

## **5 Resultados e Discussões**

### **5.1. Distribuição granulométrica a úmido**

A distribuição granulométrica dos diferentes ensaios a úmido do minério bruto (alimentação do moinho SAG) da RPM é ilustrada na Figura 20. Observa-se a existência de uma diferença significativa na distribuição granulométrica entre a fração grossa ( $-3400+2400\mu\text{m}$ ) e a fração fina ( $-37\mu\text{m}$ ), dificultando uma boa avaliação do espectro de liberação dos minerais de interesse (minerais portadores de titânio).

Para solucionar este inconveniente, resolveu-se britar o minério em um britador de mandíbulas, cuidando para minimizar a geração de finos, visto que o material já conte mais de 20% de fração fina (material passante na peneira de  $37\mu\text{m}$ ).

Na Tabela 7 e Figura 21 estão mostrados e ilustrados os resultados dos ensaios após a britagem. Observa-se que se conseguiu reduzir a faixa granulométrica (partículas menores a  $425\mu\text{m}$ ), embora tenha sido inevitável a geração de finos (cerca de 50% do material passante na peneira  $37\mu\text{m}$ ). Essa operação colaborou para uma melhor avaliação no estudo do espectro de liberação devido à redução da faixa granulométrica, elevando assim a precisão do estudo.

Tabela 6 – Distribuição granulométrica do minério da RPM (alimentação SAG).

| Fração<br>( $\mu\text{m}$ ) | Ensaio 1 (% em massa) |          | Ensaio 2 (% em massa) |          |
|-----------------------------|-----------------------|----------|-----------------------|----------|
|                             | Retida                | Passante | Retida                | Passante |
| -3400+2400                  | 8,25                  | 91,75    | 8,50                  | 91,50    |
| -2400+1700                  | 11,63                 | 80,12    | 12,14                 | 79,36    |
| -1700+1200                  | 12,45                 | 67,67    | 12,53                 | 66,83    |
| -1200+850                   | 8,93                  | 58,74    | 10,17                 | 56,66    |
| -850+600                    | 8,38                  | 50,35    | 7,81                  | 48,85    |
| -600+425                    | 3,45                  | 46,91    | 3,99                  | 44,86    |
| -425+300                    | 4,66                  | 42,25    | 4,36                  | 40,50    |
| -300+212                    | 6,14                  | 36,11    | 6,69                  | 33,82    |
| -212+150                    | 3,39                  | 32,72    | 2,85                  | 30,97    |
| -150+104                    | 2,92                  | 29,80    | 2,93                  | 28,04    |
| -104+74                     | 2,43                  | 27,38    | 2,24                  | 25,80    |
| -74+53                      | 1,58                  | 25,79    | 1,43                  | 24,36    |
| -53+45                      | 1,75                  | 24,04    | 1,58                  | 22,78    |
| -45+37                      | 1,62                  | 22,42    | 1,42                  | 21,36    |
| -37                         | 22,42                 | 0,00     | 21,36                 | 0,00     |
| <b>Total</b>                | 100,00                | --       | 100,00                | --       |

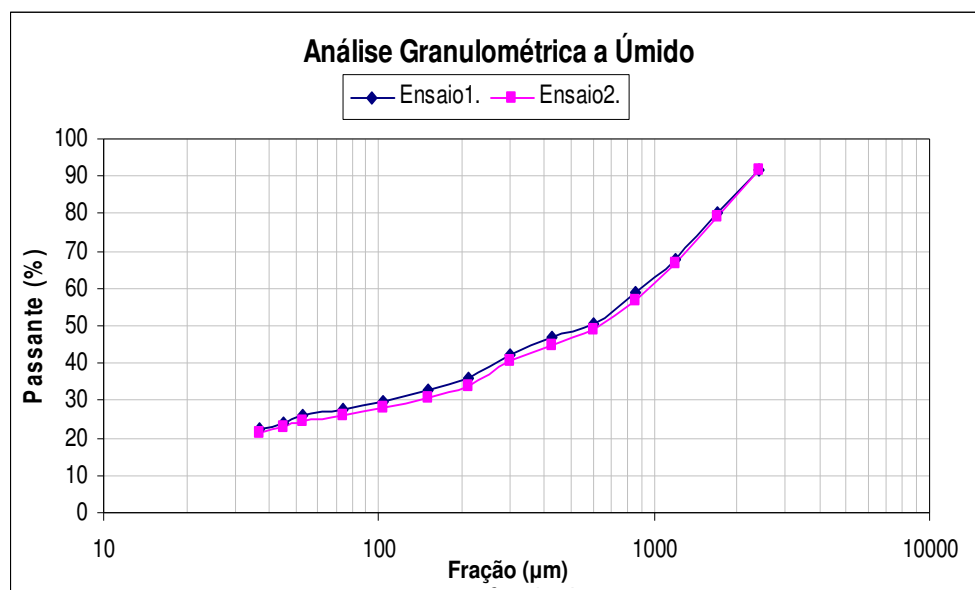


Figura 20 – Representação gráfica dos resultados da distribuição granulométrica.

Tabela 7 – Distribuição granulométrica após a britagem.

| Abertura<br>( $\mu\text{m}$ ) | Ensaio 1      |                 | Ensaio 2      |                 | Ensaio 3      |                 |
|-------------------------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|
|                               | Retida<br>(%) | Passante<br>(%) | Retida<br>(%) | Passante<br>(%) | Retida<br>(%) | Passante<br>(%) |
| <b>-425+300</b>               | 1,75          | 98,25           | 2,18          | 97,82           | 1,10          | 98,90           |
| <b>-300+212</b>               | 12,96         | 85,29           | 11,40         | 86,42           | 12,98         | 85,92           |
| <b>-212+150</b>               | 11,53         | 73,76           | 11,64         | 74,79           | 11,34         | 74,58           |
| <b>-150+104</b>               | 9,04          | 64,72           | 9,74          | 65,05           | 9,68          | 64,90           |
| <b>-104+74</b>                | 5,01          | 59,71           | 5,18          | 59,87           | 5,82          | 59,08           |
| <b>-74+53</b>                 | 4,49          | 55,22           | 4,08          | 55,79           | 4,98          | 54,10           |
| <b>-53+37</b>                 | 5,47          | 49,75           | 5,30          | 50,48           | 5,49          | 48,61           |
| <b>-37</b>                    | 49,75         | 0,00            | 50,48         | 0,00            | 48,61         | 0,00            |
| <b>Total</b>                  | 100,00        | --              | 100,00        | --              | 100,00        | --              |

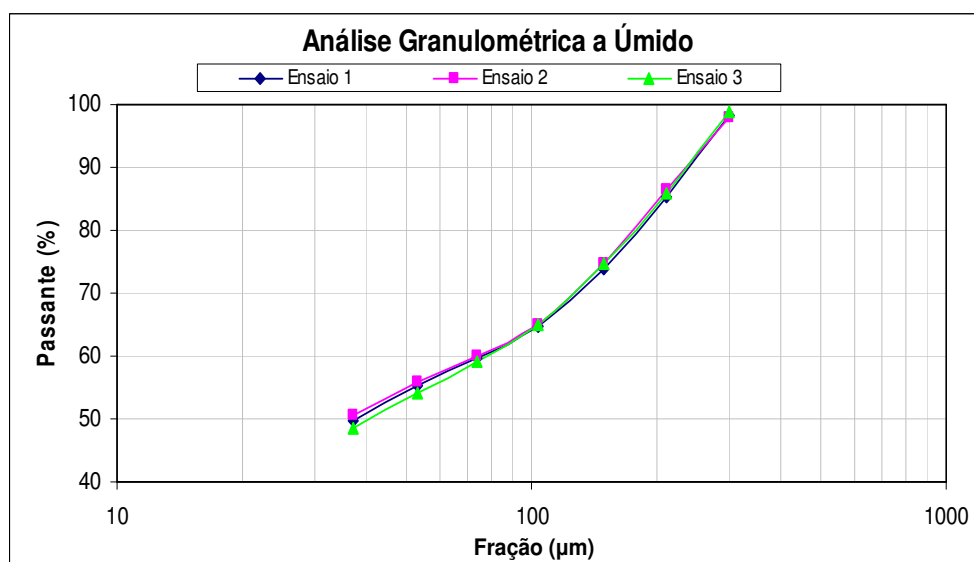


Figura 21 – Representação gráfica dos resultados da distribuição granulométrica após a britagem no britador de mandíbulas.

## 5.2.

### Ensaios de separação em 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). A maior parte destes minerais estará presente no material flutuado, devido às suas densidades serem menores do que a do bromofórmio.

Na Tabela 8 e Figura 22 são apresentados e ilustrados os resultados da separação em meio denso realizados nas seguintes frações granulométricas: -300+212; -212+150; -150+104; -104+74; -74+53 e -53+37 $\mu\text{m}$ . Observa-se que o material afundado representou cerca de 20% nas três primeiras faixas granulométricas. Esses materiais contêm partículas com maior densidade do que o bromofórmio (2,89), e nas últimas três faixas, a fração afundada diminui devido ao tamanho das partículas serem menores, portanto a eficiência também diminui.

Tabela 8 – Resultados do Afunda – Flutua com o uso de bromofórmio ( $\text{CHBr}_3$ )

| Fração ( $\mu\text{m}$ ) | Afundado (%) | Flutuado (%) | Perdas (%) |
|--------------------------|--------------|--------------|------------|
| -300+212                 | 18,66        | 81,05        | 0,29       |
| -212+150                 | 18,89        | 80,84        | 0,27       |
| -150+104                 | 16,99        | 82,57        | 0,45       |
| -104+74                  | 14,43        | 84,82        | 0,75       |
| -74+53                   | 15,01        | 83,44        | 1,55       |
| -53+37                   | 14,99        | 83,57        | 1,44       |

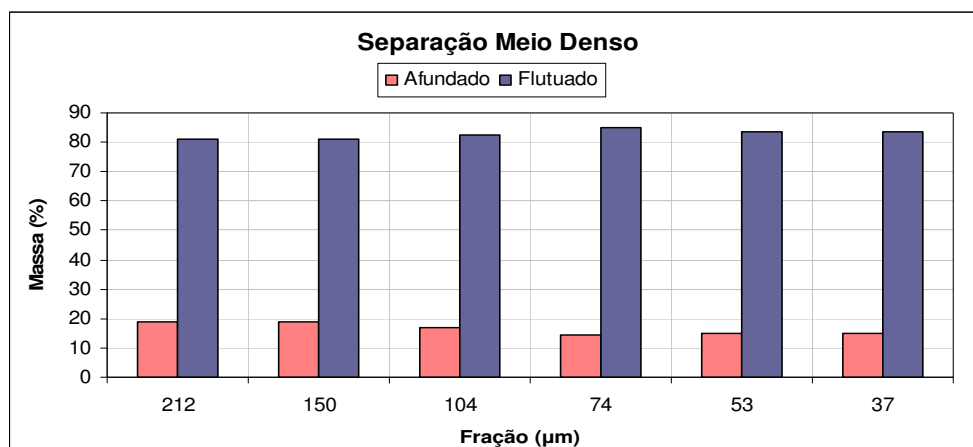


Figura 22 – Representação gráfica dos resultados obtidos na separação em meio denso.

### 5.3. Ensaio de separação magnética

Os minerais mais importantes encontrados na natureza são os óxidos de ferro e titânio. A estrutura cristalina destes minerais consiste de uma rede de íons de oxigênio, cujos espaços intersticiais são ocupados, de forma regular, por íons de ferro ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ), íons de ferro férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) e titânio ( $\text{Ti}^{4+}$ ). A proporção relativa destes três íons determina as propriedades ferromagnéticas do mineral. Dentre todos os minerais portadores de titânio, a ilmenita é a que possui melhor susceptibilidade magnética, facilitando assim sua separação e concentração (0,2 até 0,3A; no separador Frantz). Na Tabela 9 observa-se os resultados da separação magnética em porcentagem de massa conseguido da fração magnética e não magnética submetidos a diferentes intensidades de corrente. Os melhores resultados foram conseguidos nas frações -150+104; -104+74 e -74+53 $\mu\text{m}$ .

Ressalta-se que os melhores resultados das separações magnéticas levando em consideração a susceptibilidade foram obtidos com uma intensidade de corrente de 0,5A. (Figura 23).

Tabela 9 – Resultados da separação magnética realizada no separador Frantz (% em massa).

| Faixa<br>( $\mu\text{m}$ ) |     | Intensidade de Corrente (A) |              |              |              |              |              |              |
|----------------------------|-----|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                            |     | 0,30                        | 0,50         | 0,75         | 1,0          | 1,25         | 1,50         | 1,75         |
| -300<br>+212               | FM  | 7,11                        | 42,83        | 39,30        | 22,95        | 20,77        | 16,52        | 9,51         |
|                            | FNM | 92,89                       | 57,17        | 60,70        | 77,05        | 79,23        | 83,48        | 90,49        |
| -212<br>+150               | FM  | 8,80                        | 48,09        | 31,19        | 16,82        | 26,16        | 17,54        | 9,33         |
|                            | FNM | 91,20                       | 51,91        | 68,81        | 83,18        | 73,84        | 82,46        | 90,67        |
| -150<br>+104               | FM  | <b>13,09</b>                | <b>49,60</b> | <b>20,93</b> | <b>17,21</b> | <b>18,02</b> | <b>25,24</b> | <b>12,20</b> |
|                            | FNM | 86,91                       | 50,40        | 79,07        | 82,79        | 81,98        | 74,76        | 87,80        |
| -104<br>+74                | FM  | <b>21,05</b>                | <b>27,49</b> | <b>11,18</b> | <b>7,94</b>  | <b>19,85</b> | <b>21,05</b> | <b>13,29</b> |
|                            | FNM | 78,95                       | 72,51        | 88,82        | 92,06        | 80,15        | 78,95        | 86,71        |
| -74<br>+53                 | FM  | <b>13,31</b>                | <b>21,82</b> | <b>9,74</b>  | <b>7,29</b>  | <b>9,77</b>  | <b>11,00</b> | <b>11,40</b> |
|                            | FNM | 86,69                       | 78,18        | 90,26        | 92,71        | 90,23        | 89,00        | 88,60        |
| -53<br>+37                 | FM  | 7,56                        | 7,40         | 8,54         | 6,72         | 7,37         | 7,96         | 5,40         |
|                            | FNM | 92,44                       | 92,60        | 91,46        | 93,28        | 92,63        | 92,04        | 94,60        |

**FM:** Fração Magnética; **FNM:** Fração Não Magnética.

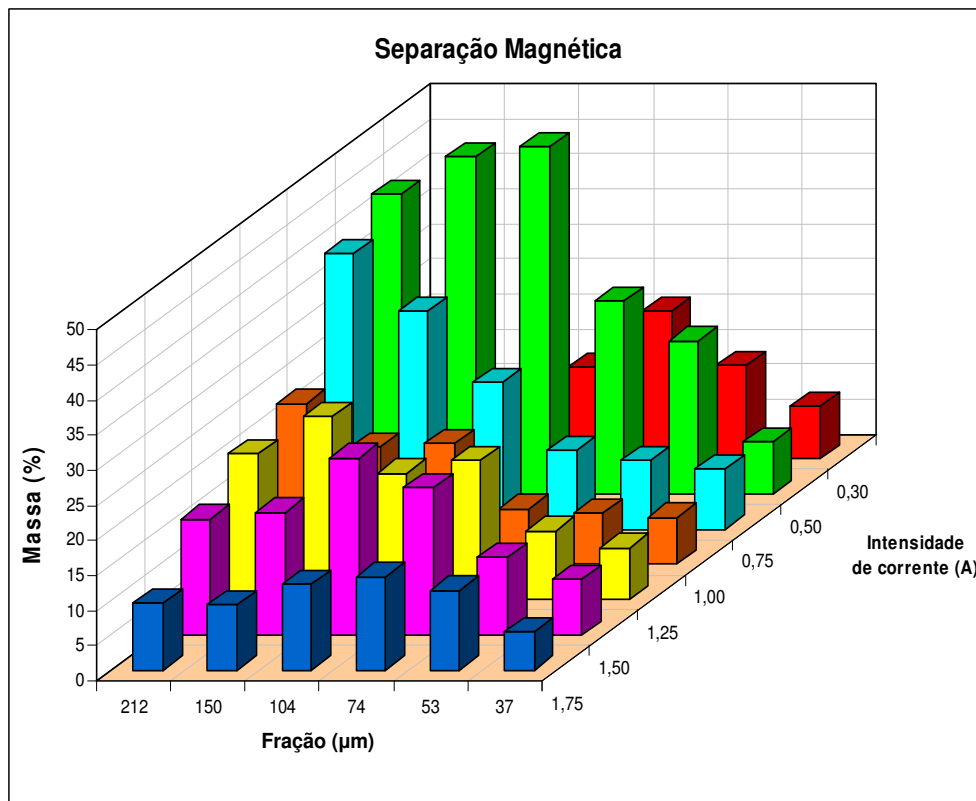


Figura 23 – Representação gráfica dos resultados obtidos na separação magnética.

## 5.4. Técnicas de caracterização

### 5.4.1. Lupa Binocular

O minério do Morro de Ouro – RPM está composto por filitos e xistos carbonosos. Apresentam deformação significativa, com formação de sigmoides de quartzo, onde se alojam pequenas concentrações de ouro (FREITAS-SILVA e DARDENNE, 1994).

As amostras do minério da RPM observadas na lupa binocular mostraram a presença de quartzo e de material carbonoso em maior quantidade. Além do quartzo também foram identificadas muscovita, illita e siderita, figura 24 (A, B, C). O quartzo encontra-se associado a diferentes minerais. Na figura 24D observa-se associado à siderita, que se deve ao fato do minério ser de natureza quartzítica.

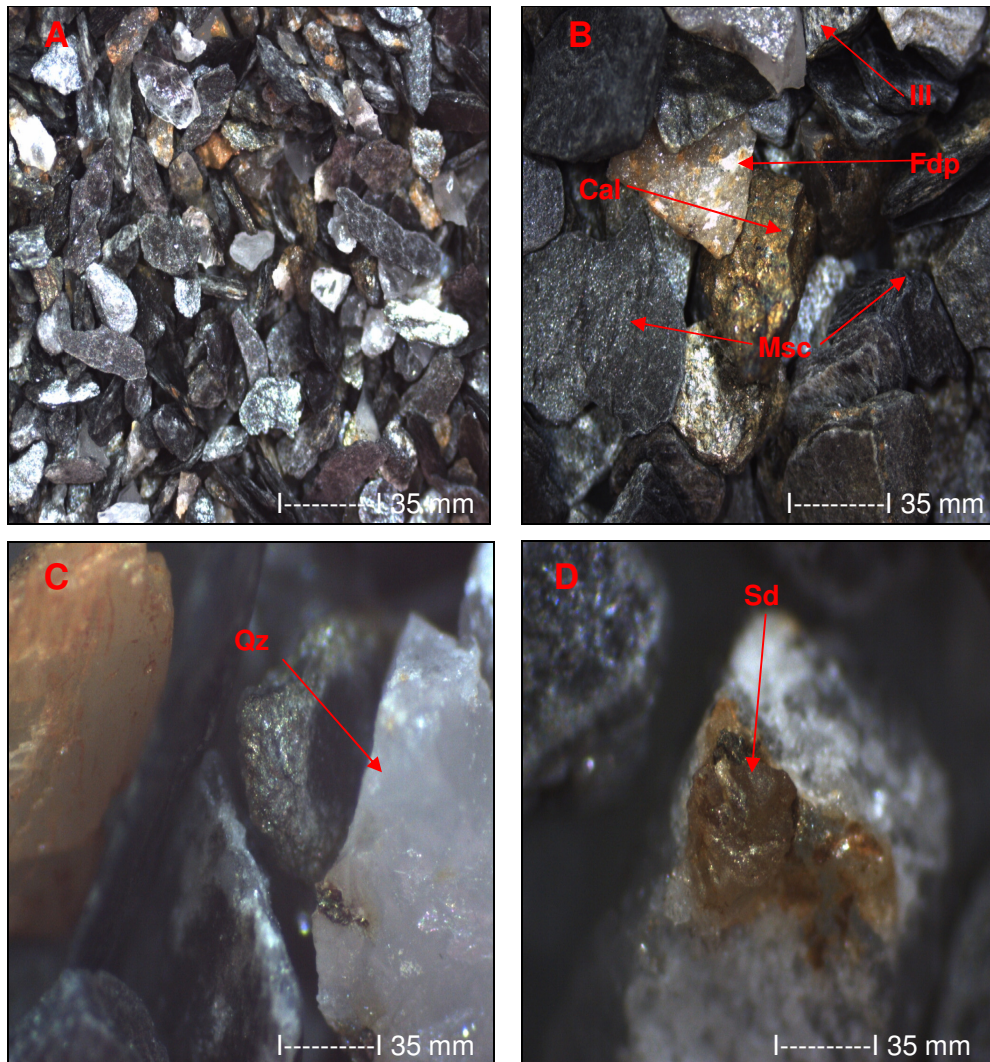


Figura 24 – Fotografias do minério, em (A), fração -600+425  $\mu\text{m}$ , em (B), fração -3400+2400  $\mu\text{m}$ , em (C) e (D), fração -1700+1200  $\mu\text{m}$ . Notação utilizada: Qz - quartzo, Msc - muscovita, Cal - calcopirita, Sd - siderita, Ill - illita, Fdp - Feldspato.

Os ensaios de separação em meio denso se realizaram com o objetivo de concentrar o minério para uma melhor caracterização dos minerais carregadores de titânio. Após a realização dos ensaios separou-se dos materiais: material flutuado e material afundado. No material flutuado encontrou-se quartzo e feldspato em sua maioria. O minério da RPM é de tipo quartzítico por isso a presença de grande quantidade de quartzo liberado (figura 25A). No material afundado identificaram-se a presença de siderita, muscovita e pirita principalmente. Também foi observada a presença de quartzo associado a minerais pesados como muscovita e siderita (figura 25B). A separação foi limitada por a densidade do bromofórmio.

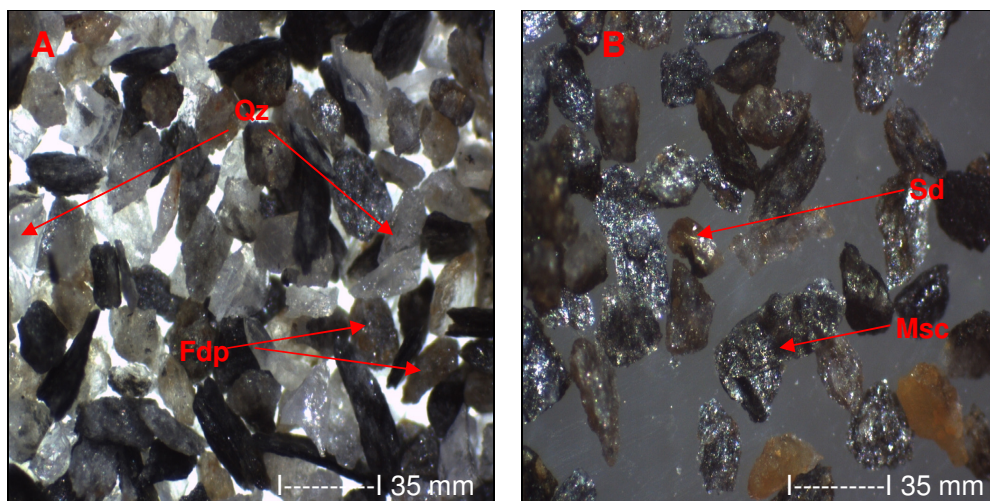


Figura 25 – Fotografia do produto da separação em meio denso, em (A) material flutuado, em (B), material afundado, as duas figuras são frações de  $-300+212 \mu\text{m}$ . Notação utilizada; Qz: Quartzo, Sd: Siderita, Fdp: feldspato.

As Figuras 26(A) e 26(B) mostram os resultados obtidos na separação magnética de minerais susceptíveis a 0,3A; observa-se que o material está composto em sua maioria de siderita, muscovita e quartzo.

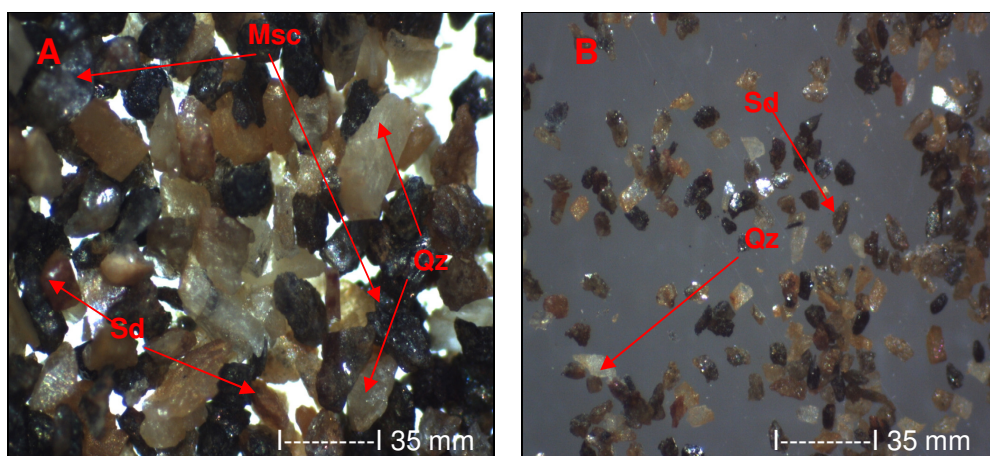


Figura 26 – Fotografia da separação magnética. Em (A), material de fração  $-300+212 \mu\text{m}$  susceptível a 0,3 A., em (B) material de fração de  $-104+74 \mu\text{m}$  susceptível a 0,30 A. Notação utilizada; Qz: Quartzo, Sd: Siderita.

Nas Figuras 27(A) e 27(B) observam-se os resultados dos minerais susceptíveis a 0,50A. Confirmaram-se a presença de ilmenita, além de serem identificadas a siderita, muscovita e alguns grãos de quartzo.

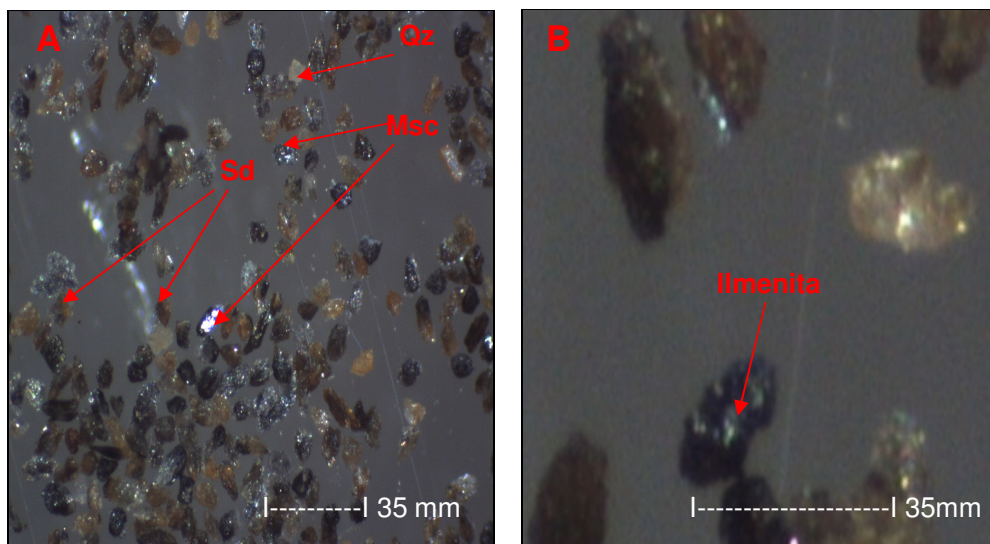


Figura 27 – Fotografia da separação magnética. Em (A) e (B) material susceptível a 0,5A de uma fração de  $-104 + 74 \mu\text{m}$ . Notação utilizada; Qz: Quartzo, Sd: Siderita, Msc: Muscovita, Ilm: Ilmenita.

#### 5.4.2.

#### Análise por Difração de Raios X

##### 5.4.2.1.

##### Minério da RPM

Os difratogramas da análise granulométrica do minério da RPM no primeiro estágio estão apresentados na Figura 28. Estas apresentam picos característicos de quartzo, muscovita, illita e secundariamente picos da caulinita e montmorillonita (silicato). O quartzo apresenta-se como o maior mineral presente no minério.

Qualitativamente pode-se conferir que à medida que as frações diminuem de tamanho, promove um aumento nos picos da caulinita, illita e montmorillonita, e uma pequena diminuição dos picos de quartzo e muscovita (Figura 29).

Podemos afirmar que nas frações grossas encontram-se uma maior concentração de quartzo e muscovita, porém nas frações finas encontra-se um aumento na concentração de caulinita, illita e montmorillonita.

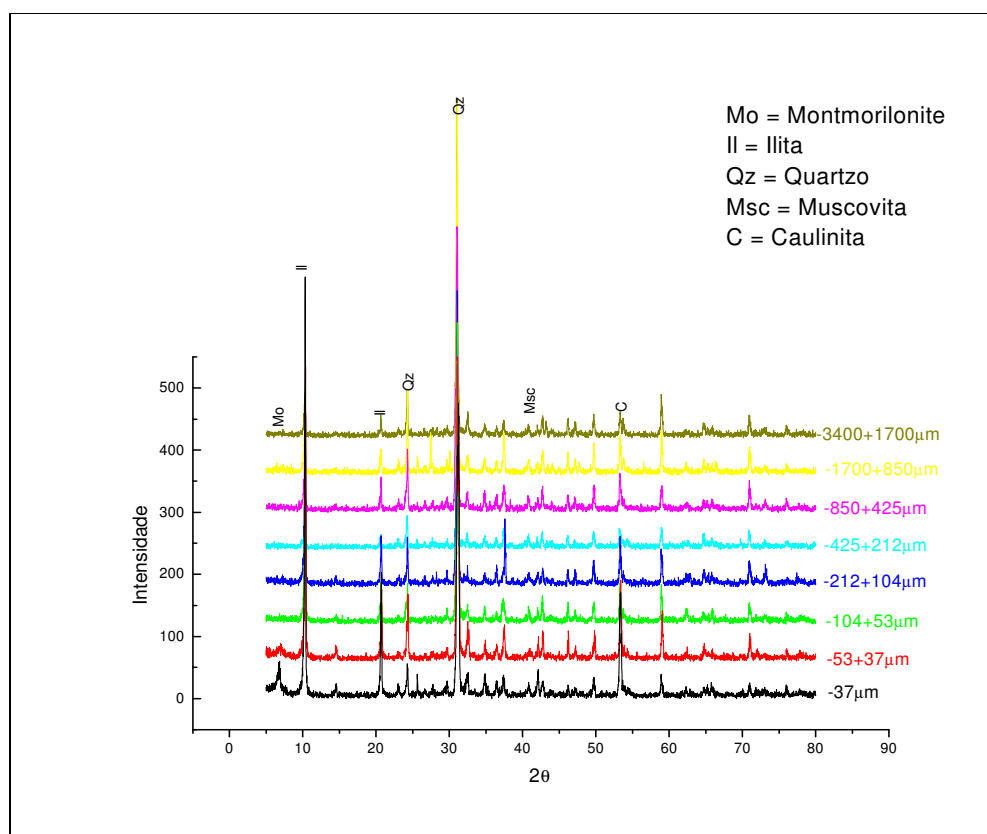


Figura 28 – Difratomogramas de raios X da amostra do minério da RPM. Radiação Co K $\alpha$  (40 kV/40 mA).

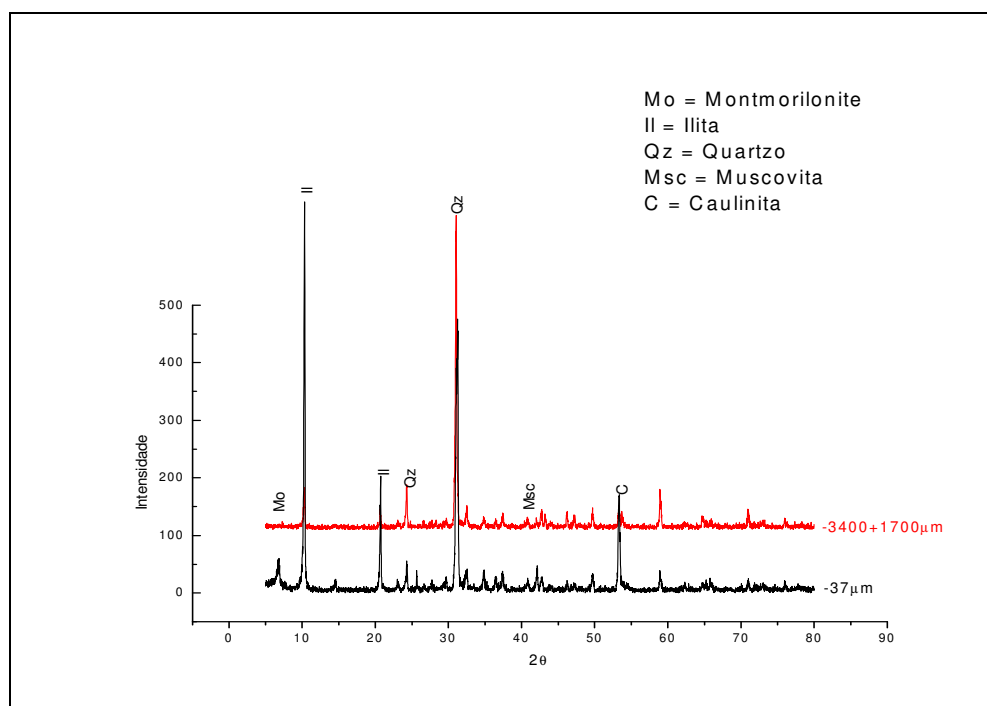


Figura 29 – Difratomogramas de raios X de frações grossa e fina do minério da RPM. Radiação Co K $\alpha$  (40 kV/40 mA).

### 5.4.2.2.

#### Material afundado - produto da separação em meio denso

Os difratogramas mostram que nos materiais afundados, submetidos à separação em médio denso existe presença de picos característicos de quartzo, muscovita, illita, montmorillonita, caolinita, pirita e siderita. Também, observam-se em menor proporção picos característicos de ilmenita, chamosita e arseniato de magnésio (Figura 30).

Alguns minerais de menor densidade em relação ao bromofórmio que deveriam estar separados, não foram separados, pois estavam associados a minerais pesados (partículas mistas), afundando junto com as partículas pesadas, como por exemplo, o quartzo e a illita. Isto acontece porque essas partículas não se encontram completamente liberadas. Estas se encontram associados a outros minerais de maior densidade como, por exemplo, pirita, ilmenita e siderita não permitindo sua separação (Figura 31).

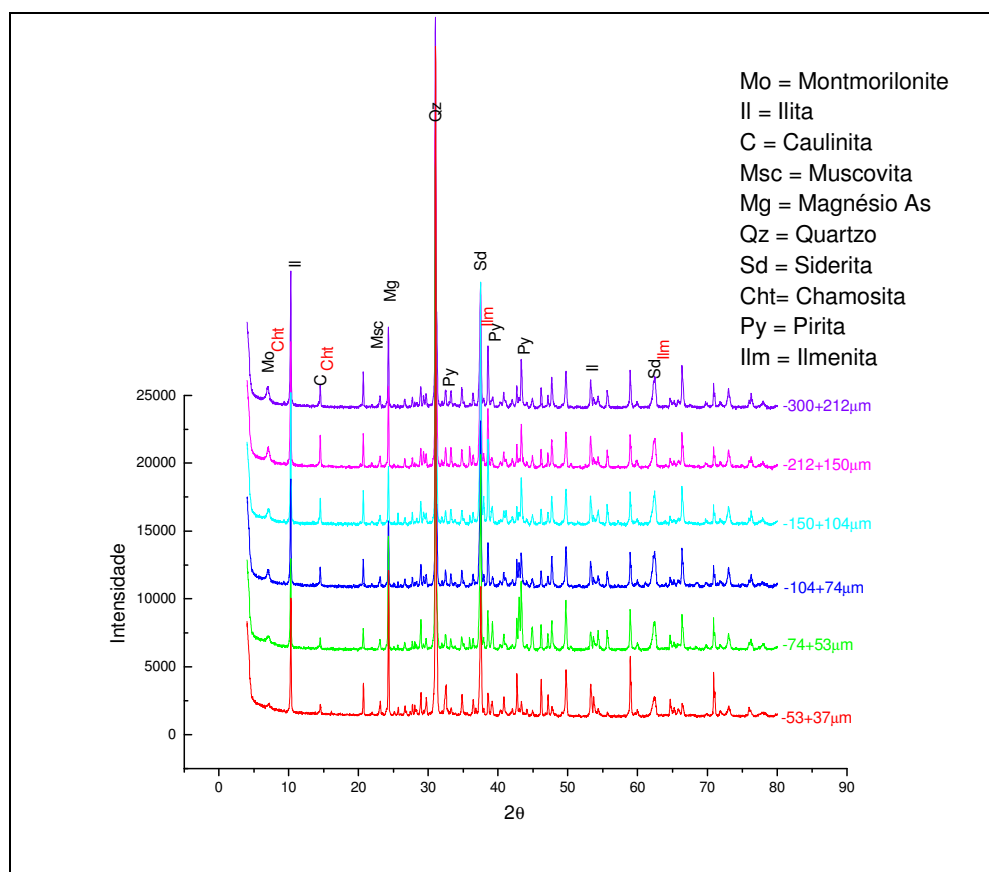


Figura 30 – Difratogramas de raios X das amostras obtidas na separação em meio denso. Radiação Co K $\alpha$  (40 kV/40 mA).

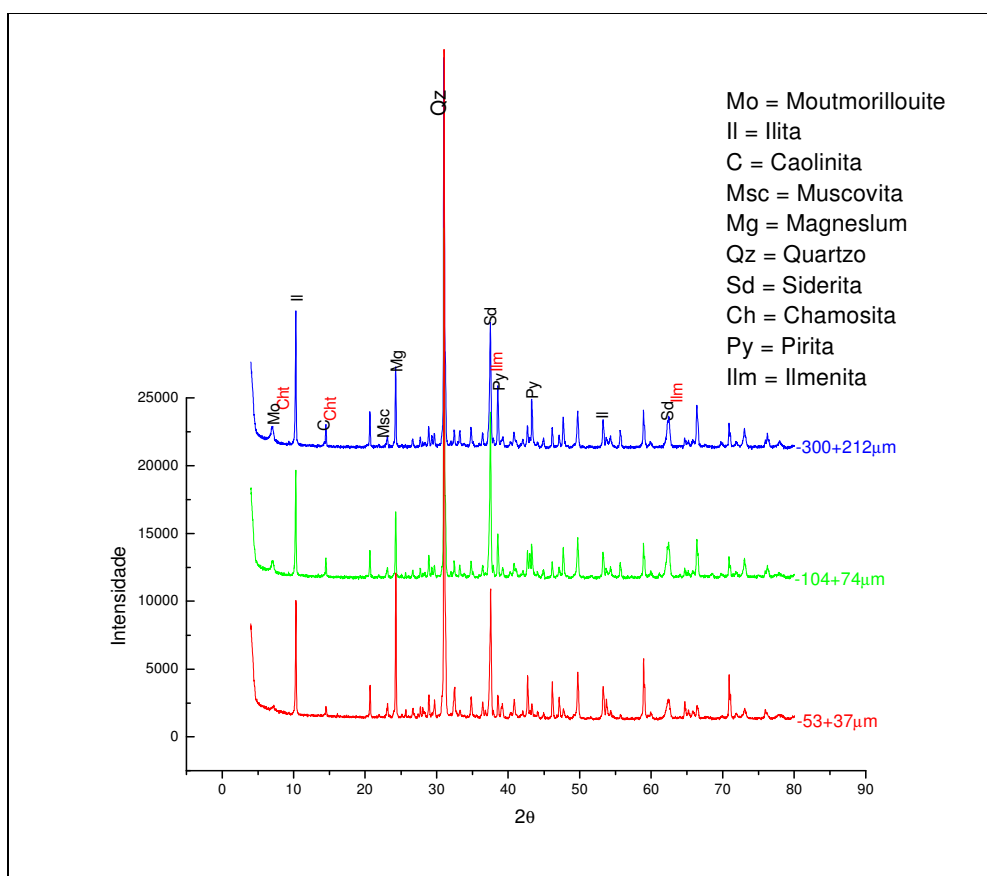


Figura 31 – Difratomogramas de raios X da amostra do minério de ouro da RPM, fração - 37µm. Radiação Co K $\alpha$  (40 kV/40 mA).

### 5.4.2.3. Separação magnética

As operações de separação magnética foram acompanhadas com as análises de DRX para as seguintes frações: -212+150; -150+104; -104+74 e -74+53µm, aproveitando as propriedades magnéticas da ilmenita de boa susceptibilidade magnética no separador Frantz. Foram realizadas as análises de DRX para as seguintes intensidades de corrente: 0,3; 0,5 e 0,75A para cada fração granulométrica, considerando que a ilmenita tem boa susceptibilidade em intensidades de corrente de 0,2 até 0,3A.

Os resultados das análises de difração de raios X estão ilustrados nas Figuras 32, 33, 34, e 35. Observa-se que a ilmenita está presente em todos os difratogramas, assim como a siderita que ostenta uma maior concentração em uma intensidade de corrente de 0,3A e vai diminuindo de concentração à medida que a intensidade de corrente aumenta.

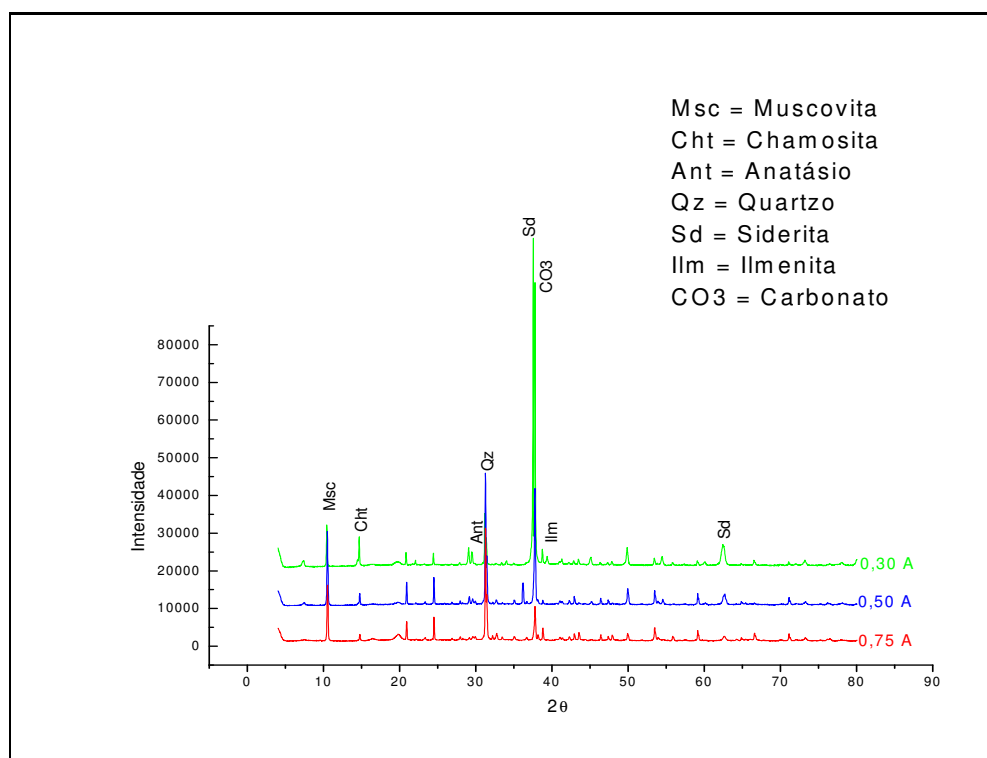


Figura 32 – Difrátogramas de raios X de uma fração de -212+150µm, a diferentes intensidades de corrente. Radiação Co Kα (40 kV/40 mA).

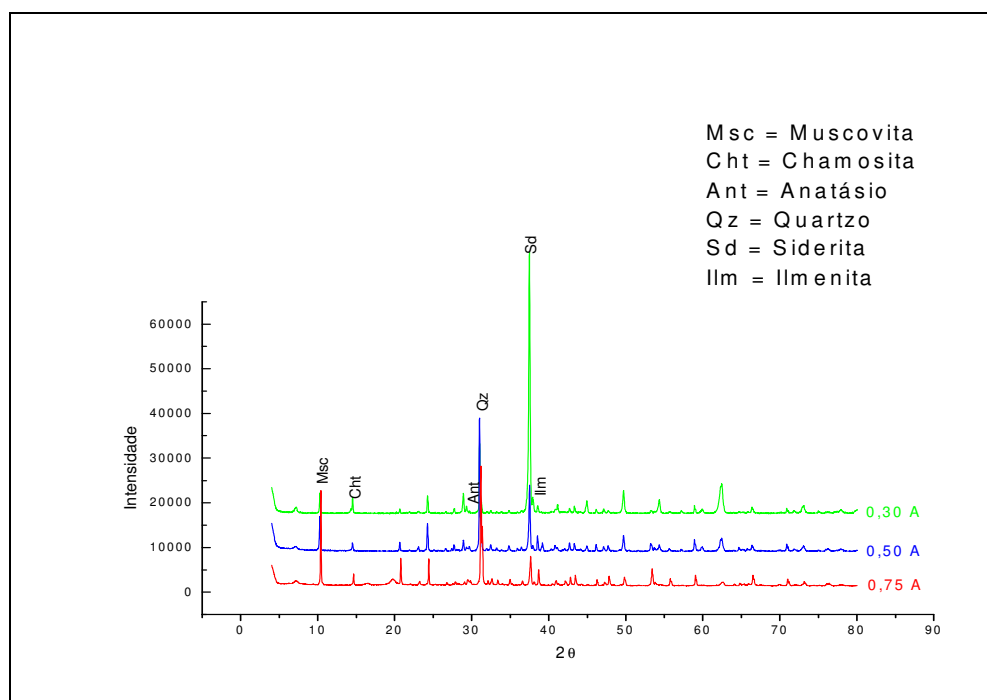


Figura 33 – Difrátogramas de raios X de uma fração de -150+104µm a diferentes intensidades de corrente. Radiação Co Kα (40 kV/40 mA).

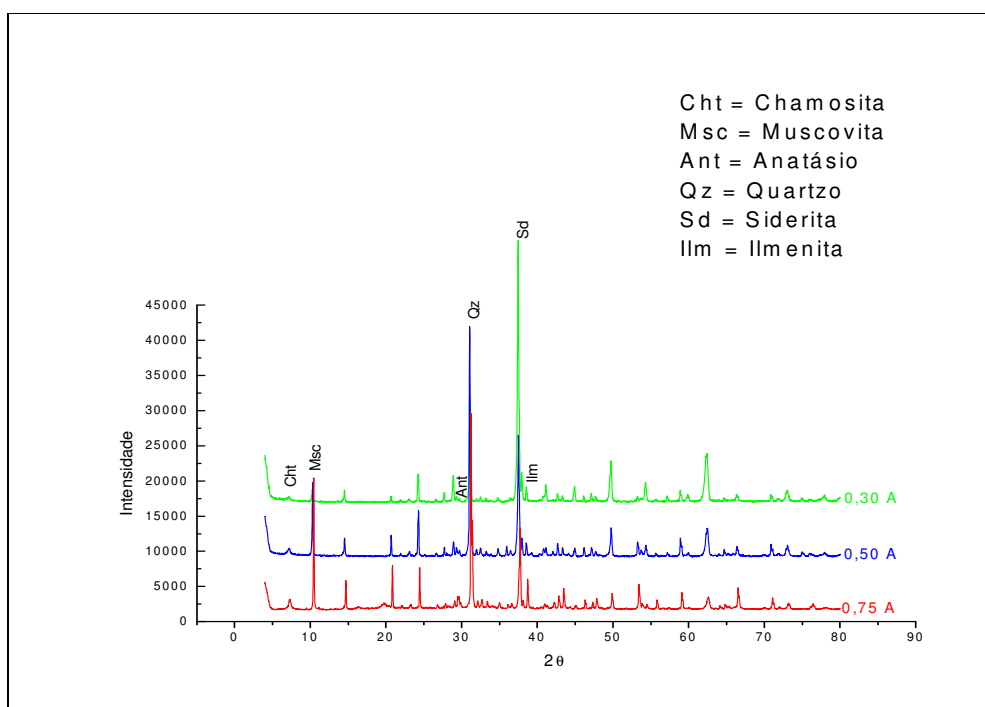


Figura 34 – Difratomogramas de raios X de uma fração de -104+74µm a diferentes intensidades de corrente. Radiação Co Kα (40 kV/40 mA).

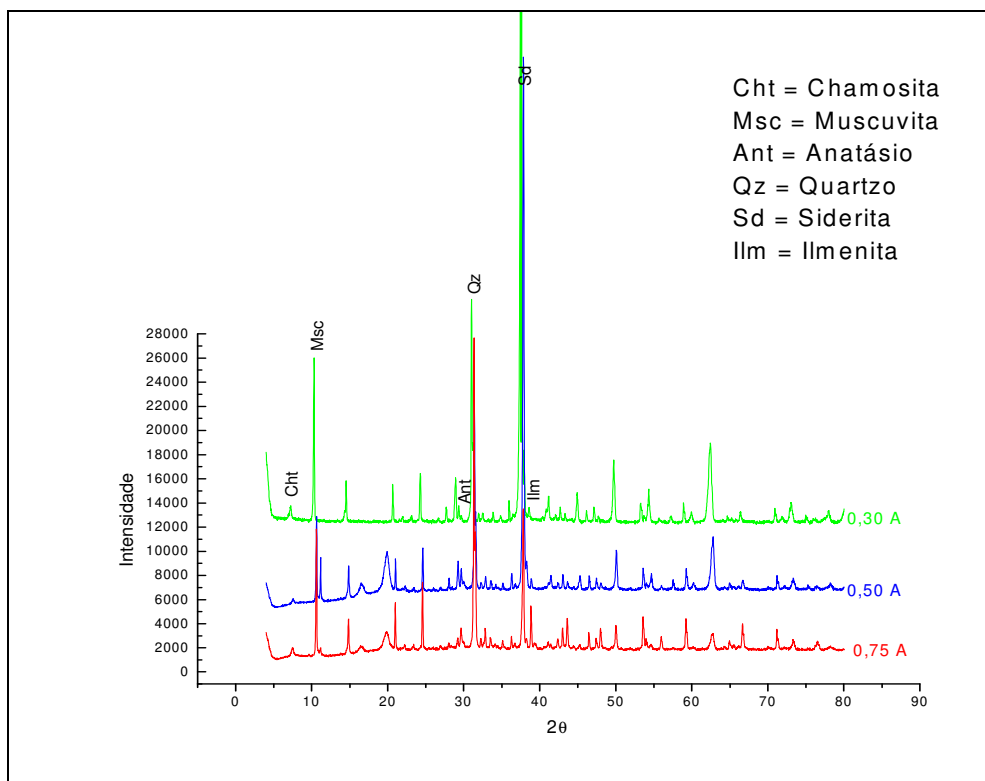


Figura 35 – Difratomogramas de raios X de uma fração de -74+53µm a diferentes intensidades de corrente. Radiação Co Kα (40 kV/40 mA).

### 5.4.3.

### Análise química por Espectrometria de Fluorescência de Raios X

#### 5.4.3.1. Separação em meio denso

Os resultados das análises químicas quantitativas do material afundado estão apresentados na Tabela 10 e ilustrados na Figura 36.

As composições químicas das amostras confirmam os resultados obtidos nas análises por difração de raios X, indicam uma elevada concentração de  $\text{SiO}_2$  seguida de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e em menor concentração  $\text{TiO}_2$ .

A elevada concentração de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  em todas as amostras ajudou a confirmar a presença de ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ) como principal mineral portador de titânio. Outra característica é o alto teor de carbonato observado nas amostras que reflete nos altos valores de perda ao fogo.

Tabela 10 – Composição química do material afundado no meio denso (% em massa).

| Mineral                                   | Fração ( $\mu\text{m}$ ) |             |             |             |             |             |
|-------------------------------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                           | -300+212                 | -212+150    | -150+104    | -104+74     | -74+53      | -53+37      |
| <b><math>\text{SiO}_2</math></b>          | 37,8                     | 35,5        | 33,8        | 34,1        | 35,9        | 58,6        |
| <b><math>\text{Al}_2\text{O}_3</math></b> | 7,31                     | 7,64        | 7,81        | 7,48        | 7,26        | 8,66        |
| <b><math>\text{Fe}_2\text{O}_3</math></b> | 29,0                     | 29,7        | 30,6        | 30,7        | 30,3        | 16,2        |
| <b><math>\text{CaO}_3</math></b>          | 0,61                     | 0,57        | 0,55        | 0,43        | 0,39        | 0,35        |
| <b><math>\text{TiO}_2</math></b>          | <b>2,39</b>              | <b>3,77</b> | <b>4,93</b> | <b>4,30</b> | <b>2,88</b> | <b>1,09</b> |
| <b><math>\text{MgO}</math></b>            | 2,03                     | 2,17        | 2,19        | 2,02        | 2,09        | 1,56        |
| <b><math>\text{P}_2\text{O}_5</math></b>  | 0,337                    | 0,306       | 0,277       | 0,229       | 0,227       | 0,191       |
| <b><math>\text{MnO}</math></b>            | 0,35                     | 0,40        | 0,45        | 0,45        | 0,48        | 0,29        |
| <b><math>\text{Co}</math></b>             | 0,03                     | 0,04        | 0,02        | 0,04        | 0,04        | 0,01        |
| <b><math>\text{Cu}</math></b>             | 0,03                     | 0,03        | 0,03        | 0,05        | 0,05        | 0,02        |
| <b><math>\text{Cr}_2\text{O}_3</math></b> | 0,01                     | 0,02        | 0,02        | <0,01       | 0,02        | <0,01       |
| <b><math>\text{NiO}</math></b>            | 0,05                     | 0,04        | 0,04        | 0,04        | 0,03        | 0,02        |
| <b>P.F.</b>                               | 16,83                    | 16,70       | 16,31       | 17,06       | 17,45       | 9,56        |
| <b>Total</b>                              | 96,78                    | 96,89       | 97,03       | 96,91       | 97,12       | 96,56       |

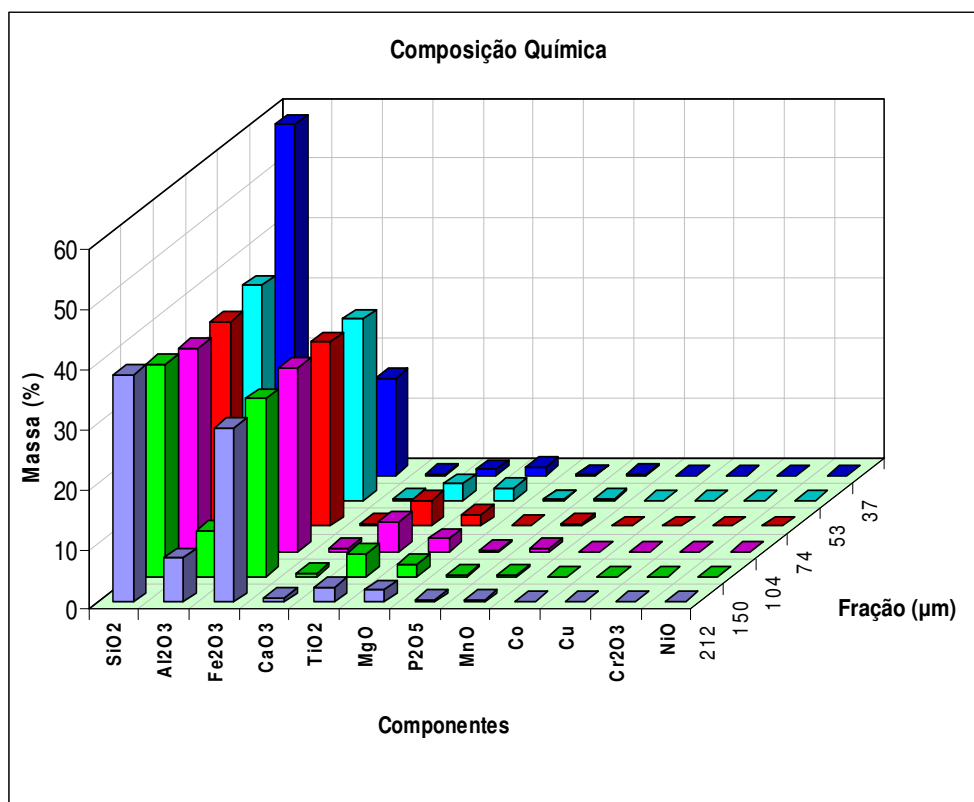


Figura 36 – Composição química do material afundado.

#### 5.4.3.2. Separação magnética

Os resultados das análises químicas obtidas na separação magnética estão apresentados nas Tabelas 11, 12, 13, 14, 15, e 16. As tabelas contêm os resultados da composição química para as seguintes frações: -300+212; -212+150; -150+104; -104+74; -74+53; e -53+37µm. Observa-se que em todas as frações a predominância de SiO<sub>2</sub> seguida pelo Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> e em menor porcentagem o MgO.

Nota-se que em todas as frações, à medida que a intensidade de corrente aumenta também se eleva a quantidade de quartzo, isto ocorre porque o mineral é susceptível a uma intensidade de corrente superior a 1,0A. Contrariamente ao que acontece com o Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> que diminui à medida que a intensidade de corrente aumenta exceto nas frações -300+212 e -212+150µm. Nessas frações o Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se encontra associado a minerais que dificultam sua separação.

Tabela 11 – Composição química (% em massa) da fração -300+212µm.

| Mineral                            | Intensidade de corrente (A) |             |             |             |             |             |
|------------------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                    | 0,30                        | 0,50        | 0,75        | 1,0         | 1,25        | FNM         |
| <b>SiO<sub>2</sub></b>             | 17,7                        | 43,3        | 48,7        | 37,7        | 33,3        | 14,6        |
| <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 2,88                        | 7,20        | 10,6        | 9,80        | 9,86        | 1,73        |
| <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 46,3                        | 25,3        | 18,6        | 27,3        | 32,1        | 43,7        |
| <b>CaO<sub>3</sub></b>             | 0,49                        | 0,80        | 0,57        | 0,40        | 0,33        | 0,53        |
| <b>TiO<sub>2</sub></b>             | <b>0,73</b>                 | <b>2,58</b> | <b>4,35</b> | <b>3,54</b> | <b>1,97</b> | <b>0,33</b> |
| <b>MgO</b>                         | 4,12                        | 3,38        | 1,61        | 0,67        | 0,57        | 1,07        |
| <b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>  | 0,110                       | 0,252       | 0,466       | 0,733       | 0,353       | 0,340       |
| <b>MnO</b>                         | 0,88                        | 0,67        | 0,21        | 0,04        | 0,02        | 0,02        |
| <b>Co</b>                          | <0,005                      | <0,005      | <0,005      | 0,04        | 0,02        | 0,06        |
| <b>Cu</b>                          | 0,06                        | 0,03        | 0,02        | 0,05        | 0,05        | 0,04        |
| <b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 0,16                        | 0,11        | <0,01       | <0,01       | <0,01       | 0,08        |
| <b>NiO</b>                         | <0,01                       | <0,01       | <0,01       | 0,04        | 0,04        | 0,04        |
| <b>P.F.</b>                        | 24,97                       | 13,71       | 9,48        | 15,14       | 18,53       | 31,63       |
| <b>Total</b>                       | 98,42                       | 97,35       | 94,63       | 95,46       | 97,15       | 94,17       |

Tabela 12 – Composição química (% em massa) da fração -212+150µm.

| Mineral                            | Intensidade de corrente (A) |             |             |             |             |             |
|------------------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                    | 0,30                        | 0,50        | 0,75        | 1,0         | 1,25        | FNM         |
| <b>SiO<sub>2</sub></b>             | 19,2                        | 41,5        | 48,6        | 39,0        | 34,5        | 16,30       |
| <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 3,52                        | 7,40        | 10,30       | 9,86        | 12,8        | 2,69        |
| <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 44,9                        | 25,2        | 19,4        | 25,7        | 26,9        | 41,2        |
| <b>CaO<sub>3</sub></b>             | 0,45                        | 0,75        | 0,55        | 0,45        | 0,32        | 0,58        |
| <b>TiO<sub>2</sub></b>             | <b>2,75</b>                 | <b>4,97</b> | <b>5,30</b> | <b>4,65</b> | <b>2,66</b> | <b>0,51</b> |
| <b>MgO</b>                         | 4,27                        | 3,17        | 1,62        | 0,84        | 0,67        | 1,08        |
| <b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>  | 0,109                       | 0,230       | 0,465       | 0,666       | 0,380       | 0,358       |
| <b>MnO</b>                         | 0,89                        | 0,64        | 0,21        | 0,07        | 0,02        | 0,02        |
| <b>Co</b>                          | <0,005                      | <0,005      | <0,005      | 0,01        | 0,04        | 0,07        |
| <b>Cu</b>                          | 0,03                        | 0,02        | 0,01        | 0,06        | 0,05        | 0,02        |
| <b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 0,08                        | 0,09        | 0,03        | <0,01       | 0,01        | 0,04        |
| <b>NiO</b>                         | 0,01                        | <0,01       | <0,01       | 0,06        | 0,04        | 0,02        |
| <b>P.F.</b>                        | 22,44                       | 13,01       | 9,49        | 14,34       | 16,55       | 30,86       |
| <b>Total</b>                       | 98,65                       | 97,00       | 96,01       | 95,72       | 94,94       | 93,75       |

Tabela 13 – Composição química (% em massa) da fração -150+104µm.

| Mineral                            | Intensidade de corrente (A) |             |             |             |             |             |             | FNM         |
|------------------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                    | 0,30                        | 0,50        | 0,75        | 1,0         | 1,25        | 1,50        | 1,75        |             |
| <b>SiO<sub>2</sub></b>             | 19,9                        | 37,3        | 44,3        | 37,5        | 34,9        | 37,8        | 36,0        | 19,0        |
| <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 3,66                        | 7,16        | 9,37        | 9,09        | 14,5        | 17,9        | 15,8        | 2,99        |
| <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 43,2                        | 27,7        | 21,8        | 26,5        | 25,0        | 21,4        | 24,2        | 21,1        |
| <b>CaO<sub>3</sub></b>             | 0,42                        | 0,75        | 0,76        | 0,44        | 0,30        | 0,25        | 0,28        | 0,56        |
| <b>TiO<sub>2</sub></b>             | <b>6,66</b>                 | <b>7,15</b> | <b>5,81</b> | <b>5,11</b> | <b>2,56</b> | <b>1,83</b> | <b>1,68</b> | <b>0,62</b> |
| <b>MgO</b>                         | 4,29                        | 3,02        | 1,89        | 0,97        | 0,77        | 0,76        | 0,70        | 0,48        |
| <b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>  | 0,104                       | 0,234       | 0,405       | 0,634       | 0,365       | 0,220       | 0,211       | 0,399       |
| <b>MnO</b>                         | 0,89                        | 0,70        | 0,34        | 0,12        | 0,03        | 0,02        | 0,02        | 0,02        |
| <b>Co</b>                          | <0,005                      | 0,005       | <0,005      | 0,006       | 0,03        | 0,02        | <0,005      | 0,03        |
| <b>Cu</b>                          | 0,01                        | <0,01       | 0,02        | 0,07        | 0,08        | 0,04        | 0,03        | <0,01       |
| <b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 0,16                        | 0,07        | 0,11        | 0,01        | 0,02        | <0,01       | <0,01       | 0,07        |
| <b>NiO</b>                         | <0,01                       | <0,01       | <0,01       | 0,04        | 0,04        | 0,03        | 0,03        | <0,01       |
| <b>P.F.</b>                        | 20,26                       | 13,35       | 10,76       | 14,68       | 15,45       | 13,91       | 15,57       | 29,86       |
| <b>Total</b>                       | 99,57                       | 97,46       | 95,58       | 95,17       | 94,05       | 94,19       | 94,54       | 75,15       |

Tabela 14 – Composição química (% em massa) da fração -104+74µm.

| Mineral                            | Intensidade de corrente (A) |             |             |             |             |             |             | FNM         |
|------------------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                    | 0,30                        | 0,50        | 0,75        | 1,0         | 1,25        | 1,50        | 1,75        |             |
| <b>SiO<sub>2</sub></b>             | 18,2                        | 34,5        | 43,4        | 39,1        | 43,0        | 42,9        | 44,1        | 38,3        |
| <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 3,38                        | 5,90        | 7,57        | 9,22        | 15,1        | 17,7        | 18,6        | 5,46        |
| <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 43,6                        | 30,4        | 23,9        | 25,4        | 19,5        | 17,8        | 17,6        | 17,9        |
| <b>CaO<sub>3</sub></b>             | 0,45                        | 0,74        | 0,67        | 0,41        | 0,33        | 0,26        | 0,25        | 0,48        |
| <b>TiO<sub>2</sub></b>             | <b>6,54</b>                 | <b>8,25</b> | <b>6,44</b> | <b>3,55</b> | <b>1,77</b> | <b>1,53</b> | <b>1,41</b> | <b>0,67</b> |
| <b>MgO</b>                         | 4,92                        | 3,41        | 1,88        | 0,97        | 0,78        | 0,81        | 0,86        | 0,48        |
| <b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>  | 0,117                       | 0,229       | 0,445       | 0,625       | 0,318       | 0,236       | 0,197       | 0,301       |
| <b>MnO</b>                         | 0,97                        | 0,91        | 0,65        | 0,15        | 0,03        | 0,02        | 0,02        | 0,02        |
| <b>Co</b>                          | <0,005                      | <0,005      | 0,006       | 0,01        | 0,03        | 0,02        | 0,02        | 0,02        |
| <b>Cu</b>                          | <0,01                       | <0,01       | 0,03        | 0,11        | 0,08        | 0,06        | 0,04        | <0,01       |
| <b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 0,08                        | 0,14        | 0,08        | <0,01       | 0,01        | <0,01       | 0,27        | 0,04        |
| <b>NiO</b>                         | <0,01                       | <0,01       | <0,01       | 0,04        | 0,02        | 0,03        | 0,03        | <0,01       |
| <b>P.F.</b>                        | 21,32                       | 13,89       | 12,23       | 14,79       | 12,69       | 11,99       | 11,98       | 20,50       |
| <b>Total</b>                       | 99,60                       | 98,39       | 97,31       | 94,39       | 93,66       | 93,37       | 95,38       | 84,19       |

Tabela 15 – Composição química (% em massa) da fração -74+53µm.

| Mineral                            | Intensidade de corrente (A) |             |             |             |             |             |             | FNM         |
|------------------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                    | 0,30                        | 0,50        | 0,75        | 1,0         | 1,25        | 1,50        | 1,75        |             |
| <b>SiO<sub>2</sub></b>             | 13,3                        | 25,4        | 37,4        | 40,5        | 45,4        | 45,2        | 45,2        | 54,1        |
| <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 2,52                        | 4,20        | 5,98        | 7,13        | 15,9        | 17,4        | 19,0        | 7,35        |
| <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 44,6                        | 38,3        | 28,1        | 26,0        | 17,3        | 16,6        | 15,7        | 15,3        |
| <b>CaO<sub>3</sub></b>             | 3,43                        | 0,62        | 0,75        | 0,48        | 0,28        | 0,25        | 0,23        | 0,35        |
| <b>TiO<sub>2</sub></b>             | <b>2,97</b>                 | <b>7,27</b> | <b>6,54</b> | <b>3,16</b> | <b>1,54</b> | <b>1,37</b> | <b>1,27</b> | <b>0,66</b> |
| <b>MgO</b>                         | 5,30                        | 4,46        | 2,75        | 1,21        | 0,92        | 0,86        | 0,87        | 0,73        |
| <b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>  | 0,104                       | 0,189       | 0,353       | 0,630       | 0,345       | 0,259       | 0,214       | 0,236       |
| <b>MnO</b>                         | 1,05                        | 1,05        | 1,30        | 0,48        | 0,06        | 0,03        | 0,03        | 0,02        |
| <b>Co</b>                          | <0,005                      | <0,005      | <0,005      | <0,005      | 0,03        | 0,006       | 0,03        | 0,03        |
| <b>Cu</b>                          | <0,01                       | 0,03        | 0,02        | 0,11        | 0,11        | 0,09        | 0,08        | 0,02        |
| <b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 0,06                        | 0,11        | 0,04        | <0,01       | <0,01       | 0,01        | <0,01       | 0,03        |
| <b>NiO</b>                         | <0,01                       | <0,01       | <0,01       | 0,06        | 0,03        | 0,03        | 0,03        | <0,01       |
| <b>P.F.</b>                        | 25,41                       | 17,99       | 13,84       | 14,68       | 11,29       | 11,04       | 10,88       | 13,44       |
| <b>Total</b>                       | 98,77                       | 97,09       | 97,09       | 94,46       | 93,22       | 93,15       | 93,54       | 92,28       |

Tabela 16 – Composição química (% em massa) da fração -53+37µm.

| Mineral                            | Intensidade de corrente (A) |             |             |             |             |  | FNM         |
|------------------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|-------------|
|                                    | 0,30                        | 0,50        | 0,75        | 1,0         | 1,25        |  |             |
| <b>SiO<sub>2</sub></b>             | 11,4                        | 20,5        | 34,2        | 41,3        | 49,9        |  | 72,5        |
| <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 2,28                        | 3,45        | 6,44        | 9,05        | 16,5        |  | 7,35        |
| <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 48,5                        | 41,2        | 30,8        | 24,8        | 14,4        |  | 9,63        |
| <b>CaO<sub>3</sub></b>             | 0,50                        | 0,64        | 0,66        | 0,60        | 0,37        |  | 0,29        |
| <b>TiO<sub>2</sub></b>             | <b>1,83</b>                 | <b>4,30</b> | <b>3,20</b> | <b>2,49</b> | <b>1,37</b> |  | <b>0,45</b> |
| <b>MgO</b>                         | 6,30                        | 5,33        | 3,95        | 2,83        | 1,40        |  | 0,60        |
| <b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>  | 0,107                       | 0,165       | 0,226       | 0,375       | 0,321       |  | 0,193       |
| <b>MnO</b>                         | 1,18                        | 1,21        | 1,11        | 0,89        | 0,23        |  | 0,01        |
| <b>Co</b>                          | <0,005                      | <0,005      | <0,005      | 0,01        | <0,005      |  | <0,005      |
| <b>Cu</b>                          | 0,03                        | <0,01       | <0,01       | 0,05        | 0,07        |  | 0,02        |
| <b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 0,01                        | <0,01       | 0,05        | 0,02        | <0,01       |  | 0,08        |
| <b>NiO</b>                         | <0,01                       | <0,01       | <0,01       | 0,04        | 0,04        |  | <0,01       |
| <b>P.F.</b>                        | 27,77                       | 22,46       | 17,21       | 14,1        | 9,22        |  | 6,66        |
| <b>Total</b>                       | 99,92                       | 99,29       | 97,87       | 96,56       | 93,84       |  | 97,80       |

Na Tabela 17 e Figura 37 mostra-se o comportamento do  $\text{TiO}_2$  na separação magnética. A distribuição do titânio em todas as frações granulométricas, e a diferentes intensidades de corrente utilizados na separação magnética. Observa-se que foram obtidos melhores resultados nas frações -150+104 e -104+74 $\mu\text{m}$  e em intensidades de corrente de 0,3A e 0,5A. Nessas frações concentra-se um alto teor de  $\text{TiO}_2$ .

Tabela 17 – Resultados da separação de % em massa do  $\text{TiO}_2$  na separação magnética.

| Fração ( $\mu\text{m}$ ) | Intensidade de corrente (A) |      |      |      |      |      |      | N.M. |
|--------------------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                          | 0,30                        | 0,50 | 0,75 | 1,00 | 1,25 | 1,50 | 1,75 |      |
| -300+212                 | 0,73                        | 2,58 | 4,53 | 3,54 | 1,99 | --   | --   | 0.33 |
| -212+150                 | 2,75                        | 4,97 | 5,3  | 4,65 | 2,66 | --   | --   | 0.51 |
| -150+104                 | 6,66                        | 7,15 | 5,81 | 5,11 | 2,56 | 1.83 | 1.68 | 0.62 |
| -104+74                  | 6,54                        | 8,25 | 6,44 | 3,55 | 1,77 | 1.53 | 1.41 | 0.67 |
| -74+53                   | 2,97                        | 7,27 | 6,54 | 3,16 | 1,54 | 1.37 | 1.27 | 0.66 |
| -53+37                   | 1,83                        | 4,3  | 3,2  | 2,49 | 1,37 | --   | --   | 0.45 |

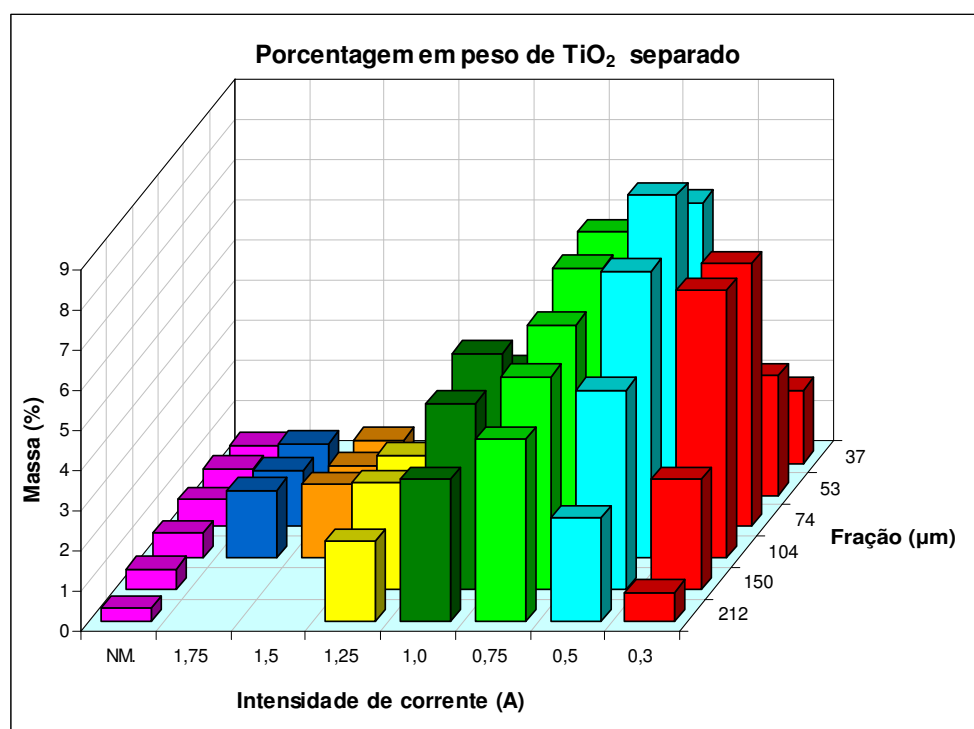


Figura 37 – Distribuição do  $\text{TiO}_2$  obtidas na separação magnética.

Na Figura 38 são apresentadas comparações feitas com respeito à composição do  $\text{TiO}_2$  presente nas frações magnéticas. Pode observar-se que em quase todas as frações magnéticas há um baixo teor de  $\text{TiO}_2$ . Por exemplo, para uma intensidade de corrente de 0,3A de todas as frações separadas, o teor máximo conseguido é de aproximadamente 40% (na fração -150+104 $\mu\text{m}$ ) referente ao total do material magnético (Figura 39).

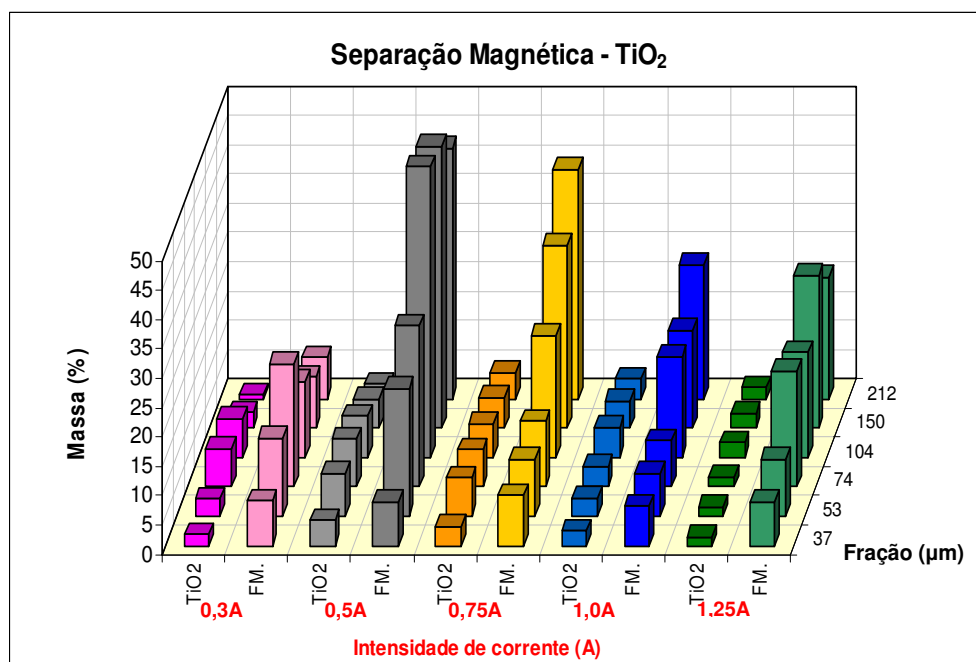


Figura 38 – Gráfico comparativo da distribuição do  $\text{TiO}_2$  na separação magnética em diferentes granulométricas e em intensidades de corrente.

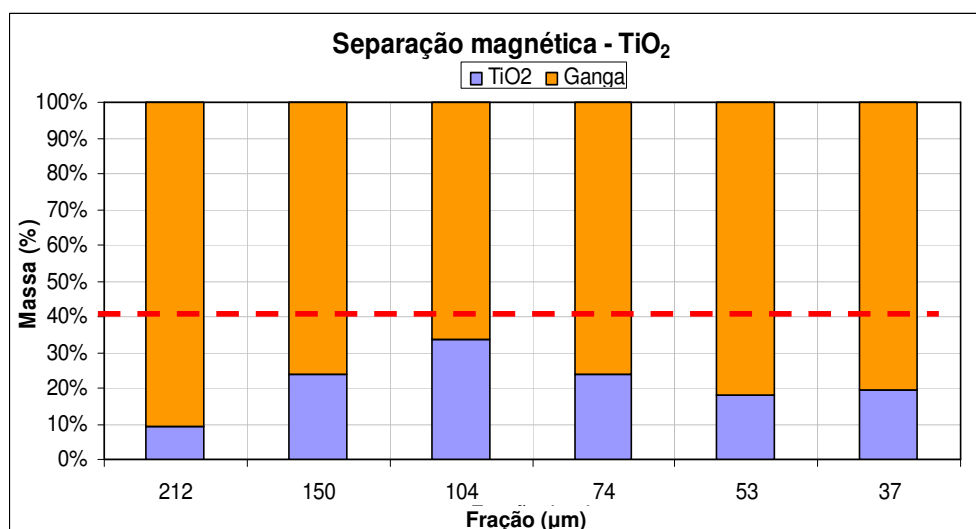


Figura 39 – Porcentagem de  $\text{TiO}_2$  presente no material magnético para uma intensidade de corrente 0,3A das diferentes frações separadas.

#### 5.4.4. Microscopia Co-localizada MO-MEV

O minério de ouro da RPM está composto em maior parte de minerais que oferecem pouca refletância à luz do microscópio óptico (quartzo, feldspato, siderita e caulinita) que dificulta sua identificação e discriminação.

Na Tabela 18 apresentam-se alguns minerais de difícil discriminação. O minério da RPM apresenta diversos minerais de número atômico médio semelhante, o que dificulta a discriminação nas imagens de elétrons retro-espalhados (BSE) obtidas ao MEV. Também são apresentados minerais de cores similares no microscópio óptico.

Tabela 18 – Alguns minerais presentes no minério de ouro da RPM.

| <b>Mineral</b> | <b>Formula química</b>                                                                      | <b>Cor ao MO <sup>(1)</sup></b>           | <b>Z <sup>(2)</sup></b> |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------|
| Galena         | PbS <sub>2</sub>                                                                            | Branco                                    | 73,4                    |
| Arsenopirita   | AsFeS <sub>2</sub>                                                                          | Branco, amarelo claro                     | 27,3                    |
| Esfarelita     | ZnS <sub>2</sub>                                                                            | Cinza médio                               | 25,4                    |
| Calcopirita    | CuFeS <sub>2</sub>                                                                          | Amarelo distintivo, esverdeada ou marrom. | 23,5                    |
| Pirita         | FeS <sub>2</sub>                                                                            | Amarelo claro                             | 20,7                    |
| Ilmenita       | FeTiO <sub>3</sub>                                                                          | Cinza acastanhada                         | 19,01                   |
| Siderita       | FeCO <sub>3</sub>                                                                           | Cinza escuro                              | <b>16,5</b>             |
| Rutilo         | TiO <sub>2</sub>                                                                            | Cinza com matiz azulado                   | <b>16,4</b>             |
| Anatásio       | TiO <sub>2</sub>                                                                            | Cinza azulado                             | <b>16,4</b>             |
| Msc-Py         | FeS <sub>2</sub> , KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH,F) <sub>2</sub> | Amarelo creme                             | 15,8                    |
| Feldspato      | KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>                                                           | Cinza escuro                              | <b>11,8</b>             |
| Quartzo        | SiO <sub>2</sub>                                                                            | Cinza escuro                              | <b>10,8</b>             |
| Caulinita      | Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>                            | Cinza escuro                              | <b>10,2</b>             |

<sup>1</sup> Microscópio Óptico de Luz Refletida. Fonte: ATLASES IN GEOSCIENCE, 2008.

<sup>2</sup> Número atômico médio calculado a partir da composição teórica do mineral. MLA *Mineral Database Maker* 2008.

Na Figura 40 mostra-se uma imagem adquirida ao microscópio óptico de luz refletida, alguns minerais foram identificados como a ilmenita, pirita, arsenopirita e siderita. O quartzo, feldspato e a caulinita apresentam cores similares que dificulta a sua identificação e discriminação.

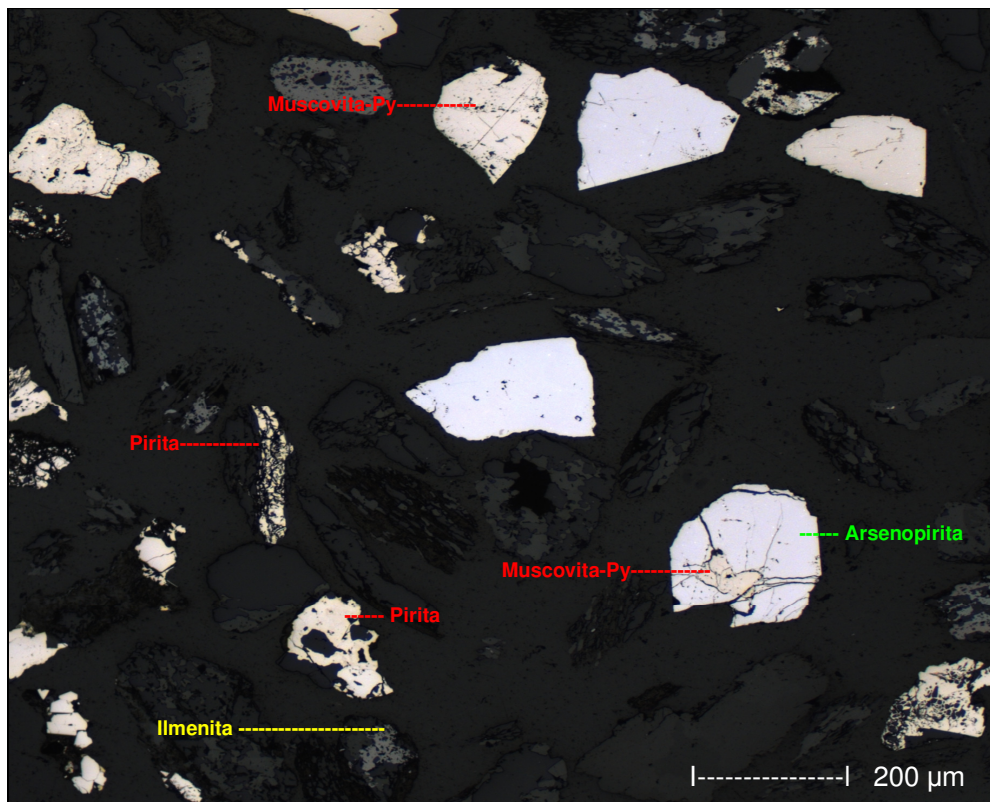


Figura 40 – Imagem obtida no microscópio óptico.

A figura 41 apresenta imagens de um mesmo campo da amostra da RPM adquirida ao microscópio óptico de luz refletida e ao MEV, elétrons retro-espalhados (BSE) e de energia dispersiva de raios X (EDS). Na imagem de BSE observa-se que as fases de siderita, rutilo e anatásio são difíceis de distinguir, devido à proximidade de seus números atômicos médios (16,5; 16,4 e 16,4). No mesmo campo, tem-se dificuldade para distinguir e discriminar o feldspato, quartzo e caulinita nas imagens ao MO devido à semelhança nas suas cores. O problema das imagens do BSE e das imagens ao MO são resolvidos com a realização de EDSs pontuais feitos no MEV mediante a medição sistemática do MLA. O sistema ajuda a discriminar os minerais de  $Z$  similar.

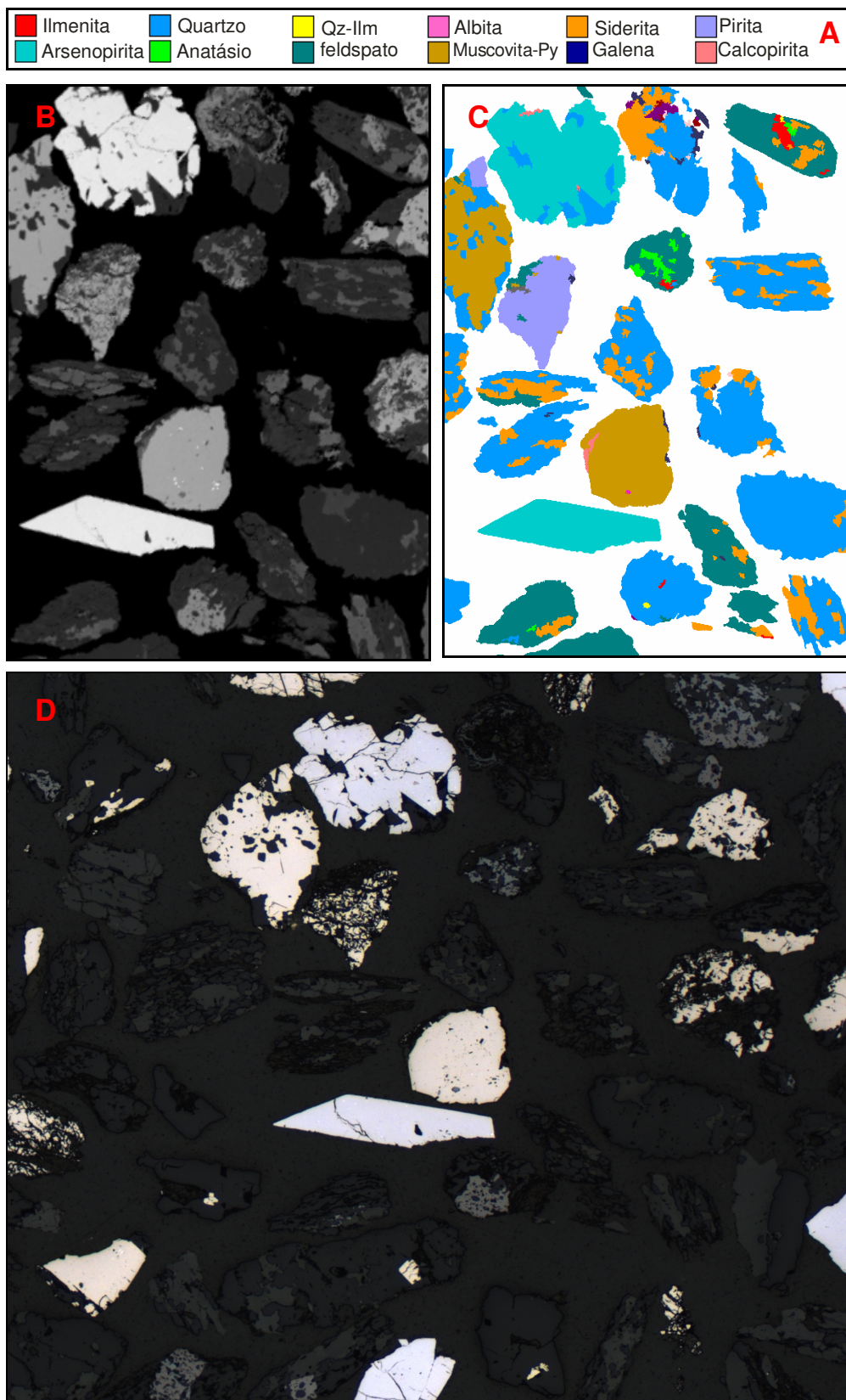


Figura 41 – Comparação de fases: (A) tabela de cores do MLA; (B) imagem de MEV (BSE); (C) imagem de MLA; (D) imagem de MO.

#### 5.4.5. **Mineral Liberation Analyzer (MLA)**

As frações que foram analisadas mediante o sistema MLA são as seguintes: -300+212; -212+150; -150+104; -104+74; -74+53 e -53+37 $\mu$ m. Essas frações foram obtidas da separação em meio denso, material afundado. A Figura 42 mostra uma janela processada e segmentada com os resultados da fração -150+104 $\mu$ m onde são apresentados todos os minerais que foram discriminados e identificados com o uso do sistema MLA.

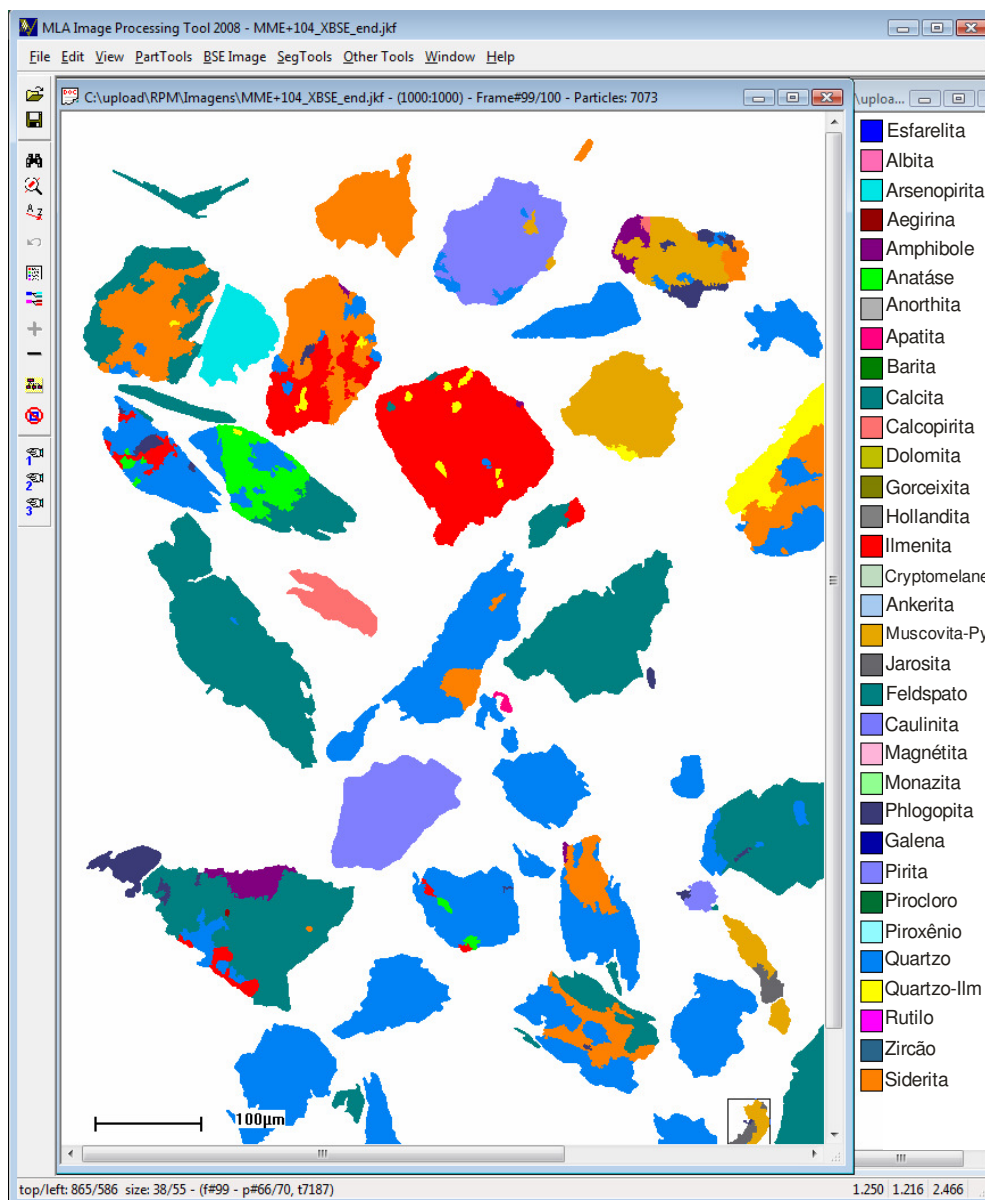


Figura 42 – Apresentação de alguns minerais que foram segmentados (fração -150+104 $\mu$ m): *MLA Image Processing Tool*.

A Figura 43 mostra uma partícula de ilmenita adquirida no MEV (elétrons retro-espalhados). Com ajuda da espectroscopia de energia dispersiva de raios X (EDS) é possível identificar todos os componentes desta partícula. Após o processamento e segmentação no sistema MLA se consegue a identificação total da partícula (Figura 44).

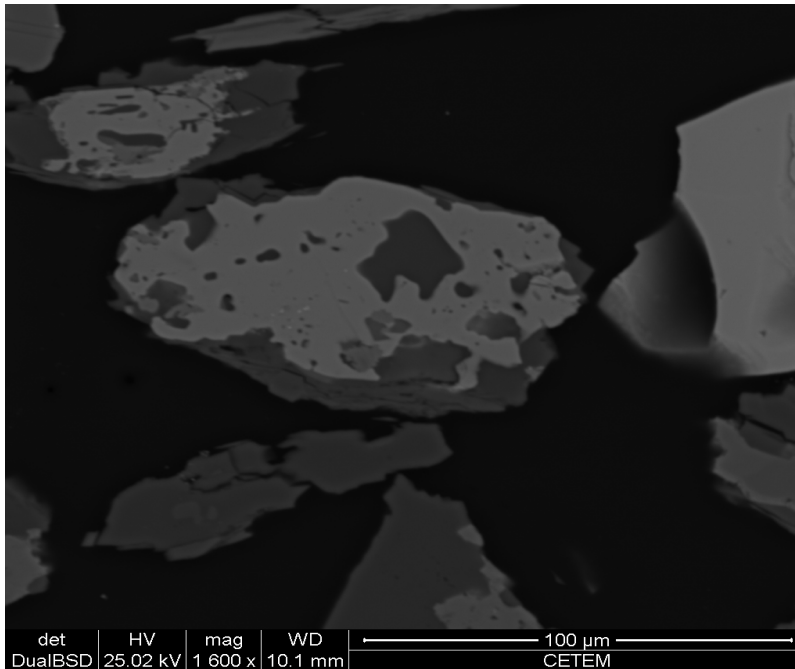


Figura 43 – Microfotografia da ilmenita obtida no MEV.

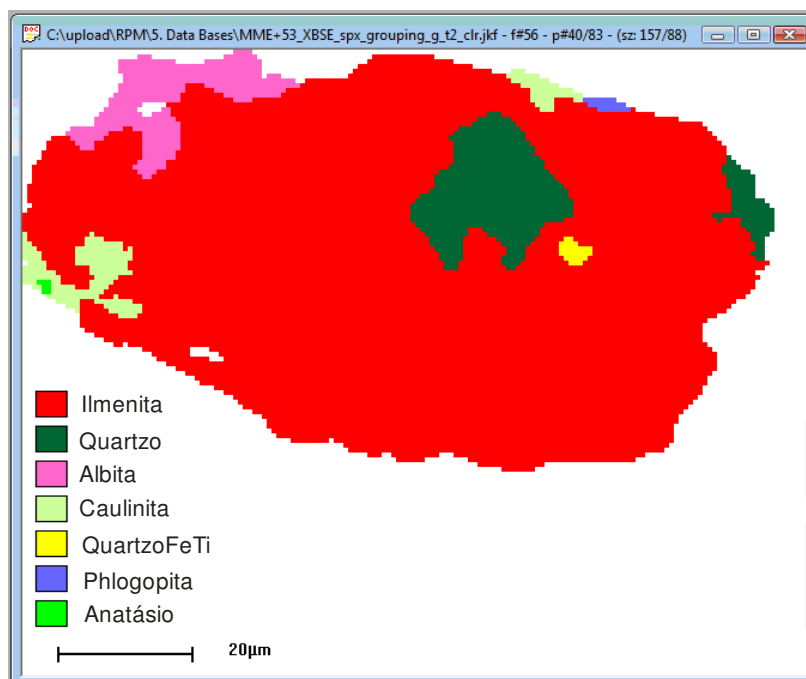


Figura 44 – Microfotografia da ilmenita após a segmentação no MLA.

Outro exemplo da interação do MEV com o sistema MLA para a discriminação e identificação de minerais em uma partícula determinada é mostrado nas Figuras 45 e 46. Nessas figuras é possível observar uma partícula de rutilo e seus componentes.

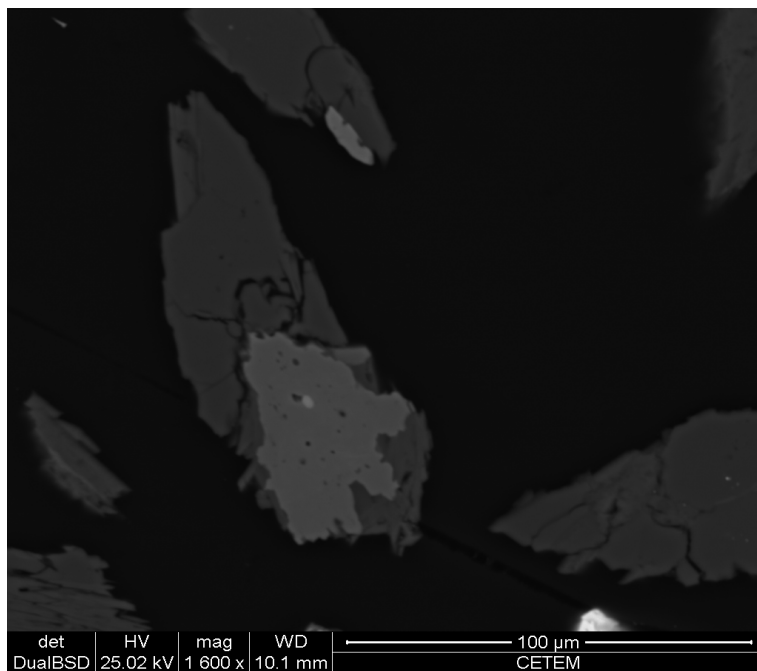


Figura 45 – Microfotografia do rutilo obtida no MEV.

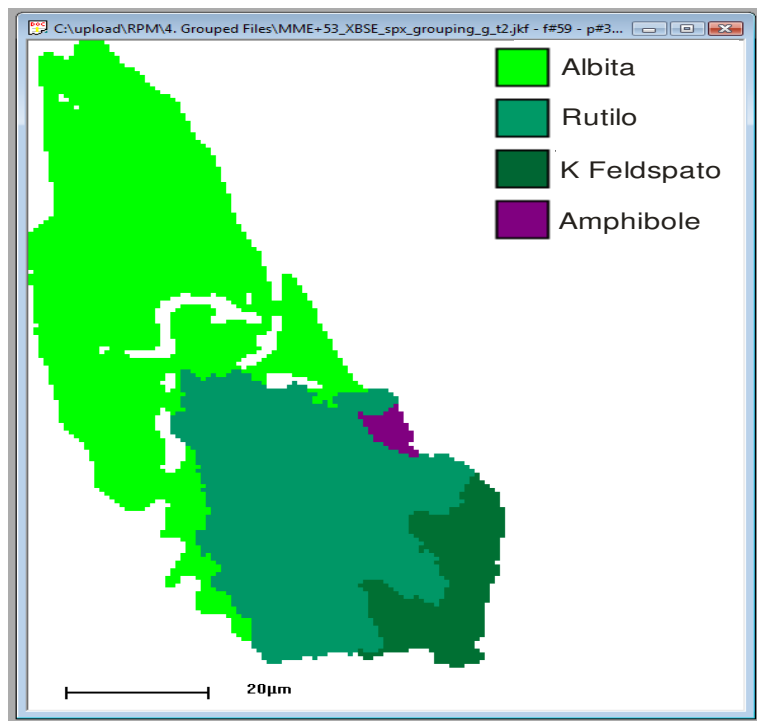


Figura 46 – Microfotografia do rutilo após a segmentação no MLA.

### 5.4.5.1.

#### Composição mineralógica e elementar do minério da RPM

Os resultados apresentados na Tabela 19 e Figura 47 são do material afundado do minério da RPM de diferentes granulometrias. Este é composto principalmente de quartzo, siderita, muscovita, feldspato arsenopirita, pirita e ilmenita.

Tabela 19 – Composição mineralógica do minério da RPM em diferentes frações.

| Mineral         | -300+212 $\mu\text{m}$<br>Peso (%) | -212+150 $\mu\text{m}$<br>Peso (%) | -150+104 $\mu\text{m}$<br>Peso (%) | -104+74 $\mu\text{m}$<br>Peso (%) | -74+53 $\mu\text{m}$<br>Peso (%) | -53+37 $\mu\text{m}$<br>Peso (%) |
|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Esfarelita      | 0,19                               | 0,15                               | 0,08                               | 0,27                              | 0,32                             | 0,08                             |
| Albita          | 0,75                               | 0,67                               | 0,82                               | 0,97                              | 1,13                             | 2,55                             |
| Arsenopirita    | 9,80                               | 6,90                               | 8,64                               | 10,47                             | 8,04                             | 4,20                             |
| Aegirina        | 0,10                               | 0,02                               | 0,04                               | 0,10                              | 0,05                             | 0,10                             |
| Amfibola        | 0,72                               | 1,10                               | 1,04                               | 1,08                              | 1,50                             | 1,68                             |
| Anatásio        | 0,67                               | 1,26                               | 1,53                               | 1,08                              | 0,99                             | 0,70                             |
| Anorthita       | 0,01                               | 0,00                               | 0,00                               | 0,01                              | 0,00                             | 0,03                             |
| Apatita         | 0,35                               | 0,47                               | 0,34                               | 0,26                              | 0,55                             | 0,39                             |
| Barita          | 0,00                               | 0,01                               | 0,01                               | 0,01                              | 0,00                             | 0,01                             |
| Calcita         | 0,00                               | 0,00                               | 0,01                               | 0,00                              | 0,00                             | 0,01                             |
| Calcopirita     | 0,90                               | 0,73                               | 0,77                               | 0,58                              | 0,72                             | 0,32                             |
| Dolomita        | 0,05                               | 0,01                               | 0,00                               | 0,00                              | 0,00                             | 0,00                             |
| Gorceixita      | 0,03                               | 0,00                               | 0,00                               | 0,02                              | 0,00                             | 0,00                             |
| Holandita       | 0,00                               | 0,14                               | 0,26                               | 0,28                              | 0,23                             | 0,18                             |
| Ilmenita        | 1,95                               | 4,58                               | 6,91                               | 6,59                              | 5,04                             | 2,10                             |
| Cryptomelane    | 0,12                               | 0,04                               | 0,08                               | 0,01                              | 0,03                             | 0,00                             |
| Ankerita        | 0,36                               | 0,31                               | 0,29                               | 0,07                              | 0,03                             | 0,00                             |
| Muscovita-Py    | 15,43                              | 12,34                              | 10,83                              | 13,67                             | 12,68                            | 5,55                             |
| Jarosita        | 0,22                               | 0,30                               | 0,32                               | 0,52                              | 0,43                             | 0,23                             |
| Feldspato       | 14,10                              | 16,95                              | 14,66                              | 15,33                             | 16,92                            | 16,16                            |
| Caulonita       | 0,03                               | 0,01                               | 0,00                               | 0,00                              | 0,00                             | 0,00                             |
| Magnetita       | 0,40                               | 0,33                               | 0,52                               | 0,38                              | 0,28                             | 0,27                             |
| Monazita        | 0,19                               | 0,18                               | 0,29                               | 0,19                              | 0,39                             | 0,24                             |
| Phlogopita      | 2,43                               | 2,69                               | 2,39                               | 2,19                              | 2,54                             | 1,52                             |
| Galena          | 0,36                               | 0,39                               | 0,66                               | 0,97                              | 0,70                             | 0,46                             |
| Pirita          | 9,26                               | 6,99                               | 8,22                               | 8,83                              | 8,80                             | 4,15                             |
| Pirocloro       | 0,01                               | 0,01                               | 0,01                               | 0,04                              | 0,03                             | 0,04                             |
| Piroxeno        | 0,01                               | 0,00                               | 0,00                               | 0,01                              | 0,00                             | 0,00                             |
| Quartzo         | 22,41                              | 22,75                              | 21,30                              | 24,00                             | 32,59                            | 55,49                            |
| Quartz_Ilmenita | 1,78                               | 1,51                               | 1,20                               | 1,66                              | 1,59                             | 2,97                             |
| Rutilo          | 0,00                               | 0,00                               | 0,02                               | 0,02                              | 0,02                             | 0,02                             |
| Zircão          | 0,01                               | 0,01                               | 0,01                               | 0,08                              | 0,15                             | 0,12                             |
| Siderita        | 17,36                              | 19,17                              | 18,77                              | 10,34                             | 4,24                             | 0,45                             |
| Total           | 100,00                             | 100,00                             | 100,00                             | 100,00                            | 100,00                           | 100,00                           |

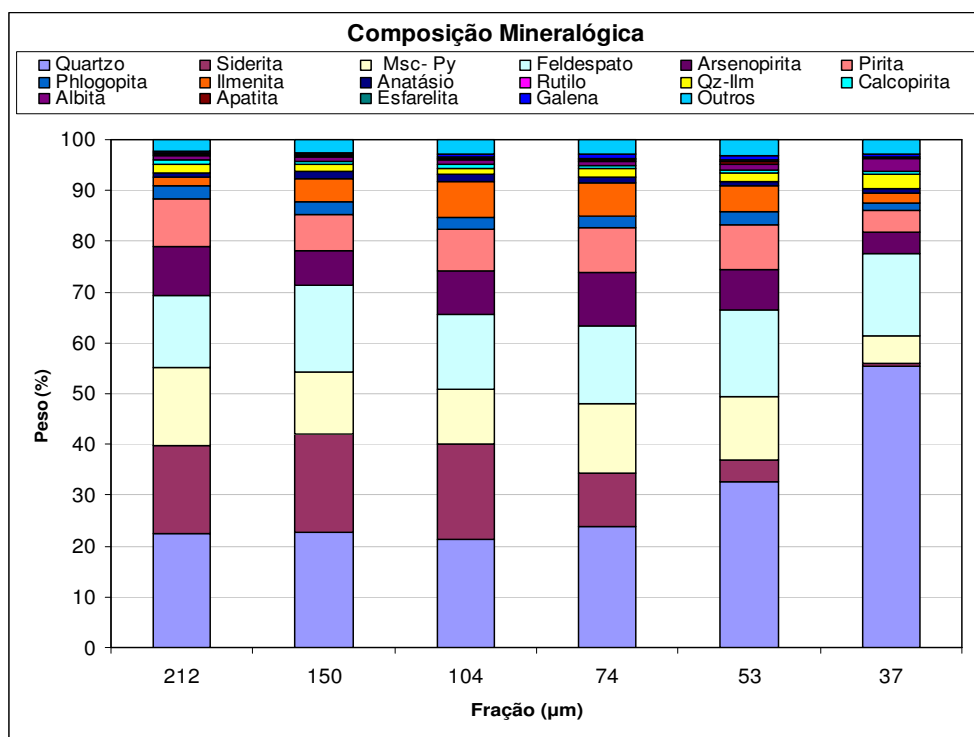


Figura 47 – Composição mineralógica do material afundado na separação no meio denso.

Um detalhe relevante a ser mencionado é que uma grande parte da ilmenita concentra-se nas frações intermediárias de -150+104 e -104+74µm. Isto acontece porque o quartzo é menos dúctil, dessa forma, apresenta maiores concentrações nas frações finas (Figura 48).

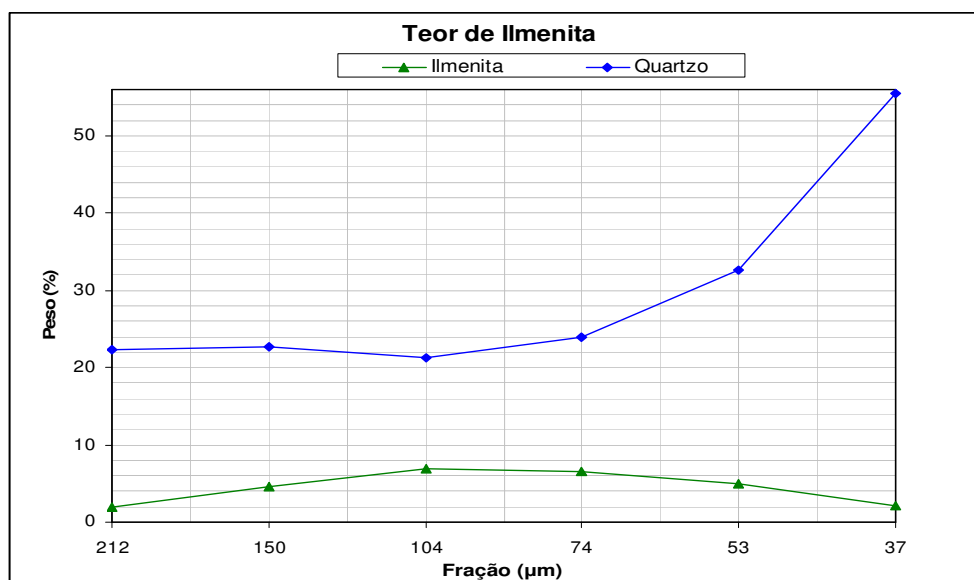


Figura 48 – Comportamento da ilmenita e o quartzo em diferentes frações

Na tabela 20 estão mostrados os resultados da composição elementar do minério da RPM. Os principais elementos presentes são: oxigênio, ferro, silício, enxofre, arsênio, alumínio e titânio.

Tabela 20 – Composição elementar do minério da RPM

| <b>Elemento</b> | <b>-300+212 µm<br/>Peso (%)</b> | <b>-212+150 µm<br/>Peso (%)</b> | <b>-150+104 µm<br/>Peso (%)</b> | <b>-104+74 µm<br/>Peso (%)</b> | <b>-74+53 µm<br/>Peso (%)</b> | <b>-53+37 µm<br/>Peso (%)</b> |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>Al</b>       | 3,23                            | 3,21                            | 2,83                            | 3,19                           | 3,30                          | 2,60                          |
| <b>As</b>       | 4,51                            | 3,17                            | 3,97                            | 4,82                           | 3,70                          | 1,93                          |
| <b>Ba</b>       | 0,01                            | 0,02                            | 0,03                            | 0,04                           | 0,03                          | 0,02                          |
| <b>C</b>        | 1,85                            | 2,02                            | 1,98                            | 1,08                           | 0,44                          | 0,05                          |
| <b>Ca</b>       | 0,29                            | 0,35                            | 0,29                            | 0,22                           | 0,37                          | 0,33                          |
| <b>Ce</b>       | 0,06                            | 0,05                            | 0,09                            | 0,06                           | 0,12                          | 0,07                          |
| <b>Cu</b>       | 0,31                            | 0,25                            | 0,27                            | 0,20                           | 0,25                          | 0,11                          |
| <b>F</b>        | 0,27                            | 0,26                            | 0,22                            | 0,24                           | 0,26                          | 0,14                          |
| <b>Fe</b>       | 21,31                           | 20,27                           | 21,87                           | 19,21                          | 14,54                         | 6,59                          |
| <b>H</b>        | 0,05                            | 0,04                            | 0,04                            | 0,05                           | 0,05                          | 0,03                          |
| <b>K</b>        | 2,99                            | 3,26                            | 2,84                            | 3,07                           | 3,27                          | 2,70                          |
| <b>La</b>       | 0,06                            | 0,05                            | 0,09                            | 0,06                           | 0,12                          | 0,07                          |
| <b>Mg</b>       | 0,51                            | 0,60                            | 0,54                            | 0,51                           | 0,62                          | 0,46                          |
| <b>Mn</b>       | 0,06                            | 0,08                            | 0,15                            | 0,12                           | 0,11                          | 0,08                          |
| <b>Na</b>       | 0,08                            | 0,06                            | 0,08                            | 0,10                           | 0,11                          | 0,24                          |
| <b>Nb</b>       | 0,00                            | 0,00                            | 0,01                            | 0,02                           | 0,01                          | 0,02                          |
| <b>O</b>        | 33,41                           | 36,07                           | 34,45                           | 33,24                          | 35,72                         | 43,97                         |
| <b>P</b>        | 0,09                            | 0,11                            | 0,10                            | 0,08                           | 0,15                          | 0,10                          |
| <b>Pb</b>       | 0,32                            | 0,34                            | 0,58                            | 0,85                           | 0,62                          | 0,41                          |
| <b>S</b>        | 11,44                           | 8,78                            | 9,40                            | 10,91                          | 10,17                         | 4,75                          |
| <b>Si</b>       | 17,72                           | 18,44                           | 16,82                           | 18,73                          | 23,32                         | 33,66                         |
| <b>Ti</b>       | 1,30                            | 2,44                            | 3,30                            | 3,00                           | 2,45                          | 1,56                          |
| <b>Zn</b>       | 0,12                            | 0,09                            | 0,05                            | 0,16                           | 0,19                          | 0,05                          |
| <b>Zr</b>       | 0,01                            | 0,01                            | 0,01                            | 0,04                           | 0,08                          | 0,06                          |
| <b>Total</b>    | 100,00                          | 100,00                          | 100,00                          | 100,00                         | 100,00                        | 100,00                        |

### 5.4.5.2.

## Associação Mineralógica dos minerais portadores de titânio

### 5.4.5.2.1.

#### Ilmenita

A ilmenita ocorre em rochas metamórficas e, associada à magnetita, em grandes massas ou veios de rochas ígneas. Ela também ocorre em todas as faces do granito, mas é mais abundante na facies biotita-anfibólio-quartzo-monzodiorito, onde apresenta igualmente uma maior diversidade textural. (BUDDINGTON e LINDSLEY, 1964; HAGGERTY 1991; DALL'AGNOL et. al., 1997). No caso da ilmenita da RPM também se encontra associada ao quartzo e a outros minerais como feldspato, anatásio e siderita (Figura 49). Observa-se que as partículas de ilmenita representam 24.47% de superfície livre na faixa granulométrica de -300+37 $\mu$ m do minério. Nesta faixa a ilmenita não consegue uma boa liberação devido à dureza do mineral que não permite sua liberação.

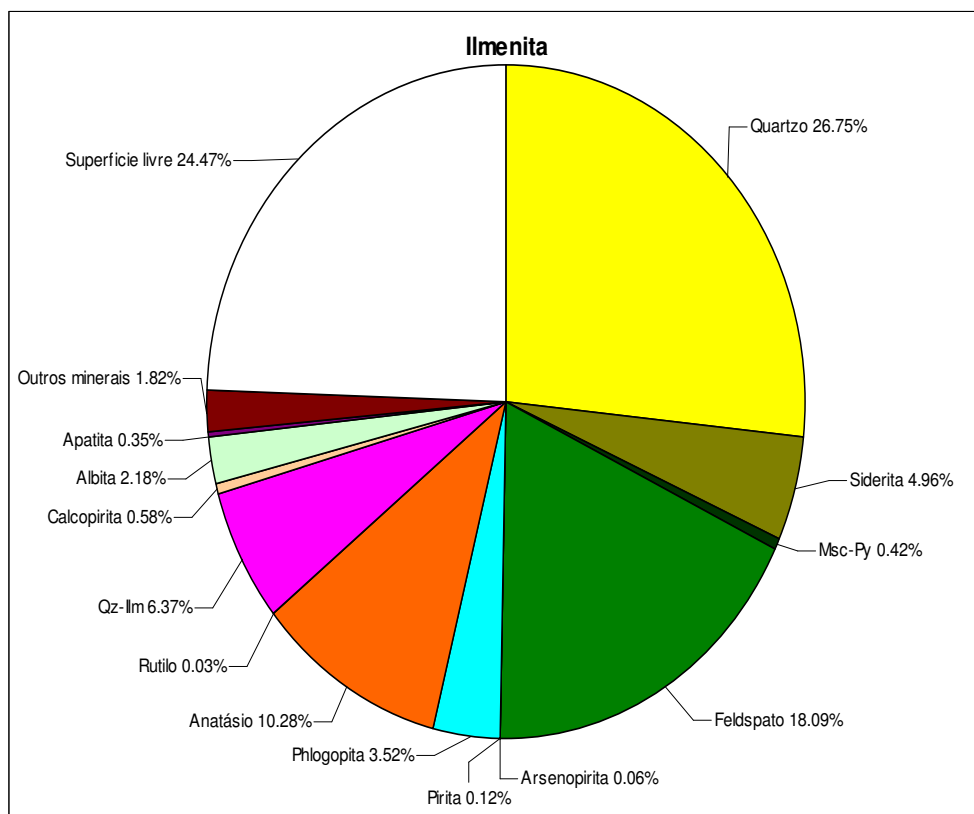


Figura 49 – Associação mineralógica da ilmenita na separação em meio denso realizada no minério total (fração granulométrica: -300+37 $\mu$ m).

Os estudos realizados em faixas de tamanho menores mostram que altos índices de concentrações dos minerais portadores de titânio são encontrados nas frações intermediárias de -150+104 e -104+74 $\mu$ m. A Figura 50 mostra os resultados da fração -150+104 $\mu$ m em termos de associação para a ilmenita, nessa fração se observa um aumento na concentração de ilmenita com respeito à análise global. A fração concentra partículas com maior superfície livre de ilmenita (31,29%)

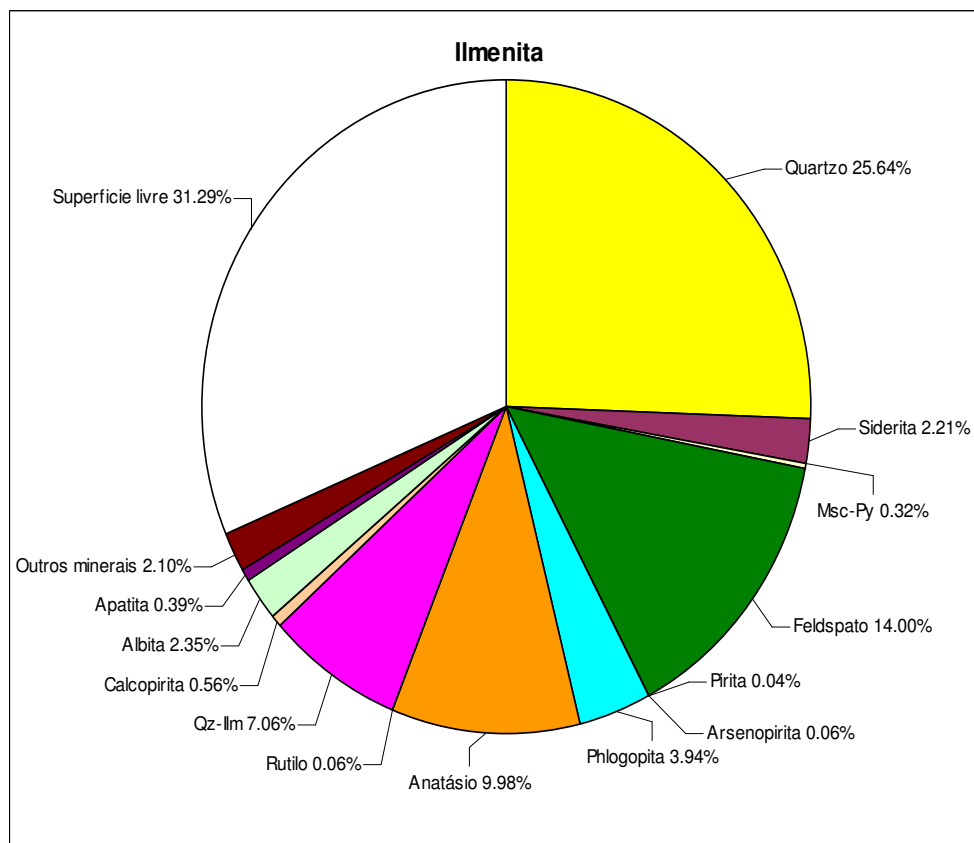


Figura 50 – Associação mineralógica da ilmenita na fração -150+104 $\mu$ m.

A concentração das partículas portadoras de ilmenita não é proporcional à liberação. Na fração -150+104 $\mu$ m a concentração da ilmenita é de 6.91% em massa porém a liberação das partículas de ilmenita não ultrapassa o 1% em massa. Isso acontece devido à dureza da ilmenita com respeito aos outros minerais, não permitindo a sua liberação total. Na Figura 51 se observa que as partículas de ilmenita têm uma boa superfície livre, mas não se conseguem uma liberação total.

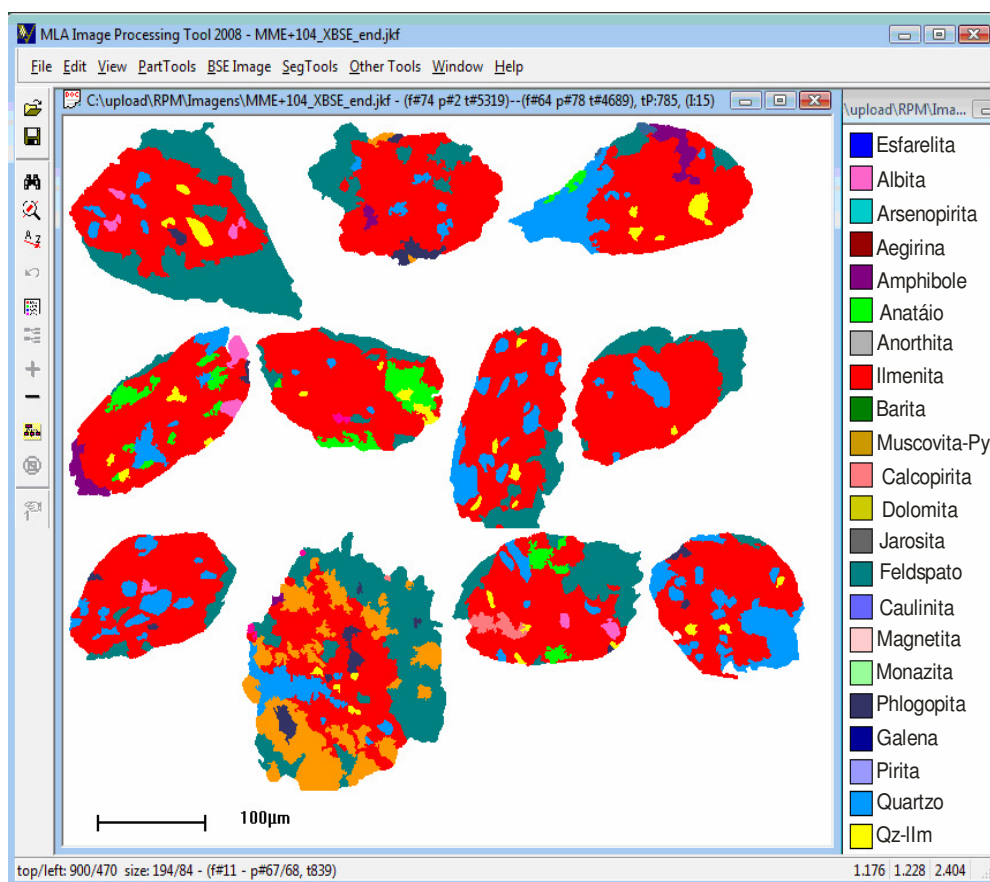


Figura 51 – Associação mineralógica da ilmenita na fração -150+104µm: MLA Image Processing Tool.

#### 5.4.5.2.2. Anatóasio

É um mineral acessório das rochas metamórficas, alcalinas e secundárias, formado pela alteração de outros minerais titaníferos encontrados em granitos, gnaisses xistos, sienitos, fonólitos e carbonatitos.

No minério da RPM se observa que o anatásio se encontra associado principalmente a quartzo, feldspato e ilmenita. A primeira análise realizada no material afundado de fração compreendida entre -300+37µm mostrou que o anatásio apresenta 17.23% de superfície livre, o valor é menor à ilmenita (Figura 52). O anatásio tem o mesmo comportamento que a ilmenita com respeito à liberação, a diferença encontra-se na quantidade de anatásio presente no material. A figura 53 mostra a associação do anatásio na fração -150+104µm, observa-se uma relação íntima com a ilmenita.

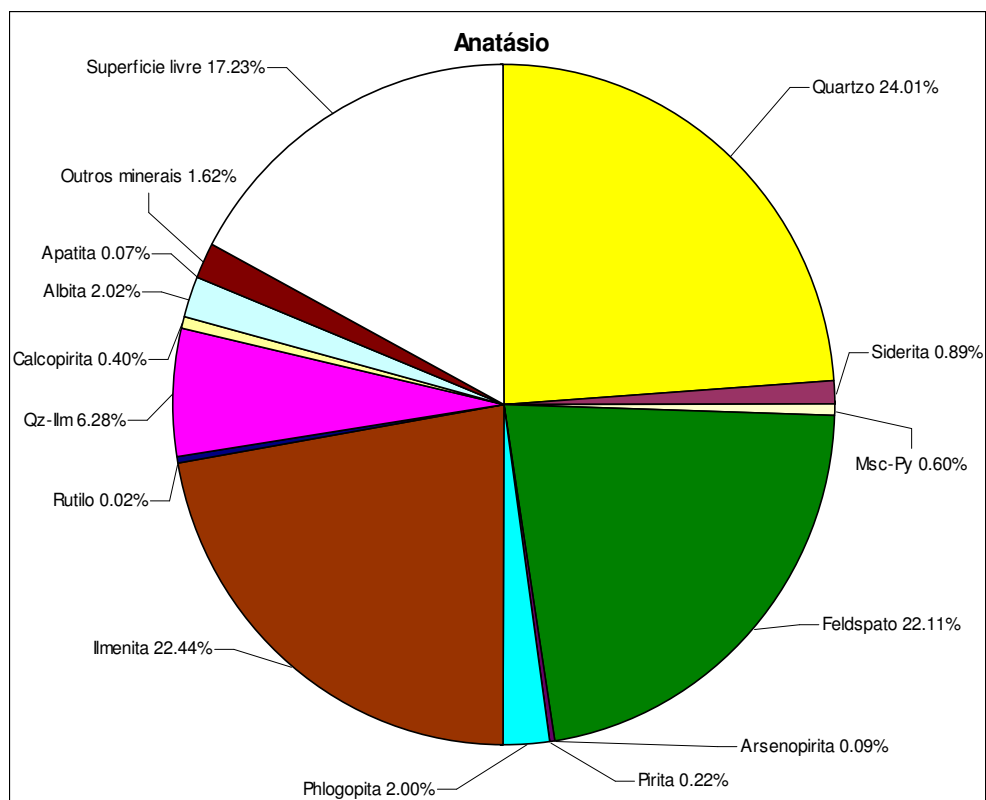


Figura 52 – Associação mineralógica do anatásio na separação em meio denso realizada para o minério total.

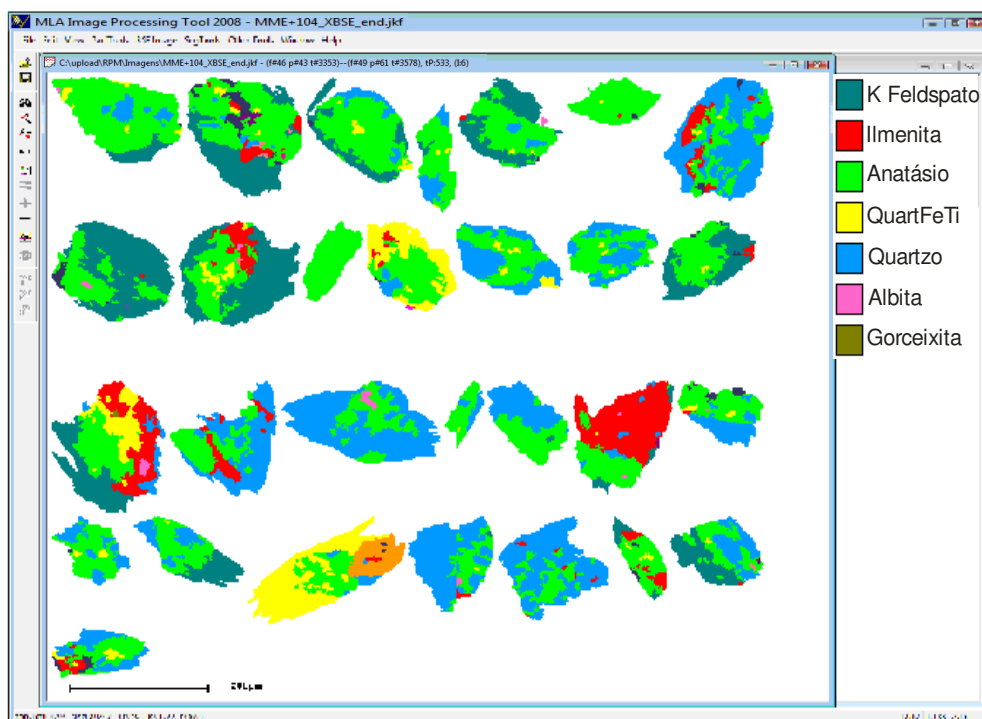


Figura 53 - Associação mineralógica do anatásio na fração -104+74µm: *MLA Image Processing Tool*.

### 5.4.5.3. Liberação mineral

Estudos realizados nos diferentes tamanhos de partícula mostraram um baixo índice de liberação. A Figura 54 mostra a relação da liberação obtida pelas partículas de ilmenita com respeito à recuperação teórica e ao teor. O estudo foi feito para uma faixa de tamanho de  $-300+37\mu\text{m}$ , nessa faixa se observa que, na medida em que a recuperação aumenta, o teor do mineral sofre uma diminuição, isso significa que não é possível conseguir uma boa recuperação com um alto teor. Por exemplo, para uma recuperação de 100% o teor de ilmenita seria aproximadamente de 30%.

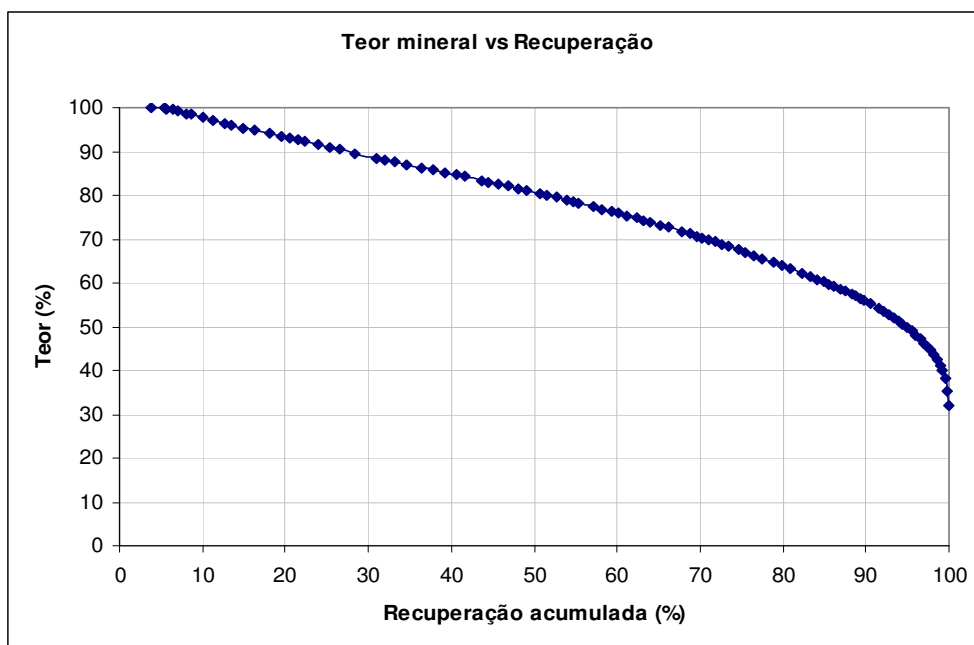


Figura 54 – Variação da liberação – teor limite/curva de recuperação da ilmenita para uma faixa de tamanho de  $-300+37\mu\text{m}$ .

O estudo realizado no material da RPM para faixas menores mostrou um alto índice de liberação nas frações finas ( $-74+53$  e  $-53+37\mu\text{m}$ ), ocorrendo o mesmo com a recuperação de ilmenita. Pode se afirmar que a recuperação é proporcional à liberação (Figura 55). No caso do anatásio se observam resultados parecidos aos da ilmenita, a diferença se apresenta nos menores índices de liberação. Na fração melhor liberada ( $-53+37\mu\text{m}$ ) a recuperação máxima de partículas de anatásio chega até aproximadamente 25% de teor, demonstrando um menor índice de liberação com respeito às partículas de ilmenita (Figura 56).

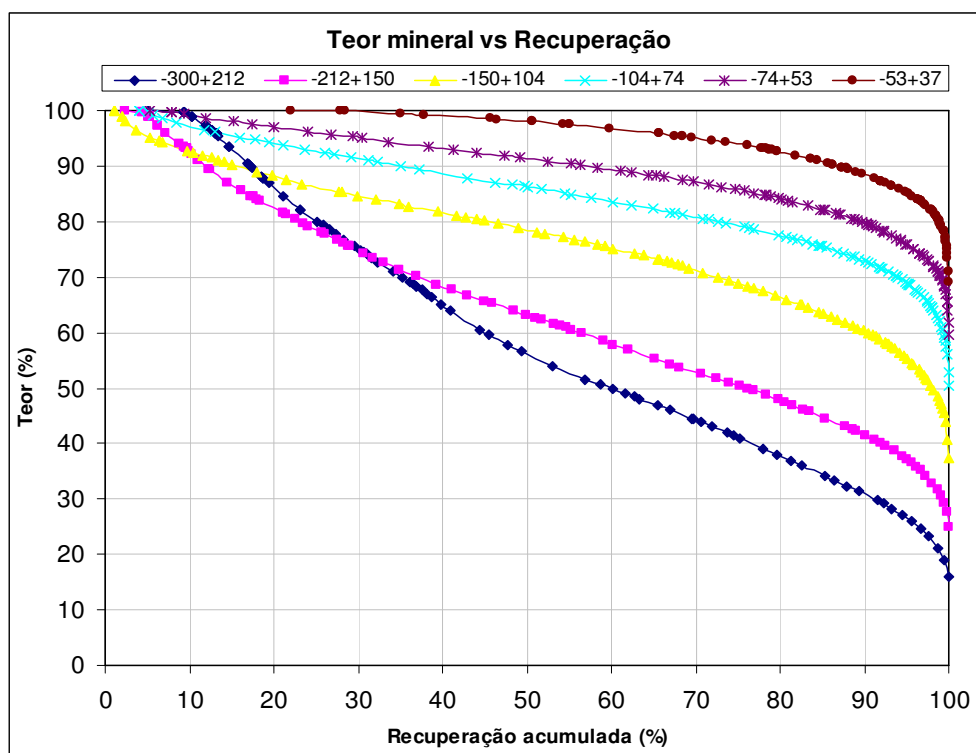


Figura 55 – Variação da liberação – teor limite/curva de recuperação para a ilmenita em diferentes frações.

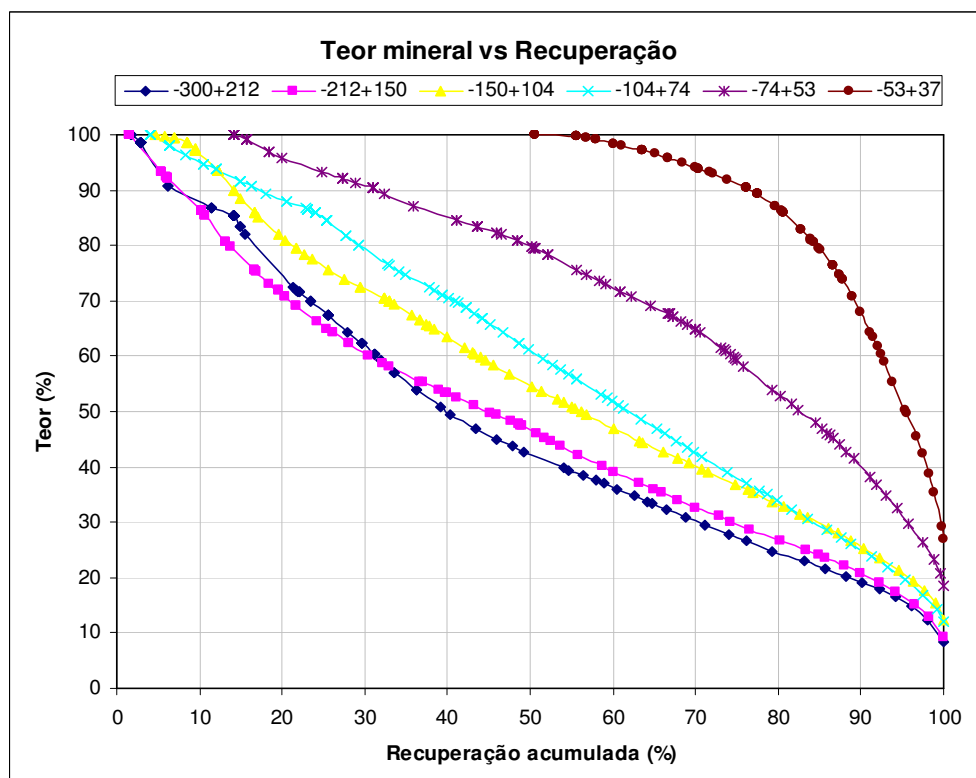


Figura 56 – Variação da liberação – teor limite/curva de recuperação para o anatásio em diferentes frações.

#### 5.4.5.3.1. Distribuição de liberação

As partículas individuais ou livres podem ser separadas facilmente se forem usados processos de separação adequados, já no caso de partículas mistas (dois a mais minerais) a separação é mais complicada, nesse caso as partículas são submetidas à cominuição para melhorar a liberação. Os minerais portadores de ilmenita apresentam um espectro de liberação baixo, isso acontece devido à dureza da ilmenita que não permite uma boa liberação, porém facilita a liberação da ganga. A avaliação feita para a distribuição da liberação das partículas de ilmenita com respeito à composição é mostrada na Figura 57. Observa-se que mais de 80% do minério é composta de ganga liberada (outros minerais) e menos de 1% de massa são representadas pela ilmenita completamente liberada. A análise foi feita para uma faixa de tamanho de -300+37 $\mu$ m.

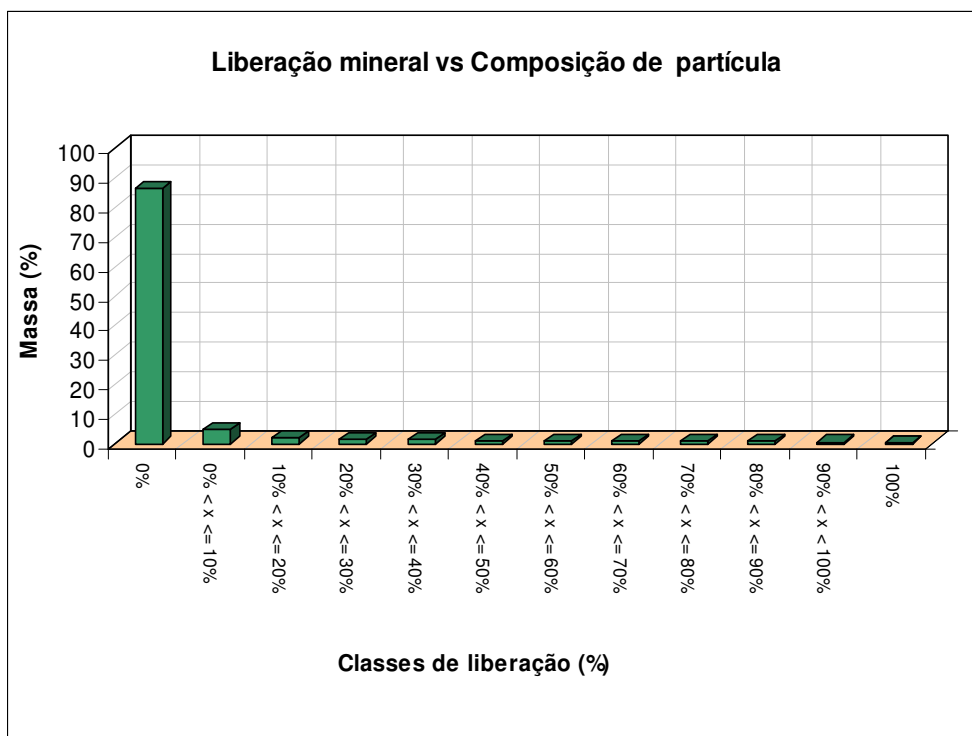


Figura 57 – Distribuição da liberação de partículas de ilmenita em função à composição para uma faixa de tamanho de -300+37 $\mu$ m.

A Figura 58 mostra a distribuição da liberação das partículas de ilmenita feitas para diferentes faixas. Observa-se que a distribuição é desproporcional, a liberação de ganga é alta (aproximadamente 90% em massa), já a ilmenita

alcança uma liberação total menor a 1% em massa. As frações finas (-104+74; -74+53 e -53+37 $\mu$ m) mostraram uma maior liberação total (100% de superfície livre) com respeito às outras frações, as frações grossas (-300+212; -212+150 e -150+104 $\mu$ m) alcançam liberações menores a 100%. Entorno de 6% de massa de ilmenita alcançam liberações entre 10 até 90% de superfície livre (Figura 59).

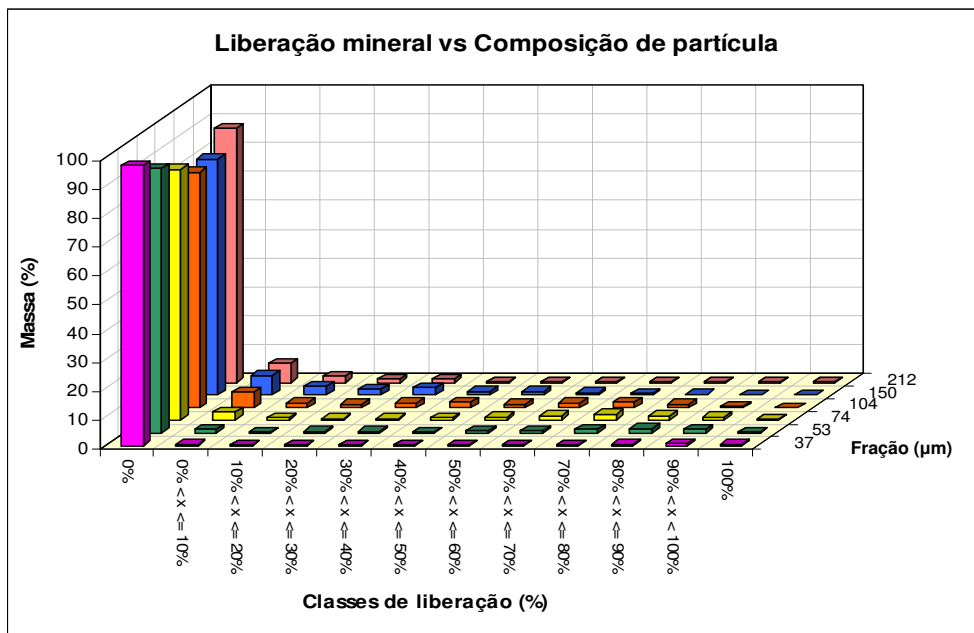


Figura 58 – Distribuição da liberação de partículas de ilmenita em função à composição em diferentes frações granulométricas.

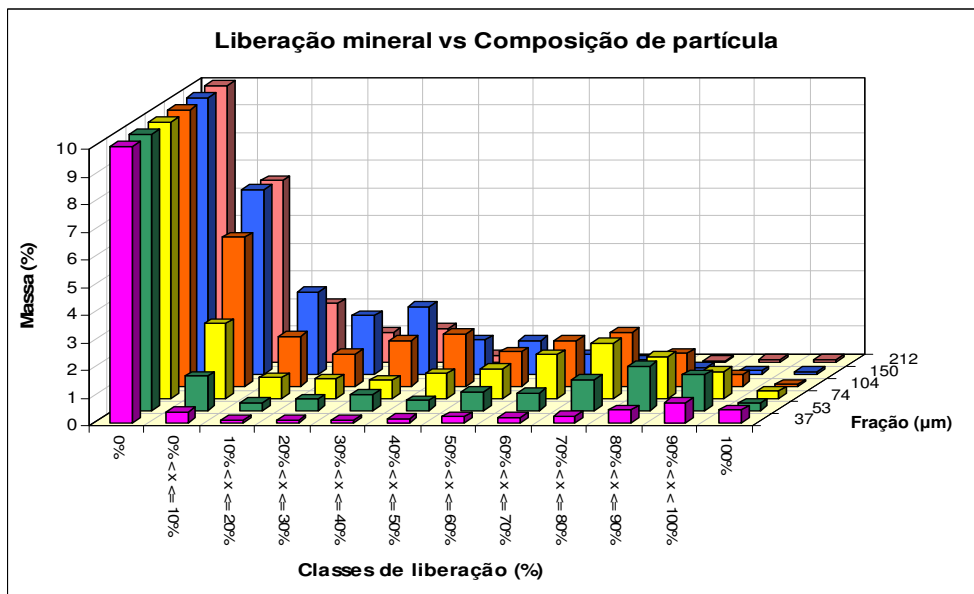


Figura 59 – Distribuição da liberação de partículas de ilmenita em função à composição em diferentes frações com um corte no limite da escala do eixo Y de 10%.

O anatásio apresenta um espectro de liberação menor do que a ilmenita, aproximadamente 10% em massa de anatásio alcança uma superfície livre de 10%. Aproximadamente 0,5% em massa partículas conseguem uma liberação completa (Figura 60). Em torno a 90% em massa do minério é composto por ganga liberada, o estudo compreendeu uma faixa de tamanho de -300+37 $\mu$ m.

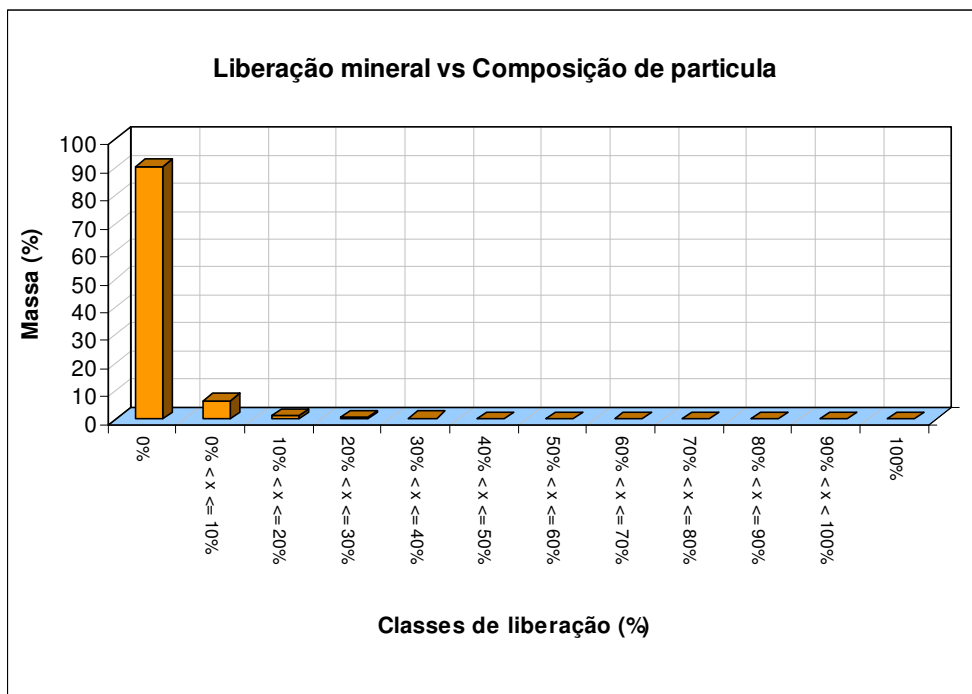


Figura 60 – Distribuição da liberação de partículas de anatásio em função á composição para uma faixa de tamanho de -300+37 $\mu$ m.

Uma melhor avaliação fração por fração com respeito à distribuição da liberação das partículas de anatásio é apresentada na Figura 61. Observa-se que as partículas de anatásio não conseguem liberações maiores aos 10% de superfície. Grande parte das partículas que alcançaram liberações ate 40% de superfície livre encontram-se nas frações -212+150; -150+104; -104+74; e -74+53 $\mu$ m, isso acontece pela dureza do anatásio que não permite a sua liberação. Na fração fina (-53+37 $\mu$ m) conseguem-se partículas totalmente liberadas, mas a quantidade delas é muito menor do que às outras frações, nessa fração se encontra mais de 90% de ganga liberada (Figura 62). A grande quantidade de material fino gerado na cominuição do minério não permite uma boa liberação dos minerais carregadores de titânio devido à dureza deles.

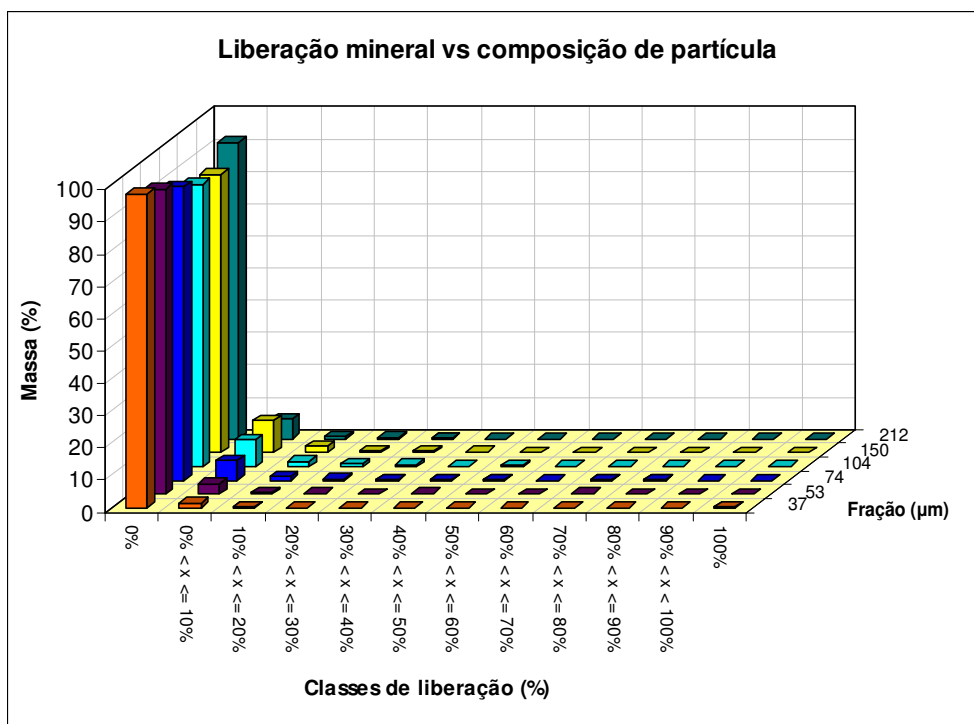


Figura 61 – Distribuição da liberação de partículas de para a composição de anatásio em diferentes frações granulométricas.

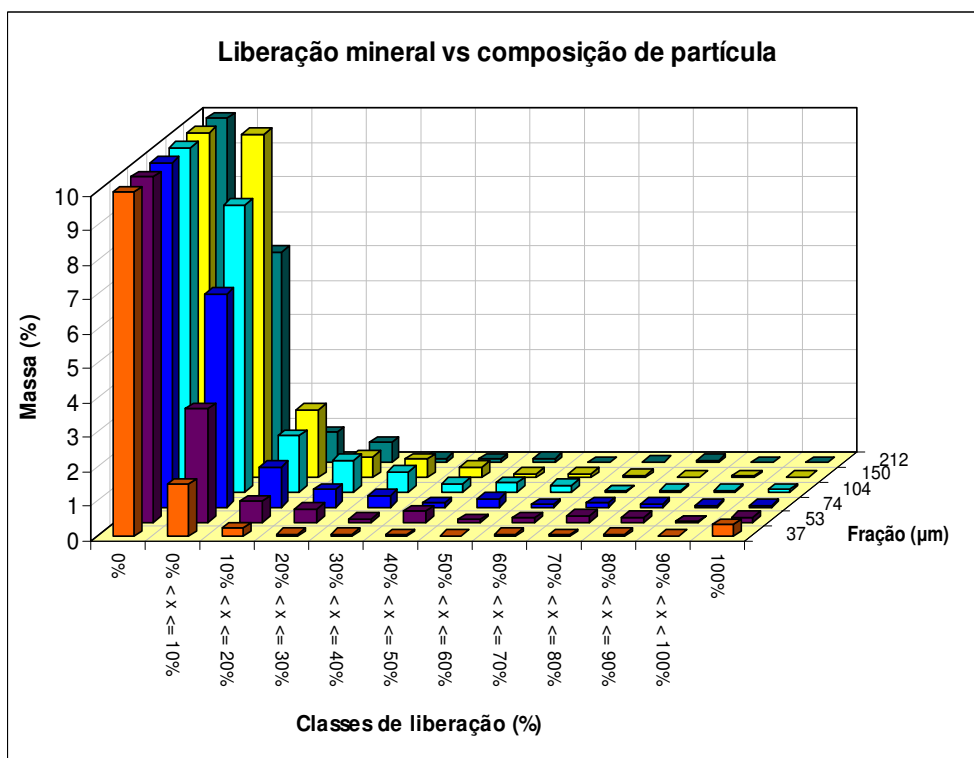


Figura 62 – Distribuição da liberação de partículas de anatásio em função à composição em diferentes granulométricas com um corte no limite na escala do eixo Y de 10%.

Os minerais carregadores de titânio apresentam liberações baixas, eles se encontram associados a três ou mais minerais, grande parte das partículas livres são encontradas nas frações finas ( $-74+53$  e  $-53+37\mu\text{m}$ ), o problema se encontra na baixa quantidade dessas partículas livres. A Figura 63 mostra os tipos de liberação que apresenta a ilmenita nas diferentes frações analisadas, a fração que apresenta melhor índice de liberação é a fração  $-53+37\mu\text{m}$ , conte aproximadamente 46% de ilmenita livre, o restante é composto de ilmenita binária e ilmenita associada a três ou mais minerais.

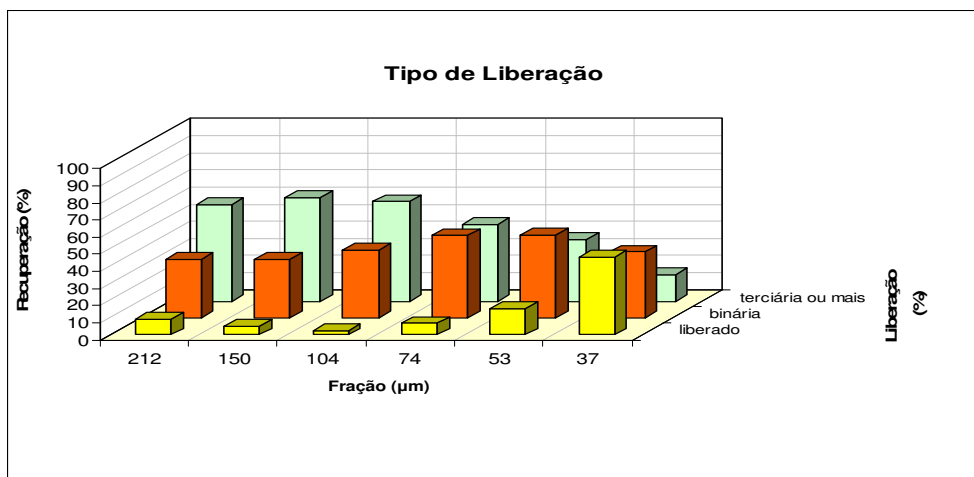


Figura 63 – Tipo de liberação para a ilmenita.

O anatásio tem um comportamento similar à ilmenita no que respeita a liberação, a diferença existente é o baixo teor de anatásio presente no minério, aproximadamente 2% de massa no material afundado, os tipos de liberação que apresenta esse mineral é mostrado na Figura 64.

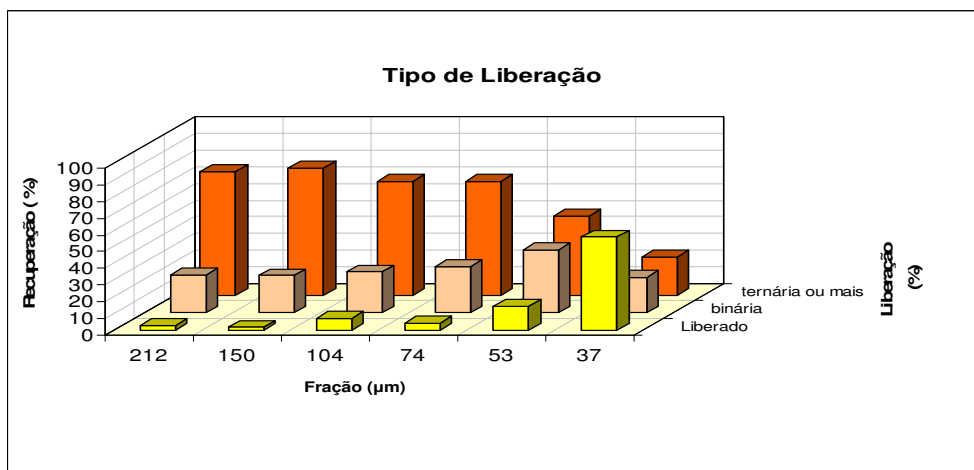


Figura 64 – Tipo de liberação para o anatásio.