

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DO MINÉRIO DE OURO DA RIO PARACATU MINERAÇÃO (RPM), VISANDO A DETERMINAÇÃO DE MINERAIS PORTADORES DE TITÂNIO

R. H. Rojas¹, M. L. Torem¹, L. C. Bertolino², M. B. M. Monte², O. F. M. Gomes².

¹Departamento de Engenharia de Materiais – DEMa, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC/Rio, R. Marquês de São Vicente, 225, Cep 22453-900, CP 38008, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

ronald.rojas.82@gmail.com; torem@puc-rio.br.

²Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e Tecnologia – CETEM/MCT. Av. Pedro Calmon, 900, Cep 21941-908, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. icbertolino@cetem.gov.br; mmonte@cetem.gov.br; ogomes@cetem.gov.br.

RESUMO

Neste trabalho são apresentados os resultados da caracterização mineralógica de uma amostra de minério de ouro da RPM – Kinross, que teve como objetivo principal, identificar os minerais portadores de titânio. A metodologia empregada compreendeu a realização de análises granulométricas, separações em meio denso e magnética. Os estudos mineralógicos foram realizados por meio da difratometria de raios X (DRX), microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura (MEV) com a utilização do sistema “*Mineral Liberation Analyzer*” – MLA. Os produtos obtidos foram submetidos à análise química por espectrometria de fluorescência de raios X (FRX). A análise química mostrou que a amostra estava constituída essencialmente por SiO₂ (66,4%), Al₂O₃ (14,2%), Fe₂O₃ (7,22%) e TiO₂ (1%). Visando avaliar o espectro de liberação dos minerais portadores de titânio, o estudo foi focado em seis faixas granulométricas (-300+212; -212+150; -150+104; -104+74; -74+53; e -53+37µm). Cerca de 20% do material de todas as frações foi constituída por material afundado (meio denso), sendo composto principalmente de SiO₂ (35%), Fe₂O₃ (30%), Al₂O₃ (>7%) e TiO₂ (<5%). A fração flutuada é composta em sua maioria de SiO₂ e Al₂O₃. As análises de DRX da fração afundada indicaram a presença de ilmenita, anatásio e rutilo. As frações afundadas foram submetidas à separação magnética no separador Frantz em diferentes intensidades de corrente (0,3 até 1,75A), através desta operação se concentrou até 8% em massa de TiO₂ na fração -104+74µm e a 0,5A. As frações afundadas foram submetidas a estudos sistemáticos no MEV com o sistema MLA, confirmando a presença de ilmenita, anatásio e rutilo como os minerais portadores de titânio. A liberação completa dos minerais carreadores de titânio foi aproximadamente de 1% em massa, já a ganga liberou-se mais de 90% em massa. A partir dos resultados obtidos se observou que é possível concentrar o TiO₂ contido no minério.

PALAVRAS-CHAVE: Caracterização mineralógica; liberação; titânio.

1. INTRODUÇÃO

A Rio Paracatu Mineração (RPM) situa-se no Noroeste do Estado de Minas Gerais, a cerca de 500 km de Belo Horizonte. Os solos da região Nordeste desenvolveram-se sobre um embasamento geológico da Formação Vazante e Formação Paracatu (DARDENNE, 1979). Essas unidades geológicas estão inseridas no limite leste da Faixa Móvel Brasília (FMB), na margem oeste do cráton São Francisco. A FMB representa uma unidade tectônica instável e sofreu sucessivas reativações como consequência da orogênese do ciclo Brasileiro, com um histórico de metamorfismo e deformações, favorecendo a ocorrência de hidrotermais, as quais foram responsáveis pela formação de diversos depósitos minerais na Formação Vazante (DARDENNE, 1979).

A RPM explora o depósito do Morro de Ouro. Esta mina é uma das exploradas com os menores teores do mundo ($<0,4$ g/t). O depósito está hospedado nos filitos carbonosos da Formação Paracatu pertencente ao Grupo Canastra, Zona extrema da Faixa Brasília. As rochas mineralizadas e não mineralizadas do depósito são visualmente semelhantes, mas possuem variações mineralógicas, deformacionais e geoquímicas que estão relacionadas com o controle da mineralização.

A mineralização aurífera no depósito Morro de Ouro ocorre associada a *boudins* de quartzo, carbonato e sulfeto distribuídos ao longo de uma estrutura e camada preferencial. O corpo mineralizado apresenta formato de um *megaboudin* (MOLLER *et al.*, 2000) com variações na quantidade (em volume) de *boudins* entre o centro e a borda do depósito.

O Brasil é um grande importador de titânio. Enquanto o valor total das importações brasileiras (FOB) de 2008 foi de US\$ 379,96 milhões, o valor das exportações totalizou apenas US\$ 40,07 milhões. As importações em 2008 foram, em sua maior parte, compostos químicos (70%), seguidos por manufaturados (26,5%), bens primários (2,6%) e semimanufaturados (1%). No último período analisado, 2007 e 2008, o valor das exportações caiu aproximadamente 7,56% enquanto que o valor das importações elevou-se em 28,4% (DNPM, 2009). Há uma demanda crescente por titânio no mercado brasileiro, portanto, é de vital importância o aumento na produção do mesmo, realizando investimentos em pesquisa e desenvolvimento nesse setor para sustentar o crescimento no Brasil.

Estudos preliminares realizados pela RPM indicaram a existência de titânio em quantidades consideráveis que poderia permitir seu processamento (aproximadamente 1% em massa). Dentro desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo a caracterização do minério de ouro da RPM, com o interesse de determinar a presença de minerais portadores de titânio.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As principais etapas envolvidas no trabalho de caracterização mineralógica do minério da RPM foram realizadas de acordo com o fluxograma da Figura 1. Foram coletados 200 kg de minério aurífero na alimentação do moinho semi-autógeno (SAG) da RPM. As diferentes etapas foram realizadas nas instalações da usina-piloto do Centro de Tecnologia Mineral - CETEM.

Foi realizada a análise granulométrica a úmido, foram empregadas peneiras da série da ABNT entre $425\mu\text{m}$ e $37\mu\text{m}$. As seguintes faixas granulométricas: $-300+212$; $-212+150$; $-150+104$; $-104+74$; $-74+53$ e $-53+37\mu\text{m}$ foram consideradas para os ensaios de separação em meio denso e magnética. Na separação em meio denso utilizando bromoformio (2,89) como líquido de separação, foram obtidas duas frações: material flutuado e afundado. O material afundado obtido foi submetido à separação magnética em diferentes intensidades de corrente: 0,30; 0,50; 0,75; 1,0; 1,25; 1,50; 1,75A. Alíquotas das separações em meio denso e magnética de cada faixa granulométrica foram retiradas para análises química e mineralógica. Uma determinação mineralógica preliminar foi efetuada por difratometria de raios X, utilizando o equipamento Bruker-AXS D5005 equipado com espelho de Goebel para feixe paralelo de raios X, nas seguintes condições de operação: radiação $\text{Co K}\alpha$ (35 kV/40mA); velocidade do goniômetro de $0,02^\circ 2\theta$ por passo com tempo de contagem de 1,0 segundo por passo e coletados de 5 a $80^\circ 2\theta$.

A microscopia ótica e lupa binocular auxiliaram na identificação dos minerais presentes. A aquisição de imagens para ajudar à discriminação de minerais foi utilizado um microscópio óptico Zeiss AxioPlan 2ie com platina motorizada, acoplada a uma câmera digital AxioCam HR - 3900 x 3090 pixels. Estudos

visando a determinação da composição química, textura, tamanho de grão, associação mineralógica e espectro de liberação foram realizados no microscópio eletrônico de varredura (MEV) FEI Quanta 400 mediante o sistema MLA, o software utilizado para este fim foi o MLA *Suite* 2008.

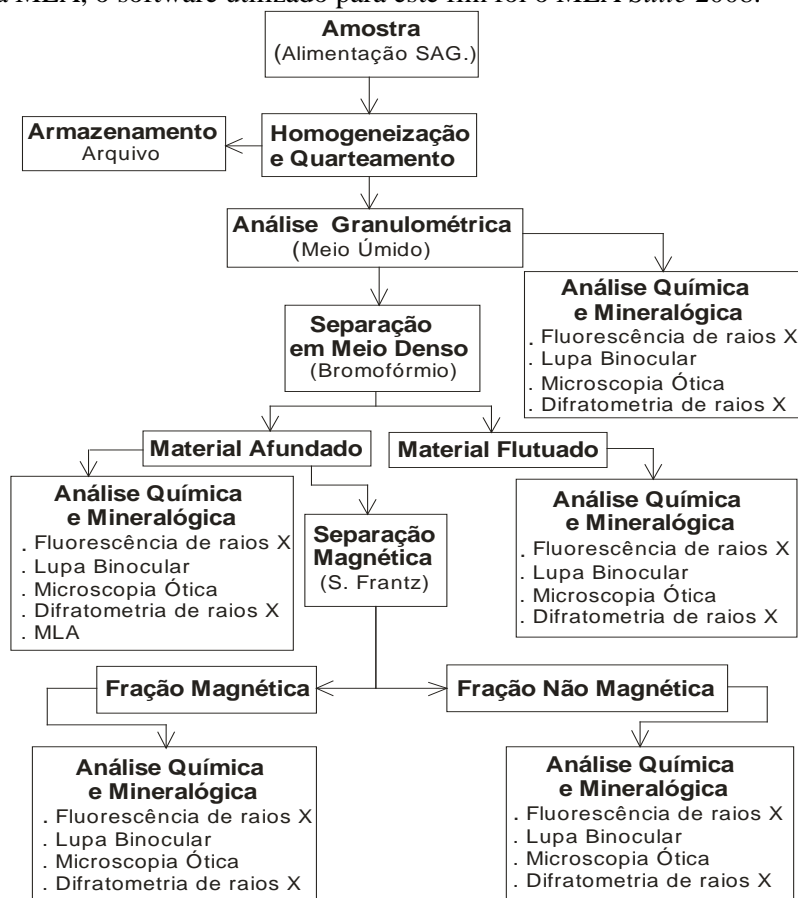


Figura 1 – Fluxograma utilizado na caracterização mineralógica do minério da RPM.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A caracterização de todos os minerais portadores de titânio foi dificultada pelo baixo teor de TiO_2 (1% em massa) na amostra, obrigando a realização de uma etapa de concentração do minério por meio denso, com a finalidade de facilitar a identificação dos minerais portadores de titânio. Esta operação, permitiu a separação dos minerais de ganga (principalmente SiO_2), reduzindo a massa inicial para aproximadamente 20% (material afundado). Após a separação em meio denso, a análise química ainda mostrou a presença SiO_2 , e outros minerais como Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 . Diante à presença de Fe_2O_3 e TiO_2 no material afundado, sugeriu-se uma possível presença de ilmenita (FeTiO_3). Sendo assim, foi realizada uma segunda operação (separação magnética), com a finalidade de confirmar a presença de ilmenita. A análise química mostrou que após ser submetida a diferentes intensidades de corrente o teor de TiO_2 elevou-se atingindo valores de até 7% em média. As análises de DRX obtidas nesta operação confirmaram a presença de ilmenita e anatásio no material afundado. Uma última análise química mineralógica realizada no MEV, mediante o sistema MLA, demonstrou também a presença de rutilo como um terceiro mineral portador de titânio.

3.1. Análise granulométrica

A Figura 2 apresenta o resultado de três ensaios da análise granulométrica do mesmo material, com $d_{50} = 37\mu\text{m}$ (50 % da amostra passando em $37\mu\text{m}$). O alto conteúdo de material fino influenciou negativamente nas operações de concentração.

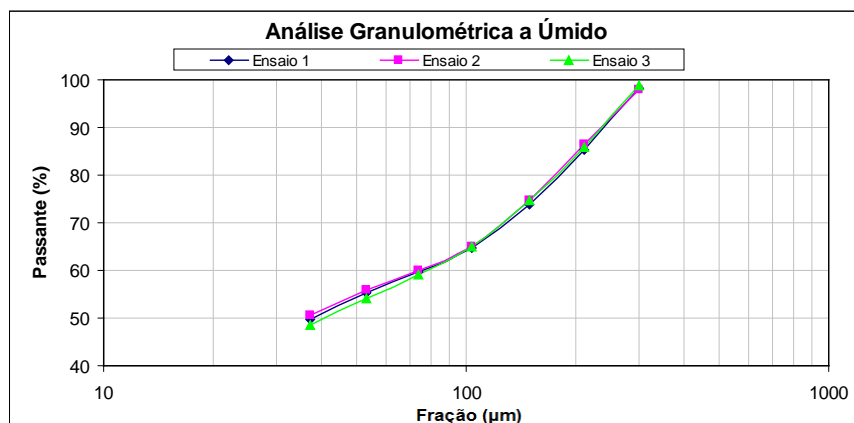


Figura 2 – Representação gráfica dos resultados da distribuição granulométrica.

3.2. Análise química

3.2.1. Meio denso

O minério da RPM é composto predominantemente por mica branca, muscovita, illita e quartzo. Estes representam mais de 85% da composição do minério (VIEIRA e OLIVEIRA, 1988; COSTA, 1997). Esta característica do minério favoreceu a concentração por meio denso, obtendo dois materiais distintos, o afundado com aproximadamente 20% e o flutuado com 80% do material em massa. Mesmo após a separação em meio denso, a análise química do material afundado ainda apresentou uma elevada concentração de SiO_2 (aproximadamente 40%), também se conseguiu determinar a presença de Fe_2O_3 (30%), Al_2O_3 (8%), TiO_2 (5%) e outros (Figura 3).

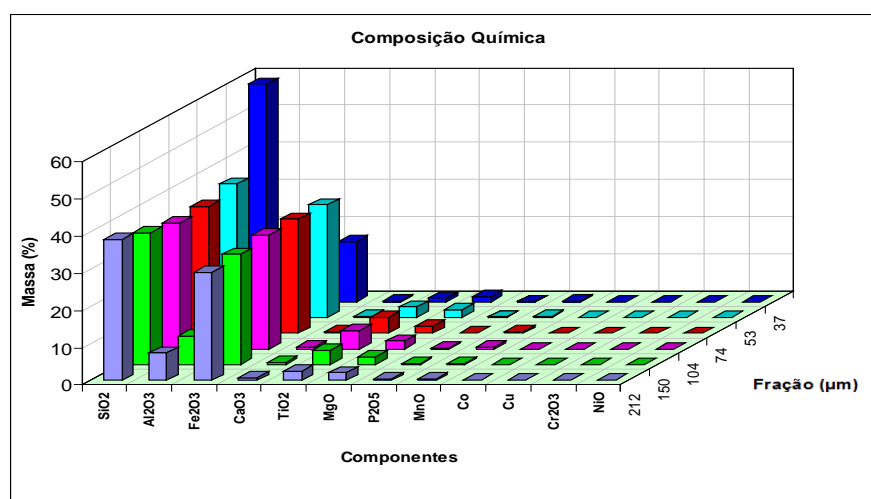


Figura 3 – Composição química do material afundado após a separação em meio denso.

3.2.2. Separação Magnética

Na etapa de separação magnética foi utilizado o material afundado obtido no meio denso. A Figura 4 apresenta os resultados da separação magnética nas diferentes frações e em diferentes intensidades de corrente. Nesta operação, confirmou-se a presença de ilmenita na amostra, isto se deve ao fato dos minerais portadores de titânio possuírem diferentes susceptibilidades magnéticas. Os melhores resultados foram obtidos em uma faixa de intensidade de corrente de 0,3 a 0,75A, em frações entre -150+104 e -104+74 μ m. O melhor resultado foi obtido com uma intensidade de corrente de 0,5A representando somente 7% em massa de TiO₂. Apesar da evidente separação quando aplicado as diferentes intensidades de corrente, foi obtido um baixo teor deste, possivelmente devido à associação com outros minerais.

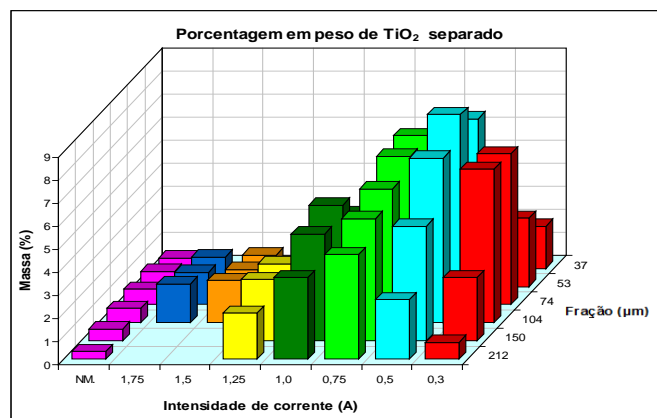


Figura 4 – Distribuição do TiO₂ obtidas na separação magnética.

3.3. Difração de raios X

A Figura 5 mostra os DRXs obtidos da fração -212+150 μ m em diferentes intensidades de corrente: 0,3; 0,5 e 0,75A produto da separação magnética. Os resultados confirmaram a presença de ilmenita, mostrando também a presença de anatásio como principais minerais carregadores de Ti. Observa-se que a ilmenita está presente em todas as amostras submetidas a diferentes intensidades de corrente, devido principalmente a que este mineral se encontra associado a outros minerais dificultando uma melhor separação.

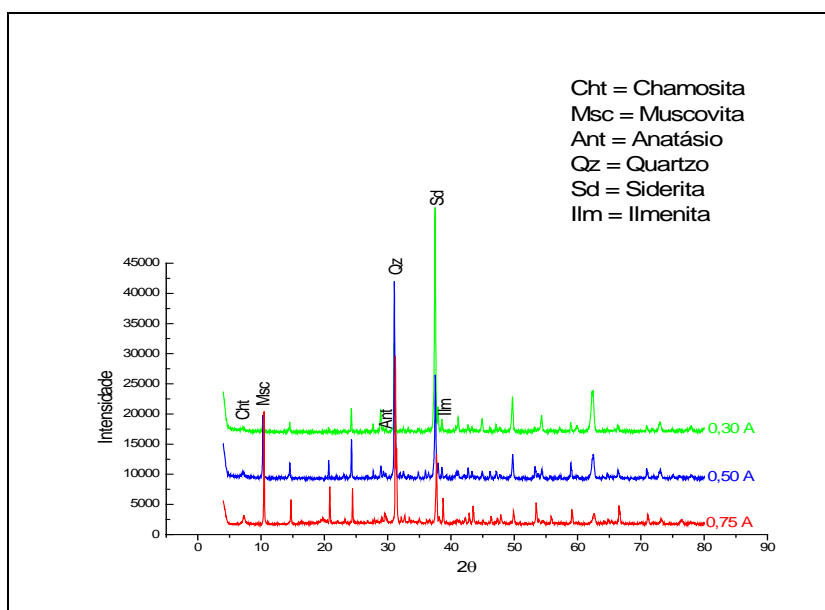


Figura 5 – DRX de uma fração de -212+150 μ m (Radiação Co K α ; 40 kV/40 mA).

3.4. Mineral Liberation Analyzer – MLA

O sistema MLA utiliza técnicas de MEV, elétrons retro-espalhados junto com a análise por dispersão de energia (EDS) usando os controles de brilho e contraste. Quando usados corretamente, os elementos localizados na tabela periódica terão um número definido de brilho. Segundo a teoria dos elementos, um número atômico baixo, como carbono, oxigênio e silício, como outros, tenderá a ser menos brilhante quando comparado com elementos de número atômico alto, como cobre, ouro, chumbo e zinco. Esses elementos tendem a ser mais brilhantes quando essas técnicas são utilizadas. Esta tecnologia permite obter uma variedade de análises minerais para determinar e quantificar diferentes minerais ou diferentes fases mineralógicas.

O minério de ouro lavrado pela RPM é um metapelito situado na base da Formação Paracatu, cuja sequência foi informalmente denominada Fácies Morro do Ouro, composta por filitos sericíticos carbonosos, com intercalações de até 8,0 m de quartzitos e ocorrência de *boudins* de quartzo (FREITAS-SILVA e DARDENNE, 1994). Os resultados do MLA no material afundado do minério da RPM é composto em média por quartzo (23,4%), siderita (13,85%), feldspato (15,75%), arsenopirita (8,3%), pirita (8,5%), ilmenita (4,8%), anatásio (1,04%), rutilo (0,02) e outros. (Figura 6).

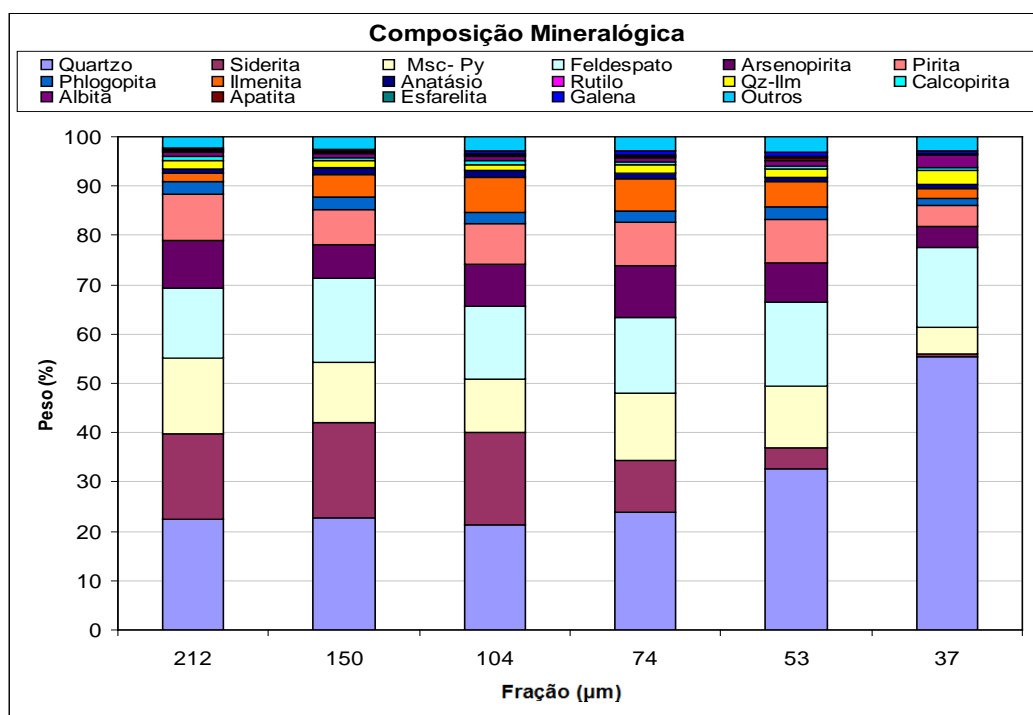


Figura 6 – Composição mineralógica do material afundado na separação no meio denso.

3.4.1. Associação Mineralógica

O depósito Morro do Ouro ocorre associado à *boudins* de quartzo, siderita e sulfetos, distribuídos ao longo da camada que foi submetida a uma intensa deformação de baixo ângulo. Os sulfetos ocorrem disseminados na rocha e distribuídos nos *boudins* de quartzo e segregações dos quartzitos. Ocorre arsenopirita, galena, esfarelita, pirita, calcopirita e pirrotita. Arsenopirita e pirita possuem uma maior correlação com o ouro (DAITEX e ZARNADO, 2000). À medida que a lavra acontece o minério vai mudando de características mineralógicas, aparecem novos minerais e novas associações no caso do minério da RPM (alimentação de SAG.) as associações identificadas para a ilmenita e anatásio estão apresentados nas Figuras 7 e 8.

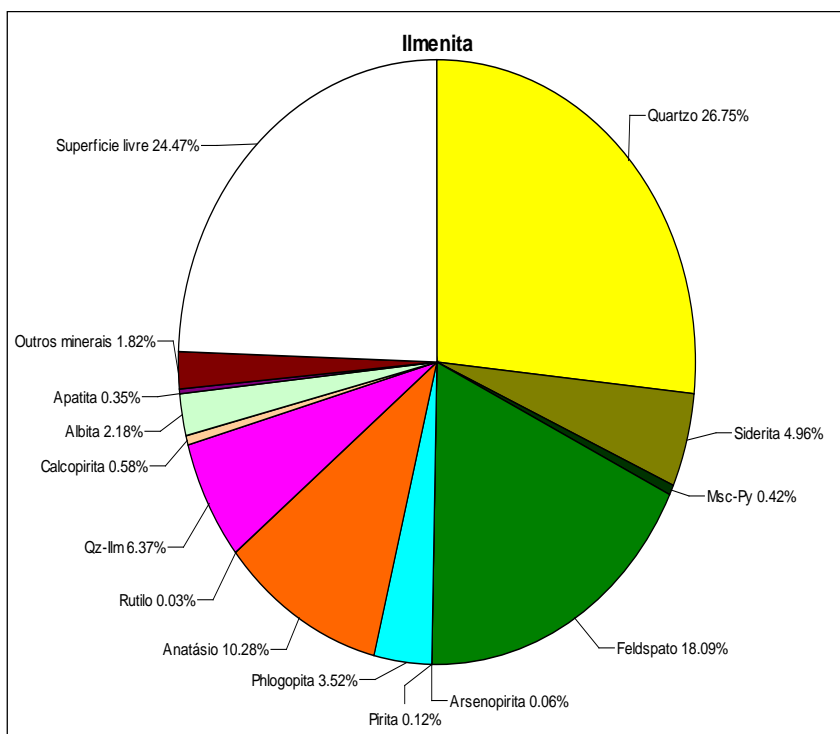


Figura 7 – Associação mineralógica da ilmenita na separação em meio denso (fração: -300+37 μ m).

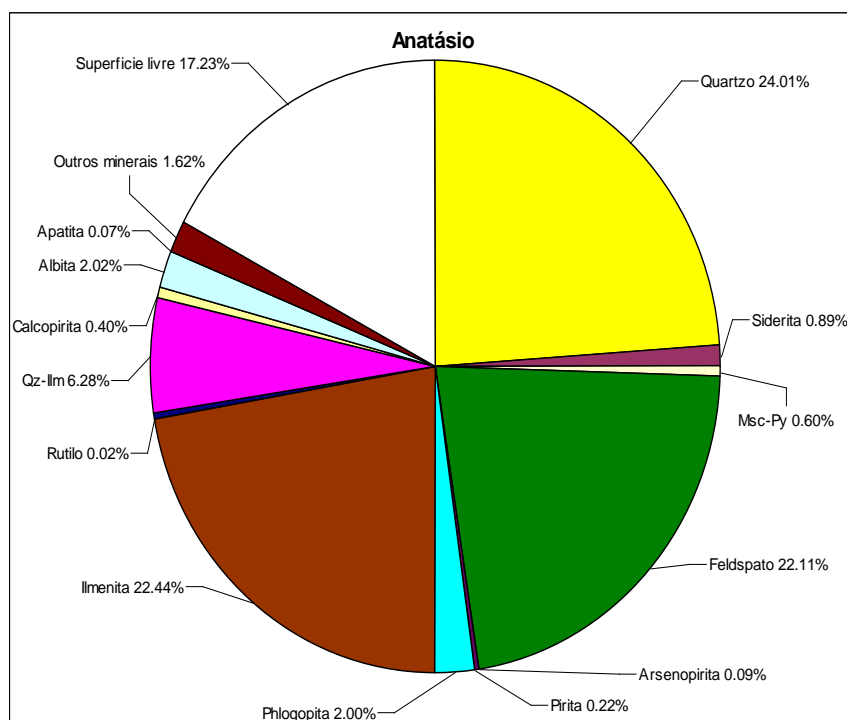


Figura 8 – Associação mineralógica do anatásio na separação em meio denso (fração: -300+37 μ m).

3.5. CONCLUSÕES

O minério da RPM contém um baixo teor de minerais portadores de titânio (aproximadamente 1% em massa de TiO_2). Após a concentração mediante a separação em meio denso e magnético, o teor de TiO_2 elevou-se atingindo um valor máxima de 7% em massa na fração compreendida entre -300 até +37 μ m. A baixa concentração dos minerais portadores de titânio se deve ao baixo espectro de liberação destes minerais. O estudo nas diferentes frações demonstrou que nas frações mais finas (-74+53 e -53+37 μ m), conseguiram-se altos índices de liberação, porém, um baixo teor de TiO_2 .

A separação em meio denso contribuiu para a redução de massa da amostra, facilitando a separação magnética e a análise mediante o sistema MLA. Esta operação permitiu a identificação principalmente de Fe_2O_3 e TiO_2 , que sugeriu a presença de ilmenita na amostra. Tal hipótese foi corroborada com separação magnética efetuada no material afundado. Os melhores resultados obtidos na separação magnética foram encontrados nas intensidades de corrente entre 0,3 a 0,5 A, correspondendo a 7% em massa de TiO_2 .

Nos estudos de caracterização (DRX e MLA), foram identificados os minerais portadores de titânio, sendo eles: ilmenita, anatásio e rutilo. Os principais minerais da ganga são: quartzo, feldspato muscovita, siderita, arsenopirita e pirita. Observou-se que os minerais portadores de titânio encontram-se mutuamente associados.

Os estudos preliminares de separação e concentração mostraram um baixo teor de TiO_2 . Porém, as análises mediante o sistema MLA sugerem novas possibilidades e alternativas para conseguir melhores resultados tomando em conta o enfoque de liberação e associação mineralógica.

3.6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Costa, J. N. C. Caracterização mineralógica dos diferentes tipos de minérios e concentrado de flotação da Mina Morro de Ouro, Paracatu. Minas Gerais, UnB, Brasil, 1997.

Daitex, E. C.; Zarnado, A. Estudo Petrográfico e Minerográfico de Rochas da Mina Morro do Ouro (Paracatu, MG). 2 vol. Programa Parceria RPM Fundusnep. 2000.

Dardenne, M. A. Zona Tectônica na Borda ocidental do Cráton do São Francisco. Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de geologia. Recife, p. 308, 1979.

Freitas-Silva, F. H.; Dardenne, M. A. Proposta de Subdivisão Estratigráfica Formal para o Grupo Canastra no Oeste de Minas Gerais e leste de Goiás. Anais do IV Simpósio de Geologia do Centro-Oeste. Sociedade Brasileira de Geologia. 161-163p. Brasília, 1994.

Moller, J. C. *et., al.* The Geology and Characterization of Mineral Resources of Morro do Ouro, Paracatu. MG. 2001.

Sumário Mineral 2009. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) 2009. Brasília/DF - Brasil. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br>>. Acesso em: 02 de Jun. 2010.

Vieira, F.W.R; Oliveira, G.A.I. Principais depósitos minerais brasileiros. Vol 111 p. 378-391. DNPM, 1988.