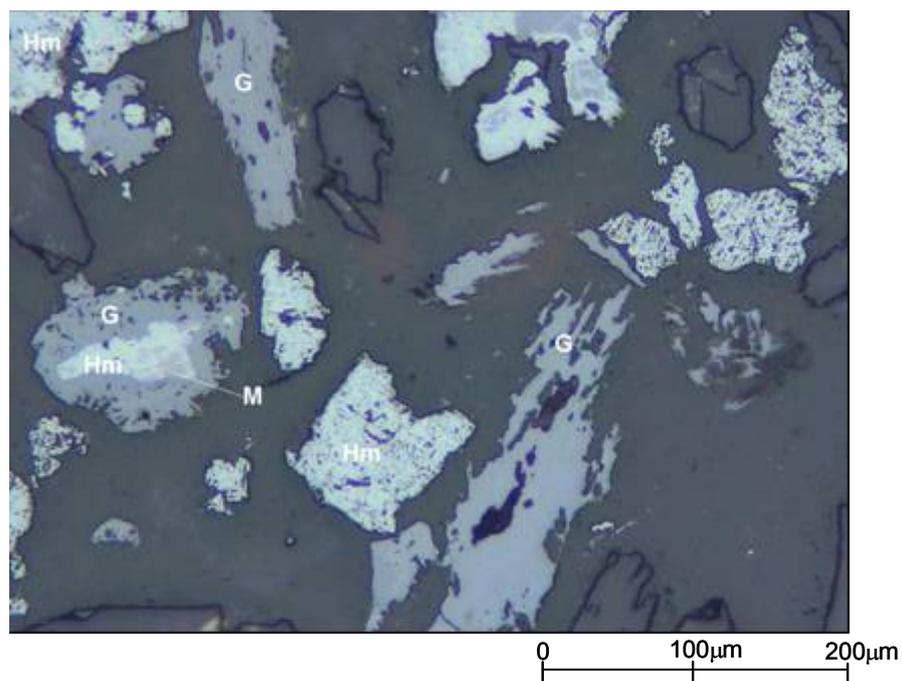


Figura 5.73 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando goethitas (pseudomórficas de anfibólio, botrioidal e de alteração da magnetita), hematitas martíticas, magnetita e quartzo. Aumento 200X. LRND.

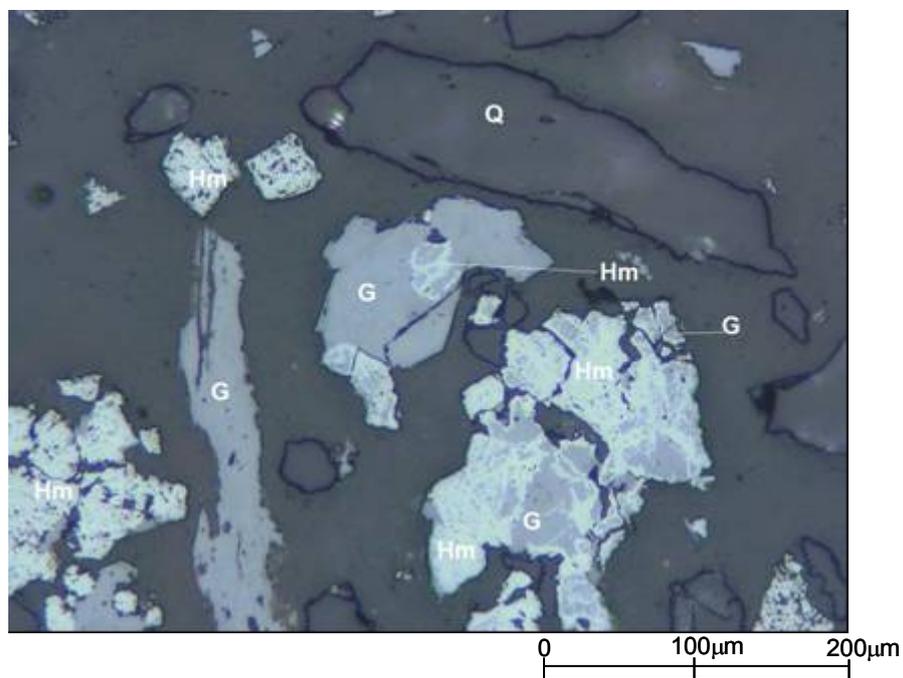


Figura 5.74 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando goethitas (pseudomórfica de anfibólio, alteração da magnetita e maciça), hematitas martíticas e quartzo. Aumento 200X. LRND.

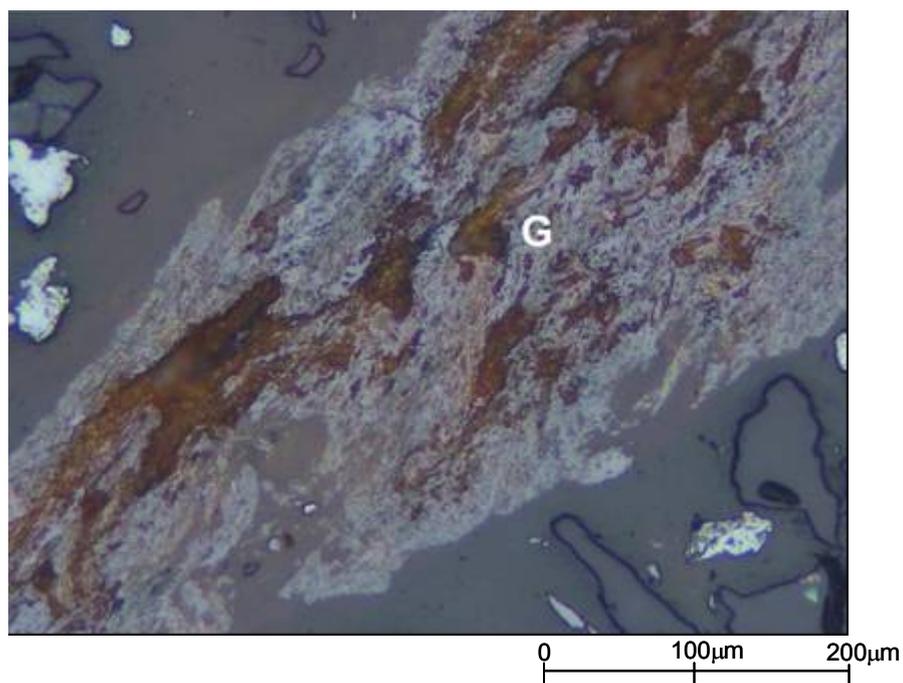


Figura 5.75 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando uma grande partícula formada por goethita pseudomórfica de anfibólio alterada (terrosa). Aumento 200X. LRND.

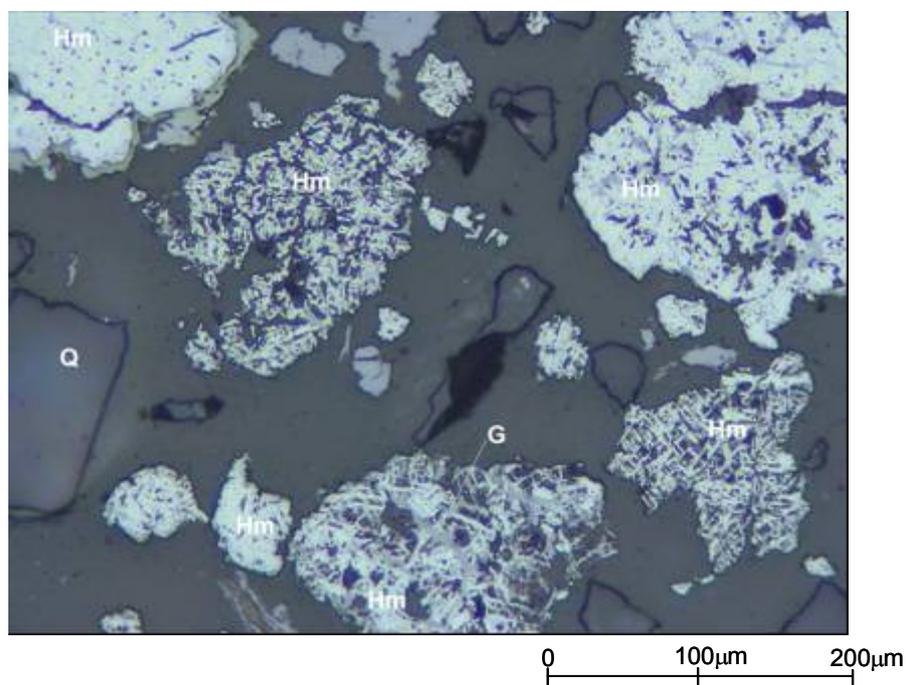


Figura 5.76 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando diversas hematitas martíticas. Aumento 200X. LRND.

A Figura 5.77 mostra uma grande partícula formada por goethita terrosa com algumas porções onde a anterior goethita botrioidal ainda está preservada.

A Figura 5.78 ilustra uma grande partícula de quartzo pseudomórfico de anfibólio.

As figuras 5.79 e 5.80 são para mostrar goethitas pseudomórficas de anfibólio. Na Figura 5.80, junto a goethita pseudomórfica (parte central) estão também hematita martítica e quartzo.

A Figura 5.81 mostra em sua parte central uma goethita pseudomórfica de anfibólio apresentando evidente deformação (ondulação das fibras). À esquerda dessa goethita, está presente uma partícula formada por um agregado de hematitas martíticas subédricas totalmente goethitizadas contendo, apenas, finas lamelas de hematita martítica ainda preservadas.

Na parte central da Figura 5.82 pode ser observada uma grande partícula formada por goethita pseudomórfica de anfibólio e em meio a ela, hematita martítica euédrica altamente porosa onde as bordas estão um pouco mais preservadas e já ficando quase com o aspecto de uma moldura.

Na Figura 5.83 está presente goethita pseudomórfica de anfibólio mostrando claros sinais de deformação (está ondulada) e hematitas martíticas muito porosas em meio a ela.

A Figura 5.84 é para mostrar o agregado de hematitas martíticas (subédricas a anédricas) porosas, que estão também goethitizadas e apresentam magnetita relictas.

Na Figura 5.85 está presente uma típica goethita botrioidal alterada e porosa.

A Figura 5.86 mostra goethita botrioidal disposta em uma direção e hematitas martíticas porosas e goethitizadas dispostas em direção aproximadamente perpendicular.

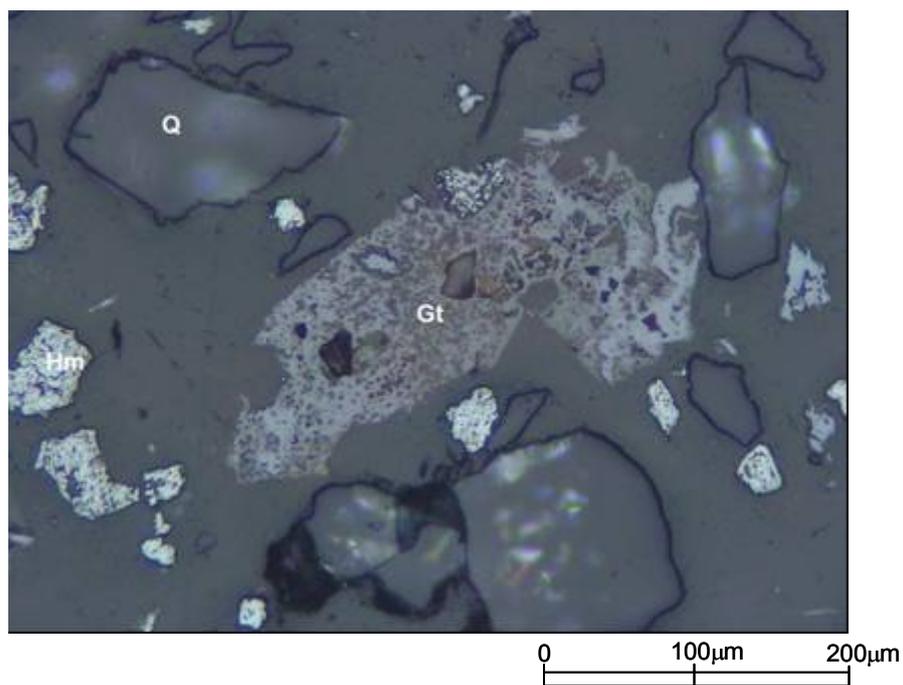


Figura 5.77 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita terrosa. Aumento 200X. LRND.

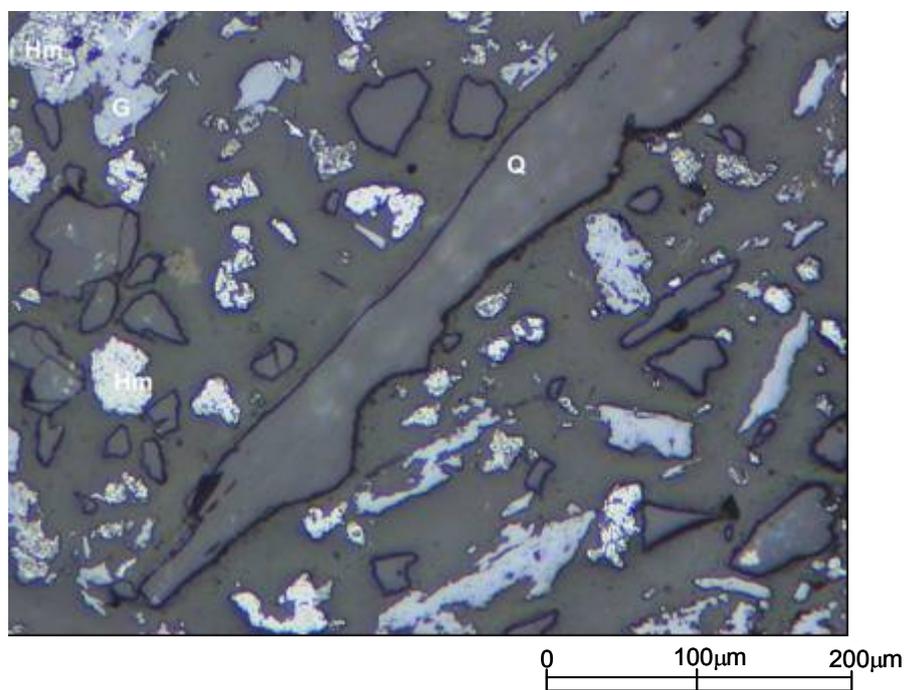


Figura 5.78 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando grande partícula de quartzo pseudomórfico de anfibólio. Aumento 200X. LRND.

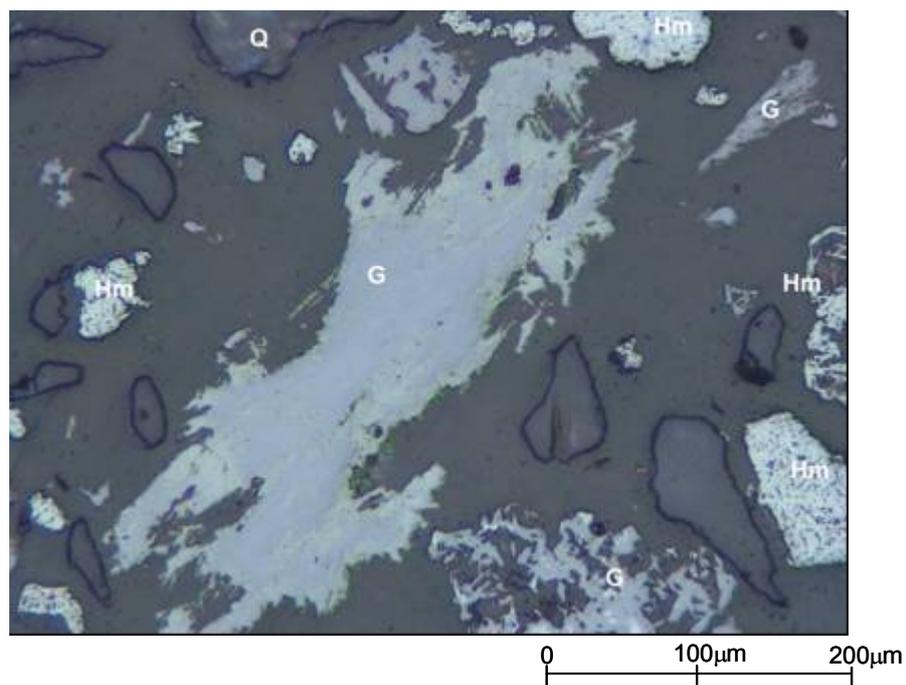


Figura 5.79 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando grande partícula de goethita pseudomórfica de anfibólio. Aumento 200X. LRND.

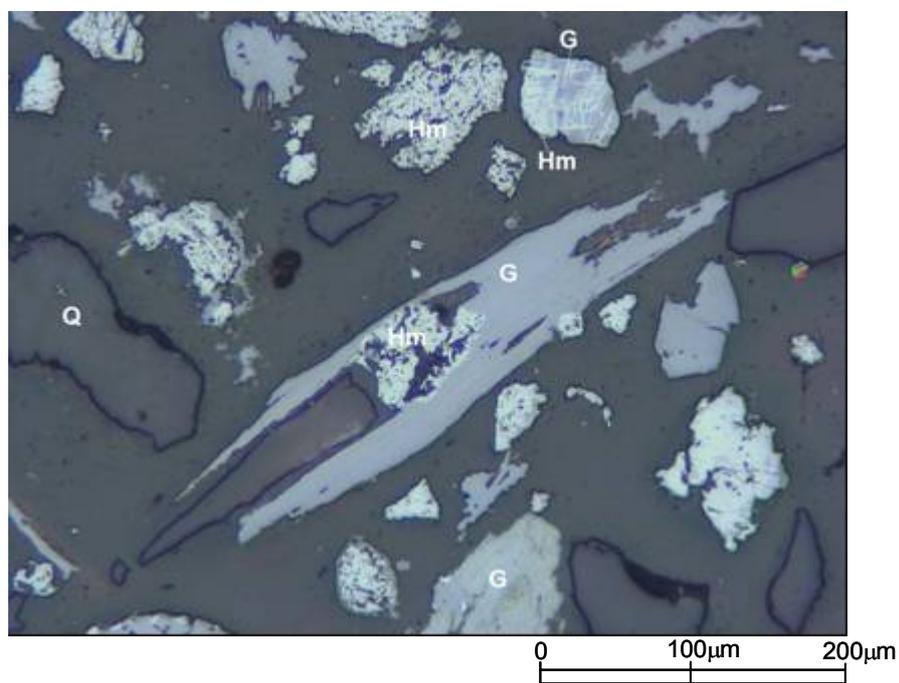


Figura 5.80 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio, hematitas martíticas e quartzos. Aumento 200X. LRND.

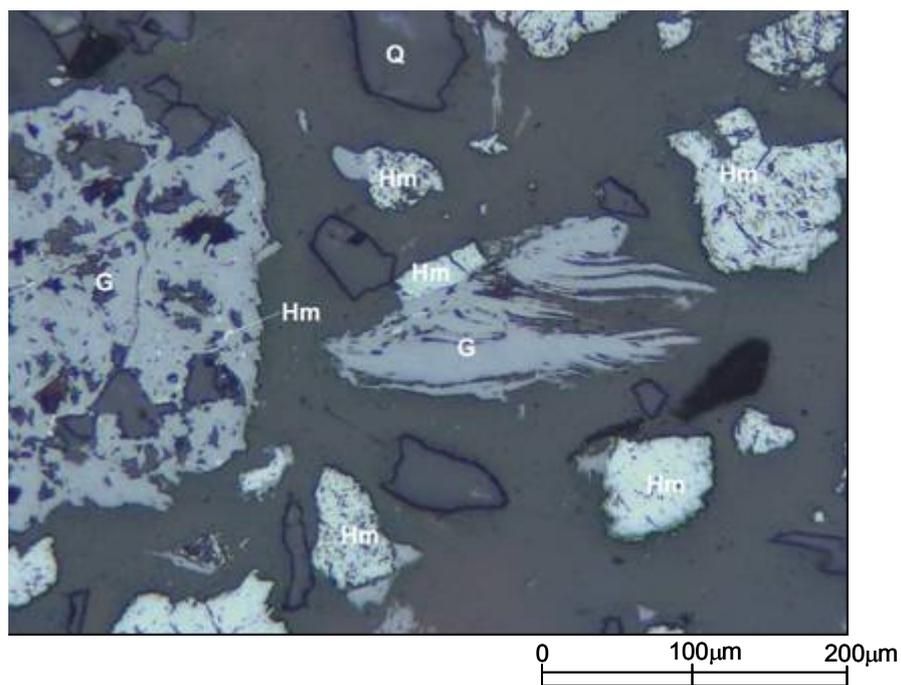


Figura 5.81 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio, goethitas produto de alteração da magnetita, hematitas martíticas e quartzo. Aumento 200X. LRND.

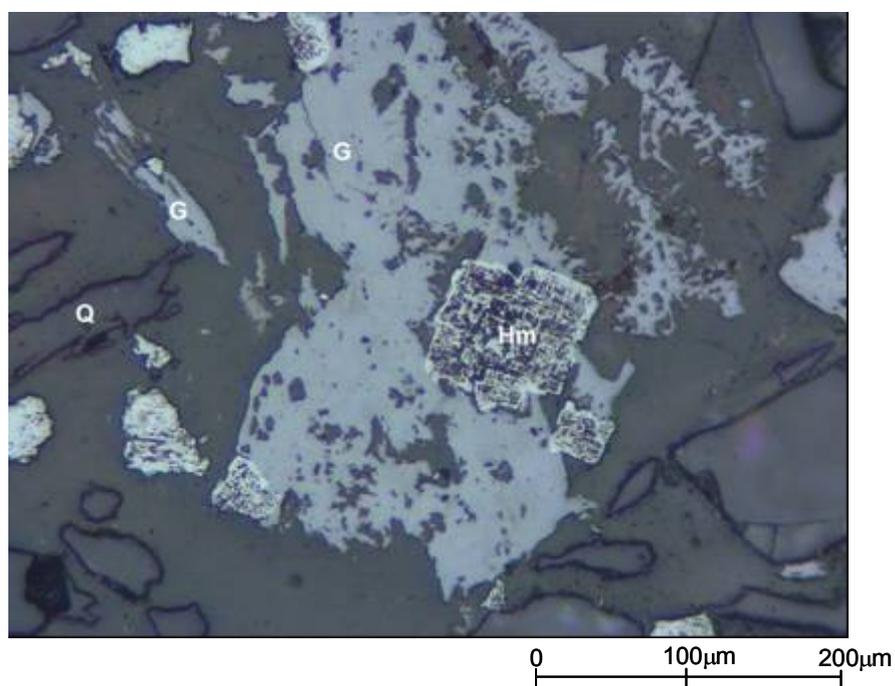


Figura 5.82 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando grande goethita pseudomórfica de anfibólio associada com hematitas martíticas, quartzos (anédricos e pseudomórficos). Aumento 200X. LRND.

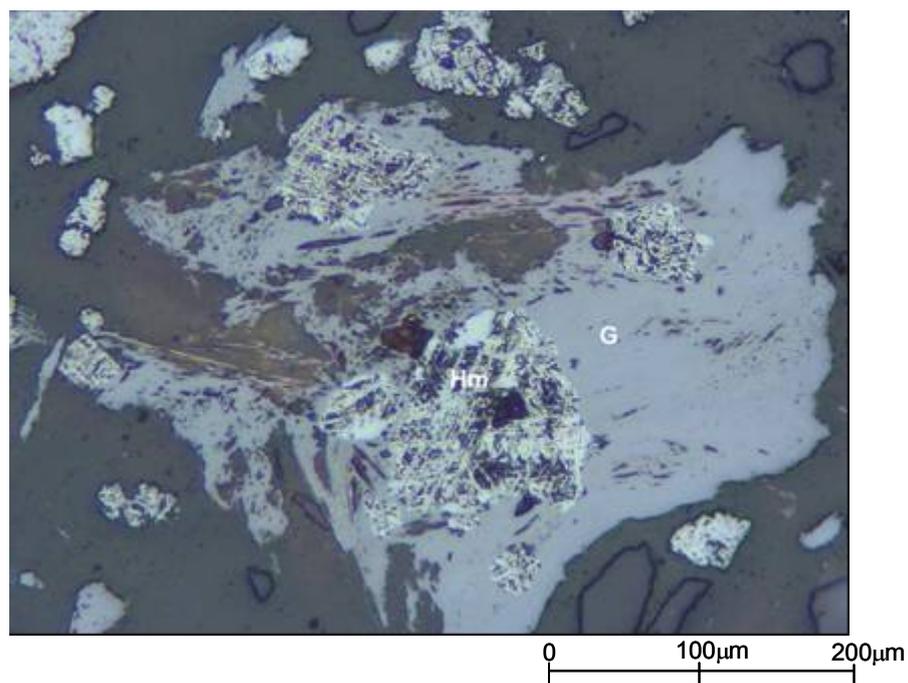


Figura 5.83 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio com hematitas martíticas altamente porosas. Aumento 200X. LRND

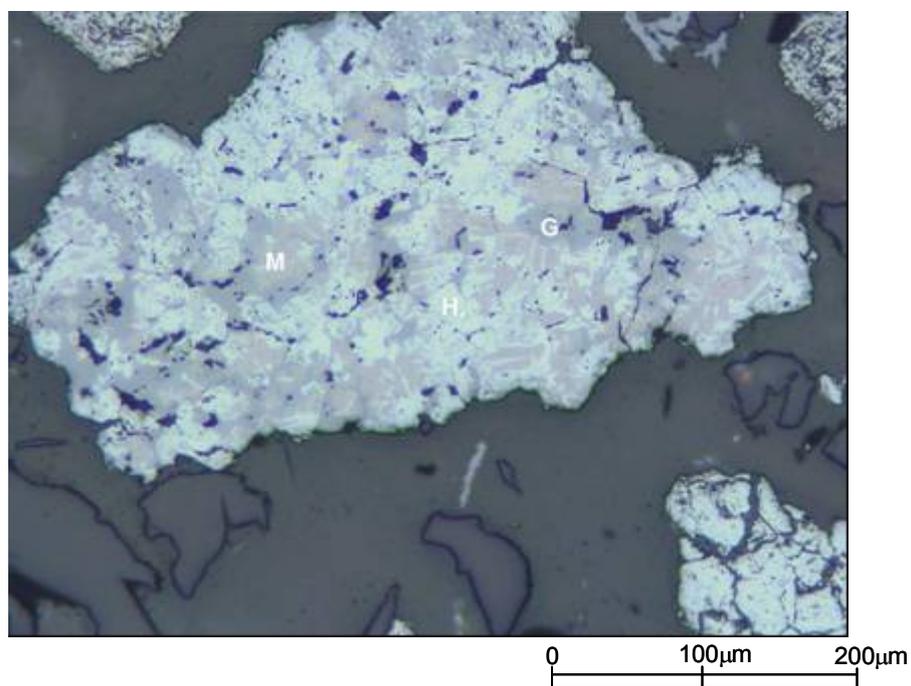


Figura 5.84 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando hematitas martíticas porosas, goethita produto de alteração da magnetita e magnetita. Aumento 200X. LRND

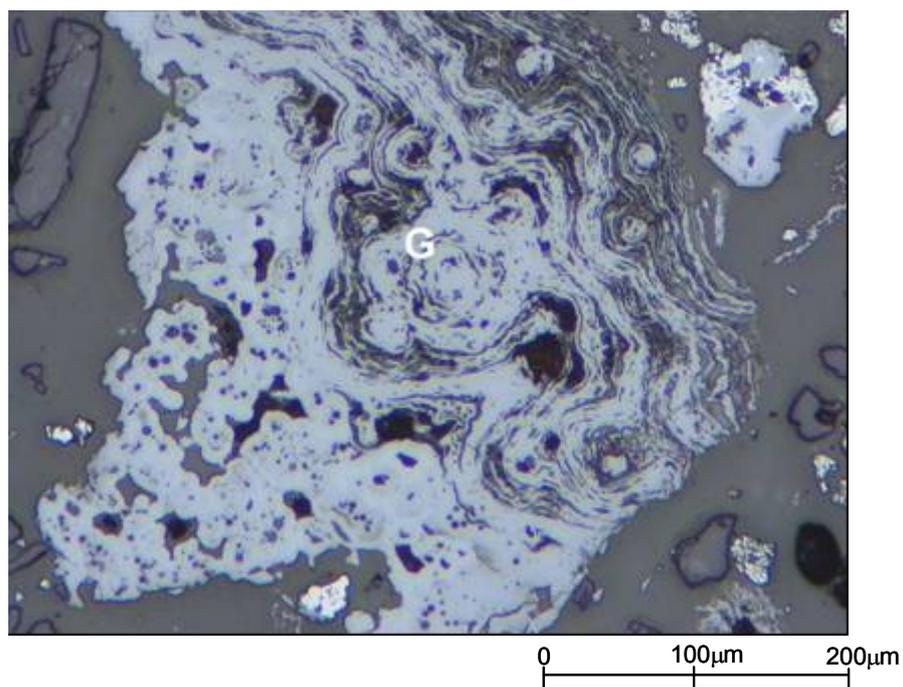


Figura 5.85 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando típica goethita botrioidal alterada e porosa. Aumento 200X. LRND

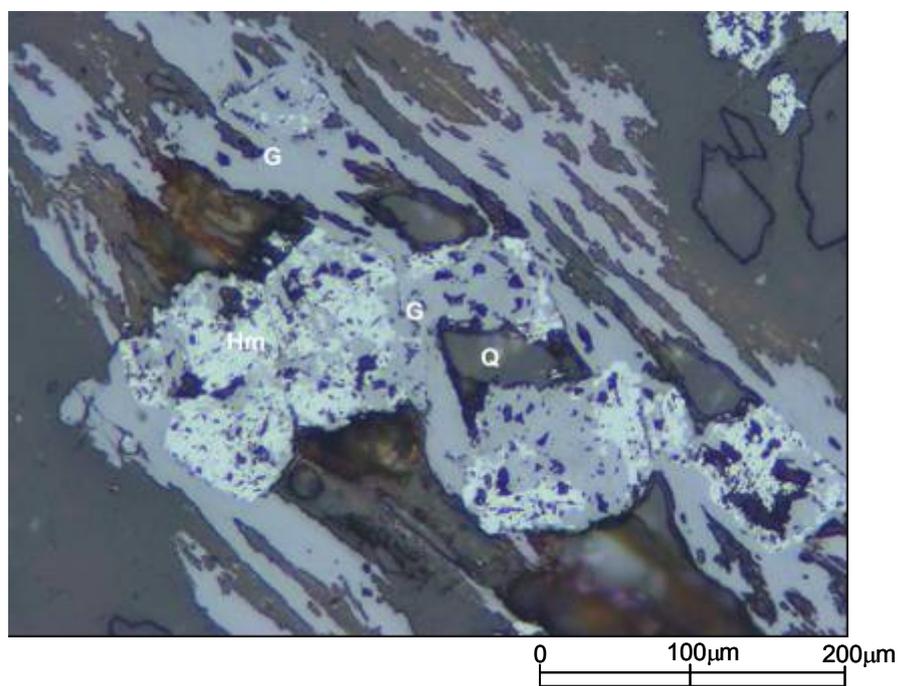


Figura 5.86 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio e hematitas martíticas porosas e também goethitizadas. Aumento 200X. LRND

A Figura 5.87 mostra uma fotomicrografia tirada no MEV onde as regiões marcadas foram também analisadas pelo microanalisador EDS. Nessa figura pode-se ver em detalhe uma hematita martítica pouco porosa, cuja análise química (1) foi típica de uma hematita e, goethita pseudomórfica de anfibólio (fibrosa), cujas análises também foram típicas de goethita (2 e 3).

A Figura 5.88 mostra em detalhe de fibras de coloração mais clara e cuja composição foi característica de goethita e uma fibra mais escura, cuja análise a caracterizou como sendo o quartzo. Pela observação e pela análise tratam-se, portanto, de goethita e quartzo pseudomórficos de anfibólio.

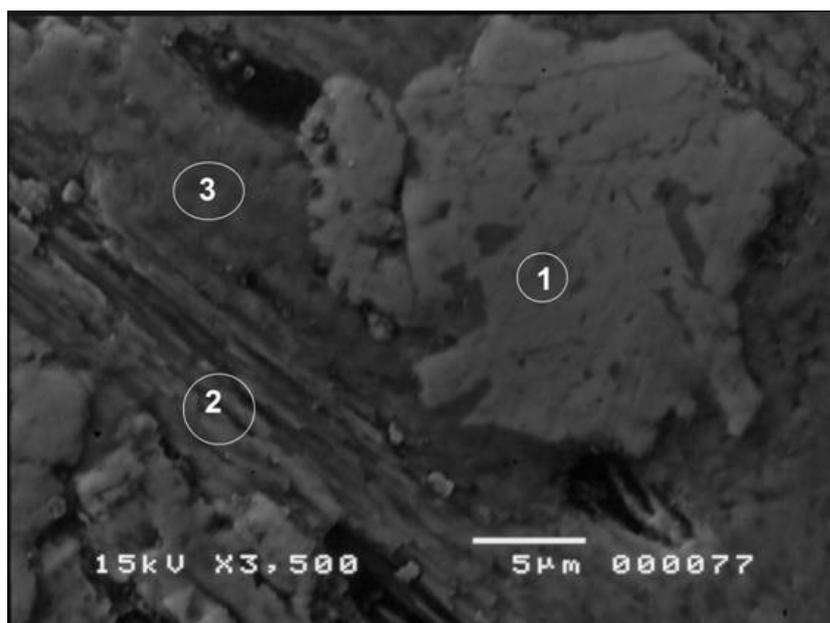


Figura 5.87 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando em detalhe hematita martítica (pouco porosa) e goethita pseudomórfica de anfibólito (fibrosa). As áreas marcadas também foram analisadas no microanalisador EDS. MEV-IRE. 3500X.

		<i>Elementos Químicos (%)</i>							
Área	Mineral	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	MgO	S	Cl
1	Hematita	68,40	0,33	0,09	0,11	ND	ND	0,16	ND
2	Goethita	60,93	1,96	0,88	ND	ND	0,13	ND	ND
3	Goethita	61,03	1,89	0,70	ND	0,19	ND	ND	ND

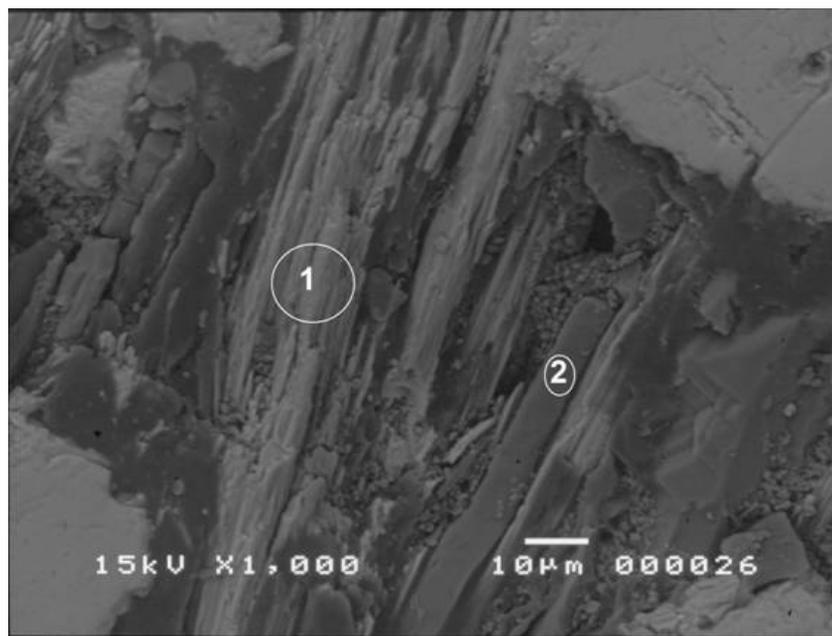


Figura 5.88 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando em detalhe as fibras da goethita e quartzo pseudomórficos de anfibólio. As áreas marcadas também foram analisadas no microanalisador EDS. MEV-IRE. 1000X.

Área	Mineral	Elementos Químicos (%)							
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	MgO	S	Cl
1	Goethita	61,12	1,41	0,42	ND	0,19	ND	0,11	ND
2	Quartzo	ND	100	ND	ND	ND	ND	ND	ND

(E) Amostra A93

Essa alíquota é composta basicamente por quartzo, hematita martítica e goethita. A magnetita é pouco abundante e está relictiva dentro das hematitas martíticas e a hematita lamelar está presente em muito baixa quantidade (traços). De maneira generalizada, o grau de alteração, bem como o de porosidade das fases de ferro presentes, são elevados e o tamanho das partículas é variado (como ocorre para as amostras anteriores).

A hematita martítica e a goethita são as fases mineralógicas de ferro mais abundantes. As hematitas martíticas apresentam-se em diferentes graus de alteração e porosidade e, como foi descrito para a amostra A91, podem ocorrer desde pouco porosas e contendo magnetita relictiva até totalmente alteradas, sob a forma esquelética e extremamente porosas. As hematitas martíticas mais porosas são as mais abundantes. A hematita lamelar foi observada localmente sob a forma de agregados (hematitas lamelares cimentadas por goethita maciça).

A goethita pode estar presente sob a forma de pseudomorfos de anfibólio, produto da goethitização das magnetitas dentro de hematitas martíticas, botrioidal, maciça e terrosa (menos abundante). Em todos os casos a porosidade é relativamente alta.

O quartzo, como nas amostras anteriores, é normalmente anédrico, monocristalino e na maioria das vezes está liberado. Quartzo com inclusões de minerais de ferro também são encontrados.

A magnetita é encontrada na forma de relictos dentro das hematitas martíticas e está presente em baixa concentração.

A Figura 5.89 traz na parte inferior uma partícula de magnetita anédrica pouco martitizada. Acima dela encontram-se duas partículas formadas por hematita martítica que também estão goethitizadas e partículas de quartzo. Na porção inferior e a direita da figura pode-se observar a presença de uma partícula de hematita martítica muito porosa e uma de goethita botrioidal.

A Figura 5.90 apresenta em sua parte central uma grande partícula formada por goethita pseudomórfica de anfibólio de onde foram arrancadas (grandes buracos) hematitas martíticas muito porosas. A partícula acima dessa é formada também por goethita pseudomórfica (anfibólio) e em meio a ela pode-se ver a hematita martítica muito porosa.

A Figura 5.91 é para mostrar goethita pseudomórfica de anfibólio presente na porção central da foto. Atenta-se para a visível deformação que essa goethita apresenta (ondulação e diferentes orientações).

Na parte central da figura 5.92 está presente uma grande partícula que é formada principalmente por goethita mediamente porosa (produto de alteração da magnetita e botrioidal), hematitas martíticas e magnetitas relictas. Ao seu lado direito pode-se observar hematita martítica pouco porosa com magnetita relictas e na parte inferior da foto, hematitas martíticas microporosas todas também goethitizadas.

A Figura 5.93 mostra goethita pseudomórfica de anfibólio alterada (centro), hematitas martíticas microporosas (parte superior da foto) e goethita botrioidal (porosa acima na foto).

A Figura 5.94 mostra uma partícula formada por hematitas martíticas subédricas pouco porosas e contendo alguns grandes poros. A magnetita relictas pode ser observada localmente.

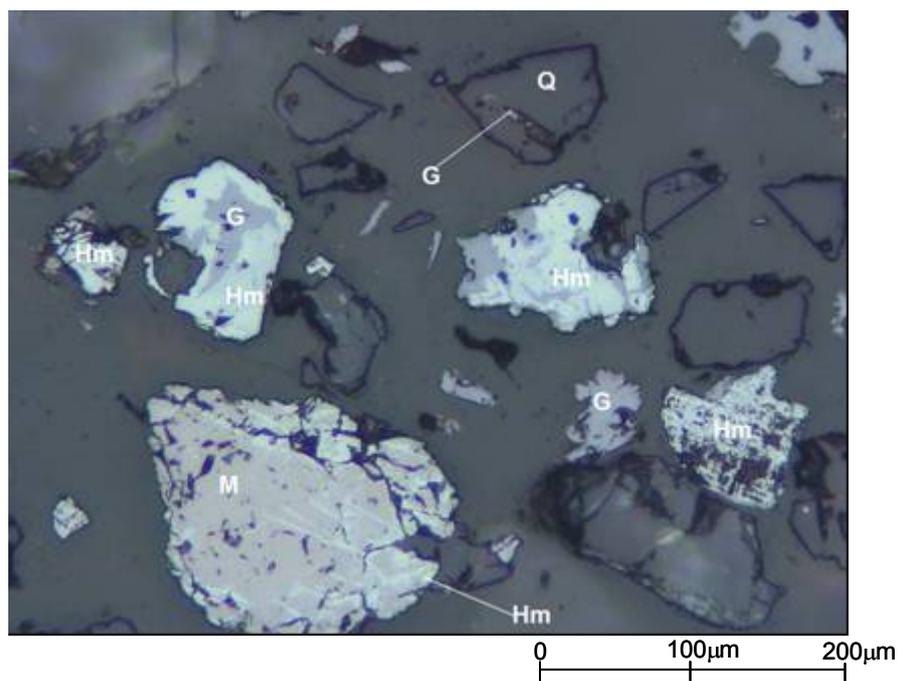


Figura 5.89 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando magnetita, hematitas martíticas goethitizadas e quartzo. Aumento 200X. LRND.

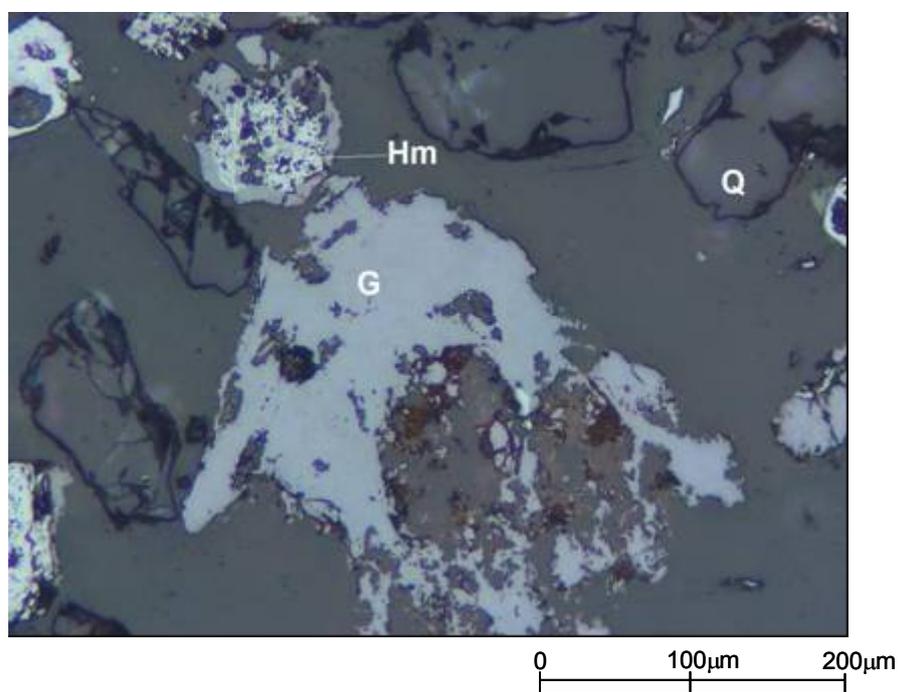


Figura 5.90 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio, hematitas martíticas porosas e quartzo. Aumento 200X. LRND.

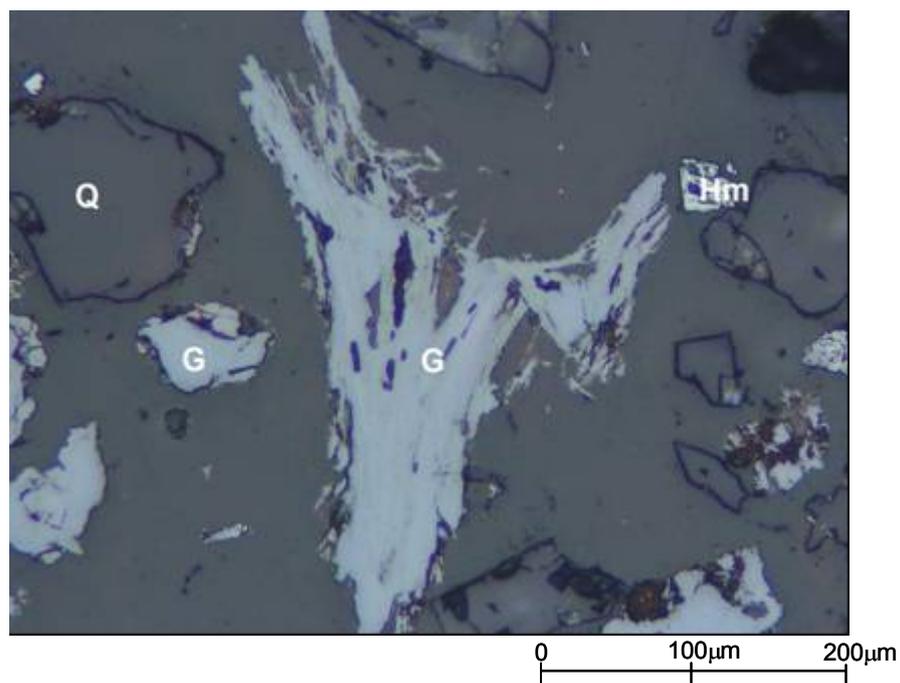


Figura 5.91 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio. Aumento 200X. LRND.

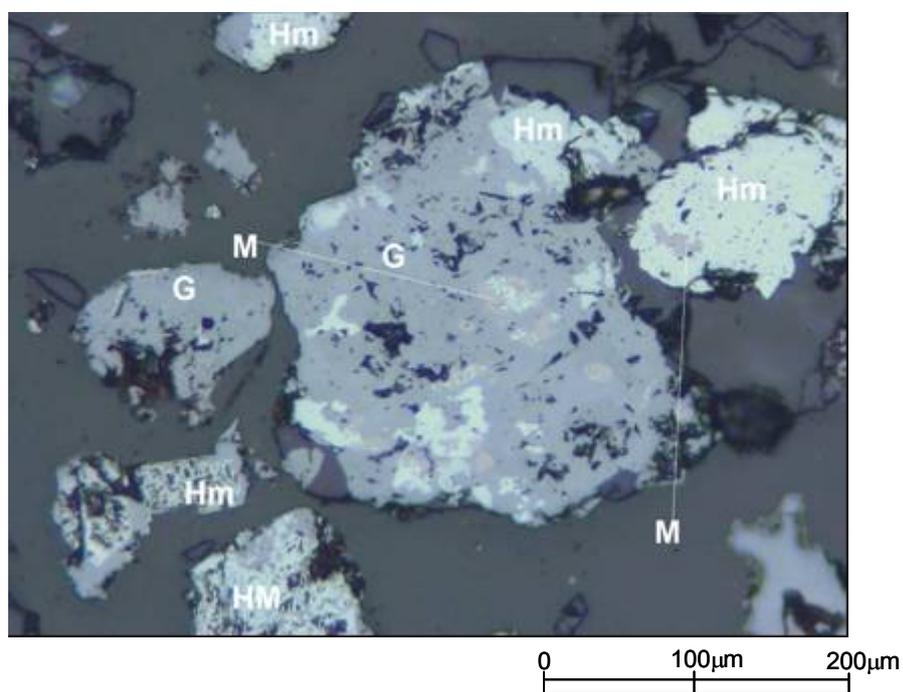


Figura 5.92 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando goethitas pseudomórfica de anfibólio e de alteração da magnetita, hematitas martíticas de diferentes microporosidades e magnetita relictas. Aumento 200X. LRND.

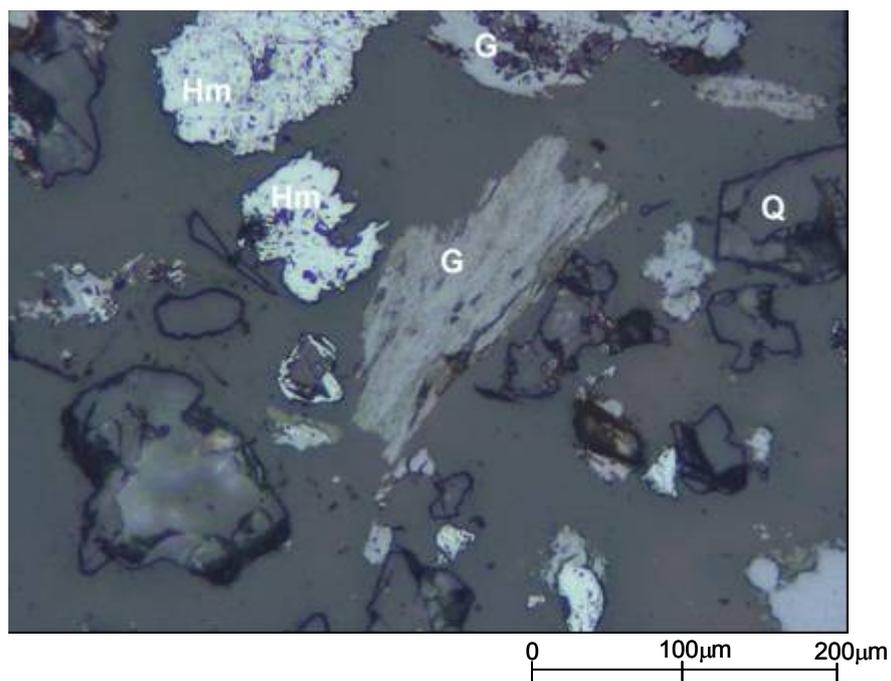


Figura 5.93 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio alterada, hematitas martíticas microporosas e quartzo. Aumento 200X. LRND.

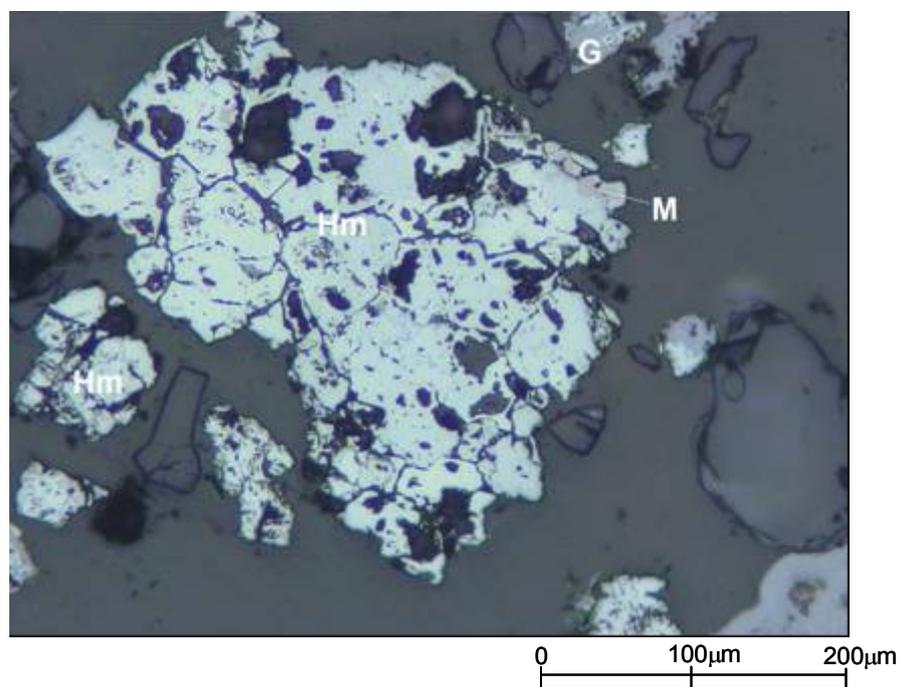


Figura 5.94 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando hematitas martíticas subédricas porosas (macroporosas). Aumento 200X. LRND.

A Figura 5.95 mostra uma grande partícula formada por goethita botrioidal. Em meio a ela há várias hematitas martíticas de diferentes graus de porosidade que pode variar desde praticamente não porosa e contendo magnetita relictas até esqueléticas. Observa-se também o quartzo e outras hematitas martíticas porosas mais ou menos goethitizadas.

Na Figura 5.96 estão presentes: na parte central goethita botrioidal alterada contendo hematita martítica mediana porosa associada a ela; na porção inferior é observada uma partícula formada por hematitas martíticas subédricas a anédricas mediana porosas; na porção superior observa-se uma partícula de goethita de alteração da magnetita com poucas lamelas de hematita martítica.

A Figura 5.97 é para mostrar várias hematitas martíticas porosas, com poros de dimensões variadas (microporos e macroporos) e uma delas está também goethitizada.

Na Figura 5.98 podem-se observar uma grande partícula de goethita botrioidal (centro) alterada e porosa e hematitas martíticas porosas.

A Figura 5.99 mostra goethita pseudomórfica de anfibólio um pouco alterada e porosa.

A Figura 5.100 é para mostrar duas goethitas pseudomórficas de anfibólio em diferentes estágios de alteração e porosidade. Assim, a que está posicionada na parte superior da foto (marcada com G) está mais alterada e mais porosa que a situada abaixo dela. Também são observadas, na figura, hematitas martíticas com alto grau de porosidade.

No centro da Figura 5.101 está presente uma partícula formada por hematita martítica e goethita de alteração da magnetita ambas extremamente porosas e já esqueléticas. Na porção direita e superior está presente goethita pseudomórfica de anfibólio porosa e na porção esquerda e superior hematitas martíticas muito porosas.

A Figura 5.102 traz hematita martítica subédrica microporosa e também goethitizada.

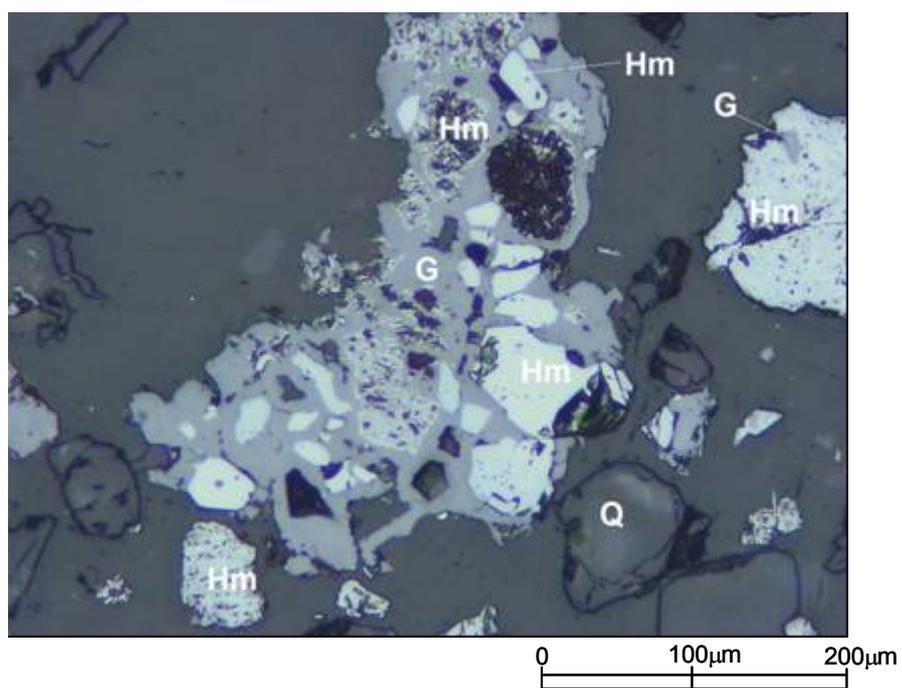


Figura 5.95 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita botrioidal, hematitas martíticas de variadas porosidades e quartzo. Aumento 200X. LRND.

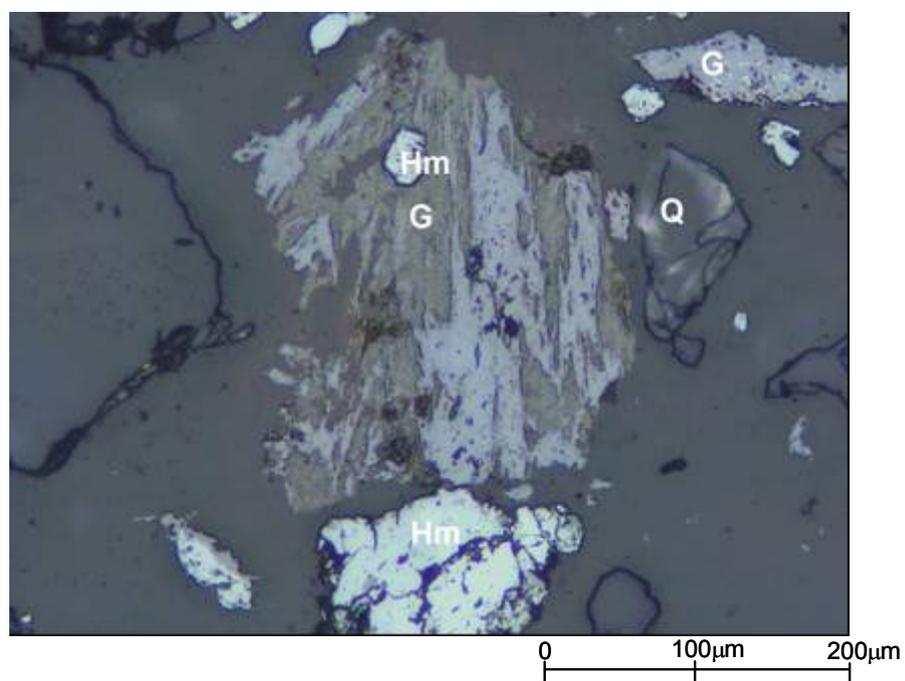


Figura 5.96 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio alterada e hematita martítica. Aumento 200X. LRND.

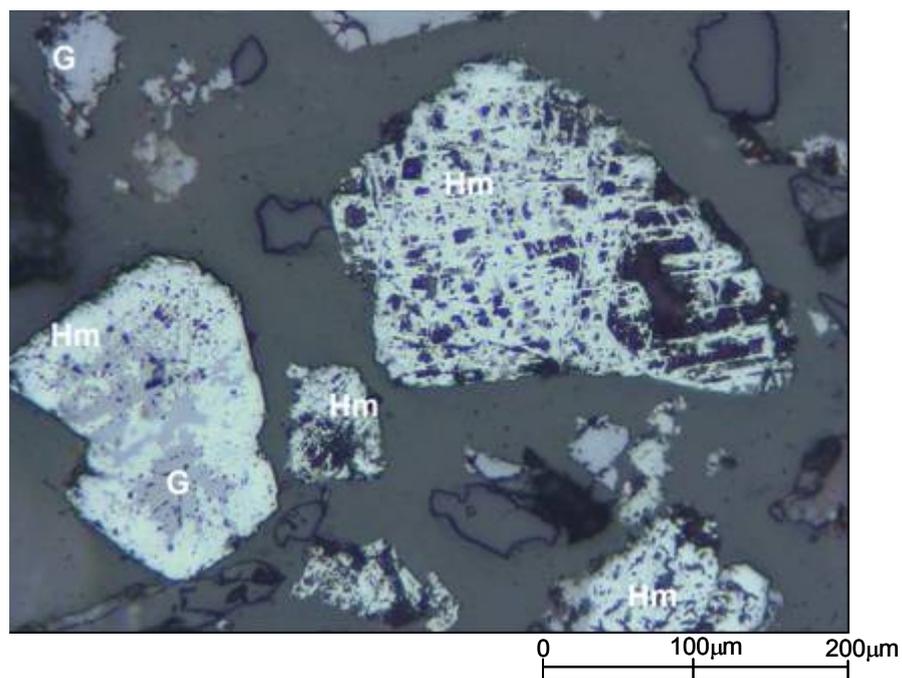


Figura 5.97 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando hematitas martíticas de diferentes graus de porosidade e de goethitização. Aumento 200X. LRND.

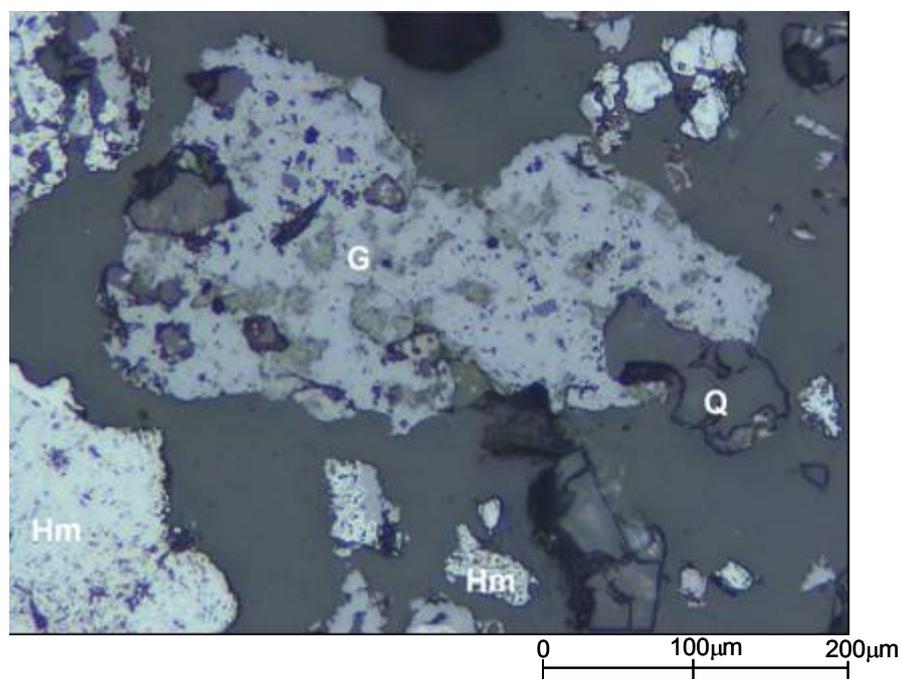


Figura 5.98 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow Deslamado*) mostrando goethita botrioidal porosa e hematitas martíticas porosas. Aumento 200X. LRND.

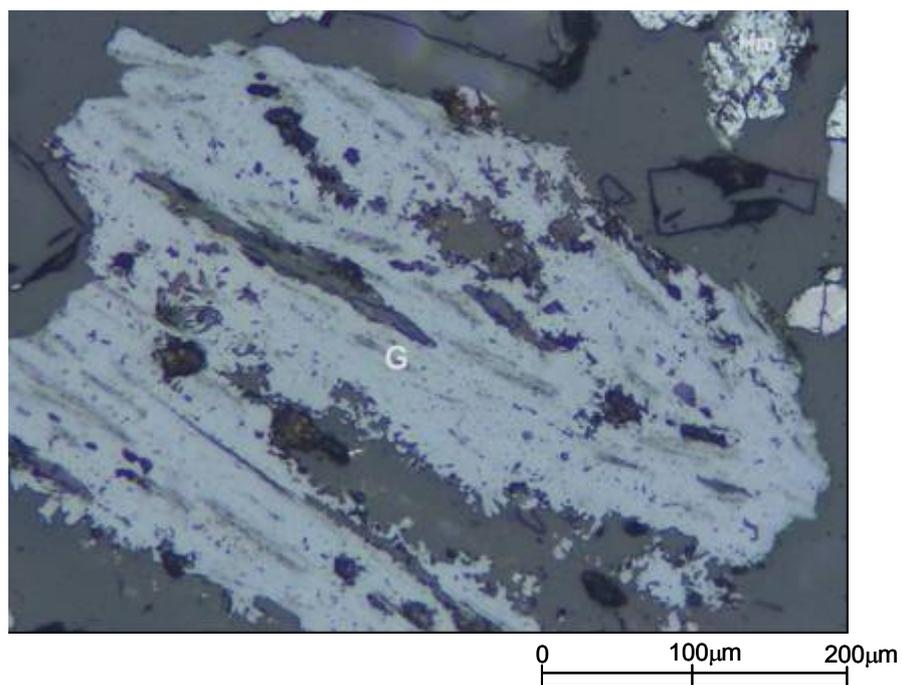


Figura 5.99 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio. Aumento 200X. LRND.

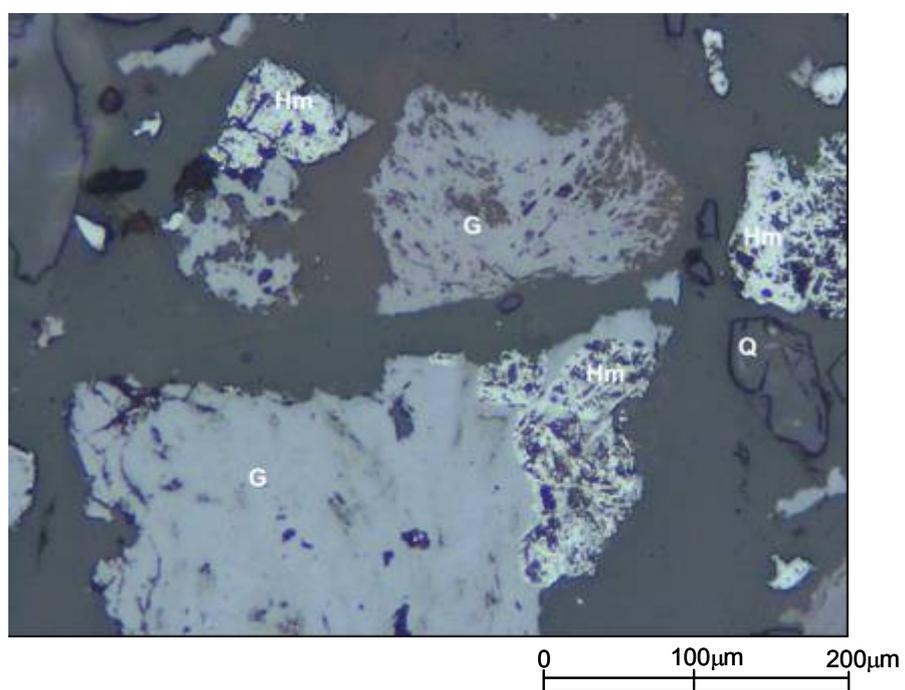


Figura 5.100 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethitas pseudomórficas de anfibólio de diferentes porosidades e hematitas martíticas porosas. Aumento 200X. LRND.

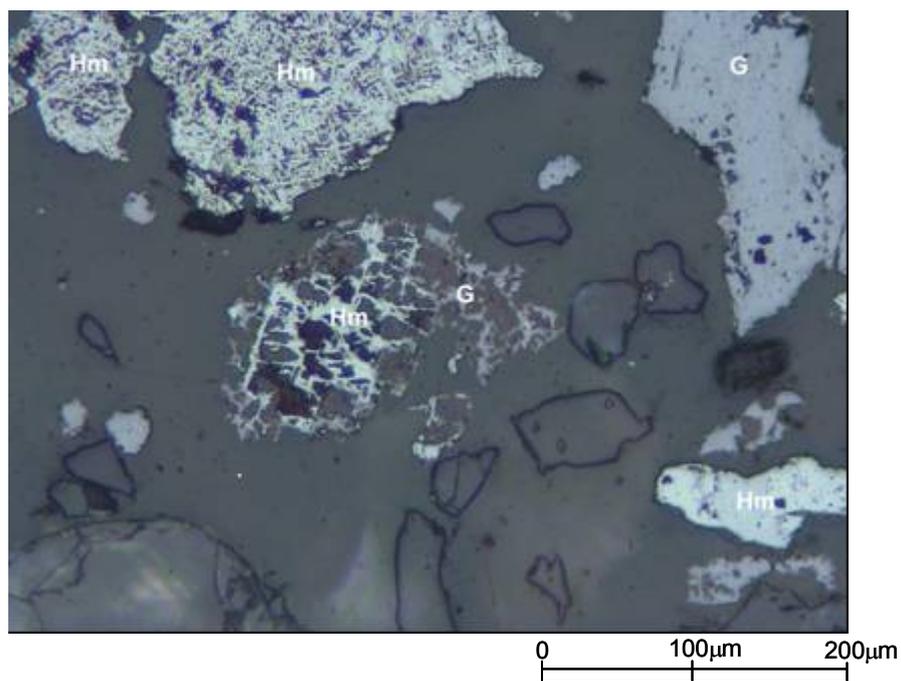


Figura 5.101 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando hematitas martíticas muito porosas e esqueléticas, goethita de alteração da magnetita muito porosa e goethita pseudomórfica de anfibólio porosa. Aumento 200X. LRND.

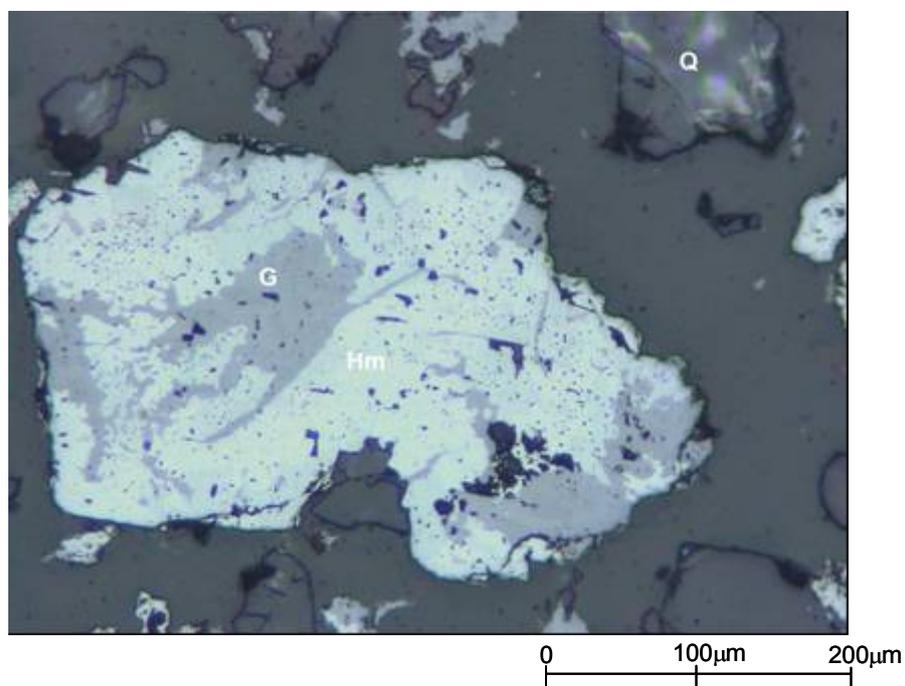


Figura 5.102 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita de alteração da magnetita, hematitas martíticas e quartzo. Aumento 200X. LRND.

A Figura 5.103 traz uma grande partícula formada principalmente por goethita de alteração da magnetita, que é reconhecida pelos contornos que lembram a presença de magnetita anterior. Associados a essa goethita estão o quartzo tanto preenchendo espaços intragrãos como sob a forma de cristais subédricos e algumas hematitas martíticas subédricas ou até disformes, relictas.

A Figura 5.104 apresenta uma partícula formada principalmente por hematitas martíticas anédricas micro e macroporosas mostrando uma porção onde a alteração a goethita predomina e outra porção onde a magnetita preservada predomina.

A Figura 5.105 exhibe goethita pseudomórfica de anfibólio (porosa) e a Figura 5.106 uma bonita goethita botrioidal (centro), além de hematitas martíticas micro e macroporosas e goethitas de alteração da magnetita e botrioidal.

A Figura 5.107 é uma fotomicrografia tirada no MEV mostrando em detalhe hematitas martíticas microporosas e goethita botrioidal intragranular. A área marcada foi também analisada no microanalisador EDS e apresentou composição típica de goethita.

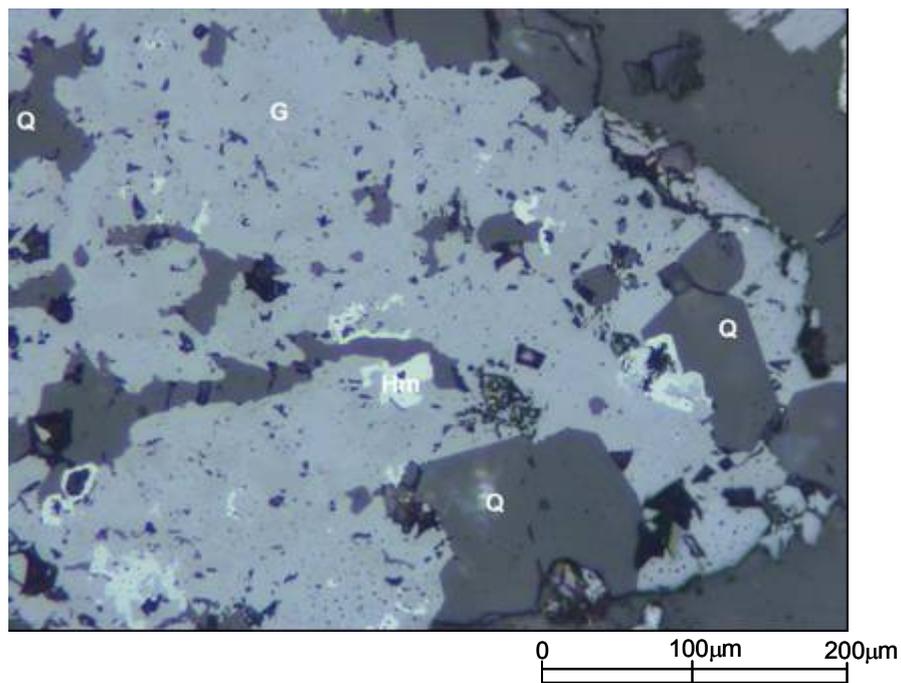


Figura 5.103 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita de alteração da magnetita, hematitas martíticas e quartzo. Aumento 200X. LRND.

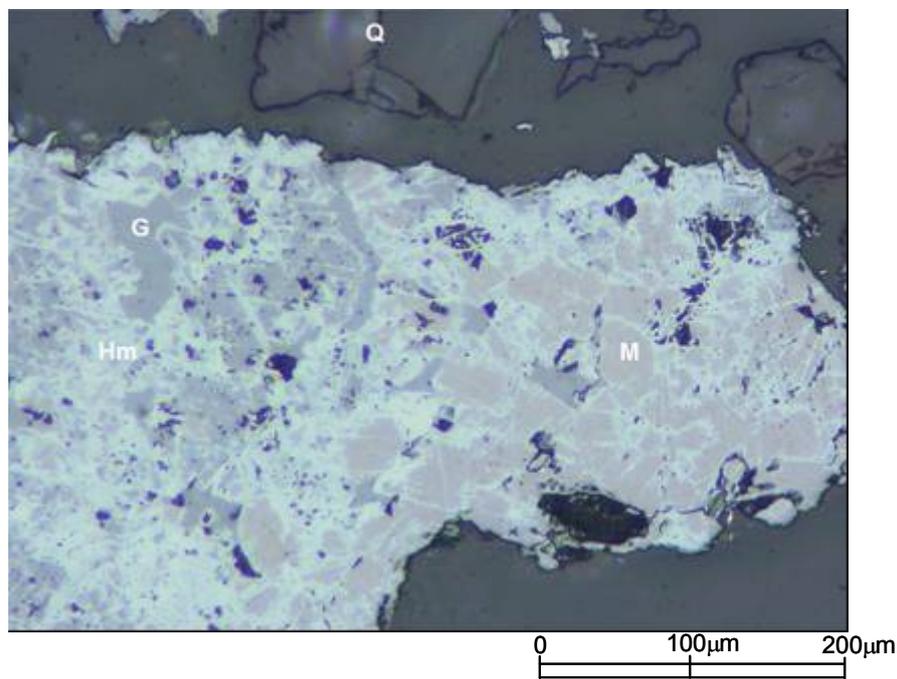


Figura 5.104 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando hematitas martíticas anédricas porosas, goethita de alteração e magnetita. Aumento 200X. LRND.

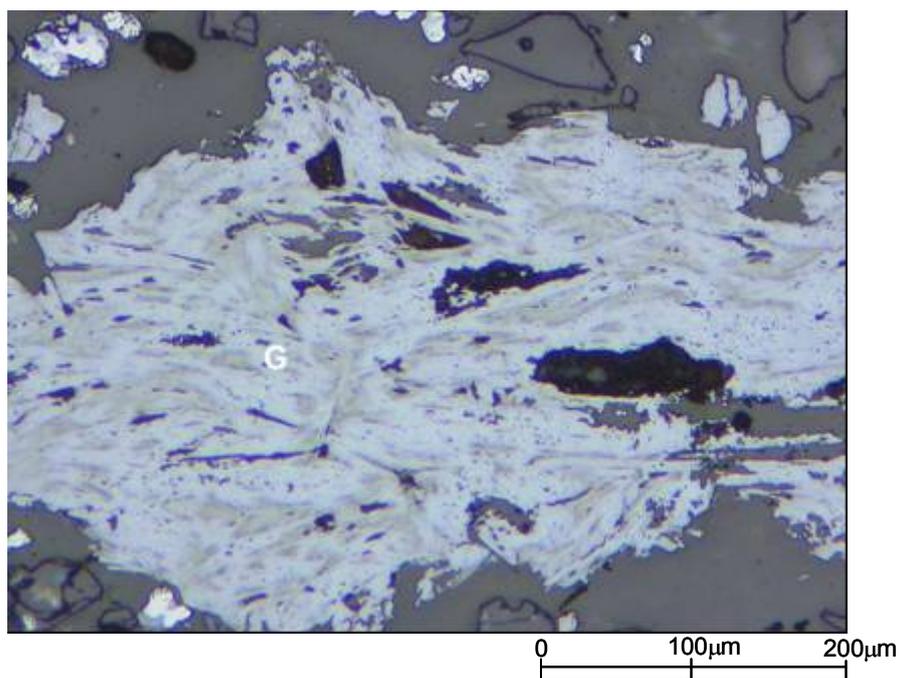


Figura 5.105 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando pela goethita pseudomórfica de anfibólio. Aumento 200X. LRND.

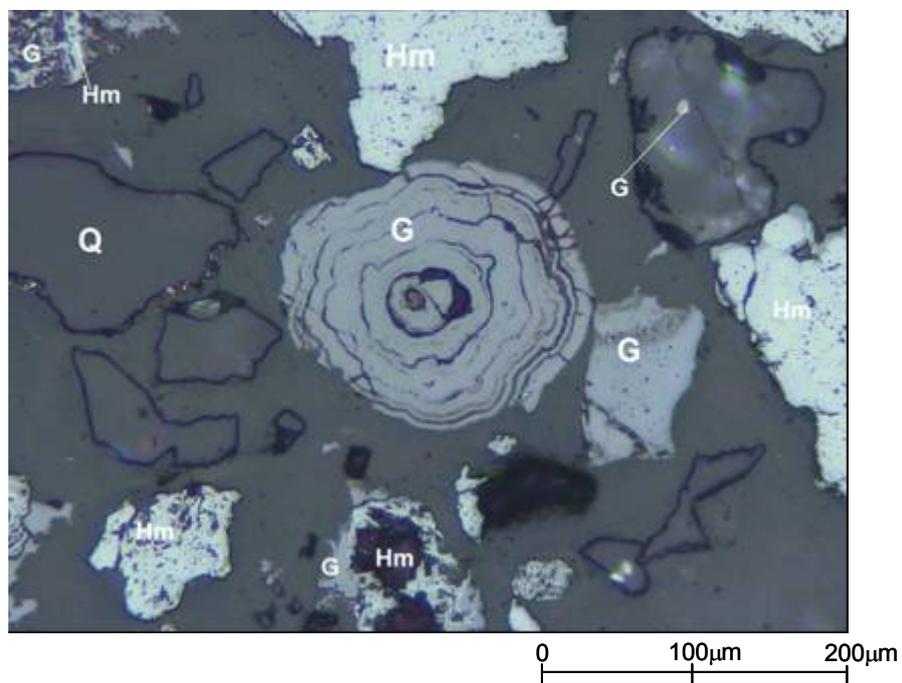


Figura 5.106 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) mostrando goethita botrioidal (centro). Aumento 200X. LRND.

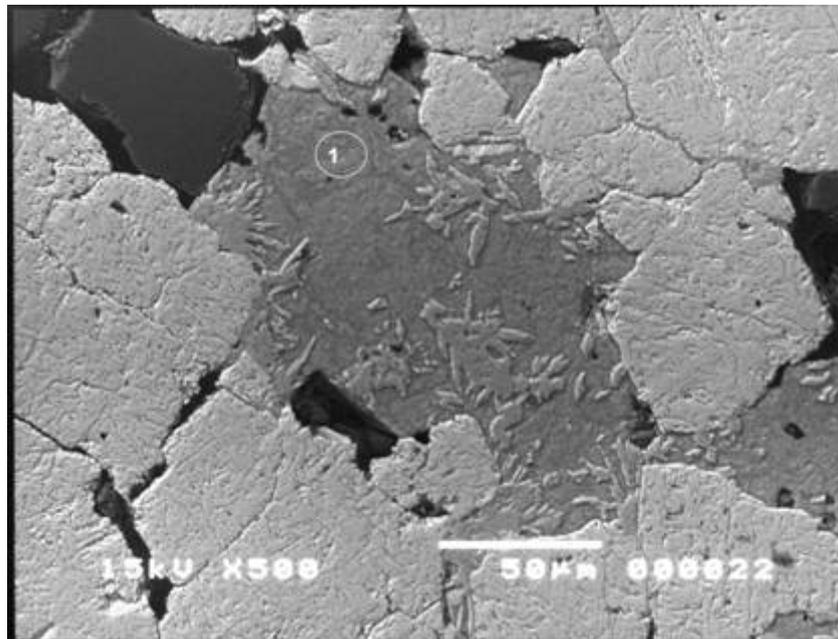


Figura 5.107 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota *Underflow* Deslamado) tirada mostrando em detalhe hematitas martíticas microporosas e goethita botrioidal intragranular. A área marcada foi também analisada no microanalisador EDS. MEV-IRE. 500X.

		<i>Elementos Químicos (%)</i>							
Área	Mineral	Fe	SiO₂	Al₂O₃	TiO₂	MnO₂	MgO	S	Cl
1	Goethita	60,98	2,00	0,85	ND	0,12	ND	ND	ND

5.3.2.2 Análise comparativa da mineralogia das seções polidas

Para todas as amostras os principais minerais de ferro são a goethita e a hematita martítica. A magnetita está presente em baixa proporção e a hematita lamelar praticamente está ausente. A amostra A31 destaca-se das demais por apresentar em sua mineralogia principal a caulinita ao invés da hematita martítica. Em todas as amostras o quartzo figura entre os principais minerais.

De forma generalizada, o grau de alteração e de porosidade dos minerais de ferro são elevados e o tamanho das partículas é bem variado (desde poucos micrometros até milímetros).

Em todas as amostras a goethita ocorre em suas formas botrioidal, maciça, pseudomorfos de anfibólio, produto de alteração das magnetitas (goethitização das magnetitas) e terrosa. O que pode variar de uma amostra para outra é a proporção em que cada tipo de goethita está presente. Assim: em A31 as principais formas de ocorrência da goethita são a botrioidal e a maciça; em A61 ela está presente principalmente nas formas botrioidal e produto da alteração da magnetita; em A62 está principalmente nas formas botrioidal, pseudomórfica de anfibólio e terrosa; em A91 sob a forma de pseudomorfos de anfibólio e, em A93 todas as formas de goethita citadas inicialmente são encontradas em proporções parecidas. O grau de porosidade das goethitas varia de médio a alto.

As hematitas martíticas estão normalmente subédricas, usualmente exibem a típica textura de treliça e apresentam variados graus de porosidade e alteração. Assim, podem ser encontradas desde pouco porosas (microporosas) e contendo magnetita relictas, como mediamente porosas (micro e macroporosas) e também goethitizadas, até totalmente porosas (macroporosas) e praticamente esqueletais. Em todas as amostras prevalecem as hematitas martíticas de grau de alteração e porosidade acima de médio.

A magnetita está presente principalmente relictas nas hematitas martíticas goethitizadas ou não. A hematita lamelar foi observada apenas localmente em todas

as amostras e está ou formando agregados cimentados por goethita (maciça) ou sob a forma de cristais isolados.

O quartzo está normalmente anédrico e monocristalino. Na maioria das amostras ele está preferencialmente liberado e pode conter inclusões de minerais de ferro. Na amostra A61 foi observada uma quantidade relativamente grande de partículas com quartzo não liberado, ou seja, associado aos minerais de ferro. Nas amostras A62 e A91 foram encontrados, mesmo que localmente, quartzos pseudomórficos de anfibólio.

A caulinita, abundante na amostra A31 e presente como mineral traço em A61, é observada sob a forma de pequenos cristais lamelares em meio a goethita botrioidal/maciciça. A gibbsita foi encontrada apenas em A31 e não é abundante. Sua forma de ocorrência é granular (terrosa).

5.3.3 Alíquotas Lama

Como ocorreu para as alíquotas Britado 2, as cinco alíquotas Lama das amostras de itabirito anfibolítico também não tiveram suas análises mineralógicas quantitativas pelo método de contagem de grãos efetuadas. O motivo, já explicado anteriormente, é que por se tratarem de partículas ultrafinas, o método de contagem de grãos torna-se inadequado.

Na Tabela V.19 estão dispostos os resultados das análises mineralógicas qualitativas/semiquantitativas obtidos através da difratometria de raios-X. Os difratogramas de raios-X dessas alíquotas estão disponíveis nos anexos (Anexo 5).

Com base nos resultados da Tabela V.19 pode-se notar que a amostra A31 continua apresentando composição mineralógica diferenciada das demais, não tendo sido detectada a hematita e apresentando a caulinita e a gibbsita entre seus minerais principais. Para as demais amostras a goethita, a hematita e o quartzo são os minerais mais abundantes e a caulinita está presente em baixa e média concentração nas amostras A61 e A91, respectivamente.

Tabela V.19 – Resultados das análises de difratometria de raios-X das alíquotas Lama – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.

Alíquotas Lama					
Amostra	Mineralogia Presente				
	Abundante		Média		Baixa
A31	<i>Goethita</i>	<i>Caulinita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>Gibbsita</i>	-
A61	<i>Goethita</i>	-	<i>Hematita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>Caulinita</i>
A62	<i>Goethita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>Hematita</i>	-	-
A91	<i>Goethita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>Hematita</i>	-	<i>Caulinita</i>
A93	<i>Goethita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>Hematita</i>	-	-

Ao fazer-se a comparação entre os resultados de difratometria de raios-X encontrados para as alíquotas Britado 2 (Tabela V.15), *Underflow* Deslamado (Tabela V.17) e Lama (Tabela V.19) de uma mesma amostra, nota-se que há uma coerência entre os mesmos. Assim, a modificação na abundância dos minerais antes e após o processo de deslamagem, está bem explicada pela abundância em que eles ocorrem na lama. Essa observação corrobora o já explicado anteriormente, de que o processo de deslamagem carrega as partículas ultrafinas dos minerais presentes, levando à modificação na sua abundância antes e após a deslamagem.

Fazendo a amostra A31 como exemplo, observa-se que essa apresentava a caulinita em abundância e a gibbsita em média concentração antes da deslamagem, tem lama rica em ambas e passa a apresentá-las, após a deslamagem, em média e baixa concentrações, respectivamente.

Confrontando-se os resultados das análises mineralógicas de cada uma dessas alíquotas (Lama) com seus respectivos resultados de análises químicas (Tabela V.9), pode-se notar que como ocorre para as alíquotas anteriores, há boa concordância entre as técnicas de análises químicas e mineralógica. Assim:

1. Em todas as amostras os teores de SiO_2 e de Fe_T são coerentes e compatíveis com a abundância dos minerais quartzo, caulinita, goethita, hematita e magnetita presentes na mineralogia principal.
2. A amostra A31, que tem o valor de Al_2O_3 muito elevado (12%), apresenta caulinita e gibbsita como minerais principais. A amostra A61 continua com o teor de Al_2O_3 bem mais elevado do que o da amostra A91 e a caulinita está presente em ambas na mesma concentração (baixa). Mais uma vez a explicação está em que parte da alumina da amostra A61 esteja alojada dentro da estrutura de suas goethitas. Como já mencionado anteriormente, para todas as amostras parte dessa alumina determinada deve estar alojada na estrutura das goethitas.
3. Os teores de PPC estão coerentes com a abundância da goethita, caulinita e gibbsita para a amostra A31 e, principalmente goethita, mas em alguns casos também a caulinita, para as demais amostras.
4. Quanto aos teores de P e MnO_2 , as mesmas afirmações efetuadas para as alíquotas anteriores são válidas para essas alíquotas.

5. Em todas as amostras as porcentagens de FeO não são elevadas indicando a presença da magnetita em baixa concentração. Como já explicado anteriormente, a interferência de raios da goethita e da hematita com as da magnetita, impede a sua detecção.

5.3.3.1 Mineralogia observada no MEV- EDS

(A) Amostra A31

A Figura 5.108 é uma fotomicrografia tirada no MEV onde as áreas marcadas foram também analisadas pelo microanalisador EDS. Essa figura mostra o aspecto geral que a lama dessa amostra apresenta e pode-se observar que a lama é realmente composta por partículas muito finas. O que se observa são poucas fibras de goethita pseudomórfica de anfibólio, algumas partículas de quartzo, vê-se uma nítida partícula de hematita martítica subédrica (superior e a direita) e muitas partículas de formas variadas de minerais de ferro. A análise da região 1 é típica do quartzo e a análise da região 2, classifica a partícula como uma composição mista de goethita e caulinita (altos teores de Fe, SiO₂ e Al₂O₃).

A Figura 5.109 traz em detalhe uma fibra, que pela análise do microanalisador EDS (região 1) mostrou-se ser de goethita.

A Figura 5.110 e a Figura 5.111 mostram em detalhe goethitas pseudomórficas de anfibólio. Notar o aspecto fibroso da goethita da Figura 5.111 sob o maior aumento, típico de anfibólio.

(B) Amostra A61

A Figura 5.112 (fotomicrografia tirada no MEV) mostrando o aspecto geral da lama composta por partículas muito finas. Notar que as fibras de goethita pseudomórfica de anfibólio são bem mais abundantes que na amostra anterior. Nessa figura são também observadas várias partículas de quartzo e outros minerais de ferro.

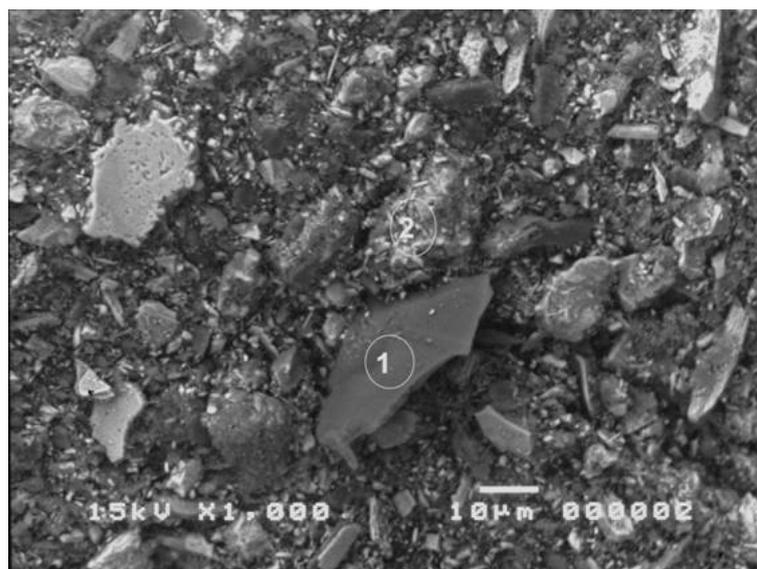


Figura 5.108 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota Lama) mostrando aspecto geral dos minerais presentes na lama. As áreas marcadas foram também analisada no microanalisador EDS. MEV-IRE. 1000X.

		<i>Elementos Químicos (%)</i>							
Área	Mineral	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	MgO	S	Cl
1	Quartzo	ND	100	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2	Goethita	52,06	9,04	7,05	ND	0,27	0,22	0,25	ND

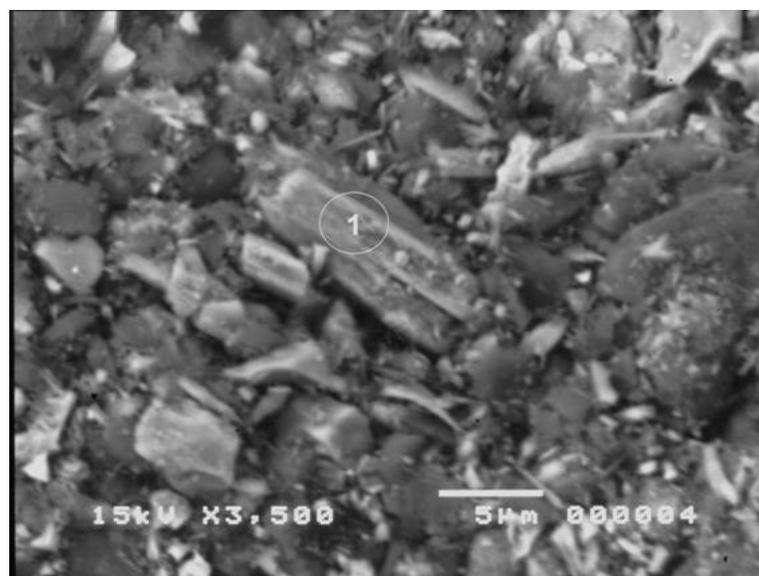


Figura 5.109 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota Lama) mostrando em detalhe goethita pseudomórfica de anfibólio. A área marcada foi também analisada no microanalisador EDS. 3500X.

		<i>Elementos Químicos (%)</i>							
Área	Mineral	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	MgO	S	Cl
1	Goethita	58,79	4,44	1,16	ND	0,20	0,26	ND	ND

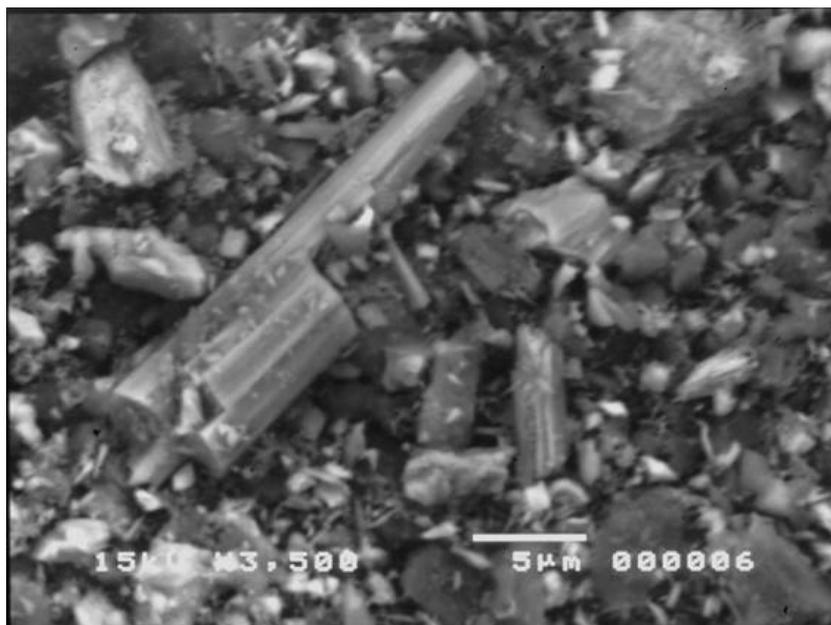


Figura 5.110 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota Lama) mostrando em detalhe fibra de goethita pseudomórfica de anfibólio. MEV-IRE. 3500X.

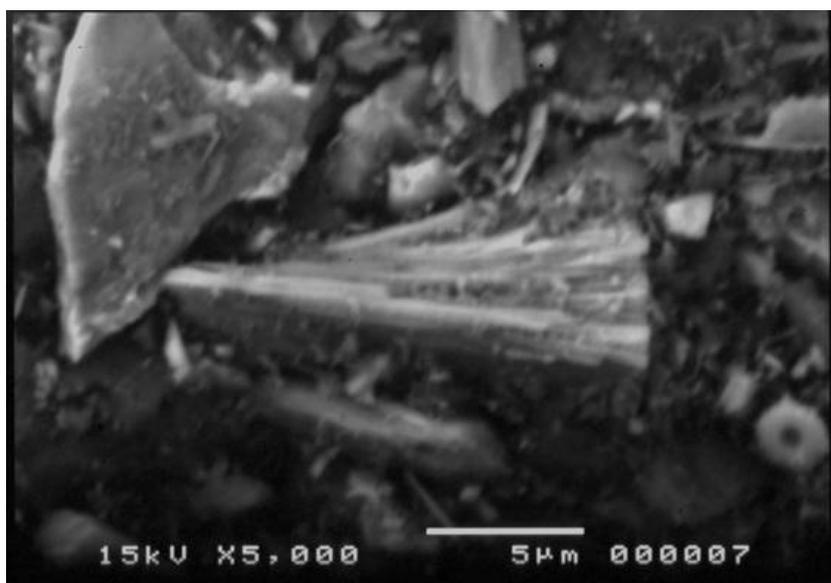


Figura 5.111 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota Lama) mostrando em detalhe goethita pseudomórfica de anfibólio (fibrosa). MEV-IRE. 5000X.

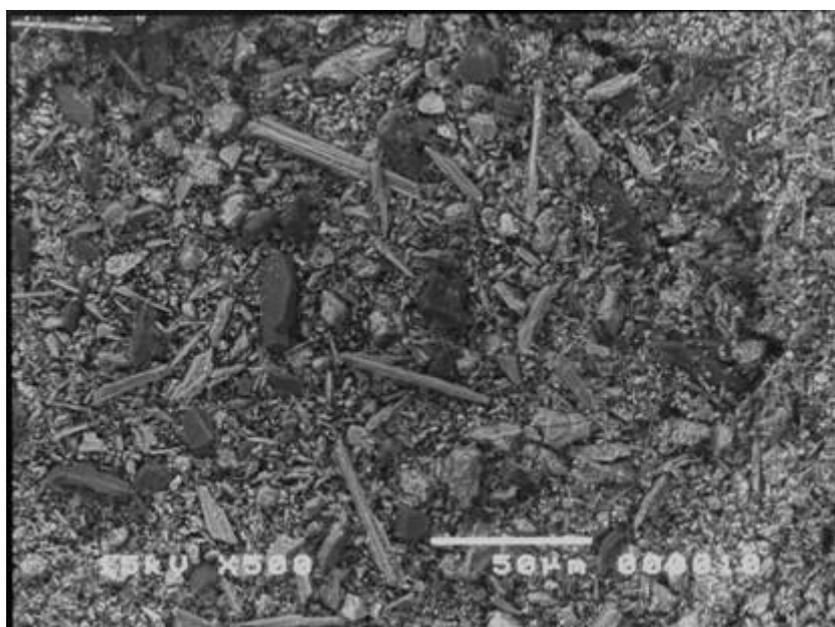


Figura 5.112 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota Lama) mostrando aspecto geral da lama. MEV-IRE. 500X.

A Figura 5.113 traz em detalhe uma goethita pseudomórfica de anfibólio, que está mais alterada que as apresentadas nas figuras 5.109 a 5.111 da amostra anterior.

A Figura 5.114 também traz em detalhe uma outra goethita pseudomórfica de anfibólio. Nesse caso, ela encontra-se também mais alterada que as apresentadas nas figuras 5.109 a 5.111, porém um pouco menos alterada que a mostrada na Figura 5.113. Notar o aspecto fibroso apresentado por essa goethita, típico de anfibólio.

(C) Amostra A62

A Figura 5.115 (fotomicrografia tirada no MEV) mostra o aspecto geral da lama dessa amostra, que também é formada por partículas muito finas. Notar que as fibras de goethita pseudomórfica de anfibólio são um pouco menos abundantes que na amostra anterior, mas mais que na amostra A31. Nessa figura são também observadas várias partículas de quartzo e outros minerais de ferro (partículas muito finas).

A Figura 5.116 traz em detalhe goethitas pseudomórficas de anfibólio fibrosas um pouco alteradas.

(D) Amostra A91

A fotomicrografia (MEV) da Figura 5.117 ilustra o aspecto geral da lama dessa amostra, que como ocorre para as amostras anteriores, é também composta de partículas muito finas. As fibras de goethita pseudomórfica de anfibólio estão presentes e estão em abundância semelhante à da amostra A62. Também são observadas algumas hematitas martíticas porosas, quartzos e outros minerais de ferro.

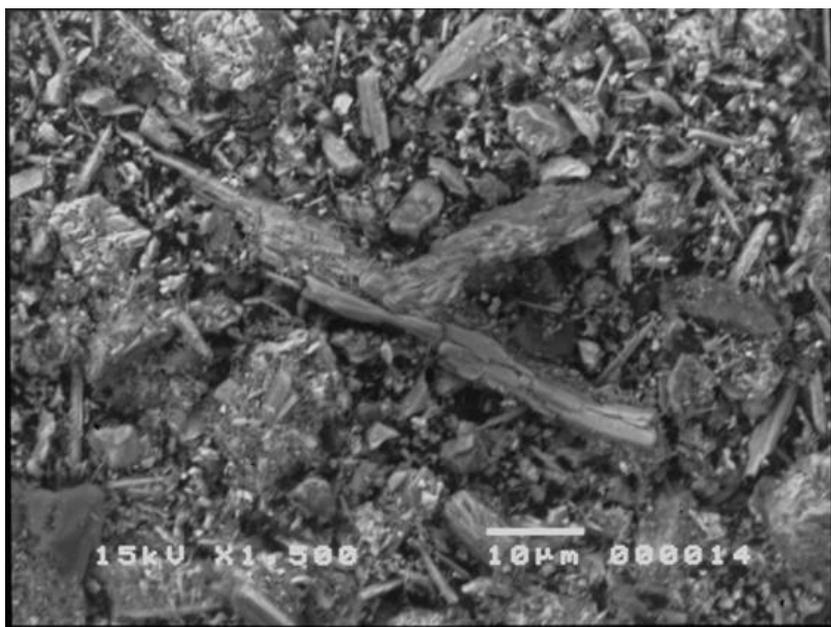


Figura 5.113 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota Lama) mostrando em detalhe goethita pseudomórfica de anfibólio (centro). MEV-IRE. 1500X.

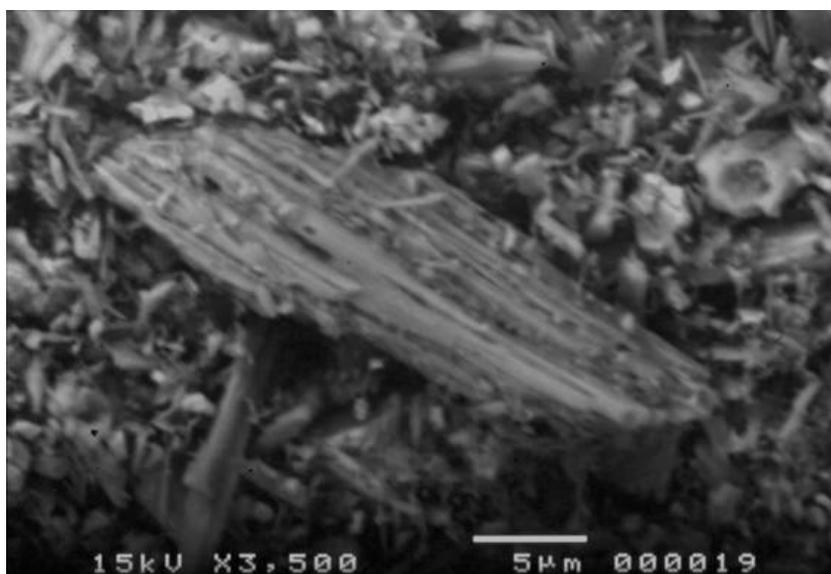


Figura 5.114 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota Lama) mostrando em detalhe goethita pseudomórfica de anfibólio (fibrosa). MEV-IRE. 3500X.

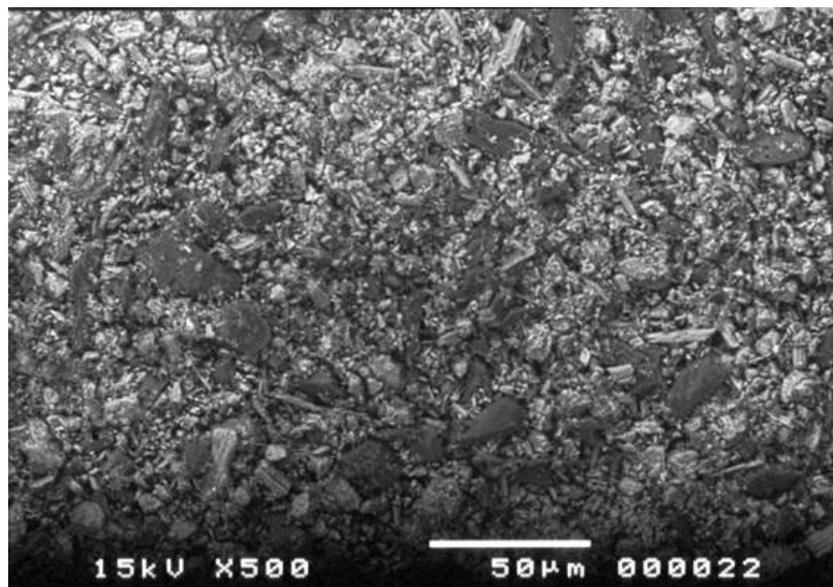


Figura 5.115 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota Lama) mostrando aspecto geral da lama. MEV-IRE. 500X.

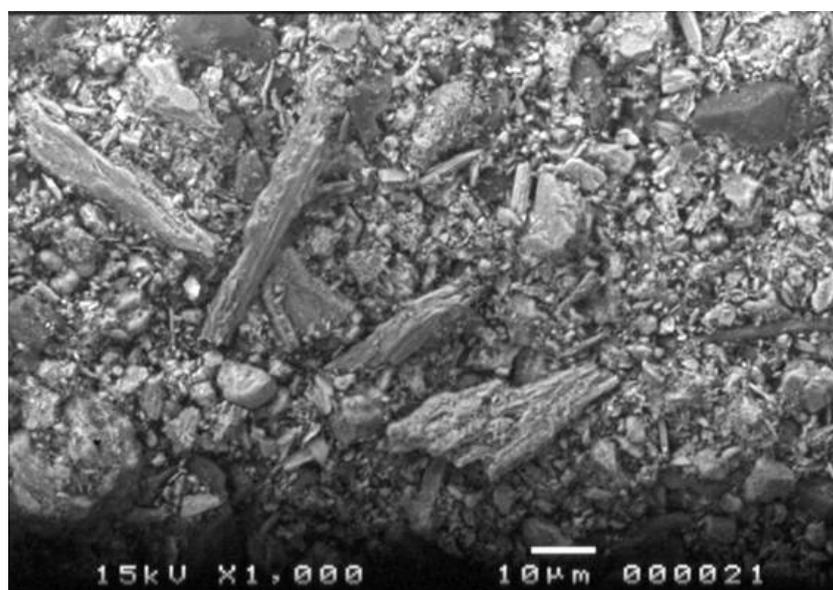


Figura 5.116 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota Lama) mostrando em detalhe goethita pseudomórfica de anfibólio (fibrosa). MEV-IRE. 1000X.

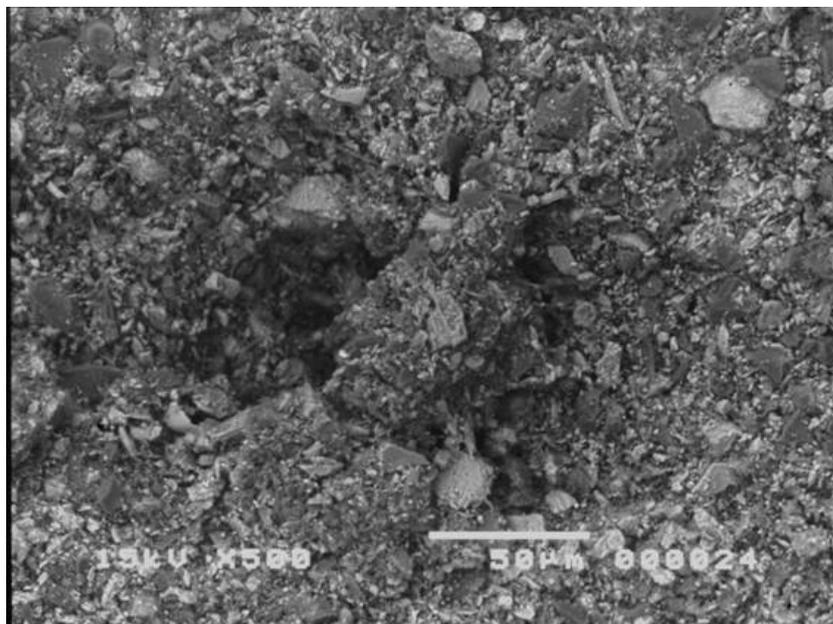


Figura 5.117 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Lama) mostrando aspecto geral da lama. MEV-IRE. 500X.

As figuras 5.118 e 5.119 mostram em detalhe duas hematitas martíticas em diferentes estágios de alteração e porosidade. Assim, a hematita martítica praticamente euédrica da Figura 5.118 está bem menos alterada e menos porosa (tem aspecto maciço no geral) do que a hematita martítica subédrica da Figura 5.119, que apresenta todos os lados, observáveis nessa figura, já alterados e porosos.

(E) Amostra A93

A Figura 5.120 é uma fotomicrografia tirada no MEV mostrando o aspecto geral da lama dessa amostra. Como já comentado para as outras amostras, essa é formada por partículas muito finas. Na figura, podem-se observar fibras de goethita pseudomórfica de anfibólio em abundância semelhante à das amostras A91 e A62, quartzo e outros minerais de ferro.

A Figura 5.121 traz em detalhe goethita pseudomórfica de anfibólio que está também presente na parte central da figura anterior.

A Figura 5.122 traz em detalhe goethita e quartzo pseudomórficos de anfibólio. As regiões marcadas foram analisadas pelo microanalisador EDS e comprovaram tratar-se realmente desses minerais, pois são composições típicas deles.

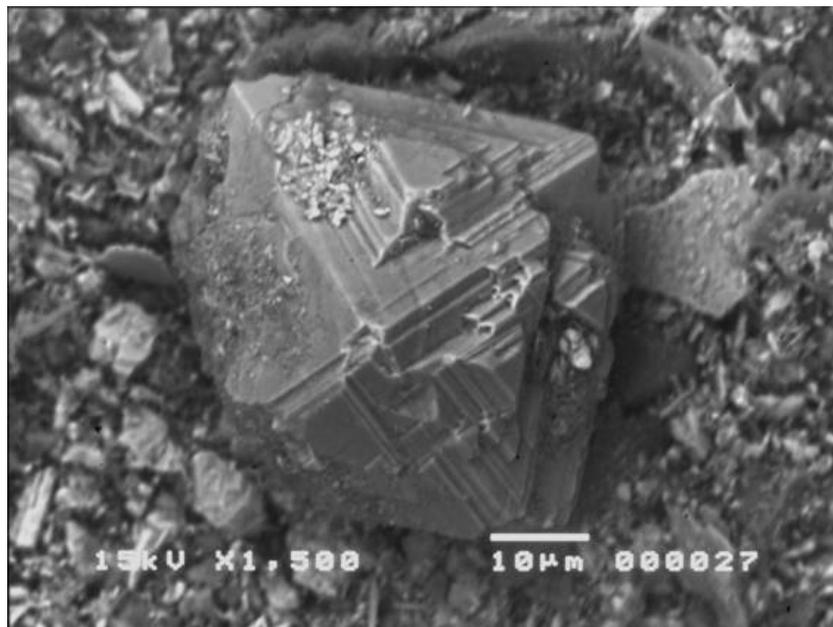


Figura 5.118 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Lama) mostrando em detalhe hematita martítica pouco porosa. MEV-IRE. 1500X.

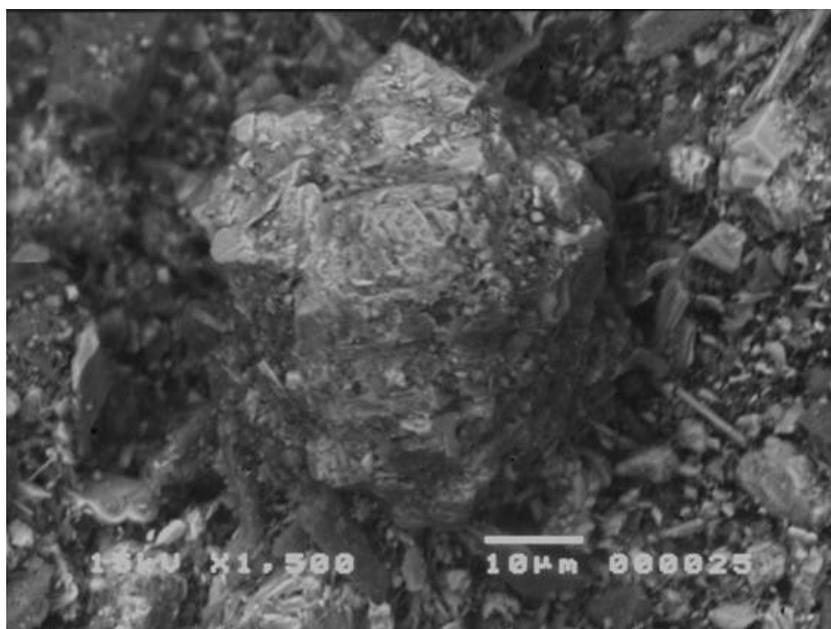


Figura 5.119 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Lama) mostrando em detalhe hematita martítica porosa. MEV-IRE. 1500X.

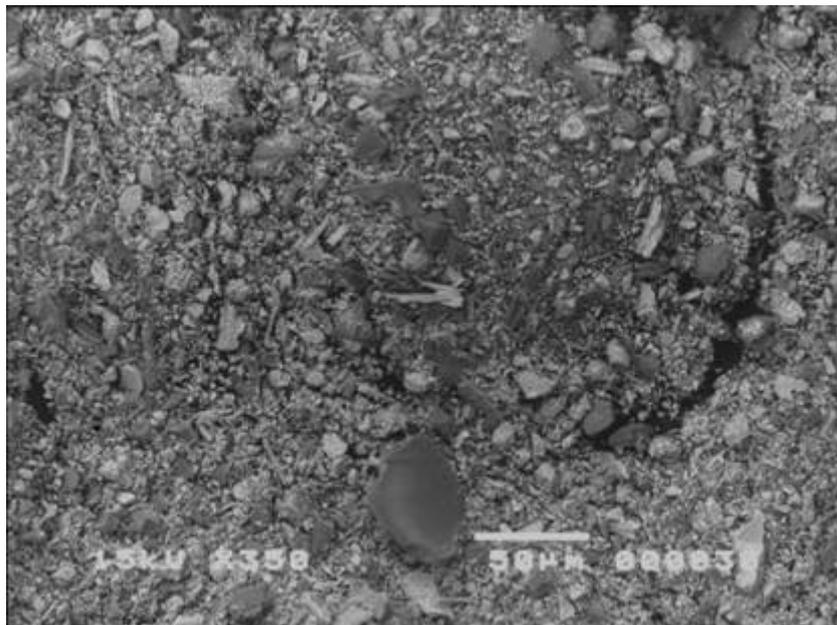


Figura 5.120 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota Lama) mostrando aspecto geral da lama. MEV-IRE. 350X.

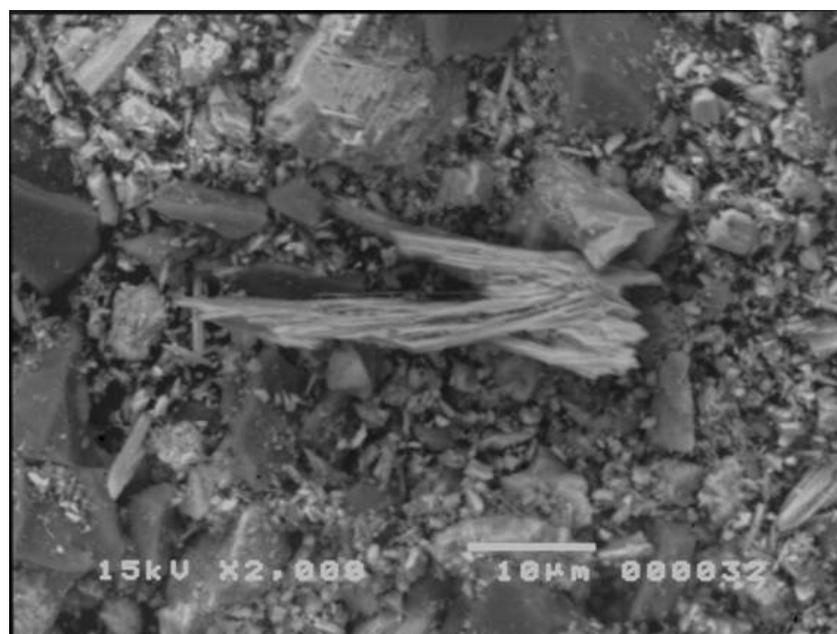


Figura 5.121 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota Lama) mostrando em detalhe goethita pseudomórfica de anfibólio (fibrosa). MEV-IRE. 2000X.

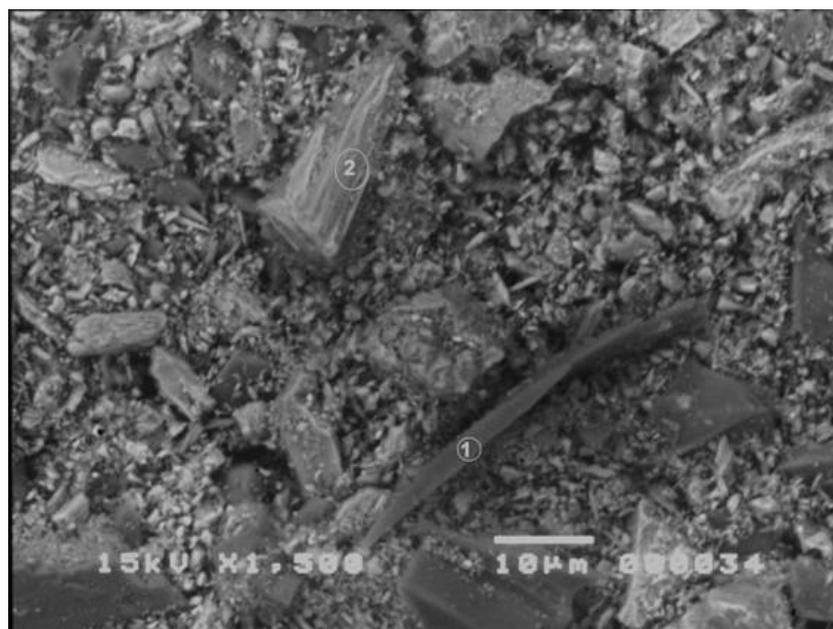


Figura 5.122 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota Lama) mostrando em detalhe goethita e quartzo pseudomórficos de anfibólio. MEV-IRE. 1000X.

		<i>Elementos Químicos (%)</i>							
Área	Mineral	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	MgO	S	Cl
1	Quartzo	ND	100	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2	Goethita	59,90	4,28	0,24	ND	0,29	ND	ND	ND

5.3.4 Alíquotas Concentrado

Os resultados das análises mineralógicas quantitativas e qualitativas/semiquantitativas das alíquotas de concentrado das cinco amostras de itabirito anfíbolítico estão listados nas tabelas V.20 e V.21. Os difratogramas de raios-X dessas alíquotas estão disponíveis nos anexos (Anexo 6).

Fazendo-se a análises dos dados das duas tabelas anteriores, nota-se que há boa concordância entre as duas técnicas de análise mineralógica para a maioria das amostras, como já observado para as alíquotas anteriores. Apenas a amostra A91 não apresentou tão boa concordância, pois o quartzo que foi determinado pela análise quantitativa não foi detectado pela difração de raios-X. De qualquer forma não é uma questão relevante, pois em se tratando de uma alíquota de concentrado de minério de ferro, a mineralogia de maior interesse são os minerais de ferro e para esses houve boa concordância entre as duas técnicas de análise.

Em todas as amostras a goethita está presente entre os principais minerais. Em A31 e A62 ela é o principal mineral e em A61, A91 e A93, ela juntamente com a hematita martítica são os principais minerais. A hematita martítica está presente em baixa proporção nas amostras A31 e A62 (<15%) e a caulinita e a gibbsita estão presentes em baixa concentração na amostra A31. Pela análise mineralógica quantitativa, a magnetita está presente em baixa concentração (<10%) em todas as amostras. Assim, mais uma vez e pelas razões já explicadas anteriormente, a magnetita foi somente determinada pela difratometria de raios-X na amostra A61 onde está um pouco mais abundante. O quartzo apresenta-se em baixa concentração e a hematita lamelar, quando presente, está em muito baixa proporção (traços).

Tabela V.20 – Resultados das análises mineralógicas quantitativas das alíquotas Concentrado – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.

Alíquotas Concentrado												
Amostras	He (%)		Hm (%)		G (%)		M (%)		Q (%)		C e Gb (%)	
	Vol	Peso	Vol	Peso	Vol	Peso	Vol	Peso	Vol	Peso	Vol	Peso
A31	0,20	0,20	11,80	14,00	83,10	82,20	0,20	0,20	2,40	1,40	2,30	1,80
A61	0,00	0,00	42,00	46,80	40,50	37,50	10,90	11,90	6,60	3,80	-	-
A62	1,10	1,40	8,20	9,70	86,60	86,00	1,10	1,20	3,00	1,70	-	-
A91	1,20	1,30	50,00	55,10	42,40	38,80	2,30	2,50	4,10	2,30	-	-
A93	1,60	1,80	42,40	47,90	47,30	44,50	1,70	1,90	7,00	3,90	-	-

Tabela V.21 – Resultados das análises de difratometria de raios-X das alíquotas Concentrado – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.

Alíquotas Concentrado							
Amostra	Mineralogia Presente						
	Abundante		Média	Baixa			
A31	<i>Goethita</i>	-	-	<i>Hematita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>Caulinita</i>	<i>Gibbsita</i>
A61	<i>Goethita</i>	<i>Hematita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>Magnetita</i>	-	-	-
A62	<i>Goethita</i>	-	-	<i>Hematita</i>	<i>Quartzo</i>	-	-
A91	<i>Goethita</i>	<i>Hematita</i>	-	-	-	-	-
A93	<i>Goethita</i>	<i>Hematita</i>	-	<i>Quartzo</i>	-	-	-

Comparando-se os resultados de difratometria de raios-X dos *underflows* (Tabela V.17) com os dos concentrados (Tabela V.21) de cada amostra, pode-se notar que os minerais presentes são os mesmos e o que se modifica é a abundância em que eles ocorrem numa e na outra alíquota. Há coerência nos resultados, pois a mineralogia presente antes do processo de concentração (flotação) apresentava o quartzo como um dos minerais mais abundantes e após essa concentração, passam a apresentar apenas aqueles minerais de ferro que já figuravam entre os mais abundantes. Assim e como era o esperado, nos concentrados estão presentes em abundância, apenas minerais de ferro.

Confrontando-se os resultados das análises mineralógicas de cada uma dessas alíquotas (Concentrado) com seus respectivos resultados de análises químicas (Tabela V.11), pode-se notar que como ocorre para as alíquotas anteriores, há boa concordância entre as técnicas de análises químicas e mineralógicas. Assim:

1. Em todas as amostras os teores de SiO_2 e de Fe_T são coerentes e compatíveis com a abundância dos minerais quartzo, caulinita, goethita, hematita e magnetita presentes em suas mineralogias
2. A amostra A31 tem o valor de Al_2O_3 mais elevado que o das demais amostras e apresenta a caulinita e a gibbsita em baixas proporções, justificando esse teor. Para todas as amostras, como já foi explicado anteriormente, parte da alumina deve estar alojada na estrutura das goethitas.
3. Os teores de PPC estão coerentes com a abundância da goethita, caulinita e gibbsita para a amostra A31 e, da goethita para as demais amostras.
4. Quanto aos teores de P e MnO_2 , as mesmas afirmações efetuadas para as alíquotas anteriores são válidas para essas alíquotas.
5. Há boa concordância entre os teores de FeO e a magnetita quantificada pela análise mineralógica.

5.3.4.1 *Descrição mineralógica qualitativa das seções polidas*

(A) Amostra A31

O concentrado dessa amostra é composto basicamente por goethita. Estão também presentes, mas em baixa concentração, a hematita (martítica principalmente), o quartzo e a caulinita/gibbsita. A magnetita e a hematita lamelar continuam raras (traços, semelhante ao que ocorre no *underflow*). Tanto o estado de alteração dos minerais de ferro como suas porosidades permanecem relativamente altos e semelhantes ao que ocorre no *underflow*. O tamanho geral das partículas é variado, mas como era de se esperar para um material moído, estão relativamente menores que no *underflow*.

A goethita ocorre nas mesmas formas e em que está presente no *underflow* (descrito anteriormente) e, para cada forma, ela está presente em igual abundância. Os graus de porosidade em que podem ser encontradas é também muito semelhante ao já descrito para o *underflow* (variando de baixo a médio).

A hematita martítica, a magnetita e hematita lamelar ocorrem de maneira muito semelhante ao já descrito para o *underflow*. Assim, praticamente não há variações nas formas em que ocorrem, no grau de alteração em que podem ser encontradas e nem no grau de porosidade em que estão presentes.

O quartzo presente é normalmente anédrico, monocristalino e está praticamente todo liberado. Algum quartzo contendo inclusões de minerais de ferro, pode ainda ser visto.

Como no *underflow*, a caulinita está presente principalmente sob a forma de cristais prismáticos associados as goethitas botrioidais ou maciças. Aqui também e em menor frequência, ela pode estar terrosa e associada a gibbsita (terrosa).

A Figura 5.123 a seguir é uma fotomicrografia que mostra goethitas botrioidais de diferentes porosidades (macroporos principalmente) e hematita martítica micro e macroporosa (centro).

A Figura 5.124 ilustra duas partículas sendo a da direita, formada principalmente por hematita martítica microporosa (contendo poucos macroporos) também goethitizada (goethita microporosa) e a da esquerda, por hematita martítica muito porosa (micro e macroporos).

Na Figura 5.125 são observadas duas grandes partículas de goethita botrioidal. A da direita praticamente não está porosa e a da esquerda está um pouco mais porosa (microporosa).

A Figura 5.126 traz goethita botrioidal muito porosa (esquerda), goethita pseudomórfica de anfibólio porosa (centro) e hematita martítica muito porosa (centro e abaixo).

A Figura 5.127 mostra goethita pseudomórfica de anfibólio (centro) e goethitas maciças e botrioidais microporosas.

Na Figura 5.128 está ilustra na parte central uma partícula formada por goethita botrioidal intragranular, caulinitas (cristais prismáticos) e gibbsita associada a goethita terrosa. Notar que o estado de alteração dessa partícula é elevado. Também estão presentes goethitas maciças não porosas e botrioidais microporosas, além de hematita martítica também goethitizada e microporosas.

A Figura 5.129 mostra uma partícula de goethita botrioidal intragranular pouco porosa contendo hematitas martíticas intimamente associadas a ela (dando o aspecto de estarem impressas na goethita). São também observadas outras partículas de goethita (maciças não porosas e botrioidais pouco a muito porosas).

Na Figura 5.130 observam-se principalmente duas partículas de hematitas martíticas porosas. Na da esquerda prevalecem os microporos e na da direita os macroporos. Também estão presentes goethitas maciças (não porosas) e botrioidais porosas (micro e macroporos).

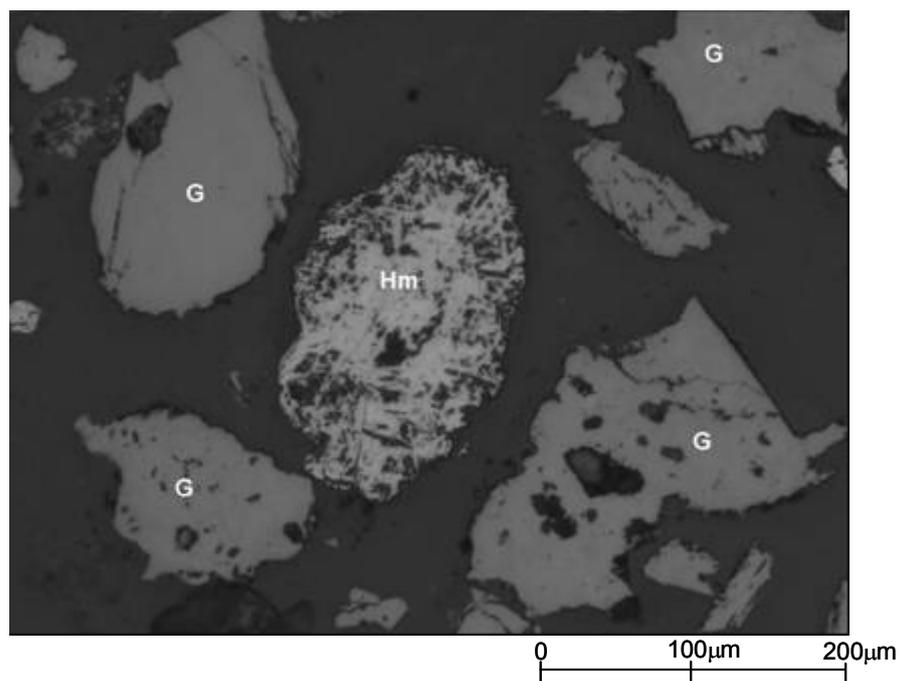


Figura 5.123 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota Concentrado) mostrando goethitas botrioidais de diferentes porosidades e hematita martítica porosa (centro). Aumento 200X. LRND.

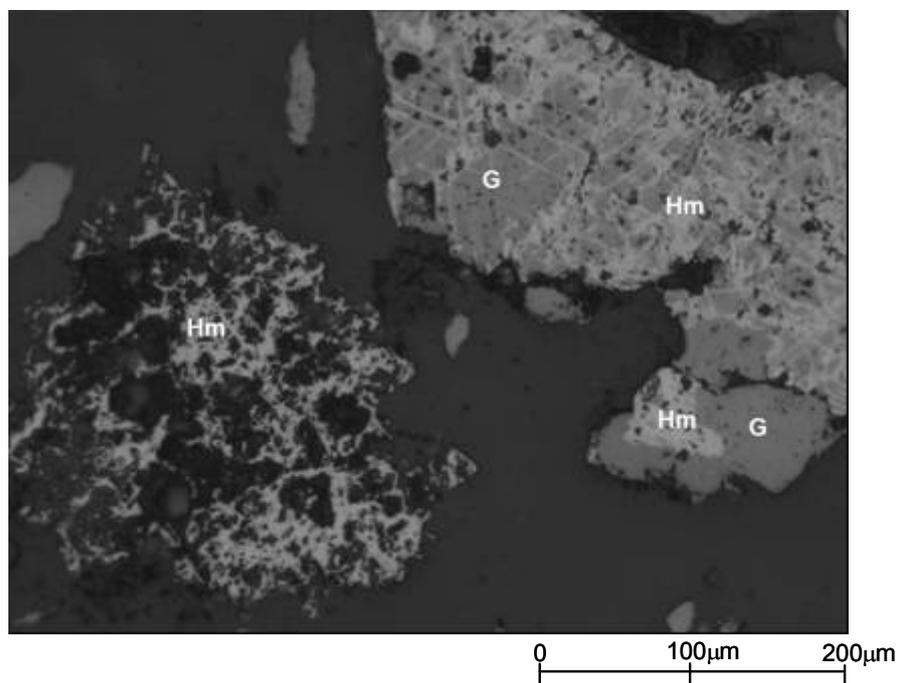


Figura 5.124 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota Concentrado) mostrando hematitas martíticas (micro e macroporosas) e goethitas (botrioidal e de alteração da magnetita). Aumento 200X. LRND.

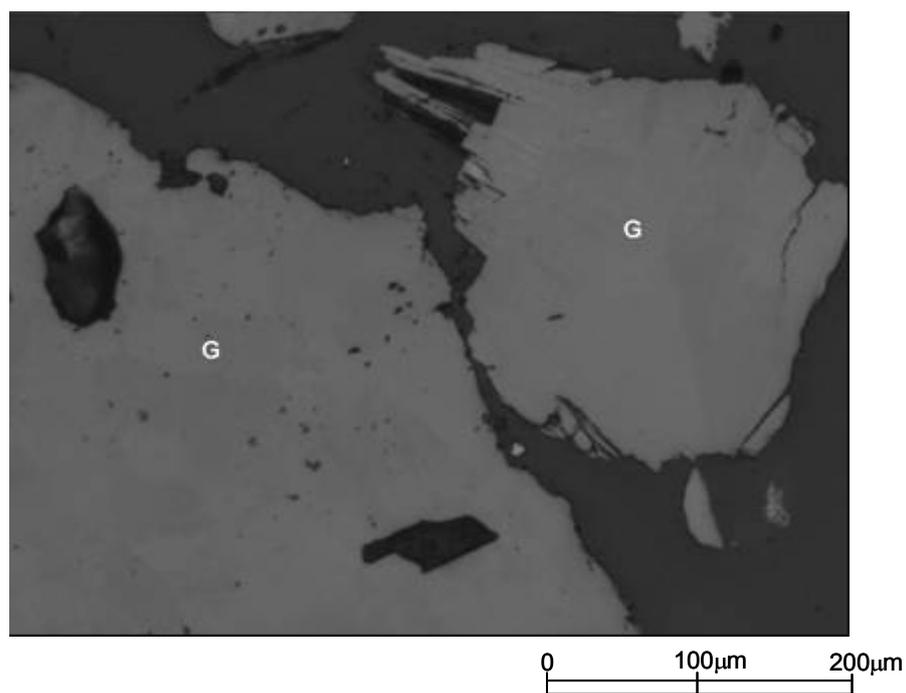


Figura 5.125 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota Concentrado) mostrando duas goethitas botrioidais de dimensões milimétricas. Aumento 200X. LRND.

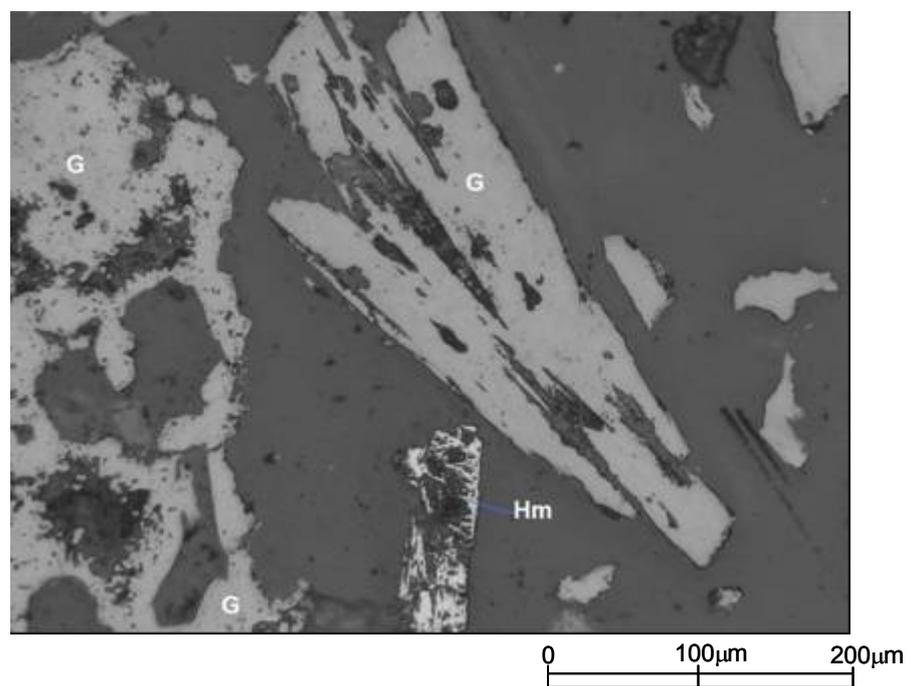


Figura 5.126 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota Concentrado) mostrando goethita botrioidal porosa (esquerda), goethita pseudomórfica de anfibólio (centro) e hematita martítica muito porosa (centro e inferior). Aumento 200X. LRND.

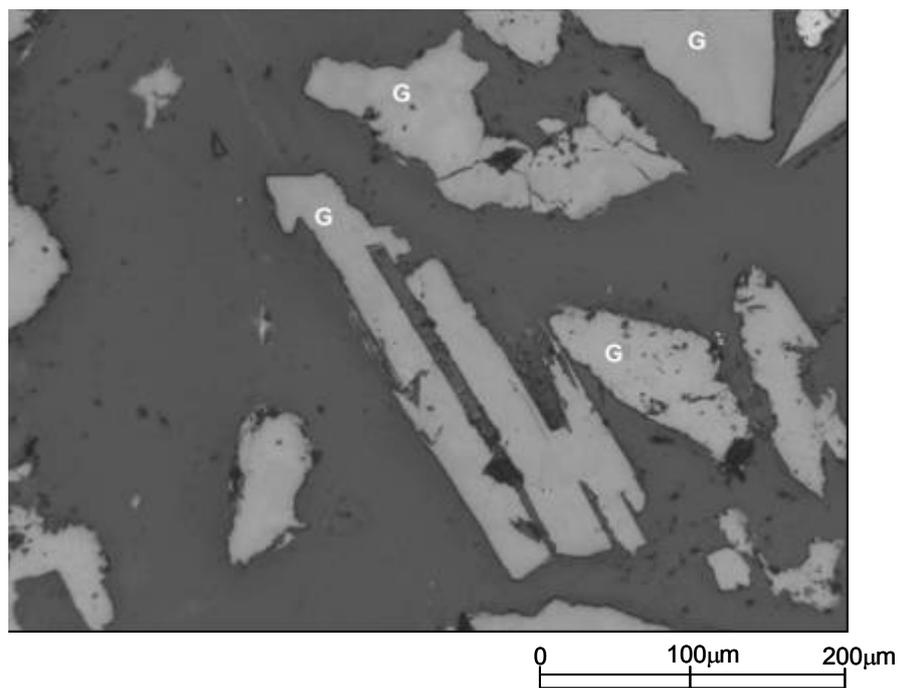


Figura 5.127 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota Concentrado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio (centro) e goethitas maciças e botrioidais microporosas. Aumento 200X. LRND.

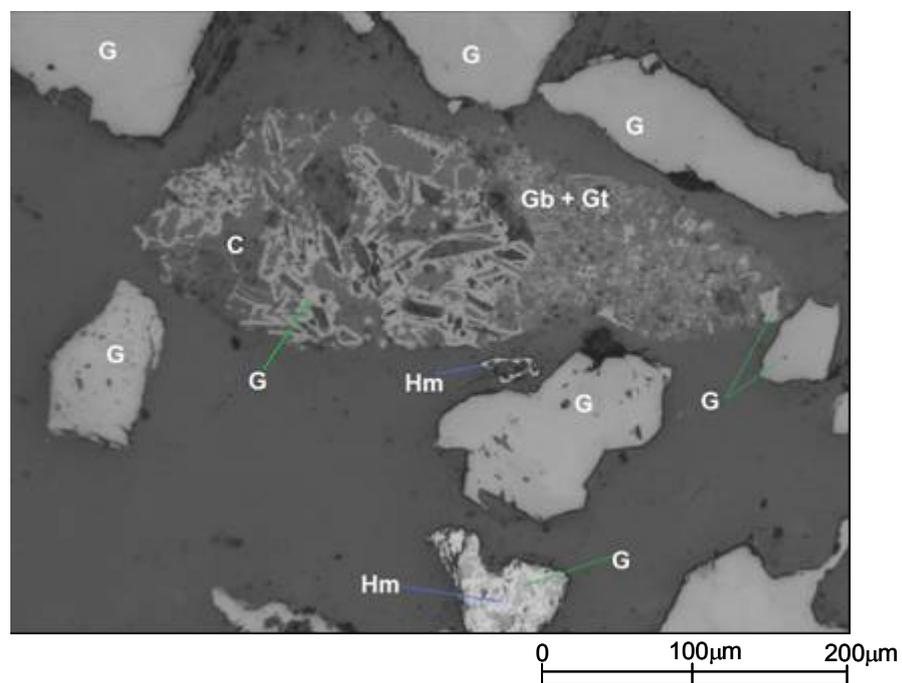


Figura 5.128 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota Concentrado) mostrando partícula formada por goethita botrioidal intragranular, caulinitas, gibbsita e goethita terrosa. Também estão presentes goethitas (maciças e botrioidal) e hematita martítica também goethitizada. Aumento 200X. LRND.

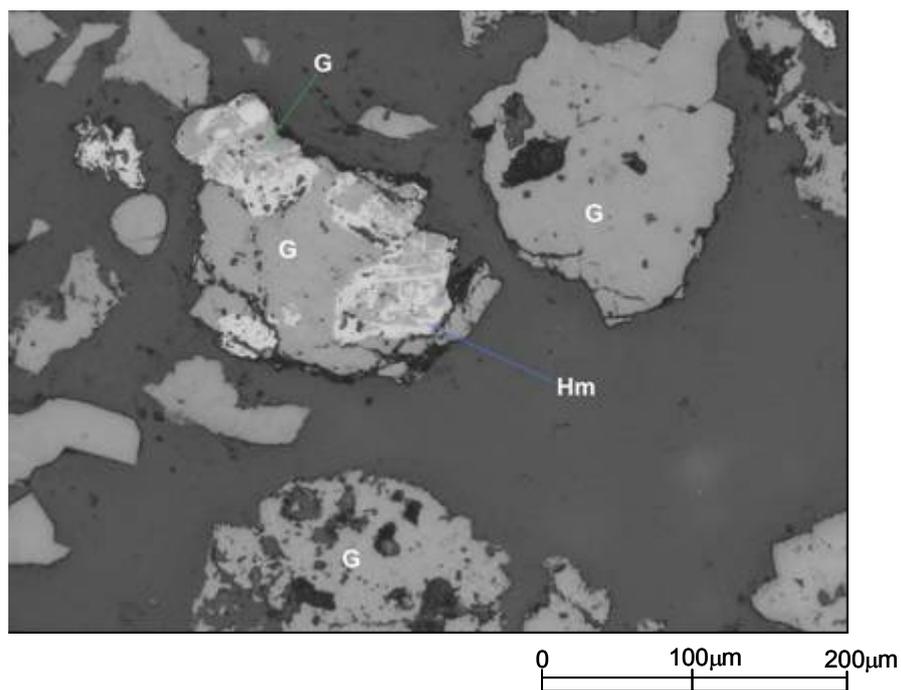


Figura 5.129 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota Concentrado) mostrando goethitas (botrioidais, maciças e de alteração da magnetita) e hematitas martíticas. Aumento 200X. LRND.

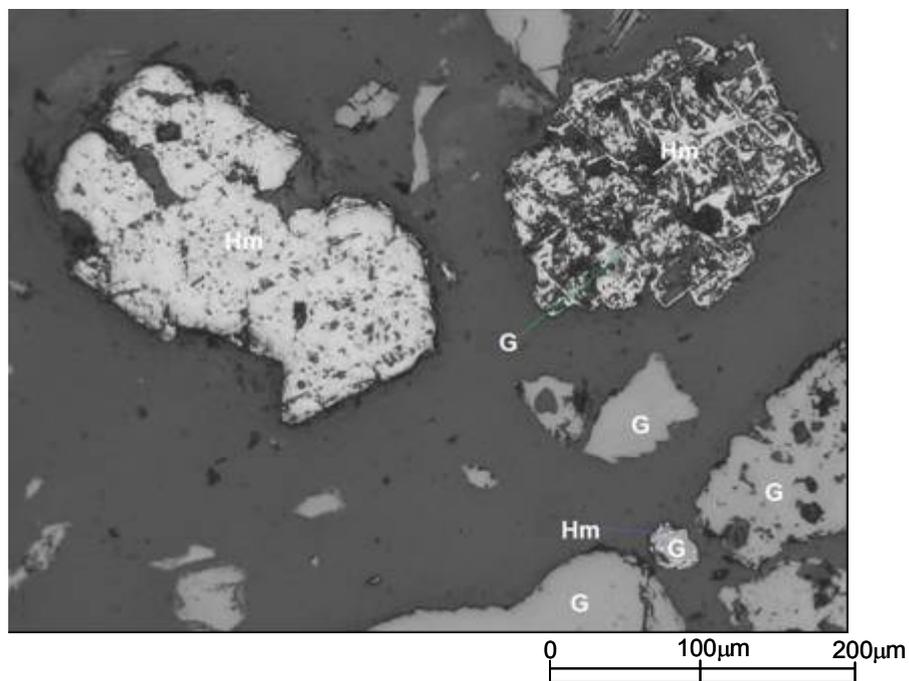


Figura 5.130 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota Concentrado) mostrando hematitas martíticas porosas (micro e macroporosas) e goethitas botrioidais e maciças de diferentes porosidades. Aumento 200X. LRND.

(B) Amostra A61

O concentrado dessa amostra é composto basicamente por goethita e hematita martítica presentes em semelhante proporção. A magnetita e o quartzo são encontrados em baixa proporção. Como no *underflow*, os graus de alteração e de porosidade dos minerais de ferro são medianos e o tamanho das partículas é variado, porém de dimensões menores.

No concentrado, como já descrito para o *underflow*, as formas principais de ocorrência das goethitas são a botrioidal e produto de alteração da magnetita. A goethita terrosa é rara e praticamente não são encontrados pseudomorfos de anfibólio. A porosidade geral dessas goethitas é média.

As hematitas martíticas, da mesma forma em que ocorrem no *underflow*, apresentam-se com variados graus de alteração e porosidade, mas prevalecem as de grau médio (alteração e porosidade). A hematita lamelar é rara e está sob a forma de cristais isolados.

O quartzo, que como era o esperado não é abundante, é normalmente anédrico, monocristalino e frequentemente está liberado. Quartzo não liberado e associado com goethitas e/ou hematitas martíticas ainda são encontrados, bem como quartzo contendo inclusões de minerais de ferro (goethita principalmente).

A magnetita pode ser encontrada em diferentes estágios de alteração: início da martitização ou relicta em meio à hematita martítica e/ou goethita (de alteração dessa magnetita).

A Figura 5.131 traz na região central uma magnetita anédrica em início de processo de martitização. Na região logo abaixo são encontradas outras magnetitas (subédricas a anédricas) um pouco mais martitizadas, na porção centro e a direita e hematitas martíticas microporosas. Na figura podem-se observar ainda goethitas botrioidais (porosas) e outras hematitas martíticas microporosas.

A Figura 5.132 está mostrando goethita botrioidal porosa associada com hematitas martíticas subédricas porosas que podem conter ou não, a magnetita relicta

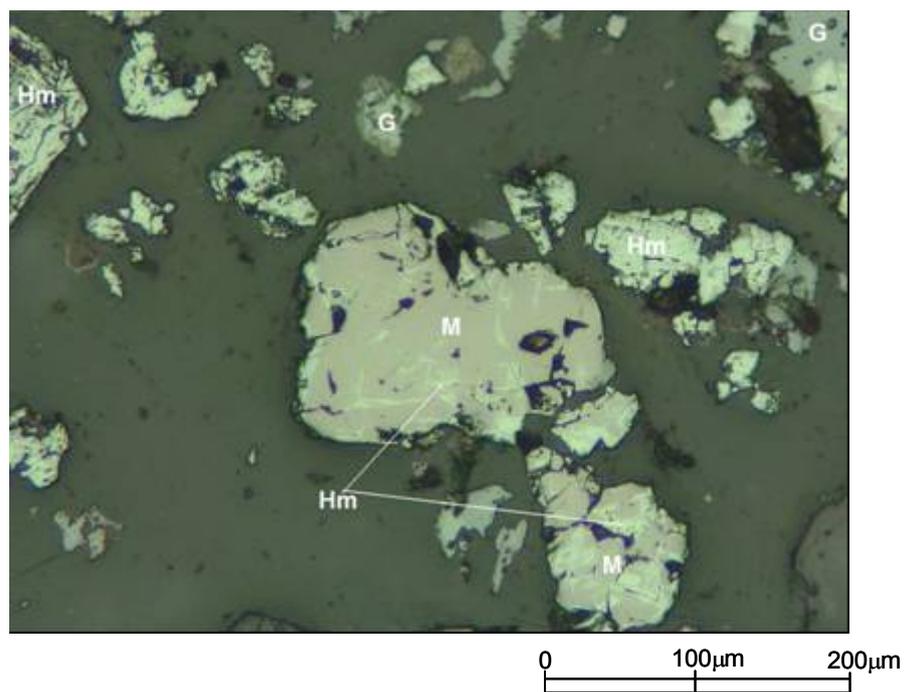


Figura 5.131 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota Concentrado) mostrando magnetita em início de processo de martitização (centro), magnetitas um pouco mais martitizadas, hematitas martíticas microporosas e goethitas botrioidais. Aumento 200X. LRND.

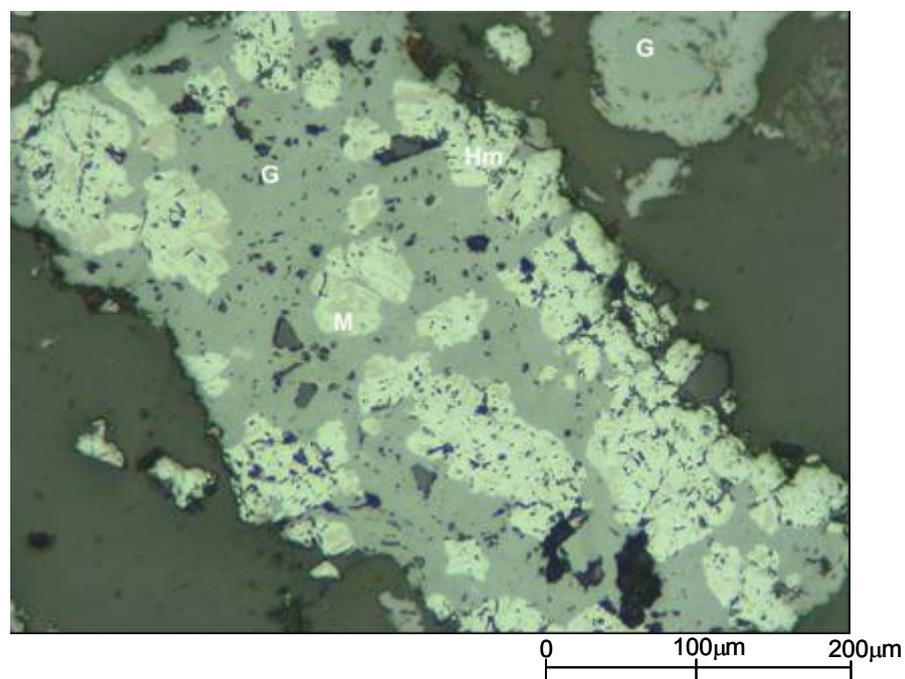


Figura 5.132 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota Concentrado) mostrando goethita botrioidal porosa associada com hematitas martíticas porosas subédricas podendo conter magnetita relict. Aumento 200X. LRND.

A Figura 5.133 traz na região central uma partícula formada por goethita botrioidal porosa associada com hematita martítica euédrica e porosa (micro e macroporos), outras hemáticas martíticas de porosidades variadas e goethita terrosa.

Na Figura 5.134 estão presentes goethitas terrosas, partículas de hemáticas martíticas porosas (micro e macroporos) e uma partícula formada por goethita botrioidal associada com quartzo, hemáticas martíticas e magnetita (porção inferior).

A Figura 5.135 mostra nas regiões inferior e a esquerda e centro e a direita duas partículas formadas por principalmente goethitas (botrioidais e de alteração da magnetita) mediamente porosas e com hemáticas martíticas relictas (finas lamelas). Na partícula da esquerda observa-se ainda a presença de quartzo secundário. Também são observadas outras partículas de goethita botrioidal mediamente porosas, hemáticas martíticas porosas (micro e macroporos) e magnetita martitizada.

Na Figura 5.136 está ilustrada a presença de grande partícula formada por quartzos associados a magnetitas em diferentes estágios de martitização.

A Figura 5.137 é para mostrar partículas formadas por quartzos associados com minerais de ferro, ou seja quartzos não liberados. Os minerais de ferro são a goethita botrioidal e hemáticas martíticas muito porosas e goethitizadas.

A Figura 5.138 é para mostrar principalmente as partículas de quartzos associados com hemáticas martíticas porosas e goethita botrioidal e a partícula de goethita botrioidal pouco porosa contendo hematita martítica euédrica e porosa (micro e macroporos).

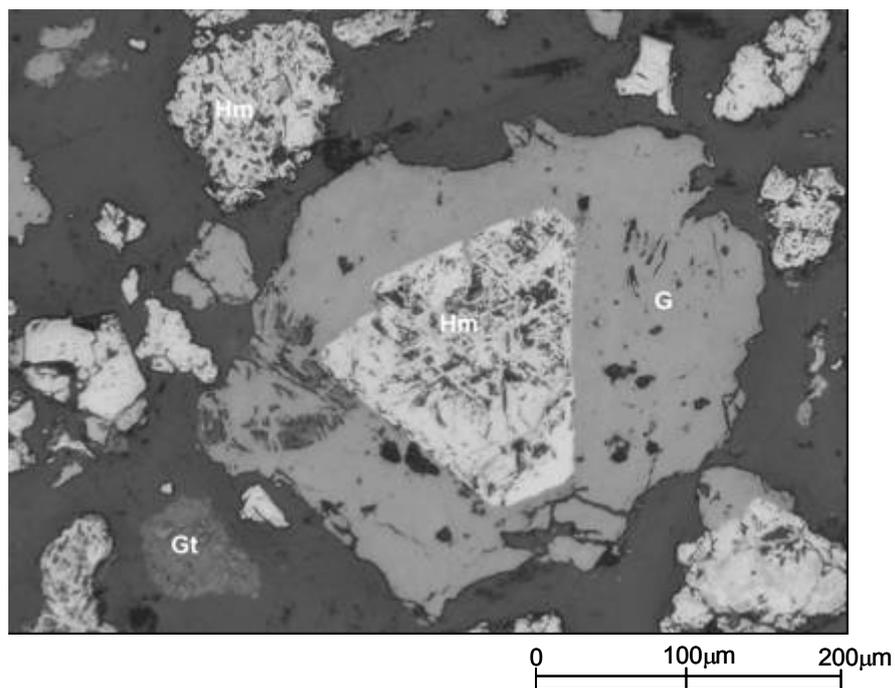


Figura 5.133 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota Concentrado) mostrando goethita botrioidal porosa associada com hematita martítica euédrica e porosa (centro), hematitas martíticas de porosidades variadas e goethita terrosa. Aumento 200X. LRND.

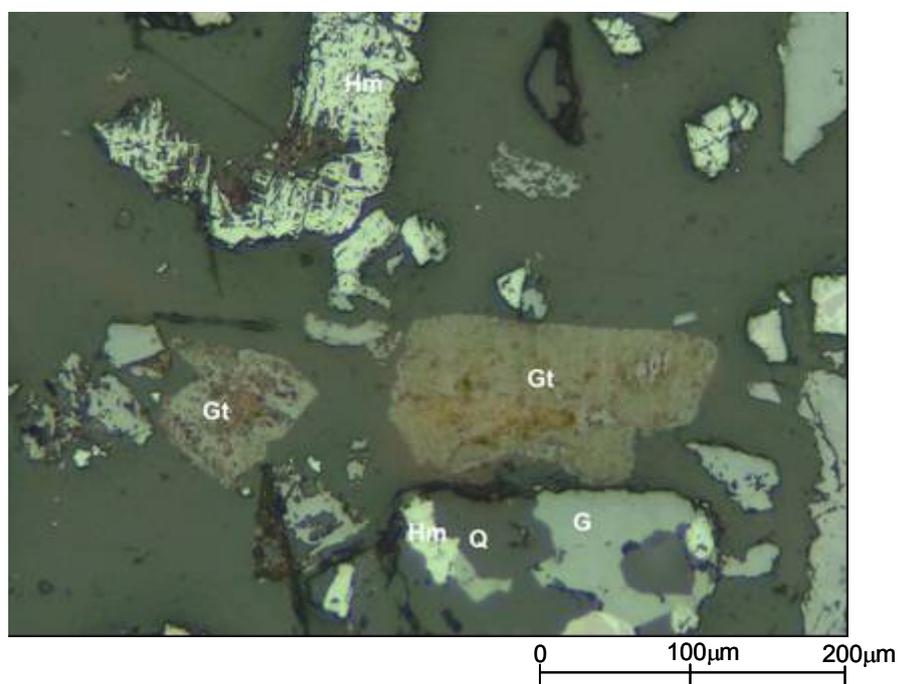


Figura 5.134 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota Concentrado) mostrando goethitas terrosas, hematitas martíticas porosas (micro e macroporos) e goethita botrioidal associada com quartzo (porção inferior). Aumento 200X. LRND.

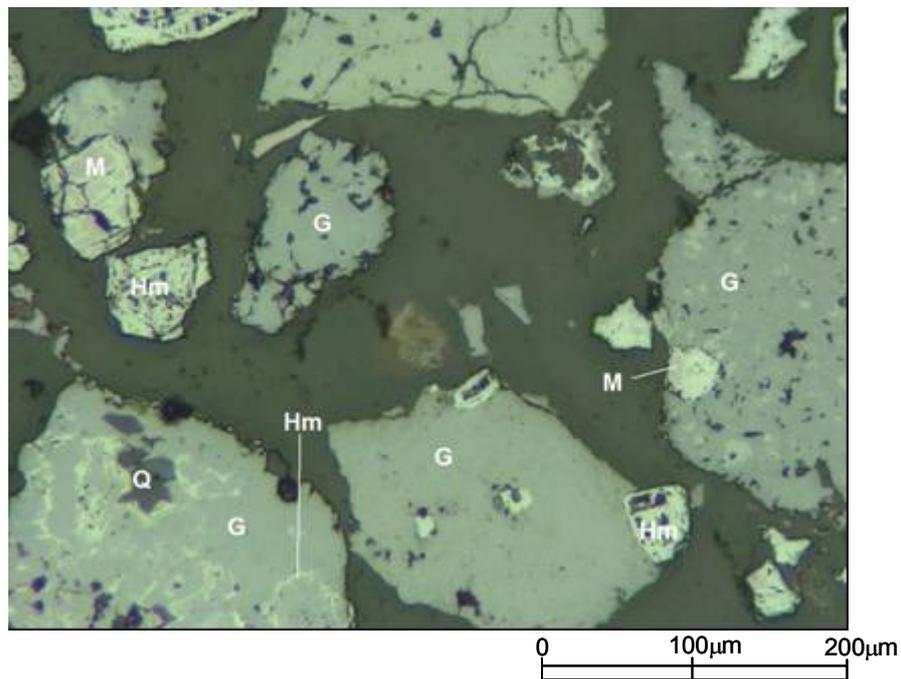


Figura 5.135 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota Concentrado) mostrando goethitas (botrioidais e de alteração da magnetita), hematitas martíticas (microporosas e relictas) e magnetitas martitizadas. Aumento 200X. LRND.

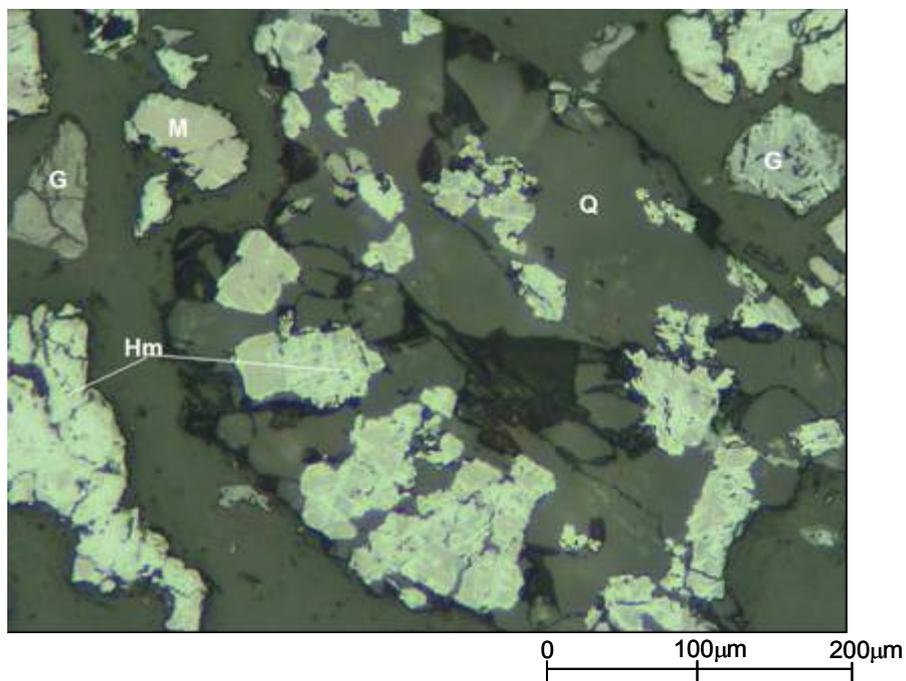


Figura 5.136 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota Concentrado) mostrando quartzos associados a magnetitas martitizadas (diferentes estágios de martitização). Aumento 200X. LRND.

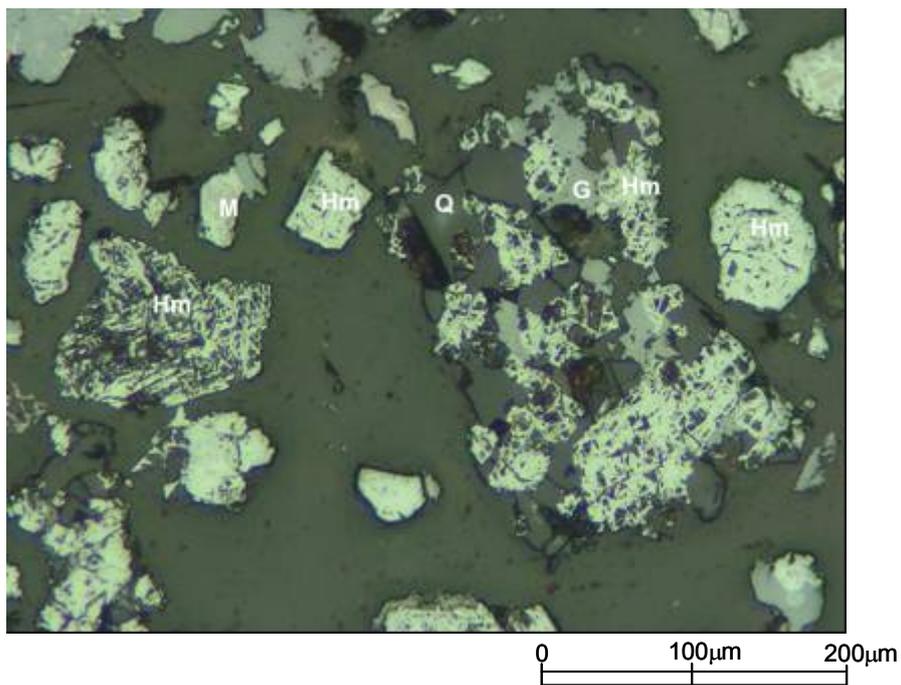


Figura 5.137 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota Concentrado) mostrando quartzos associados com goethita botrioidal e hematitas martíticas porosas. Aumento 200X. LRND.

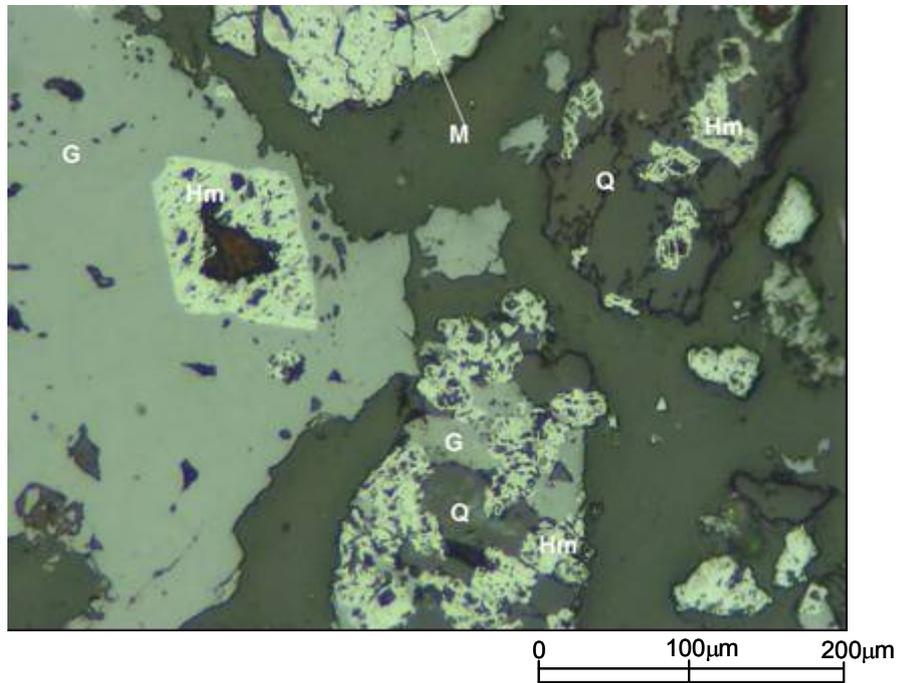


Figura 5.138 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota Concentrado) mostrando partículas de quartzos associados com hematitas martíticas porosas e goethita botrioidal, partícula de goethita botrioidal pouco porosa contendo hematita martítica euédrica e porosa (micro e macroporos). Aumento 200X. LRND.

(C) Amostra A62

O concentrado dessa amostra tem a goethita como principal mineral de ferro. A hematita martítica está presente em baixa concentração e, tanto a magnetita como a hematita lamelar, são encontradas em muito baixa proporção (traços). O quartzo, como era o esperado, também se encontra em baixa concentração. Como no *underflow*, tanto o nível de alteração dos minerais de ferro como suas porosidades são altos e o tamanho das partículas é variado, porém de dimensões menores.

A goethita é encontrada basicamente nas mesmas formas e cada qual em igual abundância como ocorre no *underflow*. Assim, suas principais formas são a botrioidal, a pseudomórfica de anfibólio e a terrosa. A goethita alveolar e de alteração da magnetita podem ainda ser vistas.

A hematita martítica está normalmente muito alterada e muito porosa e são ainda observadas hematitas martíticas esqueléticas em meio a goethita terrosa. Cristais isolados da hematita lamelar são raros.

A magnetita, quando presente, está relictada em meio à hematita martítica.

O quartzo é normalmente anédrico, monocristalino e na maioria das vezes está liberado. Partículas mistas de quartzo associado aos minerais de ferro ainda são encontradas e quartzo pseudomórfico de anfibólio foi observado localmente.

A Figura 5.139 mostra goethita pseudomórfica de anfibólio associada com hematita martítica muito porosa. Estão também presentes outras hematitas martíticas porosas (micro e macroporos), goethitas botrioidais de diferentes graus de porosidade e quartzo não liberado e associado com hematitas martíticas porosas e goethita.

A Figura 5.140 é para ilustrar essa goethita pseudomórfica de anfibólio muito alterada (com aspecto terroso) e porosa. Observam-se ainda a hematita martítica esquelética, hematita martítica com magnetita relictada, goethita terrosa e goethitas botrioidais porosas.

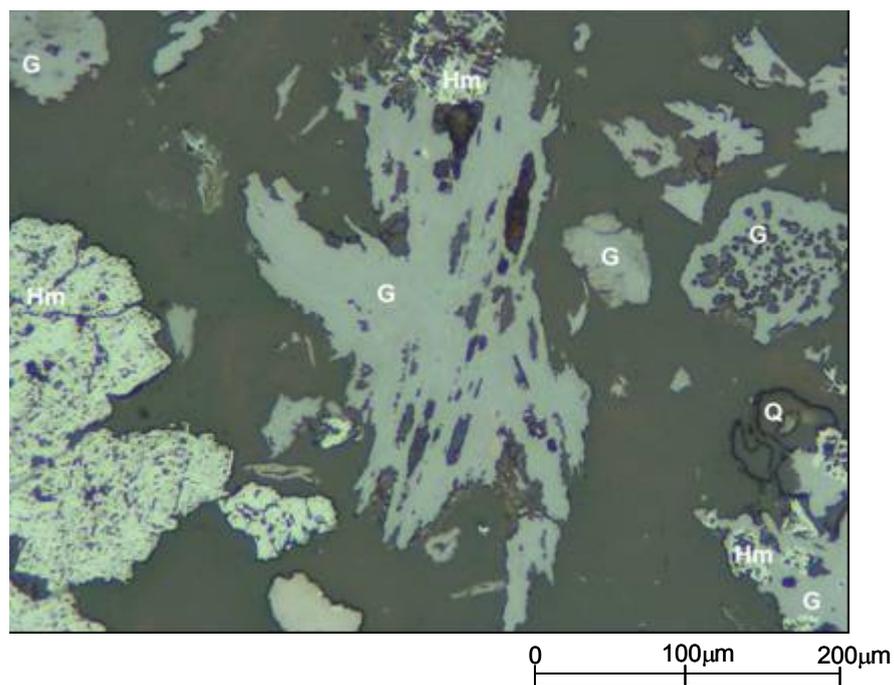


Figura 5.139 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota Concentrado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio, hematitas martíticas porosas (micro e macroporos), goethitas botrioidais (pouco porosas e muito porosas) e quartzo. Aumento 200X. LRND.

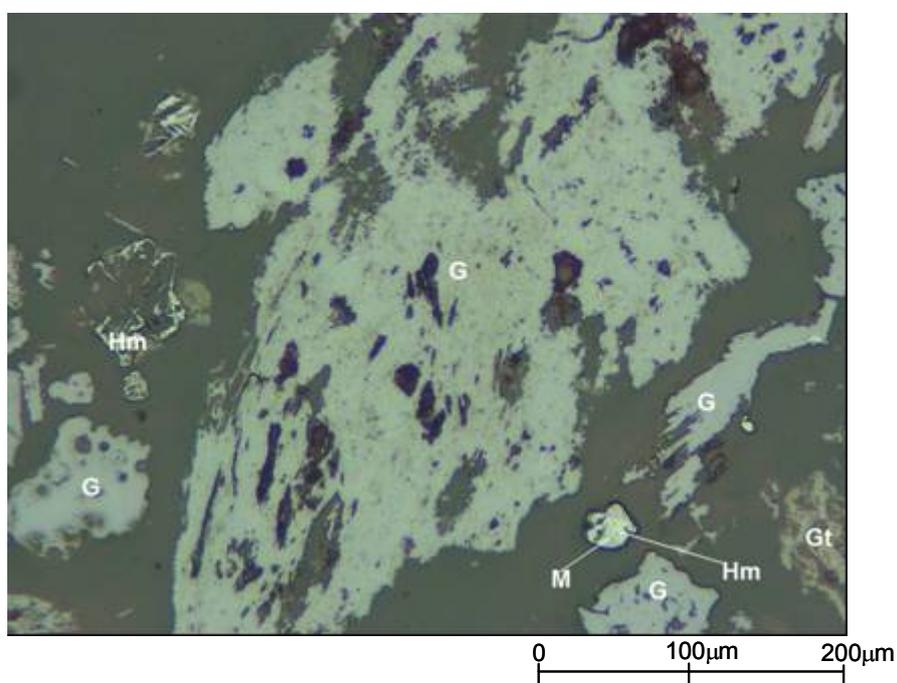


Figura 5.140 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota Concentrado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio muito alterada e porosa. Aumento 200X. LRND.

A Figura 5.141 mostrando diferentes goethitas (botrioidal, de alteração da magnetita, pseudomórfica de anfibólio e terrosa) porosas e hematitas martíticas porosas (micro e macroporos).

Na Figura 5.142 pode-se ver uma partícula onde a goethita e o quartzo estão em íntima associação, ou melhor, estão intercrescidos. Aparentemente trata-se de quartzo e goethita substituindo um anterior anfibólio (quartzo e goethita pseudomórficos de anfibólio).

A Figura 5.143 traz na parte central goethita muito alterada e porosa (terrosa) associada como o quartzo e, na porção centro e a direita, hematita martítica muito porosa também associada com o quartzo.

A Figura 5.144 é para mostra a presença de goethita botrioidal alterada e porosa.

Na parte central da Figura 5.145 estão presentes: goethita pseudomórfica de anfibólio associada com hematitas martíticas porosas (micro e macroporos). Na porção inferior e a direita encontra-se goethita de alteração da magnetita com alguma hematita martítica relictas (finas lamelas), que está muito porosa e lembra a textura alveolar. Na porção superior e a esquerda encontra-se goethita botrioidal alterada e porosa.

A Figura 5.146 é para mostrar as diferentes goethitas: terrosa; botrioidais porosas e pouco porosas; pseudomórfica de anfibólio associada com quartzo também pseudomórfico do anfibólio.

A Figura 5.147 traz goethita pseudomórfica de anfibólio que está alterada e muito porosa.

A Figura 5.148 mostra goethita pseudomórfica de anfibólio mediantemente porosa (predominam macroporos) em associação com a hematita martítica euédrica e porosa e com o quartzo.

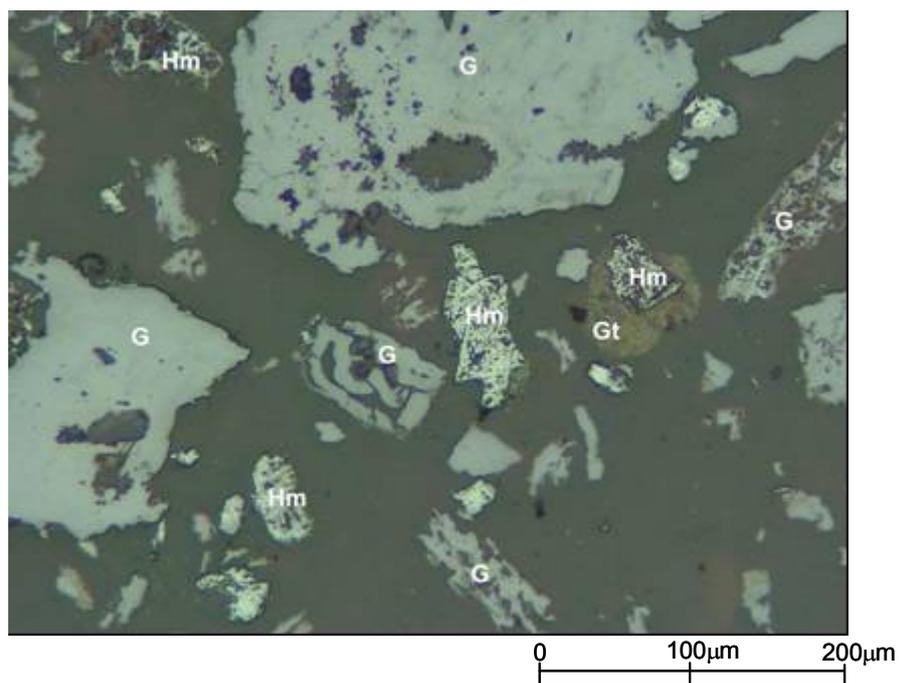


Figura 5.141 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota Concentrado) mostrando diferentes goethitas (botrioidal, de alteração da magnetita, pseudomórfica de anfibólio e terrosa) porosas e hematitas martíticas porosas. Aumento 200X. LRND.

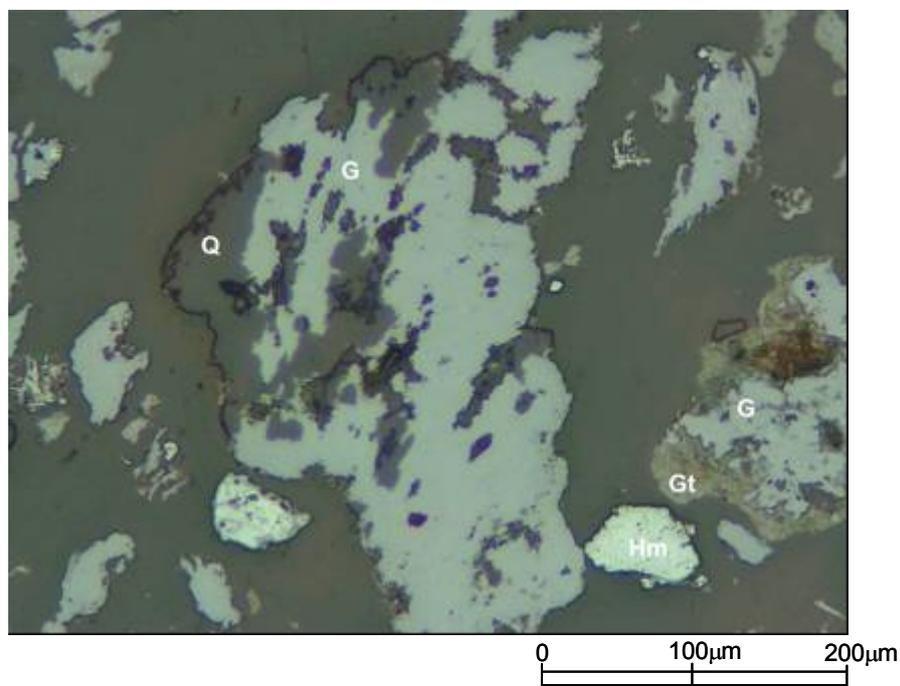


Figura 5.142 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota Concentrado) mostrando partícula contendo goethita e quartzo intimamente associados. Aumento 200X. LRND.

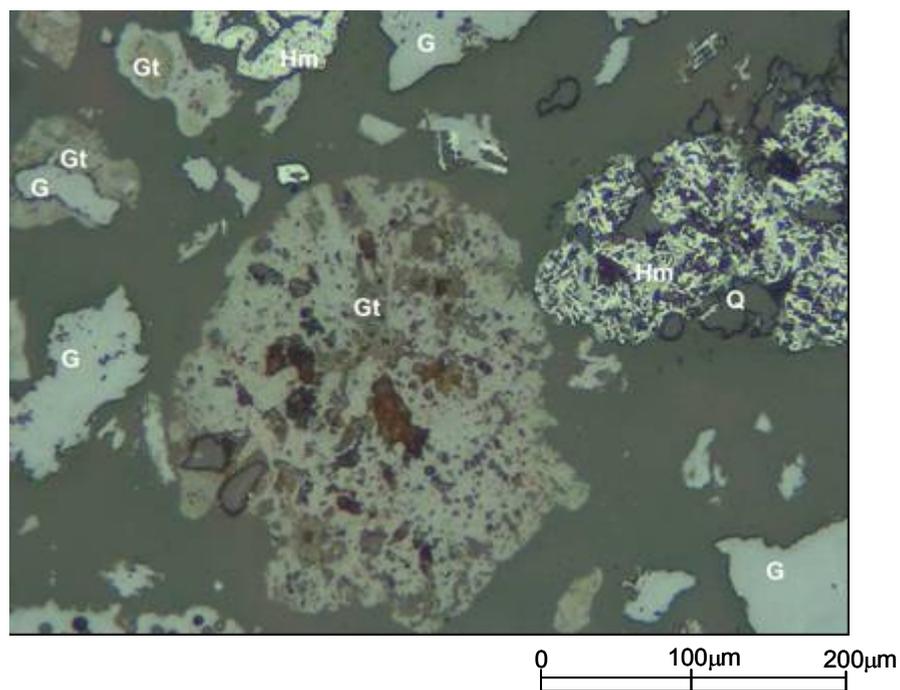


Figura 5.143 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota Concentrado) mostrando goethita muito alterada e porosa (terrosa) e hematita martítica muito porosa ambas associadas ao quartzo. Aumento 200X. LRND.

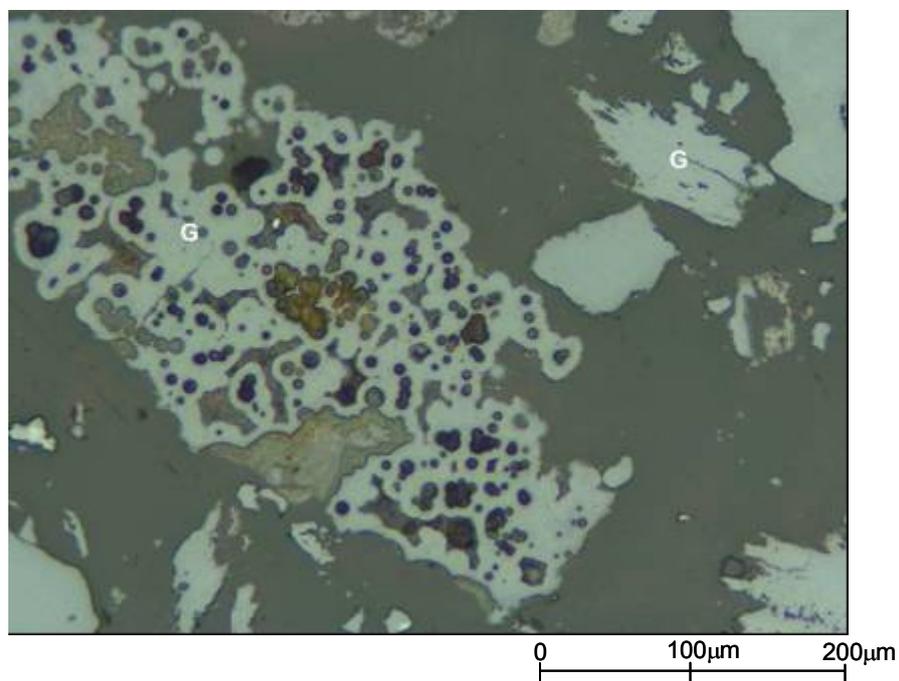


Figura 5.144– Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota Concentrado) mostrando goethita botrioidal alterada e porosa. Aumento 200X. LRND.

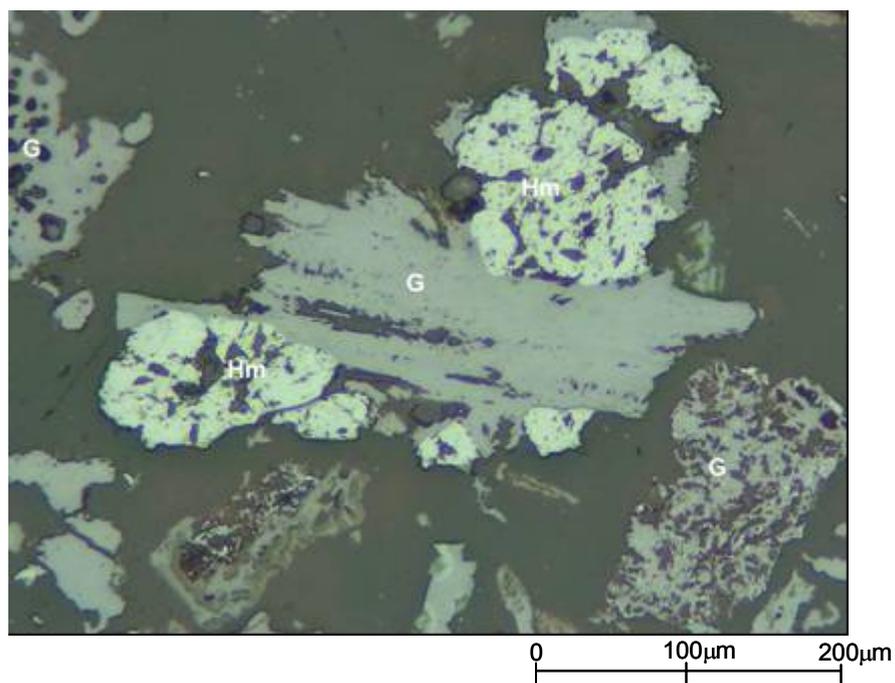


Figura 5.145 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota Concentrado) mostrando diferentes goethitas (pseudomórfica de anfibólio, botrioidal e de alteração da magnetita) e hematitas martítica porosas. Aumento 200X. LRND.

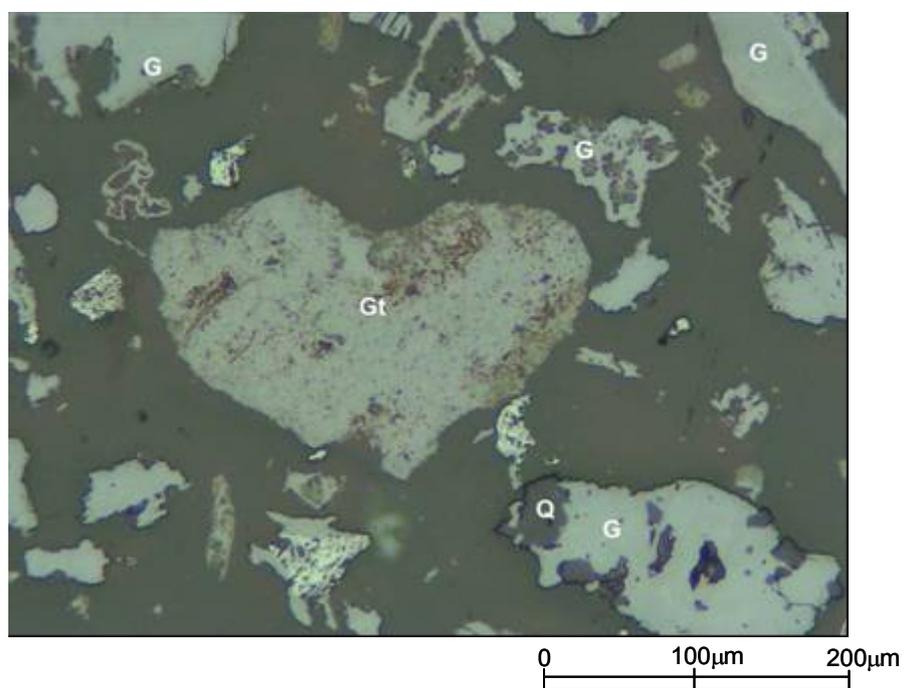


Figura 5.146 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota Concentrado) mostrando diferentes goethitas (terrosa, botrioidais e pseudomórficas de anfibólio). Aumento 200X. LRND.

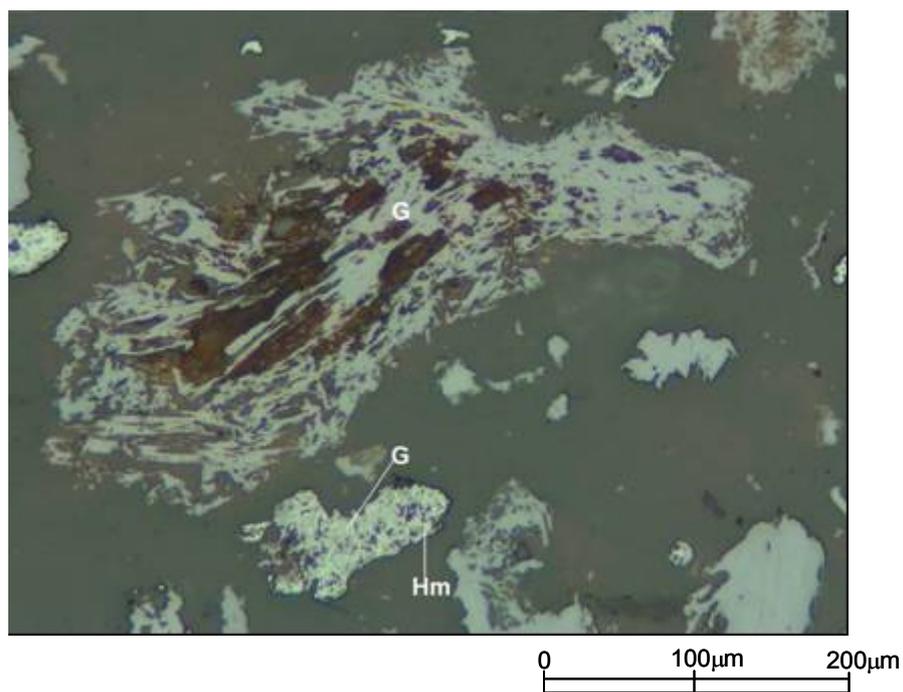


Figura 5.147 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota Concentrado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio que está alterada e porosa. Aumento 200X. LRND.

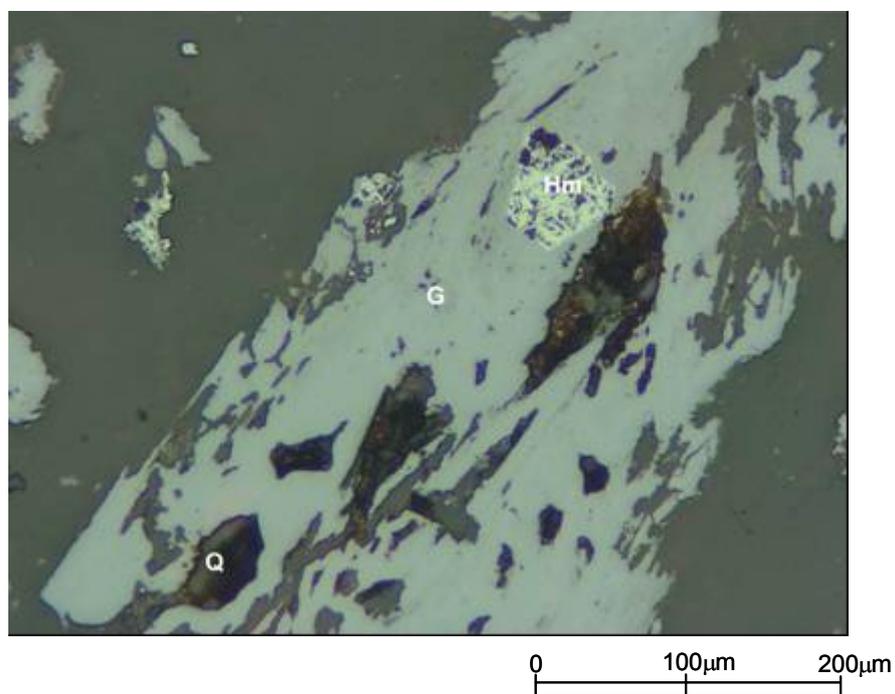


Figura 5.148 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota Concentrado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio associada com quartzo e hematita martítica euédrica e porosa. Aumento 200X. LRND.

(D) Amostra A91

O concentrado dessa amostra é composto basicamente por: hematita martítica e goethita presentes em proporções semelhantes; magnetita e quartzo em baixa concentração e traços de hematita lamelar. Igualmente ao *underflow*, o grau de alteração, bem como o de porosidade das fases de ferro presentes, são elevados e o tamanho das partículas é variado.

Como descrito para o *underflow*, a hematita martítica está presente em diferentes graus de alteração e de porosidade e pode ser encontrada desde pouco porosa contendo muita magnetita relictas, até relictos de hematita martítica em meio a goethita. As hematitas martíticas mais porosas e também goethitizadas são as mais comuns também no concentrado. Cristais isolados de hematita continuam raros.

Igualmente ao que foi observado para o *underflow*, a goethita está presente principalmente sob a forma de pseudomorfos de anfibólio muito porosos. Goethitas nas formas terrosa e produto de alteração da magnetita são também frequentes e, goethitas maciças e botrioidais estão em menor abundância que as demais.

O quartzo é normalmente anédrico, monocristalino e na maioria das vezes está liberado. Partículas mistas de quartzo associado aos outros minerais de ferro são ainda vistas.

A magnetita está presente em baixa proporção e é encontrada relictas dentro das hematitas martíticas.

A Figura 5.149 mostra uma grande partícula formada por goethita botrioidal associada com o quartzo.

A Figura 5.150 traz uma grande partícula formada por associação de hematitas martíticas subédricas a anédricas, que estão microporosas.

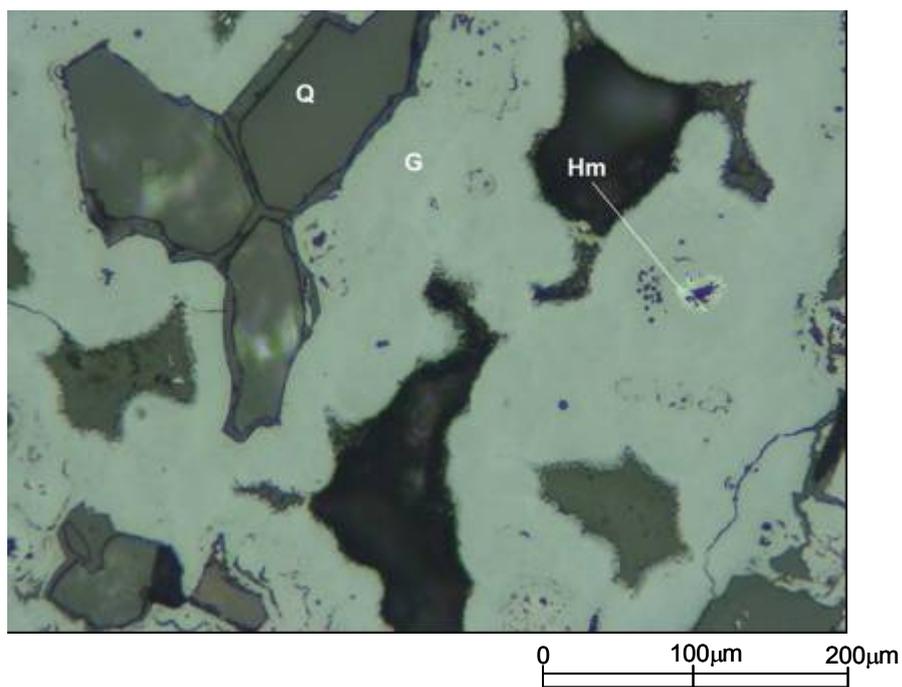


Figura 5.149 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Concentrado) mostrando goethita botrioidal associada com quartzo. Aumento 200X. LRND.

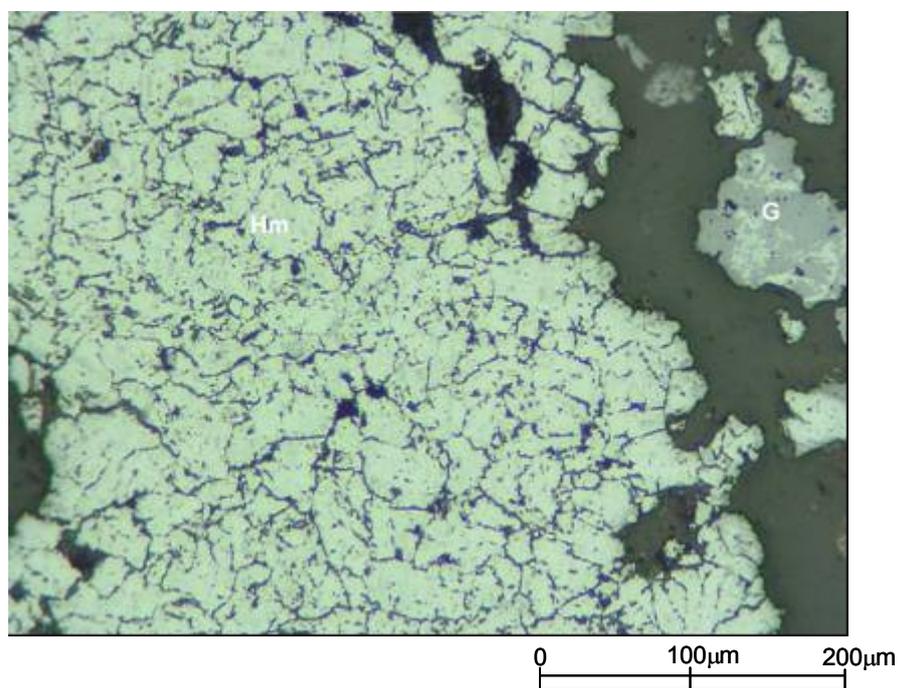


Figura 5.150 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Concentrado) mostrando hematitas martíticas subédricas a anédricas microporosas. Aumento 200X. LRND.

A Figura 5.151 mostra goethitas pseudomórficas de anfibólio associadas com hematitas martíticas microporosas. Notar que há diferença na orientação das goethitas pseudomórficas (anfibólio) e das hematitas martíticas (associadas).

Na Figura 5.152 estão presentes goethitas botrioidais porosas, goethita terrosa, hematitas martíticas porosas (micro e macroporos) e quartzo liberado.

A Figura 5.153 traz goethita pseudomórfica de anfibólio (mediamente porosa) em associação com hematitas martíticas microporosas e quartzo. São ainda observadas hematitas martíticas porosas (micro e macroporosas).

Na Figura 5.154 estão presentes hematitas martíticas muito porosas (praticamente esqueletais) associadas com a goethita botrioidal (pouco porosa) e quartzo.

A Figura 5.155 é para ilustrar as hematitas martíticas com diferentes tipos de porosidades. Assim a partícula localizada na porção centro e a direita está a mais porosa de todas e apresenta tanto micro como macroporos. As outras partículas de hematita martítica apresentam-se um pouco menos porosa e prevalecem os microporos.

A Figura 5.156 enfoca principalmente a presença do quartzo associado aos outros minerais (ferro). Assim, na região superior e a esquerda da figura pode ser visto o quartzo associado com a goethita botrioidal e de alteração da magnetita (contendo lamelas de hematita martítica relictas). Na parte central observa-se partícula formada por: hematitas martíticas subédricas microporosas também goethitizadas e podendo conter magnetita relictas; magnetitas subédricas martitizadas e/ou goethitizadas; goethita botrioidal intragranular e quartzo.

A Figura 5.157 é para mostrar, principalmente, a goethita pseudomórfica de anfibólio alterada e porosa e, situada ao seu lado (esquerdo), a presença da goethita botrioidal porosa associada com hematitas martíticas bem porosas.

A Figura 5.158 traz goethita pseudomórfica de anfibólio (centro), hematitas martíticas microporosas quartzo aparentemente pseudomórfico de anfibólio.

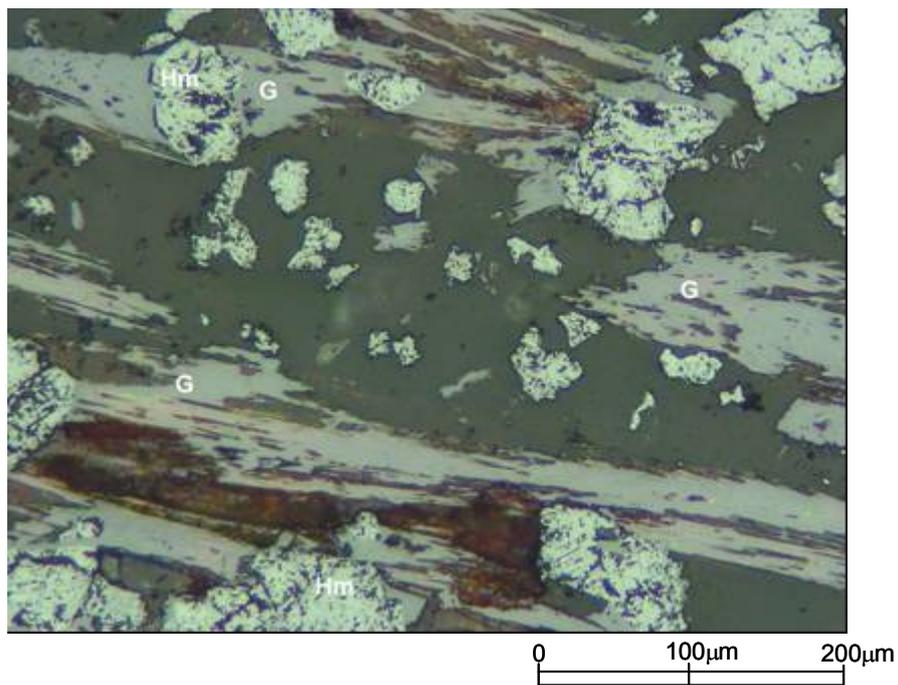


Figura 5.151 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Concentrado) mostrando goethitas pseudomórficas de anfibólio e hematitas martíticas microporosas. Aumento 200X. LRND.

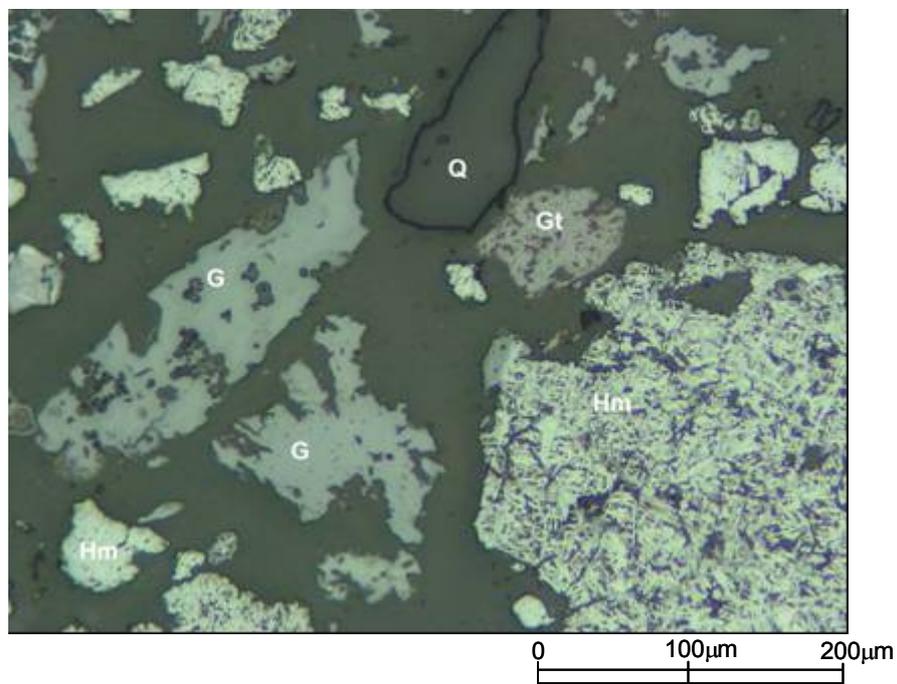


Figura 5.152 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Concentrado) mostrando goethitas botrioidais porosas, goethita terrosa, hematitas martíticas porosas (micro e macroporos) e quartzo liberado. Aumento 200X. LRND.

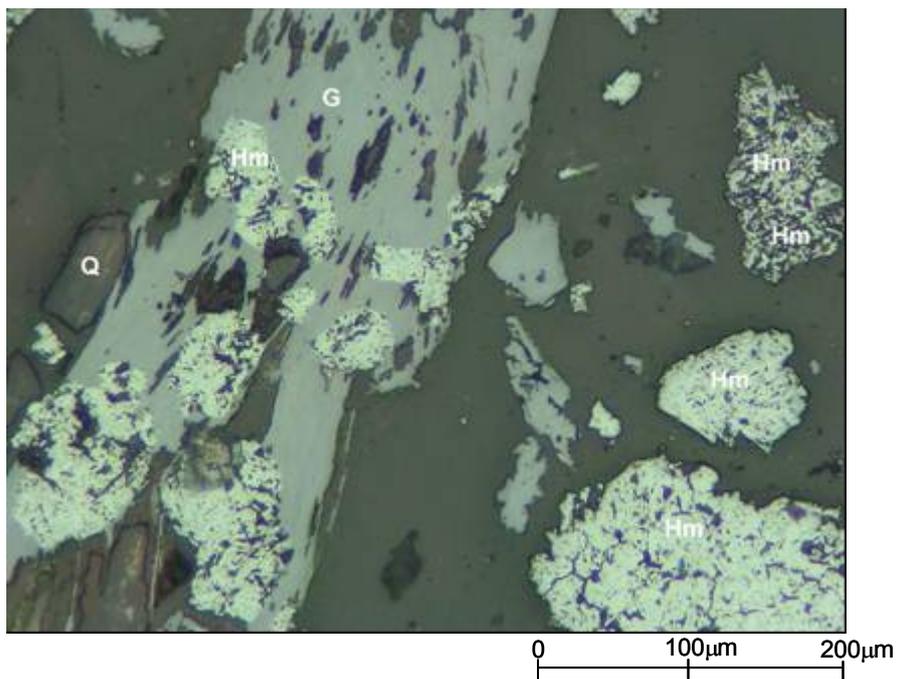


Figura 5.153 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Concentrado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio, hematitas martíticas porosas (micro e macroporos) e quartzo. Aumento 200X. LRND.

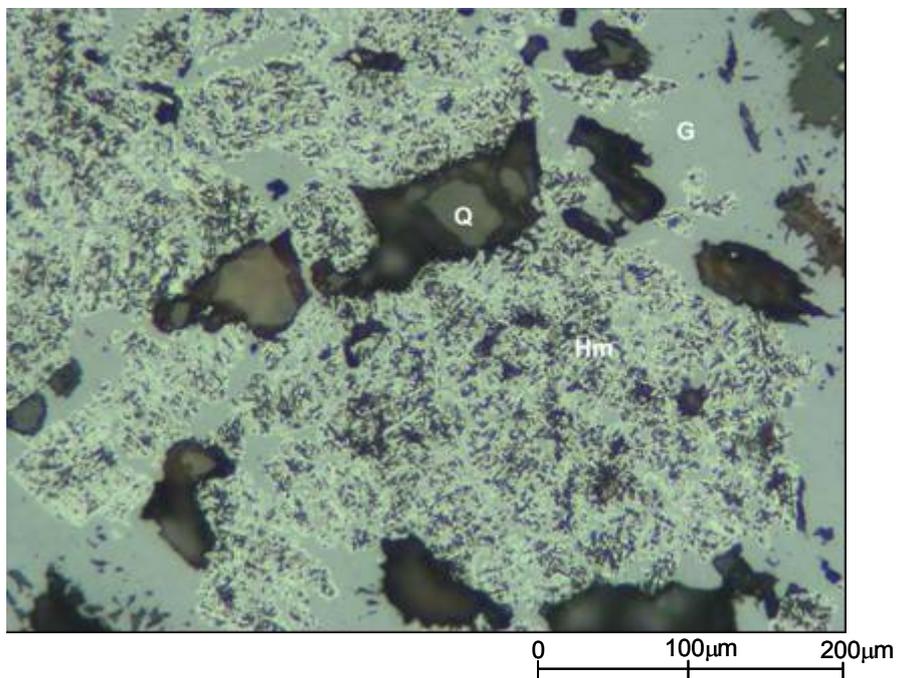


Figura 5.154 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Concentrado) mostrando hematitas martíticas muito porosas (praticamente esqueletais) associadas com a goethita botrioidal e quartzo. Aumento 200X. LRND.

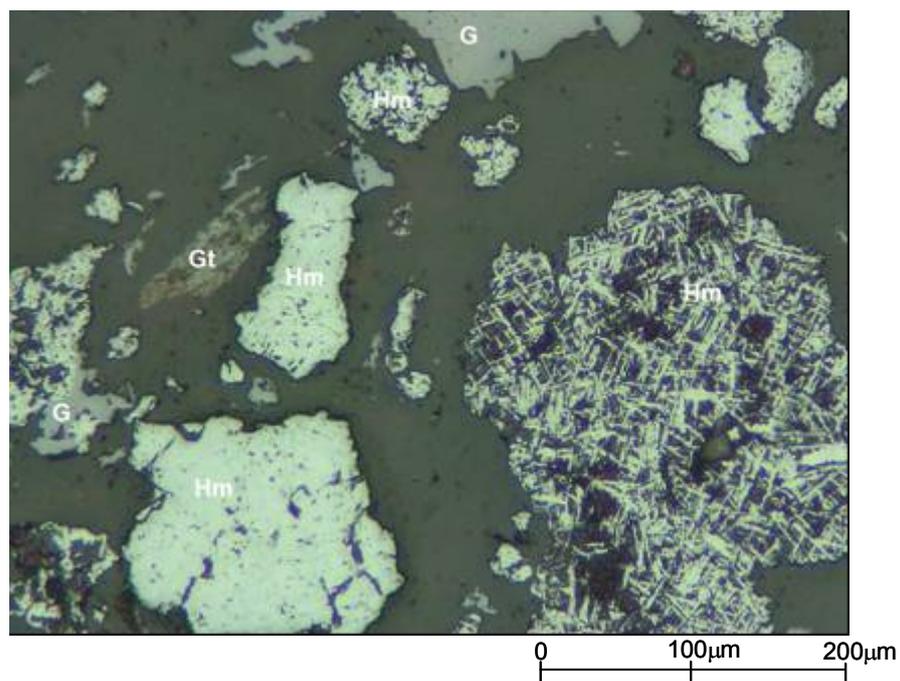


Figura 5.155 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Concentrado) mostrando hematitas martíticas com diferentes porosidades (microporosas e macroporosas). Aumento 200X. LRND.

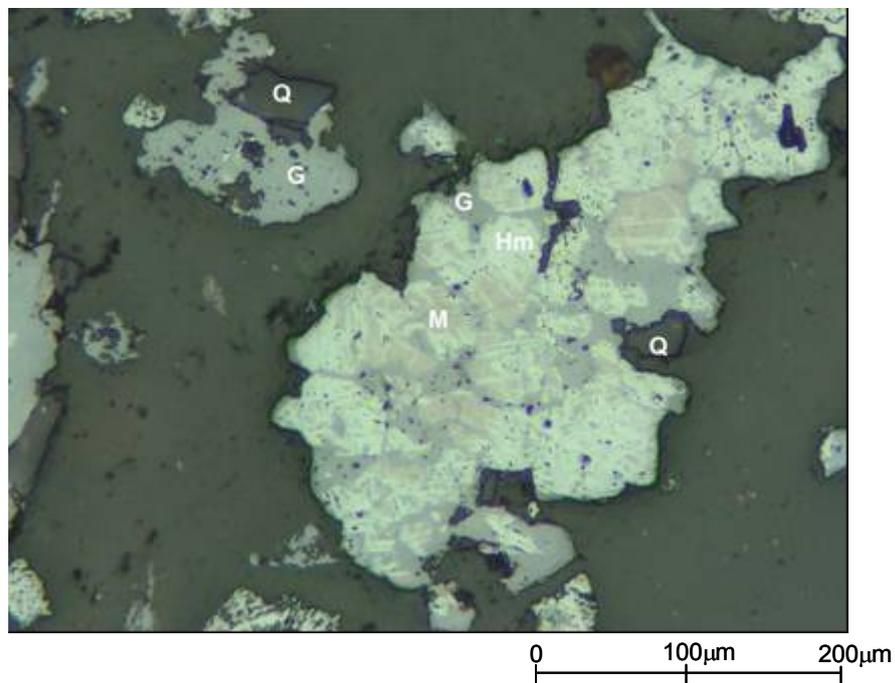


Figura 5.156 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Concentrado) mostrando goethitas (botrioidal e de alteração da magnetita), hematitas martíticas microporosas, magnetita e quartzo. Aumento 200X. LRND.

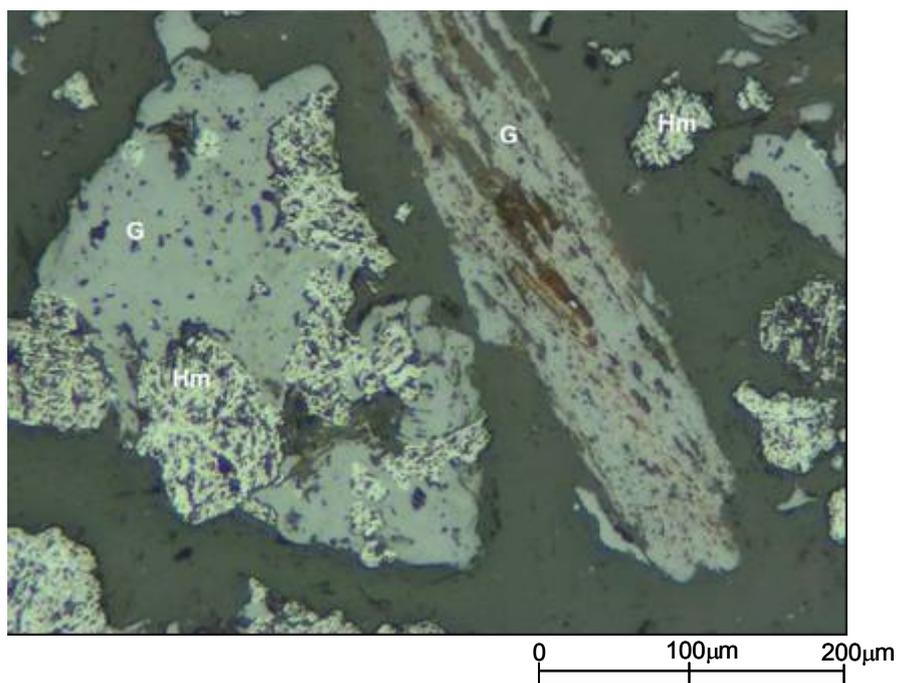


Figura 5.157 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Concentrado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio alterada e porosa e goethita botrioidal porosa associada com hematitas martíticas bem porosas. Aumento 200X. LRND.

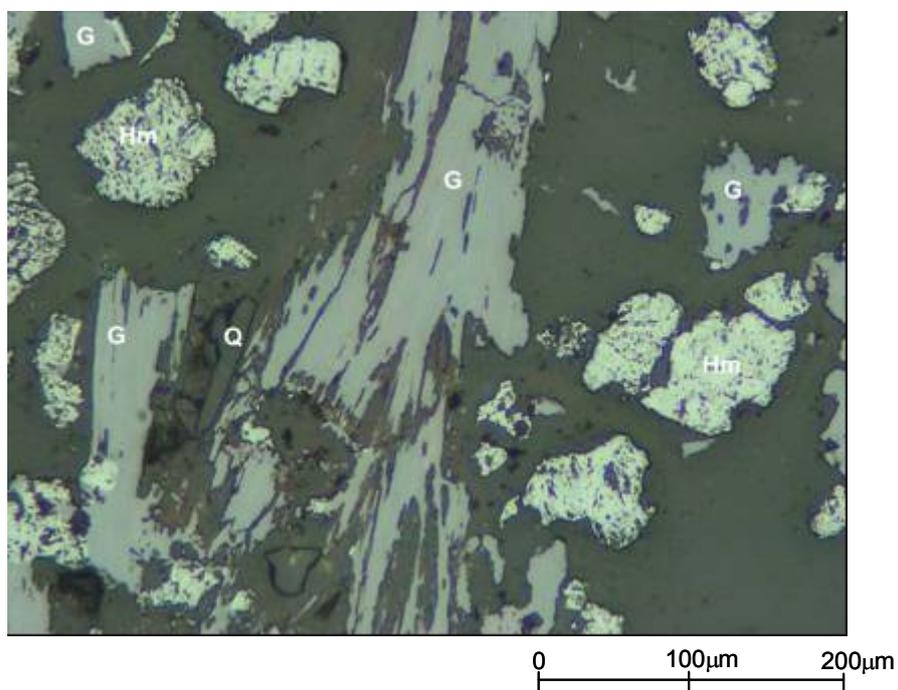


Figura 5.158 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Concentrado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio (centro), hematitas martíticas microporosas e quartzo. Aumento 200X. LRND.

(E) Amostra A93

O concentrado dessa amostra é composto basicamente por: hematita martítica e goethita presentes em igual proporção; quartzo em baixa concentração; magnetita e hematita lamelar em muito baixas concentrações (praticamente traços). Igualmente ao *underflow*, o grau de alteração, bem como o de porosidade das fases de ferro presentes, são elevados e o tamanho das partículas é variado.

Como no *underflow*, as hematitas martíticas apresentam-se em diferentes graus de alteração e porosidade, sendo as mais porosas mais abundantes. A hematita lamelar ocorre como no *underflow* (agregada) e também é observada apenas localmente.

A goethita ocorre como no *underflow*. Assim, pode estar presente sob a forma de pseudomorfos de anfibólio, produto da goethitização das magnetitas dentro de hematitas martíticas, botrioidal, maciça e terrosa (menos abundantes). Em todos os casos a porosidade é relativamente alta.

O quartzo é normalmente anédrico, monocristalino e na maioria das vezes está liberado. Partículas mistas de quartzo associado a minerais de ferro ainda podem ser vistas.

A magnetita, como no *underflow*, normalmente é encontrada na forma relictas dentro das hematitas martíticas.

A Figura 5.159 é para mostrar partícula central formada goethita botrioidal intragranular associada com hematitas martíticas porosas (micro e macroporos) e com o quartzo.

A Figura 5.160 mostra uma partícula mista de quartzo e hematitas martíticas porosas (micro e macroporos) que estão também goethitizadas.

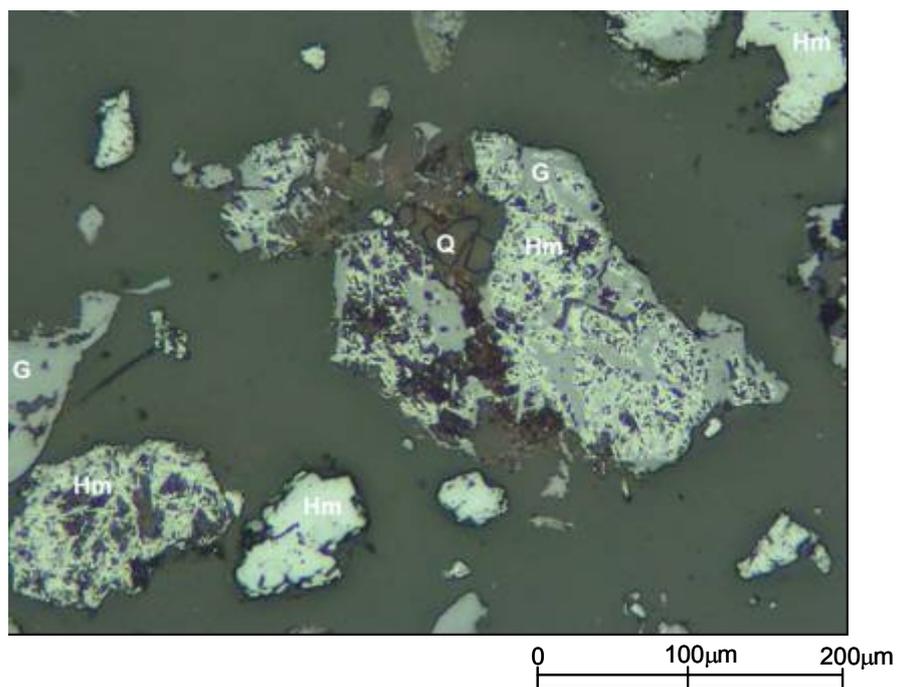


Figura 5.159 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota Concentrado) mostrando goethita botrioidal intragranular associada com hematitas martíticas porosas (micro e macroporos) e quartzo. Aumento 200X. LRND.

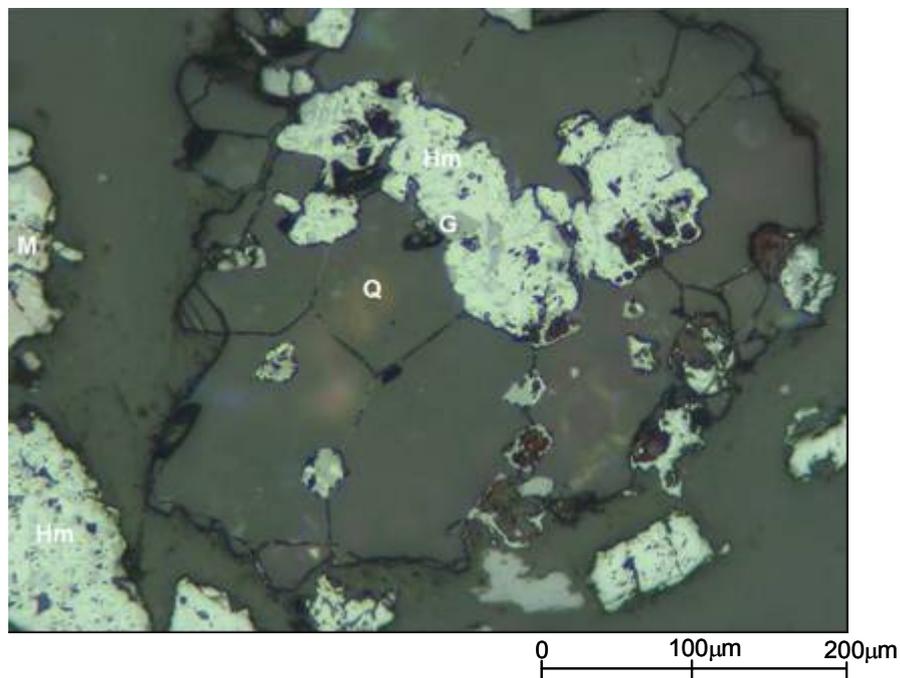


Figura 5.160 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota Concentrado) mostrando partícula mista de quartzo e hematitas martíticas porosas (micro e macroporos) também goethitizadas. Aumento 200X. LRND.

A Figura 5.161 mostra, na parte central, uma partícula formada pela associação de quartzo, goethita botrioidal intragranular e hematitas martíticas microporosas podendo conter magnetita relictas e/ou estarem também goethitizadas. São observadas também outras hematitas martíticas subédricas e microporosas (porção inferior), goethita botrioidal porosa (alto e a esquerda) e quartzo.

Na Figura 5.162 está presente partícula de goethita terrosa contendo os “moldes” da caulinita anterior. Também são observadas hematitas martíticas subédricas a anédricas, microporosas e associadas com goethita botrioidal intragranular.

A Figura 5.163 é para mostrar, principalmente, as presenças de magnetitas em diferentes estágios de processo de martitização e goethitização. Assim, as magnetitas presentes na partícula localizada na região centro e a esquerda da foto estão menos martitizadas e mais goethitizadas, que as magnetitas da partícula situada a sua direita. Notar a presença de quartzo associado a essas duas partículas, bem como a ocorrência de outras hematitas martíticas microporosas não apresentando a magnetita relictas.

A Figura 5.164 mostra principalmente goethita botrioidal em associação com hematitas martíticas porosas (micro e macroporos) também goethitizadas e que estão relictas (aspecto de impressão) em meio a essa goethita. Notar que em alguns locais o contato entre a goethita botrioidal e a goethita de alteração da magnetita não está nítido. Isso indica um alto grau de hidratação.

Na Figura 5.165 ilustra, em sua parte central, goethita pseudomórfica de anfibólio alterada e porosa.

A Figura 5.166 mostra na região central, goethita pseudomórfica de anfibólio porosa, hematitas martíticas microporosas e goethitas botrioidais pouco porosas.

A Figura 5.167 é para mostrar a presença de hematitas martíticas de diferentes tipos de porosidade (microporosas e macroporosas).

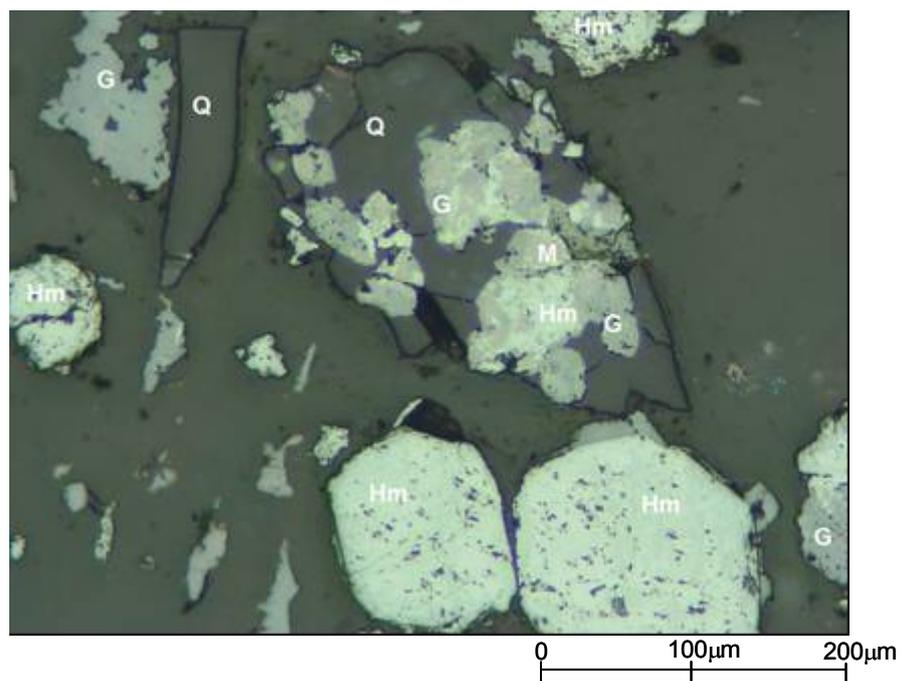


Figura 5.161 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota Concentrado) mostrando goethitas (botrioidal e de alteração da magnetita), hematitas martíticas microporosas, quartzo e magnetita. Aumento 200X. LRND.

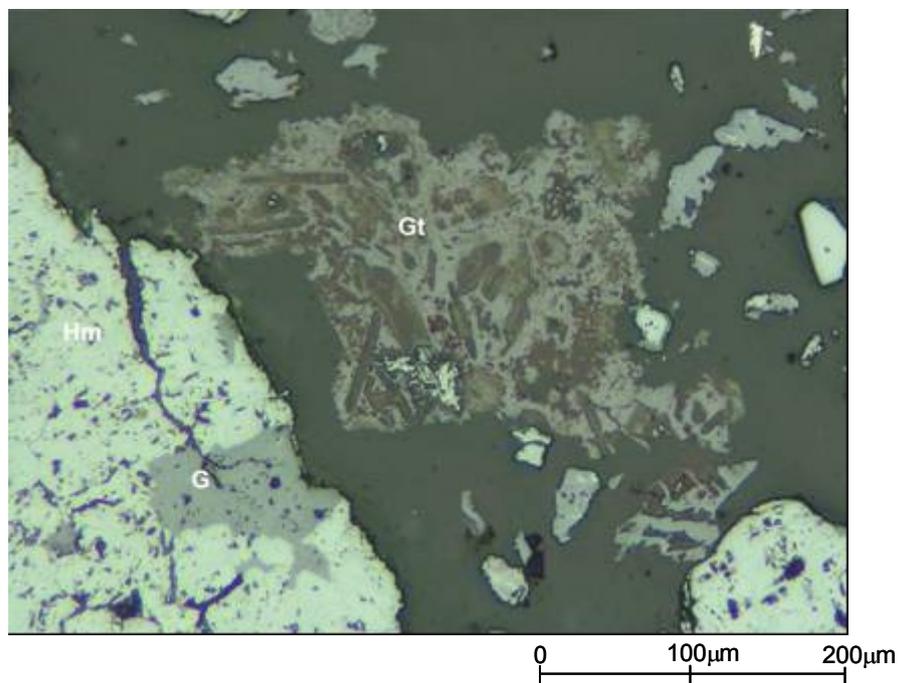


Figura 5.162 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota Concentrado) mostrando goethita terrosa com “moldes” de caulinita e hematitas martíticas microporosas associadas com goethita botrioidal intragranular. Aumento 200X. LRND.

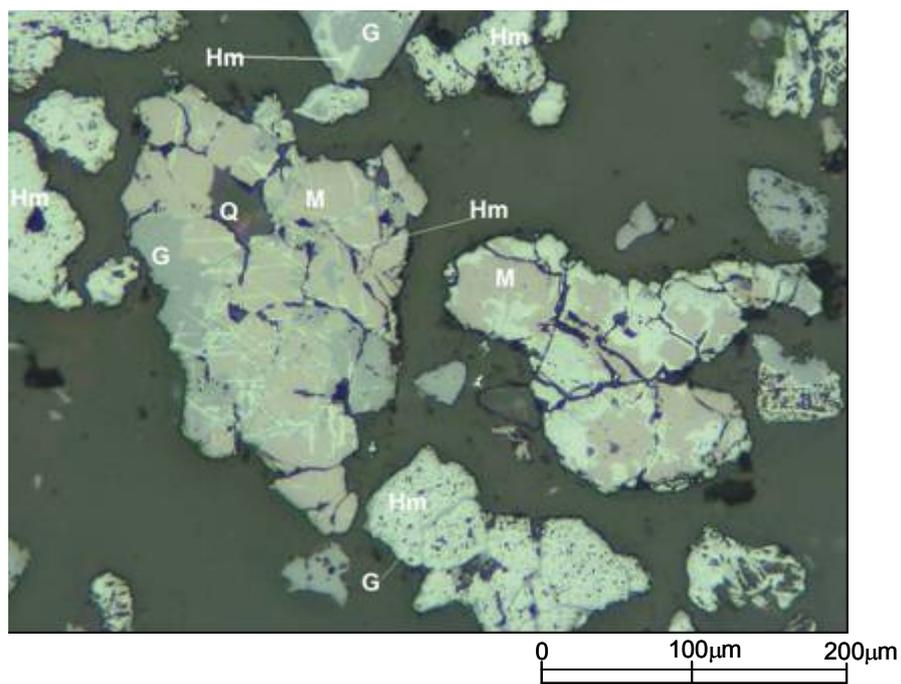


Figura 5.163 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota Concentrado) mostrando magnetitas martitizadas e goethitizadas, hematitas martíticas microporosas e quartzo. Aumento 200X. LRND.

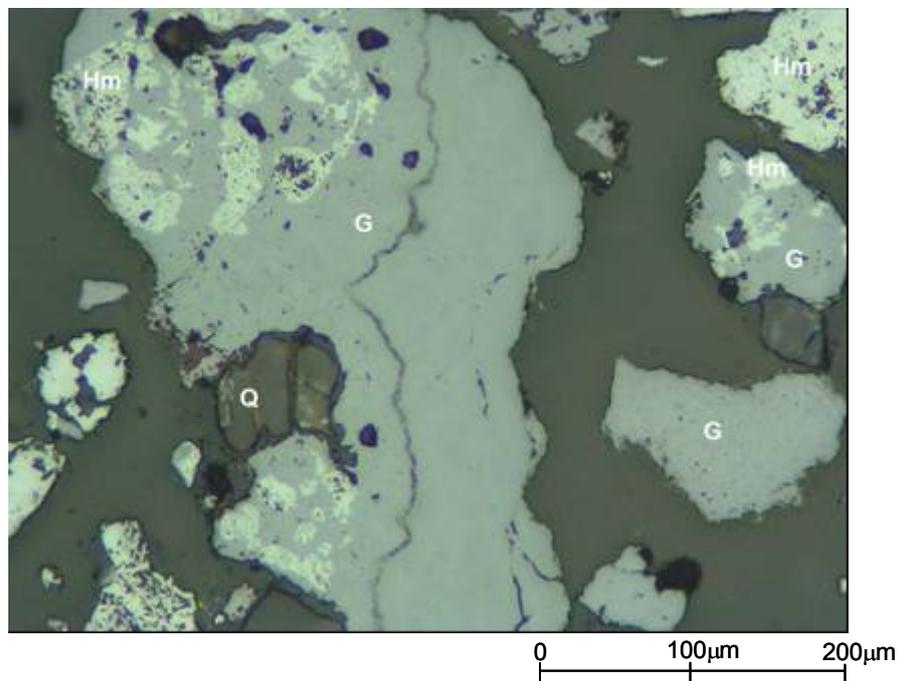


Figura 5.164 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota Concentrado) mostrando goethitas botrioidais, hematitas martíticas microporosas e quartzo. Aumento 200X. LRND.

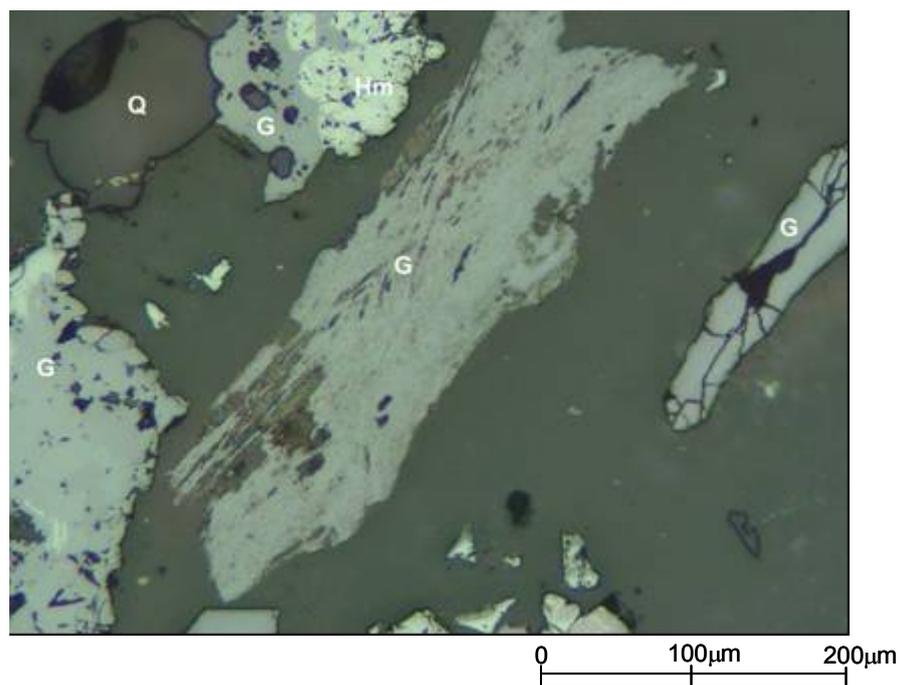


Figura 5.165 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota Concentrado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio alterada e porosa (região central). Aumento 200X. LRND.

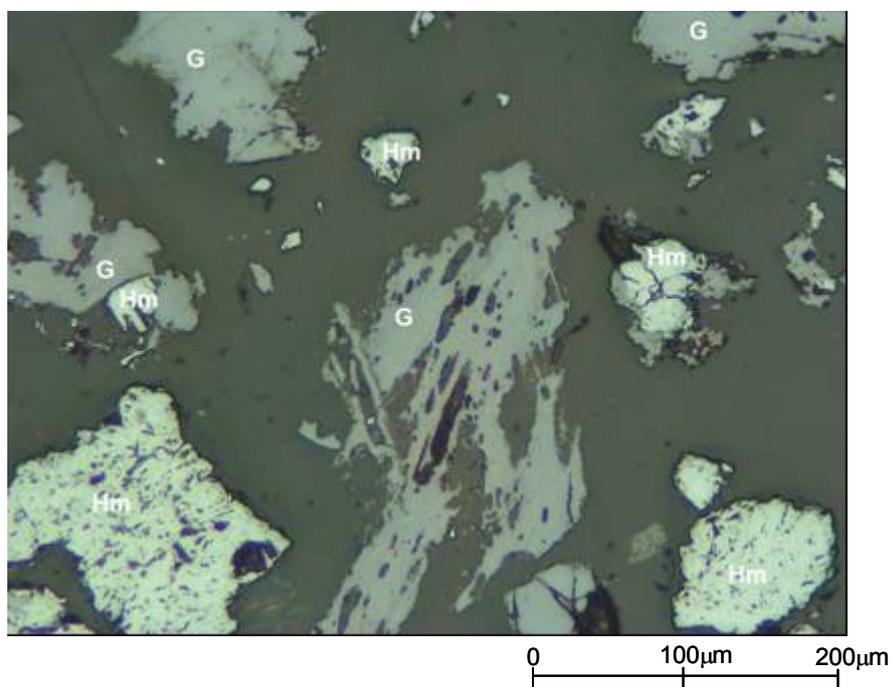


Figura 5.166 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota Concentrado) mostrando goethita pseudomórfica de anfibólio (centro), hematitas martíticas microporosas e goethitas botrioidais. Aumento 200X. LRND.

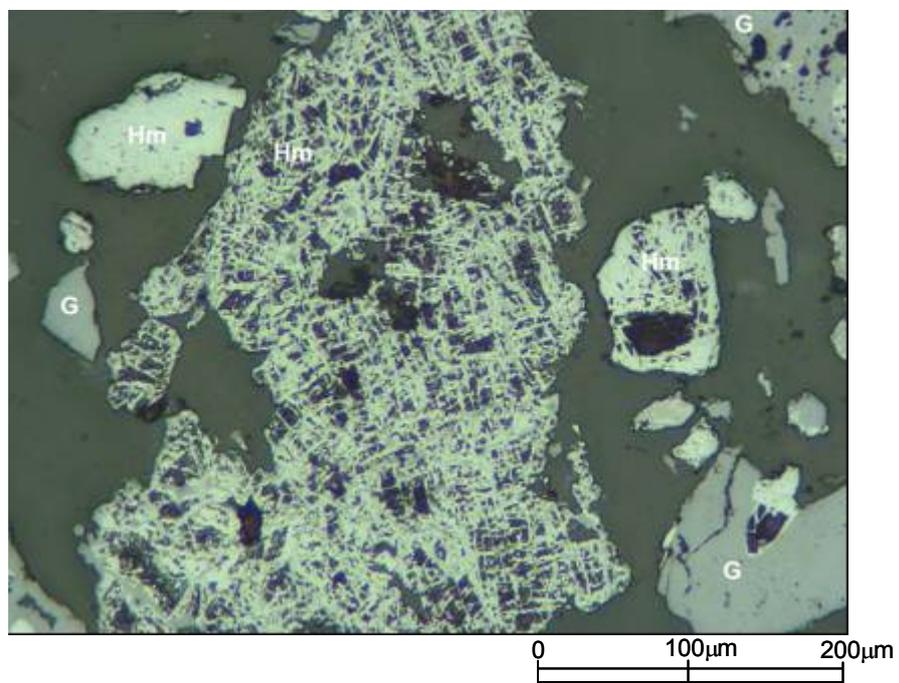


Figura 5.167 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota Concentrado) mostrando hematitas martíticas de diferentes porosidades. Aumento 200X. LRND.

5.3.4.2 Análise comparativa da mineralogia das seções polidas

A observação geral é que para todas as amostras as formas com que os minerais se apresentam, bem como a abundância em que cada forma está presente, praticamente não sofrem variações do *underflow* para o concentrado. O que varia é a abundância em que cada fase mineralógica encontra-se antes (*underflow*) e após o processo de flotação (concentrado). Assim, as mesmas observações referentes às formas em que os minerais estão presentes no *underflow* de cada amostra, são válidas para o concentrado da mesma amostra.

A amostra A61 destaca-se como sendo aquela em que mais se observa a presença de partículas mistas (quartzo e minerais de ferro).

5.3.5 Alíquotas Rejeito

Os resultados das análises mineralógicas quantitativas e qualitativas/semiquantitativas das alíquotas de rejeito das cinco amostras de itabirito anfíbolítico estão listados nas tabelas V.22 e V.23. Os difratogramas de raios-X dessas alíquotas estão disponíveis nos anexos (Anexo 7).

Fazendo-se a análises dos dados das duas tabelas anteriores, nota-se que como para as alíquotas anteriores há boa concordância entre as duas técnicas de análise mineralógica. Assim, o quartzo é o mineral mais abundante em todas as amostras. A goethita e a hematita martítica estão presentes em baixa proporção e na amostra A31, foi determinada também a presença da caulinita em baixa concentração. Note-se que na lama e no concentrado dessa amostra foi também detectada a gibbsita, que não está presente no rejeito. Assim, ou ela está ausente ou se presente, está em concentração inferior ao limite de detecção. A pouca magnetita presente não foi detectada pela difratometria de raios-X em nenhuma das amostras, pelos motivos já explicados anteriormente e a hematita lamelar está praticamente ausente.

Tabela V.22 – Resultados das análises mineralógicas quantitativas das alíquotas Rejeito – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.

Alíquotas Rejeito												
Amostras	He (%)		Hm (%)		G (%)		M (%)		Q (%)		C e Gb (%)	
	Vol	Peso	Vol	Peso	Vol	Peso	Vol	Peso	Vol	Peso	Vol	Peso
A31	1,10	2,00	2,40	3,80	15,00	21,90	0,10	0,30	76,60	67,60	4,80	4,40
A61	0,00	0,00	8,30	14,60	3,20	4,70	2,40	4,20	86,10	76,50	-	-
A62	0,40	0,80	4,00	7,20	3,70	5,70	0,60	1,00	91,30	85,30	-	-
A91	0,00	0,00	4,30	7,80	4,70	7,20	0,60	1,10	90,40	83,90	-	-
A93	0,00	0,00	3,10	5,70	2,30	3,50	1,20	2,20	93,40	88,60	-	-

Tabela V.23 – Resultados das análises de difratometria de raios-X das alíquotas Rejeito – amostras A31, A61, A62, A91 e A93.

Alíquotas Rejeito					
Amostra	Mineralogia Presente				
	Abundante	Baixa		Traços	
A31	<i>Quartzo</i>	<i>Goethita</i>	<i>Caulinita</i>	<i>Hematita</i>	-
A61	<i>Quartzo</i>	-	<i>Hematita</i>	<i>Goethita</i>	-
A62	<i>Quartzo</i>	-	-	<i>Goethita</i>	<i>Hematita</i>
A91	<i>Quartzo</i>	-	-	<i>Goethita</i>	<i>Hematita</i>
A93	<i>Quartzo</i>	-	-	<i>Goethita</i>	<i>Hematita</i>

Confrontando-se os resultados das análises mineralógicas de cada uma dessas alíquotas (Rejeito) com seus respectivos resultados de análises químicas (Tabela V.13), pode-se notar que como ocorre para as alíquotas anteriores, há boa concordância entre as técnicas de análises químicas e mineralógicas. Assim:

1. Para todas as amostras os teores de SiO_2 e de Fe_T são coerentes e compatíveis com a abundância dos minerais quartzo, caulinita, goethita, hematita e magnetita presentes em suas mineralogias.
2. A amostra A31, que continua com o teor de Al_2O_3 mais elevado que o das demais amostras, apresenta a caulinita em baixa proporção. Para todas as amostras, como já foi explicado anteriormente, parte dessa alumina deve estar alojada na estrutura das goethitas.
3. Os teores de PPC estão coerentes com a abundância da goethita e da caulinita (quando presente).
4. Quanto aos teores de P e MnO_2 , as mesmas afirmações efetuadas para as alíquotas anteriores.
5. Os teores de FeO são baixos, como também os são os de magnetita indicando a boa concordância entre os resultados.

5.3.5.1 Descrição mineralógica qualitativa das seções polidas

Para todas as amostras, como já era o esperado, o quartzo é o mineral mais abundante e, portanto, o principal mineral presente. Ele normalmente está anédrico, encontra-se preferencialmente liberado, mas não são raros aqueles que apresentam inclusões de minerais de ferro ou encontram-se ainda associados a eles. A amostra A61 é na que mais se observa essa ocorrência de quartzo ainda associado aos minerais de ferro (não liberado).

Os minerais de ferro e a caulinita (detectada apenas na amostra A31) ocorrem com as mesmas formas já descritas para as alíquotas anteriores, mas em tamanhos bem menores (granulação fina). Isso já era o esperado, pois no processo de flotação as partículas mais finas de minerais de ferro ou aquelas que ainda encontram-se associadas ao quartzo são arrastadas para o rejeito. A caulinita, quando liberada, fica preferencialmente no rejeito.

Os graus de alteração e o de porosidade dos minerais de ferro de todas as amostras permanecem os mesmos já descritos para as demais alíquotas.

Nesse caso também, a amostra A61 é aquela em que mais se observam partículas mistas (quartzo e minerais de ferro).

As figuras 5.168 e 5.169 são fotomicrografias do rejeito da amostra A31. Na primeira figura observam-se partículas de quartzo de tamanhos variados, pequenas partículas de goethita botrioidal e hematita martítica microporosa também goethitizada. Na segunda figura são também observadas várias partículas de quartzo, uma hematita lamelar (especularítica), hematita martítica e goethita. Em ambas as figuras o quartzo está preferencialmente liberado.

As figuras 5.170 e 5.171 são fotomicrografias do rejeito da amostra A61. Na primeira estão presentes partículas liberadas de quartzo, hematita martítica microporosa (goethitizada) e magnetita martitizada e também, uma partícula mista formada de quartzo e minerais de ferro (goethita botrioidal, hematitas martíticas microporosas). A segunda figura traz uma grande partícula mista de quartzo e minerais de ferro (goethita botrioidal e de alteração da magnetita; hematitas martíticas microporosas e esqueletais; magnetita) todos de granulação mais grossa.

As figuras 5.172 e 5.173 são fotomicrografias do rejeito da amostra A62. A primeira mostra várias partículas de quartzo liberado e uma partícula formada por goethita associada com o quartzo (alongado) sendo ambos, aparentemente, pseudomórficos de anfibólio. A segunda figura traz várias partículas de quartzo liberado e uma onde ele encontra-se associado com hematitas martíticas microporosas e magnetita.

As figuras 5.174 e 5.175 são fotomicrografias do rejeito da amostra A91. Na primeira estão presentes partículas de quartzo liberado e uma partícula formada principalmente por goethita pseudomórfica de anfibólio. Na segunda figura está enfocada a presença de fibra de quartzo pseudomórfico de anfibólio.

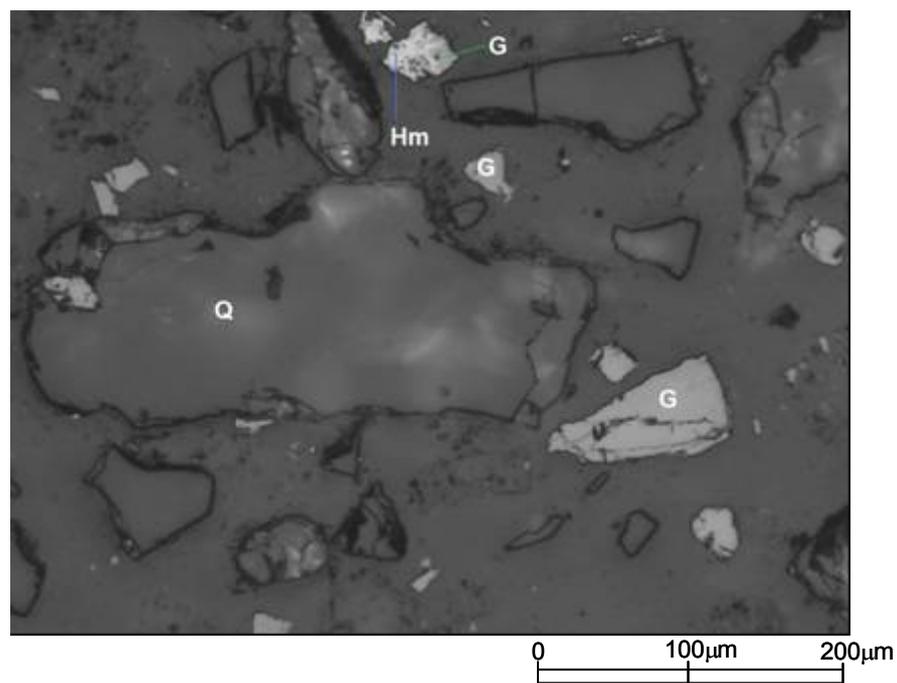


Figura 5.168 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota Rejeito) mostrando quartzos de tamanhos variados, goethitas botrioidais e hematita martítica (goethitizada). Aumento 200X. LRND.

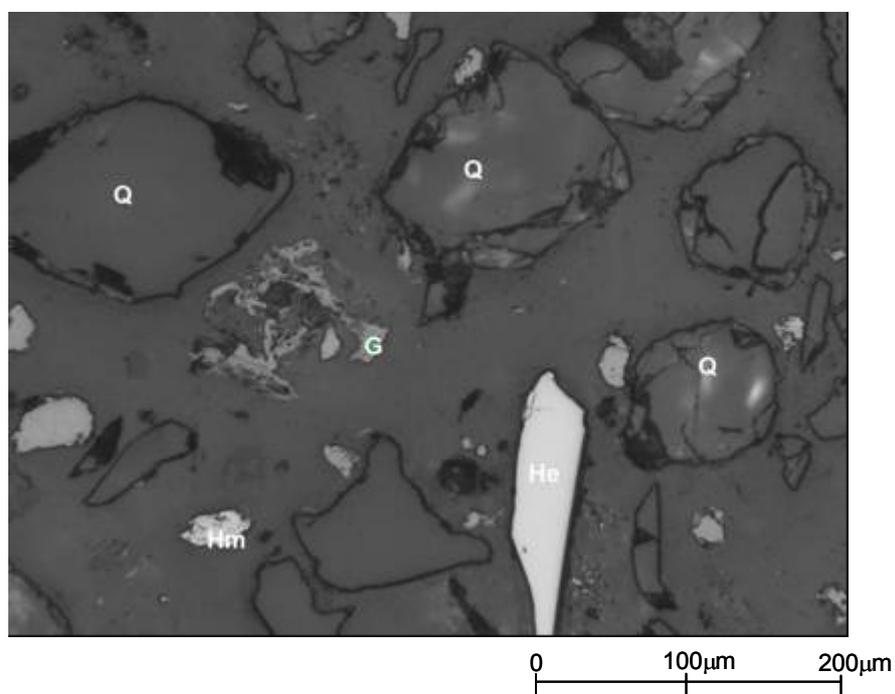


Figura 5.169 – Fotomicrografia da amostra A31 (alíquota Rejeito) mostrando quartzos, hematita lamelar, hematita martítica e goethitas. Aumento 200X. LRND.

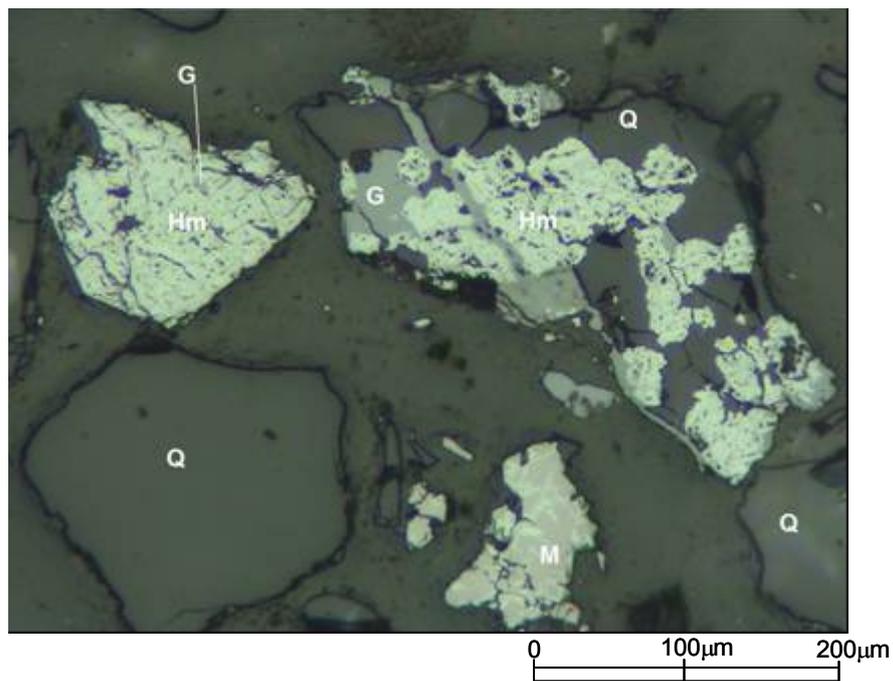


Figura 5.170 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota Rejeito) mostrando partículas de quartzo, hematita martítica goethita botrioidal e magnetita. Aumento 200X. LRND.

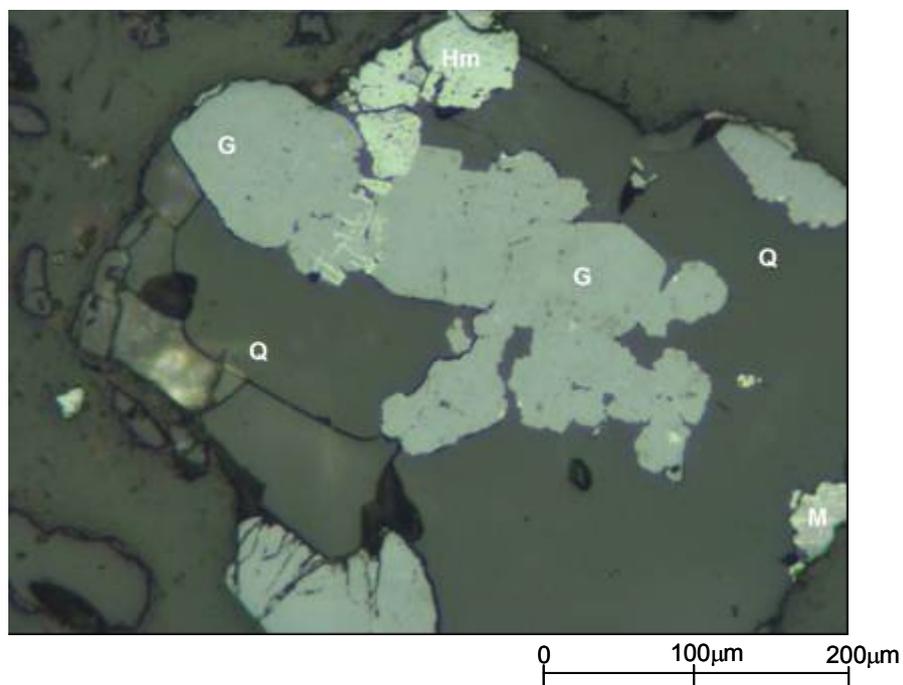


Figura 5.171 – Fotomicrografia da amostra A61 (alíquota Rejeito) mostrando quartzo associado com goethitas (botrioidal e de alteração da magnetita), hematitas martíticas microporosas e magnetita. Aumento 200X. LRND.

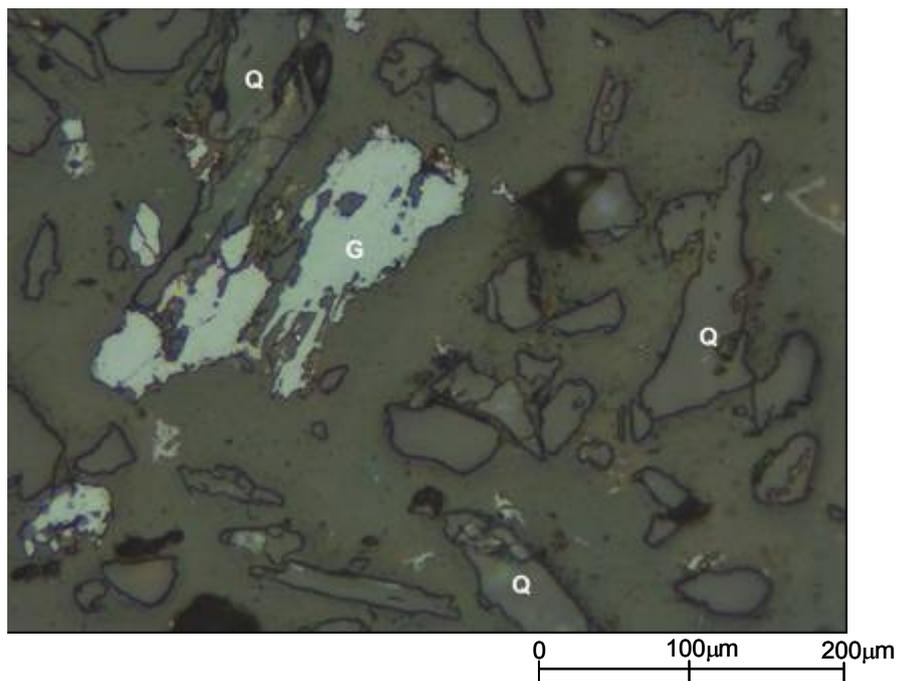


Figura 5.172 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota Rejeito) mostrando partículas de quartzo, goethita pseudomórfica de anfibólio associada a quartzo pseudomórfico de anfibólio. Aumento 200X. LRND.

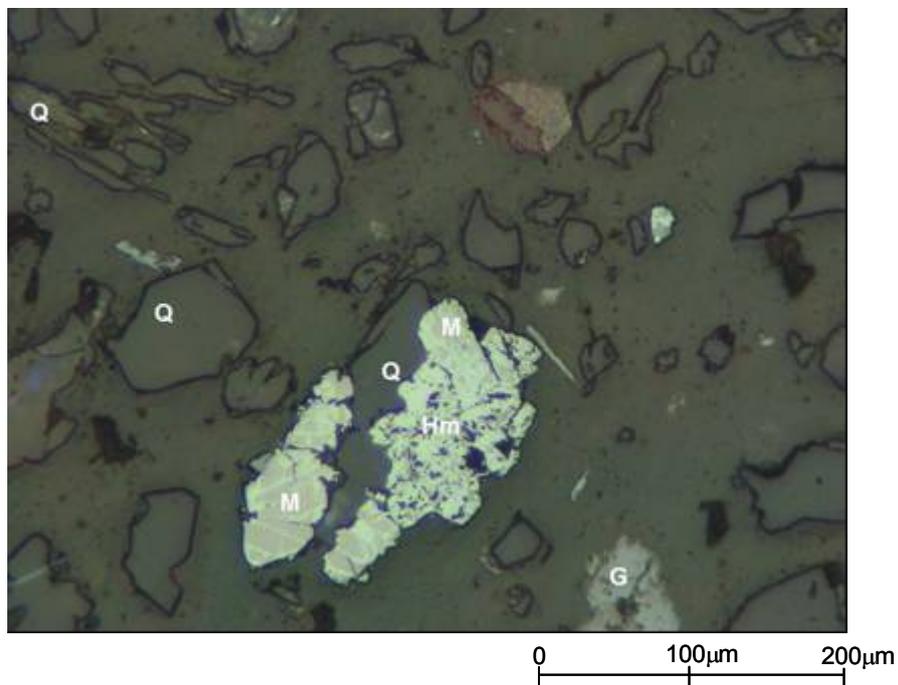


Figura 5.173 – Fotomicrografia da amostra A62 (alíquota Rejeito) mostrando partículas de quartzo, hematita martítica microporosa, goethita alterada (botrioidal) e magnetita. Aumento 200X. LRND.

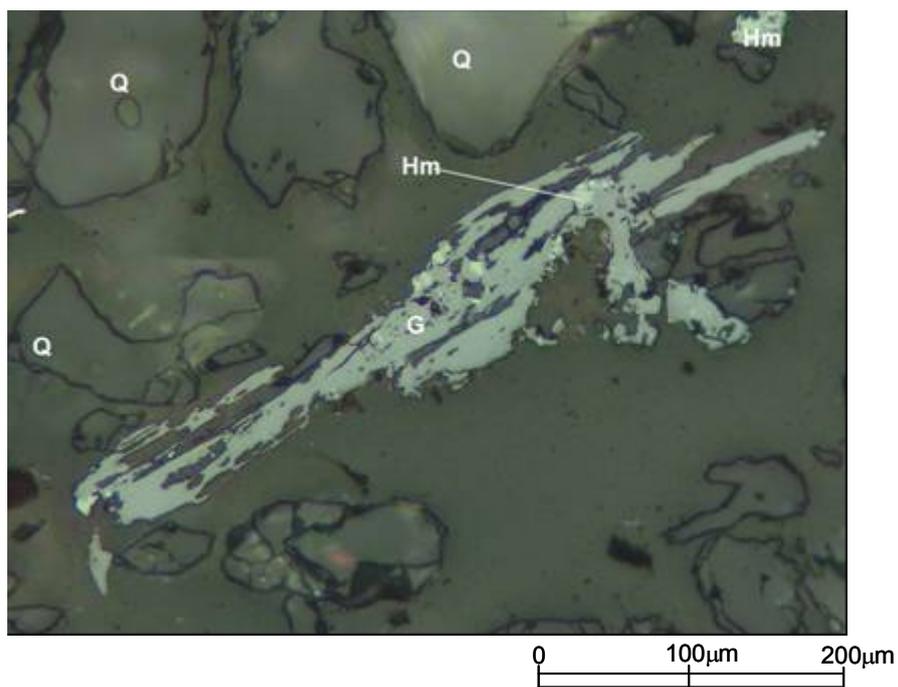


Figura 5.174 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Rejeito) mostrando partículas de quartzo e goethita pseudomórfica de anfibólio. Aumento 200X. LRND.

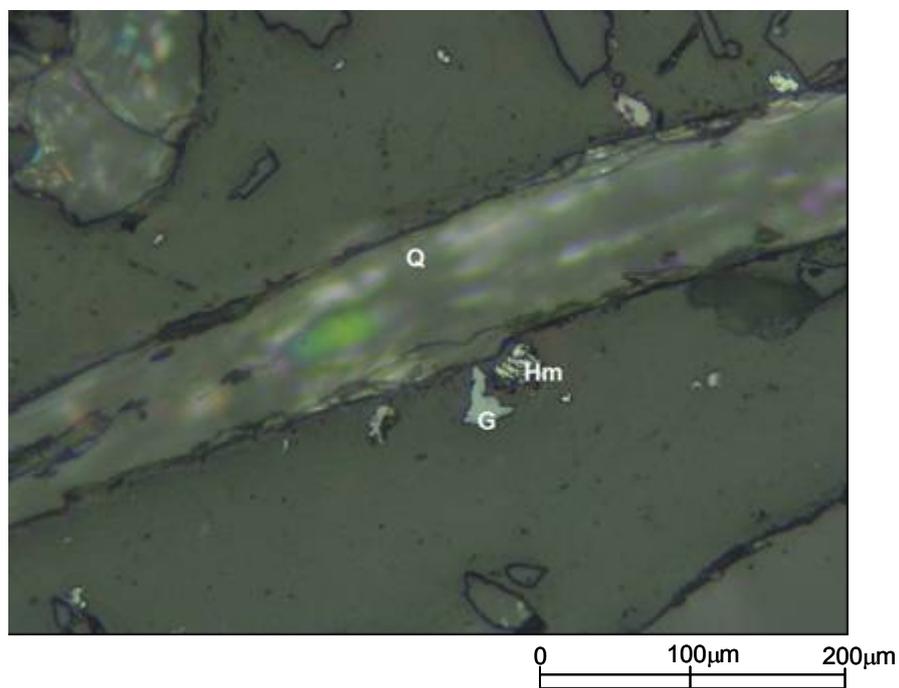


Figura 5.175 – Fotomicrografia da amostra A91 (alíquota Rejeito) mostrando fibra de quartzo pseudomórfico de anfibólio. Aumento 200X. LRND.

As figuras 5.176 e 5.177 são fotomicrografias do rejeito da amostra A93. Na primeira estão presentes partículas de quartzo e goethita botrioidal liberados e partícula mista de quartzo, goethita botrioidal e hematitas martíticas microporosas (goethitizadas). Na segunda figura estão presentes tanto partículas liberadas de quartzo, como uma partícula formada principalmente por goethita botrioidal porosa associada com hematitas martíticas e contendo pequenas inclusões de quartzo.

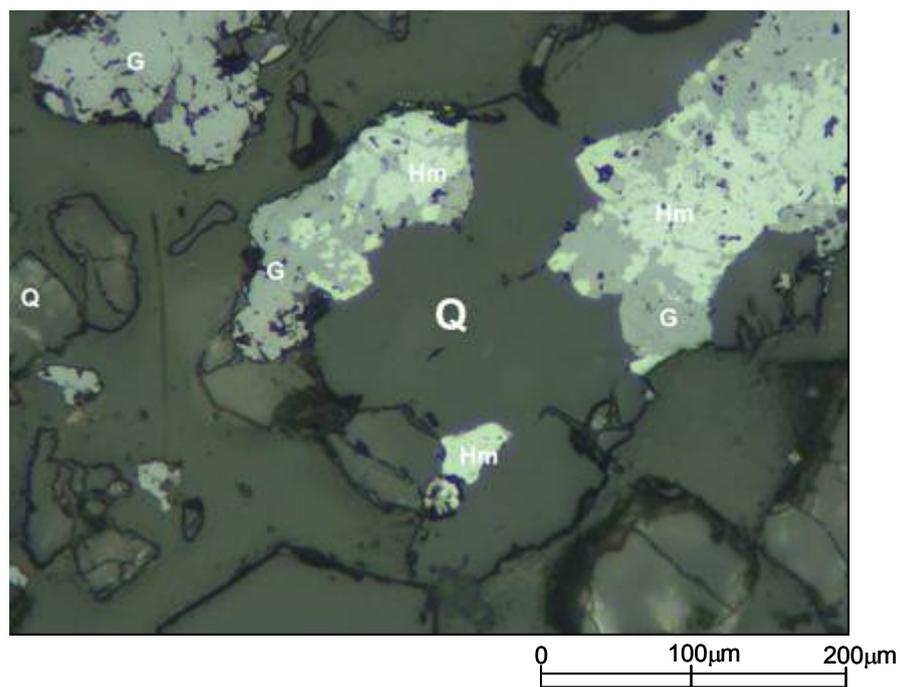


Figura 5.176 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota Rejeito) mostrando partículas de quartzo e goethita botrioidal liberados e partícula mista de quartzo, goethita botrioidal e hematitas martíticas microporosas (goethitizadas). Aumento 200X. LRND.

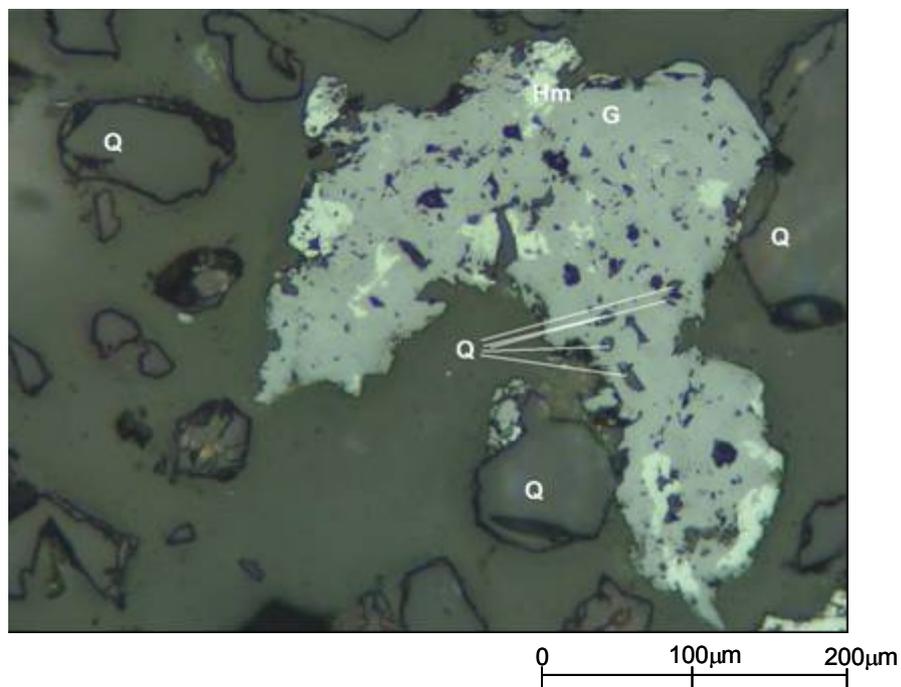


Figura 5.177 – Fotomicrografia da amostra A93 (alíquota Rejeito) mostrando partículas de quartzo liberadas e goethita botrioidal (porosa) associada com hematitas martíticas e contendo pequenas inclusões de quartzo. Aumento 200X. LRND.

5.4 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO

5.4.1 Alíquotas Britado 2

Na Tabela V.24 estão dispostos os resultados das interpretações dos espectros infravermelhos dessas alíquotas, que se encontram disponíveis nos anexos (Anexo 8).

Como pode ser visto, a goethita e o quartzo foram determinados para todas as amostras e a caulinita foi identificada nas amostras A31 e A61.

Comparando-se esses resultados com os da difratometria de raios-X dessas mesmas alíquotas, percebe-se que em todos os espectros IV (infravermelho) a hematita e a magnetita não podem ser identificadas de forma clara. O mesmo ocorre com a gibbsita na amostra A31 e com a caulinita da amostra A91. Para os dois casos, o mineral em questão está presente no difratograma (raios-X) e não está claramente detectável no espectro IV. Já para a amostra A61 ocorre o oposto, pois a caulinita pode ser identificada no espectro IV, mas não foi detectada pela difratometria de raios-X.

A hematita, a magnetita e a gibbsita, quando não são os minerais majoritários e encontram-se em presença de outros silicatos igualmente (ou mais) abundantes, têm sua detecção dificultada pela interferência de suas bandas de absorção com as desses silicatos. Nessas amostras o quartzo é um dos principais minerais e a caulinita presente na amostra A31, está em proporções que geram interferência principalmente para a gibbsita. Assim, para a identificação da hematita e da gibbsita a difratometria de raios-X é a técnica mais apropriada. Já a magnetita, pelas razões já expostas anteriormente, a análise mineralógica via contagem de grãos é a mais adequada para a sua identificação.

O espectro da amostra A61 apresentou, de forma discreta, bandas da caulinita (3676cm^{-1} e 1030cm^{-1}). Assim, pela espectroscopia IV identificou-se a presença desse mineral, que não foi detectado pela difratometria de raios-X (pelas razões já expostas) nem contado pela análise mineralógica quantitativa na alíquota deslamada. Porém, na descrição qualitativa da seção polida dessa amostra, identificou-se localmente a presença de cristais prismáticos de caulinita em meio a goethita botrioidal. Assim, de acordo com a espectroscopia IV e com a descrição qualitativa da seção polida, a caulinita está presente nessa amostra em muito baixa concentração.

Tabela V.24 – Resultados das análises de espectroscopia no infravermelho das alíquotas Britado 2.

<i>Alíquotas Britado 2</i>			
<i>Amostra</i>	<i>Fases mineralógicas</i>		
<i>A31</i>	<i>Goethita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>Caulinita</i>
<i>A61</i>	<i>Goethita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>Caulinita</i>
<i>A62</i>	<i>Goethita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>-</i>
<i>A91</i>	<i>Goethita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>-</i>
<i>A93</i>	<i>Goethita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>-</i>

Para o caso da amostra A91, a espectroscopia IV não identificou de forma clara a presença da caulinita. Seu espectro mostra apenas um pico discreto na região das bandas de absorção da caulinita de maiores frequências (3778cm^{-1}). Como a difratometria de raios-X identificou a presença desse mineral, não há dúvidas que ele encontra-se presente e em baixa concentração.

5.4.2 Alíquotas *Underflow* Deslamado

Na Tabela V.25 estão dispostos os resultados das interpretações dos espectros infravermelhos dessas alíquotas, que estão disponíveis nos anexos (Anexo 9).

Ao compararem-se os resultados da espectroscopia IV dessas alíquotas com os das alíquotas anteriores (Britado 2) percebe-se que eles são muito semelhantes. A diferença está no resultado da amostra A61 que ao ser deslamada, não apresenta a caulinita entre as fases mineralógicas identificadas.

Para as amostras A31, A62, A91 e A93 as mesmas observações já efetuadas para a comparação entre os resultados da espectroscopia IV com os da difratometria de raios-X das alíquotas anteriores (Britado 2), aplicam-se também a essas alíquotas de *Underflow* Deslamado. A razão pela qual a hematita, a magnetita e a gibbsita não são identificáveis de forma clara nos espectros IV dessas alíquotas é a mesma já explicada para as alíquotas anteriores.

A amostra A61 não apresentou, de forma nítida, a presença de bandas da caulinita em seu espectro IV. Apenas uma banda 1034cm^{-1} , que se apresenta como um ombro da banda 1088cm^{-1} do quartzo, foi identificada e poderia ser atribuída a caulinita. Para essa mesma alíquota, a difratometria de raios-X também não detectou esse mineral, que somente foi visto, localmente, na descrição qualitativa da seção polida dessa amostra. Assim, a caulinita está presente em muito baixa concentração (traços).

Para a amostra A91, nem o espectro IV apresentou de forma clara a presença da caulinita nem a difratometria de raios-X a detectou entre os minerais presentes. Assim, ela não deve estar presente nessa alíquota da amostra.

Tabela V.25 – Resultados das análises de espectroscopia no infravermelho das alíquotas *Underflow* Deslamado.

<i>Alíquotas Underflow Deslamado</i>			
<i>Amostra</i>	Fases mineralógicas		
<i>A31</i>	<i>Goethita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>Caulinita</i>
<i>A61</i>	<i>Goethita</i>	<i>Quartzo</i>	-
<i>A62</i>	<i>Goethita</i>	<i>Quartzo</i>	-
<i>A91</i>	<i>Goethita</i>	<i>Quartzo</i>	-
<i>A93</i>	<i>Goethita</i>	<i>Quartzo</i>	-

5.4.3 Alíquotas Lama

Na Tabela V.26 estão dispostos os resultados das interpretações dos espectros infravermelhos dessas alíquotas, que também estão disponíveis nos anexos (Anexo 10).

Fazendo-se a mesma comparação que foi feita para as alíquotas anteriores, entre os resultados da espectroscopia IV dessas alíquotas de lama com seus respectivos resultados de difratometria de raios-X, percebe-se, mais uma vez, a falta da hematita e da gibbsita entre os minerais identificados nos espectros IV. A razão da ausência deles é a mesma já esclarecida para as amostra anteriores.

5.4.4 Alíquotas Concentrado

Os resultados das interpretações dos espectros infravermelhos dessas alíquotas estão presentes na Tabela V.27 e todos os espectros estão disponíveis nos anexos (Anexo 11).

Fazendo-se a mesma comparação que foi feita para as alíquotas anteriores, ou seja, entre os resultados da espectroscopia IV dessas alíquotas de concentrado com seus respectivos resultados de difratometria de raios-X, percebe-se novamente, a falta da hematita, da magnetita e da gibbsita entre os minerais identificados nos espectros IV. A razão da ausência desses minerais é a mesma já esclarecida para as amostra anteriores.

Como ocorreu para o Britado 2 da amostra A61, o espectro IV de seu concentrado apresentou, de forma discreta, bandas da caulinita: três picos pouco intensos na região entre 3800cm^{-1} e 3600cm^{-1} e uma banda de forma abaulada e também pouco intensa em 1034cm^{-1} . Assim, pela espectroscopia IV identificou-se a presença desse mineral, que não foi detectado pela difratometria de raios-X (pelas razões já expostas) nem contado pela análise mineralógica quantitativa na alíquota deslamada. Uma vez que na análise química a Al_2O_3 apresentou valor relativamente alto (0,5%) a caulinita deve estar presente, mas como traços.

Tabela V.26 – Resultados das análises de espectroscopia no infravermelho das alíquotas Lama.

<i>Alíquotas Lama</i>			
<i>Amostra</i>	<i>Fases mineralógicas</i>		
<i>A31</i>	<i>Goethita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>Caulinita</i>
<i>A61</i>	<i>Goethita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>Caulinita</i>
<i>A62</i>	<i>Goethita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>-</i>
<i>A91</i>	<i>Goethita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>Caulinita</i>
<i>A93</i>	<i>Goethita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>-</i>

Tabela V.27 – Resultados das análises de espectroscopia no infravermelho das alíquotas Concentrado.

<i>Alíquotas Concentrado</i>			
<i>Amostra</i>	<i>Fases mineralógicas</i>		
<i>A31</i>	<i>Goethita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>Caulinita</i>
<i>A61</i>	<i>Goethita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>Caulinita</i>
<i>A62</i>	<i>Goethita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>-</i>
<i>A91</i>	<i>Goethita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>-</i>
<i>A93</i>	<i>Goethita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>-</i>

5.4.5 Alíquotas Rejeito

NA Tabela 5.28 estão listados os resultados advindos da interpretação dos espectros IV dessas alíquotas. Todos os espectros IV estão disponíveis nos anexos (Anexo 12).

Fazendo-se, mais uma vez, a mesma comparação que foi feita para as alíquotas anteriores (resultados de espectroscopia IV *versus* resultados de difratometria de raios-X), mais uma vez a hematita não está presente entre os minerais identificados nos espectros IV, pelas razões já expostas anteriormente.

A amostra A61 apresentou, de forma discreta, as bandas 3771cm^{-1} e 1034cm^{-1} ambas que podem ser atribuídas a caulinita. Uma vez que ela não foi detectada nem pela difratometria de raios-X (razões já explicadas) nem na análise mineralógica quantitativa, mas na análise química a Al_2O_3 tem valor suficiente para explicar a presença desse mineral, deduz-se que esse mineral deve estar presente em muito baixa concentração. O mesmo ocorre com a amostra A91, que apresenta no espectro IV as bandas 3693cm^{-1} (pouco intensa) e a 1034cm^{-1} como um ombro da 1086cm^{-1} do quartzo, que podem ser atribuídas à presença da caulinita, mas essa não foi detectada nem pela difratometria de raios-X nem pela análise mineralógica quantitativa. Nesse caso também, a presença de traços de caulinita é possibilitada pelo teor de Al_2O_3 determinado na análise química.

As amostras A62 e A93 apresentaram bandas discretas próximas de 3700cm^{-1} e de 1030cm^{-1} (como ombro da banda 1086cm^{-1} do quartzo), que seriam possíveis de serem da caulinita. Nesses dois casos as análises mineralógicas não identificaram a presença desse mineral e os valores da Al_2O_3 são baixos para que se atribua à sua presença.

Tabela V.28 – Resultados das análises de espectroscopia no infravermelho das alíquotas Rejeito.

<i>Alíquotas Rejeito</i>			
<i>Amostra</i>	<i>Fases mineralógicas</i>		
<i>A31</i>	<i>Goethita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>Caulinita</i>
<i>A61</i>	<i>Goethita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>Caulinita</i>
<i>A62</i>	<i>Goethita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>-</i>
<i>A91</i>	<i>Goethita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>Caulinita</i>
<i>A93</i>	<i>Goethita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>-</i>

5.5 TERMOGRAVIMETRIA

5.5.1 Alíquotas Britado 2

As principais informações das curvas termogravimétricas dessas alíquotas estão listadas na Tabela V.29 e todas as curvas encontram-se disponíveis nos anexos (Anexo 13).

A curva termogravimétrica da amostra A31 foi a única que mostrou, de forma nítida, duas perdas de massa. Uma grande perda (6,5%), que ocorre de forma relativamente abrupta, no intervalo de temperatura entre 226°C e 425°C e uma menor (1,5%) e de forma suave no intervalo de 500°C a 600°C. Essa primeira perda é devida, principalmente, às hidroxilas das goethitas e a segunda às hidroxilas dos argilominerais (caulinita e gibbsita).

As curvas das demais amostras apresentam, basicamente, uma grande perda de massa, também relativamente abrupta e que se deve principalmente às hidroxilas das goethitas.

Todas as curvas das DTGs mostram picos relativamente agudos e simétricos confirmando que a perda de massa ocorre de forma relativamente abrupta. Esses picos encontram-se centrados em temperaturas próximas (entre 304°C e 315°C) e são nessas temperaturas que ocorrem as maiores perdas das hidroxilas.

A partir dos dados da Tabela V.29, pode-se dizer que:

1. Os intervalos de temperatura onde ocorrem as maiores perdas de massa não variam muito de amostra para amostra estando dentro da faixa de 210°C a 425°C (média 221-412°C).
2. Comparando-se os valores de perda de massa (total) de cada alíquota dessa tabela com sua correspondente PPC (Tabela V.5) nota-se que há uma boa coerência entre ambos.
3. Os tempos transcorridos nas maiores perdas de massa (hidroxilas das goethitas) são muito próximos para todas as amostras (38min em média).

Tabela V.29 – Resultados das análises termogravimétricas das alíquotas Britado 2.

Alíquotas Britado 2						
Amostra	Primeira perda				Segunda perda	
	Intervalo temp. (°C)	Perda massa (%)	Tempo (min)	DTG temp. (°C)	Intervalo temp. (°C)	Perda massa (%)
A31	226-425	6,5	40	315	500-600	1,5
A61	224-423	3,2	40	305	-	-
A62	221-407	5,6	37	304	-	-
A91	221-418	2,7	40	307	-	-
A93	212-388	3,1	35	315	-	-
Média	221-412	-	38	309	-	-

4. As temperaturas onde ocorrem as maiores perdas de hidroxila (DTG) são relativamente próximas estando dentro da faixa de 305°C a 315°C (valor médio de 309°C).

5.5.2 Alíquotas Underflow Deslamado

As principais informações das curvas termogravimétricas dessas alíquotas estão listadas na Tabela V.30 e todas as curvas encontram-se disponíveis nos anexos (Anexo 14).

Para cada amostra, sua curva termogravimétrica do Britado 2 é semelhante à do *underflow* deslamado. Assim, as mesmas observações já feitas para as perdas de massa das curvas dos Britado 2 são válidas para o *underflow* da mesma amostra. O mesmo ocorre com as curvas das DTG, logo as mesmas observações feitas para as alíquotas anteriores são também válidas para essas alíquotas.

Dos dados da Tabela V.30, pode-se dizer que:

1. Os intervalos de temperatura onde ocorrem as maiores perdas de massa são um pouco variados. A amostra A31 apresentou o maior intervalo (206-449°C) e a amostra A93 o menor intervalo (262-382°C). O valor médio para todas as amostras é de 236-401°C.
2. Comparando-se os valores de perda de massa (total) de cada alíquota dessa tabela com sua correspondente PPC (Tabela V.7) nota-se que nesse caso também há uma boa coerência entre ambos.
3. Os tempos despendidos nas maiores perdas de massa (hidroxilas das goethitas) são um pouco variados, sendo que a amostra A31 apresentou o maior tempo (48min), a amostra A93 o menor tempo (24min) e a média é de 33°C.

Tabela V.30 – Resultados das análises termogravimétricas das alíquotas *Underflow* Deslamado.

Alíquotas <i>Underflow</i> Deslamado						
Amostra	Primeira perda				Segunda perda	
	Intervalo temp. (°C)	Perda massa (%)	Tempo (min)	DTG temp. (°C)	Intervalo temp. (°C)	Perda massa (%)
A31	206-449	6,5	48	320	500-600	0,75
A61	242-395	2,3	30	312	-	-
A62	222-400	5,5	36	312	-	-
A91	247-377	2,5	26	320	-	-
A93	262-382	2,8	24	335	-	-
Média	236-401	-	33	320	-	-

4. As temperaturas de maior perda de hidroxilas variam dentro de uma faixa estreita (310°C a 320°C) para a maioria das amostras. Apenas a amostra A93 tem temperatura um pouco acima e mais diferenciada das demais (335°C). Essas temperaturas estão um pouco mais altas no *underflow* que no Britado 2 de todas as amostras.
5. Os valores médios dos intervalos de temperatura das maiores perdas de massa, dos tempos despendidos nessas perdas e das temperaturas onde ocorrem as maiores perdas de hidroxila, não variam muito do Britado 2 para o *underflow* dessas amostras. Porém, o tamanho desses intervalos de temperatura (médias) e, conseqüentemente, do tempo médio despendido na perda de massa são menores para as alíquotas de *underflow* do que para as dos Britado 2. Já a temperatura média de maior perda de hidroxilas, essa é maior para o *underflow* do que é para o Britado 2.

5.5.3 Alíquotas Lama

As principais informações das curvas termogravimétricas dessas alíquotas estão listadas na Tabela V.31 e todas as curvas encontram-se disponíveis nos anexos (Anexo 15).

A curva termogravimétrica da lama da amostra A31 foi a única que também mostrou, de forma nítida, duas perdas de massa. Uma perda maior (6,3%) no intervalo de temperatura entre 226°C e 384°C e uma menor (3,7%) no intervalo de 464°C a 642°C. Essa primeira perda (hidroxilas das goethitas) é um pouco mais abrupta que a segunda (hidroxilas da caulinita).

As curvas das demais amostras apresentam, novamente, uma grande perda de massa, também relativamente abrupta como ocorre para as alíquotas anteriores.

Como ocorrem para as alíquotas anteriores, todas as curvas das DTGs mostram picos relativamente agudos e simétricos. Para a lama, esses picos encontram-se centrados em temperaturas um pouco mais altas que as das alíquotas anteriores e dentro do intervalo de 300°C a 315°C.

Tabela V.31 – Resultados das análises termogravimétricas das alíquotas Lama.

Alíquotas Lama						
Amostra	Primeira perda				Segunda perda	
	Intervalo temp. (°C)	Perda massa (%)	Tempo (min)	DTG temp. (°C)	Intervalo temp. (°C)	Perda massa (%)
A31	227-384	6,3	30	304	464-642	3,7
A61	249-392	5,3	29	313	-	-
A62	232-395	6,8	32	309	-	-
A91	234-388	5,1	31	296	-	-
A93	222-392	5,5	33	314	-	-
Média	233-391	-	31	307	-	-

Baseado nos dados da Tabela V.31, pode-se dizer que:

1. Os intervalos de temperatura onde ocorrem as maiores perdas de massa não apresentam grandes variações. Nesse caso, a amostra A93 apresentou o maior intervalo (222-392°C) e a amostra A61 o menor intervalo (249-392°C). O valor médio para todas as amostras é de 233-391°C.
2. Comparando-se os valores de perda de massa (total) de cada alíquota dessa tabela com sua correspondente PPC (Tabela V.9) nota-se que nesse caso também há uma boa coerência entre ambos.
3. Os tempos despendidos nas maiores perdas de massa (hidroxilas das goethitas) variam dentro de uma faixa estreita (29°C a 33°C) e assim, são próximos do valor médio (31°C).
4. As temperaturas de maior perda de hidroxilas variam dentro da faixa de 296°C a 314°C, que são relativamente próximos e o valor médio é de 307°C. De maneira geral, essas temperaturas estão um pouco mais baixas na lama do que no *underflow* e sua média é mais baixa do que a do Britado 2 (309°C) e do que a do *underflow* (320°C).
5. Os valores médios dos intervalos de temperatura das maiores perdas de massa, dos tempos despendidos nessas perdas e das temperaturas onde ocorrem as maiores perdas de hidroxila, não variam muito do Britado 2 para o *underflow* e para a lama das amostras. Já o tamanho desses intervalos de temperatura (médias) e os tempos despendidos médios são ainda menores para as alíquotas de lama, que também apresenta menor temperatura média de maior perda das hidroxilas.

5.5.4 Alíquotas Concentrado

As principais informações das curvas termogravimétricas dessas alíquotas estão listadas na Tabela V.32 e todas as curvas encontram-se disponíveis nos anexos (Anexo 16).

Tabela V.32 – Resultados das análises termogravimétricas das alíquotas Concentrado.

Alíquotas Concentrado				
Amostra	Primeira			
	Intervalo temp. (°C)	Perda massa (%)	Tempo (min)	DTG temp. (°C)
A31	232-400	8,9	33	315
A61	209-377	4,3	33	-
A62	216-412	7,7	39	311
A91	262-410	3,2	29	311
A93	237-410	3,9	35	321
Média	231-402	-	34	315

No caso do concentrado das cinco amostras de itabiritos anfíbolíticos, todas elas têm curvas termogravimétricas apresentando basicamente uma grande perda de massa. Para a amostra A61, essa perda ocorre de forma mais suave do que acontece para as demais amostras (relativamente abrupta).

As curvas das DTGs de todas as amostras, excetuando-se a amostra A61, mostram picos relativamente agudos e simétricos que se encontram centrados em temperaturas um pouco mais elevadas que na lama. Para a amostra A61, não foi possível identificar com nitidez a presença e localização de um pico. Ou seja, a perda das hidroxilas ocorreu de forma mais contínua e suave.

Com base nos dados da Tabela V.31, pode-se dizer que:

1. Os intervalos de temperatura onde ocorrem as maiores perdas de massa são um pouco variados. A amostra A62 apresentou o maior intervalo (216-412°C) e a amostra A91 o menor intervalo (262-410°C). O valor médio para todas as amostras é de 231-402°C.
2. Comparando-se os valores de perda de massa (total) de cada alíquota dessa tabela com sua correspondente PPC (Tabela V.9) nota-se que nesse caso também há uma boa coerência entre ambos.
3. Os tempos despendidos nas maiores perdas de massa (hidroxilas das goethitas) variam dentro da faixa de 29°C a 39°C e o valor médio é de 34°C.
4. As temperaturas de maior perda de hidroxilas variam dentro da faixa de 311°C a 321°C, que são relativamente próximos e o valor médio é de 315°C. De maneira geral, essas temperaturas estão mais altas no concentrado do que na lama e no Britado 2 e mais baixas do que no *underflow*. Sua média é mais baixa do que a do *underflow* (320°C) e mais alta do que a do Britado 2 (309°C) e a da lama (307°C), que é a mais baixa de todas.
5. Os valores médios dos intervalos de temperatura das maiores perdas de massa, dos tempos despendidos nessas perdas e das temperaturas onde ocorrem as maiores perdas de hidroxila, não variam muito das alíquotas anteriores para essas alíquotas. O tamanho do intervalo de temperatura (médio), o tempo despendido médio e a temperatura média de maior perda das hidroxilas do concentrado são praticamente os mesmos do *underflow*.

5.6 ASE E POROSIDADE

5.6.1 Alíquotas Concentrado

Na Tabela V.33 estão listados os resultados das determinações das áreas superficiais específicas (ASE) pelo método BET dos concentrados das cinco amostras de itabirito anfíbolítico. Nela estão também dispostos os valores dos diâmetros máximos (d_{max}), os volumes acumulados e os d_{50} (diâmetro em relação ao qual 50% dos poros têm tamanho superior e 50% têm tamanho inferior) dos mesoporos desses cinco concentrados. Esses valores foram retirados da distribuição de tamanhos de poros da curva de dessorção do modelo de BJH (Barrett et al., 1951). Essas distribuições completas, bem como todos os pontos das isotermas desses cinco concentrados, estão disponíveis nos anexos (Anexo 17).

Como podem ser observados, os valores de ASE são variados sendo que A31 é a amostra que apresenta o menor valor ($2,3m^2/g$) e A62 é aquela que possui o maior valor ($6,9m^2/g$). Quanto aos d_{max} e d_{50} , as amostras A31, A62, A91 e A93 apresentam valores semelhantes entre si: aproximadamente 130nm para o primeiro e próximo a 9nm para o segundo. A amostra A61 teve tanto o valor do d_{max} como o do d_{50} inferiores aos das demais amostras: 90nm e 7nm, respectivamente. Assim, essa amostra possui mesoporos menores que das demais amostras.

Quanto ao volume acumulado de mesoporos, as amostras A31, A61, A91 e A93 apresentaram resultados semelhantes entre si (entre $6E-3$ e $7E-3cc/g$). A amostra A62 diferiu das demais como sendo aquela que possui o maior volume de mesoporos ($14E-3cc/g$).

5.6.2 Alíquotas Concentrado Remoído

Na Tabela V.34 estão dispostos os resultados de ASE e dados referentes aos mesoporos (d_{max} , d_{50} e volume acumulado) dos concentrados remoídos das cinco amostras de itabirito anfíbolítico.

Tabela V.33 – Resultados de ASE e porosidade das alíquotas Concentrado das amostras A31, A61, A62, A91 e A93.

<i>Amostra</i>	ASE (m ² /g)	d _{max} mesoporos (nm)	d ₅₀ (nm)	Vol. acumul. mesoporos (c ³ /g)
A31	2,3	129,8	8,9	5,8E-03
A61	4,1	92,8	>6,1 e <8,7	6,8E-03
A62	6,9	130,5	>8,7 e <15,5	14,6E-03
A91	3,2	126,2	>8,9 e <15,8	7,5E-03
A93	2,5	132,0	>8,8 e <15,5	5,7E-03

Tabela V.34 – Resultados de ASE e porosidade das alíquotas Concentrado Remoído das amostras A31, A61, A62, A91 e A93.

<i>Amostra</i>	ASE (m ² /g)	d _{max} mesoporos (nm)	d ₅₀ (nm)	Vol. acumul. mesoporos (c ³ /g)
A31	4,5	122,2	>8,8 e <16,1	11,3E-03
A61	5,2	127,0	>8,7 e <15,7	11,9E-03
A62	7,9	128,7	15,9	22,7E-03
A91	3,6	126,3	16,1	10,9E-03
A93	3,0	129,9	15,3	8,0E-03

Como para os concentrados, os valores de ASE são também variados. No caso desses concentrados remuídos, a amostra A93 é a que apresenta o menor valor ($3,0\text{m}^2/\text{g}$) e a amostra A62 é novamente aquela que possui o maior valor ($7,9\text{m}^2/\text{g}$). Ao comparar-se, para uma mesma amostra, os resultados de ASE do concentrado com os do concentrado remuído, nota-se que, como era o esperado, para todas as amostras há um aumento dessa ASE após o processo de remoagem. O que variou de amostra para amostra foi em que proporção ocorreu tal aumento. Assim, o valor da ASE da amostra A31 teve um aumento de praticamente 100% do concentrado para o concentrado remuído, que foi maior aumento observado. Para as demais amostras esse aumento foi de 26% para A61, 14% para A62 e A91 e 20% para A93.

As ASE dos concentrados remuídos de todas essas cinco amostras são elevadas quando comparadas aos valores encontrados para alguns tipos de minério de Alegria. Costa (2005) em seu trabalho de mestrado estudou alguns concentrados remuídos dos tipos de minérios mais representativos por mina da jazida de Alegria e encontrou os seguintes valores médios de ASE:

- ✓ $1,9\text{m}^2/\text{g}$ para a mina de Alegria 3/4/5
- ✓ $2,9\text{m}^2/\text{g}$ para a mina de Alegria 1/2/6
- ✓ $2,2\text{m}^2/\text{g}$ para a mina de Alegria 9

Fazendo-se a comparação, percebe-se que o valor $4,5\text{m}^2/\text{g}$ da ASE encontrado para a amostra A31 (Alegria 3/4/5) está bem superior à média dessa mina, bem como os valores $5,2\text{m}^2/\text{g}$ da amostra A61 e $7,9\text{m}^2/\text{g}$ de A62 para Alegria 1/2/6 e $3,6\text{m}^2/\text{g}$ da amostra A91 e $3,0\text{m}^2/\text{g}$ da amostra A93 para Alegria 9.

Quanto aos d_{max} dos concentrados remuídos, esses são semelhantes entre si e estão entre 122nm e 129nm. Quando se comparam os valores de d_{max} antes e após a remoagem, nota-se que não há um padrão de comportamento e a variação é aleatória. De qualquer forma, o diâmetro máximo dos mesoporos não varia muito antes e após a remoagem.

As amostras A31 e A61 apresentam d_{50} semelhantes entre si (entre 8nm e 16nm). As amostras A62, A91 e A93 também apresentam d_{50} semelhantes entre si (16nm) e um pouco maior do que os das duas primeiras. Para todas as amostras há um aumento do valor do d_{50} do concentrado para o concentrado remuído.

Quanto ao volume acumulado de mesoporos, como ocorrem para os concentrados, as amostras A31, A61, A91 e A93 apresentam resultados semelhantes entre si (entre 8E-3 e 12E-3cc/g) e a amostra A62 também é aquela que possui o maior volume de mesoporos (22E-3cc/g). Os valores desses volumes acumulados de mesoporos aumentam do concentrado para o concentrado remoído para todas as amostras. Assim, para a amostra A31 esse aumento é de 94%, para A61 é de 74%, para A62 é de 55%, para A91 é de 45% e para A93 é de 41%.

5.7 TESTES DE BENEFICIAMENTO

5.7.1 Moagem e remoagem

A Tabela V.35 a seguir, mostra os resultados de tempo de moagem e de remoagem determinados para as cinco amostras. O tempo de moagem é aquele tempo necessário para que no máximo 10% do total das partículas que compõe a amostra tenham tamanho superior a 0,150mm. O tempo de remoagem é aquele necessário para que um máximo de 10% do total das partículas apresente tamanho superior a 0,044mm. Os gráficos contendo as curvas de tempo de moagem e remoagem (% retida acumulada X tempo) determinadas para as amostras estão disponíveis nos anexos (Anexo 2).

A partir da comparação dos valores apresentados nas tabelas para as cinco amostras, a amostra A31 apresentou o maior tempo tanto para a moagem como para a remoagem e A91 apresentou o menor tempo para ambas. O tempo de moagem da amostra A31 é cerca de 47% superior ao tempo médio de moagem de todas as amostras e o tempo de moagem de A91 é aproximadamente 114% inferior a esse tempo médio. Quanto a remoagem, o tempo de A31 é cerca de 91% superior ao tempo médio de todas as amostras e o tempo de A91, 45% inferior.

Como a energia necessária para a moagem/remoagem é função direta do tempo gasto para essa moagem/remoagem, pode-se dizer que A31 gastará 47% mais energia que a média para efetuar a moagem e 91% mais energia que a média para a remoagem. Já A91, gastará 114% menos energia que a média para a moagem e 45% menos energia que a média para a remoagem.

Tabela V.35 – Tempo de moagem (10%>0,150mm) e de remoagem (10%>0,044mm) determinados para cada amostra.

<i>Amostra</i>	Tempo Moagem (10%>0,150mm) (minutos)	Tempo Remoagem (10%>0,044mm) (minutos)
<i>A31</i>	22	42
<i>A61</i>	17	31
<i>A62</i>	13	32
<i>A91</i>	7	22
<i>A93</i>	15	33
<i>Média</i>	15	32

5.7.2 Deslamagem

Os resultados dos testes de deslamagem das cinco amostras estão listados na Tabela V.36 , assim como os valores médios da recuperação em massa e metálica, calculados a partir dos resultados dos testes de deslamagem efetuados em todas as amostras de minério de furos de sondagem perfurados nas áreas de Alegria (sul, centro e norte). A partir da análise desses dados pode-se verificar que:

1. Essas amostras apresentam porcentagens de lama relativamente altas (entre 11% a 20%) quando comparadas ao valor médio dos minérios (amostras de furos de sonda) da Samarco (8%). Assim, as recuperações em massa dessas cinco amostras são também menores que o valor médio dos minérios de Alegria (furos de sonda). As recuperações metálicas dessas amostras também são menores que a recuperação metálica média calculada a partir dos resultados dos testes efetuados nas amostras de minério dos furos de sondagem.
2. A amostra A62 é a que possui a maior porcentagem de lama (20%) e, portanto, a menor recuperação em massa (79,6%) bem como a menor recuperação metálica (79,2%).
3. A amostra A31 apresentou o segundo maior valor de porcentagem de lama (17%) e, conseqüentemente, a segunda menor recuperação em massa (82,5%) e metálica (84,7%). Nesse caso, a recuperação metálica foi favorecida porque a lama tem o teor de Fe (40%) mais baixo que o da alimentação (Britado 2 com Fe=42%), levando a um pequeno enriquecimento em Fe no *underflow* deslamado (Fe=.43%).
4. As demais amostras, A61, A91 e A93, apresentaram as porcentagens de lama semelhantes entre si (de 11% a 13%), bem como as recuperações em massa (entre 87% a 89%) e metálicas (de 86% a 87%).

Tabela V.36 – Resultados dos testes de deslamagem das amostras A31, A61, A62, A91 e A93 e valores médios das recuperações em massa e metálica dos minérios de Alegria (amostras de furos de sondagem).

<i>Amostra</i>	% Lama	%Recuperação em massa	%Recuperação metálica
A31	17,54	82,46	84,68
A61	12,83	87,17	87,71
A62	20,43	79,57	79,20
A91	10,80	89,20	86,35
A93	11,19	88,81	87,01
<i>Média minérios Alegria*</i>	<i>8,14</i>	<i>91,86</i>	<i>91,16</i>

*Média calculada a partir dos resultados dos testes de deslamagem de todas as amostras de minério de furos de sondagem perfurados nas áreas de Alegria.

5.7.3 Flotação

Os dados das recuperações em massa e metálica dos testes de flotação de bancada efetuados nas cinco amostras estão listados na Tabela V.37, bem como os valores médios da recuperação em massa e metálica dos testes de flotação de bancada efetuados nas amostras de minério dos furos de sondagem das áreas de Alegria (sul, centro e norte). Na Tabela V.38 estão listados os valores das recuperações em massa e metálica globais (deslamagem + flotação) para essas mesmas amostras e os valores calculados, como descrito anteriormente, para os minérios de Alegria.

As seguintes observações são pertinentes para os dados da Tabela V.37:

1. As recuperações em massa dessas amostras variam de 61% a 69%, que não são valores muito discrepantes entre si e são maiores que o valor médio calculado (57%) a partir dos resultados dos testes de bancada em amostras de minério dos furos de sondagem. Deve-se guardar reserva, entretanto, ao fazer-se essa comparação, pois existe uma diferença de eficiência entre as células de flotação de bancada utilizadas pela PCM (um pouco mais eficientes) nessas amostras e as presentes nos laboratórios da Samarco (utilizadas nos testes em amostras de minério dos furos de sonda). Mesmo assim, pode-se dizer que essas amostras têm uma boa recuperação em massa em testes de flotação de bancada e, no mínimo, seus resultados estão dentro da faixa de recuperação dos demais minérios de Alegria.
2. As recuperações metálicas também estão variando dentro de uma faixa estreita de valores (de 87% a 93%) e, mesmo fazendo-se reserva na comparação, são bons valores e melhores que o valor médio calculado para as amostras de minério (furos de sonda) de Alegria.
3. A amostra A61 apresentou os menores valores tanto para a recuperação em massa (61%) como para a metálica (87%). Ela foi, também, a amostra que apresentou o maior valor de SiO₂ no concentrado (5,69%) e o maior valor de Fe no rejeito (14,25%), como já visto anteriormente. Assim, essa é a amostra que teve a *performance* na flotação relativamente um pouco pior que as demais.
4. As amostras A91 e A93 apresentaram os valores de recuperação em massa (63%) e metálicas (93%) praticamente iguais e, portanto, têm a mesma *performance* na flotação.

Tabela V.37– Resultados das recuperações metálica e em massa dos testes de flotação de bancada das amostras A31, A61, A62, A91 e A93 e as recuperações médias calculadas (testes de flotação em minérios de amostras dos furos de sondagem de Alegria).

<i>Amostra</i>	%Recuperação em massa	%Recuperação metálica
<i>A31</i>	68,07	90,89
<i>A61</i>	61,23	87,50
<i>A62</i>	69,51	93,62
<i>A91</i>	62,58	93,53
<i>A93</i>	62,73	93,21
<i>Média minérios Alegria*</i>	56,95	80,89

*Média calculada a partir dos testes de flotação de bancada das amostras de minério dos furos de sondagem das áreas de Alegria.

Tabela V.38 – Resultados das recuperações em massa e metálica globais das amostras A31, A61, A62, A91 e A93 e as médias calculadas globais (minérios de amostras dos furos de sondagem).

<i>Amostra</i>	%Recuperação em massa global	%Recuperação metálica global
<i>A31</i>	56,13	80,16
<i>A61</i>	53,38	75,61
<i>A62</i>	55,31	79,75
<i>A91</i>	55,82	78,55
<i>A93</i>	55,71	78,83
<i>Média minérios Alegria global</i>	52,0	73,78

Média calculada a partir das amostras de minério dos furos de sondagem das áreas de Alegria.

5. A amostra A62 foi a que teve a melhor recuperação em massa (próxima a 70%) e sua recuperação metálica foi praticamente igual às das amostras A91 e A93. Essa é a amostra que teve a *performance* na flotação relativamente um pouco melhor que a das demais.
6. A amostra A31 teve uma das melhores recuperações em massa (68%) e uma das menores recuperações metálicas (91%). Sua *performance* na flotação é melhor que a de A61 e um pouco pior que as demais.

Quanto aos resultados globais, pode-se dizer que:

1. Para as cinco amostras, as recuperações em massa e metálica globais também variam dentro de faixas estreitas de valores: de 53% a 56% e 75% a 80%, respectivamente. Esses valores estão relativamente próximos e um pouco melhores que os valores médios das recuperações em massa e metálica globais (52% e 74%) calculados a partir dos testes realizados nos minérios das amostras de furos de sonda.
2. Em termos globais, A61 foi a amostra que teve os menores valores de recuperações em massa (53%) e metálica (76%) e pode ser considerada a amostra de pior comportamento.
3. As amostras A31, A62, A91 e A93, em termos globais, apresentaram os valores de recuperações em massa e metálica muito semelhantes entre si e, portanto, podem ser consideradas como tendo comportamento semelhante.

5.8 TESTES NAS PELOTAS

A Tabela V.39 mostra as características químicas, granulométricas, físicas, mineralógicas e teores de umidade dos concentrados (*pellet feed*) das amostras A31, A61, A62, A91, A93 e de um PFN⁵ (amostrado no dia 10/05/07).

Em termos de teores de SiO_2 e Fe_T , apenas A91 e A93 apresentaram valores próximos aos da amostra PFN, ou seja, próximos aos valores de especificação. Já para a PPC, todas as amostras têm valores bem superiores aos da PFN, especialmente A31 (9,8%) e A62 (8,8%) que possuem PPC próxima a 10%, que é um valor muito alto.

A umidade das amostras A91 e A93 foram próximas à do PFN (10%) e a umidade das demais, um pouco superiores (entre 11% e 13%). Quanto às superfícies específicas, excetuando-se a amostra A62 que tem um valor um pouco superior, mas relativamente próximo ao da PFN, todas as demais apresentaram valores muito maiores que o de especificação.

Quanto à mineralogia, todas as amostras possuem teores de goethita superior ao da especificação e teores de hematita especular abaixo do exigido.

5.8.1 Teste de pelotamento em pneu

Os resultados dos testes de pelotamento em pneu estão dispostos na Tabela V.40 a seguir.

As amostras A91 e A93 obtiveram valores semelhantes e mais baixos de umidade determinada em teste de pneu (11%, aproximadamente). Para as demais amostras, esses valores variaram entre 12% e 13%. Apenas as pelotas de A31 e A93 apresentaram o aspecto do acabamento superficial bom e A31 foi a única que aparentou a umidade alta.

⁵ PFN – *pellet feed* CNS (campanha sílica normal) para a geração de pelotas para alto-forno (PBF). A pelota PBF tem especificação diferente da pelota para redução direta. Assim, o *pellet feed* para geração de pelotas PBF também tem especificação diferente daquele para geração das pelotas para redução direta. Uma das diferenças está no teor de sílica, que para o PFN é um pouco mais elevado.

Tabela V.39 – Características químicas, granulométricas, físicas, mineralógicas e teores de umidade dos concentrados (*pellet feed*) das amostras A31, A61, A62, A91, A93 e PFN (composição média de um *pellet feed* para pelotas PBF).

SAMARCO		GERÊNCIA DE ENGENHARIA DE PROCESSO E AUTOMAÇÃO - POT GRATE				
0072/07- Doutorado Júnia						
DESCRIÇÃO	PFN 10/05/07	PF- A-31	PF A-61	PF A-62	PF A-91	PF A-93
ANÁLISES QUÍMICAS (%)						
FeT	66,80	58,52	59,91	61,00	65,66	65,13
FeO	0,78	0,20	2,90	0,35	0,57	0,37
SiO ₂	1,54	3,59	9,77	3,08	1,42	1,87
Al ₂ O ₃	0,39	1,59	0,55	0,31	0,31	0,24
CaO	0,07	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
MgO	0,02	0,04	0,06	0,01	0,02	0,04
P	0,048	0,139	0,018	0,111	0,065	0,077
PPC	2,310	9,840	3,820	8,800	4,200	4,530
TESTES FÍSICOS						
GRANULOMETRIA (%)						
>150mm (100#)	0,4	0	0,7	0,5	0,2	0,3
<150mm e > 0,075mm (200#)	2,2	0,9	5,7	4,3	1,6	3,6
<0,075mm e >0,044mm (325#)	6,4	7,6	8,4	7,4	4,5	7,3
<0,044mm e > 0,038mm (400#)	6,6	8,2	5,7	6,4	3,3	7,2
<0,038mm	84,4	83,3	79,5	81,4	90,4	81,6
<0,044mm	91,0	91,5	85,2	87,8	93,7	88,8
SUPERFÍCIE ESPECÍFICA						
SUPERFÍCIE ESPECÍFICA (cm ² / g)	2195	4629	3581	2496	4184	4509
P.E. (g / cm ³)	4,920	4,080	4,390	4,240	4,752	4,703
UMIDADE						
UMIDADE (%)	10,08	11,91	11,28	13,56	10,15	10,16
MINERALOGIA						
HEMATITA ESPECULAR (%)	43,70	5,01	3,82	2,33	3,69	5,72
HEMATITA POROSA (%)	39,80	10,62	46,83	15,75	55,49	51,07
GOETHITA (%)	14,00	83,00	30,20	78,20	39,65	39,73
MAGNETITA (%)	1,82	0,80	8,34	1,39	0,75	1,19
QUARTZO TOTAL (%)	1,37	1,59	10,77	2,32	0,84	2,29

Tabela V.40 – Resultados dos testes de pelotamento em pneu das amostras A31, A61, A62, A91 e A93.

Amostra	Umidade determinada (%)	Acabamento superficial da pelota	Aspecto da umidade aparente
A31	12	Bom	Alta
A61	12,5	Ruim	Normal
A62	13	Ruim	Normal
A91	11,5	Ruim	Normal
A93	11,3	Bom	Normal

5.8.2 Teste de pelotamento em disco e resultados dos testes nas pelotas cruas

As figuras 5.178 a 5.182 mostram o aspecto dos concentrados das cinco amostras antes deles serem pelotados em disco. Para esse pelotamento em disco, os concentrados (*pellet feed*) de todas as amostras tiveram que ser desagregados e, mesmo assim, continuaram mostrando presença excessiva de microagregados de partículas ou “micropelotas”.

As amostras A31, A61, A91 e A93 apresentaram uma grande dificuldade de aglomeração devido à alta superfície específica e à excessiva quantidade de “micropelotas” presentes nos concentrados. Por esses fatores, houve muita dificuldade de crescimento de suas pelotas no disco de pelotamento. A amostra A62 (SE – 2496cm²/g), foi a que apresentou maior facilidade em pelotar, com um rápido crescimento das pelotas e um melhor acabamento final das mesmas.

Na Tabela V.41 estão listados os valores padrão de resiliência, CPCU, CPCS e umidade de um PFN e na Tabela V.42 esses mesmos parâmetros para os testes realizados nas pelotas cruas das cinco amostras em estudo.

Pelotas cruas que apresentem valores de resiliência próximos ou abaixo do mínimo padrão são pouco resistentes a quedas consecutivas e, portanto, quebram-se quando caem sucessivamente. Já as pelotas cruas com valores de resiliência próximos ou acima do máximo padrão não se quebram quando têm quedas consecutivas, mas se deformam e perdem sua forma esférica ideal. Assim, com base nos resultados de resiliência das cinco amostras (Tabela V.41) pode-se dizer que A91 e A61 são as que apresentam os valores de resiliência próximos ao típico de um PFN, indicando que as pelotas cruas dessas duas amostras têm boa resistência a quedas e não se deformam. Os resultados das demais amostras estão próximos ou superiores ao resultado máximo de resiliência de um PFN indicando que suas pelotas se deformam na medida em que têm sucessivas quedas.



Figura 5.178 – Aspecto do concentrado da amostra A31 antes do pelotamento.



Figura 5.179 – Aspecto do concentrado da amostra A61 antes do pelotamento.



Figura 5.180 – Aspecto do concentrado da amostra A62 antes do pelotamento.



Figura 5.181 – Aspecto do concentrado da amostra A91 antes do pelotamento.



Figura 5.182 – Aspecto do concentrado da amostra A93 antes do pelotamento.

Tabela V.41 – Valores padrão de resiliência, compressão da pelota crua úmida (CPCU), compressão da pelota crua seca (CPCS) e umidade de um PFN.

	Resiliência (quedas/pelota)	CPCU (g/pelota)	CPCS (g/pelota)	Umidade (%)
Mínimo	4,0	1500	4500	9,0
Máximo	10,0	–	–	10,80
Típico	7,0	2500	8000	9,50

Tabela V.42 – Resultados dos testes de resiliência, CPCU, CPCS e umidade realizados nas pelotas cruas das amostras A31, A61, A62, A91 e A93.

Amostra	Resiliência (quedas/pelota)	CPCU (g/pelota)	CPCS (g/pelota)	Umidade (%)
A31	17	3568	13425	10,68
A61	6	2788	11255	9,91
A62	9	3632	13469	11,62
A91	7	2261	10161	10,61
A93	13	3216	9448	10,21

Quanto aos resultados de CPCU e CPCS as pelotas cruas de todas as cinco amostras apresentam valores próximos ou melhores do que os típicos de um PFN. Os valores de umidade estão relativamente dentro da faixa dos valores padrão (máximo, mínimo e típico).

5.8.3 Teste de queima em forno de *Pot Grate* e resultados dos testes nas pelotas queimadas

Os seguintes comentários foram feitos a respeito dos testes de queima efetuadas nas cinco amostras:

- ✚ A31 – Na tentativa de queima, houve impermeabilidade do leito de pelotas e, conseqüentemente, o teste foi abortado.
- ✚ A61 – Na tentativa de queima, houve impermeabilização do leito formando um bloco com excesso de ganga, que deu a impressão das pelotas estarem quase fundindo.
- ✚ A62 – A primeira queima ocorreu com baixo rendimento de temperatura, não sendo avaliada em qualidade. A segunda queima teve seu teste abortado pela ocorrência de impermeabilidade do leito.
- ✚ A91 – Queimas comprometidas devido às temperaturas atingidas no leito inferior terem ficado abaixo da temperatura ideal para essa região (1300°C).
- ✚ A93 – Queimas com baixa eficiência de temperaturas que não foram avaliadas em qualidade.

As figuras 5.183 a 5.187, a seguir, são fotografias que mostram o aspecto final das pelotas desses testes de queima.

Na Tabela V.43 estão listados os resultados de qualidade química e física (compressão e tamboramento) das pelotas queimadas, bem como as temperaturas máximas atingidas nas camadas do leito de pelotas durante a queima das cinco amostras. Nessa tabela encontram-se também os valores padrão para um PFN.



Figura 5.183 – Aspecto final das pelotas da amostra A31 após teste de queima em *Pot Grate*.



Figura 5.184 – Aspecto final das pelotas da amostra A61 após teste de queima em *Pot Grate*.



Figura 5.185 – Aspecto final das pelotas da amostra A62 após teste de queima em *Pot Grate*.



Figura 5.186 – Aspecto final das pelotas da amostra A91 após teste de queima em *Pot Grate*.

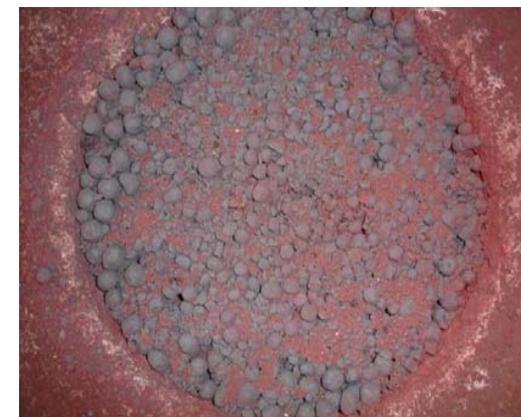


Figura 5.187 – Aspecto final das pelotas da amostra A93 após teste de queima em *Pot Grate*.

Tabela V.43 – Resultados químicos e físicos das pelotas queimadas (amostras A31, A61, A62, A91 e A93) e temperaturas máximas atingidas nos leitos de pelotas durante a queima em *Pot Grate*.

SOLICITAÇÃO 0072/07 - DOUTORADO JÚNIA							
TESTE	1	2	3	4	5	Padrão	
POT	135 e 136/07	138/07	140/07	141/07 - 144/07	145/07	--	
DATA	31/07/2007	02/08/2007	03/08/2007	06/08/2007	07/08/2007	--	
MASSA DE PELOTAS CARREGADA (kg)	36,2	36,2	34,6	31,9	33,0	40,0	
TIPO DE MINÉRIO	A-91	A-93	A-61	A-62	A-31	PFN	
ANÁLISES QUÍMICAS							
FeT (%)	66,93		57,34			66,92	
FeO (%)	3,76		9,92			0,21	
SiO ₂ (%)	1,89		8,66			1,85	
Al ₂ O ₃ (%)	0,48		0,66			0,52	
CaO (%)	1,65		7,77			1,53	
MgO (%)	0,18		0,71			0,15	
P (%)	0,068		0,024			0,046	
B 2	0,87		0,90			0,83	
TESTES FÍSICOS							
COMPRESSÃO -16,0 +12,5 mm							
COMPOSTO GERAL							
Média (kgf/pel.)	104					350	
DP	58					--	
-200 (%)	85					--	
COMPRESSÃO -12,5 +10,0 mm							
COMPOSTO GERAL							
Média (kgf/pel.)	135					--	
DP	77					--	
-200 (%)	87					--	
TAMBORAMENTO (%)							
+ 6.3 mm	84,5					95,0	
- 0.5 mm	8,9					4,4	
TEMPERATURA MÁXIMA ATINGIDA NO LEITO DE PELOTAS DURANTE A QUEIMA (°C)							
CAMADA SUPERIOR	1382		1357	1373		1370	
CAMADA INTERMEDIÁRIA	1341		1205	1298		1350	
CAMADA INFERIOR	1083		929	1046		1320	
CAIXA DE VENTO	432		426	347		450	

Como pode ser visto, apenas A91 possui uma análise completa dos dados, pois foi a única que teve duas queimas, mesmo que pouco eficientes. Tanto seus resultados de resistência à compressão como o de tamboramento estão abaixo dos valores de padrão de um PFN, que são 350kgf/pelota e 95%, respectivamente. É importante observar que a temperatura máxima atingida na camada inferior do leito de pelotas da amostra A91 (1083°C) é bem inferior a essa mesma temperatura do PFN (1320°C), fato que salienta a ineficiência da queima.

Os testes metalúrgicos de rotina em pelotas para alto-forno, tais como, inchamento⁶, redutibilidade⁷, LTD (low temperature degradation)⁸ e ΔP ⁹, não foram efetuados nas pelotas queimadas da amostra A91, pois pelo fato delas apresentarem resultados que as caracterizam como pelotas de baixa qualidade (com valores bem abaixo da especificação) não é justificada uma investigação de suas características metalúrgicas.

⁶ Teste efetuado para medir-se o aumento de volume da pelota quando submetida a um processo de redução similar ao encontrado no alto-forno. Ele é expresso como percentagem do volume da pelota após a redução em relação ao volume da pelota antes da redução.

⁷ Esse teste é feito para medir-se a facilidade com que o oxigênio, combinado ao ferro da pelota, pode ser removido sob ação de um agente redutor.

⁸ Esse teste simula o comportamento das pelotas queimadas quando submetidas às condições similares às encontradas nas regiões de baixa temperatura do alto-forno, avaliando sua resistência à degradação. Este teste é também chamado de "teste de degradação dinâmica".

⁹ Esse teste é efetuado para medir-se a diferença de pressão dos gases antes e após uma camada de pelotas ser submetida a uma determinada pressão e a 80% de redução. O delta P é medido através de uma coluna de água em um tubo em "U".

5.8.4 Testes de queima com parâmetros modificados

Embora o escopo desse trabalho fosse o de caracterizar as cinco amostras de itabirito anfíbolítico aplicando somente os testes que simulem a condição padrão de *performance* dos minérios no atual processo produtivo da Samarco, foram efetuados cinco testes adicionais de queima em *pot grate* com alguns parâmetros modificados.

Esses novos testes foram preliminares com caráter meramente investigativo onde as modificações foram simples, tais como diferentes ritmos de produção, adição de 50% de PFN à amostra de itabirito anfíbolítico a ser testada, utilização de diferentes perfis de queima e uso de um aglomerante orgânico, ao invés da bentonita, em duas dosagens diferentes.

Os testes realizados com o aglomerante orgânico tiveram o intuito de avaliar o ganho em relação ao acabamento superficial das pelotas e aos perfis de queima, bem como os ritmos de produção foram modificados para tentar-se encontrar melhores resultados.

As amostras A91 e A93 foram as escolhidas, dentre todas, para serem submetidas a esses novos testes. Selecionou-se a amostra A91, pois ela foi a única a completar o teste de queima e apresentar resultados, mesmo que não tão bons, aceitáveis. Já a amostra A93, foi escolhida por sua similaridade com a amostra A91, pois houve a necessidade de maior quantidade de material para a realização desses testes.

As condições para cada teste foram:

- **Primeiro teste** – amostra A91 + bentonita (0,40%) como aglomerante; perfil de queima da Usina 3 da Samarco¹⁰, suavizado a baixa pressão; ritmo de produção de 6,07mt/ano.

¹⁰ O perfil de queima do forno da Usina 3 (perfil São Luís) é mais suave que o perfil utilizado no teste padrão (Usina 1). Uma das diferenças fundamentais está no tamanho da zona de pré-queima, que é maior para o perfil da Usina 3.

➤ **Segundo teste**

- A) amostra A91 + aglomerante orgânico na dosagem 0,060%; perfil de queima da Usina 3, suavizado a baixa pressão; ritmo de produção de 6,07mt/ano.
- B) amostra A91 + aglomerante orgânico na dosagem 0,060%; perfil de queima da Usina 3, suavizado a baixa pressão; ritmo de produção de 4,97mt/ano.

➤ **Terceiro teste**

- A) 50% da amostra A93 + 50% de PFN + aglomerante orgânico na dosagem 0,040%; perfil de queima da Usina 3, suavizado a baixa pressão; ritmo de produção de 6,38 milhões de toneladas.
- B) 50% da amostra A93 + 50% de PFN + aglomerante orgânico na dosagem 0,040%; perfil de queima da Usina 3, suavizado a pressão mais alta; ritmo de produção de 6,38mt/ano.

Os parâmetros de pelotamento utilizados para os novos testes foram similares àqueles que foram empregados nos testes padrão (anteriores). Na Tabela V.44 estão listadas as características de umidade dos *pellet feeds* (A91 e A93) e aglomerante (bentonita e orgânico), bem como estão dispostos os resultados dos testes efetuados nas pelotas cruas (CPCU, CPCS e umidade).

Como pode ser observado, com relação à umidade do *pellet feed* o teste 3 (50% da amostra A93 + 50% de PFN) foi o que apresentou os resultados mais próximos aos de um PFN típico (10%). Os resultados de resiliência, CPCU e umidade da pelota crua desse teste 3, cuja mistura foi formada pelo *pellet feed* citado anteriormente com a adição de aglomerante orgânico 0,040%, também foram os mais próximos dos resultados típicos para pelotas PFN e, portanto, são bons resultados. Quanto aos valores de CPCS, nenhum dos testes apresentou resultado próximo do típico (8000g/pelota), mas o teste 1 foi o que teve o mais elevado deles.

Comparando-se os resultados do teste 1 (bentonita como aglomerante) com os do teste 2 (aglomerante orgânico 0,060%) verifica-se que de maneira geral, os resultados do segundo testes estão melhores, pois estão mais próximos dos típicos. Dessa forma, a adição do aglomerante orgânico no lugar da bentonita melhora as características de acabamento da pelota crua.

Tabela V.44 – Características de umidade das novas misturas das amostras A91 e A93 e novos resultados dos testes de resiliência, CPCU, CPCS e umidade.

 GERÊNCIA DE ENGENHARIA DE PROCESSO E AUTOMAÇÃO - POT GRATE			
SOLICITAÇÃO 0072/07 - DOUTORADO JÚNIA - TESTES DE OTIMIZAÇÃO			
TESTE	1	2	3
DATA	22/8/2007	23/8/2007	27/8/2007
PELLET FEED	A - 91	A - 91	A - 93 (50%) PFN 10/05/07 (50%)
UMIDADE DO PF (%)	11,5	11,0	10,5
AGLOMERANTE UTILIZADO	BENTONITA UNIÃO	PERIDUR 532	PERIDUR 532
DOSAGEM DE AGLOMERANTE (%)	0,400	0,060	0,040
QUALIDADES FÍSICAS DAS PELOTAS CRUAS			
RESILIÊNCIA (q/pel)	18	13	7
C.P.C.U. (g/pel.)	3237	3459	2120
C.P.C.S. (g/pel.)	9316	6179	3973
UMIDADE (%)	10,41	9,94	9,76

Na Tabela V.45 estão listados os resultados das queimas desses novos testes.

Da análise dos dados percebe-se que os valores de compressão, tamboramento e temperatura atingida nos leitos (superior, intermediário e inferior) do teste 3 são os melhores, pois estão próximos aos de um PFN típico (dentro da especificação). Nota-se também, que os valores do teste 3B (perfil da Usina 3 suavizado com pressão mais alta) são ainda um pouco melhores do que os do teste 3A.

O teste 2, de forma geral, não apresentou resultados de compressão e tamboramento dentro da faixa desejável, mas atingiu temperaturas nos leitos próximas às típicas. Nesse caso também, os valores do teste 2B (ritmo de produção mais baixa) são melhores que os do teste 2A.

Fazendo-se a comparação entre os resultados do teste 1 com os do teste 2A, cuja única modificação está no aglomerante utilizado, percebe-se que a utilização da bentonita resulta em melhores resultados de compressão e tamboramento da pelota queimada, do que o uso desse aglomerante orgânico (nessa dosagem) testado.

Tabela V.45 – Resultados dos novos testes de queima efetuados nas amostras A91 e A93.

SOLICITAÇÃO 0072/07 - DOUTORADO JÚNIA - TESTES DE OTIMIZAÇÃO		GERÊNCIA DE ENGENHARIA DE PROCESSO E AUTOMAÇÃO - POT GRATE			
TESTE	1	2		3	
POT	153/07	155/07	156/07	157/07	158/07
DATA	21/8/2007	22/8/2007	22/8/2007	27/8/2007	27/8/2007
MASSA DE PELOTAS CARREGADA (kg)	36,2	36,2	36,2	38,0	38,0
TIPO DE MINÉRIO	A-91	A-91	A-91	PFN 10/05/07 (50%) A-93 (50%)	PFN 10/05/07 (50%) A-93 (50%)
AGLOMERANTE UTILIZADO / DOSAGEM (%)	UNIÃO / 0,400	PERIDUR 532 / 0,060	PERIDUR 532 / 0,060	PERIDUR 532 / 0,040	PERIDUR 532 / 0,040
VELOCIDADE DA GRELHA USINA 03 (m/min)	5,50	5,50	4,50	5,50	5,50
RITMO DE PRODUÇÃO USINA 03 (mt/ano)	6,07	6,07	4,97	6,38	6,38
PERFIL	USINA 03 - SUAVIZADO BAIXA PRESSÃO	USINA 03 - SUAVIZADO BAIXA PRESSÃO	USINA 03 - SUAVIZADO BAIXA PRESSÃO	USINA 03 - SUAVIZADO BAIXA PRESSÃO	USINA 03 - SUAVIZADO PRESSÃO MAIS ALTA
ANÁLISES QUÍMICAS					
FeT (%)					
FeO (%)					
SiO ₂ (%)					
Al ₂ O ₃ (%)					
CaO (%)					
MgO (%)					
P (%)					
B 2					
TESTES FÍSICOS					
COMPRESSÃO -16,0 +12,5 mm					
COMPOSTO GERAL					
Média (kgf/pel.)	132	105	197	324	353
DP	74	53	81	161	138
-200 (%)	84	94	56	24	14
COMPRESSÃO -12,5 +10,0 mm					
COMPOSTO GERAL					
Média (kgf/pel.)	110	103	231		316
DP	55	47	102		116
-200 (%)	94	98	35		15
TAMBORAMENTO (%)					
+ 6,3 mm	85,1	81,3	91,1	93,1	94,1
-6,3 +0,5 mm	6,5	6,2	2,7	1,1	1,1
- 0,5 mm	8,4	12,5	6,2	5,8	4,8
TEMPERATURA MÁXIMA ATINGIDA NO LEITO DE PELOTAS DURANTE A QUEIMA (°C)					
CAMADA SUPERIOR	1375	1326	1353	1376	1378
CAMADA INTERMEDIÁRIA	1348	1292	1321	1352	1352
CAMADA INFERIOR	1220	1267	1304	1271	1298
CAIXA DE VENTO	418	385	485	453	496

5.9 BREVE DISCUSSÃO ACERCA DA ORIGEM DA GOETHITA PSEUDOMÓRFICA DE ANFIBÓLIO

Há uma controvérsia sobre a adequabilidade do nome itabirito anfíbolítico, que é amplamente utilizado no meio de mineração, para denominarem itabiritos hidratados, de coloração castanho-amarelada e cujo único indicativo da presença de anfíbólios predecessores, está na semelhança do *habitus* fibroso das goethitas com o de alguns anfíbólios típicos.

Esses itabiritos são caracterizados pela alternância de: 1) bandas esbranquiçadas, compostas principalmente por quartzo; 2) com bandas acinzentadas (escuras), compostas principalmente por óxidos e oxi-hidróxidos de ferro (hematitas, magnetitas e goethitas); com bandas castanho-amareladas (ocre), compostas principalmente por goethitas de *habitus* fibroso semelhante ao de anfíbólios e que é conhecida como goethita pseudomórfica de anfibólio.

Como já mencionado anteriormente, no Complexo Alegria, até recentemente, itabiritos contendo anfibólio fresco não haviam sido encontrados. As campanhas de sondagem mais recentes (a partir de 2005) atingiram regiões mais profundas da formação ferrífera e encontrou-se itabiritos esverdeados caracterizados como contendo anfíbólios inalterados (itabiritos anfíbolíticos frescos).

As principais características desses itabiritos são:

- ❖ Não estão aflorando e encontram-se normalmente em profundidades abaixo de 250m do nível de superfície.
- ❖ Sua tonalidade geral é esverdeada.
- ❖ São formados pela alternância de bandas claras (compostas principalmente pelo quartzo e carbonatos), com bandas escuras (compostas principalmente por óxidos de ferro) e bandas esverdeadas (compostas por anfíbólios fibrosos).

Na Tabela V.46 estão listados os resultados de fluorescência de raios-X e na Tabela V.47 os de difratometria de raios-X de quatro amostras, que são testemunhos de sondagem (diâmetro 9cm e aproximadamente 30cm de comprimento cada) retirados de furos na porção em que perfuraram esses itabiritos esverdeados. Os difratogramas dessas quatro amostras encontram-se disponíveis nos anexos (Anexo 19).

Uma primeira observação é a de que, de forma geral, há uma boa coerência entre os resultados químicos das amostras e suas respectivas mineralogias.

Nas amostras AF1 e AF2 o anfibólio encontrado foi a riebeckita, ou melhor, da série riebeckita-glaucofana, que são anfibólios de *habitus* fibroso e composição ferro-sódico-magnesianiana podendo conter também o alumínio. Já nas amostras AF3 e AF4, o anfibólio encontrado foi a grunerita (ou da série grunerita-cummingtonita), que também têm *habitus* fibroso e a composição é ferro-magnesianiana. Assim, em todas as amostras foram encontrados anfibólios de ferro, o que está altamente coerente com o ambiente de sua geração, que sabidamente era rico nesse elemento.

Nas amostras AF1, AF3 e AF4 a ankerita, um carbonato de *Ca-Fe-Mg*, está presente entre os principais minerais. O quartzo e a magnetita são encontrados em todas as amostras enquanto a hematita está presente apenas em AF3 e AF4.

A associação mineralógica encontrada nesses itabiritos anfibolíticos frescos, ou seja, anfibólios, óxidos de ferro, quartzo e carbonato, vem a corroborar a origem atribuída a eles: formações ferríferas da fácies silicato ou óxido-silicato, contendo intercalações e impurezas carbonáticas.

A goethita, se presente nessas amostras, está em muito baixa concentração e não foi detectada pela difratometria de raios-X.

Tabela V.46 – Resultados de fluorescência de raios-X de amostras de itabirito fresco.

Itabiritos anfíbolíticos frescos																	
Amostra	Elementos																
	Alta conc.		Média conc.		Baixa conc.		Traços										
AF1	Fe	Si	O	Mg	Na	-	-	Mn	Cr	Ca	Cl	S	P	K	-	-	-
AF2	Fe	Si	O	Mg	Na	-	-	Mn	Cr	Ca	Cl	S	P	-	Al	Ti	-
AF3	Fe	Si	O	Ca	Mg	Mn	Al	-	Cr	-	Cl	S	P	K	-	Zr	-
AF4	Fe	Si	O	Ca	Mg	Mn	-	-	Cr	-	Cl	S	P	K	Al	Zr	Na

Tabela V.47 – Resultados de difratometria de raios-X de amostras de itabirito fresco.

Itabiritos anfíbolíticos frescos						
Amostra	Mineralogia					
	Abundante	Média	Baixo	Traços		
AF1	<i>Riebeckita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>Ankerita</i>	-	<i>Magnetita</i>	-
AF2	-	<i>Quartzo</i>	<i>Riebeckita</i>	-	<i>Magnetita</i>	-
AF3	<i>Ankerita</i>	<i>Magnetita</i>	<i>Grunerita</i>	<i>Quartzo</i>	<i>Hematita</i>	-
AF4	<i>Ankerita</i>	<i>Grunerita</i>	-	<i>Quartzo</i>	<i>Magnetita</i>	<i>Hematita</i>

A Figura 5.188 é uma fotografia tirada de um furo de sondagem que também perfurou o itabirito anfibolítico fresco. Nela está mostrado um dos contatos entre esse itabirito (fresco) com uma porção onde ele encontra-se alterado. A passagem alterada tem coloração castanho-amarelada e é composta basicamente por goethitas fibrosas, que têm *habitus* idêntico ao dos anfibólios da região do contato. Essas goethitas estão indubitavelmente substituindo esses anfibólios, mas preservando a forma externa (*habitus*) deles. Elas são, portanto, pseudomórficas desses anfibólios.

A Figura 5.189 é uma fotografia tirada do mesmo furo de sondagem da Figura 5.188 e está mostrando em detalhe, o itabirito anfibolítico fresco. Salienta-se a coloração esverdeada e a presença de anfibólios fibrosos.

A fotografia da Figura 5.190 mostra uma parte do testemunho de sondagem da qual foi retirada a amostra AF4. Notar, no detalhe, a coloração esverdeada dada pelos anfibólios fibrosos (grunerita) presentes em abundância.

As figuras 5.191 a 5.195 são fotomicrografias tiradas no MEV de partículas presentes nas amostras AF3 e AF4 pulverizadas. As regiões marcadas foram também analisadas no microanalisador EDS.

A Figura 5.191 mostra o aspecto geral do pó da amostra AF3. Nela são observadas várias fibras de anfibólio, carbonatos e óxidos de ferro.

A Figura 5.192 mostra um detalhe da região 1 da Figura 5.191. A composição da região 1 é característica do anfibólio grunerita.

Na Figura 5.193 mostra um detalhe da região 2 da Figura 5.191, que também foi analisada pelo microanalisador EDS. O resultado da análise caracteriza essa partícula como sendo de hematita que está impura devido às influências das regiões vizinhas no feixe analisado.



Figura 5.188 – Fotografia tirada de furo de sondagem da Mina de Alegria Norte mostrando passagem alterada dentro do itabirito anfibolítico fresco.



Figura 5.189 – Fotografia tirada de furo de sondagem da Mina de Alegria Norte mostrando em detalhe o itabirito anfibolítico fresco.

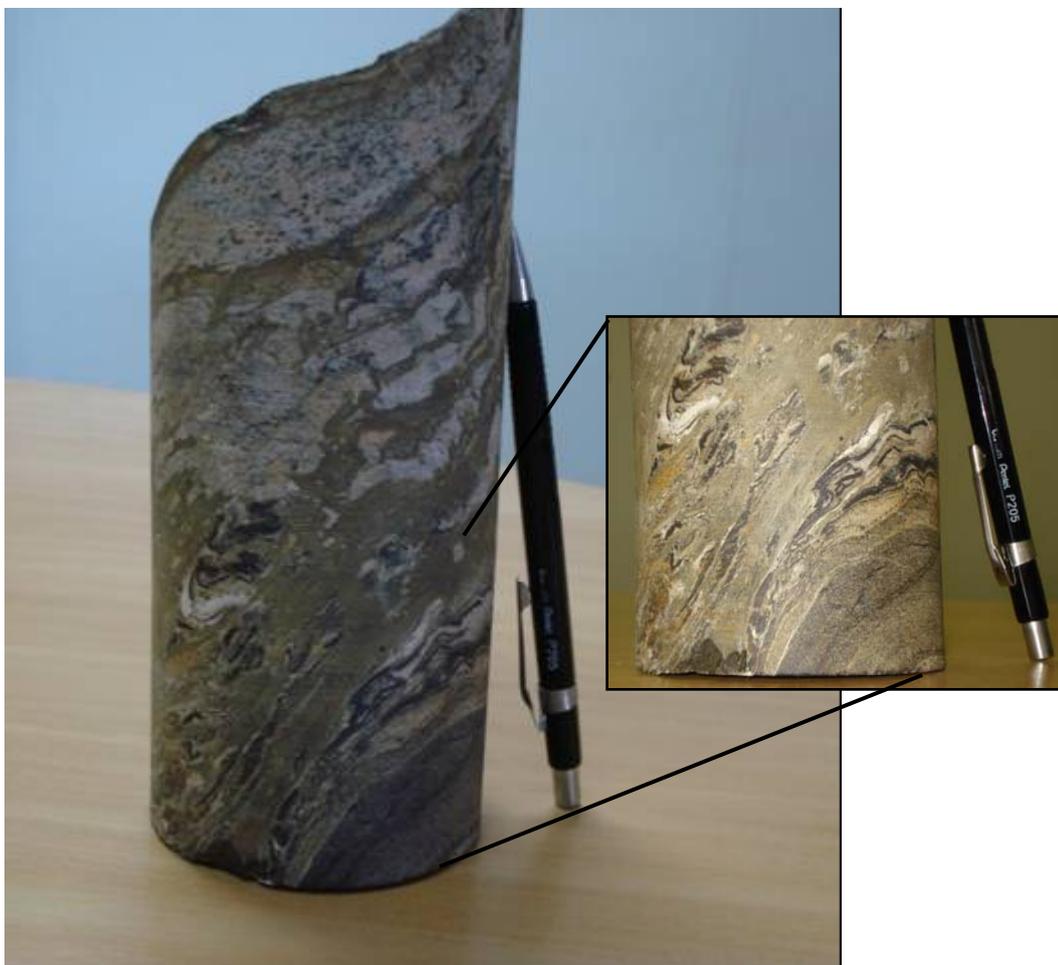


Figura 5.190 – Fotografias tiradas de testemunho de sondagem das Minas de Alegria mostrando itabirito anfibolítico fresco.



Figura 5.191 – Fotomicrografia mostrando aspecto geral da amostra AF3 (pulverizada). MEV-IRE. 75X.



Figura 5.192 – Fotomicrografia da amostra AF3 mostrando em detalhe a região 1 da Figura 5.191. MEV-IRE. 500X.

		<i>Elementos Químicos (%)</i>				
Área	Mineral	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Na ₂ O	MgO
1	Grunerita	35,15	63,47	0,69	ND	0,67

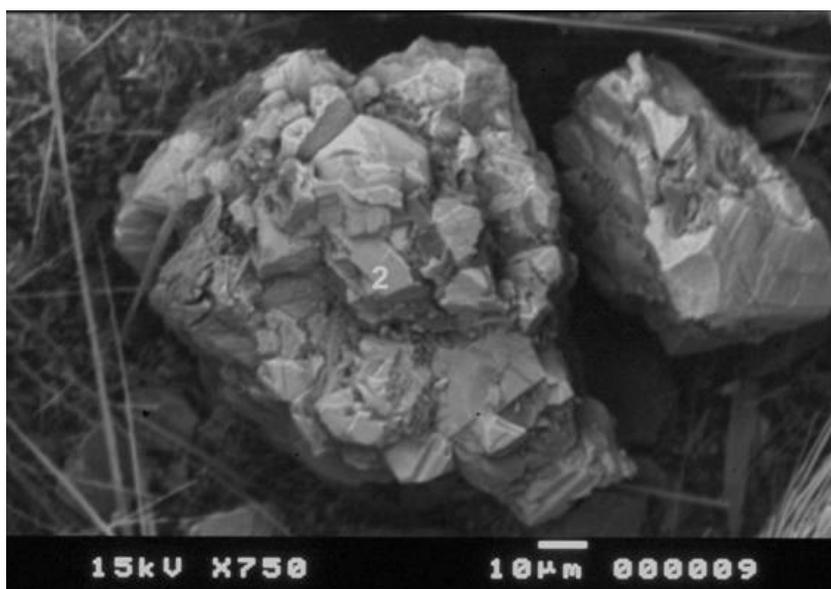


Figura 5.193 – Fotomicrografia tirada da amostra AF3 mostrando em detalhe a região 2 da Figura 5.191. MEV-IRE. 750X.

Área	Mineral	<i>Elementos Químicos (%)</i>				
		Fe	SiO ₂	CaO	Na ₂ O	MgO
2	Hematita	66,21	3,66	0,38	ND	ND

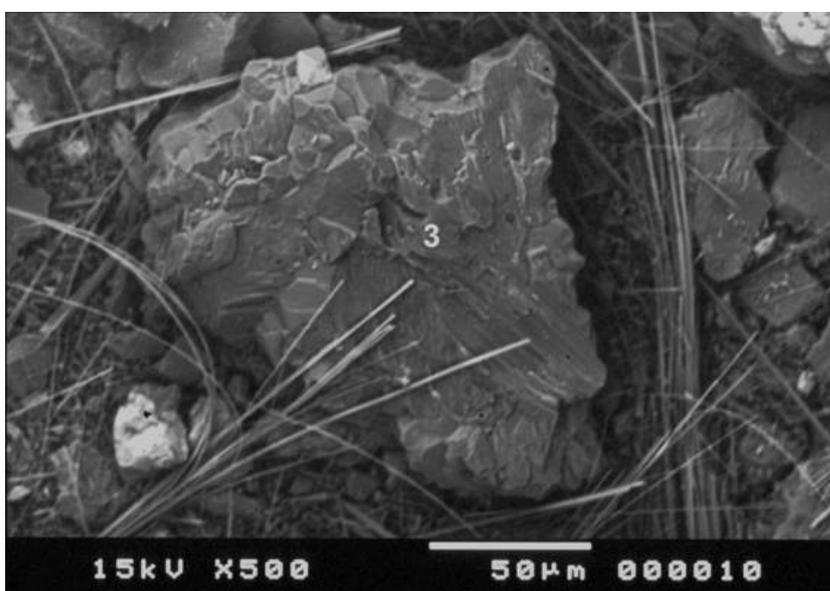


Figura 5.194 – Fotomicrografia da amostra AF3 mostrando em detalhe a região 3 da Figura 5.191. MEV-IRE. 500X.

Área	Mineral	<i>Elementos Químicos (%)</i>				
		Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Na ₂ O	MgO
3	Ankerita	53,98	ND	39,10	ND	6,92

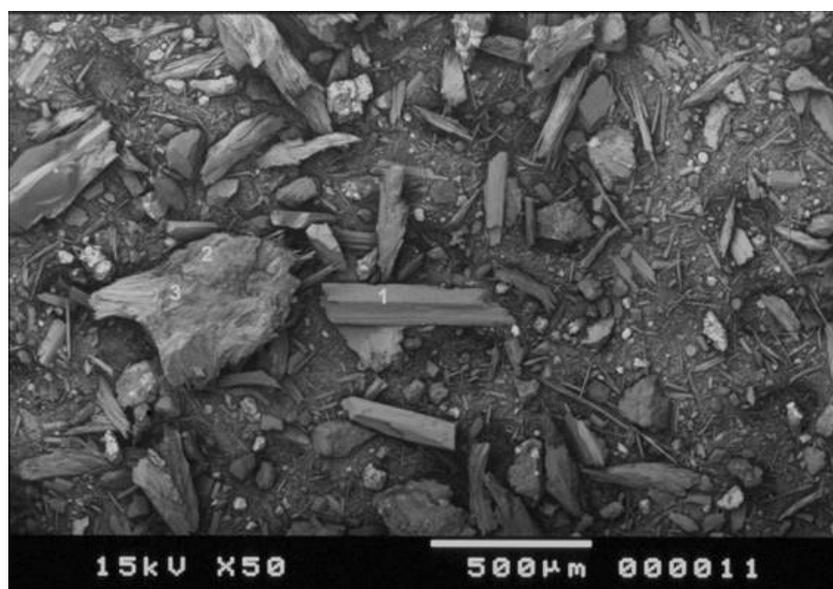


Figura 5.195 – Fotomicrografia mostrando partículas presentes na amostra AF4 pulverizada onde as regiões marcadas foram também analisadas pela microanalisador EDS. MEV-IRE. 50X.

		<i>Elementos Químicos (%)</i>				
Área	Mineral	Fe₂O₃	SiO₂	CaO	Na₂O	MgO
1	Grunerita	54,21	42,57	ND	ND	3,22
2	Ankerita	53,71	ND	42,61	ND	3,69
3	Grunerita	64,96	33,25	ND	ND	1,79

A fotomicrografia da Figura 5.194 mostra em detalhe a região 3 da Figura 5.191. O resultado da análise pelo microanalisador EDS dessa região leva a concluir que essa partícula trata-se do carbonato ankerita.

A fotomicrografia da Figura 5.195 mostra partículas presentes na amostra AF4 (pulverizada). As regiões marcadas foram também analisadas pelo microanalisador EDS. Os resultados das áreas 1 e 3 as caracterizam como sendo a grunerita e o resultado da região 2 a caracteriza como sendo a ankerita.

Outro fator que vem a reforçar essa origem anfibolítica para as goethitas fibrosas dos itabiritos castanho-amarelados, que são itabiritos originalmente anfibolíticos atualmente alterados, é a localização desses itabiritos anfibolíticos frescos nos modelos geológico-tipológicos das áreas de Alegria. Os furos contendo os itabiritos anfibolíticos frescos estão sendo descritos e lançados nas seções verticais e esses itabiritos (frescos) estão se encaixando, em profundidade, dentro dos corpos mapeados como itabiritos anfibolíticos alterados – aqueles de coloração castanho-amarelada e que apresentam somente a goethita fibrosa (pseudomórfica de anfibólio) substituindo os antigos anfibólios. Assim, há continuidade entre os itabiritos anfibolíticos frescos e os alterados e que mostra-se em perfeita concordância com estruturação geológica geral do depósito de Alegria.

Assim, não ficam mais dúvidas de que os itabiritos de coloração castanho-amarelada e contendo goethita de *habitus* fibroso tratam-se na realidade, de itabiritos anfibolíticos alterados. Nesses itabiritos alterados, o anfibólio anteriormente presente, no caso a riebeckita e/ou grunerita, foi totalmente substituído pela goethita (menos freqüentemente pelo quartzo), mas manteve a forma externa dos anfibólios originais (pseudomorfismo).

6 CONCLUSÕES

- 1) Com base em seus dados granulométricos, todos os cinco itabiritos anfíbolíticos estudados não são compactos e, portanto, potencialmente minérios. Para seu beneficiamento, transporte e pelotização, eles terão que ser britados, moídos e remoídos.
- 2) As distribuições granulométricas das alíquotas Tal e Qual, Britado 2 e Descarga da Moagem dos cinco itabiritos anfíbolíticos são semelhantes entre si, não sendo observadas grandes discrepâncias.
- 3) Os cinco itabiritos anfíbolíticos têm teores de Fe_T típicos de itabiritos pobres (<50%), os de P são relativamente altos (>0,050%), os valores de Al_2O_3 estão dentro da faixa média dos teores dos minérios das minas de Alegria (exceto para A31), os de PPC são elevados (>3%) e os de MnO_2 e de FeO estão relativamente dentro das faixas dos minérios de Alegria.
- 4) Esses itabiritos anfíbolíticos estudados têm teores de lama superiores aos valores médios apresentados pelos minérios da Samarco (>8%) e essas lamas são normalmente mais ricas em Fe , P , Al_2O_3 e PPC que a alimentação da flotação.
- 5) Tanto os teores de Fe como os de SiO_2 presentes nos concentrados desses itabiritos anfíbolíticos são considerados bons resultados, principalmente, quando se leva em consideração os maiores percentuais de lama que esses itabiritos têm. Os teores de P e de PPC são relativamente altos para os minérios da Samarco.
- 6) Os teores de Fe_T no rejeito são inferiores a 15%, que são bons resultados para testes de flotação de bancada. Esses valores indicam que houve uma boa seletividade e que as partículas de quartzo foram para o rejeito principalmente.
- 7) Os elementos P , Al , Mn , Mg , Cr , Ca , Cl , S , Ti e Na , detectados pela fluorescência de raios-X em concentrações baixas ou como traços, devem estar incorporados na estrutura dos óxidos/oxi-hidróxidos de ferro, mas principalmente, nas goethitas dessas amostras.

- 8) A composição mineralógica principal desses itabiritos anfíbolíticos tem a goethita e a hematita martítica como principais minerais de ferro, a magnetita está presente em baixa proporção e a hematita lamelar está praticamente ausente. O quartzo é encontrado entre os principais minerais de todos esses itabiritos; a caulinita e a gibbsita figuram entre os principais minerais apenas no itabirito anfíbolítico de Alegria 3/4/5.
- 9) As formas diferentes em que cada fase mineralógica é encontrada e em qual abundância cada uma dessas formas está presente, praticamente, não sofrem variações entre as diferentes alíquotas de uma mesma amostra.
- 10) Em todas as amostras a goethita ocorre em suas formas botrioidal, maciça, pseudomorfos de anfíbólio, produto de alteração das magnetitas (goethitização das magnetitas) e terrosa. As hematitas martíticas estão normalmente subédricas, usualmente exibem a típica textura de treliça e apresentam variados graus de porosidade e alteração. A magnetita está presente principalmente relictas nas hematitas martíticas goethitizadas ou não e a hematita lamelar, quando presente, está ou sob a forma de agregados cimentados por goethita (maciça) ou sob a forma de cristais isolados.
- 11) O quartzo está normalmente anédrico, monocristalino, frequentemente liberado e pode conter inclusões de minerais de ferro. Em alguns itabiritos foram também encontrados quartzos substituindo o anfíbólio (pseudomórficos). A caulinita está presente sob a forma de pequenos cristais prismáticos em meio à goethita botrioidal/macíça e a gibbsita, menos abundante, ocorre sob a forma granular (terrosa).
- 12) De forma geral, os minerais de ferro têm graus de alteração e de porosidade elevados e o tamanho das partículas é bem variado (desde poucos micrômetros até alguns milímetros).

- 13) A termogravimetria mostrou que a desidroxilação das goethitas presentes nas cinco amostras dos itabiritos anfíbolíticos estudados ocorre de forma relativamente abrupta, no intervalo de temperatura que vai de 206°C a 449°C e que, a temperatura na qual se dá a maior perda dessas hidroxilas é variável, mas em média situa-se no intervalo de 307°C a 320°C.
- 14) As áreas superficiais específicas (BET) dos concentrados remoídos desses itabiritos anfíbolíticos são elevadas quando comparadas aos valores médios encontrados para alguns tipos de minério de Alegria.
- 15) A análise da porosidade pelo método de adsorção-condensação de N₂ (metodologia BJH) mostrou que todos esses itabiritos anfíbolíticos estudados são semelhantes entre si, quanto às suas características de volume total, diâmetro máximo e d₅₀ dos mesoporos.
- 16) O itabirito anfíbolítico em que a goethita, em suas formas maciça e botrioidal, é o principal mineral de ferro foi aquele que apresentou a maior resistência tanto à moagem como à remoagem, mas mostrou o maior aumento da ASE (100%) após essa remoagem.
- 17) A remoagem levou ao aumento tanto no volume total de mesoporos como no valor do d₅₀ de suas distribuições. Isso é uma forte indicação de que houve abertura de mesoporos e/ou microporos previamente fechados.
- 18) As recuperações em massa e metálicas tanto dos testes de flotação (bancada), como as globais das cinco amostras de itabiritos anfíbolíticos testadas são semelhantes entre si, variam dentro de faixas estreitas de valores e são melhores que os valores médios calculados a partir de resultados de testes em bancada nas amostras de minério dos furos de sondagem de Alegria (Samarco).
- 19) Os teores de goethita e PPC dos concentrados gerados desses itabiritos anfíbolíticos para os testes de pelletização são muito superiores aos valores de especificação (Samarco) de um *pellet feed* adequado à geração de pelotas para alto-forno. Já os teores de hematita especularítica (lamelar), muito inferiores.

- 20) Apenas um dos itabiritos anfíbolíticos testados (A91, Alegria 9) concluiu os dois testes de queima em *Pot Grate* e embora as eficiências dessas queimas tenham sido baixas, suas pelotas queimadas puderam ser avaliadas em qualidade. Os resultados de resistência à compressão e tamboramento dessas pelotas ficaram bem inferiores aos de especificação da Samarco.
- 21) Os testes metalúrgicos de rotina em pelotas para alto-forno, tais como, inchamento, redutibilidade, LTD (low temperature degradation) e ΔP , não foram efetuados nas pelotas queimadas da amostra A91, pois pelo fato delas apresentarem resultados que as caracterizam como pelotas de baixa qualidade (com valores bem abaixo da especificação), não ficou justificada uma investigação de suas características metalúrgicas.
- 22) Os testes de queimas com parâmetros modificados mostraram que, com algumas modificações simples, tais como diferentes ritmos de produção, adição de 50% de PFN à amostra de itabirito anfíbolítico a ser testada, utilização de um perfil de queima mais suave e o uso de um aglomerante orgânico (em duas dosagens diferentes) em substituição à bentonita, levaram a melhores queimas e pelotas queimadas com parâmetros dentro da especificação.
- 23) A suposição de que a presença dos elementos traços *Ca*, *Na* e *Mg* na estrutura das goethitas era um forte indicativo da existência anterior de anfíbólios e carbonatos que contivessem esses elementos em sua estrutura, fica fortalecida pela presença dos itabiritos anfíbolíticos frescos recém-encontrados em Alegria. Esses itabiritos têm coloração esverdeada, contém os anfíbólios riebeckita (sódico-férrica) e/ou grunerita (férrica) com *habitus* fibroso, que estão também associados com a ankerita (carbonato de *Fe-Ca-Mg*), com a magnetita, com a hematita e com o quartzo.
- 24) A associação mineralógica encontrada nesses itabiritos anfíbolíticos frescos, ou seja, anfíbólios, óxidos de ferro, quartzo e carbonato, vem a corroborar a origem atribuída a eles: formações ferríferas da fácies silicato ou óxido-silicato, contendo intercalações e impurezas carbonáticas.

- 25) Todo o conjunto de técnicas (analíticas e de imagem) atingiu perfeitamente o objetivo de caracterização dessas amostras. As vantagens e limitações de cada técnica se complementaram mutuamente com as das outras técnicas, numa associação sinérgica.
- 26) Baseado nos resultados mineralógicos e de todos os testes realizados que simulam o processo produtivo da Samarco, propõe-se a individualização de quatro tipos diferentes de itabiritos anfíbolíticos. Assim:
- ❖ o itabirito anfíbolítico da amostra A31 comporá o tipo AF1, por apresentar mineralogia distinta das demais, maior resistência à moagem e remoagem, maior conteúdo de lamas e por representar um tipo de itabirito que está presente de forma expressiva dentro da Mina de Alegria 3/4/5.
 - ❖ O itabirito anfíbolítico da amostra A61 comporá o tipo AF2, por apresentar uma maior quantidade de partículas mistas de quartzo e minerais de ferro, resistentes à moagem e de difícil liberação, levando a comportamentos um pouco piores na flotação levando a concentrados com maior conteúdo em sílica e rejeitos enriquecidos em ferro.
 - ❖ O itabirito anfíbolítico da amostra A62 comporá o tipo AF3, devido à sua maior PPC e ao seu maior conteúdo em goethitas que levam a um comportamento diferenciado nos processos presentes na Unidade de Ponta Ubu (filtragem, pelotamento e queima das pelotas).
 - ❖ Os itabiritos anfíbolíticos das amostras A91 e A93 deverão ser englobadas dentro de um mesmo tipo AF4, por suas similaridades principalmente nos testes de moagem, deslamagem, flotação, pelotamento e queimas.

7 CONTRIBUIÇÕES ORIGINAIS AO CONHECIMENTO

- Caracterização de amostras de itabirito envolvendo mais de uma técnica de análise química e mineralógica.
- Levantamento de dados mineralógicos (quantitativos e qualitativos) detalhados de itabiritos anfíbolíticos.
- Investigação da existência de goethitas pseudomórficas de anfíbólio, bem como da gênese dos itabiritos anfíbolíticos.
- Caracterização mineralógica qualitativa detalhada de produtos de testes de bancada de deslamagem e flotação de itabiritos anfíbolíticos.
- Levantamento de dados de porosidade pelo método BET de concentrados moídos e remoídos de itabiritos anfíbolíticos.

8 RELEVÂNCIA DOS RESULTADOS

- Melhoria do conhecimento das principais características dos itabiritos anfíbolíticos, gerando informações que podem ser utilizadas para embasar propostas de adequações nos atuais processos produtivos da Samarco, de forma que o tratamento desses itabiritos seja com bons índices de produtividade e produção. Essas informações podem também ser utilizadas para embasarem propostas de novas rotas de processo totalmente adequadas ao tratamento desses itabiritos.
- As características químicas e granulométricas associadas aos bons resultados apresentados pelos itabiritos anfíbolíticos nos testes de bancada que simulam o processo produtivo (Samarco), os classificam como minérios e, portanto, há a possibilidade do aumento de reserva da Samarco.

9 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se que seja efetuada uma caracterização tecnológica detalhada desses itabiritos anfíbolíticos, para que se façam as adequações necessárias à concentração desses itabiritos nas atuais usinas da Samarco ou para que se proponham novas rotas de processá-los.

É importante que haja continuidade nos trabalhos de caracterização tecnológica dos concentrados gerados desses itabiritos anfíbolíticos, de forma a otimizar seus resultados de pelotamento e queima, para que seja possível fazerem-se adequações ao atual processo ou que venham a suportar a proposta de perfis de queima diferentes e mais adequados a esses tipos de minério.

Mapear os quatro tipos de itabiritos anfíbolíticos nas minas de Alegria e localizá-los nas seções (verticais e horizontais) e nos modelos geológico-tipológicos 3D das minas e, assim, possibilitar o posterior sequenciamento de lavra dos mesmos.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRETT, E. P., JOYNER, L. G., HALENDA, P. B. - The determinations of pore volume and area distribution in porous substances. I. Computations from nitrogen isotherms. *Journal of the American Chemical Society*, vol.73, p.373-380, 1951.
- BIONDI, J. C. *Processos Metalogenéticos e os Depósitos Minerais Brasileiros*. Edição. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2003. 528p.
- BRANDÃO, P. R. G. *Curso Métodos de Instrumentação e Análise*. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2007 (Notas de Aula).
- BRANDÃO, P. R. G. *Curso Caracterização de Minérios; Notas de Aula*. Samarco Mineração S.A. 2003 (Apostila).
- BRANDÃO, P. R. G., ARAUJO, A. C. E PERES, A. E. C. – Espectrofotometria infravermelha na investigação de espécies adsorvidas – Simpósio EPUSP de Caracterização Tecnológica na Engenharia e Indústria Mineral. São Paulo – SP, nov/1990, p. 211-230.
- COSTA, A. G. D., ROCHA, J. M. P., BONFIOLI, L., VIEIRA, C. B. *A Importância do Modelamento Geológico-Tipológico no Controle de Qualidade dos Concentrados e Pelotas e Minério de Ferro da Samarco Mineração S/A*. In: XXIX Seminário de Redução de Minério de Ferro, 24, 1998, Belo Horizonte – MG. p. 545-555.
- COSTA, A. G. D. *Caracterização dos Parâmetros Intrínsecos de Porosidade pelo Método de Adsorção de Nitrogênio de Concentrados Remoídos de Minérios Itabiríticos do Complexo Alegria*. Ouro Preto: Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 2005. 124p. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da Rede Temática em Engenharia de Materiais – REDEMAT da Universidade Federal de Ouro Preto.
- CRAIG, J. R., VAUGHAN, D.J. *Ore Microscopy and Ore Petrography*. 2nd. Ed. New York: John Wiley & Sons. 1994, 434p.

- DANA, J. D. *Manual de mineralogia*. Rev. Cornelius S. Hurlbut, JR. Trad. Rui Ribeiro Franco. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1981.667p.
- DEER, W. A., HOWIE, R. A., ZUSSMAN, J. *An introduction to the rock-forming minerals*. 2nd ed. England: Longman. 1997. 694p.
- DORR II, J. V. N. *Ocorrências e classificação de minérios de ferro no Quadrilátero Ferrífero*. Conf. Pron. na Semana de Estudos sobre Padronização dos Minérios. Agosto, 1964a.
- DORR II, J. V. N. Supergene iron ores of Minas Gerais, Brazil. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, vol 59, N° 7, 1203-1240, november, 1964b.
- ENGLAND, B.M. *Scanning Electron Microscopy*. The Mineralogical Record. V. 22. 123-132p, March-April, 1991.
- FARMER, V.C. *The infrared spectra of Minerals*. London: Mineralogical Society, 1974. 538p.
- FEITOSA, V. M. N., SILVA, J. P., RABELO, P. J. B., COELHO, L. H. *Estudos de caracterização mineralógica e suas implicações no processo na mina de Alegria*. In: Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 7º, 1993, Belo Horizonte. Anais do workshop geologia estrutural dos minérios de ferro. Belo Horizonte: FAPEMIG, 1993. p. 369-373
- FORMOSO, M. L. L. Difractometria de raios-X. In: Celso B. Gomes. *Técnicas Analíticas Instrumentais Aplicadas à Geologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1984. Capítulo I, 1-43p.
- GOLDSTEIN, J. L., NEWBURY, D.E., ECHLIN, P., JOY, D.C., ROMIG Jr, A.D., LYMAN, C.E., FIORI, C., LIFSHIN, E. *Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis*. 2nd ed. New York: Plenum Press, 1992, 820p.
- GROSSI SAD, J. H., et al, *Geologia da jazida de Alegria 1/2/6*. 1994. (Relatório interno da Samarco Mineração S.A.).

- HASUI, Y. et al., *Quadro lito-estrutural, tipologia geológica de minérios de ferro e modelo de formação da jazida de Alegria*. 1993. Volume 1. 70p. (Relatório interno da Samarco Mineração S.A.).
- HASUI,, Y., ZANARDO, A., HACKSPACHER, P.C., VERÍSSIMO, C. U. V., FEITOSA, V. M. N., COELHO, L. H. *Mina de Alegria (Porção Ocidental). Parte I: Tipologia dos constituintes da jazida de ferro*. Geociências, São Paulo, 13 (1): 121-148, 1994.
- JAMES, H. L. *Distribution of banded iron formation in space and time* In: A. F. Trendall an R. C. Morris (Editors), *Banded Iron Formation: Facts and Problems*. Elsevier. P. 471-490, 1983.
- JONES, M.P. *Applied Mineralogy – A Quantitative Approach*, London: Graham & Trotman, 1987, 259p.
- KLEIN, C. *Diagenesis and metamorphism of the precambrian banded iron-formations*. In: MORRIS, R. C., TRENDALL, A. F. *Iron-formation facts and problems*. Developments in precambrian geology 6. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V., 1983. Capítulo 11, 417-469p.
- KLEIN, C., HURLBUT JR., C. *Manual of Mineralogy*. 20 ed. New york: John Wiley & Sons, 1985. 596p.
- LIU, V.W., OROSZ, J.M. *Microscópio Eletrônico de Varredura – Sua Aplicação em Matérias-Primas e Produtos Cerâmicos*. Cerâmica, v. 21, n.84, p. 220-238. Out/Dez 1975.
- MCCLURE, M. R. *The crystal lattice gallery. Visualizations of crystal lattices*. Disponível em:< <http://www.uncp.edu/home/mcclurem/lattice/lattice.html>>. Acesso em:07 mar. 2005.
- MORRIS, R. C. *Supergene alteration of banded iron-formation*. In: TRENDALL A.F., MORRIS, R. C. *Iron-formation: facts and problems*; Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1983. Cap. 14, 513-534p.

- MORRIS, R. C. Genesis of iron ore in banded iron-formation by supergene and supergene and surpergene-metamorphic processes – a conceptual model. In: *Handbook of Strata-Bound and Stratiform Ore Deposits*. Netherlands: Elsevier Science Publishers' B. V., 1985. Vol. 13, cap. 2, p.73-235.
- NEUMANN, B.S. Thermal analysis. In: ZUSMAN, J. *Physical methods in determinative mineralogy*. 2 ed. London: Academic Press, 1977. Cap. 12, p. 605-662.
- RAMDOHR, P. *The ore minerals and their intergrowths*. 2. ed. Oxford: Pergamon Press Ltd., 1980. 1202p.
- RABELO, P. J. B. *Estudos de Caracterização e Redução do Teor em Fósforo do Minério de Ferro da Mina de Alegria, Mariana, MG*. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1994. 2vol. Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da UFMG.
- ROCHA, J. M. P., BRANDÃO, P. R. G. *Goethitas da mina de Alegria, MG: ênfase na cristalinidade e na hidroxilação*. In: I Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro: Caracterização, Beneficiamento e Pelotização, 1, 1996, Ouro Preto – MG. P. 383-402.
- ROCHA, J. M. P. *Caracterização de Minérios Goethíticos-limoníticos da Mina de Alegria, MG*. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1997. 257p. Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais.
- SALUM, M. J. G. *Métodos de Análise Térmica*, 1990. Apostila de Aula.
- SAMARCO MINERAÇÃO S.A. *Geologia e Tipologia dos Minérios da Mina de Alegria. Mariana, 2003. (Relatório Interno)*.

SAMARCO MINERAÇÃO S.A. *Projeto Terceira Planta de Pelotização; Estudo de Pré-viabilidade*. Mariana, 2004. (Relatório Interno).

SANTOS, L.D. *Caracterização Microestrutural de Minérios de Ferro do Quadrilátero Ferrífero – MG*. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2002. 178p. Tese de Doutorado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Minas e Metalurgia da Universidade Federal de Minas Gerais.

SCHWERTMANN, U., CORNEL, R. M. *Iron oxides in the laboratory; preparation and characterization*. Weinheim: VCH, 1991. 137p.

SCHWERTMANN, U., TAYLOR, R. M. Iron Oxides. In: *Minerals in soil environments*. Dixon, J. B. ed. Wiscosin, 1977. p. 145-180.

SILVA, C. C. *Itabirito Anfíbolítico de Timbopeba (Ouro Preto, MG): Sua Caracterização Mineralógica e Tecnológica*. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. 134p. Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da UFMG.

SKOOG, D.A., HOLLER, F.J., NIEMAN, T.A. Thermal methods. In: *Principles of instrumental analysis*. 5. ed. Philadelphia: Harcourt Brace College Publ., 1998. Cap.31, p.798-809.

SMITH, K. L., EGGLETON, R. A., *Botryoidal goethite: a transmission microscope study*. Clays Clay Miner., 1983, 31: 392-396.

SOUZA JUNIOR, M. *Caracterização Mineralógica e Tecnológica do Minério de Ferro Itabirítico Anfíbolítico da Jazida de Alegria*. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1994 200p. Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da UFMG.

SOUZA JUNIOR, M. Minério de Ferro Itabirítico Anfíbolítico da Mina de Alegria; Caracterização tecnológica. In: I Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro: Caracterização, Beneficiamento e Pelotização, 1, 1996, Ouro Preto – MG. p 1-18.

VERÍSSIMO, C. U. V. *Jazida de Alegria: Gênese e Tipologia dos Minérios de Ferro; Minas 3,4 e 5 – Porção Ocidental*. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, 1999. 2vol. Tese de Doutorado elaborada junto ao Curso de Pós-Graduação em Geociências – Área de Concentração em Geologia Regional.

Anexos

Anexo 1

**Curvas de tempo de moagem e de tempo de
remoagem (% retida acumulada X tempo)**

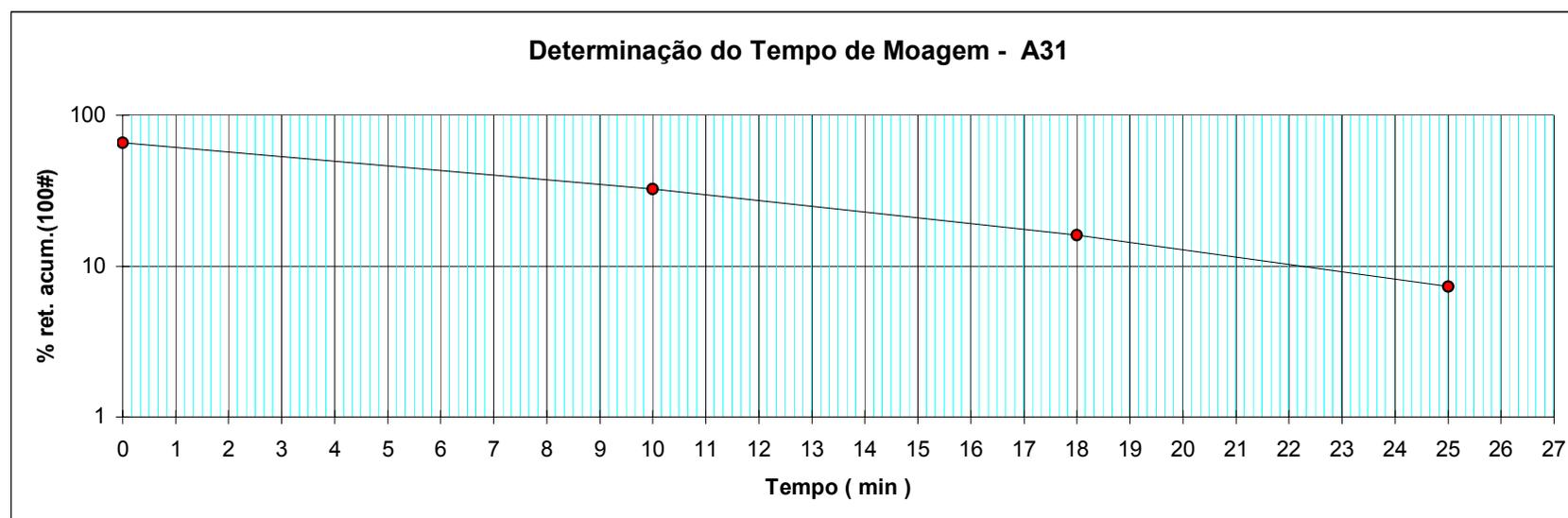
Amostras A31 – A61 – A62 – A91 – A93

Determinação do Tempo de Moagem

Doutorado Junia Rocha

Tempo(min)	% ret. acum.
0	65,56
10	32,35
18	16,05
25	7,30

Tempo de moagem : 22,10 min

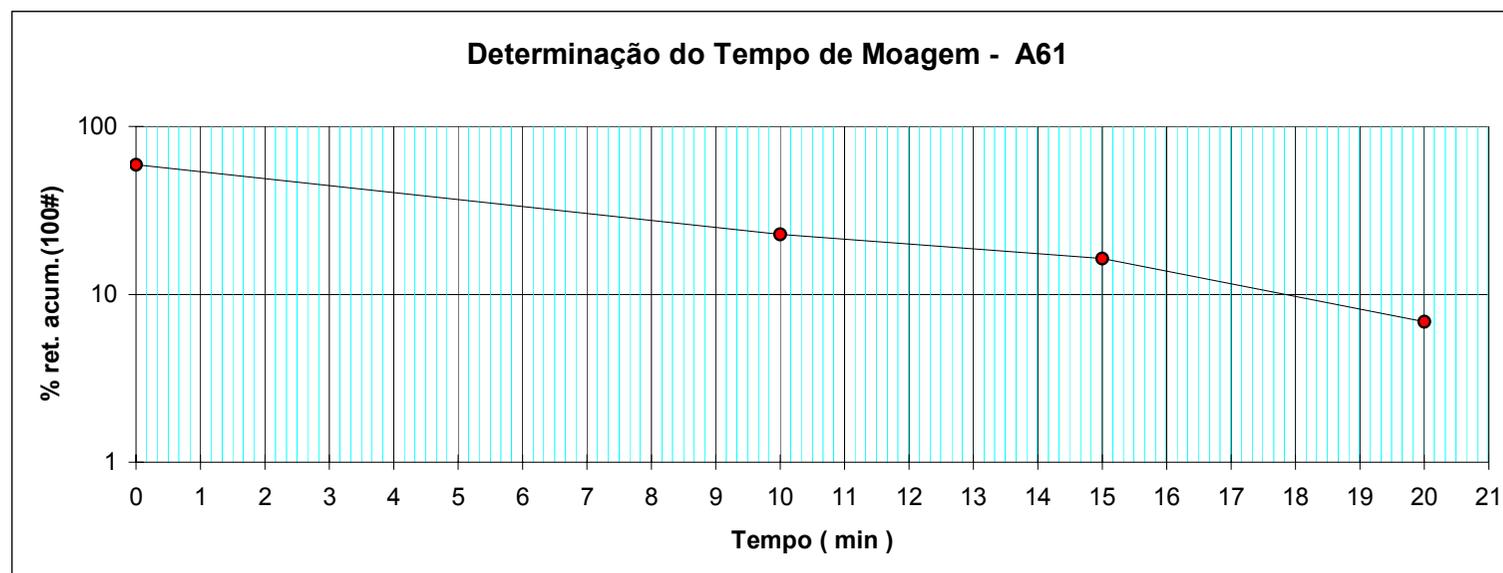


Determinação do Tempo de Moagem

Doutorado Junia Rocha

Tempo(min)	% ret. acum.
0	58,87
10	22,65
15	16,28
20	6,84

Tempo de moagem : 17,50 min

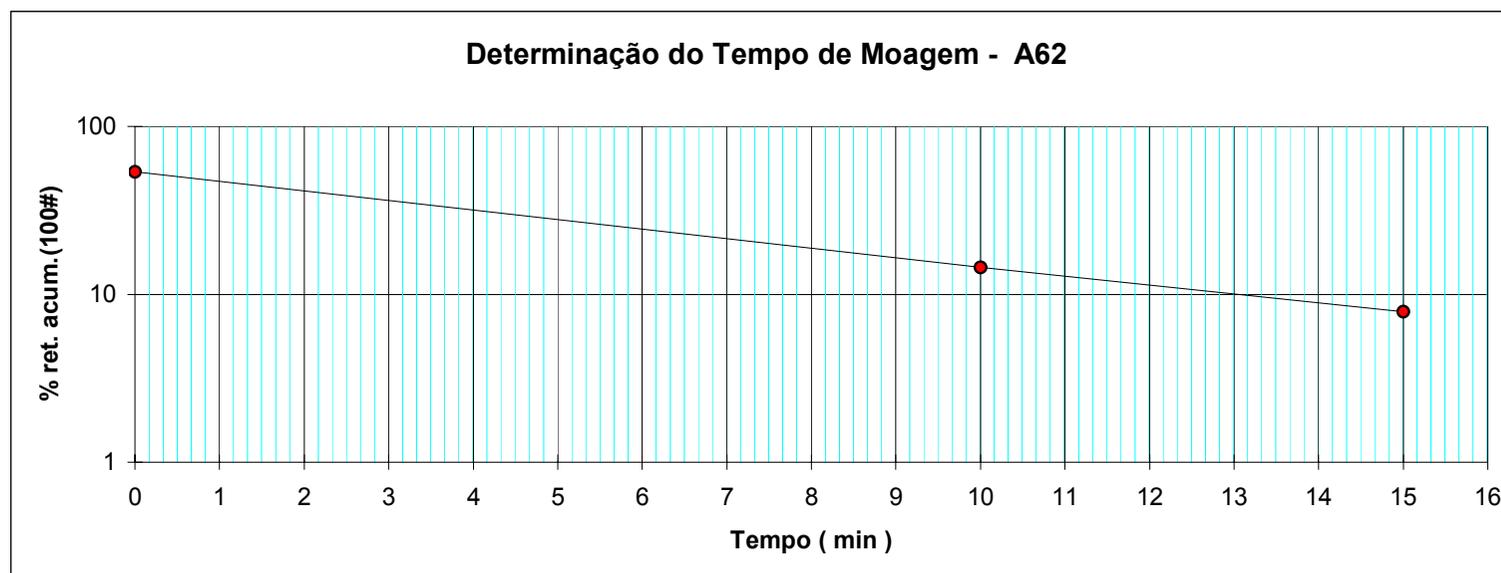


Determinação do Tempo de Moagem

Doutorado Junia Rocha

Tempo(min)	% ret. acum.
0	53,72
10	14,47
15	7,89

Tempo de moagem : 13,00 min

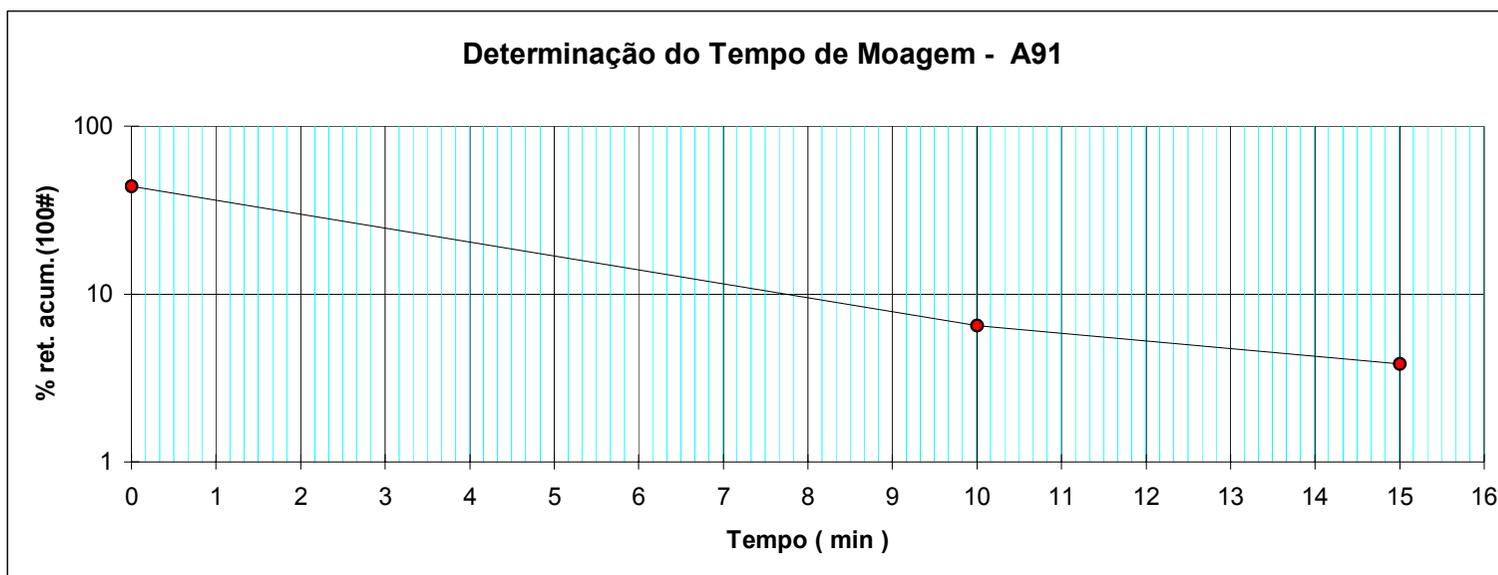


Determinação do Tempo de Moagem

Doutorado Junia Rocha

Tempo(min)	% ret. acum.
0	43,84
10	6,46
15	3,82

Tempo de moagem : 7,40 min

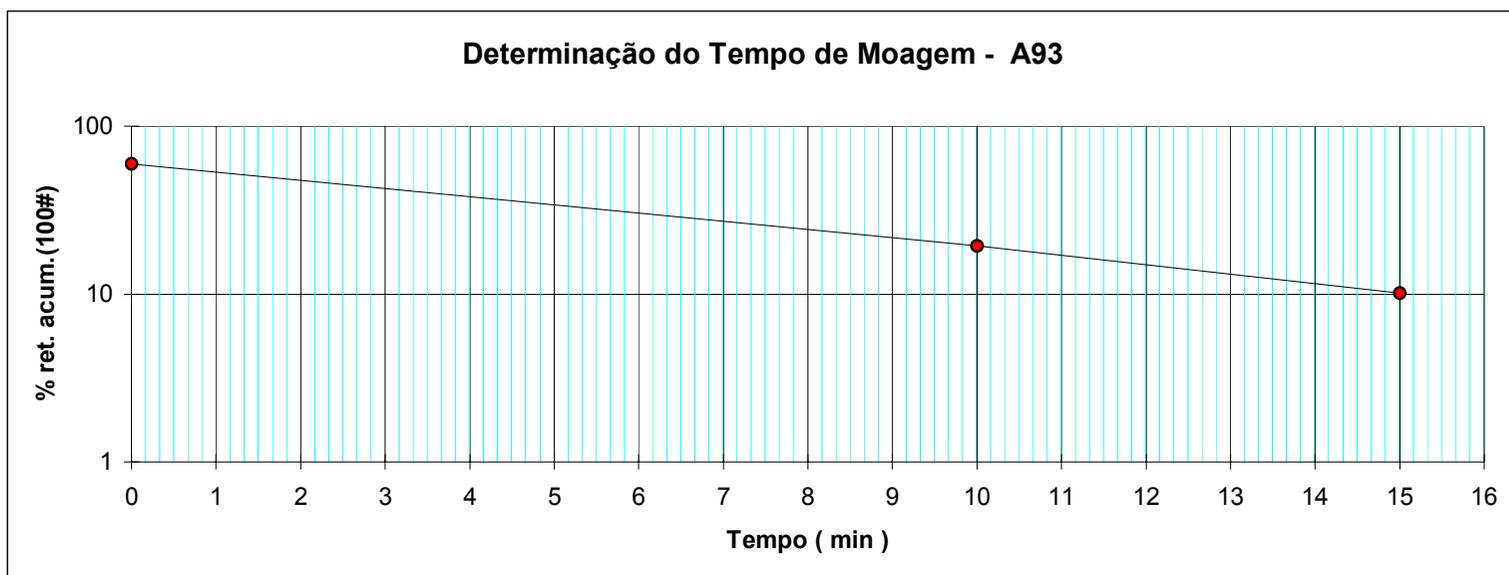


Determinação do Tempo de Moagem

Doutorado Junia Rocha

Tempo(min)	% ret. acum.
0	59,71
10	19,27
15	10,14

Tempo de moagem : 15,05 min

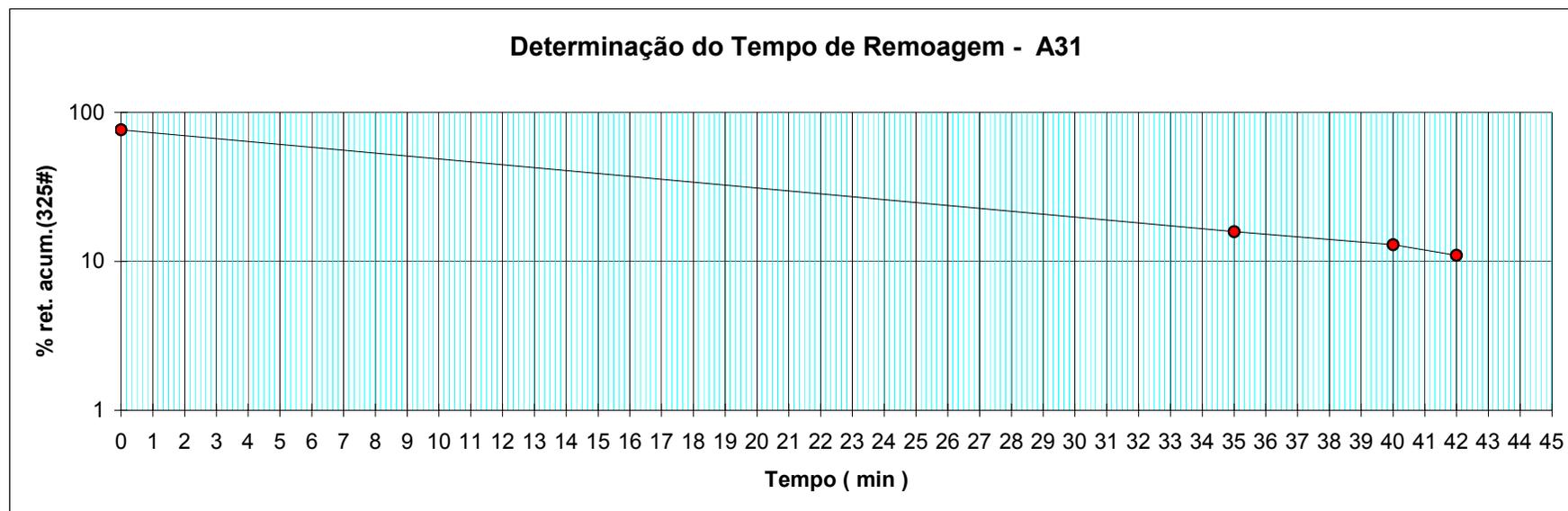


Determinação do Tempo de Remoagem

Doutorado Junia Rocha

Tempo(min)	% ret. acum.
0	76,37
35	15,80
40	12,90
42	10,96

Tempo de Remoagem : 42 min

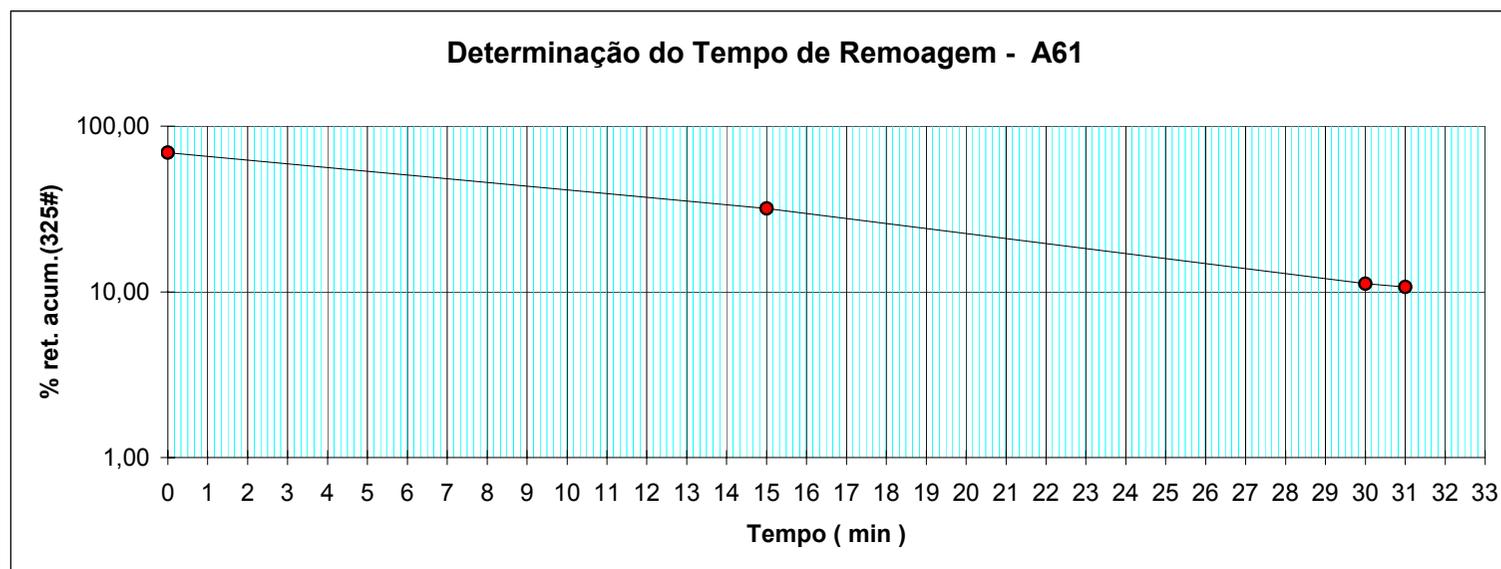


Determinação do Tempo de Remoagem

Doutorado Junia Rocha

Tempo(min)	% ret. acum.
0	69,00
15	31,90
30	11,20
31	10,70

Tempo de Remoagem : 31 min

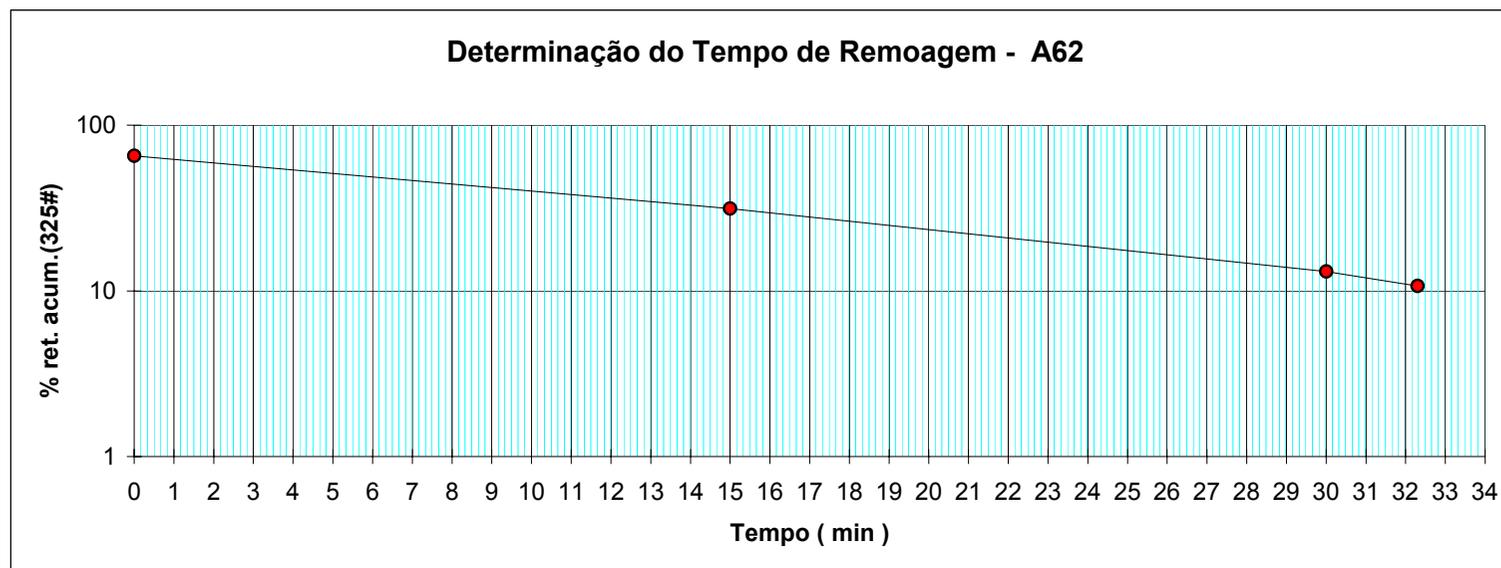


Determinação do Tempo de Remoagem

Doutorado Junia Rocha

Tempo(min)	% ret. acum.
0	65,27
15	31,30
30	13,10
32,3	10,70

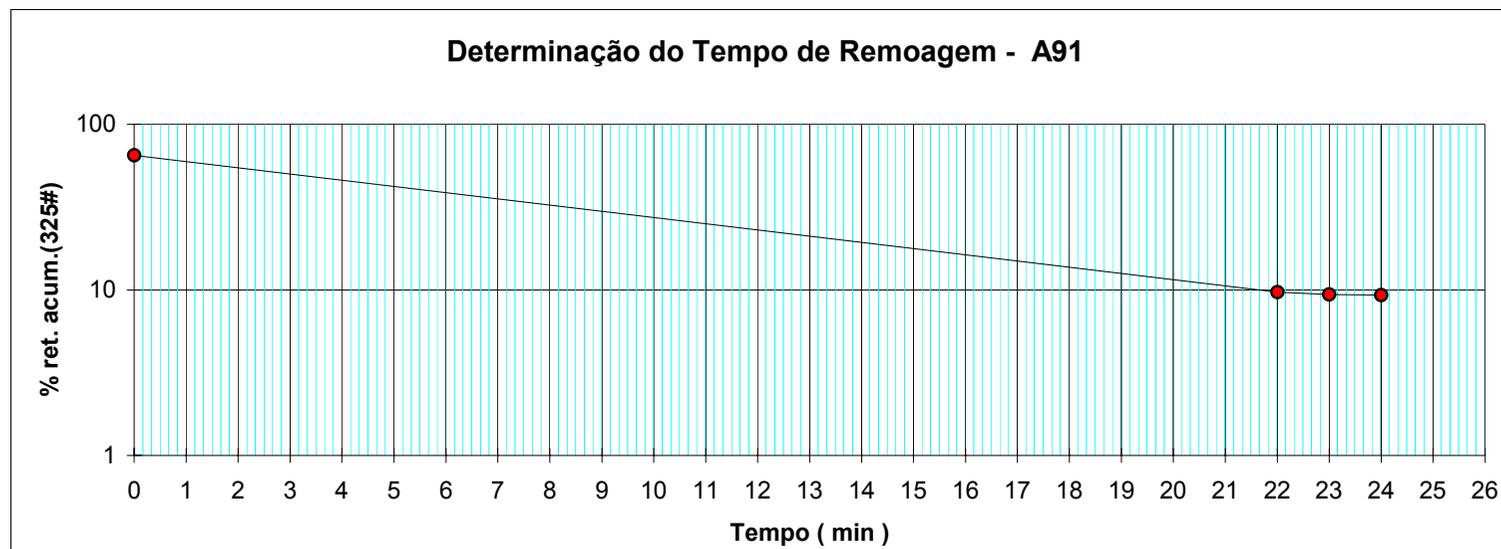
Tempo de Remoagem : 32,3 min



Doutorado Junia Rocha

Tempo(min)	% ret. acum.
0	65,11
22	9,70
23	9,40
24	9,30

Tempo de Remoagem : 22 min

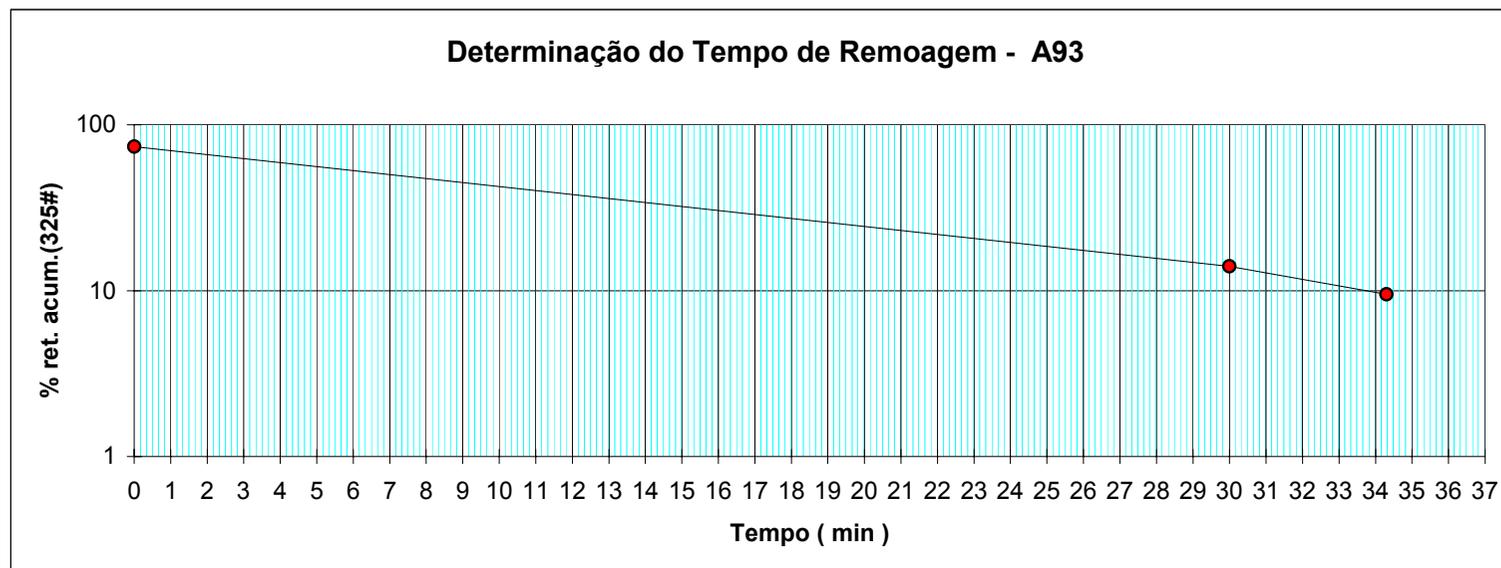


Determinação do Tempo de Remoagem

Doutorado Junia Rocha

Tempo(min)	% ret. acum.
0	73,74
30	14,05
34,3	9,50

Tempo de Remoagem : 33,10 min



Anexo 2

Procedimentos dos testes efetuados em Ubu

PROCEDIMENTO PARA PREPARAÇÃO DE MISTURA

- **Objetivo**

Este procedimento estabelece a metodologia a ser adotada para preparação de uma mistura em misturador de pequeno porte para laboratório, utilizando as quantidades de minério necessárias para um ensaio de pelotamento.

- **Características**

Misturador Eirich

CAPACIDADE MÍNIMA: 20kg

CAPACIDADE MÁXIMA: 150kg

CUBA

Rotação

AGITADOR

Rotação

- **Atividades**

Misturador Piloto

1. Definir uma programação dos ensaios a serem executados.

2. Coletar e preparar (ver procedimento Pot 001 de coleta e preparação de pellet feed) uma quantidade suficiente de minério para a realização do estudo.
3. Coletar e preparar (ver procedimento Pot 002 de coleta e preparação de insumos) os insumos necessários. Esses insumos são: 1) Bentonita como aglomerante auxiliar da etapa de pelotamento; 2) Calcário calcítico moído, como fonte de CaO para ajuste da basicidade binária; 3) Olivina moída, como fonte de MgO e 4) Carvão mineral moído como fonte de calor para o processo de queima.
4. Pesar 240kg de minério. Transferir 120kg para o misturador, homogeneizar por 30 segundos, retirar uma amostra para teste de umidade.
5. Realizar teste de umidade.
6. Calcular a quantidade de água e insumos a serem adicionados, utilizando-se para tal, o procedimento específico.
7. Adicionar no misturador as quantidades de água e insumos calculados. Para adição dos insumos é necessário abrir uma cavidade na mistura, colocar os insumos e jogar uma camada de minério por cima, para evitar que no momento do fechamento do misturador o agitador jogue os insumos para a tampa.
8. Fechar a tampa e ligar a cuba e logo em seguida o agitador. Adicionar a quantidade de água pelo funil localizado no lado direito da tampa.
9. Deixar misturar por 60 segundos, iniciando a marcação logo após ter ligado o agitador.
10. Posicionar um recipiente embaixo do misturador e abrir a descarga, após o término abrir a tampa (colocar dispositivo de segurança) e com auxílio de um raspador limpar a cuba e o agitador do misturador.
11. Repetir os passos 4 a 10 para os outros 120kg de Pellet Feed.

Misturador de Bancada

1. Definir uma programação dos ensaios a serem executados.

2. Coletar e preparar (ver procedimento Pot 001 de coleta e preparação de pellet feed) uma quantidade suficiente de minério para a realização do estudo.
3. Coletar e preparar (ver procedimento Pot 002 de coleta e preparação de insumos) os insumos necessários. Esses insumos são: 1) Bentonita como aglomerante auxiliar da etapa de pelotamento; 2) Calcário calcítico moído, como fonte de CaO para ajuste da basicidade binária; 3) Olivina moída, como fonte de MgO e 4) Carvão mineral moído como fonte de calor para o processo de queima.
4. Preparar e Limpar o misturador de bancada.
5. Pesar no máximo 2kg de minério, desagregar em peneira de 2mm. Transferir para o misturador, homogeneizar por 30 segundos.
6. Retirar o material, colocando em uma bandeja, e posteriormente retornar para o misturador.
7. Repetir o procedimento 05 e 06, por mais duas vezes, esta repetição se faz necessária devido ao agarramento e em seguida retirar uma amostra para medir a umidade.
8. Realizar teste de umidade.
9. Calcular a quantidade de água e insumos a serem adicionados, segundo procedimento específico.
10. Adicionar no misturador as quantidades de água e insumos calculados. A dosagem deve ser realizada em partes, ou seja, jogar aproximadamente $\frac{1}{4}$ de cada insumo, homogeneizar por 30 segundos, retirar a amostra do misturador.
11. Retornar com a amostra e dosar mais $\frac{1}{4}$ dos insumos, repetir o procedimento até terminar os insumos a serem dosados. Deixar a amostra misturando por 60 segundos antes de concluir o procedimento.

PROCEDIMENTO PARA ENSAIO DE PELOTAMENTO EM PNEU

- **Características**



Diâmetro: 40,0cm

Diâmetro da Abertura Frontal: 26,0cm

Profundidade:

Potência: 156,2w

Corrente: 1,42A

Redução:

Tensão: 110v

Normalmente o teste é realizado para explorações de novos elementos, verificando tendências possíveis de serem aprofundadas em ensaios em disco piloto.

- **Dados Operacionais**

Rotação: 50rpm - fixa

- **Atividades**

- 1 Pesar o pellet feed e transferir para o misturador.
- 2 Realizar teste de umidade.
- 3 Acertar a umidade, através da adição de água ou minério seco, e checar se o ajuste foi adequado realizando novo ensaio de umidade.
- 4 Elaborar balanço de massa, para cálculo dos insumos necessários.
- 5 Processar o misturador.
- 6 Ligar o pneu de pelotamento e alimentar a mistura a ser pelotizada. Toda vez que se fizer necessário adicionar uma pequena quantidade de água em forma de spray.
- 7 Quando o pneu estiver cheio, retirar todas as pelotas e classificá-las nas peneiras de 6,3mm, 10,0mm e 12,5mm.
- 8 Descartar as pelotas acima de 12,5mm.

- 9 Alimentar o pneu com as pelotas acima de 6,3mm e abaixo de 12,5mm, , e voltar a alimentar o pneu com mistura
- 10 Retirar todas as pelotas e fazer a classificação nas peneiras 6,3mm, 10,0mm, 12,5mm e 16,0mm. Separar as pelotas na faixa entre 12,5mm e 16,0mm. Descartar aquelas acima de 16,0mm.
- 11 Repetir os itens 10 e 11 até conseguir 1,0kg de pelotas na faixa de 16,0mm a 12,5mm;
- 12 Realizar testes físicos com pelota crua: Resiliência, CPCU – Compressão Pelota Crua Úmida, CPCS – Compressão Pelota Crua Seca e Umidade.

Observação:

Informações do Fabricante que se encontram gravadas no pneu:

Good year
Aircraft Rib

Indústria Brasileira
Estado de São Paulo

922MX276
TSO C62b

600-6
Type III
Ply Rating Nylon

PARTNO
606C61B1

PROCEDIMENTO PARA ENSAIO DE PELOTAMENTO EM DISCO PILOTO



- **Características**

PANELA

Diâmetro Interno: 100cm

Profundidade Total: 20cm

- **Dados Operacionais**

Rotação: 10rpm a 20rpm - variável

Inclinação: 45° a 50° - variável

Taxa de Alimentação: 500kg a 800kg/hora - variável

- **Atividades**

1. Definir uma programação dos ensaios a serem executados.

2. Preparar uma quantidade suficiente de minério para a realização do estudo.
3. Coletar e preparar os insumos necessários.
4. Pesar minério. Transferir para o misturador, homogeneizar e retirar uma amostra para teste de umidade.
5. Realizar teste de umidade.
6. Calcular e adicionar a quantidade de água e insumos a serem adicionados de acordo com procedimento específico e processar a mistura.
7. Posicionar o alimentador do disco piloto de acordo com o ponto desejado para alimentação. Transferir a mistura proveniente do misturador para o silo.
8. Ligar o disco piloto e molhar o fundo da panela, de maneira uniforme, até que seja formado um filme de água.
9. Ligar a correia do silo alimentador e regular a frequência para 40Hz.
10. Acionar o cronômetro imediatamente após o início da queda do material no disco. Manter a alimentação do disco constante até término da alimentação da mistura.
11. Descartar todo o material descarregado do disco durante os primeiros 5 minutos de teste e a partir deste momento, toda pelota que for descarregada até o final do teste deverá ser submetida à classificação.
12. Parar o cronômetro, no exato momento em que cessar a alimentação e anotar o tempo do ensaio.
13. Realizar a classificação granulométrica conforme procedimento interno.

- **Resultados**

Os parâmetros normalmente utilizados para avaliação dos resultados estão discriminados a seguir, com a respectiva fórmula para cálculo, quando necessário.

✓ $D_m = \sum (\%R \times \xi)$ onde:

Dm \Rightarrow diâmetro médio;

%R \Rightarrow porcentagem retida na peneira;

ξ \Rightarrow fator calculado como mostrado abaixo;

$$\xi = ((\#_{\text{superior}} + \#_{\text{inferior}}) / 2) / 100 \quad \text{onde:}$$

malha da peneira.

✓ **Taxa de Crescimento** = $\frac{Dm}{T}$

Onde:

Dm - é o diâmetro médio

T - é o tempo

✓ **Relação Granulométrica** = $\frac{\% \text{ retido na faixa de } 16,0 \text{ a } 12,5 \text{ mm}}{\% \text{ retido na faixa de } 12,5 \text{ a } 9,0 \text{ mm}}$

✓ *Qualidade Física*

Resiliência – quedas por pelota

CPCU - Compressão pelota crua úmida – gramas por pelota

CPCS - Compressão pelota crua seca – gramas por pelota

Umidade - percentual

✓ **Análise Visual do Pelotamento**

Esta análise deve ser feita pelo analista responsável pelo ensaio, que usando sua experiência, deve realizar uma avaliação e emitir um parecer qualitativo dentro da escala mostrada abaixo:

Acabamento superficial \longrightarrow (Ruim, Regular, Normal, Bom e Excelente)

Umidade aparente \longrightarrow (Muito Baixa, Baixa, Normal, Alta e Muito Alta)

Homogeneidade no crescimento \longrightarrow (Ruim, Regular, Normal, Bom e Excelente)

PROCEDIMENTO PARA ENSAIO DE COMPRESSÃO DE PELOTAS CRUAS

- **Objetivo**

Este procedimento estabelece a metodologia a ser adotada para ensaios de compressão em pelotas cruas a fim de padronizar os mesmos a serem realizados em Pot Grate.

- **Características**

Máquina de ensaios Kratos



É utilizado para realizar o teste, a máquina de ensaios Kratos da DEK-MP, desenvolvida para atuar nos mais diversos campos, sendo sua característica principal fazer ensaios de tração e compressão.

- **Atividades**

- 1 Ligar a interface e o computador em que a máquina de ensaios está instalada.
- 2 Clicar no ícone KRATOS que está localizado na área de trabalho, para acessar o programa.
- 3 Digitar a senha KRATOS para o acesso ao programa.

- 4 Caso a máquina seja acionada para subir ou descer através dos botões de acionamento ou via teclado da coluna, aparecerá uma janela indicando risco de sobrecarga, esta condição é uma proteção da máquina para evitar uma sobrecarga no equipamento. É só clicar em OK.
- 5 Para início do teste deve ser escolhida a norma a ser utilizada, clicando em NORMAS localizada na barra superior da tela, em seguida escolher a opção COMPRESSÃO.
- 6 Será exibida a janela onde aparecerá a opção com as normas já definidas.
- 7 Escolher a norma adequada ao teste que será realizado, sendo CPCU ou CPCS, onde serão exibidos os parâmetros definidos para a realização do ensaio. Depois de confirmados os dados clicar no botão ABRE.
- 8 Inserir a pelota na garra e clicar no botão SOBE, para aproximar a pelota da célula de carga e em PARA quando a mesma estiver próxima.
- 9 Clicar em ENSAIA para o início do teste. Será mostrada uma janela onde aparece a pergunta se será executado um ensaio com uma série de amostras. Caso o ensaio compreender somente uma amostra, clique no botão NÃO, mas se for uma série de amostras clique em SIM. O software permite um ensaio com uma série de até 50 amostras.
- 10 Realizar a identificação da amostra preenchendo os campos de IDENTIFICAÇÃO, OBSERVAÇÃO e IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA e clicar em OK.
- 11 Na opção IDENTIFICAÇÃO toda vez que for iniciado um ensaio, será aberta uma janela para o cadastro de identificação, essa identificação será incluída no relatório de ensaio. A opção OBSERVAÇÃO funciona da mesma maneira que a opção IDENTIFICAÇÃO. Em IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA, toda vez que for iniciado o ensaio de uma amostra, será

aberto uma janela para o cadastro da identificação da amostra, os dados cadastrados nesse campo serão incluídos no relatório.

- 12 Quando a tecla PAUSA for acionada, a máquina pára e o botão muda de formato passando a indicar SIGA, para prosseguir o ensaio o botão SIGA deve ser acionado. A tecla PAUSA só estará habilitada se o extensômetro estiver sendo utilizado no ensaio.
- 13 Clicar no botão DESCE para abaixar o travessão e facilitar a retirada da pelota, e em PARAR quando a distância estiver suficiente para a retirada da amostra.
- 14 Se após o término do ensaio, a curva Força X Deslocamento ficar abaixo de 70% dos valores cadastrados nos campos “Carga Máxima Prevista” e “Deslocamento Máximo Previsto”, o gráfico poderá ser redimensionado. Escolher a opção NÃO.
- 15 O ensaio só será considerado encerrado, pelo programa, nas seguintes situações:
 - Quando o botão ENCERRA for acionado;
 - Quando ocorrer ruptura do corpo de prova;
 - Quando ocorrer 110% da CARGA MÁXIMA PREVISTA, cadastrada na norma de ensaio;
 - Quando ocorrer 110% do DESLOCAMENTO MÁXIMO PREVISTO, cadastrado na norma de ensaio.
- 16 Toda vez que o ensaio for encerrado aparecerá uma janela com a solicitação de salvar ou não o ensaio.
- 17 Se o ensaio for cancelado através do botão CANCELA, aparecerá uma janela indicando que o ensaio foi cancelado e os resultados desprezados.

PROCEDIMENTO PARA ENSAIO DE QUEIMA EM POT GRATE

Objetivo

Este procedimento estabelece as etapas para a realização de um ensaio de queima (endurecimento de pelotas) em forno de Pot Grate.



• **Atividades**

1. Definir uma programação de ensaios a serem executados.
2. Produzir ou coletar na usina, pelotas cruas.

- **Preparar o forno Pot Grate.**

1. Realizar inspeção visual nas juntas das válvulas n.º 06 e 20, junta da panela e tubulação da caixa de vento.
2. Checar o nível dos tanques de Oxigênio e GLP.

Importante: Solicitar abastecimento quando o nível do tanque de GLP estiver com 40% da capacidade e o de Oxigênio quando estiver marcando 35 polegadas.

3. Ligar o computador conectado ao PLC. Os programas referentes ao forno do Pot Grate serão automaticamente iniciados. Para acessar o Sistema de Supervisão e Controle é necessário clicar na chave que aparece na tela inicial, localizada no menu inferior e do lado direito da tela. Efetuar o Log On informando o nome do usuário e a senha.
4. Ligar o compressor e aguardar até que a pressão da linha de ar comprimido atinja 5kg. Esta leitura deve ser feita no manômetro localizado entre o filtro de ar e o reservatório de óleo instalados na linha de ar comprimido, cuja tubulação tem cor azul.
5. Testar (abrir e fechar) as válvulas de controle de fluxo e de vazão, checando se há alguma anormalidade.
6. Testar (ligar e desligar) o exaustor e o soprador.

Importante: *Antes de ligar o soprador checar se a válvula n.º 20 está aberta e ajustar o percentual de abertura da válvula de controle para no máximo 20%.*

Nota 01: *Comunicar a manutenção caso seja notada alguma anormalidade e aguardar a normalização. Caso contrário prosseguir com as atividades.*

- **Preparar a panela**

1. Acoplar os protetores de termopar na panela.
2. Pesar 12kg (7cm de camada) de pelotas queimadas na faixa $-19,0\text{mm}$ $+16,0\text{ mm}$ e despejar sobre a grelha da panela. Nivelar a camada de fundo, espalhando as pelotas com a mão.

Nota: Caso a altura da camada de fundo for diferente de 7cm (12kg), deverá ser detalhado no planejamento do estudo. É importante checar se a quantidade pesada confere com a altura da camada desejada.

3. Conectar os termopares nos respectivos pontos de medição de temperatura (região superior, intermediária e inferior da panela).
4. Acoplar a panela ao forno.

- **Aquecer o forno**

1. Colocar os motores, M01-Soprador e M04-Exaustor, no modo automático.
2. Acessar a tela principal do sistema de controle do Pot Grate (ver manual de operação do sistema), clicar no botão comandos, e escolher a opção aquecimento. Digitar a temperatura de aquecimento para 400°C e o termopar sensor nº 02. A vazão de GLP deve ser de $6,0\text{Nm}^3/\text{h}$ e a de Ar $300\text{ Nm}^3/\text{h}$.
3. Clicar no botão ligar para se iniciar o aquecimento.
4. Transferir o controle do forno para o modo manual e fechar as válvulas 06 e 20, para direcionar o aquecimento para a panela. O aquecimento será findo automaticamente quando a temperatura atingir o valor determinado.

Importante: Nunca fazer esta operação com a válvula 18 fechada pois a mesma tem que permanecer sempre aberta no aquecimento, para o Ar quente ser direcionado para o meio externo.

Nota 2: O aquecimento do forno deverá ser realizado, sempre que houver um intervalo, de uma queima para outra, igual ou superior a quatro horas.

- i. Aguardar o desligamento dos motores, desconectar os cabos dos termopares e desacoplar a panela, posicionando-a na área de trabalho.

- **Carregar a panela.**

1. Colocar uma forma cilíndrica de diâmetro interno de 33cm na panela e uma sacola plástica para tampar o rasgo da forma.
2. Separar as pelotas cruas, que deverão ser endurecidas, compondo a carga da panela com a granulometria e quantidade determinada para o ensaio. As pelotas devem ser acondicionadas em recipientes, cada um contendo no máximo 12kg. Caso o planejamento do estudo não contenha a faixa granulométrica, utilizar o padrão abaixo:
 - -19,0 +16,0mm = 10,0 %
 - -16,0 +14,0mm = 23,5%
 - -14,0 +12,5mm = 23,5%
 - -12,5 + 9,0mm = 41,0%
 - -9,0 + 8,0mm = 2,0%
3. Dividir as pelotas de cada faixa igualmente para todos os baldes. Após o término da pesagem, proceder com a homogeneização das mesmas.
4. Despejar as pelotas cruas devidamente pesadas e homogeneizadas na parte interna da forma cilíndrica.
5. Despejar entre o refratário da panela e a forma, 23kg de *pellet screening* para compor a camada lateral.
6. Suspender a forma até que a borda inferior fique cerca de 5cm dentro da camada lateral. Completar a camada de forramento com pelotas na faixa – 19,0 +16,0mm até o nível de pelota crua. Anotar a quantidade utilizada.
7. Retirar a forma.
8. Preparar o Forno.
9. Encharcar com água as juntas de fibra de vidro das válvulas 06, 20 e a junta após a caixa de vento.

10. Moldar uma corda de fibra de vidro, com auxílio de um aro, sobre a panela para formar uma junta.

11. Acoplar a panela já montada no forno com auxílio de um macaco hidráulico (posicionado embaixo da caixa de vento).

12. Conectar os cabos aos respectivos termopares.

- **Executar o Teste de Queima.**

A partir da tela principal do sistema de supervisão do forno *Pot Grate*, seguir os passos descritos abaixo para se iniciar a queima:

- Clicar no botão **PR** (**Parâmetros** de Resumo do teste) , localizado no menu superior e informar os dados referentes a tipo de pelota, concentrado e a descrição do teste, onde deverão ser especificados o estudo realizado e a simulação da produtividade industrial.
- Ainda na tela **PR**, escolher a velocidade da grelha (de acordo com a produtividade previamente calculada) e a usina a qual se deseja trabalhar: usina 01, usina 02 ou pesquisa.
- Clicar no botão **PC** (Parâmetros de Controle do teste) e entrar com os dados referentes ao perfil térmico que se deseja.
- Retornar para a tela **PR** e conferir a velocidade da grelha, corrigindo-a se necessário.
- Conferir na tela **PC** se os dados de temperatura, tempo, pressão e vazão estão corretos. Estabelecer uma temperatura de aquecimento, que deverá ser 250°C no refratário da câmara de combustão, caso o T-02 estiver acima deste valor, aguardar ou resfriar o forno, antes de iniciar o teste.
- Rearmar os alarmes.
- Colocar os motores em modo automático, clicar no botão comandos – opção automático – e posteriormente liga.

- Acompanhar todo o ensaio observando a ocorrência de anormalidades no forno e/ou no software. Anotar as observações em relatório de passagem de turno.
- Continuar resfriando as pelotas, após o término do ensaio, até que a temperatura esteja abaixo de 100°C. A vazão de ar deve ser no máximo 600Nm³/h.
- Desligar os motores, desconectar os cabos dos termopares de 03 a 08 e descarregar a panela.

TESTE DE TAMBORAMENTO

ÍNDICE DE ABRASÃO: É a medida relativa da degradação do material por abrasão. Essa medida é feita com base no percentual de material passante na peneira de 0,5 mm após o teste de tamboramento, sendo expresso com uma casa decimal.

ÍNDICE DE TAMBORAMENTO: É a medida relativa da resistência à quebra ou degradação do material por impacto. Essa medida é feita com base no percentual de material retido na peneira de 6,3 mm após o teste de tamboramento e é expressa com uma casa decimal.

Preparação da amostra de pelotas queimadas.

- 1 Após homogeneização e quarteamento em quarteador tipo rifle, pesar uma amostra de 16 a 20kg.
- 2 Secar a amostra na estufa em temperaturas de 100 °C a 200 °C, por um tempo mínimo de 120 minutos. Não há necessidade de aferir o termopar, pois o objetivo é secar a amostra.
- 3 Após secagem, peneirar a amostra na peneira de 6,3mm e pesar uma porção de 15,0kg do material retido na peneira.

NOTA : Não colocar todo o material na peneira de 6,3mm ao peneirar.

Procedimentos para realização do teste.

- 1 Colocar a amostra de 15,0kg no tambor, fechar firmemente a porta para evitar vazamentos e programar o conta giros para 200 revoluções.
- 2 Após término do teste, bater com um pedaço de madeira ou marreta de borracha no tambor para desprender o material aderido nas paredes.
- 3 Colocar o material retirado do tambor no conjunto de peneiras utilizadas na análise granulométrica e agitar no agitador mecânico.

NOTA : Não colocar todo o material na peneira de 6.3mm ao peneirar.

- 4 O material passante na peneira de 6,3mm deve ser classificado manualmente na peneira de 0,5mm.

NOTA : Para amostras d acompanhamento de produção, secar somente se a amostra estiver úmida.

- 5 Pesar o material retido acima de 6,3mm e anotar o peso como P1.
- 6 Pesar o material retido na peneira de 0,5mm e anotar o peso como P2.
- 7 Pesar o material passante na peneira de 0,5mm e anotar o peso como P3.

NOTA : Os pesos devem ser em gramas.

Os resultados são obtidos com as fórmulas abaixo:

Índice de tamboramento = $(P1)/15000 \times 100 \%$

Fração retida na peneira de 0,5mm = $(P2)/15000 \times 100 \%$

Índice de abrasão = $100 - \text{Índice de tamboramento} - \text{Fração retida na peneira de } 0,5\text{mm}.$

Todos resultados são expressos com uma casa decimal.

A diferença entre o peso inicial da amostra (15000g) e o peso total das frações após o teste não pode exceder a 1,0% do peso inicial da amostra. Desta forma, a soma $P1 + P2 + P3$ deve ser maior que 14.850 gramas, caso contrário, o teste deve ser rejeitado.

TESTE DE COMPRESSÃO DE PELOTAS QUEIMADAS

TESTE DE COMPRESSÃO: consiste em submeter as pelotas queimadas de minério de ferro, a uma carga mecânica até a ruptura das mesmas.

Equipamento para realização do teste.

1. Prensa hidráulica ou mecânica com capacidade acima de 800 kgf e velocidade durante a compressão de $15,0 \pm 5,0$ mm/min.

Procedimentos para realização do teste.

- 1 Pesar no mínimo 1kg de amostra.
- 2 Secar a amostra em estufa de 100°C a 200°C por tempo mínimo de 120 minutos. Deixar a amostra esfriar.
- 3 Colocar a amostra na bandeja do alimentador da prensa.
- 4 Ligar a impressora e o micro computador.
- 5 Programar o teste com as seguintes informações:
 - a) Identificação de amostra.
 - b) Faixa granulométrica da amostra.
 - c) Número de pelotas testadas.
 - d) Nome do operador.
 - e) data do teste.
- 6 Operar a prensa conforme manual de instrução.

- 7 Quando a prensa hidráulica número 1 estiver em manutenção, realizar o teste na prensa hidráulica número 2. Nesse caso as pelotas devem ser colocadas manualmente na prensa, e as leituras dos valores das forças de ruptura devem ser lidas e anotadas no formulário PL-049. Os cálculos devem ser feitos com o auxílio de uma máquina de calcular. As pelotas devem ser escolhidas aleatoriamente.

Número de pelotas testadas

Para o teste de controle de produção serão testadas, no mínimo 50 pelotas nas faixas de 16,0 a 12,5mm e 12,5 a 10,0mm.

Para os testes de controle de carregamento, serão testadas 100 pelotas, nas faixas de 16,0 a 12,5mm e 12,5 a 10,0mm.

Para amostras especiais serão testadas 100 pelotas na faixa solicitada.

Resultados a serem informados.

A compressão é informada em kgf/pelota e seu valor é a média aritmética dos valores das pelotas testadas. A média é expressa em número inteiro.

Desvio padrão expresso em número inteiro.

Faixa granulométrica testada.

Número de pelotas testadas.

Porcentagem de pelotas com resultados abaixo de 200kgf/pelota no teste em número inteiro.

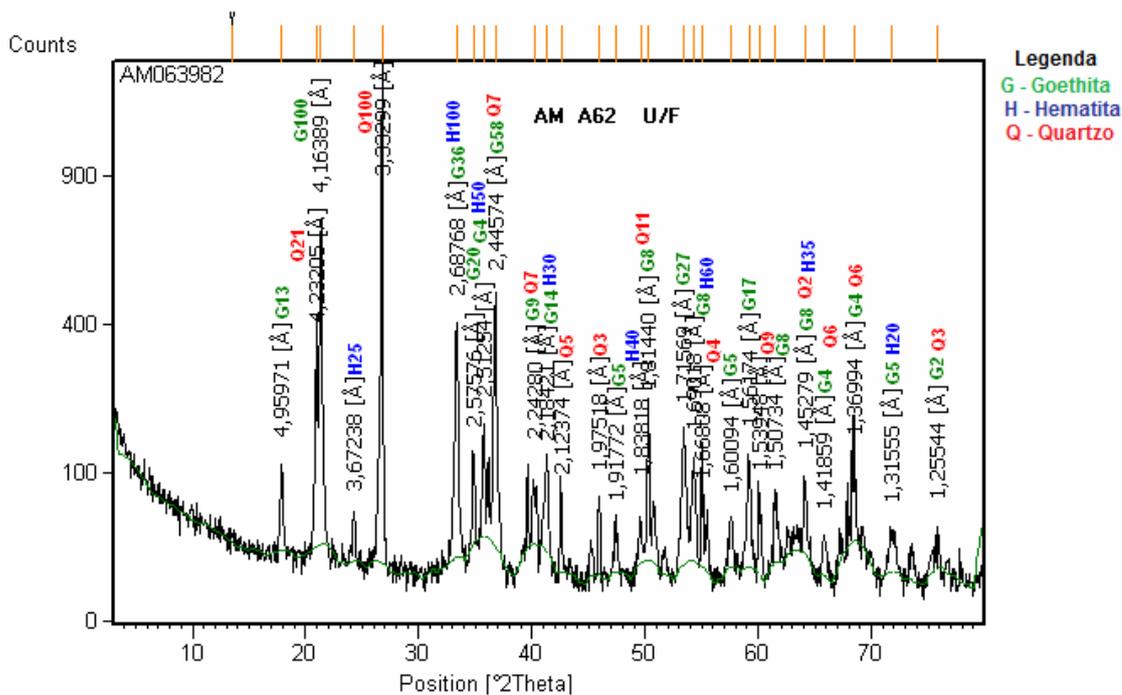
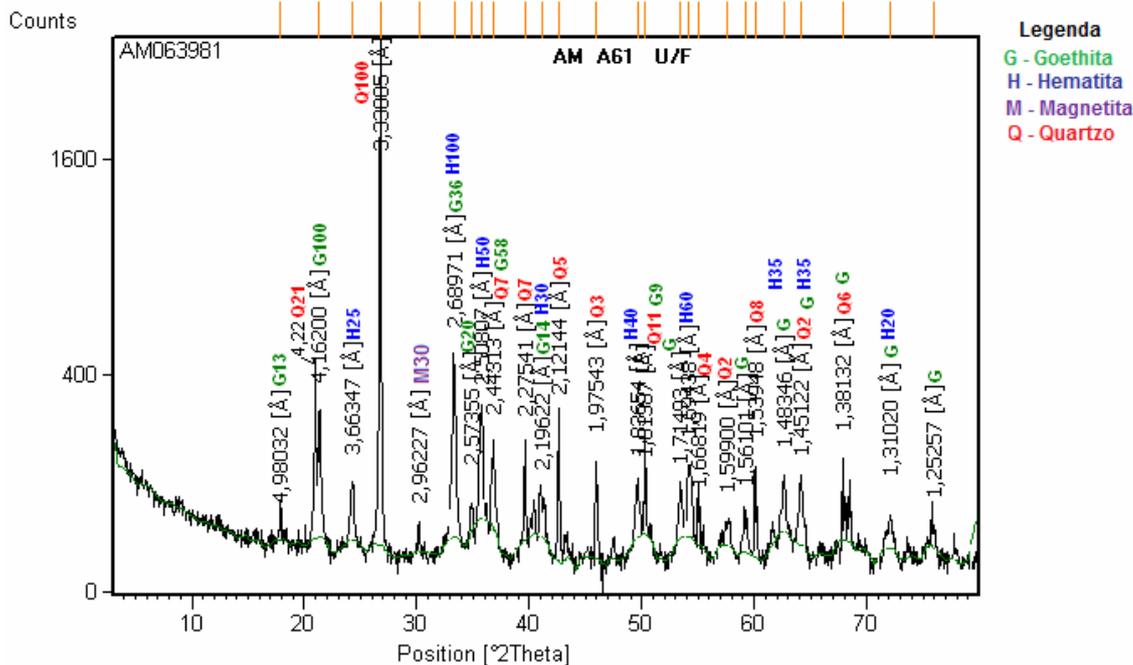
Percentagem de pelota com resultados abaixo de 150kgf/pelota no teste em número inteiro.

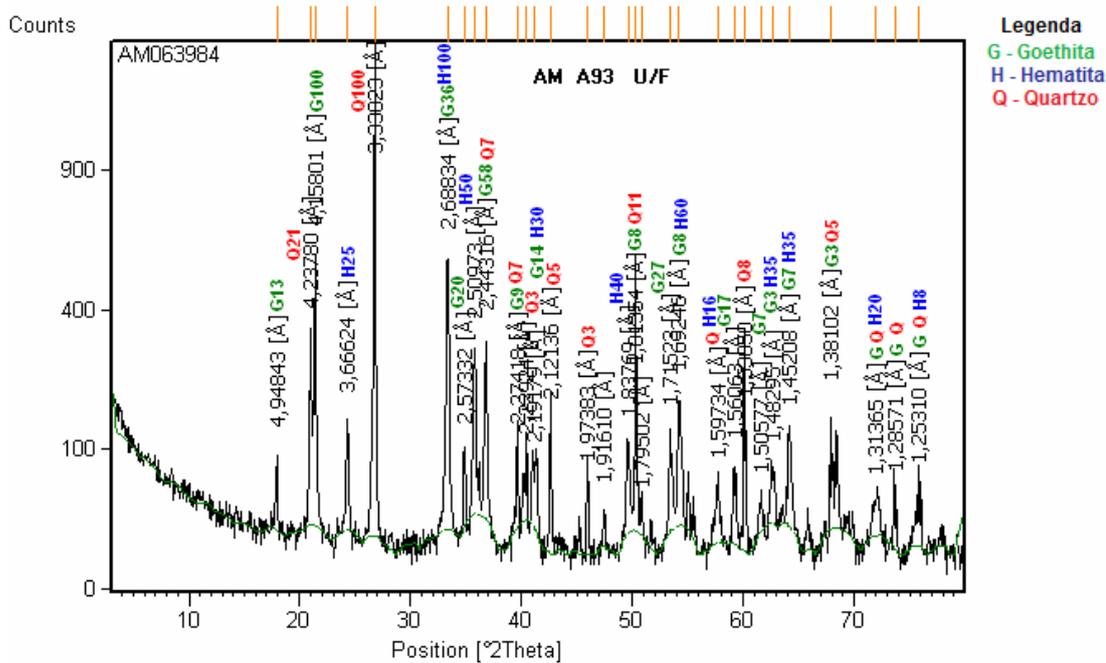
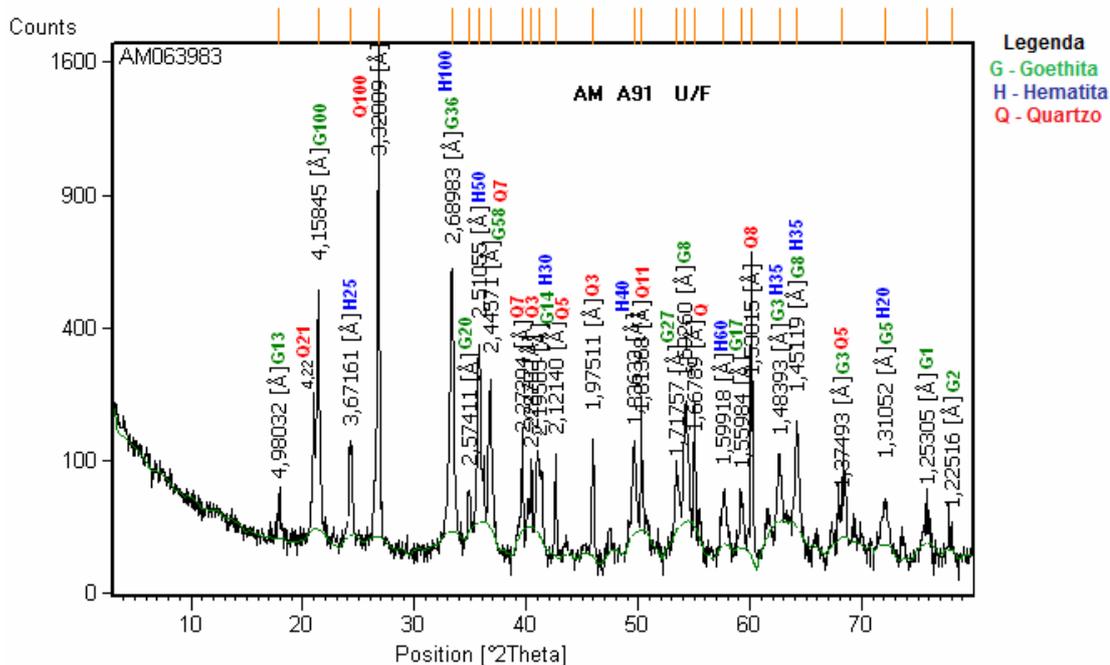
Anexo 3

**Difratogramas de raios-X das alíquotas Britado 2
das amostras A62, e A93**

Anexo 4

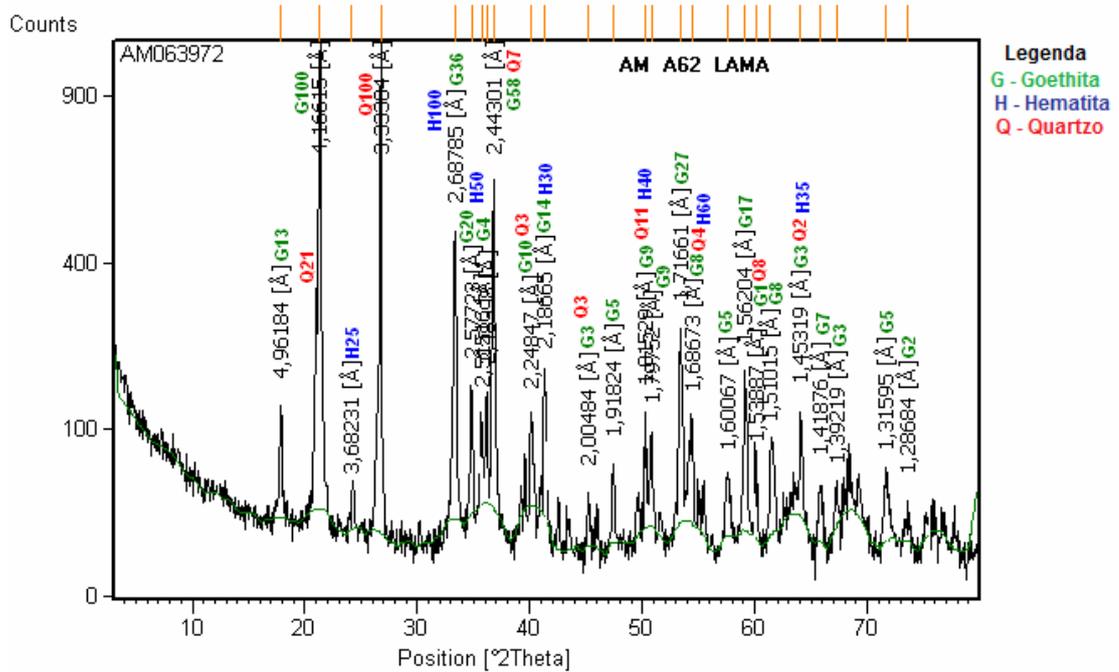
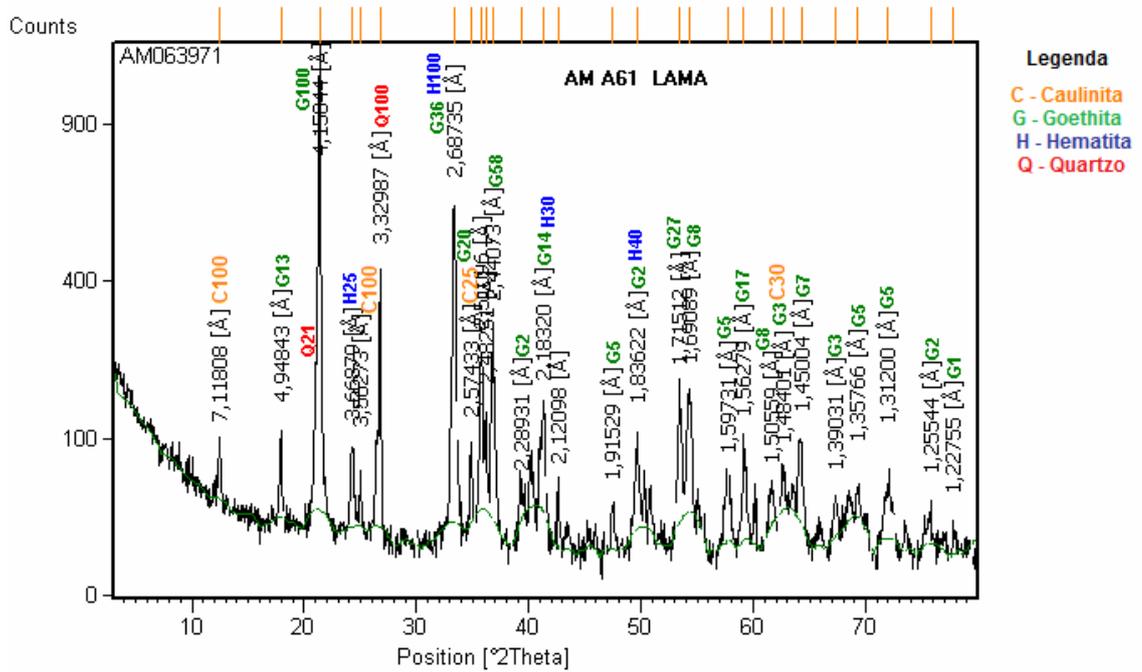
**Difratogramas de raios-X das alíquotas
Underflow Deslamado das amostras A31, A61,
A62, A91 e A93**

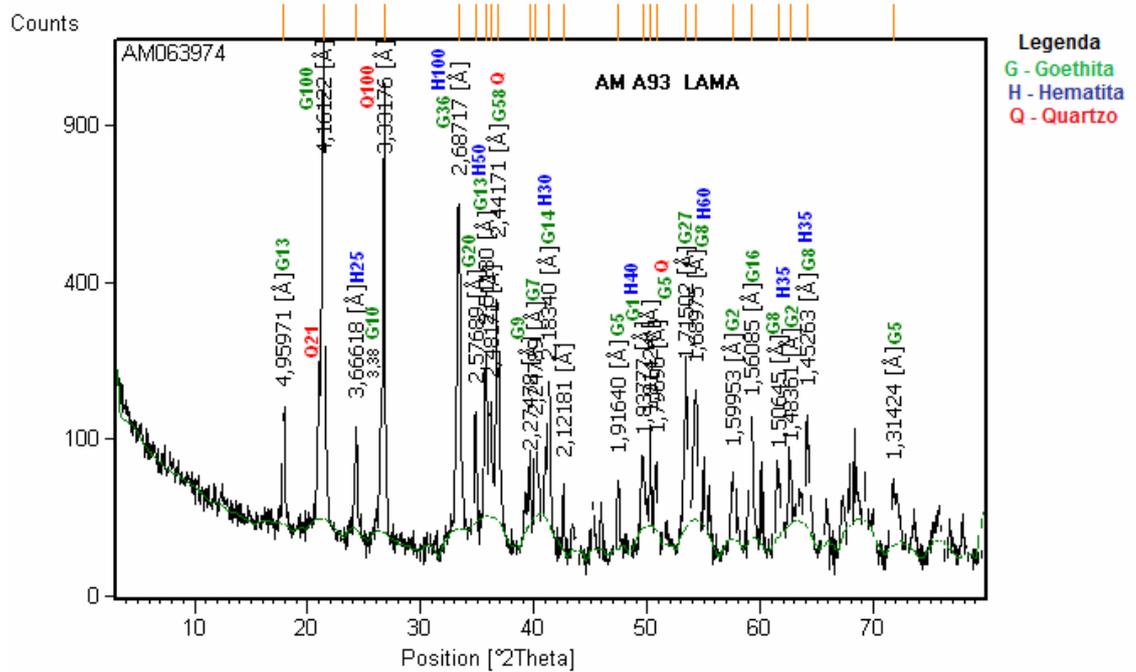
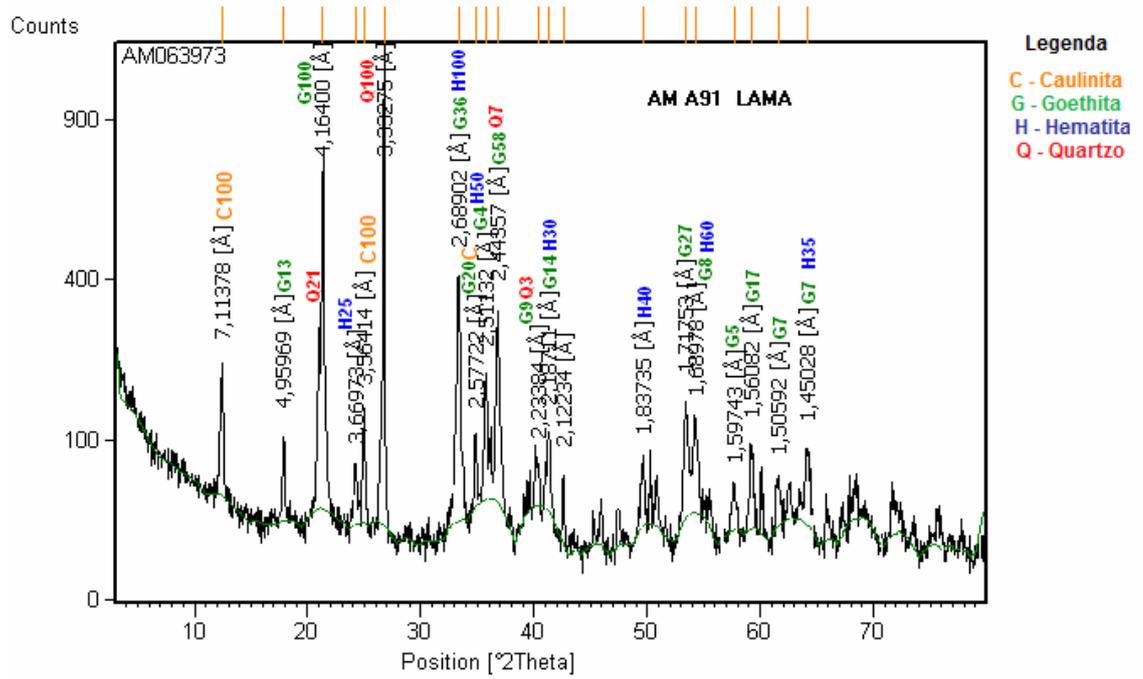




Anexo 5

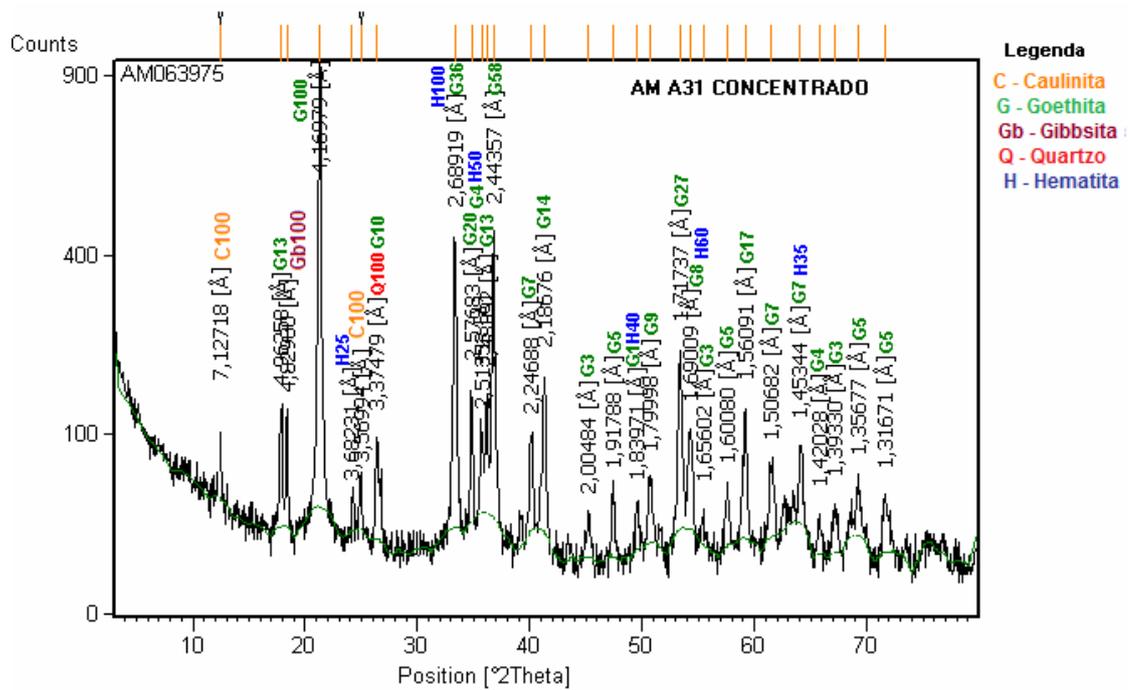
**Difratogramas de raios-X das alíquotas Lama das
amostras A31, A61, A62, A91 e A93**

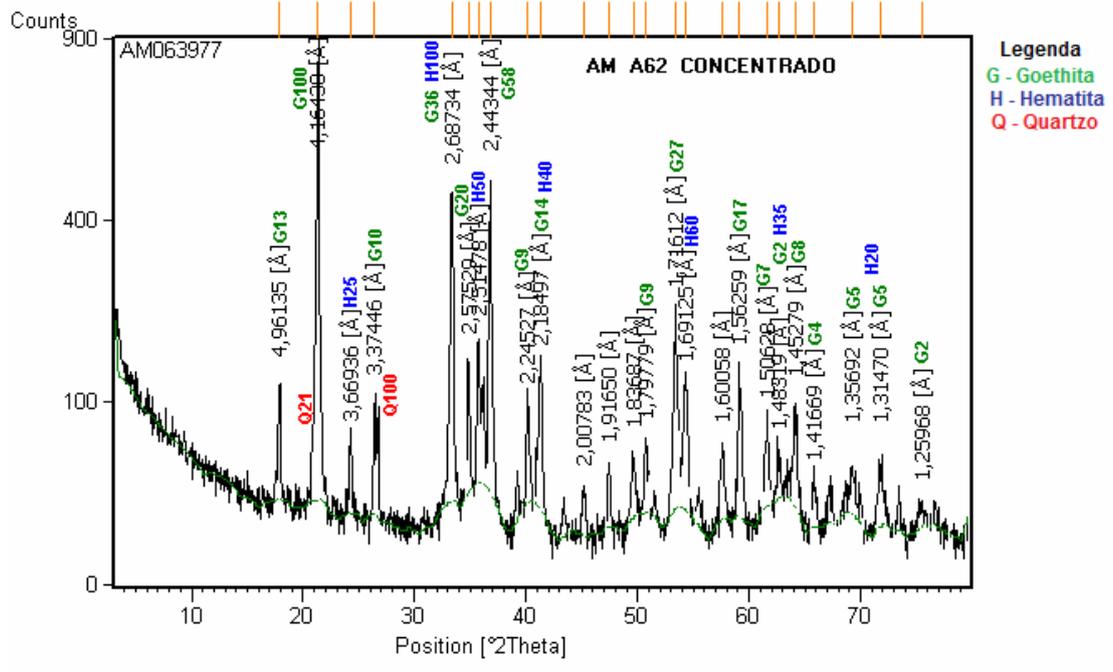
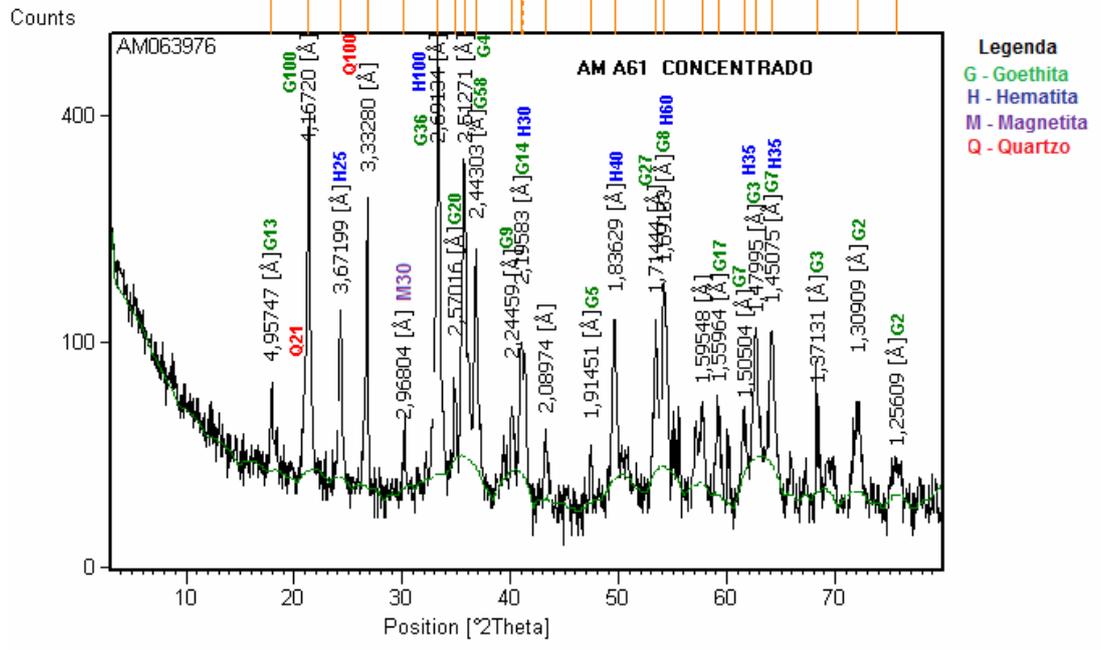


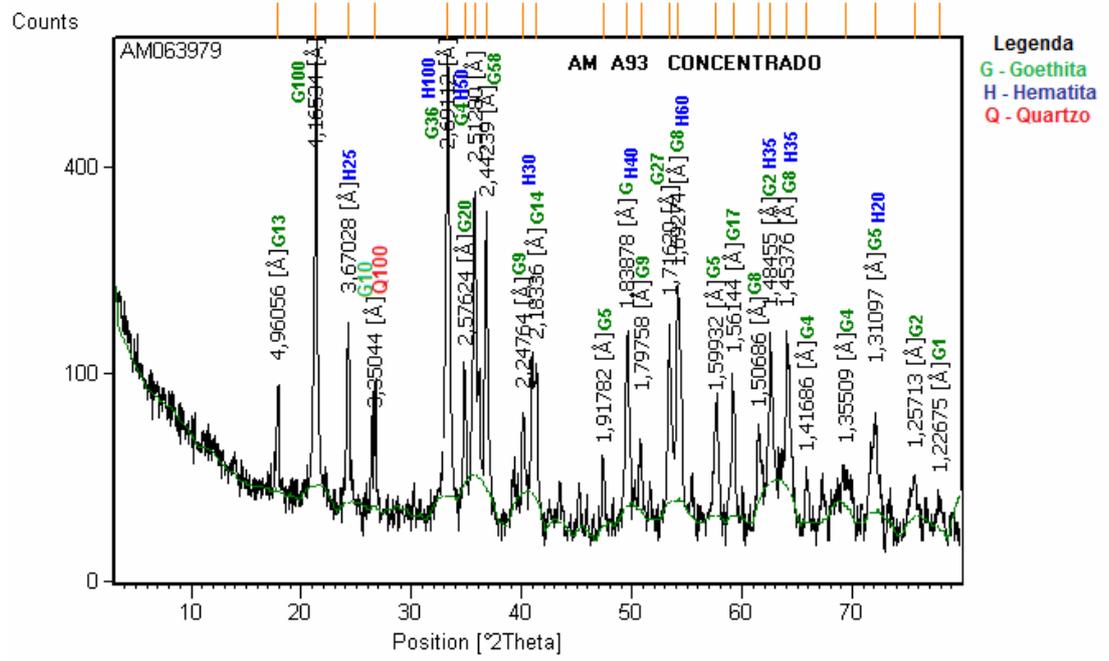
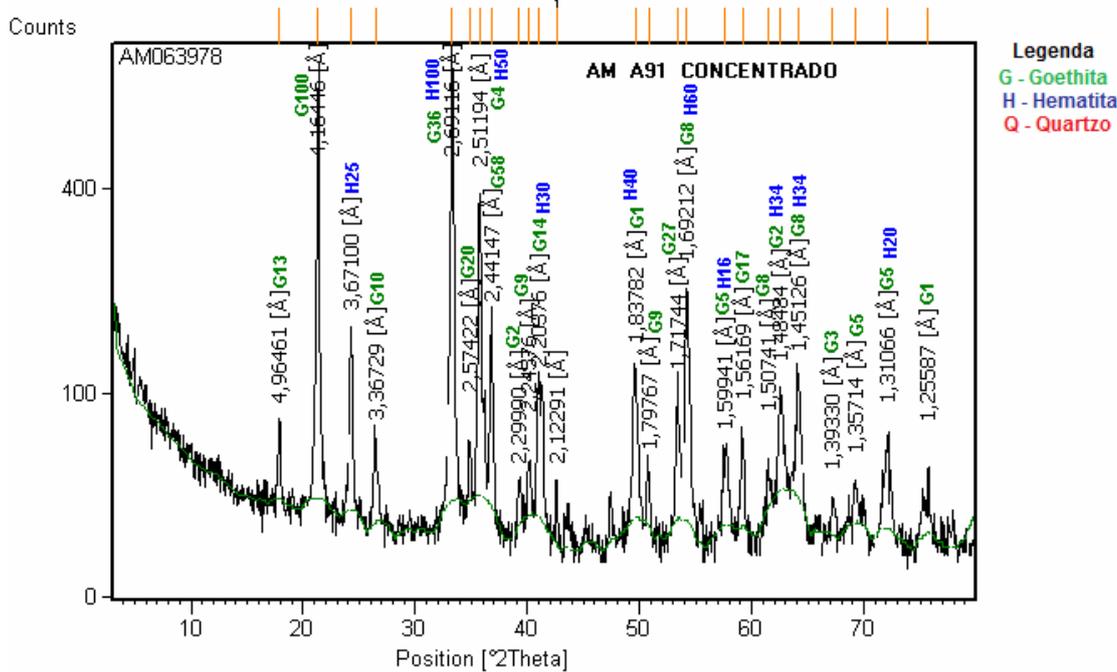


Anexo 6

**Difratogramas de raios-X das alíquotas
Concentrado das amostras A31, A61, A62, A91 e
A93**

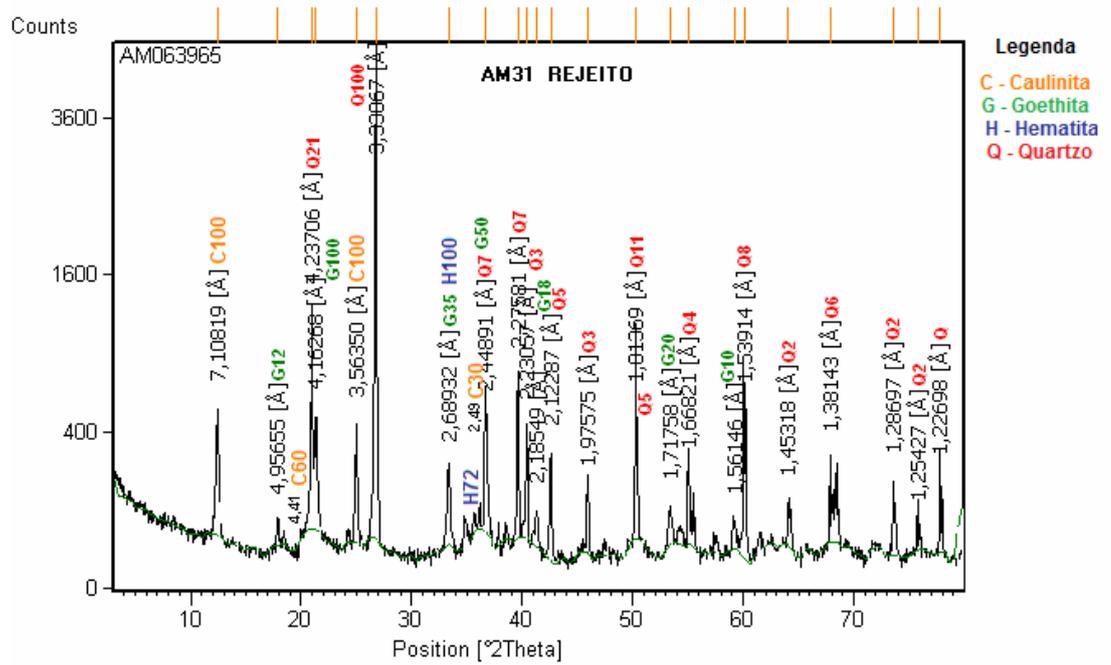


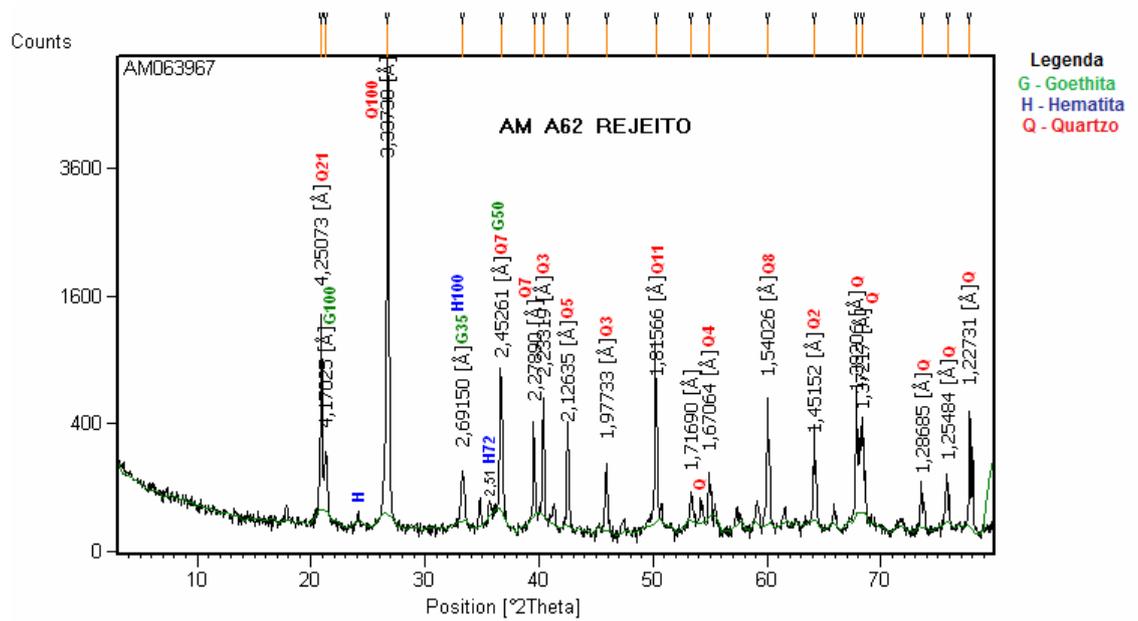
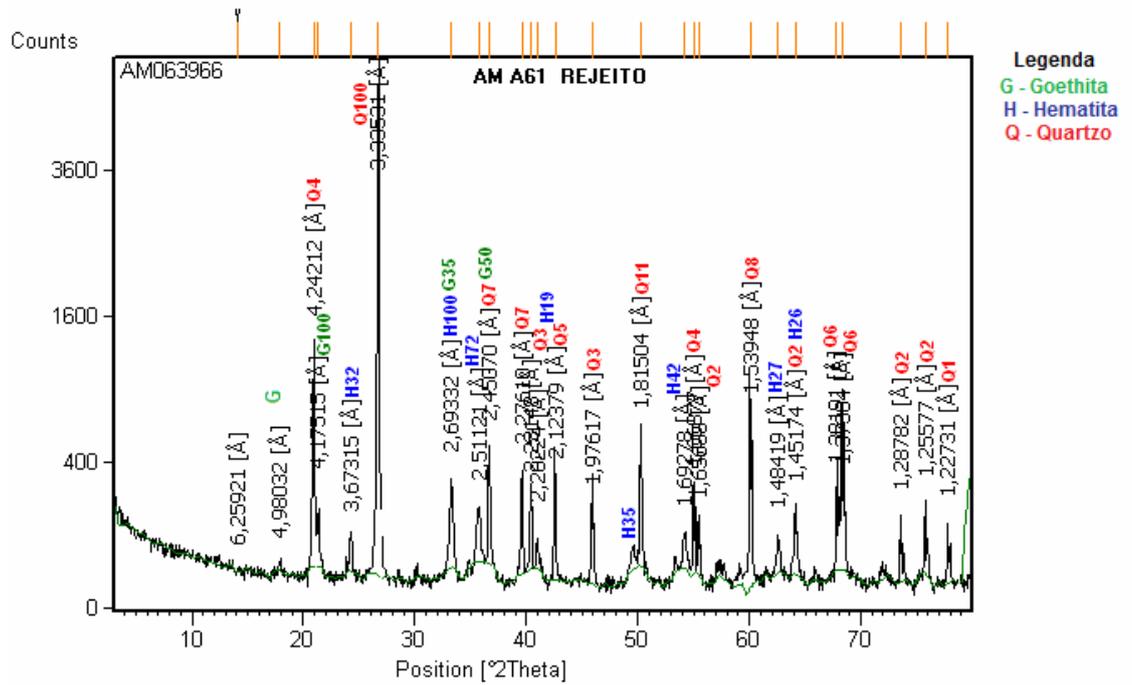


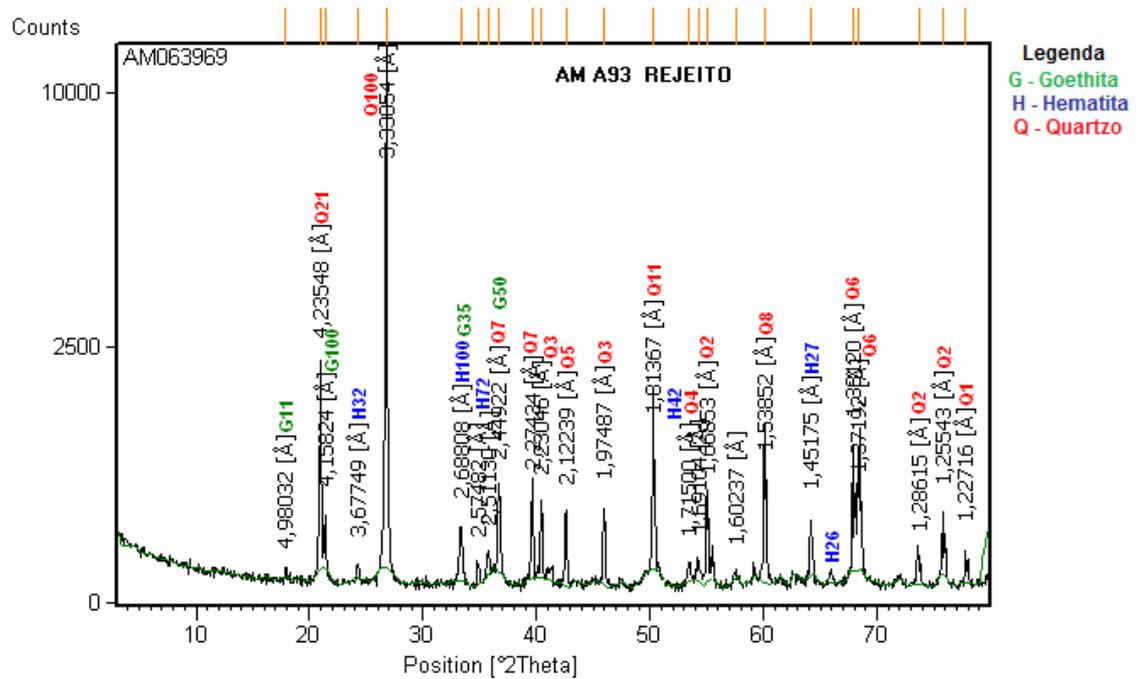
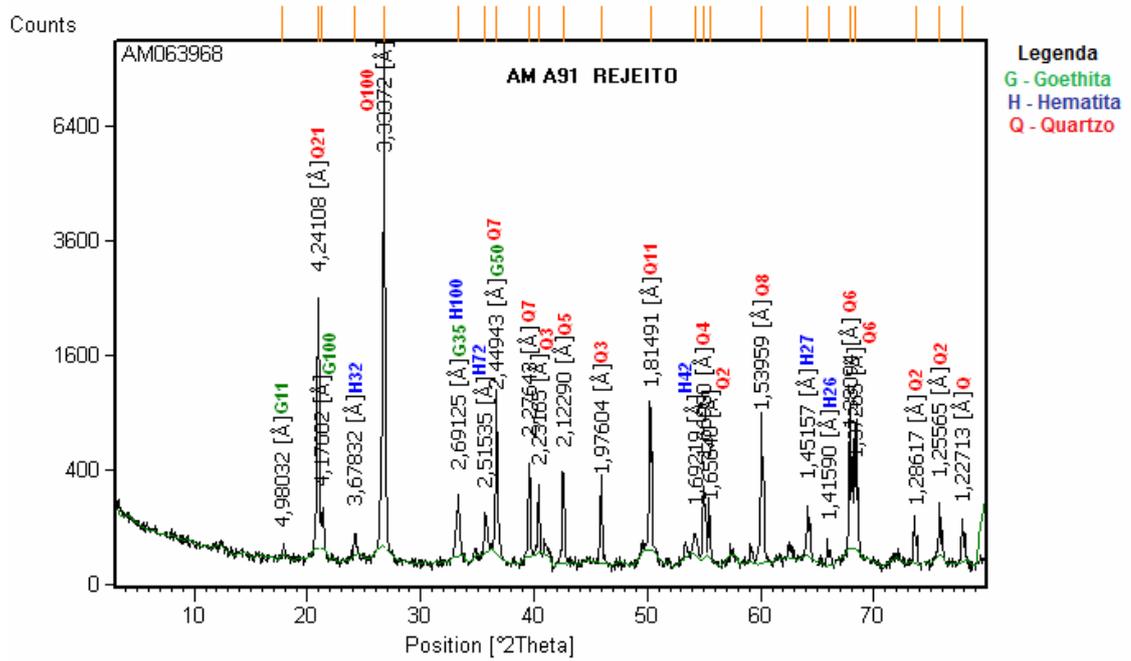


Anexo 7

**Difratogramas de raios-X das alíquotas Rejeito
das amostras A31, A61, A62, A91 e A93**

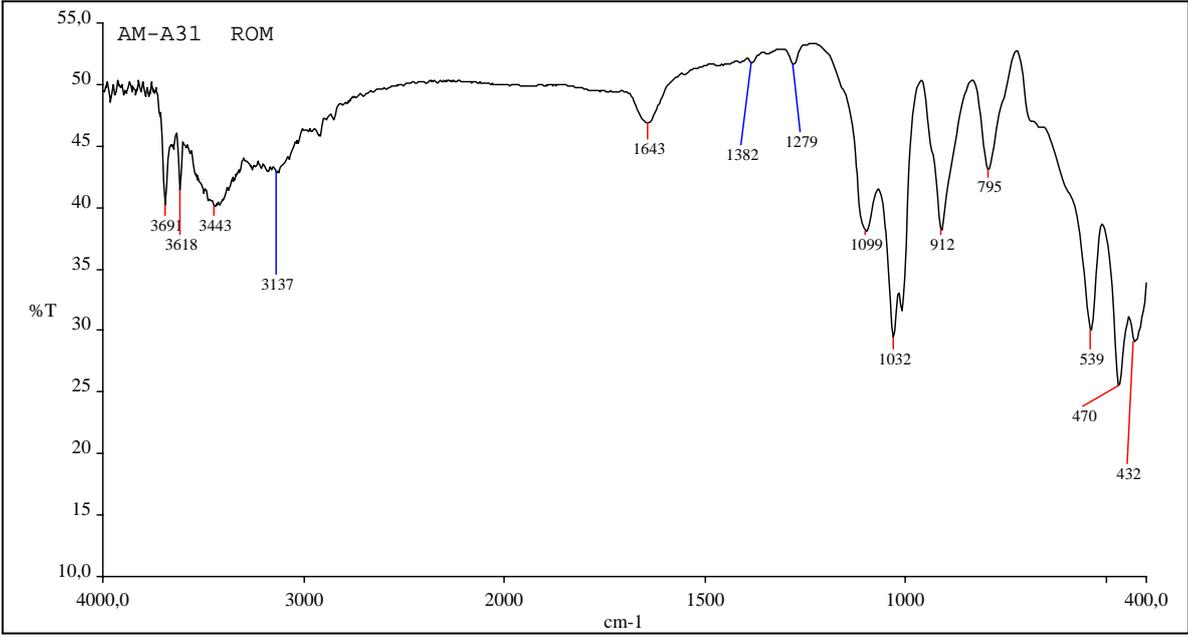


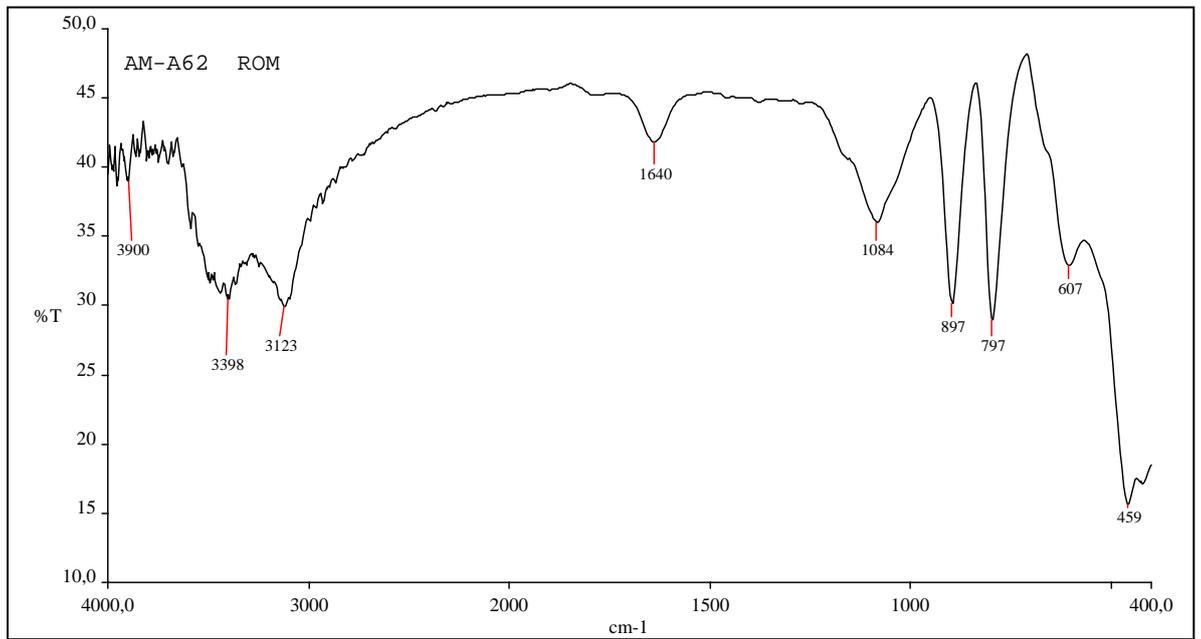
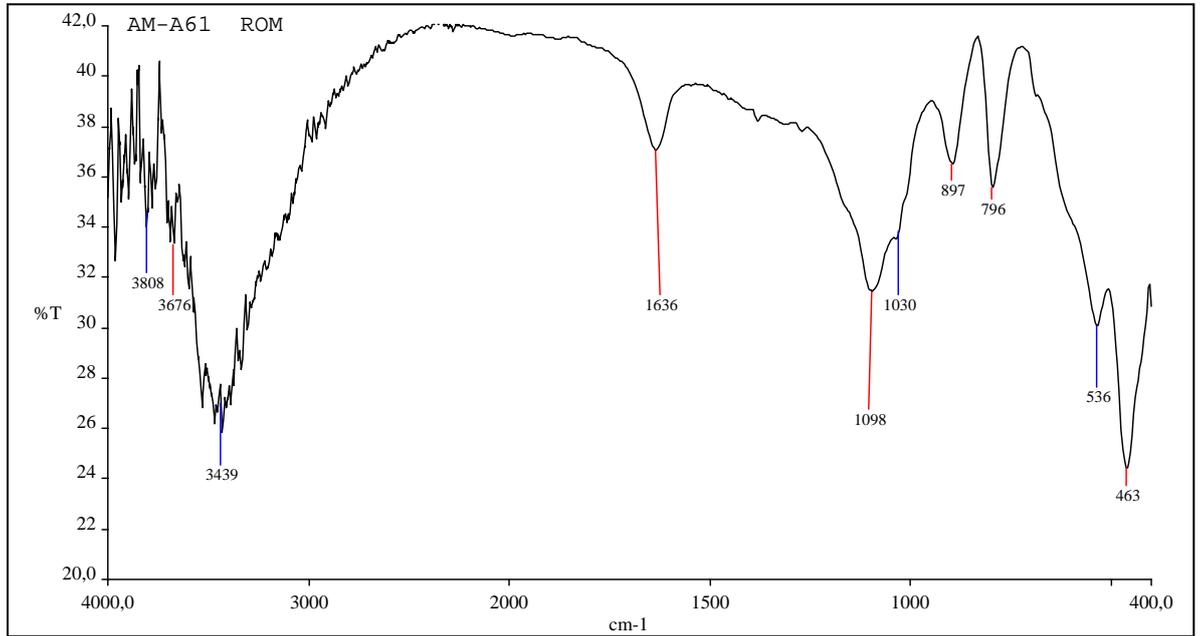


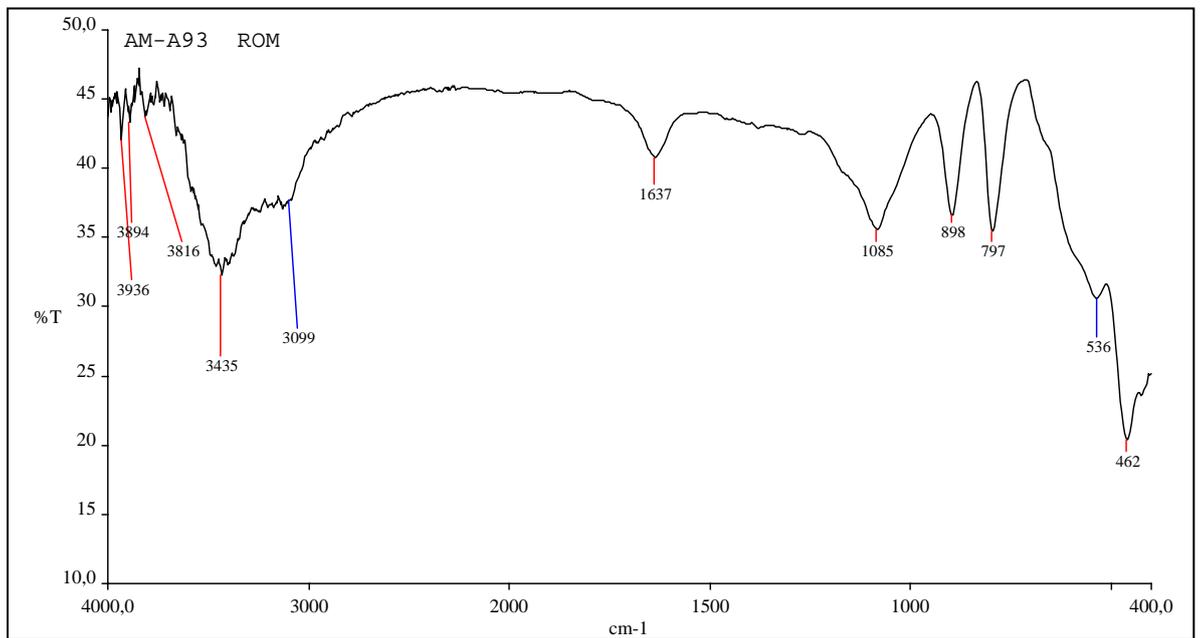
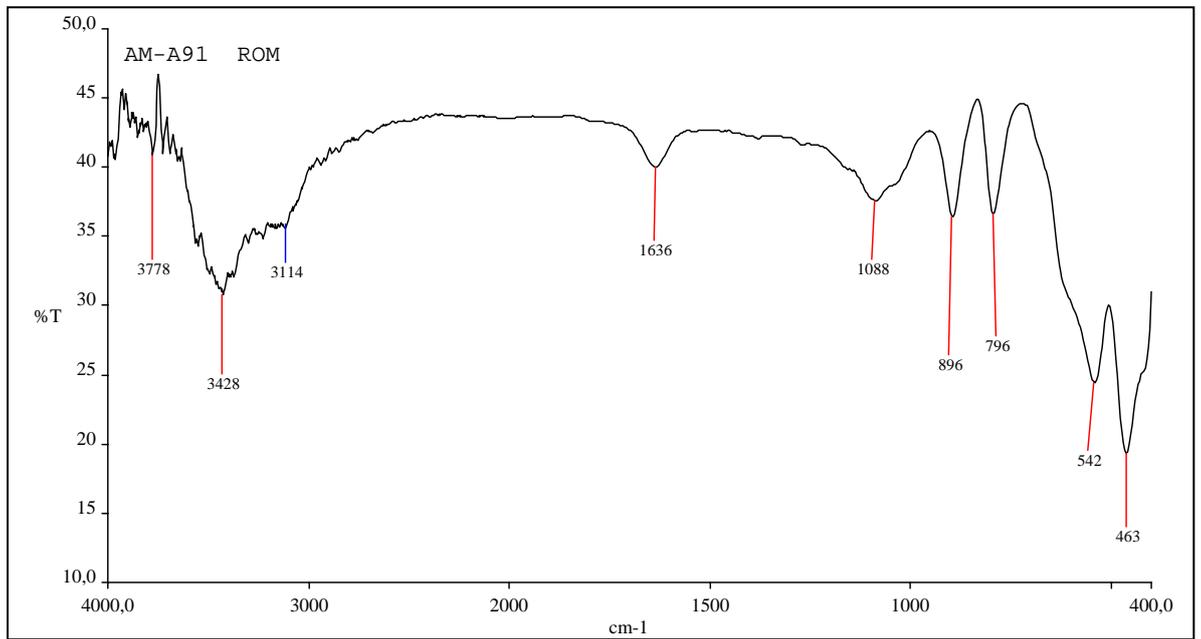


Anexo 8

**Espectros infravermelhos das alíquotas Britado 2
das amostras A31, A61, A62, A91 e A93**

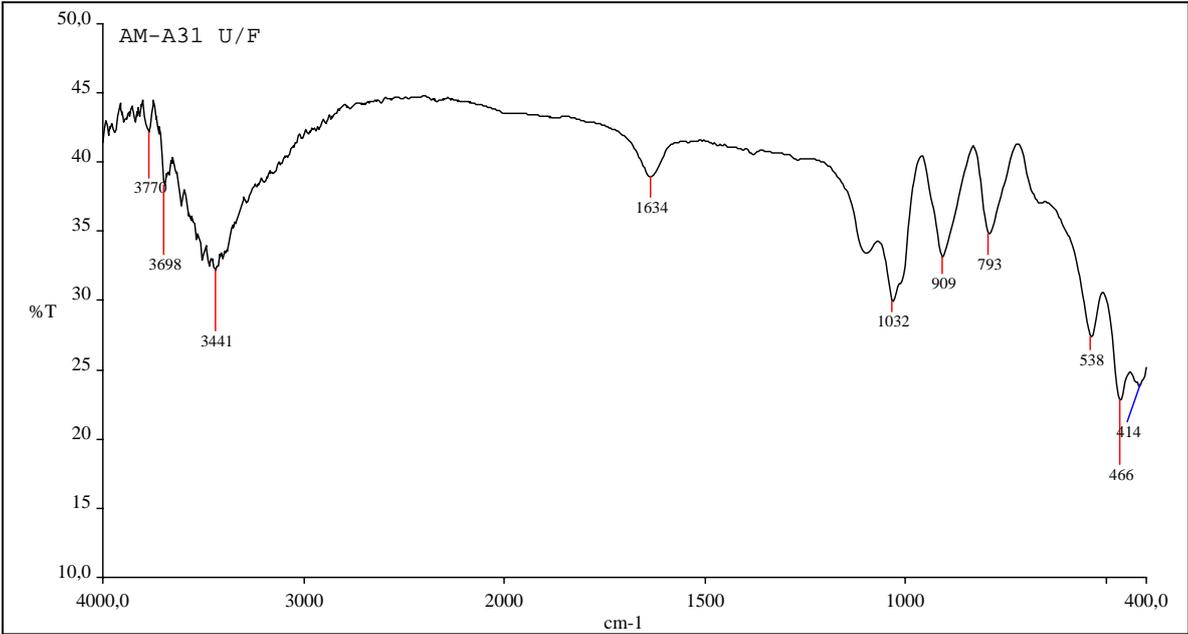


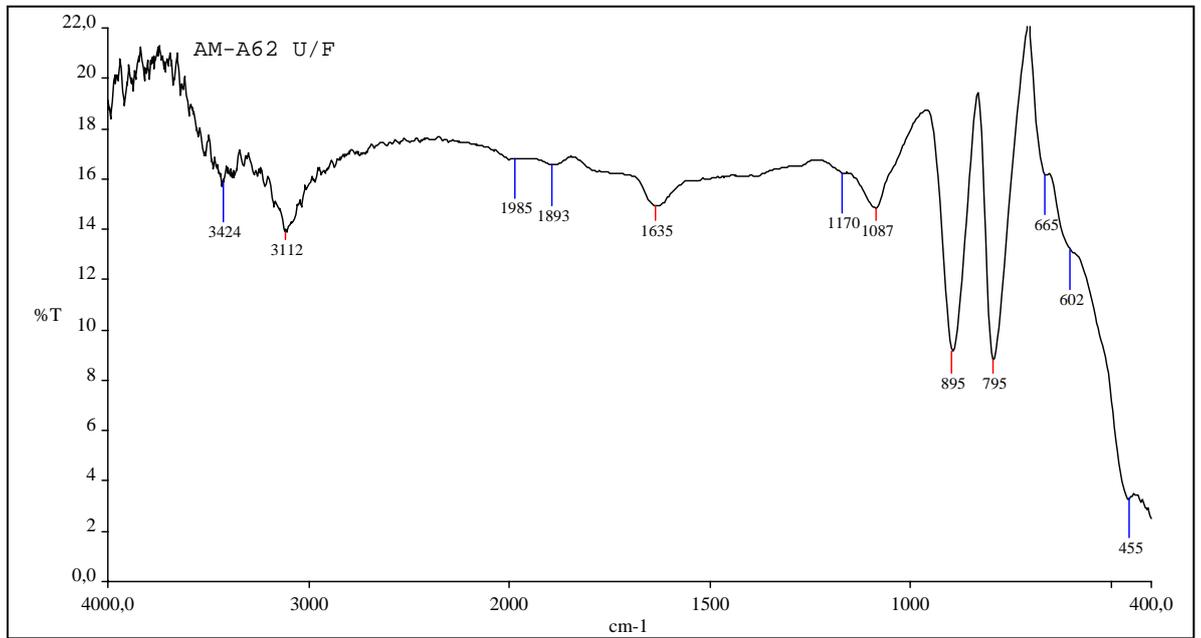
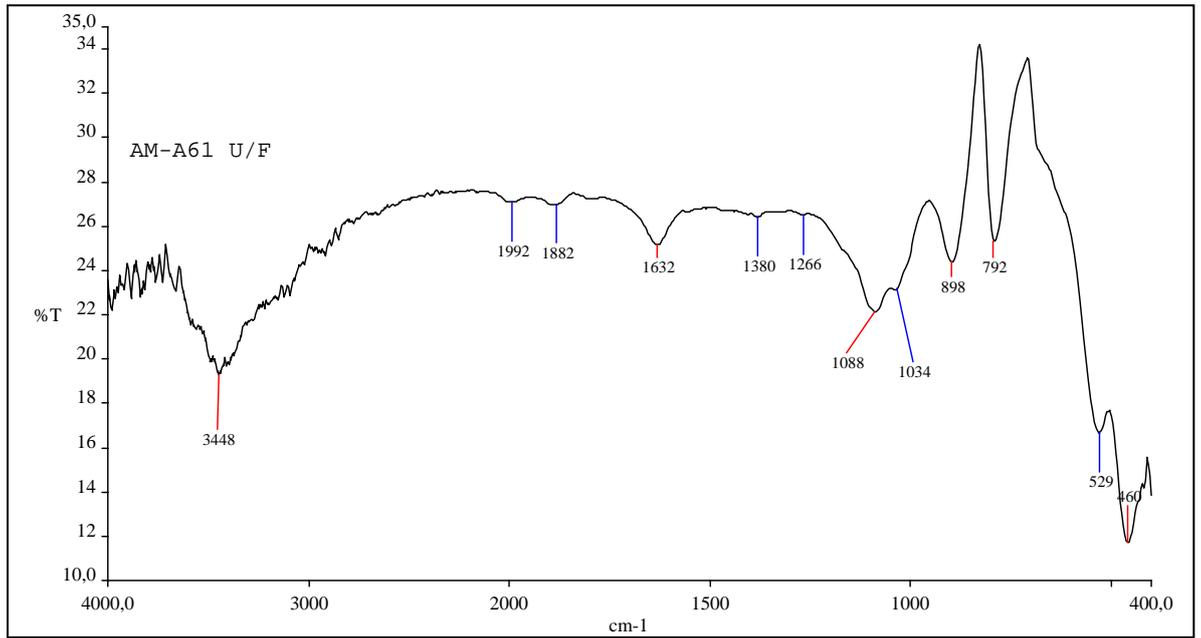


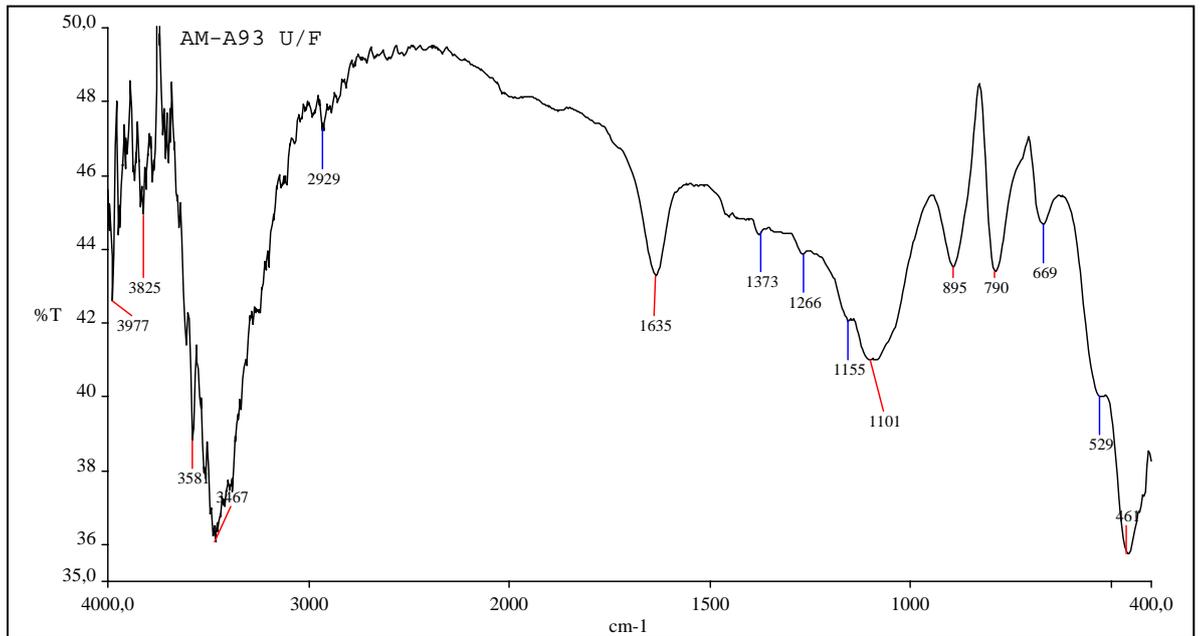
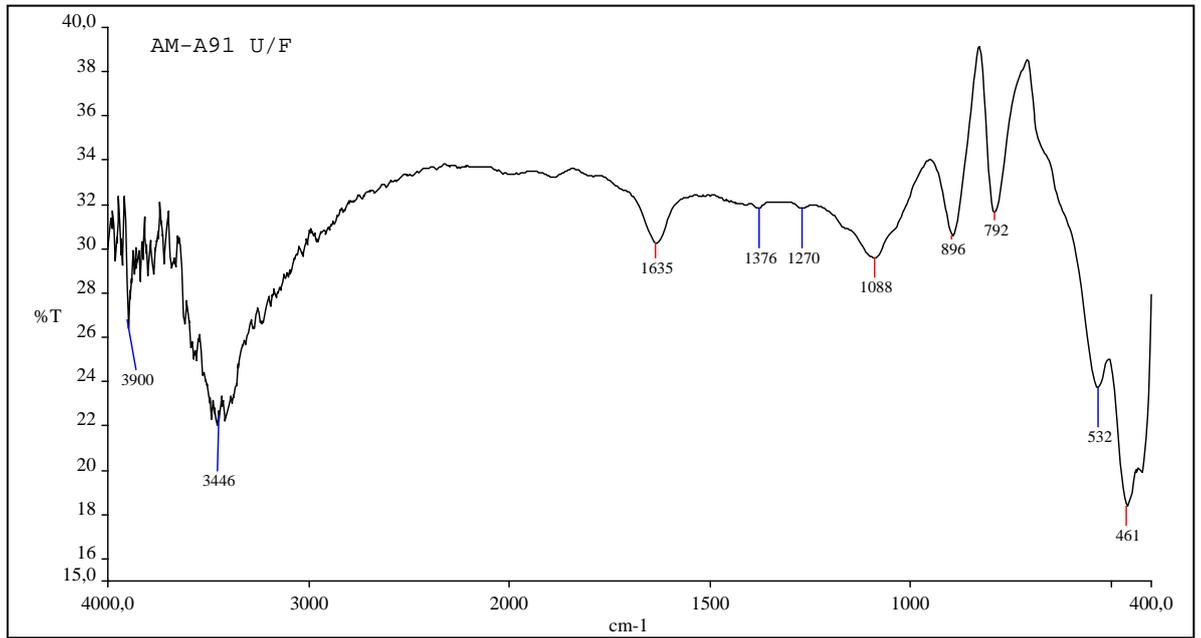


Anexo 9

**Espectros infravermelhos das alíquotas
Underflow Deslamado das amostras A31, A61,
A62, A91 e A93**

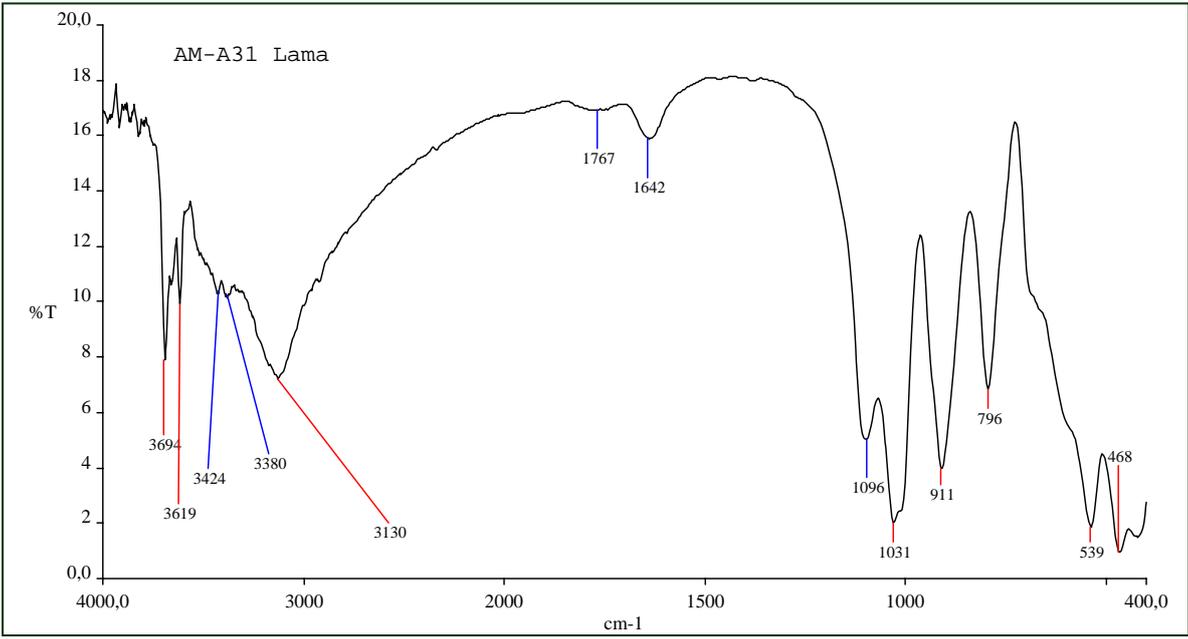


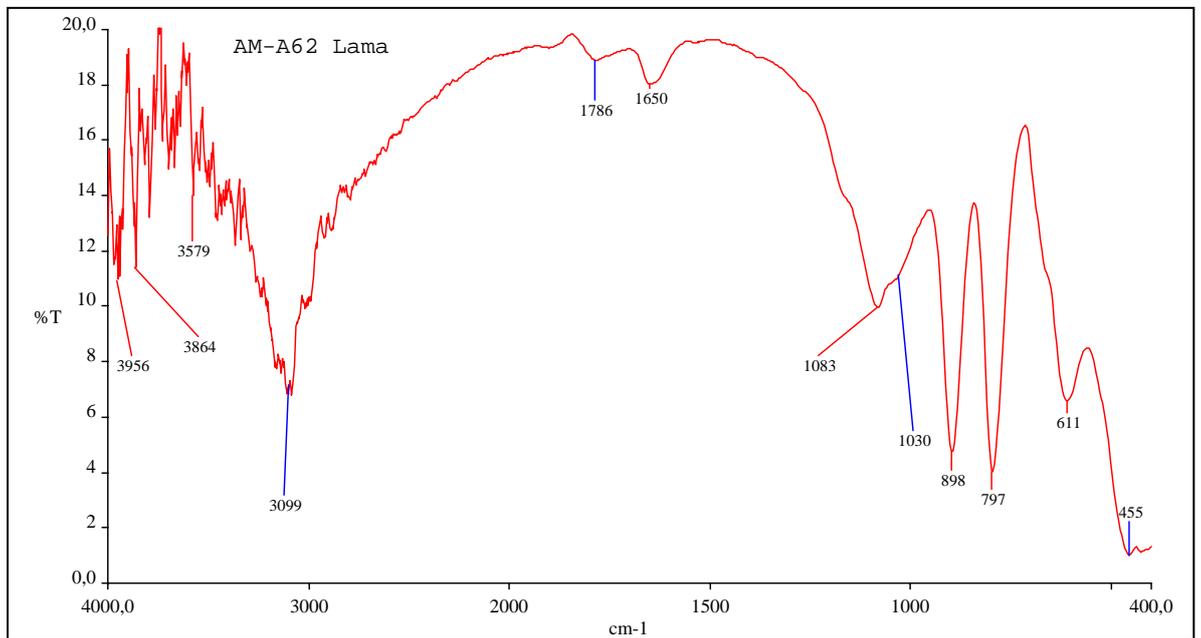
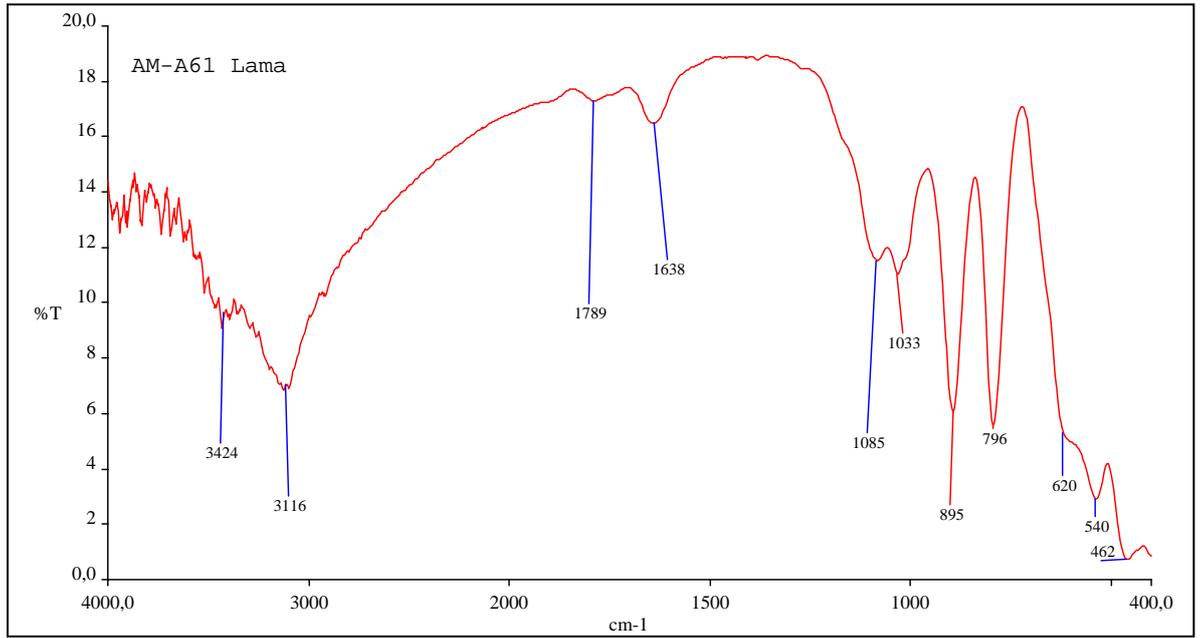


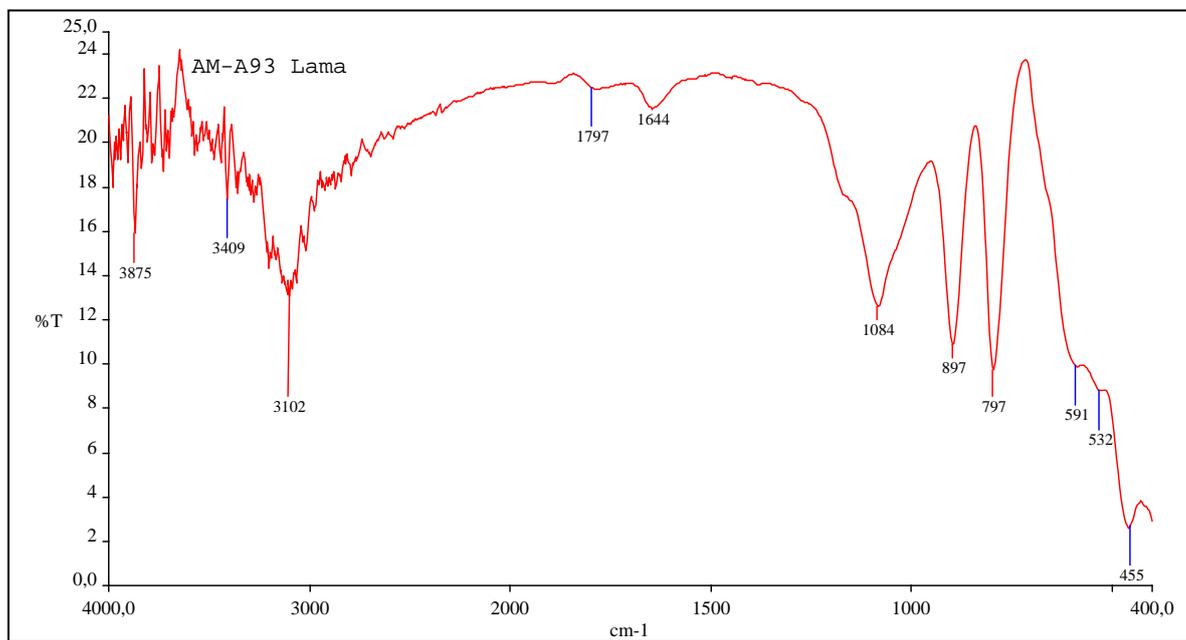
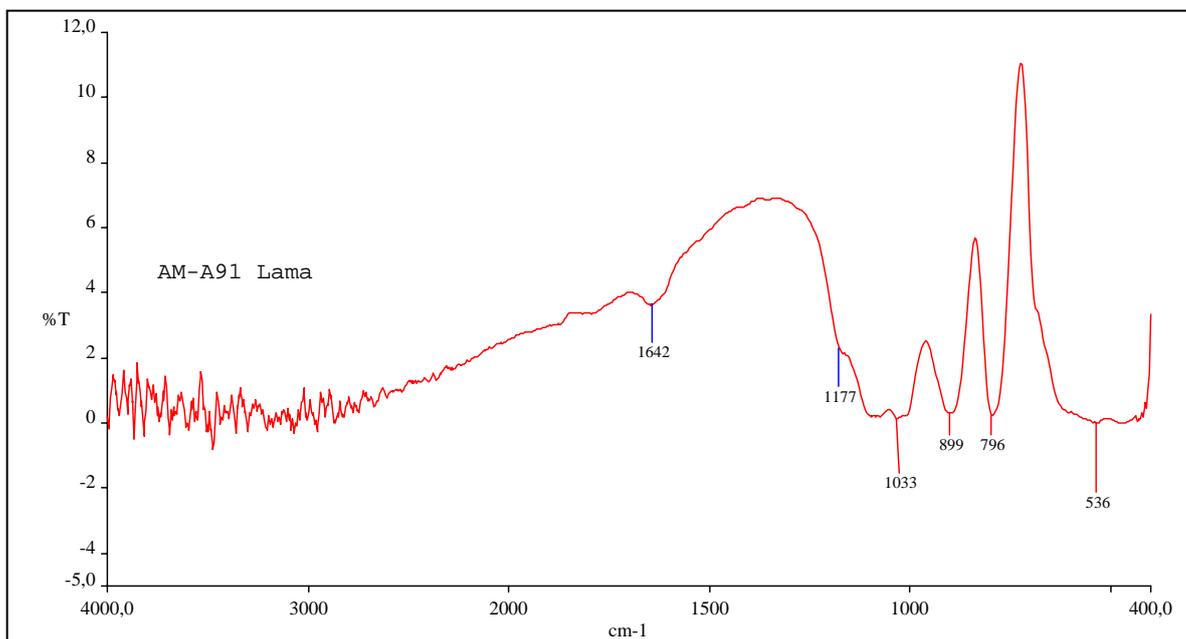


Anexo 10

**Espectros infravermelhos das alíquotas Lama
das amostras A31, A61, A62, A91 e A93**

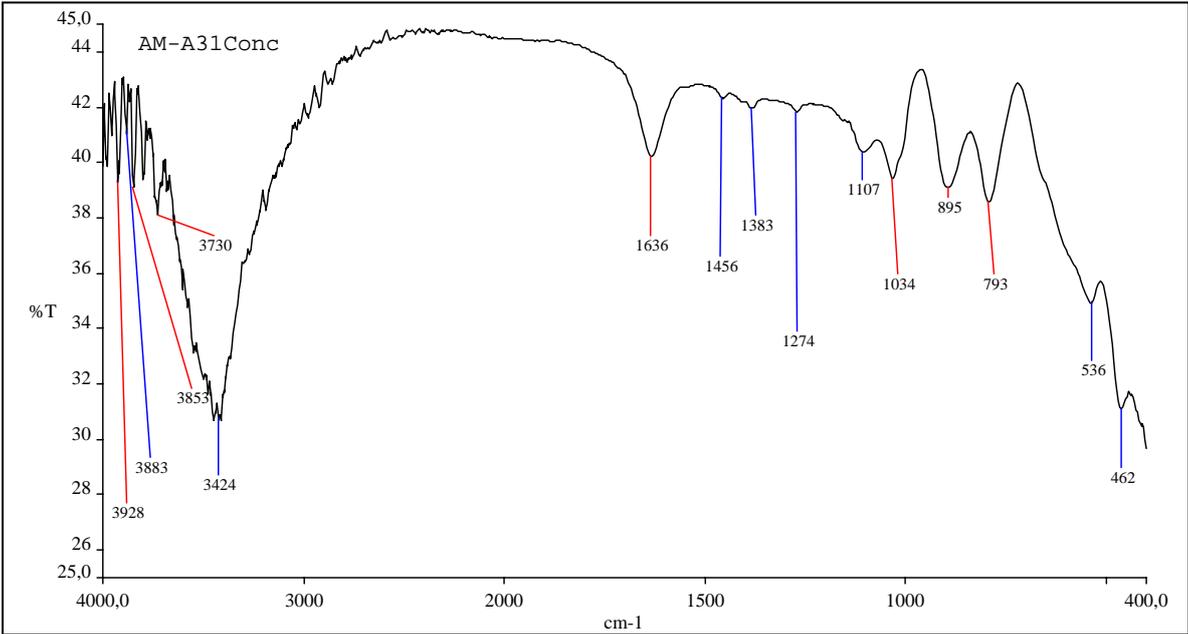


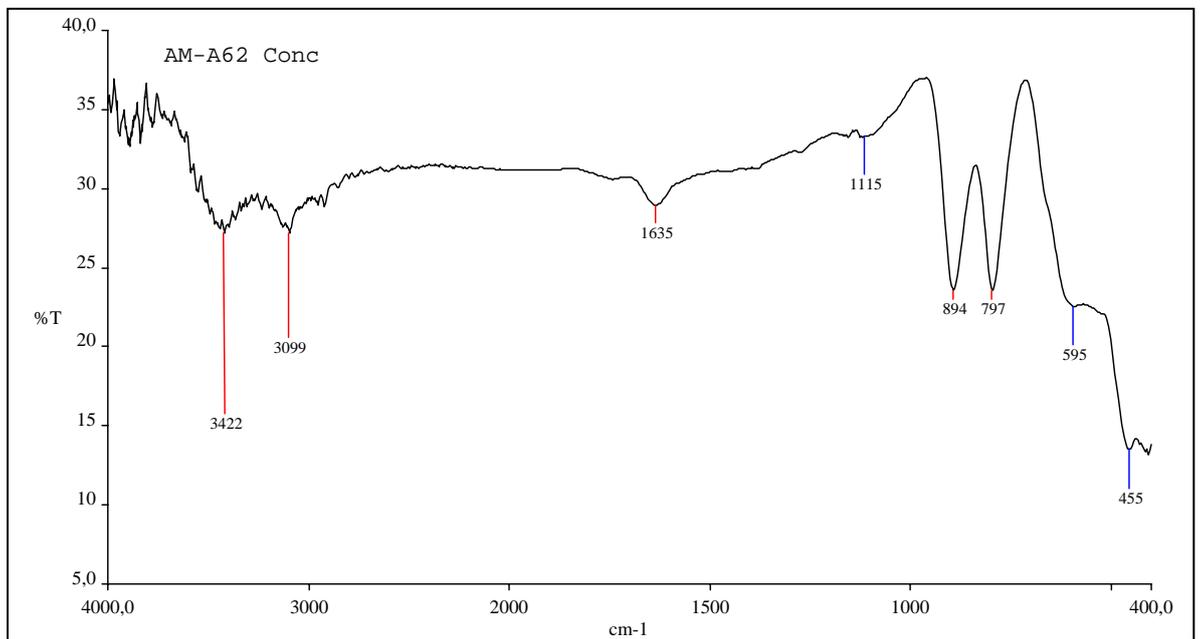
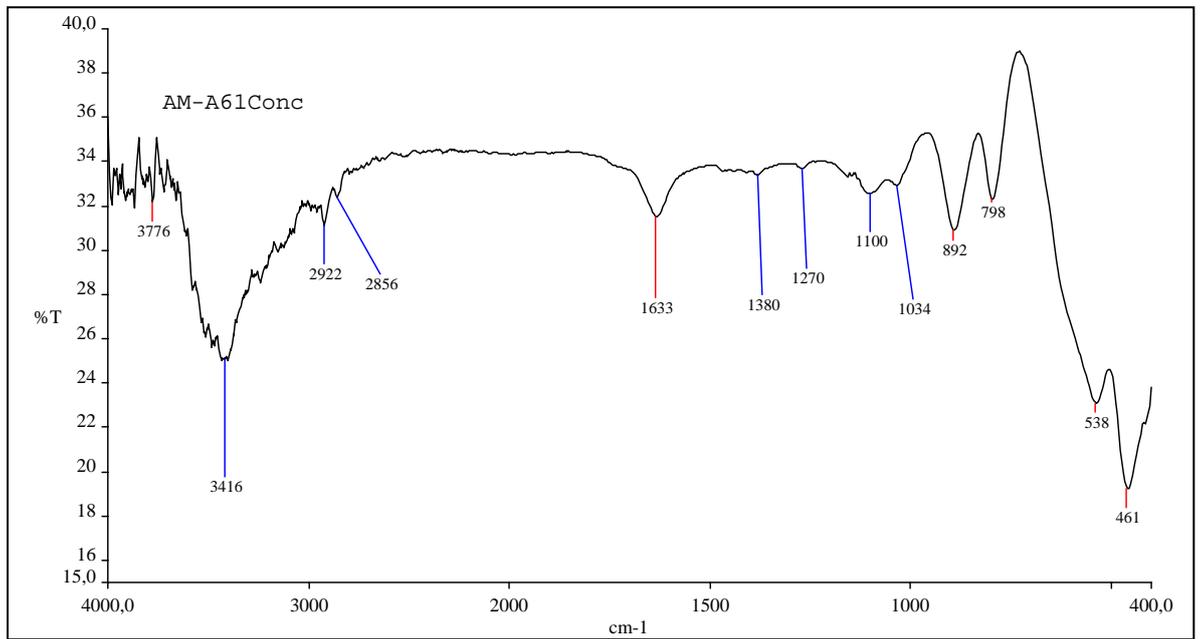


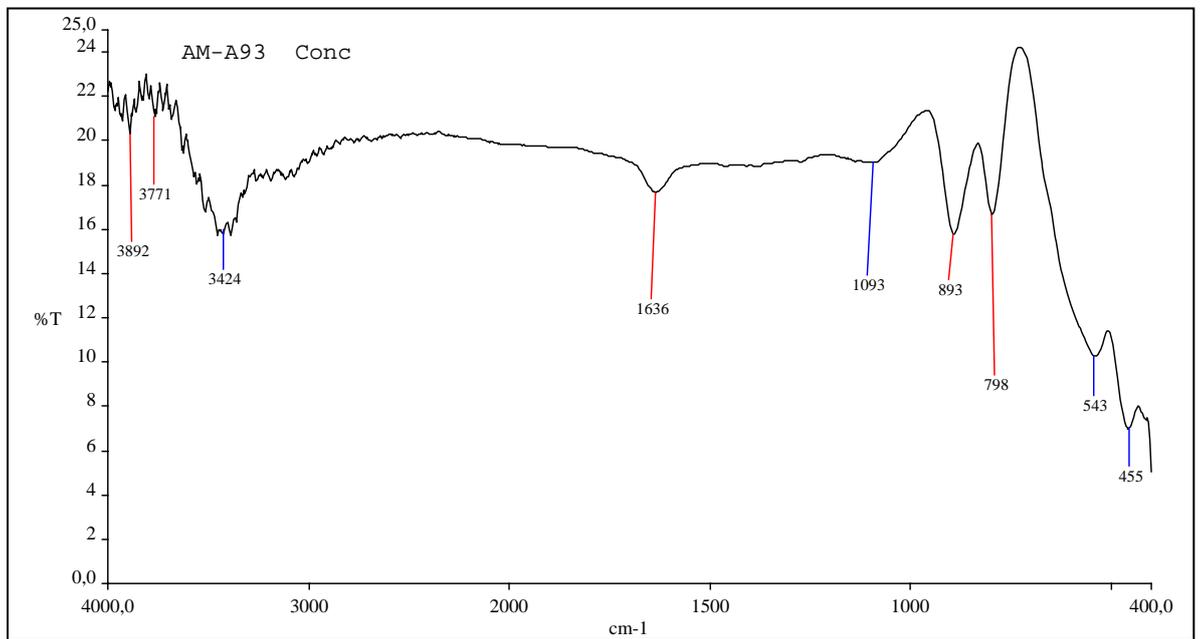
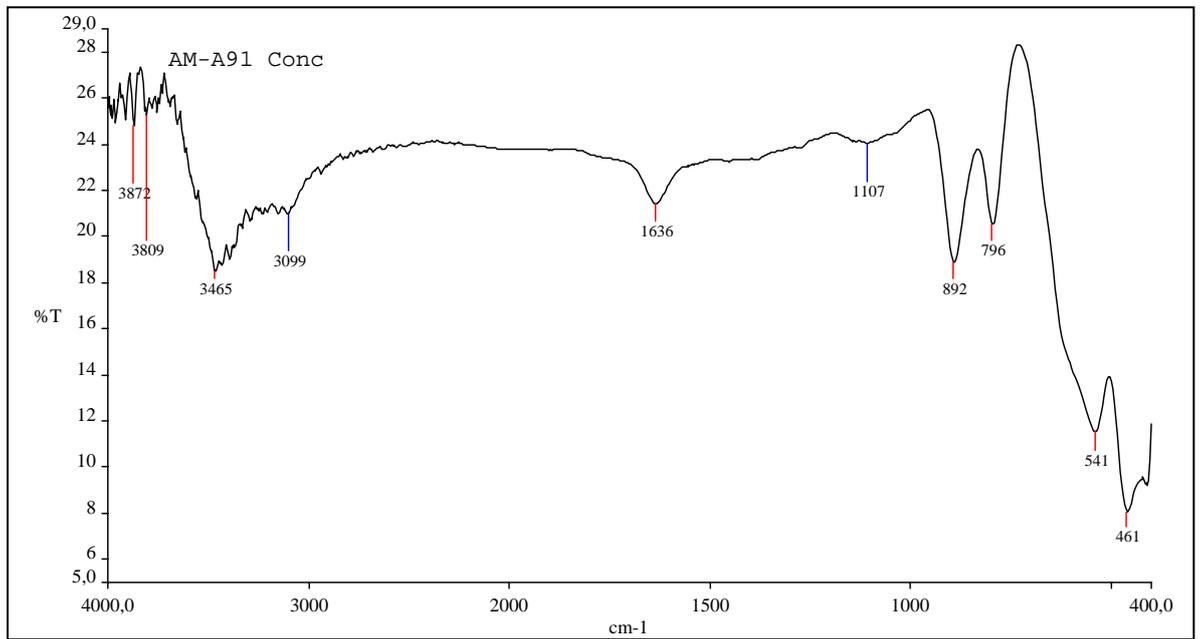


Anexo 11

**Espectros infravermelhos das alíquotas
Concentrado das amostras A31, A61, A62, A91 e
A93**

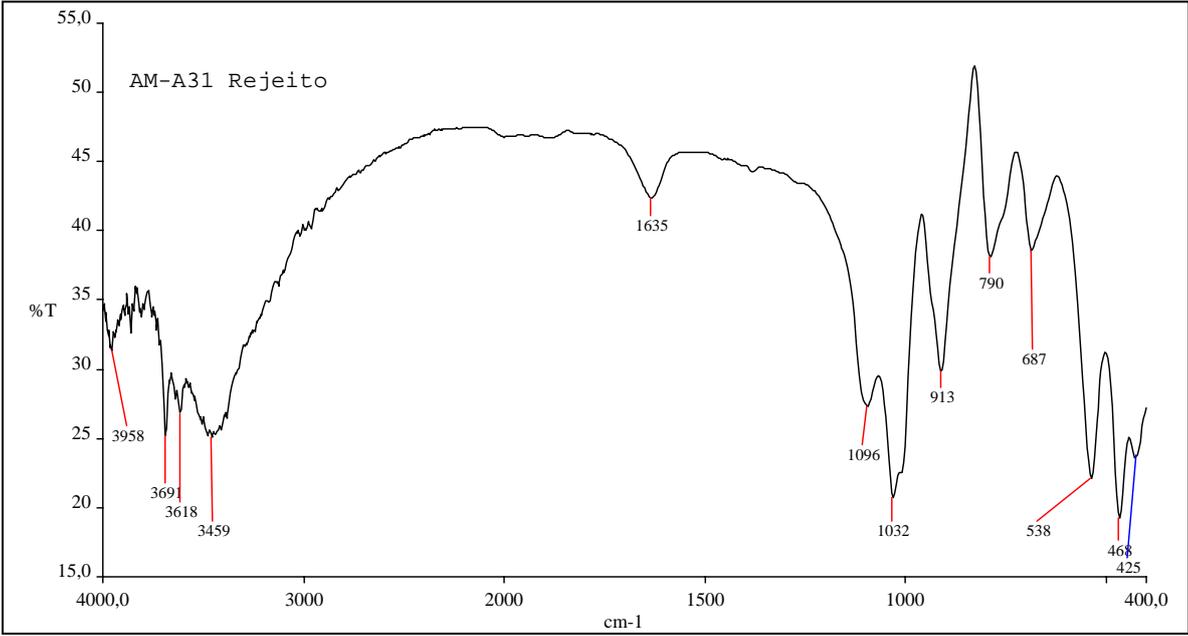


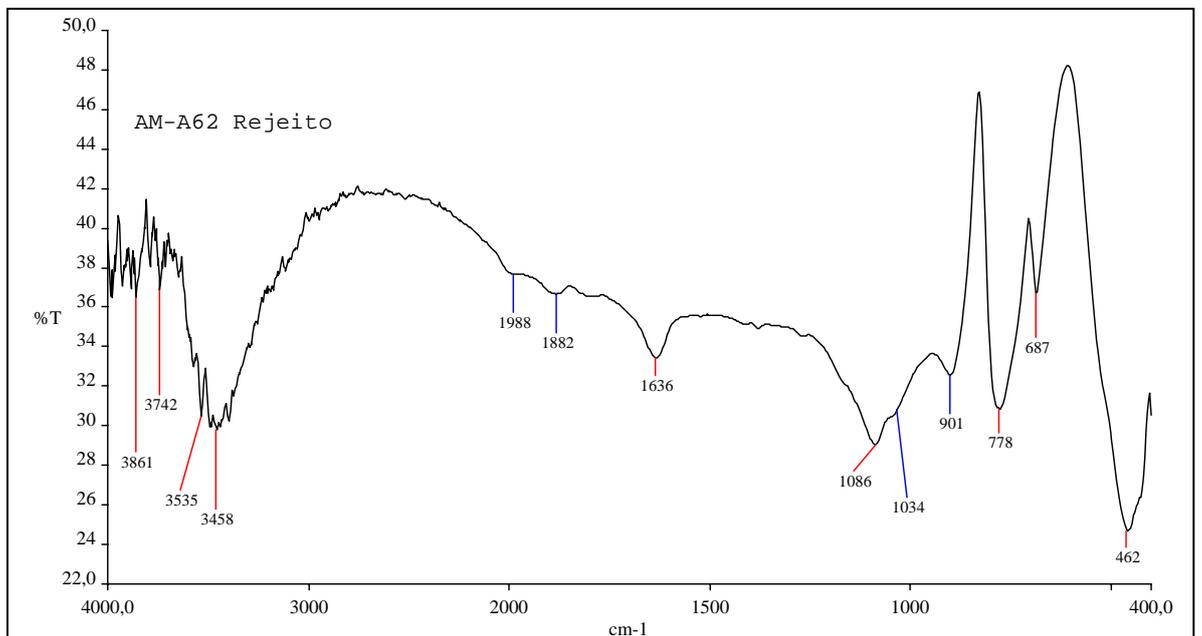
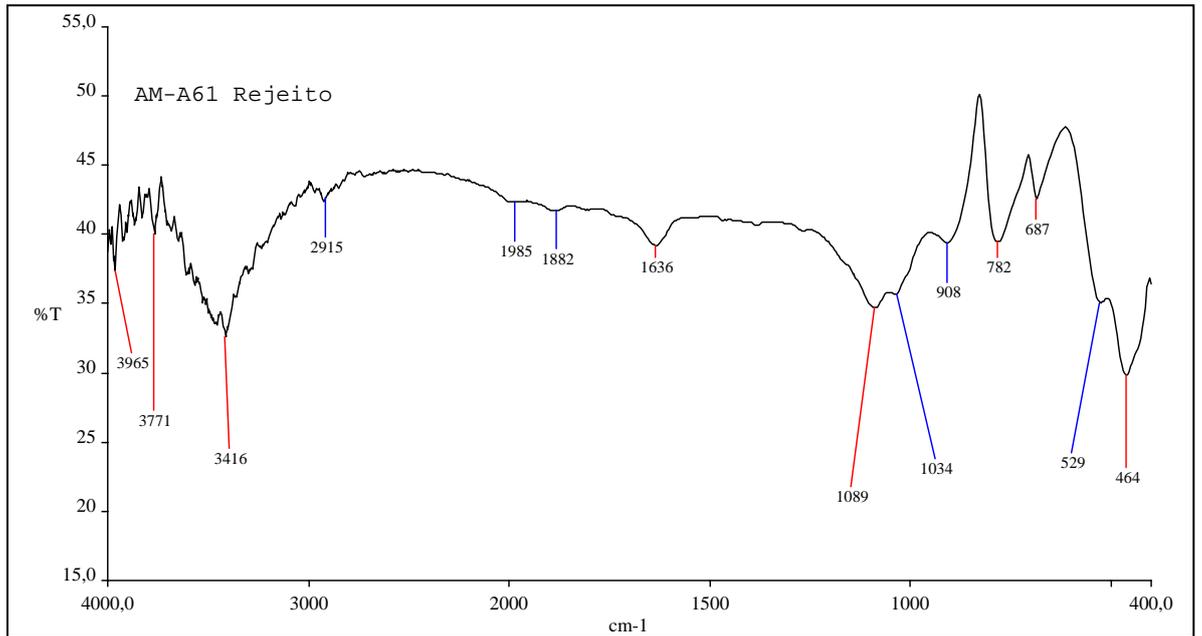


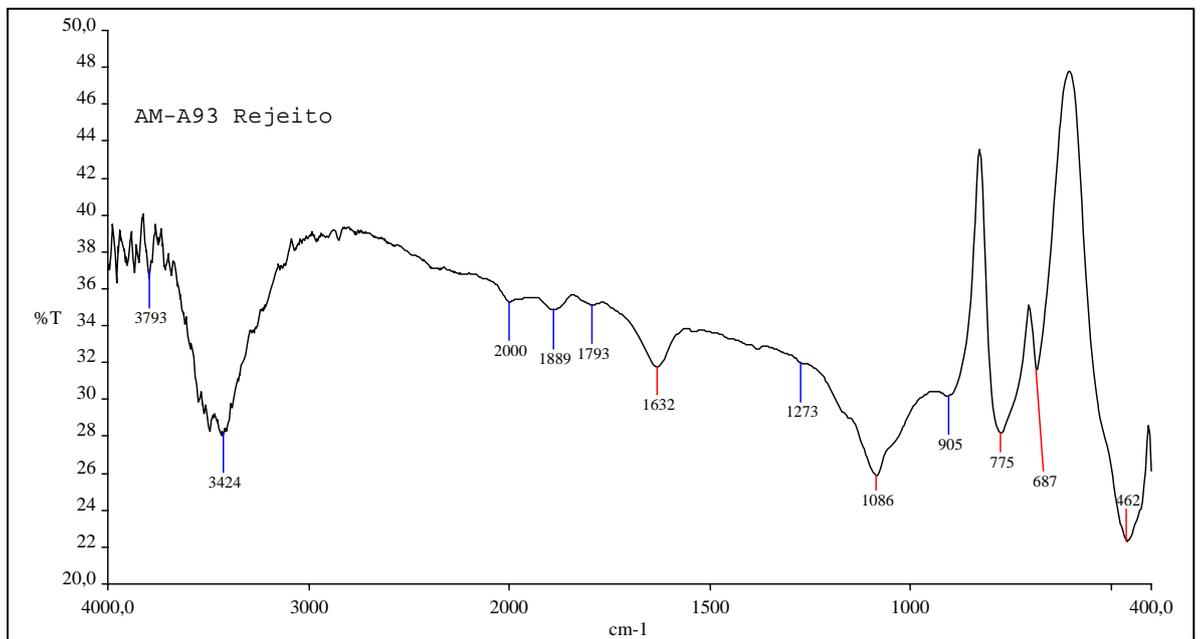
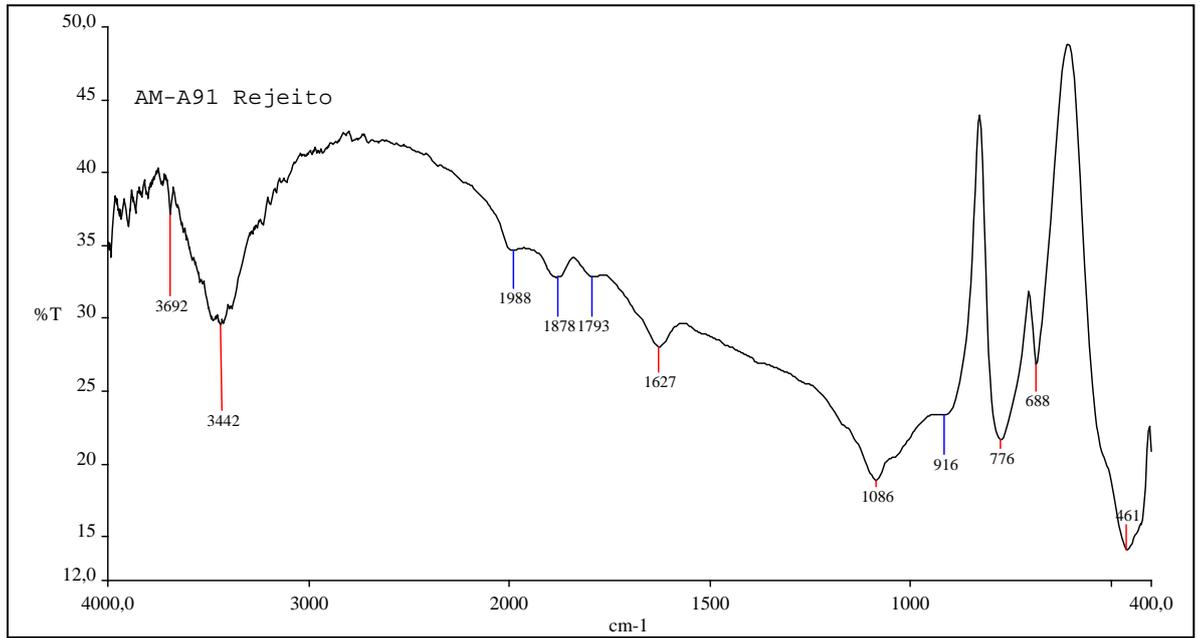


Anexo 12

**Espectros infravermelhos das alíquotas Rejeito
das amostras A31, A61, A62, A91 e A93**







Anexo 13

Curvas termogravimétricas das alíquotas

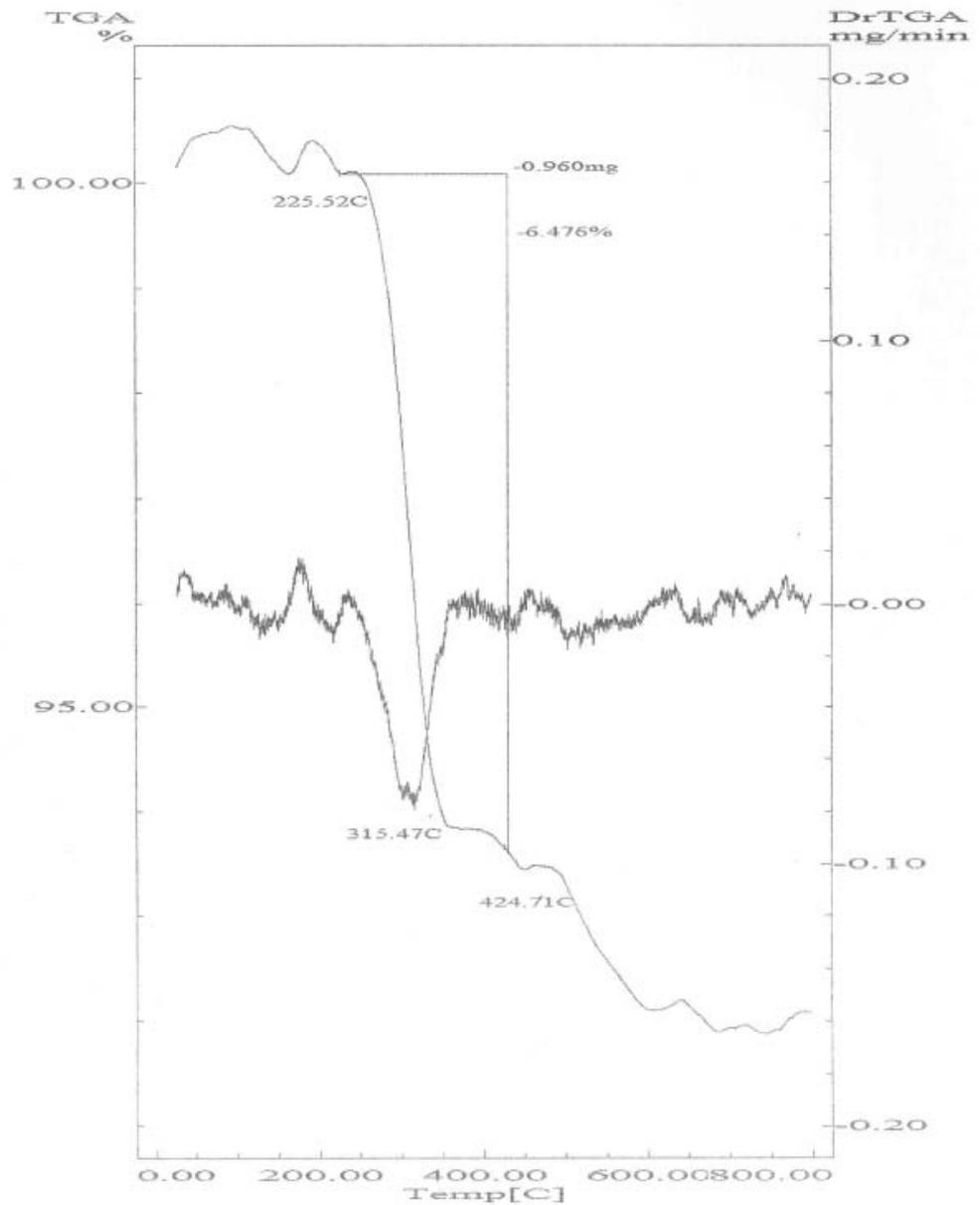
Britado 2

Curva TG - Am A_31 TA-ROM

File Name: TA_ROM.D20
Detector Type: Shimadzu TGA-50
Acquisition Date: 06/10/29
Acquisition Time: 06:09:57
Sample Name: Am_A31
Weight: 14.83 [mg]
Cell: Platinum
Atmosphere: Nitrogen
Rate Flow: 20.00 [ml/min]
Operator: Camila

Temp Program
Rate [C/min] Hold Temp [C] Hold Time [min]
5.0 800.0 0.0

LAB. CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE POLÍMEROS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG

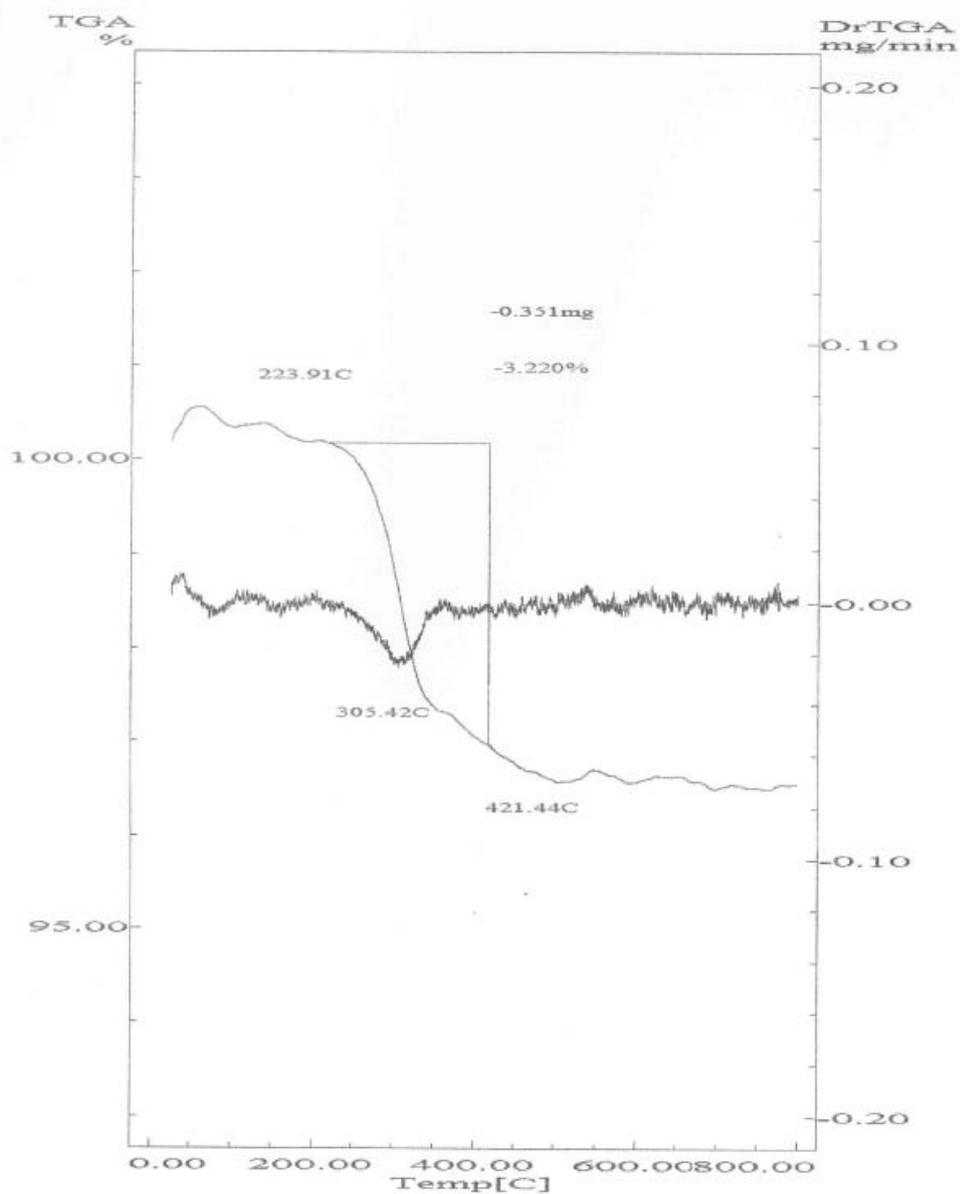


Curva TG - Am A_61 TA-ROM

File Name: TA_ROM2.D20
Detector Type: Shimadzu TGA-50
Acquisition Date: 06/10/28
Acquisition Time: 22:41:32
Sample Name: Am_A61
Weight: 10.89[mg]
Cell: Platinum
Atmosphere: Nitrogen
Rate Flow: 20.00[ml/min]
Operator: Camila

Temp Program		
Rate	Hold Temp	Hold Time
[C/min]	[C]	[min]
5.0	800.0	0.0

LAB. CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE POLÍMEROS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG

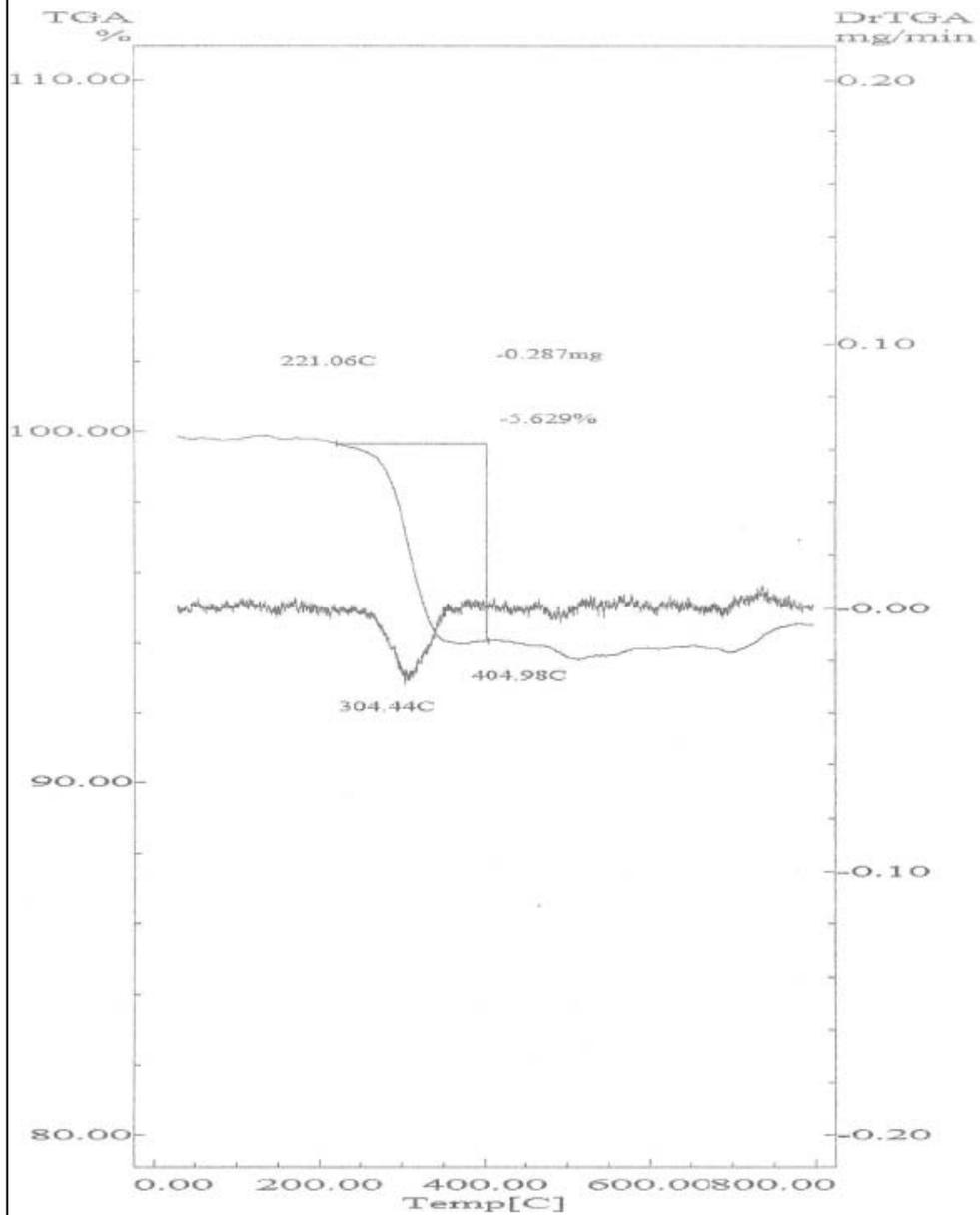


Curva TG - Am A_62 TA-ROM

File Name: TA_ROM1.D20
Detector Type: Shimadzu TGA-50
Acquisition Date: 06/10/28
Acquisition Time: 18:15:34
Sample Name: AM_A62
Weight: 5.097[mg]
Pan: Platinum
Atmosphere: Nitrogen
Gas Flow: 20.00[ml/min]
Operator: Camila

Temp Program			
Rate	Hold Temp	Hold Time	
[C/min]	[C]	[min]	
5.0	800.0	0.0	

LAB. CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE POLÍMEROS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG

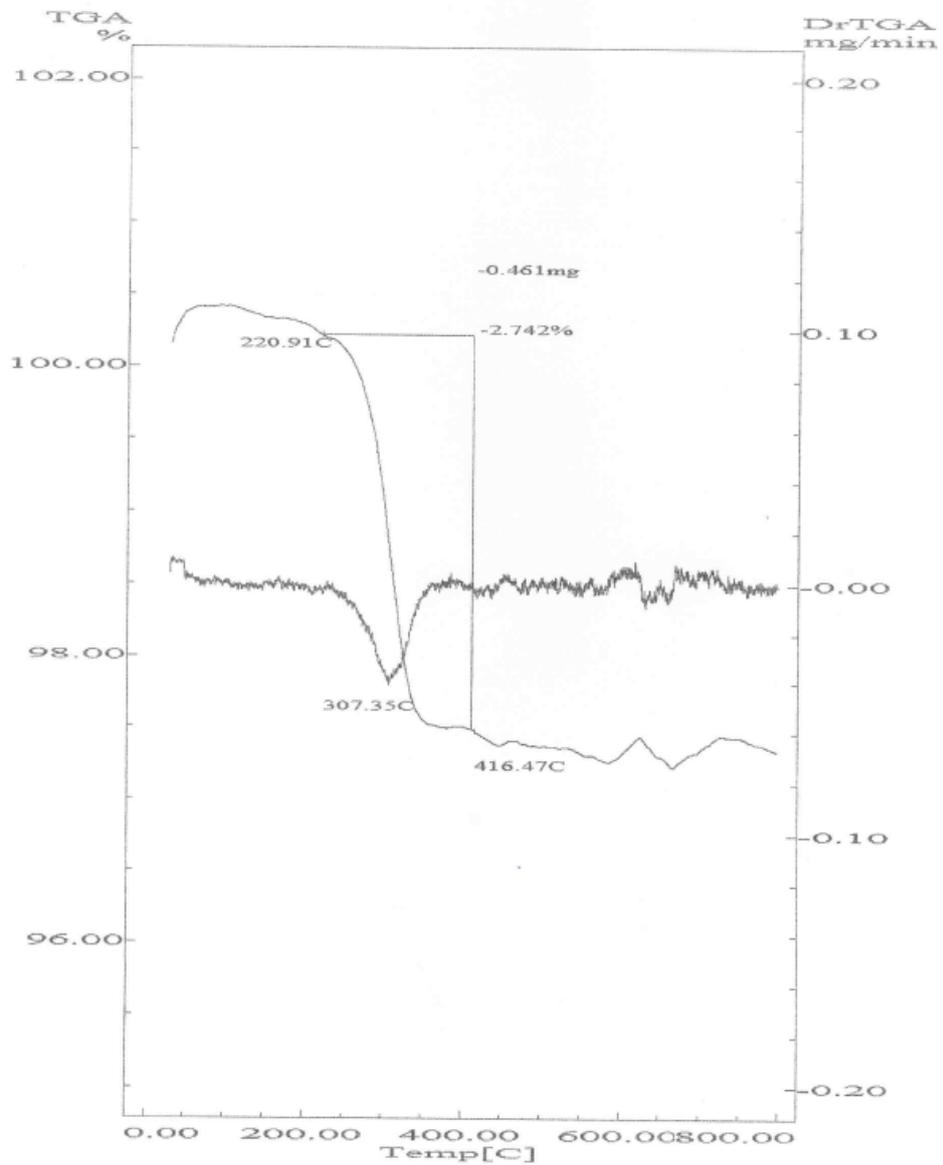


Curva TG - Am A_91 TA-ROM

File Name: TA_ROM3.D20
Detector Type: Shimadzu TGA-50
Acquisition Date: 06/10/29
Acquisition Time: 01:55:26
Sample Name: Am_A91
Weight: 16.81[mg]
Cell: Platinum
Atmosphere: Nitrogen
Rate Flow: 20.00[ml/min]
Operator: Camila

Temp Program		
Rate	Hold Temp	Hold Time
[C/min]	[C]	[min]
5.0	800.0	0.0

LAB. CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE POLÍMEROS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG

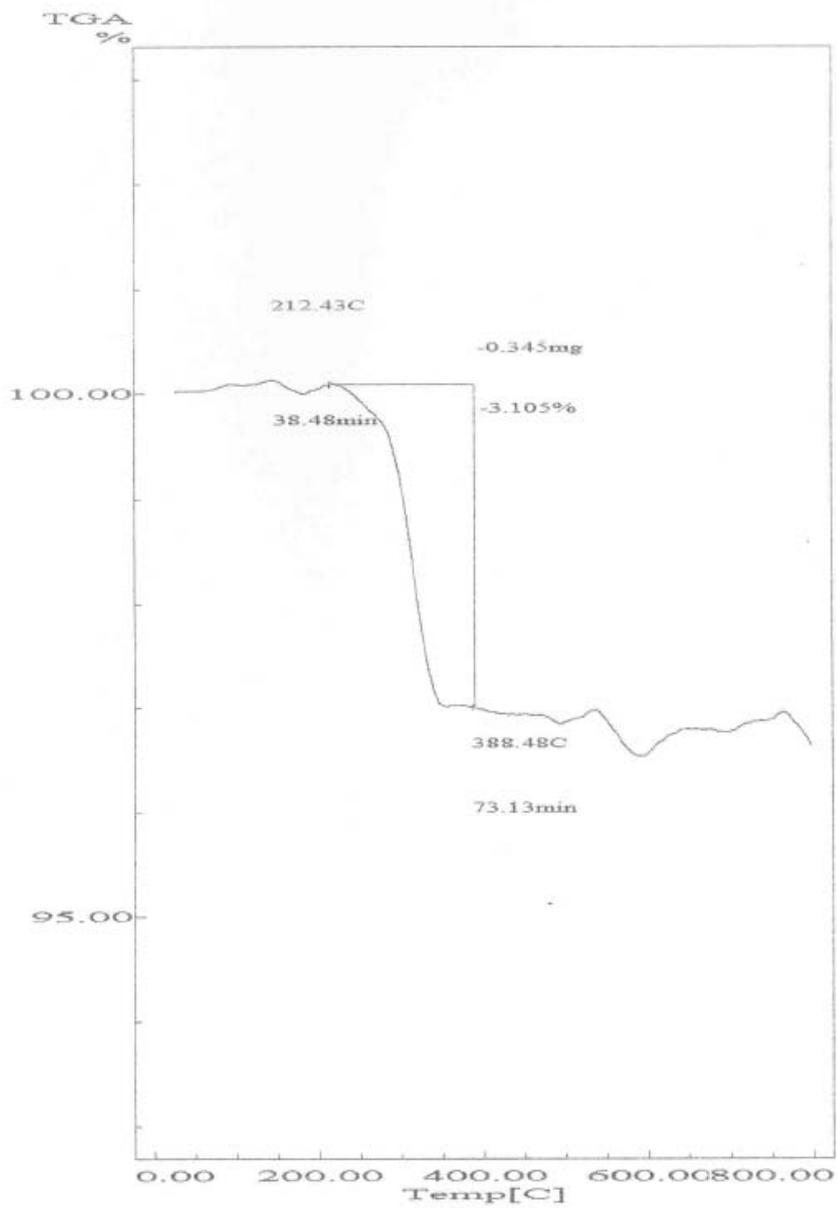


Curva TG - TA_ROM Am A93

File Name: TA_ROM4.D20
Detector Type: Shimadzu TGA-50
Acquisition Date: 06/10/29
Acquisition Time: 10:55:20
Sample Name: AM-A93
Weight: 11.13[mg]
Cell: Platinum
Atmosphere: Nitrogen
Rate Flow: 20.00[ml/min]
Operator: EDUARDO

Temp Program			
Rate	Hold Temp	Hold Time	
[C/min]	[C]	[min]	
5.0	800.0	0.0	

LAB. CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE POLÍMEROS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG



Anexo 14

Curvas termogravimétricas das alíquotas

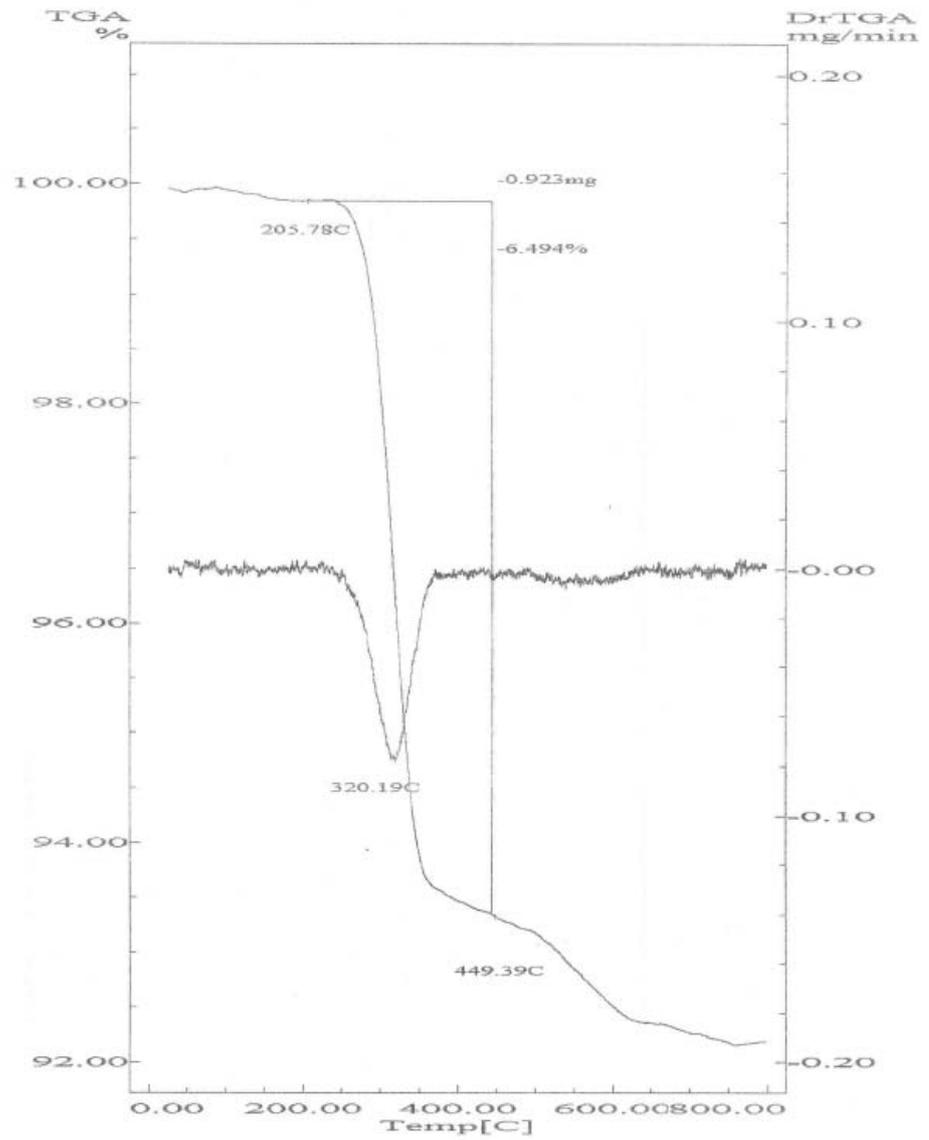
Underflow Deslamado

Curva TG - Am A_31 TA VF

File Name: TAVF-1.D20
Detector Type: Shimadzu TGA-50
Acquisition Date: 06/10/25
Acquisition Time: 07:08:17
Sample Name: AM-A31
Weight: 14.22[mg]
Cell: Platinum
Atmosphere: Nitrogen
Rate Flow: 20.00[ml/min]
Operator: EDUARDO

Temp Program			
Rate	Hold Temp	Hold Time	
[C/min]	[C]	[min]	
5.0	800.0	0.0	

LAB. CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE POLÍMEROS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG

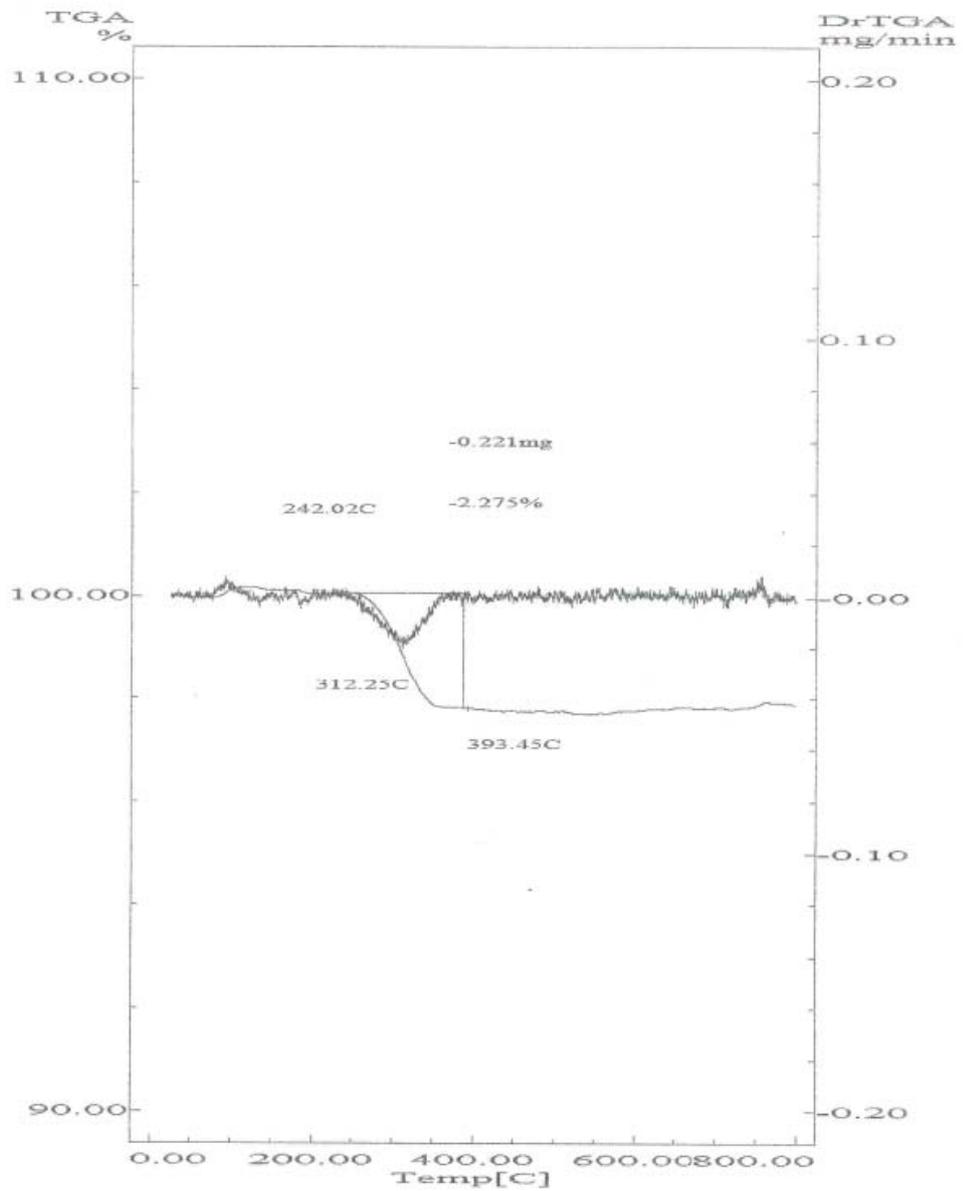


Curva TG - Am A_61 TA VF

File Name: TAVF-2.D20
Detector Type: Shimadzu TGA-50
Acquisition Date: 06/10/25
Acquisition Time: 16:38:18
Sample Name: AM-A61
Weight: 9.720[mg]
Cell: Platinum
Atmosphere: Nitrogen
Rate Flow: 20.00[ml/min]
Operator: EDUARDO

Temp Program
Rate [C/min] 5.0
Hold Temp [C] 800.0
Hold Time [min] 0.0

LAB. CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE POLÍMEROS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG

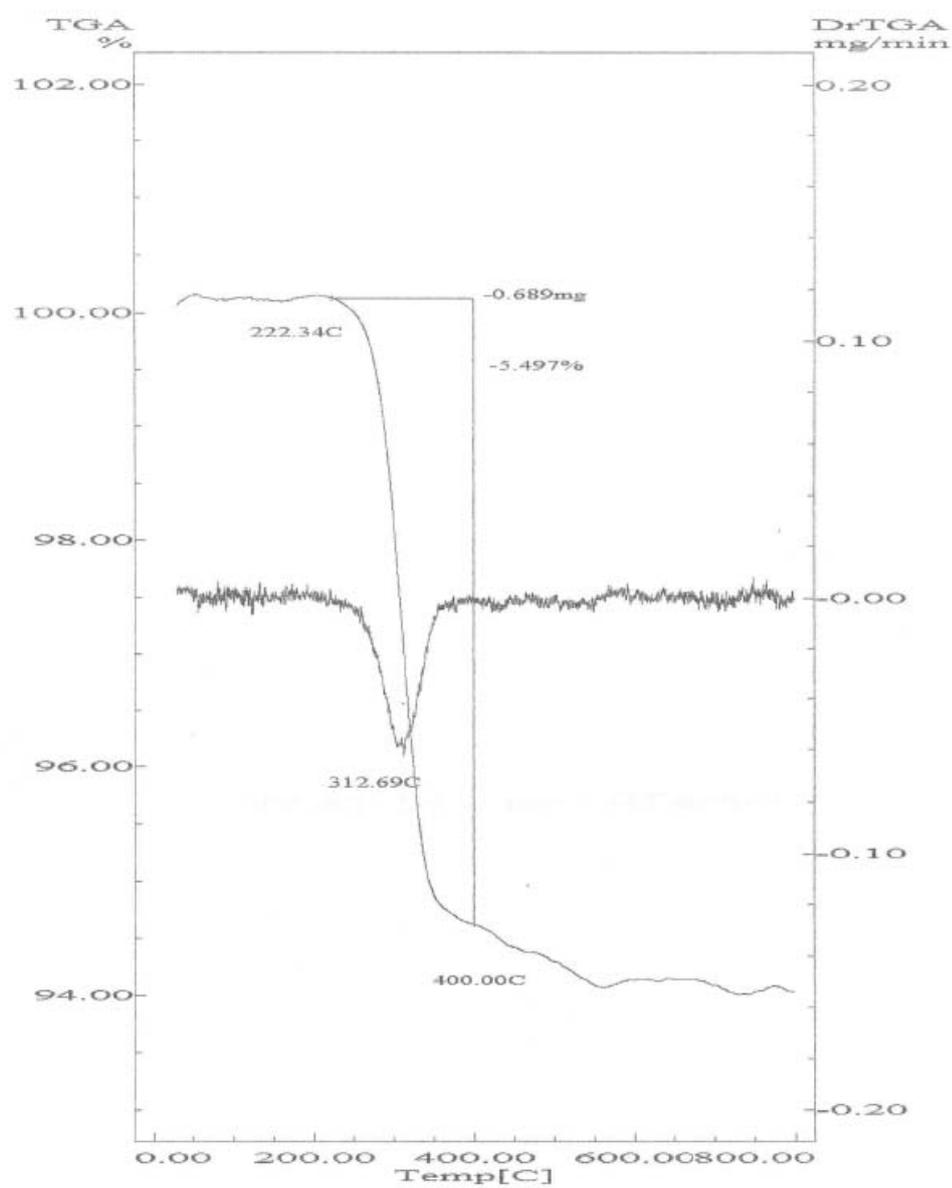


Curva TG - Am A_62 TA VF

File Name: TA_VF3.D20
Detector Type: Shimadzu TGA-50
Acquisition Date: 06/10/25
Acquisition Time: 20:47:30
Sample Name: AM-A62
Weight: 12.54[mg]
Cell: Platinum
Atmosphere: Nitrogen
Rate Flow: 20.00[ml/min]
Operator: CAMILA

Temp Program			
Rate	Hold Temp	Hold Time	
[C/min]	[C]	[min]	
5.0	800.0	0.0	

LAB. CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE POLÍMEROS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG

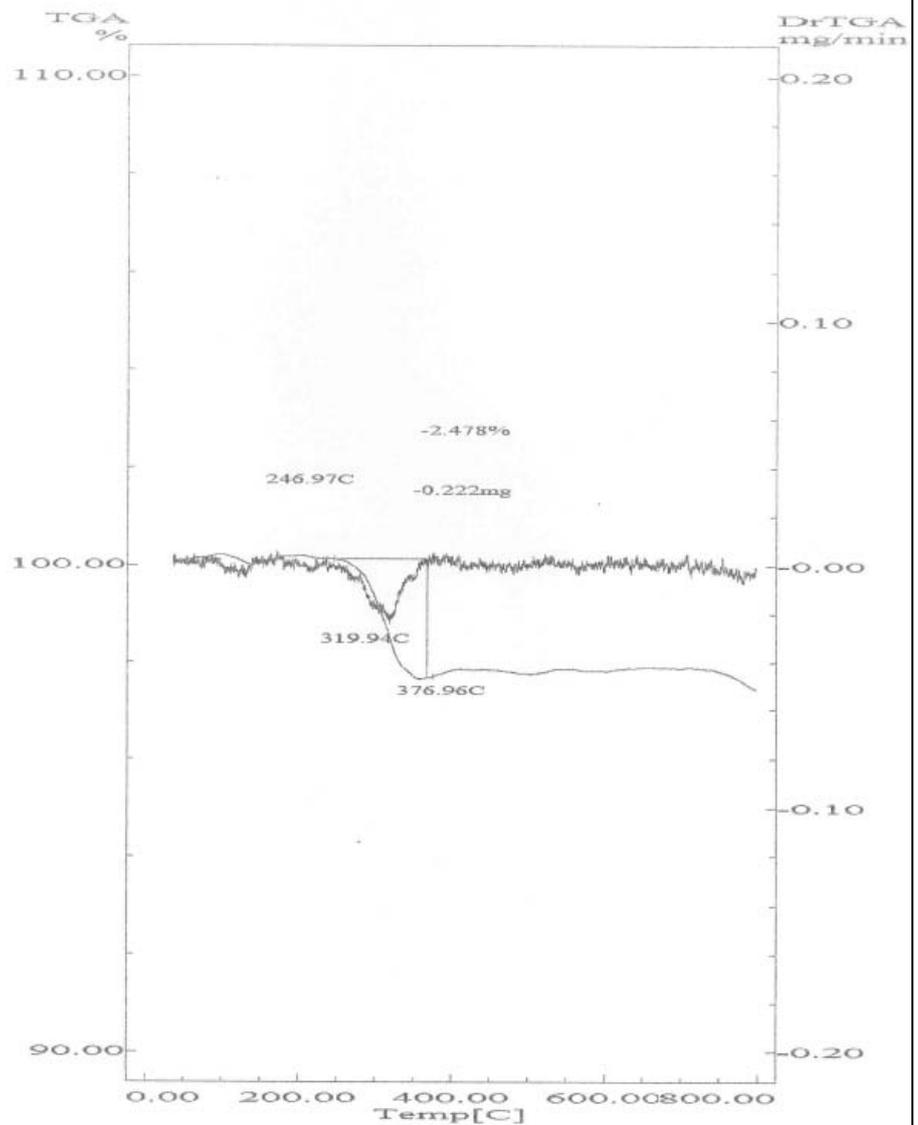


Curva TG - Am A_91 TA VF

File Name: TA_VF4.D20
Detector Type: Shimadzu TGA-50
Acquisition Date: 06/10/26
Acquisition Time: 00:24:18
Sample Name: AM-A91
Weight: 8.971 [mg]
Cell: Platinum
Atmosphere: Nitrogen
Rate Flow: 20.00 [ml/min]
Operator: CAMILA

Temp Program
Rate [C/min] 5.0
Hold Temp [C] 800.0
Hold Time [min] 0.0

LAB. CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE POLÍMEROS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG

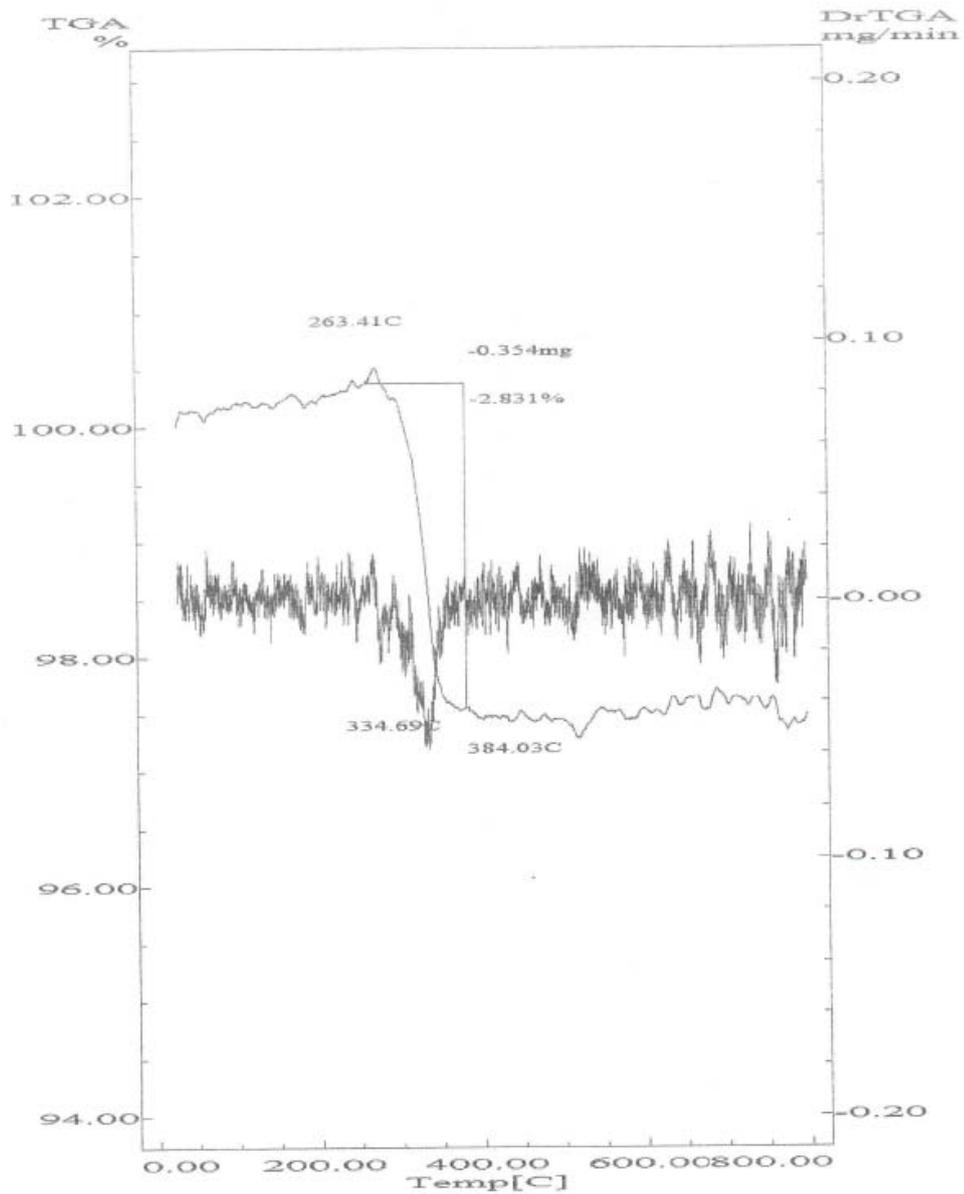


Curva TG - Am A_93 TA VF

File Name: TAVF-5.D20
Detector Type: Shimadzu TGA-50
Acquisition Date: 06/10/26
Acquisition Time: 15:25:41
Sample Name: AM-A93
Weight: 12.51[mg]
Cell: Platinum
Atmosphere: Nitrogen
Rate Flow: 20.00[ml/min]
Operator: EDUARDO

Temp Program
Rate [C/min] 5.0
Hold Temp [C] 800.0
Hold Time [min] 0.0

LAB. CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE POLÍMEROS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG



Anexo 15

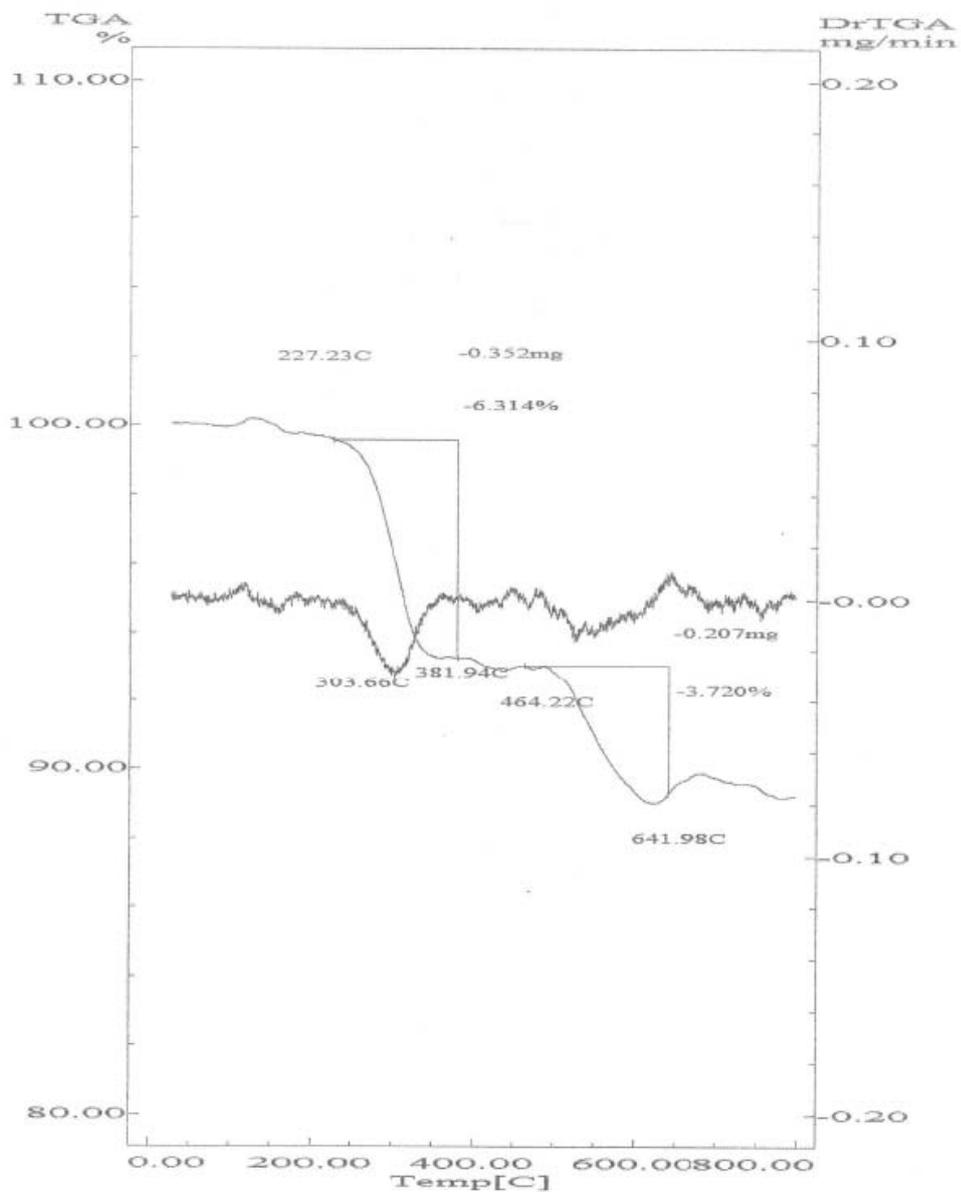
Curvas termogravimétricas das alíquotas Lama

Curva TG - Am A_31 TA-LAMA

File Name: TA_LAMA5.D20
Detector Type: Shimadzu TGA-50
Acquisition Date: 06/10/28
Acquisition Time: 09:05:36
Sample Name: AM-A31
Weight: 5.575[mg]
Cell: Platinum
Atmosphere: Nitrogen
Rate Flow: 20.00[ml/min]
Operator: EDUARDO

Temp Program
Rate [C/min] Hold Temp [C] Hold Time [min]
5.0 800.0 0.0

LAB. CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE POLÍMEROS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG

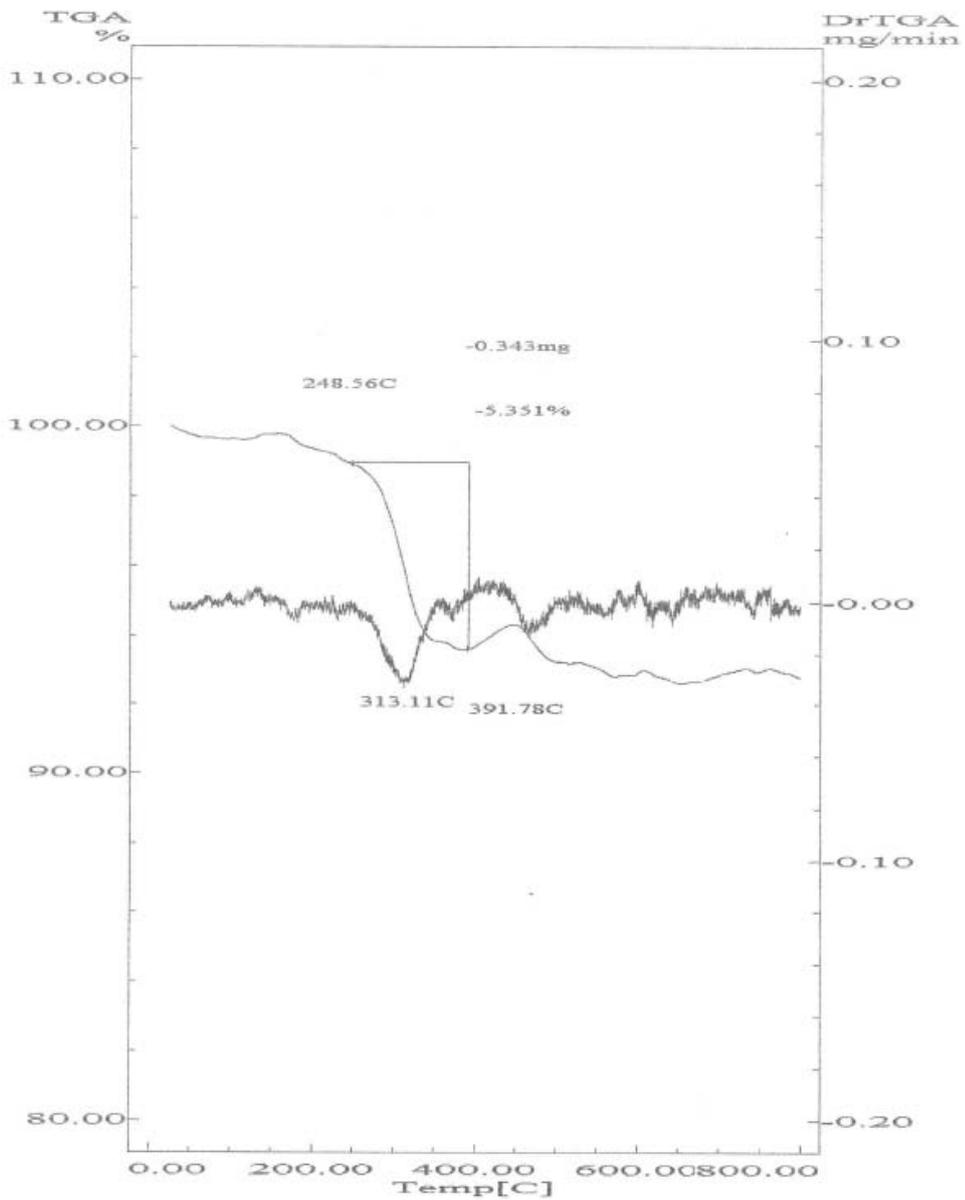


Curva TG - Am A_61 TA-LAMA

File Name: TA_LAMA4.D20
Detector Type: Shimadzu TGA-50
Acquisition Date: 06/10/28
Acquisition Time: 05:25:28
Sample Name: AM-A61
Weight: 6.407[mg]
Cell: Platinum
Atmosphere: Nitrogen
Rate Flow: 20.00[ml/min]
Operator: EDUARDO

Temp Program
Rate Hold Temp Hold Time
[C/min] [C] [min]
5.0 800.0 0.0

LAB. CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE POLÍMEROS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG

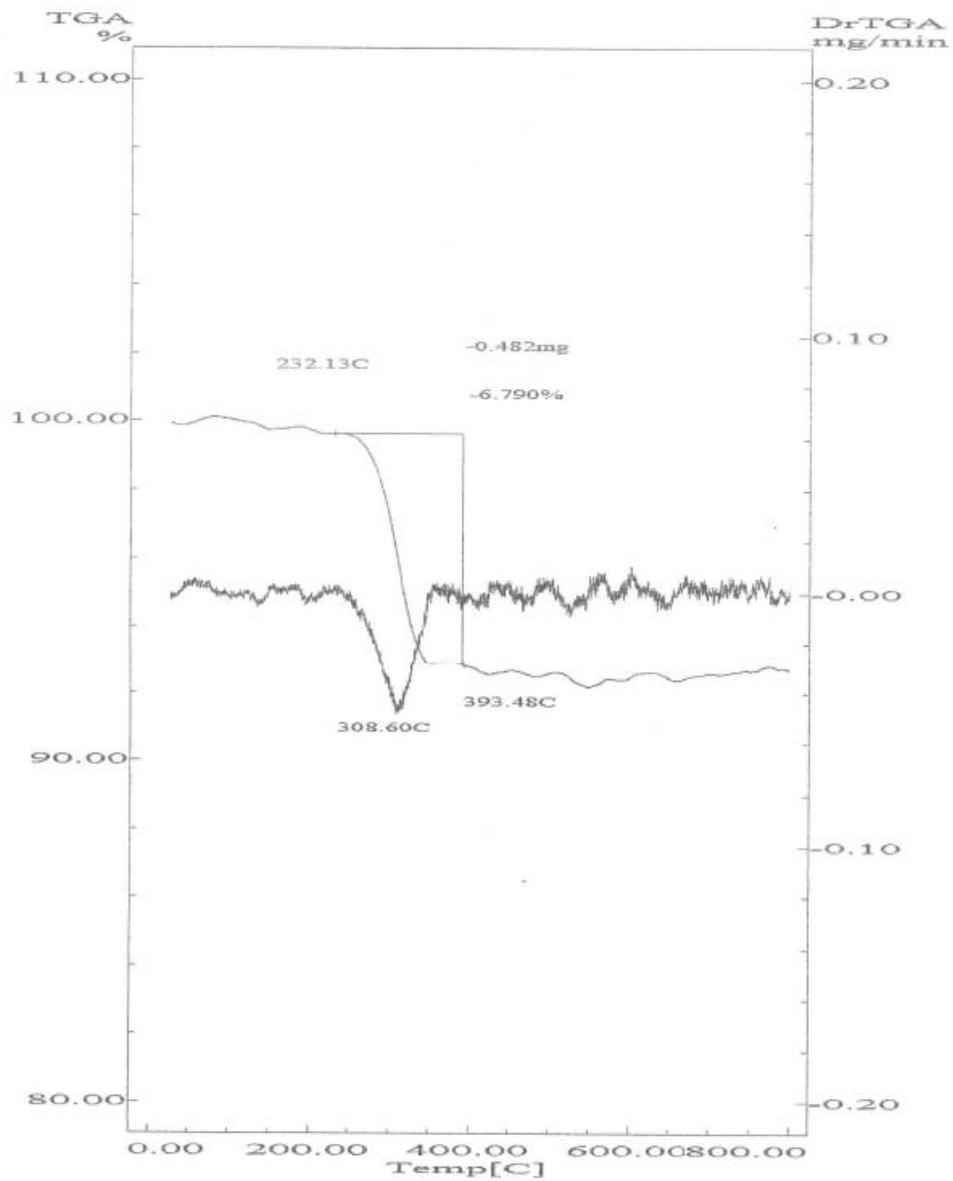


Curva TG - Am A_62 TA-LAMA

File Name: TA_LAMA1.D20
Detector Type: Shimadzu TGA-50
Acquisition Date: 06/10/27
Acquisition Time: 16:14:16
Sample Name: AM-A62
Weight: 7.094[mg]
Cell: Platinum
Atmosphere: Nitrogen
Rate Flow: 20.00[ml/min]
Operator: EDUARDO

Temp Program		
Rate	Hold Temp	Hold Time
[C/min]	[C]	[min]
5.0	800.0	0.0

LAB. CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE POLÍMEROS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG

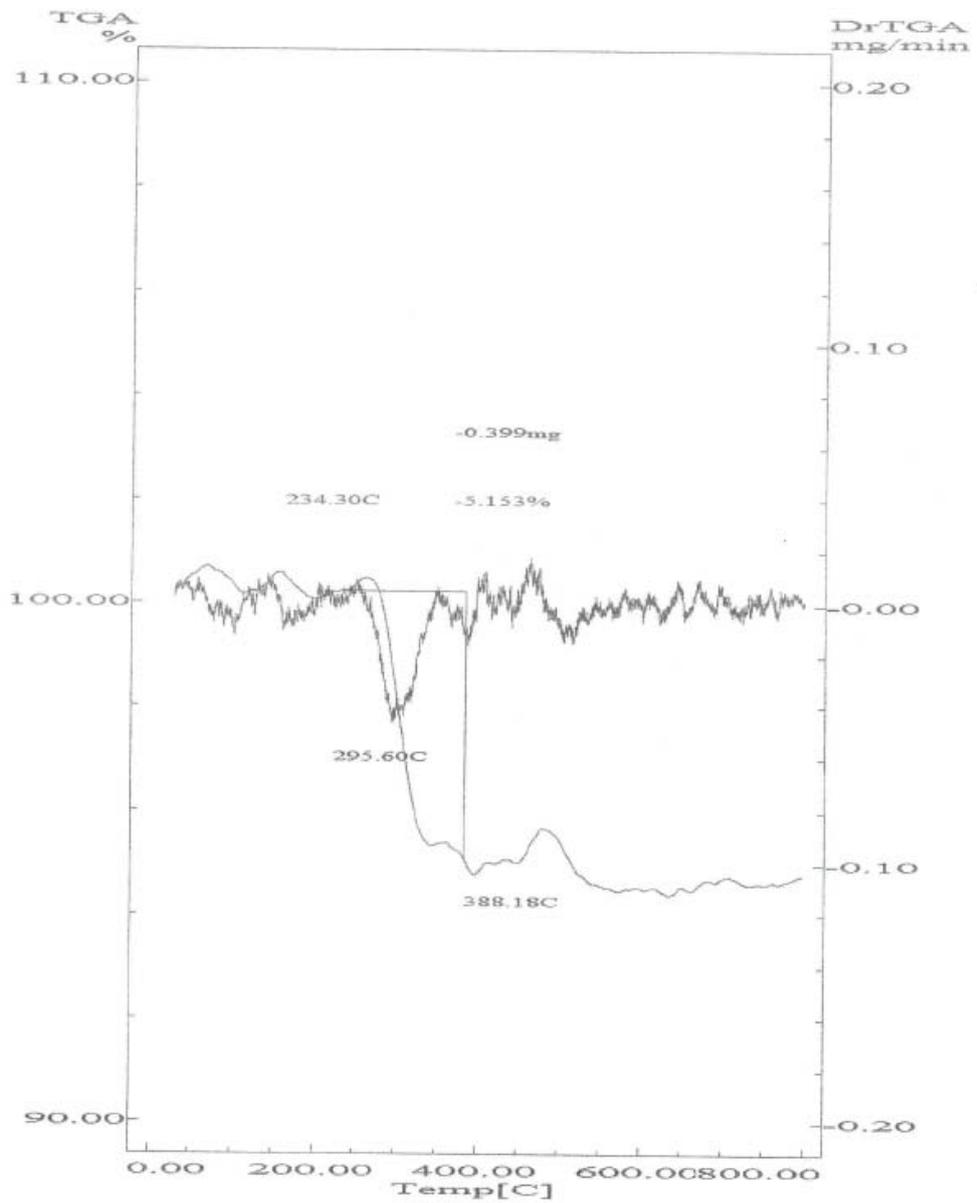


Curva TG - Am A_91 TA-LAMA

File Name: TA_LAMA3.D20
Detector Type: Shimadzu TGA-50
Acquisition Date: 06/10/27
Acquisition Time: 23:37:53
Sample Name: AM-A91
Weight: 7.752[mg]
Cell: Platinum
Atmosphere: Nitrogen
Rate Flow: 20.00[ml/min]
Operator: EDUARDO

Temp Program		
Rate	Hold Temp	Hold Time
[C/min]	[C]	[min]
5.0	800.0	0.0

LAB. CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE POLÍMEROS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG

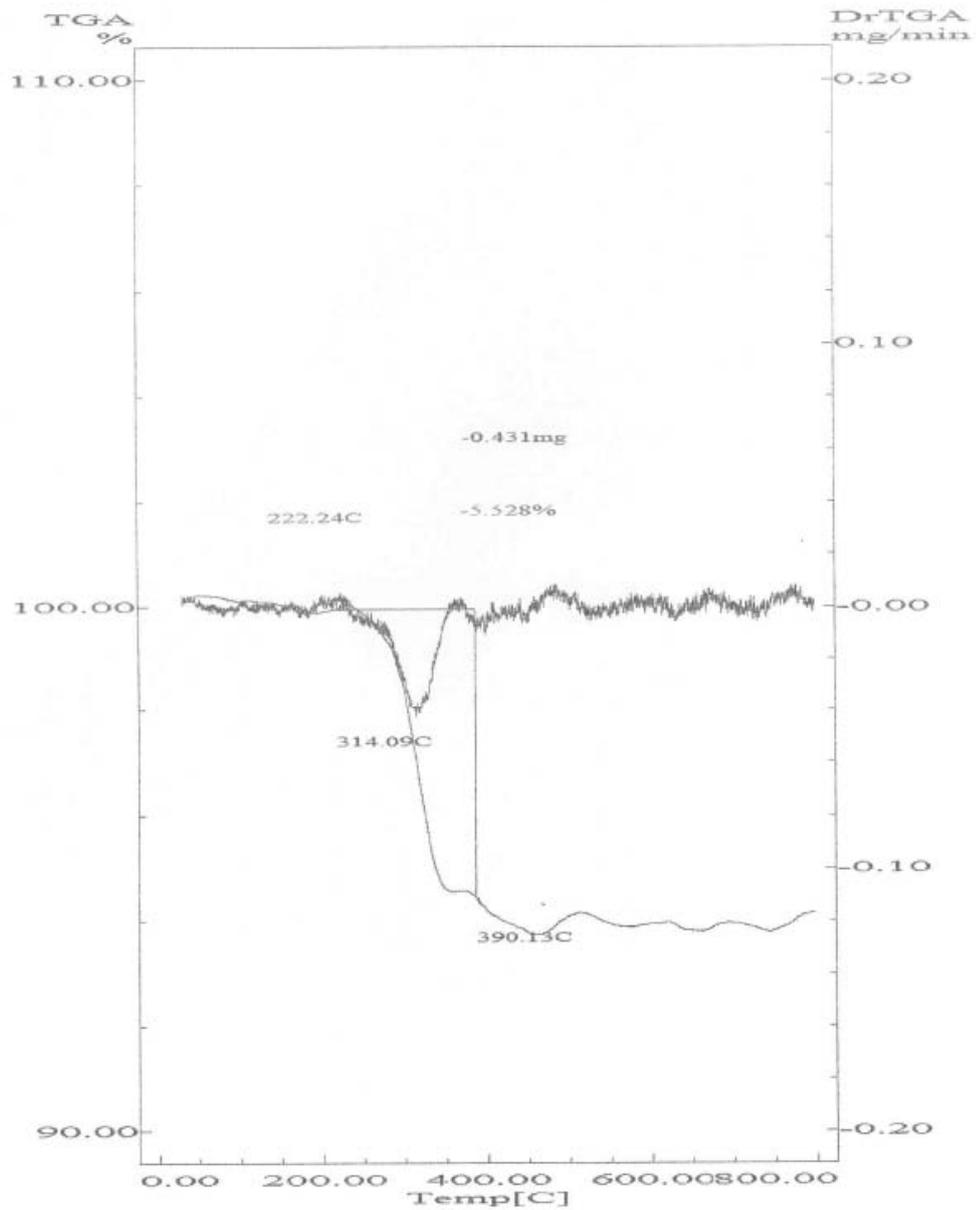


Curva TG - Am A_93 TA-LAMA

File Name: TA_LAMA2.D20
Detector Type: Shimadzu TGA-50
Acquisition Date: 06/10/27
Acquisition Time: 19:50:13
Sample Name: AM-A93
Weight: 7.793[mg]
Cell: Platinum
Atmosphere: Nitrogen
Rate Flow: 20.00[ml/min]
Operator: EDUARDO

Temp Program		
Rate	Hold Temp	Hold Time
[C/min]	[C]	[min]
5.0	800.0	0.0

LAB. CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE POLÍMEROS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG



Anexo 16

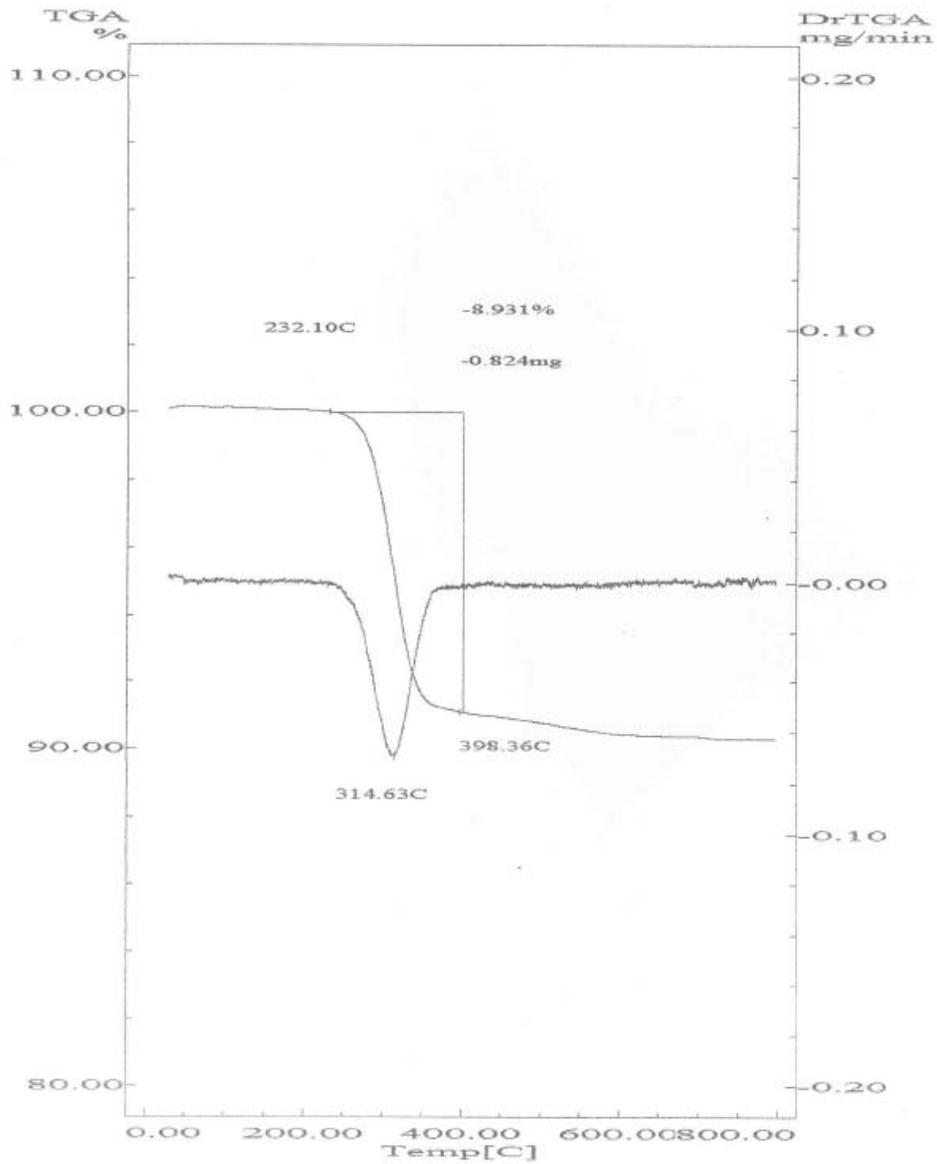
**Curvas termogravimétricas das alíquotas
Concentrado**

Curva TG - Am A_31 TA-CONC

File Name: TA-CONC4.D20
Detector Type: Shimadzu TGA-50
Acquisition Date: 06/10/27
Acquisition Time: 07:17:48
Sample Name: AM-A31
Weight: 9.227[mg]
Cell: Platinum
Atmosphere: Nitrogen
Rate Flow: 20.00[ml/min]
Operator: EDUARDO

Temp Program		
Rate	Hold Temp	Hold Time
[C/min]	[C]	[min]
5.0	800.0	0.0

LAB. CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE POLÍMEROS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG

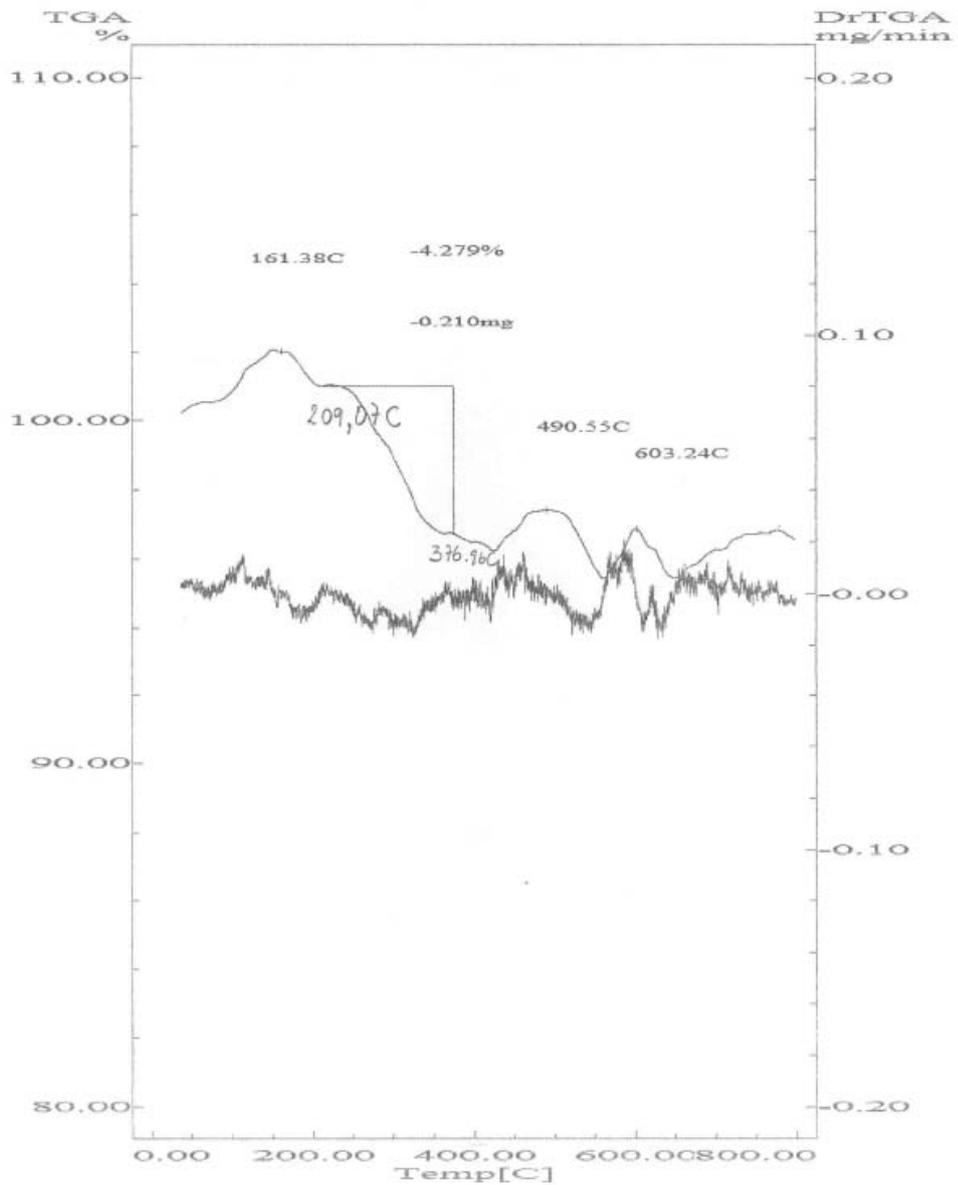


Curva TG - Am A_61 TA-CONC

File Name: TA_CONC.D20
Detector Type: Shimadzu TGA-50
Acquisition Date: 06/10/26
Acquisition Time: 18:59:32
Sample Name: AM-A61
Weight: 4.915[mg]
Cell: Platinum
Atmosphere: Nitrogen
Rate Flow: 20.00[ml/min]
Operator: CAMILA

Temp Program		
Rate	Hold Temp	Hold Time
[C/min]	[C]	[min]
5.0	300.0	0.0

LAB. CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE POLÍMEROS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG

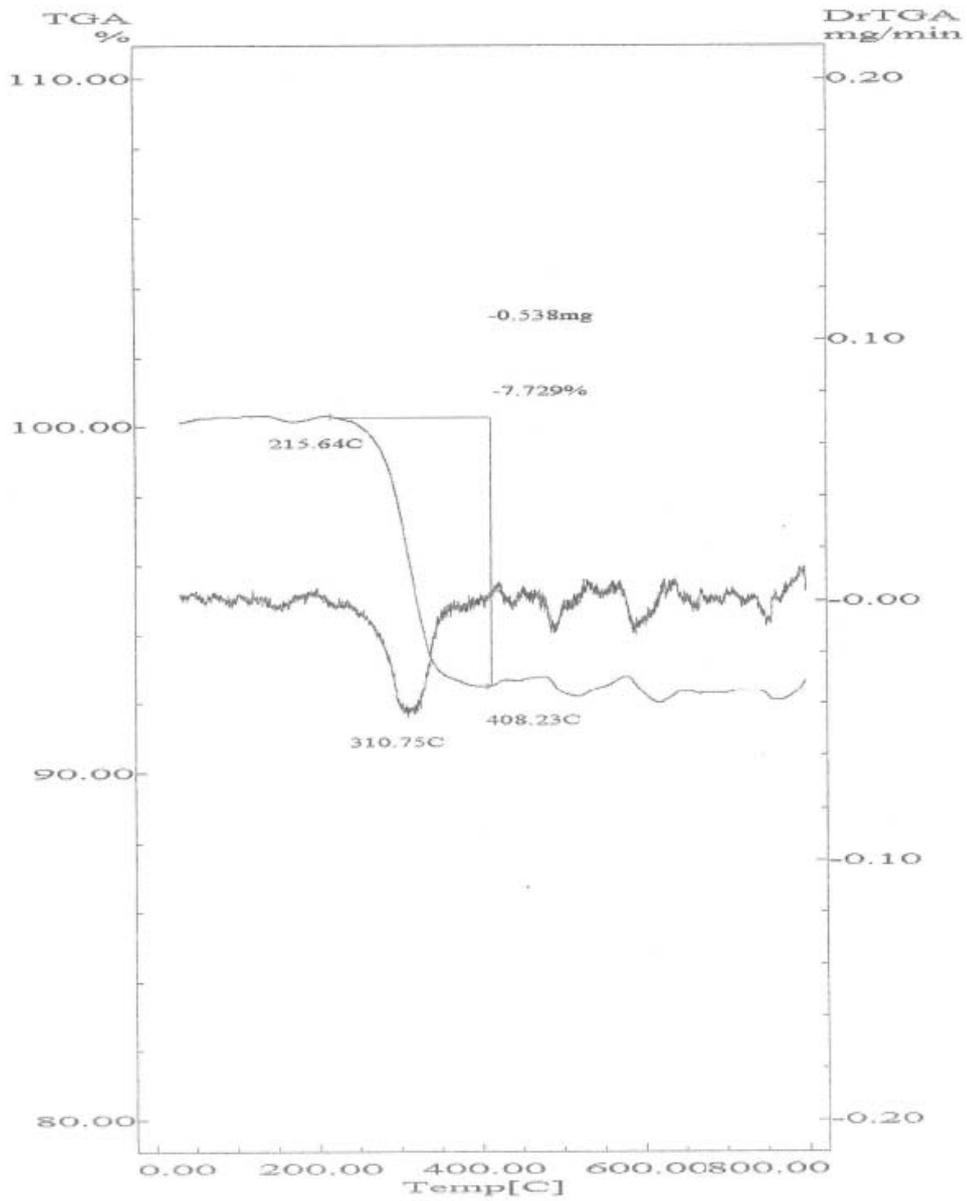


Curva TG - Am A_62 TA-CONC

File Name: TA_CONC2.D20
Detector Type: Shimadzu TGA-50
Acquisition Date: 06/10/26
Acquisition Time: 22:16:43
Sample Name: AM-A62
Weight: 0.964[mg]
Cell: Platinum
Atmosphere: Nitrogen
Rate Flow: 20.00[ml/min]
Operator: CAMILA

Temp Program		
Rate	Hold Temp	Hold Time
[C/min]	[C]	[min]
5.0	300.0	0.0

LAB. CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE POLÍMEROS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG

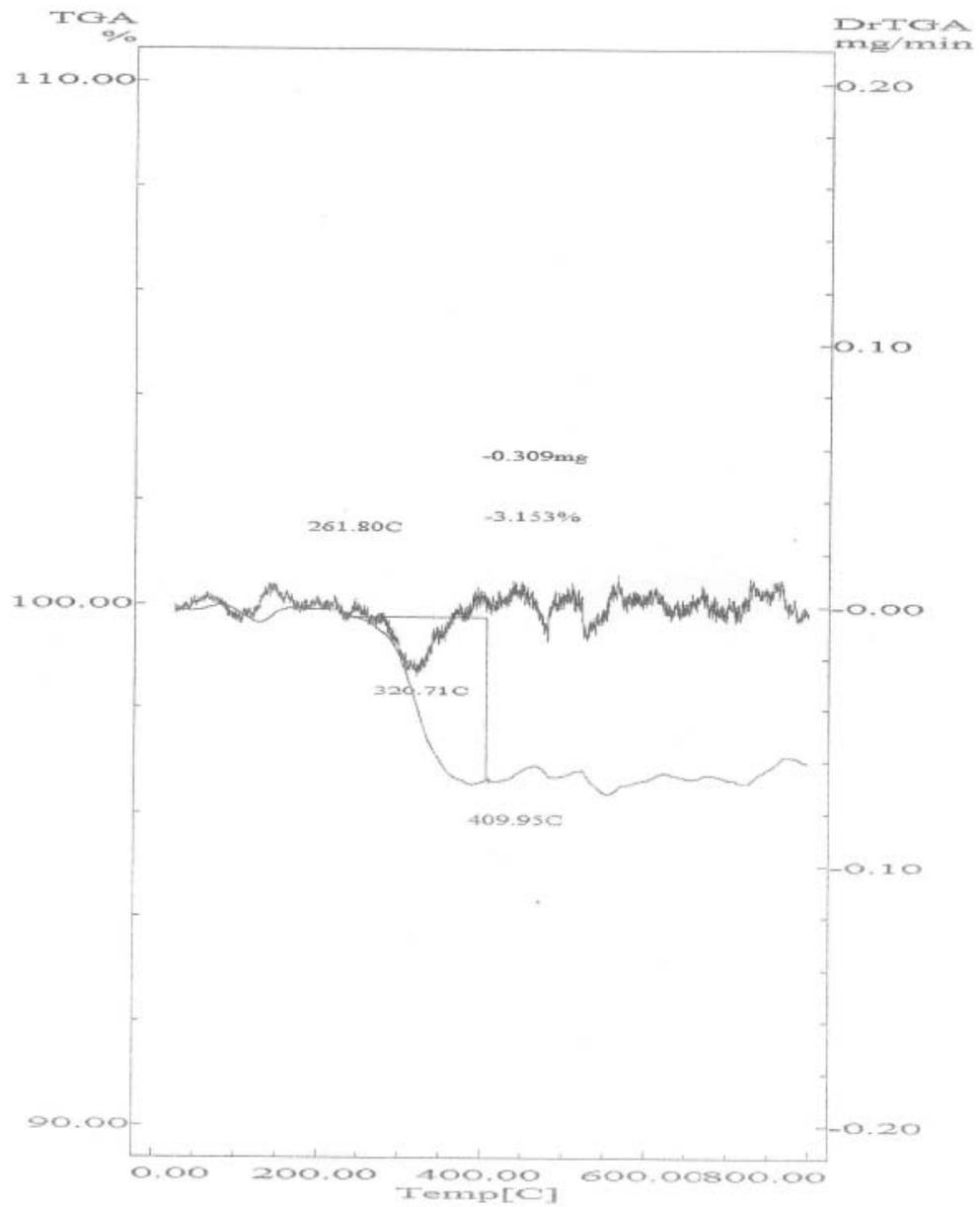


Curva TG - Am A_91 TA-CONC

File Name: TA_CONC3.D20
Detector Type: Shimadzu TGA-50
Acquisition Date: 06/10/27
Sample Name: AM-A91
Weight: 9.814[mg]
Cell: Platinum
Atmosphere: Nitrogen
Rate Flow: 20.00[ml/min]
Operator: EDUARDO

Temp Program		
Rate	Hold Temp	Hold Time
[C/min]	[C]	[min]
5.0	800.0	0.0

LAB. CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE POLÍMEROS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG

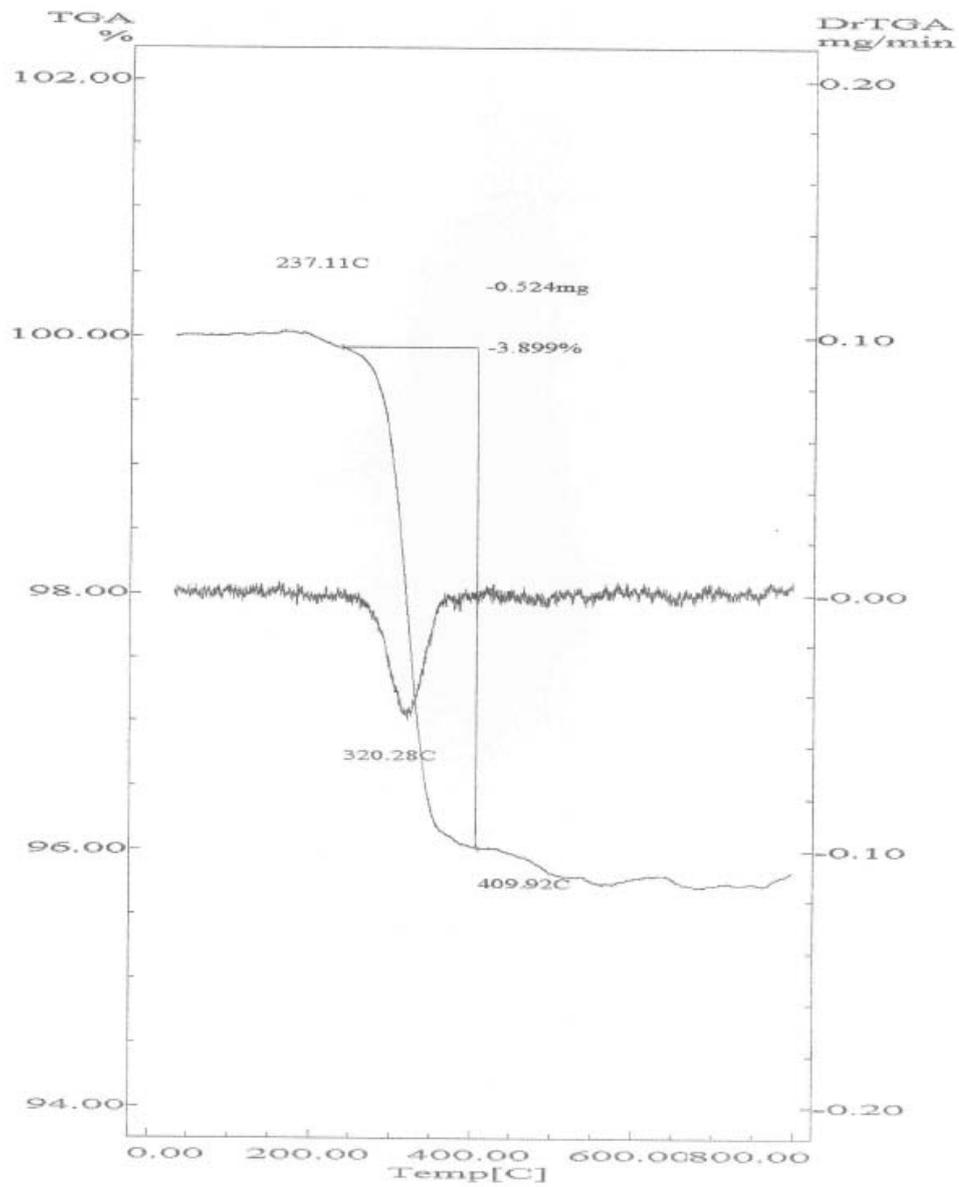


Curva TG - Am A_93 TA-CONC

File Name: TA_CONCS.D20
Detector Type: Shimadzu TGA-50
Acquisition Date: 06/10/27
Acquisition Time: 10:37:46
Sample Name: AM-A93
Weight: 13.45[mg]
Cell: Platinum
Atmosphere: Nitrogen
Rate Flow: 20.00[ml/min]
Operator: EDUARDO

Temp Program		
Rate	Hold Temp	Hold Time
[C/min]	[C]	[min]
5.0	800.0	0.0

LAB. CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE POLÍMEROS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG



Anexo 17

Dados de distribuição de tamanhos de mesoporos (dessorção – modelo BJH) e pontos das isotermas (BET) das alíquotas Concentrado das amostras A31, A61, A62, A91 e A93

Quantachrome Instruments
 Quantachrome NOVA Automated Gas Sorption System Report
 NOVA for Windows® Version 1.11

Sample ID	Concent. am A31				
Description					
Comments					
File Name	Concentrado- am A31			Nova File	
Sample Wt.	12.5860 g	Bath Temp.	77.35 K	Station ID	A
Adsorbate	Nitrogen	Outgas Temp.		Operator	Graciliano
Xsec. Area	16.2 Å ² /molecule	Outgas Time		Analysis Time	231.5 min
NonIdeality	6.580E-05	P/Po Toler.	0.050/0.050	End of Run	
Molecular Wt.	28.0134 g/mol	Equil. Time	60/60 s		

BJH DESORPTION PORE SIZE DISTRIBUTION

Diameter Å	Pore Vol [cc/g]	Pore Surf Area [m ² /g]	Dv(d) [cc/Å/g]	Ds(d) [m ² /Å/g]	Dv(log d) [cc/g]	Ds(log d) [m ² /g]
13.89	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
18.04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
23.14	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
28.93	3.185E-05	4.403E-02	5.096E-06	7.045E-03	3.382E-04	4.675E-01
36.34	1.660E-03	1.836E+00	1.903E-04	2.094E-01	1.585E-02	1.744E+01
45.77	1.897E-03	2.044E+00	2.301E-05	2.011E-02	2.415E-03	2.111E+00
61.17	2.272E-03	2.289E+00	1.829E-05	1.196E-02	2.552E-03	1.669E+00
88.91	2.784E-03	2.519E+00	1.462E-05	6.578E-03	2.954E-03	1.329E+00
160.27	3.831E-03	2.780E+00	9.724E-06	2.427E-03	3.449E-03	8.608E-01
312.35	4.889E-03	2.916E+00	5.383E-06	6.893E-04	3.740E-03	4.790E-01
818.84	5.807E-03	2.961E+00	1.124E-06	5.492E-05	1.930E-03	9.430E-02
1298.31	5.822E-03	2.961E+00	1.116E-07	3.440E-06	3.334E-04	1.027E-02

Quantachrome Instruments
 Quantachrome NOVA Automated Gas Sorption System Report
 NOVA for Windows® Version 1.11

Sample ID	Concent. am A31				
Description					
Comments					
File Name	Concentrado am - A31			Nova File	
Sample Wt.	12.5860 g	Bath Temp.	77.35 K	Station ID	A
Adsorbate	Nitrogen	Outgas Temp.		Operator	Graciliano
Xsec. Area	16.2 Å ² /molecule	Outgas Time		Analysis Time	231.5 min
NonIdeality	6.580E-05	P/Po Toler.	0.050/0.050	End of Run	
Molecular Wt.	28.0134 g/mol	Equil. Time	60/60 s		

Isotherm

P/Po	Volume [cc/g] STP	P/Po	Volume [cc/g] STP	P/Po	Volume [cc/g] STP
6.1748e-02	0.5135	5.0007e-01	0.9437	8.0139e-01	2.0127
6.6504e-02	0.5202	5.9669e-01	1.0520	7.0419e-01	1.7525
7.2988e-02	0.5287	7.0279e-01	1.2102	5.9289e-01	1.5593
8.0562e-02	0.5385	8.0049e-01	1.4715	5.0344e-01	1.4371
8.9015e-02	0.5489	8.9860e-01	1.9788	3.9969e-01	0.8870
9.8075e-02	0.5596	9.4544e-01	2.5296	3.0056e-01	0.7798
1.9855e-01	0.6632	9.8586e-01	3.7060	1.9912e-01	0.6796
2.4565e-01	0.7070	9.8419e-01	3.6962	1.0029e-01	0.5725
3.0452e-01	0.7613	9.5117e-01	3.1443	4.0343e-02	0.4885
4.0149e-01	0.8499	9.0372e-01	2.5626		

Quantachrome Instruments
 Quantachrome NOVA Automated Gas Sorption System Report
 NOVA for Windows® Version 1.11

Sample ID	Concent. am A 61			Nova File	N692403.DAT
Description					
Comments					
File Name	concentrado am - 61	Bath Temp.	77.35 K	Station ID	A
Sample Wt.	13.6604 g	Outgas Temp.		Operator	Graciliano
Adsorbate	Nitrogen	Outgas Time		Analysis Time	229.6 min
Xsec. Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler.	0.050/0.050	End of Run	
NonIdeality	6.580E-05	Equil. Time	60/60 s		
Molecular Wt.	28.0134 g/mol				

Isotherm

P/Po	Volume [cc/g] STP	P/Po	Volume [cc/g] STP	P/Po	Volume [cc/g] STP
5.8889e-02	0.9850	5.0313e-01	1.7552	7.9432e-01	2.9594
6.2894e-02	0.9962	5.9993e-01	1.9282	7.0146e-01	2.5991
6.8469e-02	1.0104	7.0341e-01	2.1595	5.9187e-01	2.3092
7.5192e-02	1.0268	7.9607e-01	2.4529	4.9610e-01	2.1110
8.6974e-02	1.0542	9.0227e-01	3.0705	3.9297e-01	1.6316
9.8218e-02	1.0791	9.4859e-01	3.6096	2.9109e-01	1.4533
2.0002e-01	1.2712	9.8626e-01	4.4132	1.9030e-01	1.2799
2.4922e-01	1.3527	9.5543e-01	4.4957	9.3830e-02	1.0880
2.9921e-01	1.4329	9.5238e-01	4.4926	5.0495e-02	0.9743
4.0298e-01	1.5955	9.0404e-01	3.7900		

Quantachrome Instruments
 Quantachrome NOVA Automated Gas Sorption System Report
 NOVA for Windows® Version 1.11

Sample ID	Concent. am A 62			Nova File	
Description					
Comments					
File Name	Concentrado am - A 62	Bath Temp.	77.35 K	Station ID	A
Sample Wt.	10.8653 g	Outgas Temp.		Operator	Graciliano
Adsorbate	Nitrogen	Outgas Time		Analysis Time	342.2 min
Xsec. Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler.	0.050/0.050	End of Run	
NonIdeality	6.580E-05	Equil. Time	60/60 s		
Molecular Wt.	28.0134 g/mol				

Isotherm

P/Po	Volume [cc/g] STP	P/Po	Volume [cc/g] STP	P/Po	Volume [cc/g] STP
5.0350e-02	1.5349	4.9703e-01	2.8192	7.9432e-01	4.3456
5.6701e-02	1.5696	6.0263e-01	3.1225	7.0504e-01	3.6605
6.5915e-02	1.6108	6.9691e-01	3.4862	6.0303e-01	2.6975
7.5653e-02	1.6521	7.9981e-01	4.1188	5.0112e-01	2.2167
8.5773e-02	1.6923	8.9593e-01	5.3492	4.0092e-01	1.9392
9.6096e-02	1.7310	9.4502e-01	6.8125	2.9625e-01	1.7439
2.0567e-01	2.0795	9.8557e-01	9.3903	1.9282e-01	1.5369
2.4781e-01	2.1958	9.8471e-01	8.4482	9.5908e-02	1.3118
3.0299e-01	2.3443	9.5188e-01	6.9662	4.9086e-02	1.1083
3.9854e-01	2.5812	9.0077e-01	5.9558		

Quantachrome Instruments
Quantachrome NOVA Automated Gas Sorption System Report
NOVA for Windows® Version 1.11

Sample ID	Concent. am A 91			Nova File	N692501.DAT
Description					
Comments					
File Name	Concentrado am - A91			Station ID	A
Sample Wt.	13.6372 g	Bath Temp.	77.35 K	Operator	Graciliano
Adsorbate	Nitrogen	Outgas Temp.		Analysis Time	247.9 min
Xsec. Area	16.2 Å ² /molecule	Outgas Time		End of Run	
NonIdeality	6.580E-05	P/Po Toler.	0.050/0.050		
Molecular Wt.	28.0134 g/mol	Equil. Time	60/60 s		

Isotherm

P/Po	Volume [cc/g] STP	P/Po	Volume [cc/g] STP	P/Po	Volume [cc/g] STP
6.3640e-02	0.7651	5.0315e-01	1.3555	8.0203e-01	2.4378
6.7365e-02	0.7721	5.9811e-01	1.5191	7.0029e-01	2.0848
7.2774e-02	0.7820	7.0417e-01	1.7449	6.0374e-01	1.8553
7.9437e-02	0.7939	7.9694e-01	2.0288	4.9664e-01	1.6608
8.7090e-02	0.8071	8.9831e-01	2.6601	4.0216e-01	1.2679
9.5460e-02	0.8211	9.5047e-01	3.4136	2.8894e-01	1.1134
2.0471e-01	0.9796	9.8544e-01	4.9457	2.0315e-01	0.9981
2.4938e-01	1.0370	9.8373e-01	4.5910	9.1907e-02	0.8272
3.0208e-01	1.1028	9.4664e-01	3.7512	4.6923e-02	0.7342
4.0398e-01	1.2288	9.0142e-01	3.1108		

Quantachrome Instruments
Quantachrome NOVA Automated Gas Sorption System Report
NOVA for Windows® Version 1.11

Sample ID	Concent. am A 93			Nova File	
Description					
Comments					
File Name	concentrado am - A 93			Station ID	A
Sample Wt.	13.1937 g	Bath Temp.	77.35 K	Operator	Graciliano
Adsorbate	Nitrogen	Outgas Temp.		Analysis Time	229.8 min
Xsec. Area	16.2 Å ² /molecule	Outgas Time		End of Run	
NonIdeality	6.580E-05	P/Po Toler.	0.050/0.050		
Molecular Wt.	28.0134 g/mol	Equil. Time	60/60 s		

Isotherm

P/Po	Volume [cc/g] STP	P/Po	Volume [cc/g] STP	P/Po	Volume [cc/g] STP
5.9237e-02	0.6234	5.0106e-01	1.0562	7.9760e-01	1.9415
6.4124e-02	0.6325	5.9854e-01	1.1506	7.0379e-01	1.6999
7.0616e-02	0.6435	7.0217e-01	1.2865	5.9435e-01	1.5073
7.8099e-02	0.6560	7.9567e-01	1.4773	5.0416e-01	1.3846
8.6439e-02	0.6693	9.0009e-01	1.9470	3.9864e-01	0.9943
9.5418e-02	0.6828	9.4654e-01	2.5043	2.9731e-01	0.9063
2.0482e-01	0.8113	9.8629e-01	3.7150	1.9781e-01	0.8149
2.4836e-01	0.8509	9.8420e-01	3.6972	1.0218e-01	0.7014
2.9585e-01	0.8916	9.4949e-01	2.9733	4.7249e-02	0.6043
4.0042e-01	0.9746	8.9962e-01	2.4359		

Anexo 18

Dados de distribuição de tamanhos de mesoporos (dessorção – modelo BJH) e pontos das isothermas (BET) das alíquotas Concentrado Remoído das amostras A31, A61, A62, A91 e A93

Quantachrome Instruments
 Quantachrome NOVA Automated Gas Sorption System Report
 NOVA for Windows® Version 1.11

Sample ID	Con.remoidoam A31				
Description					
Comments					
File Name	Concentrado Remoido - am A31			Nova File	
Sample Wt.	8.7754 g	Bath Temp.	77.35 K	Station ID	A
Adsorbate	Nitrogen	Outgas Temp.		Operator	Graciliano
Xsec. Area	16.2 Å ² /molecule	Outgas Time		Analysis Time	312.3 min
NonIdeality	6.580E-05	P/Po Toler.	0.050/0.050	End of Run	
Molecular Wt.	28.0134 g/mol	Equil. Time	60/60 s		

BJH DESORPTION PORE SIZE DISTRIBUTION

Diameter Å	Pore Vol [cc/g]	Pore Surf Area [m ² /g]	Dv(d) [cc/Å/g]	Ds(d) [m ² /Å/g]	Dv(log d) [cc/g]	Ds(log d) [m ² /g]
14.26	3.755E-05	1.053E-01	1.201E-05	3.368E-02	3.926E-04	1.101E+00
17.90	1.668E-04	3.942E-01	3.111E-05	6.953E-02	1.277E-03	2.853E+00
22.99	3.796E-04	7.646E-01	3.536E-05	6.154E-02	1.861E-03	3.238E+00
28.59	5.618E-04	1.020E+00	3.517E-05	4.921E-02	2.308E-03	3.230E+00
35.57	2.221E-03	2.885E+00	1.887E-04	2.121E-01	1.537E-02	1.729E+01
46.26	2.751E-03	3.343E+00	4.214E-05	3.644E-02	4.460E-03	3.857E+00
61.69	3.411E-03	3.771E+00	3.607E-05	2.339E-02	5.086E-03	3.298E+00
87.98	4.420E-03	4.230E+00	2.944E-05	1.339E-02	5.888E-03	2.677E+00
160.89	6.629E-03	4.779E+00	1.980E-05	4.922E-03	7.030E-03	1.748E+00
321.18	8.990E-03	5.073E+00	1.130E-05	1.407E-03	8.053E-03	1.003E+00
726.79	1.133E-02	5.202E+00	3.891E-06	2.141E-04	6.120E-03	3.368E-01
1221.17	1.133E-02	5.202E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Quantachrome Instruments
 Quantachrome NOVA Automated Gas Sorption System Report
 NOVA for Windows® Version 1.11

Sample ID Con.remoidoam A61
 Description
 Comments
 File Name Concentrado Remoido - am A61 Nova File
 Sample Wt. 12.8604 g Bath Temp. 77.35 K Station ID A
 Adsorbate Nitrogen Outgas Temp. Operator Graciliano
 Xsec. Area 16.2 Å²/molecule Outgas Time Analysis Time 336.9 min
 NonIdeality 6.580E-05 P/Po Toler. 0.050/0.050 End of Run
 Molecular Wt. 28.0134 g/mol Equil. Time 60/60 s

BJH DESORPTION PORE SIZE DISTRIBUTION

Diameter Å	Pore Vol [cc/g]	Pore Surf Area [m ² /g]	Dv(d) [cc/Å/g]	Ds(d) [m ² /Å/g]	Dv(log d) [cc/g]	Ds(log d) [m ² /g]
14.36	1.070E-04	2.981E-01	4.295E-05	1.197E-01	1.416E-03	3.946E+00
17.98	3.416E-04	8.201E-01	4.935E-05	1.098E-01	2.031E-03	4.519E+00
22.90	5.747E-04	1.227E+00	4.576E-05	7.992E-02	2.403E-03	4.197E+00
28.24	7.833E-04	1.523E+00	3.731E-05	5.284E-02	2.419E-03	3.425E+00
35.41	2.499E-03	3.461E+00	1.965E-04	2.219E-01	1.594E-02	1.800E+01
45.90	3.081E-03	3.968E+00	4.749E-05	4.138E-02	4.990E-03	4.348E+00
61.31	3.798E-03	4.436E+00	3.863E-05	2.520E-02	5.411E-03	3.530E+00
86.69	4.771E-03	4.885E+00	3.023E-05	1.395E-02	5.965E-03	2.752E+00
157.25	7.012E-03	5.455E+00	2.057E-05	5.233E-03	7.141E-03	1.816E+00
321.41	9.514E-03	5.766E+00	1.140E-05	1.419E-03	8.100E-03	1.008E+00
835.67	1.185E-02	5.878E+00	2.886E-06	1.382E-04	5.089E-03	2.436E-01
1270.46	1.187E-02	5.878E+00	2.769E-07	8.718E-06	8.099E-04	2.550E-02

Quantachrome Instruments
 Quantachrome NOVA Automated Gas Sorption System Report
 NOVA for Windows® Version 1.11

Sample ID Con.remoidoam A62
 Description
 Comments
 File Name Concentrado Remoido - am A62 Nova File N6A1601.DAT
 Sample Wt. 9.9003 g Bath Temp. 77.35 K Station ID A
 Adsorbate Nitrogen Outgas Temp. Operator Graciliano
 Xsec. Area 16.2 Å²/molecule Outgas Time Analysis Time 405.2 min
 NonIdeality 6.580E-05 P/Po Toler. 0.050/0.050 End of Run
 Molecular Wt. 28.0134 g/mol Equil. Time 60/60 s

BJH DESORPTION PORE SIZE DISTRIBUTION

Diameter Å	Pore Vol [cc/g]	Pore Surf Area [m ² /g]	Dv(d) [cc/Å/g]	Ds(d) [m ² /Å/g]	Dv(log d) [cc/g]	Ds(log d) [m ² /g]
14.03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
17.93	9.749E-05	2.175E-01	1.742E-05	3.886E-02	7.131E-04	1.591E+00
23.27	2.339E-04	4.520E-01	2.683E-05	4.612E-02	1.432E-03	2.461E+00
28.50	3.344E-04	5.930E-01	1.865E-05	2.618E-02	1.221E-03	1.713E+00
35.52	4.045E-03	4.773E+00	4.298E-04	4.841E-01	3.498E-02	3.939E+01
46.16	5.191E-03	5.765E+00	9.047E-05	7.840E-02	9.556E-03	8.281E+00
61.49	6.497E-03	6.615E+00	7.261E-05	4.724E-02	1.021E-02	6.640E+00
89.14	8.566E-03	7.543E+00	5.546E-05	2.489E-02	1.122E-02	5.033E+00
159.59	1.271E-02	8.581E+00	3.996E-05	1.002E-02	1.415E-02	3.547E+00
325.30	1.824E-02	9.261E+00	2.427E-05	2.984E-03	1.741E-02	2.141E+00
831.19	2.267E-02	9.474E+00	5.658E-06	2.723E-04	9.972E-03	4.799E-01
1287.33	2.268E-02	9.475E+00	1.076E-07	3.344E-06	3.187E-04	9.904E-03

Quantachrome Instruments
Quantachrome NOVA Automated Gas Sorption System Report
NOVA for Windows® Version 1.11

Sample ID Con.remoidoam A91
Description
Comments
File Name Concentrado Remoido - am A91 Nova File
Sample Wt. 10.8987 g Bath Temp. 77.35 K Station ID A
Adsorbate Nitrogen Outgas Temp. Operator Graciliano
Xsec. Area 16.2 Å²/molecule Outgas Time Analysis Time 340.2 min
NonIdeality 6.580E-05 P/Po Toler. 0.050/0.050 End of Run
Molecular Wt. 28.0134 g/mol Equil. Time 60/60 s
BJH DESORPTION PORE SIZE DISTRIBUTION

Diameter Å	Pore Vol [cc/g]	Pore Surf Area [m ² /g]	Dv(d) [cc/Å/g]	Ds(d) [m ² /Å/g]	Dv(log d) [cc/g]	Ds(log d) [m ² /g]
13.64	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
17.87	9.059E-05	2.028E-01	1.603E-05	3.587E-02	6.540E-04	1.464E+00
22.96	2.177E-04	4.243E-01	2.817E-05	4.909E-02	1.484E-03	2.586E+00
28.65	4.273E-04	7.168E-01	3.045E-05	4.252E-02	2.000E-03	2.791E+00
36.14	1.564E-03	1.975E+00	1.404E-04	1.554E-01	1.164E-02	1.288E+01
46.24	2.007E-03	2.358E+00	3.661E-05	3.167E-02	3.876E-03	3.353E+00
60.48	2.501E-03	2.685E+00	3.014E-05	1.993E-02	4.171E-03	2.758E+00
87.68	3.478E-03	3.131E+00	2.572E-05	1.173E-02	5.110E-03	2.331E+00
161.34	5.552E-03	3.645E+00	1.897E-05	4.703E-03	6.768E-03	1.678E+00
327.49	8.221E-03	3.971E+00	1.197E-05	1.462E-03	8.668E-03	1.059E+00
819.97	1.085E-02	4.099E+00	3.445E-06	1.681E-04	6.006E-03	2.930E-01
1263.19	1.086E-02	4.099E+00	1.153E-07	3.650E-06	3.350E-04	1.061E-02

Quantachrome Instruments
Quantachrome NOVA Automated Gas Sorption System Report
NOVA for Windows® Version 1.11

Sample ID Con.remoidoam A93
Description
Comments
File Name Concentrado Remoido - am A93 Nova File
Sample Wt. 13.5439 g Bath Temp. 77.35 K Station ID A
Adsorbate Nitrogen Outgas Temp. Operator Graciliano
Xsec. Area 16.2 Å²/molecule Outgas Time Analysis Time 286.2 min
NonIdeality 6.580E-05 P/Po Toler. 0.050/0.050 End of Run
Molecular Wt. 28.0134 g/mol Equil. Time 60/60 s
BJH DESORPTION PORE SIZE DISTRIBUTION

Diameter Å	Pore Vol [cc/g]	Pore Surf Area [m ² /g]	Dv(d) [cc/Å/g]	Ds(d) [m ² /Å/g]	Dv(log d) [cc/g]	Ds(log d) [m ² /g]
14.29	7.622E-05	2.134E-01	2.483E-05	6.951E-02	8.139E-04	2.278E+00
17.94	1.801E-04	4.450E-01	2.457E-05	5.480E-02	1.010E-03	2.253E+00
23.04	3.024E-04	6.572E-01	2.042E-05	3.545E-02	1.078E-03	1.870E+00
29.04	4.024E-04	7.950E-01	1.666E-05	2.295E-02	1.110E-03	1.529E+00
36.03	1.433E-03	1.939E+00	1.291E-04	1.433E-01	1.067E-02	1.184E+01
46.22	1.811E-03	2.266E+00	3.049E-05	2.639E-02	3.226E-03	2.792E+00
61.25	2.259E-03	2.559E+00	2.537E-05	1.657E-02	3.553E-03	2.321E+00
86.23	2.905E-03	2.859E+00	2.000E-05	9.277E-03	3.924E-03	1.820E+00
153.14	4.350E-03	3.236E+00	1.423E-05	3.717E-03	4.828E-03	1.261E+00
319.67	6.038E-03	3.447E+00	7.294E-06	9.127E-04	5.125E-03	6.413E-01
857.67	7.935E-03	3.536E+00	2.246E-06	1.048E-04	4.051E-03	1.889E-01
1299.53	8.010E-03	3.538E+00	1.910E-06	5.878E-05	5.714E-03	1.759E-01

Quantachrome Instruments
 Quantachrome NOVA Automated Gas Sorption System Report
 NOVA for Windows® Version 1.11

Sample ID	Con.remoidoam A31				
Description					
Comments					
File Name	Concentrado Remoido - am A31			Nova File	
Sample Wt.	8.7754 g	Bath Temp.	77.35 K	Station ID	A
Adsorbate	Nitrogen	Outgas Temp.		Operator	Graciliano
Xsec. Area	16.2 Å ² /molecule	Outgas Time		Analysis Time	312.3 min
NonIdeality	6.580E-05	P/Po Toler.	0.050/0.050	End of Run	
Molecular Wt.	28.0134 g/mol	Equil. Time	60/60 s		

Isotherm

P/Po	Volume [cc/g] STP	P/Po	Volume [cc/g] STP	P/Po	Volume [cc/g] STP
5.2611e-02	0.9357	5.0104e-01	1.8541	7.9891e-01	3.4267
5.8844e-02	0.9571	6.0342e-01	2.0851	7.0190e-01	2.9058
6.6787e-02	0.9779	6.9725e-01	2.3595	6.0433e-01	2.5596
7.5019e-02	1.0013	8.0304e-01	2.8657	4.9667e-01	2.2735
8.8518e-02	1.0339	8.9729e-01	3.7153	3.8699e-01	1.6583
9.6976e-02	1.0531	9.4922e-01	4.8443	3.0383e-01	1.4864
2.0632e-01	1.2741	9.8632e-01	7.2963	1.8896e-01	1.2581
2.4635e-01	1.3499	9.8105e-01	7.3028	1.0448e-01	1.0782
3.0105e-01	1.4532	9.5297e-01	5.9096	4.8262e-02	0.9338
4.0335e-01	1.6480	9.0490e-01	4.5995		

Quantachrome Instruments
 Quantachrome NOVA Automated Gas Sorption System Report
 NOVA for Windows® Version 1.11

Sample ID Con.remoidoam A61
 Description
 Comments
 File Name Concentrado Remoido - am A61 Nova File
 Sample Wt. 12.8604 g Bath Temp. 77.35 K Station ID A
 Adsorbate Nitrogen Outgas Temp. Operator Graciliano
 Xsec. Area 16.2 Å²/molecule Outgas Time Analysis Time 336.9 min
 NonIdeality 6.580E-05 P/Po Toler. 0.050/0.050 End of Run
 Molecular Wt. 28.0134 g/mol Equil. Time 60/60 s
 Isotherm

P/Po	Volume [cc/g] STP	P/Po	Volume [cc/g] STP	P/Po	Volume [cc/g] STP
5.1853e-02	1.1586	4.9614e-01	2.1570	7.9430e-01	3.7720
5.6361e-02	1.1788	5.9814e-01	2.4183	7.0081e-01	3.2712
6.6329e-02	1.2115	6.9925e-01	2.7184	6.0083e-01	2.9017
7.6664e-02	1.2429	8.0047e-01	3.2070	4.9458e-01	2.5980
8.7123e-02	1.2729	8.9870e-01	4.1544	3.8502e-01	1.9629
9.7606e-02	1.3016	9.4728e-01	5.2411	2.9416e-01	1.7679
1.9523e-01	1.5317	9.8510e-01	7.7586	1.9661e-01	1.5554
2.5212e-01	1.6532	9.8436e-01	7.7483	1.0014e-01	1.3214
2.9750e-01	1.7485	9.5359e-01	6.3433	5.4895e-02	1.1836
3.9762e-01	1.9512	9.0256e-01	4.9562		

Quantachrome Instruments
 Quantachrome NOVA Automated Gas Sorption System Report
 NOVA for Windows® Version 1.11

Sample ID Con.remoidoam A62
 Description
 Comments
 File Name Concentrado Remoido - am A62 Nova File N6A1601.DAT
 Sample Wt. 9.9003 g Bath Temp. 77.35 K Station ID A
 Adsorbate Nitrogen Outgas Temp. Operator Graciliano
 Xsec. Area 16.2 Å²/molecule Outgas Time Analysis Time 405.2 min
 NonIdeality 6.580E-05 P/Po Toler. 0.050/0.050 End of Run
 Molecular Wt. 28.0134 g/mol Equil. Time 60/60 s
 Isotherm

P/Po	Volume [cc/g] STP	P/Po	Volume [cc/g] STP	P/Po	Volume [cc/g] STP
5.6164e-02	1.6611	5.0228e-01	3.2183	8.0400e-01	6.5998
5.9636e-02	1.6845	6.0027e-01	3.5951	7.0040e-01	5.5159
6.5149e-02	1.7109	7.0414e-01	4.0902	6.0401e-01	4.8326
7.5334e-02	1.7568	8.0305e-01	4.9139	4.9521e-01	4.2298
8.5667e-02	1.8010	9.0257e-01	6.5636	3.8732e-01	2.8824
9.6147e-02	1.8432	9.4504e-01	8.9796	3.0059e-01	2.5866
2.0445e-01	2.2292	9.8567e-01	14.5367	2.0414e-01	2.2554
2.4590e-01	2.3680	9.8414e-01	14.5282	9.1031e-02	1.8351
3.0297e-01	2.5536	9.5448e-01	11.8614	5.1873e-02	1.6564
3.9789e-01	2.8725	9.0241e-01	8.7941		

Quantachrome Instruments
 Quantachrome NOVA Automated Gas Sorption System Report
 NOVA for Windows® Version 1.11

Sample ID Con.remoidoam A91
 Description
 Comments
 File Name Concentrado Remoido - am A91 Nova File
 Sample Wt. 10.8987 g Bath Temp. 77.35 K Station ID A
 Adsorbate Nitrogen Outgas Temp. Operator Graciliano
 Xsec. Area 16.2 Å²/molecule Outgas Time Analysis Time 340.2 min
 NonIdeality 6.580E-05 P/Po Toler. 0.050/0.050 End of Run
 Molecular Wt. 28.0134 g/mol Equil. Time 60/60 s
 Isotherm

P/Po	Volume [cc/g] STP	P/Po	Volume [cc/g] STP	P/Po	Volume [cc/g] STP
5.2738e-02	0.7741	5.0251e-01	1.5235	8.0193e-01	2.8551
5.8995e-02	0.7908	6.0109e-01	1.7211	6.9274e-01	2.3339
6.6907e-02	0.8072	7.0276e-01	1.9967	6.0263e-01	2.0621
7.5640e-02	0.8239	8.0164e-01	2.4156	4.9894e-01	1.8154
8.9074e-02	0.8484	8.9880e-01	3.2892	4.0015e-01	1.3773
9.7447e-02	0.8631	9.4636e-01	4.3364	2.8993e-01	1.1848
2.0654e-01	1.0388	9.8538e-01	7.0340	2.0356e-01	1.0435
2.4600e-01	1.1013	9.8384e-01	7.0252	8.9433e-02	0.8527
3.0059e-01	1.1874	9.5445e-01	5.4486	4.1225e-02	0.7536
4.0329e-01	1.3528	9.0458e-01	3.9640		

Quantachrome NOVA Automated Gas Sorption System Report
 NOVA for Windows® Version 1.11

Sample ID Con.remoidoam A93
 Description
 Comments
 File Name Concentrado Remoido - am A93 Nova File
 Sample Wt. 13.5439 g Bath Temp. 77.35 K Station ID A
 Adsorbate Nitrogen Outgas Temp. Operator Graciliano
 Xsec. Area 16.2 Å²/molecule Outgas Time Analysis Time 286.2 min
 NonIdeality 6.580E-05 P/Po Toler. 0.050/0.050 End of Run
 Molecular Wt. 28.0134 g/mol Equil. Time 60/60 s
 Isotherm

P/Po	Volume [cc/g] STP	P/Po	Volume [cc/g] STP	P/Po	Volume [cc/g] STP
4.9565e-02	0.6192	5.0339e-01	1.2184	7.9345e-01	2.2694
5.5044e-02	0.6383	6.0106e-01	1.3620	6.9873e-01	1.9351
6.7729e-02	0.6630	6.9840e-01	1.5400	6.0343e-01	1.7022
7.5775e-02	0.6773	8.0585e-01	1.8659	4.9724e-01	1.5026
8.8764e-02	0.6989	8.9500e-01	2.3787	3.9940e-01	1.1214
9.6904e-02	0.7117	9.4615e-01	3.2418	3.0456e-01	1.0012
2.0657e-01	0.8598	9.8531e-01	5.1614	1.9046e-01	0.8569
2.4667e-01	0.9078	9.8485e-01	5.1154	1.0451e-01	0.7341
3.0112e-01	0.9750	9.5407e-01	3.9716	4.9191e-02	0.6314
3.9530e-01	1.0881	8.9867e-01	3.0307		

Anexo 19

**Difratogramas de raios-X das amostras de
itabirito anfibolítico fresco**

