



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"  
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

Karine Vieira Ferraz

OTIMIZAÇÃO DO APROVEITAMENTO MINERAL DA MINA DA MITO –  
MINERAÇÃO TOCANTINS LTDA.

Palmas - TO

2014

Karine Vieira Ferraz

OTIMIZAÇÃO DO APROVEITAMENTO MINERAL DA MINA DA MITO –  
MINERAÇÃO TOCANTINS LTDA.

Pesquisa elaborada e apresentada como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de bacharel em Engenharia de Minas pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Dr.-Ing. Erwin Francisco Tochtrop Junior.

Palmas – TO

2014

Karine Vieira Ferraz

OTIMIZAÇÃO DO APROVEITAMENTO MINERAL DA MINA DA MITO –  
MINERAÇÃO TOCANTINS LTDA.

Pesquisa elaborada e apresentada como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de bacharel em Engenharia de Minas pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Dr.-Ing. Erwin Francisco Tochtrop Junior.

Aprovado em: 30 de junho de 2014.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr.-Ing. Erwin Francisco Tochtrop Junior.  
Centro Universitário Luterano de Palmas

---

Prof. Esp. José Cleuton Batista  
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

---

Prof. M.Sc. Rodrigo Rodrigues Meireles  
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas - TO  
2014

A minha família, que não mediu esforços para me ajudar a alcançar meus objetivos e realizar meus sonhos.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus por tudo que me deu e que me fez ser, me dando força, paciência, luz e sabedoria para enfrentar os obstáculos da graduação, me mostrando sempre o melhor caminho a ser seguido.

Agradeço também, e mais uma vez, a minha família. A eles sou extremamente grata, e sem eles sendo meus pilares e meu Norte, eu não teria conquistado um metro se quer dessa escalada.

Não posso deixar de agradecer aos meus colegas de classe, que com o passar do tempo se tornaram amigos e irmãos, e como um deles fala: “Isso aqui é uma família”. O sabor da conclusão do curso é maravilhoso, mas com o fechamento dessa etapa em nossas vidas, vem a despedida e o rompimento da convivência diária, que com certeza fará uma falta imensurável. Sou grata a todos os momentos que compartilhamos, sejam eles sorrindo ou se descabelando de estudar, mas que mesmo no desespero das reuniões de estudo, sempre encontramos brechas para rirmos e sermos felizes nas adversidades. Aprendemos a trabalhar em equipe juntos, um orientando e ajudando o outro, buscando o sucesso do grupo, e não o individual. Obrigada por tudo!

Quero agradecer a todos os professores e professoras que tive nesses cinco anos de graduação. O conhecimento que os senhores nos transmitiu foi o alimento de nossa formação. E de modo todo especial, agradeço aos professores Daniel Padilha Setti, Leonardo Pedrosa, Rodrigo Meireles Mattos Rodrigues, José Cleuton Batista e Erwin Francisco Tochtrop Junior. Aos senhores, muito obrigada pela orientação e companheirismo, não só na construção desse trabalho de conclusão de curso, mas em todos os momentos em que foram e sei serão mestres e amigos, dentro e fora do ambiente acadêmico.

Tive a oportunidade valiosíssima de ser aluna do professor Natanel Carvalho Barbosa, que infelizmente nos deixou no início desse mês de junho, deixando uma saudade imensa. A ele, gratidão eterna por ter compartilhado conosco seu vasto conhecimento sobre mineração e sobre como ser um engenheiro de verdade, não aquele que dá ordens, mas o que integra todos para de fato serem uma equipe. Por toda a herança de exemplo de homem e profissional deixada como presente a nós, muito obrigada.

Agradeço também ao Instituto de Química na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Araraquara pela realização dos ensaios físico-químicos. E por fim, aos colegas acadêmicos participantes do Projeto de Extensão Levantamento de Ocorrência de Lantanídeos na Região de Jaú do Tocantins, pela prestatividade e auxílio na realização dos ensaios no Laboratório de Tratamento de Minérios do Centro Universitário Luterano de Palmas (LTM – CEULP/ULBRA).

## RESUMO

FERRAZ, Karine Vieira. **Otimização do aproveitamento mineral da mina da Mito - Mineração Tocantins LTDA.** 2014. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia de Minas, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2014.

O presente trabalho trata sobre as possibilidades de otimização do aproveitamento dos recursos minerais, sendo eles a zirconita e minerais acessórios da mina da Mito – Mineração Tocantins LTDA, situada no município de Jaú do Tocantins, estado do Tocantins. A planta de beneficiamento da empresa conta, até então, com apenas jigagem como método de concentração, o que acarreta na perda de zirconita de baixa granulometria, e na não separação do minério de interesse dos minerais acessórios, como o principal deles, mineral de ferro. Para tal melhoria, foram testados dois métodos: separação gravimétrica com uso da mesa oscilatória, e separação magnética. Após uma bateria de ensaios e testes laboratoriais, obtivemos resultados positivos para ambos os métodos testados. Sendo que a mesa desempenhou uma função de deslamagem na retirada de sílica, o que resultou num aumento da concentração de zircônio. Já a separação magnética foi significativamente satisfatória na retirada do percentual magnético da amostra, sobressaindo sobre os resultados da mesa oscilatória, o que nos proporcionou condições de sugerir uma nova configuração para a planta de beneficiamento da Mito Mineração, incluindo um equipamento de separação magnética a úmido, sendo esse alimentado pelo produto concentrado da jigagem. Desse modo gerando um subproduto por meio dessa separação.

**Palavras-chave:** Zirconita. Mesa oscilatória. Separação Magnética.

## **ABSTRACT**

FERRAZ, Karine Vieira. **Optimization in the use of mineral resources from the Mito - Tocantins Mine LTDA**. 2014. 69 f. Monograph (Graduation) – Mining Engennering, Lutheran University Center of Palmas, Palmas/TO, 2014.

This monograph focuses on the possibilities of optimization in the use of mineral resources, namely zirconite and accessory minerals from the Mito - Tocantins Mine LTDA, located in the municipality of Jaú of Tocnatin, in the state of Tocantins. The beneficiation company's plant has, so far, with just a jig concentrator as its concentration methodology has resulted in the loss of zirconite of low grain size, but not in the separation of minerals of interest from accessory minerals, such as the most important of them all, iron mineral. For such an improvement, two methods were tested, gravity separation using an oscillatory table and magnetic separation. After a battery of trials and laboratory tests, positive results were obtained for both of the methods tested. The table performed the function of a desliming process in the removing of silica oxide, resulting in an increase in the concentration of zirconium. Whereas the magnetic separation was significantly satisfactory in the removal of the magnetic percentage of the sample, highlighting the results of the oscillatory table which has proportioned conditions that provided a new configuration for the Myth Mine, which includes equipment in magnetic separation from the damp, being powered by the jiggling concentration product. Thereby generating a by-product through this separation.

**Keywords:** Zircon; Wilfley Table, Magnetic Separation.



## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1.</b>	Apresentação de parte das propriedades da zirconita	17
<b>Quadro 2.</b>	Relação entre os tipos de materiais e os respectivos teores.	18
<b>Quadro 3.</b>	Composição química do concentrado de zirconita da Mina do Guajú.	24
<b>Quadro 4.</b>	Coordenadas dos pontos de coleta das amostras.	26
<b>Quadro 5.</b>	Quadro organizacional das amostras dos testes com a separação magnética que foram encaminhadas aos ensaios físico-químicos.	35
<b>Quadro 6.</b>	Resultados os testes de separação granulométrica, magnética, e granulométrica por separação manual da amostra 1	37
<b>Quadro 7.</b>	Resultados os testes de separação granulométrica, magnética, e granulométrica por separação manual da amostra 2	38
<b>Quadro 8.</b>	Resultados os testes de separação granulométrica, magnética, e granulométrica por separação manual da amostra 3	40
<b>Quadro 9.</b>	Resultados os testes de separação granulométrica, magnética, e granulométrica por separação manual da amostra 4	41
<b>Quadro 10.</b>	Resultados os testes de separação granulométrica, magnética, e granulométrica por separação manual da amostra 5	42
<b>Quadro 11.</b>	Resultados os testes de separação granulométrica, magnética, e granulométrica por separação manual da amostra 6	44
<b>Quadro 12.</b>	Resultados os testes de concentração gravítica de zirconita da amostra 1/teste 1 por meio da mesa oscilatória	45
<b>Quadro 13.</b>	Resultados os testes de concentração gravítica de zirconita da amostra 1/teste 2 por meio da mesa oscilatória	45
<b>Quadro 14.</b>	Resultados os testes de concentração gravítica de zirconita da amostra 2/3 - teste 3 por meio da mesa oscilatória	47
<b>Quadro 15.</b>	Resultados os testes de concentração gravítica de zirconita da amostra 2/3 - teste 4 por meio da mesa oscilatória	47
<b>Quadro 16.</b>	Resultados os testes de concentração gravítica de zirconita da amostra 5/6 - teste 5 por meio da mesa oscilatória	49
<b>Quadro 17.</b>	Resultados os testes de concentração gravítica de zirconita da amostra 5/6 - teste 6 por meio da mesa oscilatória.	49
<b>Quadro 18.</b>	Resultados os testes de separação magnética de zirconita com a amostra 2/3, com suas respectivas massas	51

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Coleta da amostra 1	27
<b>Figura 2</b>	A) Zircônia acumulada pela ação da água fluvial e demais matérias in situ. B) Coleta da amostra 2.	27
<b>Figura 3</b>	Acumulação natural de material magnético	28
<b>Figura 4</b>	Coleta da amostra 5	28
<b>Figura 5</b>	A) Amostra sendo seca naturalmente em exposição solar. B) Homogeneização. C) Quarteamento D) Quarteamento.	29
<b>Figura 6</b>	Quarteador Jones do LTM – CEULP/ULBRA	30
<b>Figura 7</b>	Separação magnética manual associada à classificação granulométrica.	31
<b>Figura 8</b>	Quarteamento para obtenção de 25% da massa total	32
<b>Figura 9</b>	Lente de aumento utilizada na separação granulométrica manual.	32
<b>Figura 10</b>	Ensaio de concentração de zircônia por meio da mesa oscilatória tipo Wilfley (modelo 320 x 650mm).	33
<b>Figura 11</b>	Imagem organizacional das amostras dos testes com a mesa oscilatória que foram encaminhadas aos ensaios físico-químicos.	35

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b>	Classificação granulométrica da amostra 1: massa x faixa granulométrica.	38
<b>Gráfico 2</b>	Classificação granulométrica da amostra 2: massa x faixa granulométrica.	39
<b>Gráfico 3</b>	Classificação granulométrica da amostra 3: massa x faixa granulométrica.	41
<b>Gráfico 4</b>	Classificação granulométrica da amostra 4: massa x faixa granulométrica.	42
<b>Gráfico 5</b>	Classificação granulométrica da amostra 5: massa x faixa granulométrica.	43
<b>Gráfico 6</b>	Classificação granulométrica da amostra 6: massa x faixa granulométrica.	44
<b>Gráfico 7</b>	Apresentação dos 3 diferentes produtos obtidos no teste de concentração de zirconita com a amostra 1/teste 1, com suas respectivas massas.	45
<b>Gráfico 8</b>	Apresentação dos 3 diferentes produtos obtidos no teste de concentração de zirconita com a amostra 1/teste 2, com suas respectivas massas.	46
<b>Gráfico 9</b>	Apresentação dos 3 diferentes produtos obtidos no teste de concentração de zirconita com a amostra 2/3 - teste 3, com suas respectivas massas.	47
<b>Gráfico 10</b>	Apresentação dos 3 diferentes produtos obtidos no teste de concentração de zirconita com a amostra 2/3 - teste 4, com suas respectivas massas.	48
<b>Gráfico 11</b>	Apresentação dos 3 diferentes produtos obtidos no teste de concentração de zirconita com a amostra 5/6 - teste 5, com suas respectivas massas.	49
<b>Gráfico 12</b>	Apresentação dos 3 diferentes produtos obtidos no teste de concentração de zirconita com a amostra 5/6 - teste 6, com suas respectivas massas.	50
<b>Gráfico 13</b>	Apresentação dos 2 diferentes produtos obtidos no teste de separação magnética de zirconita com a amostra 2/3, com suas respectivas massas.	51

## LISTA DE FLUXOGRAMAS

- |                      |  |    |
|----------------------|--|----|
| <b>Fluxograma 1.</b> | Fluxograma da unidade de beneficiamento hidrogravítico da INB, Buena - RJ.                                     | 20 |
| <b>Fluxograma 2.</b> | Fluxograma da unidade de beneficiamento a seco da INB, Buena-RJ  | 20 |
| <b>Fluxograma 3.</b> | Atual Configuração da Planta de Beneficiamento   | 23 |
| <b>Fluxograma 4.</b> | Fluxograma com proposta de implantação de separador magnético no processo de beneficiamento da Mito Mineração. | 54 |

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>1. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
1.1. Zirconita .....	16
1.2. Geologia local .....	18
1.3. Beneficiamento da Zirconita .....	20
<b>2. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>26</b>
2.1. Coleta das amostras em campo .....	26
2.2. Classificação granulométrica .....	29
2.2.1. <i>Preparação das amostras</i> .....	29
2.2.2. <i>Classificação granulométrica</i> .....	30
2.2.3. <i>Classificação granulométrica do percentual de massa magnética</i> .....	31
2.2.4. <i>Classificação granulométrica com separação manual de zirconita</i> .....	31
2.3. Ensaio com mesa oscilatória .....	32
2.4. Ensaio com separação magnética .....	34
2.5. Ensaio físico-químico .....	34
2.5.1. <i>Preparação das amostras no LTM – CEULP/ULBRA</i> .....	34
2.5.2. <i>Ensaio físico-químico</i> .....	36
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>37</b>
3.1. Ensaio de classificação granulométrica .....	37
3.1.1. <i>Amostra 1</i> .....	37
3.1.2. <i>Amostra 2</i> .....	38
3.1.3. <i>Amostra 3</i> .....	40
3.1.4. <i>Amostra 4</i> .....	41
3.1.5. <i>Amostra 5</i> .....	42
3.1.6. <i>Amostra 6</i> .....	44
3.2. Ensaio com mesa oscilatória .....	45
3.2.1. <i>Amostra 1</i> .....	45
3.2.2. <i>Amostra 2/3</i> .....	46
3.2.3. <i>Amostra 5/6</i> .....	48
3.3. Ensaio com separação magnética .....	50
3.4. Ensaio físico-químico .....	51
3.4.1. <i>Amostra 1 e 2</i> .....	51

3.4.2. Amostra 3 e 4 .....	52
3.4.3. Amostra 5 e 6 .....	52
3.4.4. Amostra 7 e 9 .....	52
<b>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>53</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>55</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>57</b>

## INTRODUÇÃO

Os estudos de otimização no setor mineral não são restritos ao planejamento de lavra, muito pelo contrário, são amplamente aplicados e aperfeiçoados pelo tratamento de minérios, isso impulsionado pela busca de métodos e técnicas que façam a mineração brasileira e mundial o mais sustentável possível, propiciando o melhor aproveitamento dos minerais, e conseqüentemente mais lucros para as empresas, o que pode e deve ser revertido à sociedade por diversos modos conhecidos, como por exemplo, financiamento de projetos de inclusão digital, de estímulo ao desenvolvimento artístico, melhoria na qualidade da saúde da população local, entre outros.

Uma tendência atual é o aproveitamento de rejeitos de diversos minérios, principalmente ouro, o que há anos atrás, não tão distantes eram descartados ao longo dos processos de beneficiamento por apresentarem baixo teor, hoje é considerado minério, por isso vemos lavra em barragens e pilhas de rejeito.

Esse tipo de lavra por vezes oferece um risco maior na operação do que os métodos de lavra convencionais, pois o local de trabalho não oferece estabilidade adequada, já que apenas está em repouso devido à acomodação feita por métodos humanos e não naturais. E no caso de barragens, mesmo estando sem presença considerável de água, pode haver um bolsão interno do líquido ou até de ar, o que pode causar desmoronamentos e outros acidentes.

Outro problema da aplicação é a difícil recuperação do material de interesse, pois normalmente está situado numa faixa granulométrica baixa, demandando alto poder de recuperação do sistema de concentração.

A melhor maneira de minimizar as perdas do minério é estudar e otimizar os métodos de concentração aplicados na planta de tratamento. Devendo analisar caso a caso, minério a minério, a técnica mais eficaz de recuperação. E isso dependerá de uma série de fatores, como a propriedade de condução elétrica e magnética, geologia local, constituintes da rocha hospedeira, faixa granulométrica, entre vários outros.

Visando acompanhar e contribuir com o aperfeiçoamento do tratamento de minérios, desenvolvemos uma pesquisa que visa a otimização do beneficiamento da zirconita da mina da Mito – Mineração Tocantins LTDA, localizada no município de Jaú do Tocantins – Tocantins. A empresa lavra uma jazida que colocou o Tocantins

em destaque nacional como detentor de jazidas no interior do país, sendo mais comum ocorrências no litoral.

A planta de beneficiamento conta com um circuito de concentração gravítica usando jigues, mas esse equipamento não é capaz de recuperar ou concentrar o percentual de zirconita situado numa faixa granulométrica fina, inferior a aproximadamente 6 mm de diâmetro, causando perda considerável de minério. É essa perda que buscamos analisar, propondo uma nova rota no processo, e para isso, testamos a eficiência da mesa vibratória no processo de concentração do percentual fino.

Outro fato interessante relacionado ao minério lavrado pela empresa é o alto teor de outros materiais associados ao óxido de zircônio, como por exemplo, ilmenita, coríndon, monazita, óxido de ferro e outros. Contudo, esses minerais não são considerados contaminantes para a aplicação que é dada a zirconita, mas poderiam ser separados e possivelmente comercializados. Então, visando um melhor aproveitamento dos outros minerais, testamos também a separação magnética.



## 1. REFERENCIAL TEÓRICO

### 1.1. Zirconita

A zirconita ou zircão é um mineral pesado que apresenta a fórmula química  $ZrSiO_4$ , com composição aproximada de 67,2% de  $ZrO_2$  e 32,8% de  $SiO_2$ , sendo a principal fonte mineral do elemento zircônio (Nº atômico:40). (LOBATO, 2009).

Normalmente a zirconita também é composta pelo háfnio ( $HfO_2$ ), além claro do zircônio, estando numa relação de 50:1, sendo que o teor de  $HfO_2$  é comercialmente aceitável até 3%, havendo na natureza uma variação entre 1 a 4%, e em casos raros até 24%. A separação da zirconita e do háfnio é complexa, pois reagem de formas semelhantes aos métodos de separação, além de terem densidades próximas. A presença do óxido de háfnio é inaceitável em uma aplicação da zirconita, ou seja, no revestimento de reatores nucleares, pois ele tem uma alta absorção de nêutrons. (LOBATO, 2009).

Quando pura, a zirconita é transparente e com cristalização bem formada, possuindo então valor comercial como gema. Quando com contaminantes, as cores podem variar de acordo com o elemento, sendo que as cores variam entre amarelo, laranja, vermelho, azul, marrom e verde. As variedades usadas como gemas possuem diversos nomes, sendo o jargão a variedade de zirconita incolor, ligeiramente amarelo-avermelhado, e jacinto quando laranja ou castanho-avermelhado (DEER et al, 1981; SCHUMANN, 1985, apud BERTOLINO et al, 2008).

O zircão apresenta elevada resistência à corrosão de muitos ácidos e álcalis, da água do mar e de outros agentes, baixa expansão térmica, elevado índice de refração, resistência ao choque térmico, resistência ao desgaste das superfícies pelo atrito, em especial arestas e vértices, isso faz com que o cristal se quebre em caso de impacto, mas não perca sua forma em caso de atrito. Outras propriedades do mineral estão relacionadas no quadro a seguir.

Quadro 1. Apresentação de parte das propriedades da zirconita.

ZIRCONITA	
PROPRIEDADES	
Cristalografia	Tetragonal - Bipiramidal tetragonal
Propriedades ópticas	Uniaxial positivo
Hábito	Prismático, piramidal, granular
Clivagem	Imperfeita
Dureza	5,6 a 7,5
Densidade relativa	3,9 a 4,86 g/cm <sup>3</sup>
Fratura	Conchoidal
Ponto de fusão	1.500°C
Brilho	Adamantino e resinoso

Fonte: Construção nossa.

Os depósitos de maior relevância conhecidos até o momento estão localizados na Ucrânia, Estados Unidos, Brasil, China, Índia e, principalmente Austrália e África do Sul. E segundo Bertolino et al (2008, p. 922) “os depósitos de zirconita no Brasil representam 5,17% do total das reservas mundiais. As reservas brasileiras oficialmente reconhecidas pelo DNPM somam 2.023.071.239 t (medida)”.

### 1.1.1. Aplicações

Graças às diversas propriedades citadas anteriormente, a zirconita pode ser aplicada em vários setores da indústria, como abrasivos em tinturas e soldas, placas e filamentos eletrônicos, em ligas de ferro, níquel, estanho e outros, nos setores de fundição, cerâmica (52% do uso total do mineral) e refratários (tijolos para fornos, vidros e revestimento de peças para fusão inseridas nas siderúrgicas), e principalmente como revestimento de reatores nucleares, devido seu baixo poder de captura de nêutrons (DA SILVA, 2001).

De acordo com Bertolino et al (2008, p. 928) “A classificação comercial do minério de zirconita está relacionada à concentração de impurezas, tais como Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e TiO<sub>2</sub>. Ele pode ser classificado como *premium*, intermediário e *standard*.” (Grifo do autor).

Quadro 2 – Relação entre os tipos de materiais e os respectivos teores.

Tipo de material	Teores (%)		
	ZrO <sub>2</sub> + HfO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
"Premium"	66,0	0,10	0,05
Intermediário	65,5	0,03	0,10
"Standard"	65,0	0,25	0,12

Fonte: Bertolino (2008).

Segundo Lobato (2009, p.3),

O zircônio pode ser reciclado a partir da sucata gerada durante a produção e a fabricação do metal. Sua substituição é possível em determinadas aplicações de alta temperatura, por dolomita e espinélio. Com limitações, a columbita, a tantalita e o aço inoxidável podem substituir as ligas de zircônio em aplicações nucleares. A cromita e a olivina também podem substituir o zircônio em algumas aplicações de fundição.

## 1.2. Geologia local

A mineralização de zirconita como mineral acessório na área da Mito – Mineração Tocantins LTDA ocorre em dois modos, primária e secundária. A mineralização primária é englobada pelo Complexo Alcalino de Peixe e é disseminada em rochas sieníticas e em veios pegmatíticos, sendo essa segunda disseminação em menor volume. A mineralização secundária teve origem com o intemperismo e erosão dos corpos sieníticos, gerando o enriquecimento residual da zirconita numa longa e estreita faixa horizontal com em média 40 cm de espessura. A área de interesse da empresa, onde os cristais apresentam granulometria que varia de 1 a 3 mm, de coloração marrom avermelhado com variações de tons e hábito cristalográfico predominante de bipirâmides tetragonais (NETO, 2004).

Segundo o Relatório Final de Pesquisa (DNPM 864.147/1 – Alvará de Pesquisa 9.202) da empresa apresentado ao DNPM (Departamento Nacional de Pesquisa Mineral), a reserva medida é de aproximadamente 185.800 m<sup>3</sup> de minério com o teor médio de zirconita é de 15,20 Kg/m<sup>3</sup>, ou seja, 2.824 toneladas. A reserva indicada é de 202.304 m<sup>3</sup> de minério com o teor médio de zirconita é de 16,07 Kg/m<sup>3</sup>, o que resulta em 3.252 toneladas.

### 1.2.1. Complexo Alcalino de Peixe

O Complexo Alcalino de Peixe corresponde à grande maioria da área de atuação da empresa, sendo predominante no contexto regional. De acordo com Kitajima (1998), as dimensões do Complexo representam um corpo alongado (30 Km de comprimento) e estreito (7 Km de largura), o que justifica o formato da

mineralização secundária da zirconita. O seu núcleo é composto por rochas nefelina-sienitos gnaisses, enquanto as bordas são compostas por sienitos gnaisses, quartzo-sienitos gnaisses e granitos, já na região de contato com o Grupo Serra da Mesa.

Os sienitos gnaisses e os quartzo-sienitos gnaisses são constituídos por microlina, plagioclásio, anfibólio e quartzo, contendo como acessórios alanita, zircão, biotita, monazita, zeólita e opacos, enquanto os granitos da borda do Complexo são constituídos por microlina, plagioclásio, quartzo e anfibólio, sendo seus acessórios muscovita, biotita, zircão e alanita em baixa ocorrência (NETO, 2004).

Inseridos no Complexo Alcalino de Peixe, temos veios de pegmatíticos, que além de agregar valor à mineralização local devido seus constituintes, ainda apresentam uma característica bastante interessante, pois nota-se uma diminuição no tamanho dos cristais presentes nos veios no sentido do centro para as bordas do Complexo (KITAJIMA, 1998; NETO, 2004).

Esses pegmatitos são divididos de acordo com sua constituição principal e minerais acessórios em pegmatitos graníticos e pegmatitos sienitos (MARTINS, 1981, apud KITAJIMA, 1998), sendo esse o subtipo mais importante para a mina da Mito devido seu maior percentual de zirconita e ausência de quartzo. De forma resumida, ambos são compostos por zircão, monazita, alanita, muscovita, berilo e ilmenita (NETO, 2004).

### **1.2.2. Ocorrências de zirconita em regiões litorâneas**

As ocorrências de zirconita associada à ilmenita e rutilo como minerais acessórios no Brasil são mais comuns na faixa litorânea do que no interior do país, em especial no litoral nordestino com destaque para Bahia, Paraíba e Rio Grande do Norte, e também no litoral de Espírito Santo, Rio de Janeiro e São Paulo. Os depósitos são de origem sedimentar secundária e estão geometricamente dispostos em paralelo à costa, e são classificados em paleodunas e areias de praia, ambos pláceres. (DA SILVA, 2001; ANGELIM, 2006).

As areias de praia apresentam baixos teores de minerais de valor econômicos, o que inviabiliza sua lavra. Já as paleodunas apresentam bons teores, que segundo Angelim (2006, p.77) são compostas por “ilmenita (74%), zirconita (14%), rutilo (2,3%) e outros como turmalina, granada, estaurolita e cianita (9,7%)”.

A Millennium Inorganic Chemicals do Brasil S/A (MIC) é a empresa responsável pela exploração da maior jazida de zirconita em paleodunas do Brasil em fase de lavra. A Mina do Guaju está localizada no município de Mataraca, na Paraíba. Por volta de 28% dos zircões da mina apresentam inclusões minerais que devido as suas dimensões e diversidades de composição se caracterizam como contaminantes ao concentrado. (SABEDOT; SAMPAIO, 2002 e 2006).

O principal depósito de zirconita desse mesmo tipo, com aproximadamente 31 milhões de toneladas de areia bruta, sendo que desse total tem-se 54,49% de óxido de titânio (136.557 ton) e 65% de óxido de zircão (32.006 ton) (ANGELIM, 2006), é confrontante da área da Mina do Guaju, mas está no município de Baía Formosa – Rio Grande do Norte, e como são homônimos causa certa confusão no momento do primeiro contato com a informação. O depósito de Baía Formosa não pode ser lavrado, pois está numa área de preservação ambiental, não tendo as operações de exploração permitidas pelo IDEMA (Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte).

Os depósitos de zirconita da faixa litorânea se diferenciam da jazida de Jaú do Tocantins principalmente no que se refere à distribuição granulométrica, sendo que os minerais acessórios em ambas as regiões são praticamente os mesmos, dando ênfase a ilmenita e alanita. O minério do Tocantins apresenta um aspecto de solo, com grãos de zirconita variando significativamente de tamanho. Já o minério do litoral segue um padrão de granulometria de areia, não possuindo oscilações consideráveis.

### **1.3. Beneficiamento da Zirconita**

#### **1.3.1. Indústrias Nucleares do Brasil SA – INB**

A INB é uma empresa de sociedade de economia mista localizada em Buena, município de São Francisco de Itabapoana – Rio de Janeiro, sendo autorizada a explorar urânio no Brasil, responsável pela pesquisa, lavra, beneficiamento primário e colocação de elementos combustíveis que acionam os reatores de usinas nucleares, o que acarreta em constante fiscalização por parte da CNEN- Comissão Nacional de Energia Nuclear. Sendo também de sua responsabilidade todo o ciclo da mineração das areias monazíticas no país, areias essas que contém minerais pesados, ocorrendo principalmente ilmenita, rutilo, zirconita e monazita (DA SILVA, 2001).

Segundo da Silva (2001), a mina de Buena tem uma capacidade de produção de concentrado de minerais pesados de 5 mil toneladas/mês. A jazida é explorada a céu aberto e o minério é transportado por caminhões até a planta de beneficiamento.

O tratamento inicia com uma concentração dos minerais pesados por método hidrogravimétrico, sendo que o que é rejeito é estocado para posterior uso nas áreas lavradas na etapa de revitalização ambiental, e o concentrado é transportado para planta de separação a seco, onde se aplica concentração magnética e eletrostática, obtendo 4 produtos que, e ainda segundo Da Silva (2001), apresentam a seguinte distribuição:

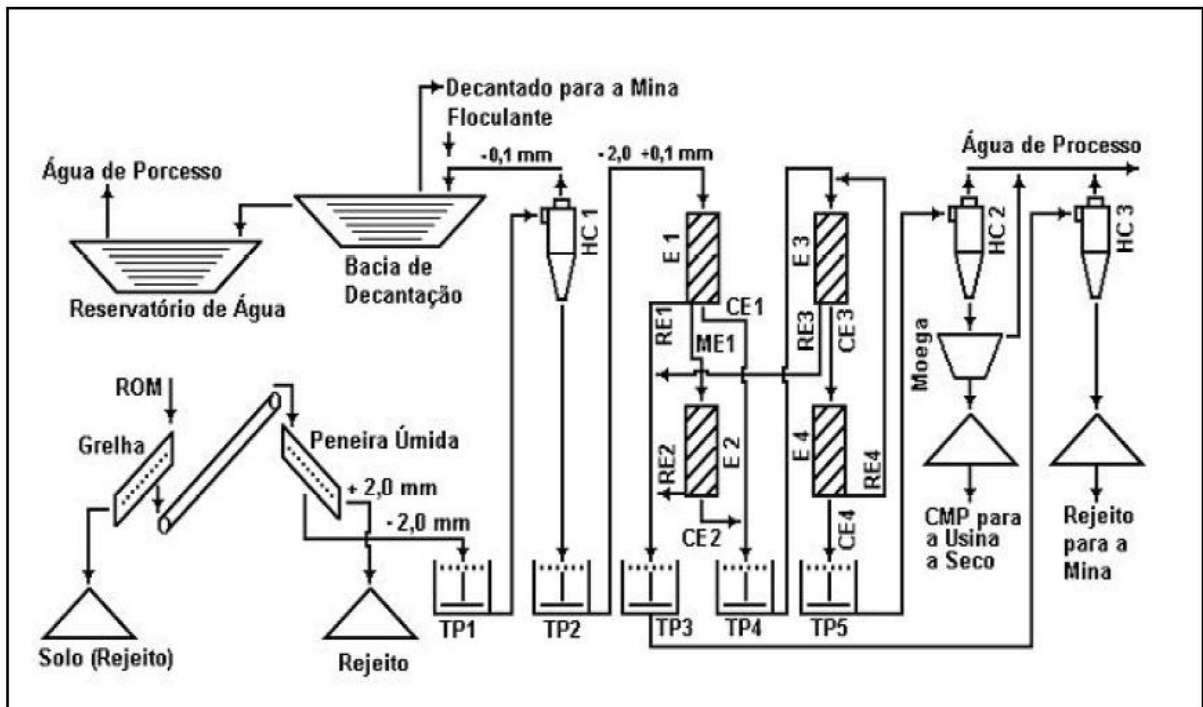
- Ilmenita (20.000t/ano)
- Rutilo (720t/ano)
- Monazita (1.000t/ano)
- Zirconita (9.000t/ano)

Após separados, os 4 produtos são destinados aos seus respectivos circuitos. Onde a fração não condutora de carga elétrica do circuito do rutilo e a fração não magnética do circuito da monazita alimentam um separador magnético de placas (SEP), e o percentual condutor retorna ao circuito do rutilo. A fração não condutora é encaminhada para a etapa de separação magnética, que é dividida em duas partes: O percentual magnético da primeira parte (SMR12) alimenta a segunda parte (SMR13). A fração magnética da segunda parte alimenta então o circuito da monazita (BERTOLINO et al, 2008).

Após a separação magnética, os percentuais de minério não magnético alimentam uma bateria de 5 mesas vibratórias a seco (MV4). Nessa etapa do beneficiamento, os mistos das mesas seguem para uma 5ª mesa do mesmo modelo (MV5), sendo que seu misto retorna às 4 mesas anteriores. A fração leve separada pela mesa forma o rejeito final, e já a fração pesada forma o produto final, a zirconita (64% de  $(Zr+Hf)O_2$ , 0,15% de  $Fe_2O_3$  e 0,7% de  $TiO_2$ ). (BERTOLINO et al, 2008).

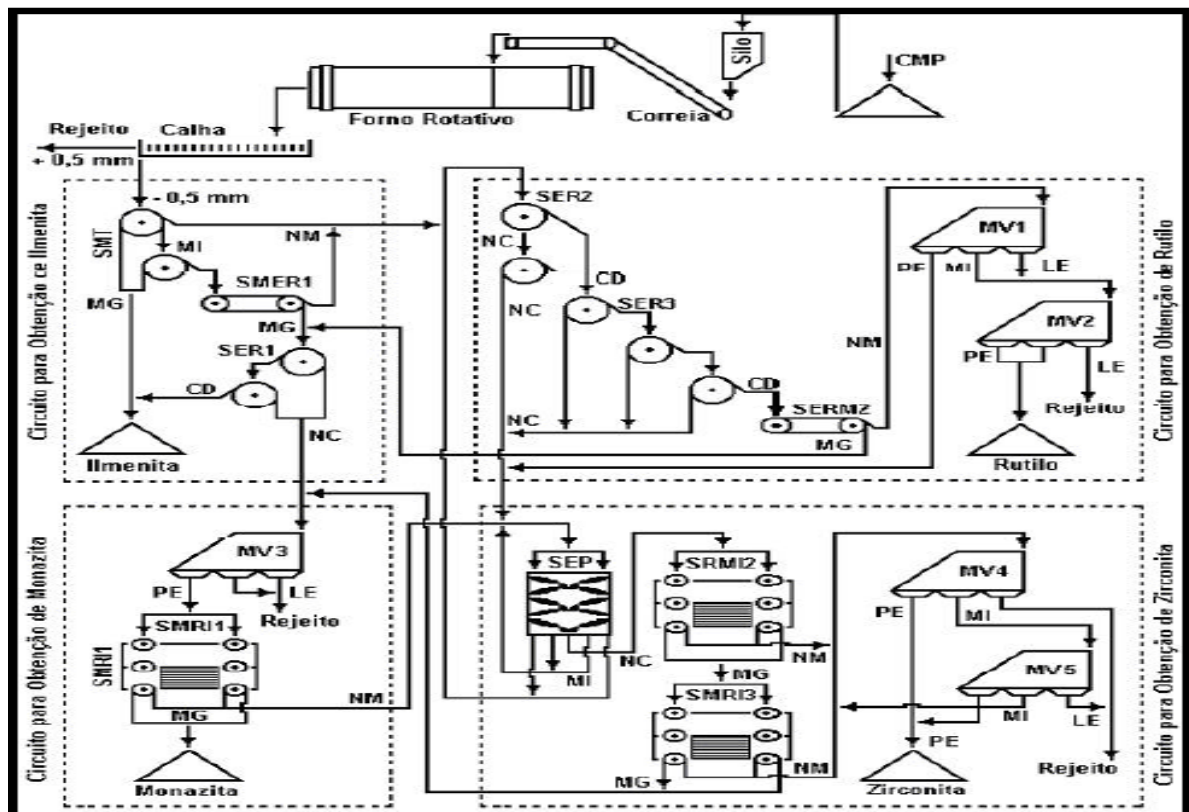
Os fluxogramas abaixo representam todo o circuito de beneficiamento da INB – Buena.

Fluxograma 1. Fluxograma da unidade de beneficiamento hidrogravítico da INB, Buena-RJ.



Fonte: Sampaio et al (2001).

Fluxograma 2. Fluxograma da unidade de beneficiamento a seco da INB, Buena-RJ



Fonte: Sampaio et al (2001).

### **1.3.2. Millennium Inorganic Chemicals do Brasil**

A Millennium Inorganic Chemicals do Brasil é uma potência na produção de concentrado de zirconita explotando a mina do Guajú.

O método de lavra é a céu aberto com desmonte mecânico realizado por tratores, sendo que o minério alimenta a planta de beneficiamento por meio de correiras transportadoras. Após a alimentação, o minério passa por um peneiramento via úmido, onde o oversize (Maior que 2,5mm, correspondente à areia grossa e material orgânico) é descartado do processo, podendo ser aplicado fora da empresa, e o undersize é depositado num tanque em forma de polpa (55 a 60% de sólidos) (SAMPAIO et al, 2002).

Após retomada do tanque a polpa alimenta uma bateria de cones Reichter, por onde passa por etapas de rougher e cleaner primária e secundária. O concentrado da etapa de cleaner alimenta um classificador hidráulico, onde a fração grossa alimenta a separação magnética e a fina alimenta uma bateria de espirais concentradoras. O concentrado dessa fase do tratamento se junta à fração grossa do classificador e segue a úmido para uma bateria de separadores magnéticos do tipo Jones (SAMPAIO et al, 2002).

A fração magnética, rica em ilmenita, segue para fases de secagem e filtragem para posterior alimentação da separação eletrostática a seco, que tem como objetivo a separação da ilmenita (condutora – produto final dessa etapa) dos minerais contaminantes não condutores. O percentual não magnético (zirconita, rutilo e cianita) alimenta uma bateria de mesas vibratórias, compondo então a via úmida zirconita, que gera mais um produto final, o concentrado de zirconita (SAMPAIO et al, 2002).

O quadro a seguir apresenta a relação de teores dos compostos do concentrado final da zirconita da mina do Guajú.



Quadro 3. Composição química do concentrado de zirconita da Mina do Guajú.

<b>Zirconita E</b>	
<b>Compostos</b>	<b>Teor (%)</b>
ZrO <sub>2</sub> (inclusive HfO <sub>2</sub> )	66,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,11
TiO <sub>2</sub>	0,06
SiO <sub>2</sub> (Total)	32,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,80
Sílica Livre	0,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,10
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	< 0,10
MnO	< 0,05
CaO	< 0,10
MgO	< 0,50

Fonte: Sampaio et al (2002).

### **1.3.3. Planta De Beneficiamento da Mito - Mineração do Tocantins**

A Mito – Mineração Tocantins LTDA, localizada no município de Jaú do Tocantins, lavra minério de zircônio regime de concessão de lavra, em uma área de 50 ha. A reserva ainda possui uma vida útil de 20 anos, em caso de manter em produção em 200 toneladas/mês de concentrado.

A lavra é simples, já que o minério se localiza numa faixa de profundidade média entre 30 e 70 cm, resultando em uma camada mineralizada de aproximadamente 40 cm. Desde modo, a exploração é realizada com um trator de esteira que tem a inclinação da lâmina regulada pelo operador do equipamento, de modo a obter uma atividade mais eficiente, com um melhor aproveitamento da massa mineral. A zirconita apresenta como mineral indicativo a ilmenita, e como não indicativo, o feldspato.

A operação de transporte se dá por caminhões basculantes, de 20 m<sup>3</sup> (40 toneladas de minério de zirconita) de capacidade, com uma recuperação ideal é que tenha de 0,3 a 0,4 toneladas de zirconita. Como a frente de lavra é de localização muito variável, deve-se atuar à distância média de transporte (DMT), pois se essa ultrapassar 20 km, a exploração do minério dessa área se torna inviável.

A planta de beneficiamento da empresa funciona em 2 turnos de trabalho, tendo uma capacidade de produção de até 300 toneladas de concentrado por mês, sendo constituída por poucos e simples processos:

- Classificação granulométrica;
- Concentração gravimétrica.

O material ao chegar da lavra, com aproximadamente 2% de zirconita, alimenta uma tremonha, onde um jato de água dá início ao tratamento a úmido. Por uma calha, a polpa é lançada numa peneira de 1 deck, onde o oversize é o 1º rejeito (material grosseiro que não é destinado para a barragem de rejeito) e o undersize alimenta o jigge duplo.

A jigagem é composta por um jigge duplo (capacidade de 500 toneladas por mês), onde o material menos denso compõe o 2º rejeito, e esse por sua vez, é descarregado na barragem de rejeito, mas que em breve alimentará um jigge menor, diminuindo assim as perdas de zirconita. Já o material denso é depositado em big-bags e posteriormente despachado para o destino final. A faixa granulométrica média do produto final de 6 mm, com um teor médio de 67% de zirconita.

A barragem de rejeito é limpa periodicamente, havendo então a formação de pilhas de rejeito com os resíduos sólidos ali sedimentados, onde ainda está contido cerca de 0,5% de zirconita.

Toda a água do processo é reutilizada no beneficiamento, sendo captada dessa mesma barragem citada no parágrafo acima. Na figura abaixo podemos visualizar o fluxograma de tratamento mineral da referido planta.

Fluxograma 3. Atual Configuração da Planta de Beneficiamento.



Fonte: Criação própria.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Coleta das amostras em campo

Para a realização da coleta de amostra, fomos a campo com o acompanhamento do Prof. MsC. Rodrigo Meireles, geólogo conhecedor da gênese da jazida.

A Mito – Mineração Tocantins LTDA tem frentes de lavra em vários pontos do município de Jaú do Tocantins, mas a planta de beneficiamento da empresa fica no distrito de Novo Horizonte, a cerca de 380 km a sul de Palmas – TO.

Dividimos a área por tipo de material lá encontrado, o que resultou em 6 amostras, seguindo o método de amostragem aleatória. O mesmo procedimento de coleta foi aplicado para cada uma das amostras, sendo que utilizamos picareta, pá e sacos plásticos de 40 kg. Como equipamentos de suporte, usamos câmera fotográfica, GPS Garmin e prancheta.

Quadro 4. Coordenadas dos pontos de coleta das amostras.

Amostra	Ponto	Coordenadas UTM	Zona	Descrição
1	1	0762545	22	Chácara Estrela Dalva
2		8581076		
3				
4	2	0762843	22	Chácara Estrela Dalva
		8581200		
5	3	0766252	22	Pilha de rejeito
6		8572173		

Fonte: Criação própria.

Amostra 1 – Composta exatamente pelo mesmo material que alimenta a planta de beneficiamento da empresa, ou seja, o material primário. Contendo uma mistura de resíduos orgânicos, cristais de quartzo, zirconita e outros.

Figura 1. Coleta da amostra 1.



Fonte: Criação própria.

Amostras 2 e 3 – As amostras 2 e 3 apresentam composição bastante similar. Elas foram coletadas na estrada de acesso a Chácara Estrela, onde formações causadas pela erosão da água de chuva resultaram em uma superfície irregular, propícia para o acúmulo de material denso. Nessas formações então, certo volume de zirconita e mineral magnético foram acumulados, sendo esses pontos escolhidos para coleta das amostras 2 e 3, havendo entre elas uma diferença de cerca de 30 m.

Figura 2. A) Zirconita acumulada pela ação da água fluvial e demais matérias in situ. B) Coleta da amostra 2.



Fonte: Criação própria.

Amostra 4 – Essa amostra foi coletada no primeiro ponto de acúmulo na estrada da Chácara Estrela. Fazendo uma avaliação macroscópica, não identificamos significativo percentual de cristais de zirconita, mas alto percentual desse material possivelmente metálico, como podemos constatar na figura abaixo. A



composição do mesmo é incerta, mas levando em consideração os estudos geológicos da região, esse mineral provavelmente seja ilmenita, um óxido natural de ferro e titânio, com magnetismo fraco.

Figura 3. Acumulação natural de material magnético.



Fonte: Criação própria.

Amostras 5 e 6 – Por fim, coletamos as amostras na pilha de rejeito. Essas amostras foram adquiridas em dois diferentes pontos (40 m de distância) no topo da pilha, buscando melhor representatividade da amostragem.

Figura 4. Coleta da amostra 5.



Fonte: Criação própria.

## 2.2. Classificação granulométrica

### 2.2.1. Preparação das amostras

Após a coleta em campo, as seis amostras deixadas no Laboratório de Tratamento de Minérios do Centro Universitário Luterano de Palmas (LTM – CEULP/ULBRA), onde passaram por todos os ensaios e testes da pesquisa, exceto os físico-químicos.

Para a realização da classificação granulométrica, todas as amostras passaram pelos mesmos procedimentos de preparação. Etapas de cominuição não foram necessárias, simulando então das condições da planta de beneficiamento da empresa,

Primeiramente espalhamos em uma lona e expomos ao Sol todo o material, amostra por amostra, com o objetivo de eliminar umidade, já que a coleta das amostras se deu em época chuvosa.

Buscando maior eficiência e melhor aproveitamento do tempo disponível para a pesquisa, a homogeneização e quarteamento primário foram feitos na própria lona, isso porque a massa de cerca de 30 kg de cada amostra inviabilizava o uso do quarteador Jones.

Figura 5. A) Amostra sendo seca naturalmente em exposição solar. B) Homogeneização. C) Quarteamento D) Separação de 1 fração de quarteamento.



Fonte: Criação própria.

Após a homogeneização do material, fizemos uma pilha cônica e a dividimos em quatro partes aproximadamente iguais, das quais uma foi novamente quarteada no Quarteador Jones. Nessa etapa obtivemos amostras de menor massa (em média 2 kg), que foram destinadas ao ensaio de classificação granulométrica, classificação

granulométrica do percentual de massa magnética e separação manual da zirconita, os quais terão resultados apresentados no item *3.0 Resultados e Discussão*.

Figura 6. Quarteador Jones do LTM – CEULP/ULBRA



Fonte: Criação própria.

Na foto acima temos a apresentação do Quarteador Jones do LTM – CEULP/ULBRA, que quarteia a amostra por 16 calhas (esse número obrigatoriamente deve ser par) com inclinação de 45°, direcionadas opostamente, feitas em aço inoxidável. A alimentação deve ser feita transversalmente à entrada das calhas, de modo contínuo e lento, ressaltando que a amostra deve estar seca para evitar acúmulo de massa nas paredes da calha. Quanto maior o número de repetições da operação com o material contido em um dos recipientes de coleta, menor a massa final.

### **2.2.2. Classificação granulométrica**

Para tal classificação usamos um conjunto de peneiras, composto por 8 decks (0,25# - 200#), e uma base vibratória. Com massa de aproximadamente 2.000g, cada uma das 6 amostra alimentou o conjunto de peneiras, lá permanecendo 5 minutos sob constante vibração. Ao fim, aferimos a massa retida em cada um dos decks do conjunto, com o uso de uma balança AS500C Marte gerando então os dados de alimentação dos quadros e gráficos que serão apresentados nos item *3. Resultados e Discussão*.

### **2.2.3. Classificação granulométrica do percentual de massa magnética**

Como um dos nossos objetivos é a separação dos minerais acessórios do concentrado de zirconita, principalmente na fração magnética, é de extrema necessidade para nossa pesquisa, o aferimento do percentual de massa magnética na massa total. Para isso, executamos de forma simples a separação desse material, fazendo uso de um ímã convencional.

O procedimento se deu após o aferimento da massa retida em cada deck do conjunto de peneiras, descrito no item 2.2.2. *Classificação Granulométrica*. Inserimos o ímã no interior de um saco plástico (o que facilita a liberação dos grãos magnéticos), e manualmente o passamos sobre a amostra de forma lenta. Ao fim, quando o ímã não atraiu mais grão algum, aferimos a massa total, obtendo então o percentual de massa magnética correspondente a cada faixa granulométrica.

Figura 7. Separação magnética manual associada à classificação granulométrica.



Fonte: Criação própria.

### **2.2.4. Classificação granulométrica com separação manual de zirconita**

Ainda utilizando como amostra de trabalho o retido em cada deck do conjunto de peneiras, separamos aproximadamente 25% de cada massa, nos quais fizemos uma separação manual dos fragmentos de zirconita. Para tal, fizemos uso de uma lente de aumento e pinça, obtendo então a massa de fragmentos de zirconita correspondente a cada faixa granulométrica visível, ou seja, no intervalo de 0,25 – 20#.



Figura 8. Quarteamento para obtenção de 25% da massa total



. Fonte: Criação própria.

Figura 9. Lente de aumento utilizada na separação granulométrica manual.



Fonte: Criação própria.

### 2.3. Ensaios com mesa oscilatória

Os ensaios com a mesa oscilatória tipo Wilfley (modelo 320 x 650mm) foram realizados com o objetivo de conhecer o comportamento da zirconita na mesma, e concluir se a instalação dela na planta de beneficiamento da Mito - Mineração Tocantins LTDA, após a jigagem surtiria efeito positivo na recuperação dos finos perdidos na referida operação.

Como já foi falado, tínhamos 6 amostras a serem trabalhadas, mas resumimos esse número a 3, isso devido a semelhança de 4 delas, e por não dispormos de tempo e equipamentos suficientes para a realização dos ensaios com todas as amostras, já que cada teste demandou 48 horas para a finalização.

Assim, tivemos:

Amostra 1: Material primário

Amostra 2/3: Mistura das amostras 2 e 3.

Amostra 5/6: Mistura das amostras 5 e 6.

A amostra 4 foi desconsiderada para o teste com a mesa oscilatória por ser em maioria composta por material magnético, o que não nos daria relevantes resultados.

Cada amostra foi devidamente homogeneizada e quarteada para a obtenção de 2 kg de massa, com exceção da amostra 5/6 que teve massa de 3 kg. Antes de cada teste, por se tratar de materiais diferentes, a vazão e inclinação mesa eram novamente reguladas. Mas pela densidade ( $2\text{g/cm}^3$ ) dos materiais das amostras serem muito aproximadas, essas variáveis se mantiveram sem alteração. Assim trabalhamos com uma vazão de água de 16,2 L/min, inclinação de  $6^\circ$ , e frequência de 270 períodos/min.

A alimentação da massa seca também influencia no comportamento da zona de estratificação da mesa, mas devido limitações do equipamento, a alimentação foi feita manualmente, de modo constante.

Figura 10. Ensaio de concentração de zirconita por meio da mesa oscilatória tipo Wilfley (modelo 320 x 650mm).



Fonte: Criação própria.

Cada ensaio durou aproximadamente 25 minutos. Ao fim, os recipientes com as respectivas polpas ficaram em repouso por 24 horas, sendo que então retiramos a água e, em formas metálicas, o percentual sólido de cada recipiente permaneceu por mais 24 horas secando numa estufa a uma temperatura de  $80^\circ\text{C}$ . Após

devidamente seca, as massas foram aferidas, e o material guardado em sacos plásticos para posterior uso.

#### **2.4. Ensaio com separação magnética**

Para esse ensaio usamos do método comum e manual de separação magnética, tendo em vista o conhecimento da massa que foi coletadas pelo ímã nas amostras 2 e 3, que são as que mais se assemelham ao produto final da Mito.

Primeiramente quarteamos as amostras 2 e 3 separadamente até obtermos 3 kg de cada uma delas, homogeneizamos o total de 6 kg e novamente executamos quarteamento até a obtenção de uma amostra de 3 kg.

A partir dessa amostra, realizamos a separação magnética do mesmo modo citado no item 2.2.3 *Classificação granulométrica do percentual de massa magnética*, ou seja, passando lentamente o ímã sobre a amostra. Desse modo obtemos dois materiais: o concentrado magnético, e a zirconita e demais, os quais tiveram as massas aferidas e respectivos percentuais encaminhados para ensaios físico-químicos, bem como a amostra da alimentação do teste.

#### **2.5. Ensaio físico-químicos**

##### **2.5.1. Preparação das amostras no LTM – CEULP/ULBRA**

As amostras finais foram encaminhadas para o Laboratório de Microscopia Avançada (LMA) do Departamento de Físico-Química, no Instituto de Química da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) – Araraquara, onde foram realizados os ensaios de DRX.

Com os testes de concentração com a mesa oscilatória, obtivemos 6 novas amostras, que somadas ao produto de alimentação totalizaram 9, mas como o número de ensaios no LMA era limitado, organizamos as amostras como explicado na figura 11, de modo a diminuir esse número para 6.

O material a ser ensaiado foi devidamente tratado ainda no CEULP/ULBRA. Esse tratamento se resume basicamente à mistura de amostras resultados dos testes com a mesa, e cominuição dos mesmos com uso de almofariz e pistilo de porcelana, bem com das amostras provenientes da separação magnética e dos materiais primários, ambos numa faixa granulométrica final de 100#.

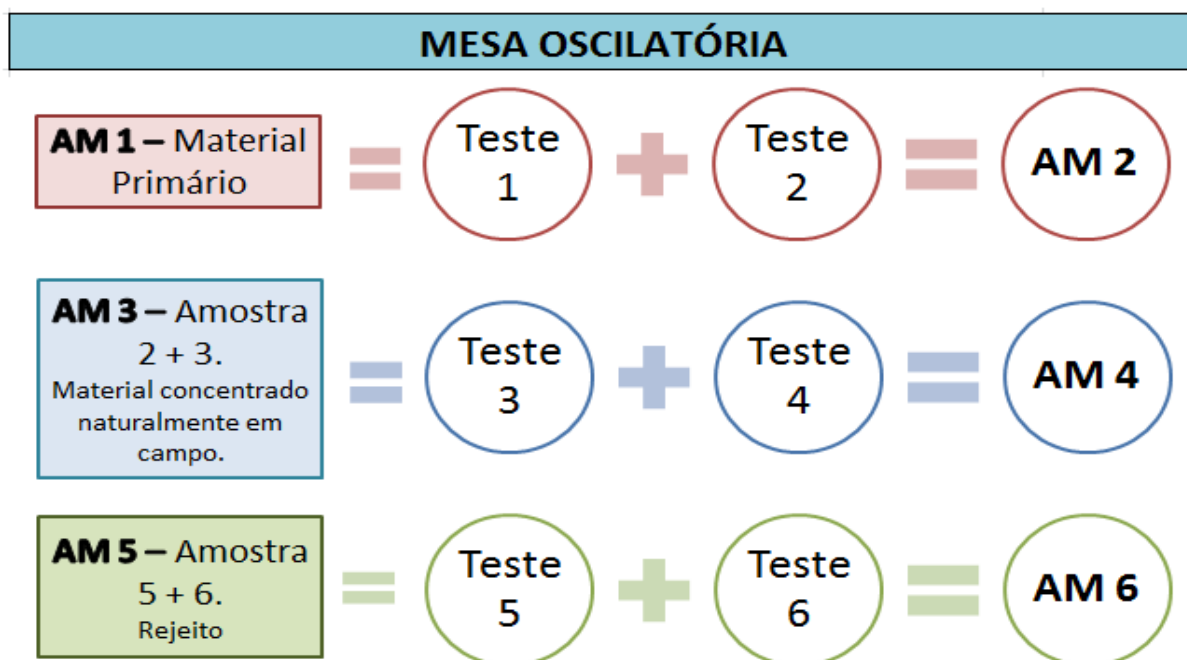
AM 1 - Foi quarteada até uma massa final de 15 g, que posteriormente foi cominuída.

AM 2, 4 e 6 – Os concentrados provenientes dos 6 testes com a mesa oscilatória, alimentada pelo material coletado em campo, foram quarteados separadamente até atingirmos 100 g de cada um. Em seguida homogeneizamos os 200 g (correspondentes aos pares compostos pelo mesmo material), quarteamos, cominuimos e obtivemos 3 amostras finais, com 15 g cada.

AM 3 – Como dito no item 2.3 *Ensaios com mesa oscilatória*, as amostras 2 e 3 foram homogeneizadas para a obtenção de 1 amostra com 15 g.

AM 5 – Como dito no item 2.3 *Ensaios com mesa oscilatória*, as amostras 5 + 6 foram homogeneizadas para a obtenção de 1 amostra com 15 g.

Figura 11. Imagem organizacional das amostras dos testes com a mesa oscilatória que foram encaminhadas aos ensaios físico-químicos.



Fonte: Criação própria.

Quadro 5. Quadro organizacional das amostras dos testes com a separação magnética que foram encaminhadas aos ensaios físico-químicos.

SEPARAÇÃO MAGNÉTICA	
AMOSTRA	DESCRIÇÃO
AM 7	Amostra 2 + 3. Material concentrado naturalmente em campo.
AM 8	Rejeito - Material magnético
AM 9	Concentrado de zirconita
AMOSTRA	DESCRIÇÃO
AM 10	zirconita pura

Fonte: Criação própria.

### **2.5.2. Ensaios físico-químicos**

O Departamento de Físico-Química, pertencente ao Instituto de Química, conta com um equipamento de DRX da marca SIEMENS (modelo D5000 - DIFFRAC PLUS XRD Commander). Sendo que o mesmo é composto por dois goniômetros, um para medidas de difratometria em amostras sólidas, com geometria BRAGG – BRENTANO,  $\theta$ - $2\theta$ , Radiação Cu K $\alpha$ , com detector de Cintilação e Monocromador de Grafite, outro para medidas de Difração com Tratamento Térmico, utilizando detector PSD multicanais. Sendo que conta também com uma câmara de reflectometria para medidas de espessura e rugosidade em filmes finos.

Após devidamente preparadas, como explicado no item anterior, nossas 10 amostras foram encaminhadas para o Instituto de Química na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Araraquara, onde foram realizados ensaios de difração de Raios X (DRX).

A técnica de DRX corresponde a uma das principais técnicas de caracterização microestrutural de materiais cristalinos, encontrando aplicações em diversos campos do conhecimento, mais particularmente na engenharia e ciências de materiais, engenharias metalúrgica, química e de minas, entre tantos outros.

Os ensaios foram realizados visando à identificação do elemento zircônio, com escalas de 0 a 90, sendo que a cada grau, um pico de intensidade de difração foi coletado pelo detector, então gerando os difratogramas que serão apresentados no item 3. *Resultados e Discussão*.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Ensaio de classificação granulométrica

Ao fim dos ensaios de classificação granulométrica, obtivemos os resultados apresentados a seguir.

##### 3.1.1. Amostra 1

Quadro 6. Resultados os testes de separação granulométrica, e granulométrica por separação manual da zirconita e magnética da amostra 1.

AMOSTRA 1									
Minério primário - Balança convencional									
Intervalo (#)	Massa (g)	Retido (%)	Passante (%)	Acumulado (%)	Material magnético (g)	Material magnético (%)	1/4 da amostra (g) - Aproximado.	Zirconita (1/4) g	Zirconita (1/4) %
> 0,25	110	6,30	93,70	6,30	0,42	0,38	-	-	-
0,25 - 8	550	31,52	62,18	37,82	22,78	4,14	148,92	2,56	1,72
8 - 20.	360	20,63	41,55	58,45	11,62	3,23	-	-	-
20 - 30	95	5,44	36,10	63,90	3,05	3,21	-	-	-
30 - 40	115	6,59	29,51	70,49	2,88	2,50	-	-	-
40 - 50	175	10,03	19,48	80,52	3,19	1,82	-	-	-
50 - 100	230	13,18	6,30	93,70	1,17	0,51	-	-	-
100 - 200	60	3,44	2,87	97,13	1,57	2,62	-	-	-
< 200	50	2,87	0,00	100,00	1,07	2,14	-	-	-
Total	1745	100,00			47,75	2,74	148,92	2,56	1,72

Fonte: Criação própria.

A amostra 1 apresentou maior percentual retido no intervalo de 0,25 – 8#, sendo também nesse mesmo intervalo, encontrada a massa de 2,56g de fragmentos de zirconita, coletados nos 25% da massa total que representa o todo retido naquela peneira.

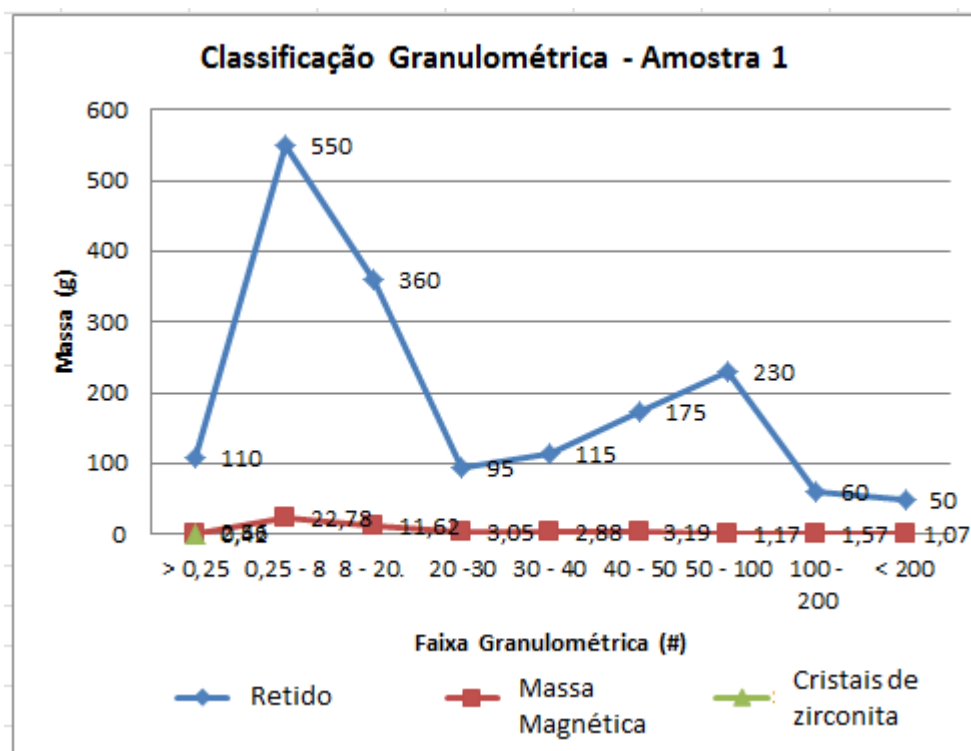
O fato de não haver comprovação da existência de zirconita nas demais faixas granulométricas menores se deve ao limite de visualização dos grãos, não nos permitindo distinguir fragmentos de zirconita e dos outros minerais e rochas presentes na amostra. Em relação a faixa > 0,25#, não visualizamos fragmentos de zirconita por se tratar de um intervalo onde a presença de cristais de quartzo é predominante.

A maior massa de material magnético se situou também no mesmo intervalo (0,25 – 8#), representando 1,3% de toda a massa da amostra (1.745 g).

Analisando o quadro acima, podemos concluir que o percentual de material magnético é cerca de 4 vezes maior que o de zirconita na amostra 1.

No gráfico abaixo apresentamos o comportamento da massa da amostra nas diferentes faixas granulométricas. Sendo essa massa distribuída em retido, magnética e fragmentos de zirconita.

Gráfico 1. Classificação granulométrica da amostra 1: massa x faixa granulométrica.



Fonte: Criação própria.

### 3.1.2. Amostra 2

Quadro 7. Resultados os testes de separação granulométrica, e granulométrica por separação manual da zirconita e magnética da amostra 2.

AMOSTRA 2									
Minério concentrado naturalmente - Balança convencional									
Intervalo (#)	Massa (g)	Retido (%)	Passante (%)	Acumulado (%)	Material magnético (g)	Material magnético (%)	1/4 da amostra (g) - Aproximado.	Zirconita (1/4) g	Zirconita (1/4) %
> 0,25	275	13,99	86,01	13,99	44,21	16,08	73,56	26,21	35,63
0,25 - 8	635	32,32	53,69	46,31	138,94	21,88	148,85	20,01	13,44
8 - 20.	445	22,65	31,04	68,96	185,09	41,59	98,45	3,71	3,77
20 -30	80	4,07	26,97	73,03	32,18	40,23	-	-	-
30 - 40	90	4,58	22,39	77,61	26,68	29,64	-	-	-
40 - 50	150	7,63	14,76	85,24	28,44	18,96	-	-	-
50 - 100	210	10,69	4,07	95,93	22,88	10,90	-	-	-
100 - 200	50	2,54	1,53	98,47	2,07	4,14	-	-	-
< 200	30	1,53	0,00	100,00	0,22	0,73	-	-	-
Total	1965	100,00			480,71	24,46	320,86	49,93	15,56

Fonte: Criação própria.

Na amostra 2, a maior massa retida continua no intervalo de 0,25 – 8#, entretanto a mais significativa massa de zirconita (26,21g de 25% da massa retida) está situada no intervalo de > 0,25#, representando 5,3% da amostra total.

O maior percentual de massa magnética ficou retido no intervalor de 8 - 20#, sendo representado por 185,09g, o que significa 38,5% de toda a massa magnética.

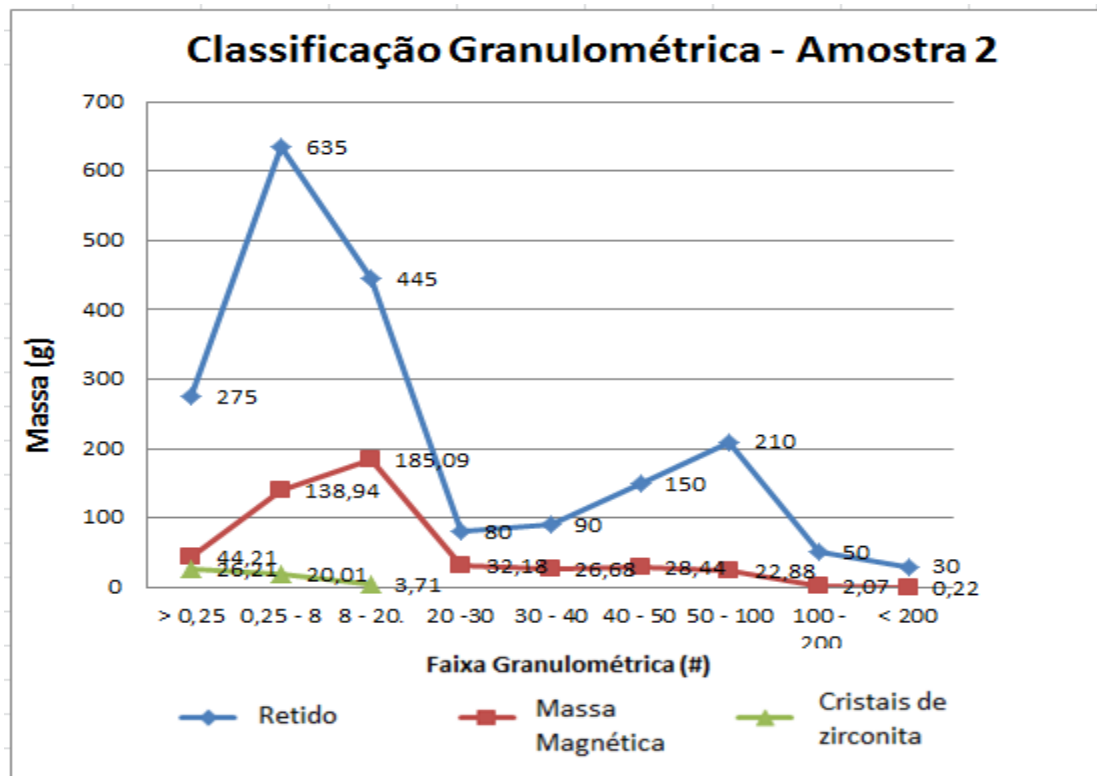


Sendo que de modo geral, o percentual magnético é 2 vezes maior que o de fragmentos de zirconita.

Comparando a massa de fragmentos de zirconita da amostra 2 (199,72g) com a da amostra 1 (10,24 g), notamos um crescimento de 19,5 vezes. Isso se deve a natureza da amostra 2, pois ela foi coletada numa área de acumulação natural pela ação da água fluvial. Logo, nesse ponto temos maior volume de zirconita e outros minerais e rochas de maior densidade em relação a sílica.

Essa amostra, assim como a amostra 3, são as que mais se assemelham ao produto final de planta de beneficiamento da Mito - Mineração do Tocantins.

Gráfico 2. Classificação granulométrica da amostra 2: massa x faixa granulométrica.



Fonte: Criação própria.



### 3.1.3. Amostra 3

Quadro 8. Resultados os testes de separação granulométrica, e granulométrica por separação manual da zirconita e magnética da amostra 3.

AMOSTRA 3									
Minério concentrado naturalmente - Balança convencional									
Intervalo (#)	Massa (g)	Retido (%)	Passante (%)	Acumulado (%)	Material magnético (g)	Material magnético (%)	1/4 da amostra (g) - Aproximado.	Zirconita (1/4) g	Zirconita (1/4) %
> 0,25	390	15,03	84,97	15,03	45,57	11,68	99,86	16,38	16,40
0,25 - 8	780	30,06	54,91	45,09	148,61	19,05	199,32	34,46	17,29
8 - 20.	520	20,04	34,87	65,13	219,63	42,24	119,52	5,23	4,38
20 - 30	105	4,05	30,83	69,17	37,82	36,02	-	-	-
30 - 40	125	4,82	26,01	73,99	32,40	25,92	-	-	-
40 - 50	235	9,06	16,96	83,04	37,58	15,99	-	-	-
50 - 100	335	12,91	4,05	95,95	28,09	8,39	-	-	-
100 - 200	70	2,70	1,35	98,65	1,72	2,46	-	-	-
< 200	35	1,35	0,00	100,00	0,05	0,14	-	-	-
Total	2595	100,00			551,47	21,25	418,70	56,07	13,39

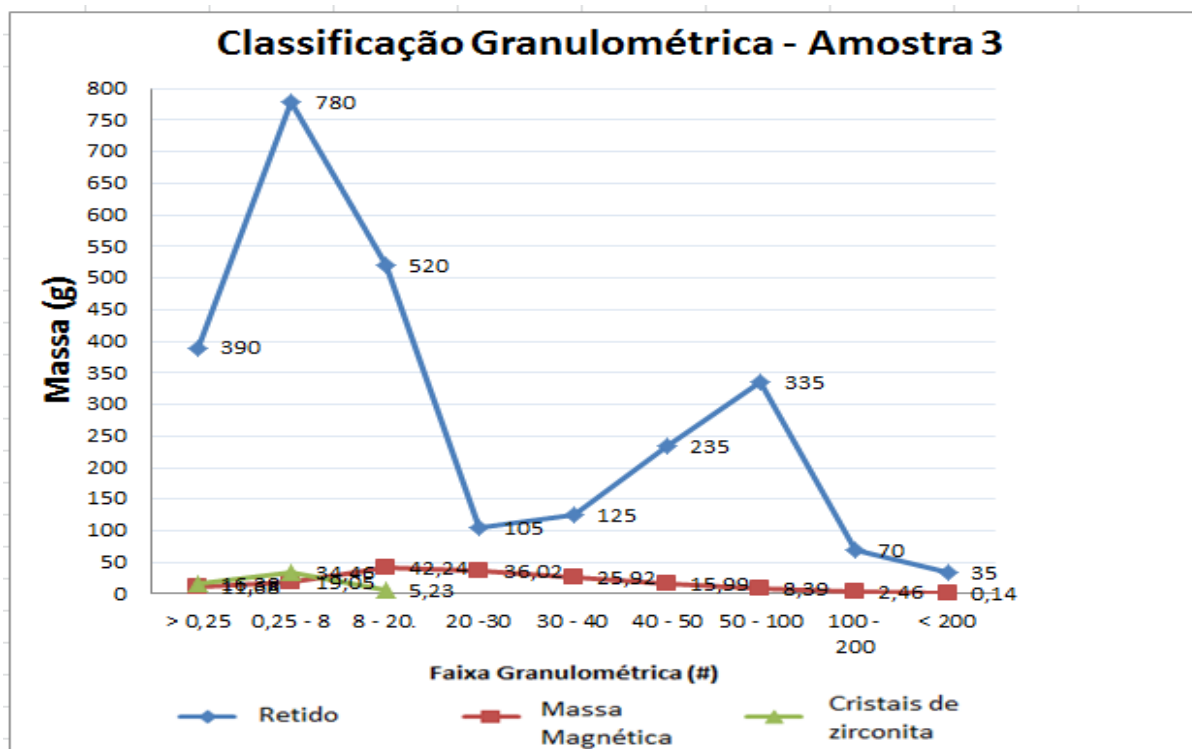
Fonte: Criação própria.

Se observamos o quadro da amostra 2 com o da amostra 3, veremos alta aproximação nos valores, o que se deve à proximidade de ponto de coleta, havendo apenas a diferença da intensidade da ação da água da chuva.

Na amostra 3, tivemos 780g retidas no intervalo 0,25 – 8#, sendo essa a maior massa retida. Nesse mesmo intervalo tivemos também a maior massa de zirconita (34,46g dos 25% analisados), porém de material magnético foi no intervalo 8 – 20#, assim como na amostra 2. Sendo que a massa magnética é 2,4 vezes maior que a de zirconita.

Mais uma vez comparando a amostra 2 com a 3, temos uma queda de 10,16% de zirconita na amostra 2 para 8,6% na amostra 3. Isso é proveniente da distância de ponto de coleta entre elas, pois a amostra 3 foi coletada a cerca de 30m da amostra 2, o que nos remete a diferença da massa dos fragmentos de zirconita, associado a sua densidade e dificuldade de transporte pela água.

Gráfico 3. Classificação granulométrica da amostra 3: massa x faixa granulométrica.



Fonte: Criação própria.

### 3.1.4. Amostra 4

Quadro 9. Resultados os testes de separação granulométrica, e granulométrica por separação manual da zirconita e magnética da amostra 4.

AMOSTRA 4									
Minério concentrado naturalmente - Balança convencional									
Intervalo (#)	Massa (g)	Retido (%)	Passante (%)	Acumulado (%)	Material magnético (g)	Material magnético (%)	1/4 da amostra (g) - Aproximado.	Zirconita (1/4) g	Zirconita (1/4) %
> 0,25	31,46	1,92	98,08	1,92	1,11	3,53	-	-	-
0,25 - 8	450,33	27,42	70,66	29,34	4,75	1,05	112,58	0,57	0,51
8 - 20	473,05	28,80	41,86	58,14	4,29	0,91	-	-	-
20 - 30	110,15	6,71	35,15	64,85	1,66	1,51	-	-	-
30 - 40	136,99	8,34	26,81	73,19	2,71	1,98	-	-	-
40 - 50	186,65	11,37	15,45	84,55	3,64	1,95	-	-	-
50 - 100	183,83	11,19	4,25	95,75	1,34	0,73	-	-	-
100 - 200	45,71	2,78	1,47	98,53	0,42	0,92	-	-	-
< 200	24,15	1,47	0,00	100,00	0,00	0,00	-	-	-
Total	1642,32	100,00			19,92	1,21	112,58	0,57	0,51

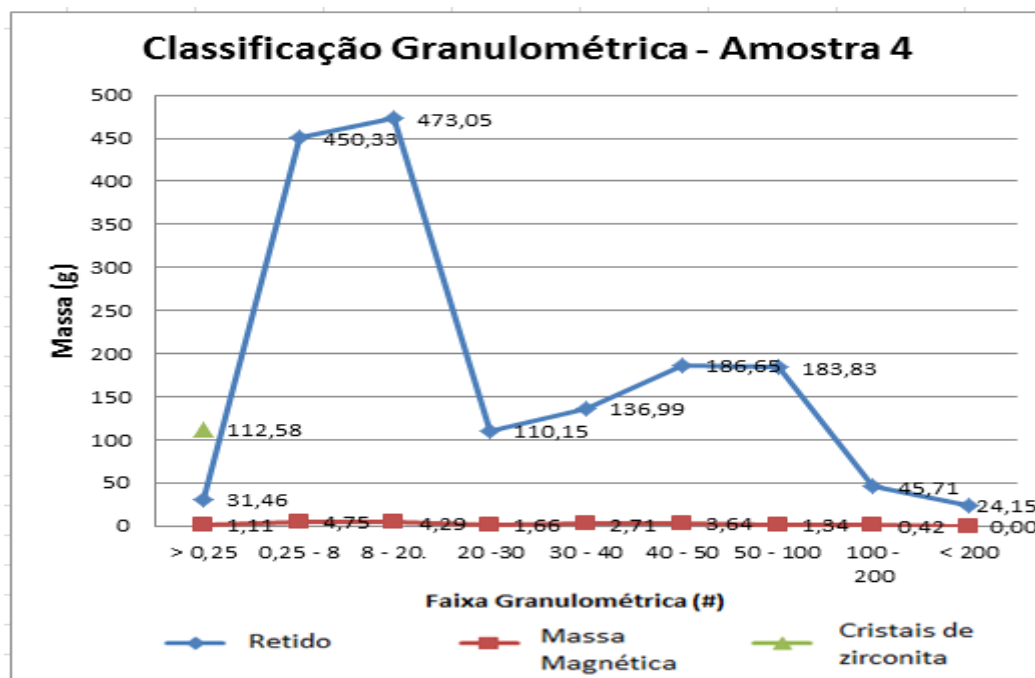
Fonte: Criação própria.

A amostra 4 apresentou maior massa retida (450,33g) no intervalo 8 – 20#, sendo que nesse não encontramos nenhum fragmento de zirconita. Sendo esse visualizado apenas no intervalo de 0,25 – 8#, totalizando uma massa de

aproximadamente 2,28 g. Situando-se nessa mesma faixa, o maior percentual de material magnético, 0,28%.

Em comparação com a amostra 3, temos uma queda de 8,46% nos fragmentos de zirconita em relação a amostra 2. Isso possivelmente é explicado pela localização do ponto de amostragem, sendo esse distante do ponto das amostras 2 e 3.

Gráfico 4. Classificação granulométrica da amostra 4: massa x faixa granulométrica.



Fonte: Criação própria.

### 3.1.5. Amostra 5

Quadro 10. Resultados os testes de separação granulométrica, e granulométrica por separação manual da zirconita e magnética da amostra 5.

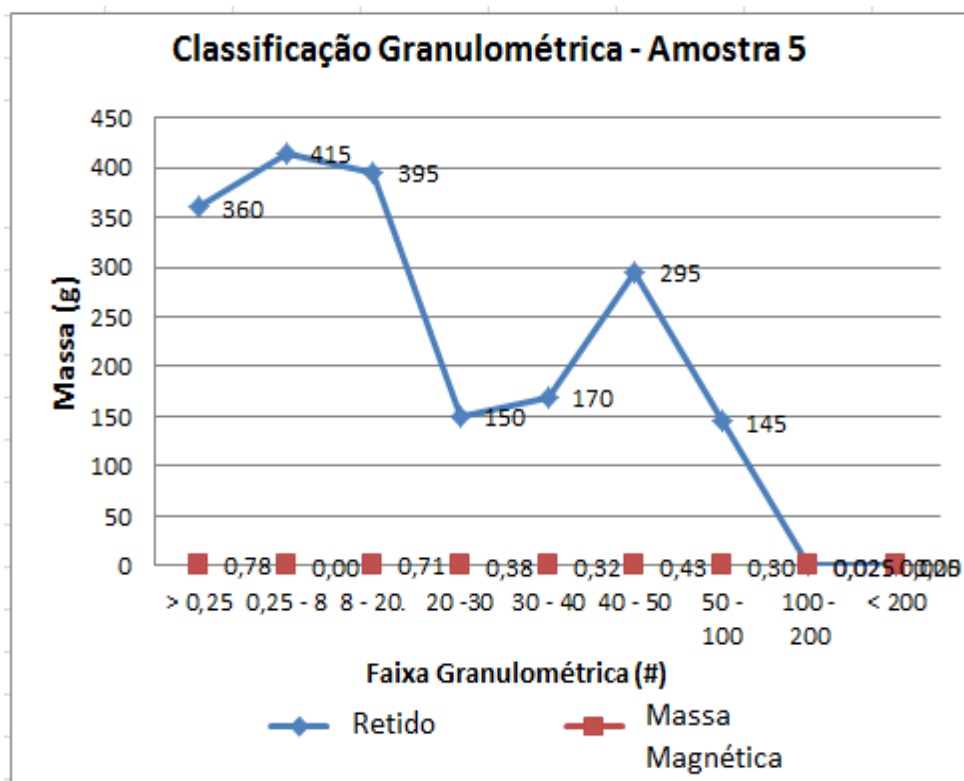
AMOSTRA 5									
Rejeito - Balança convencional									
Intervalo (#)	Massa (g)	Retido (%)	Passante (%)	Acumulado (%)	Material magnético (g)	Material magnético (%)	1/4 da amostra (g) - Aproximado.	Zirconita (1/4) g	Zirconita (1/4) %
> 0,25	360	18,65	81,35	18,65	0,78	0,217	-	-	-
0,25 - 8	415	21,50	59,85	40,15	-	-	-	-	-
8 - 20.	395	20,47	39,38	60,62	0,71	0,180	-	-	-
20 - 30	150	7,77	31,61	68,39	0,38	0,253	-	-	-
30 - 40	170	8,81	22,80	77,20	0,32	0,188	-	-	-
40 - 50	295	15,28	7,52	92,48	0,43	0,146	-	-	-
50 - 100	145	7,51	0,003	100,00	0,30	0,207	-	-	-
100 - 200	0,025	0,001	0,001	100,00	0,02	80,000	-	-	-
< 200	0,025	0,001	0,000	100,00	-	-	-	-	-
Total	1930,1	100,00			2,94	0,152			

Fonte: Criação própria.

A amostra 5 teve a maior massa retida (415g) no intervalo 0,25 – 8#, não ficando muito distante da massa (395 g) da peneira de 20#.

Essa amostra é composta pelo material sedimentado da barragem de rejeito da planta de beneficiamento da Mito Mineração, o que justifica a ausência visual de fragmentos de zirconita, bem como o baixo percentual de material magnético, 0,152%. Esse comportamento já era esperado, pois a densidade de ambos os materiais são similares, o que faz com que praticamente toda a fração magnética seja concentrada junto com a zirconita.

Gráfico 5. Classificação granulométrica da amostra 5: massa x faixa granulométrica.



Fonte: Criação própria.

### 3.1.6. Amostra 6

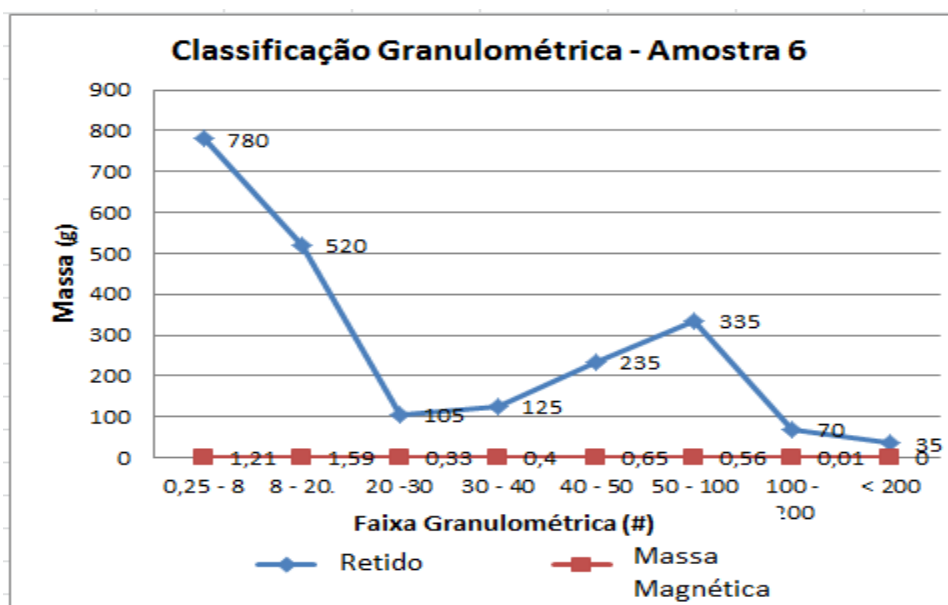
Quadro 11. Resultados os testes de separação granulométrica, e granulométrica por separação manual da zirconita e magnética da amostra 6.

AMOSTRA 6									
Rejeito - Balança convencional									
Intervalo (#)	Massa (g)	Retido (%)	Passante (%)	Acumulado (%)	Material magnético (g)	Material magnético (%)	1/4 da amostra (g) - Aproximado.	Zirconita (1/4) g	Zirconita (1/4) %
> 0,25	390	15,03	0,00	15,03	-	-	-	-	-
0,25 - 8	780	30,06	15,03	45,09	1,21	0,16	-	-	-
8 - 20.	520	20,04	45,09	65,13	1,59	0,31	-	-	-
20 -30	105	4,05	65,13	69,17	0,33	0,31	-	-	-
30 - 40	125	4,82	69,17	73,99	0,4	0,32	-	-	-
40 - 50	235	9,06	73,99	83,04	0,65	0,28	-	-	-
50 - 100	335	12,91	83,04	95,95	0,56	0,17	-	-	-
100 - 200	70	2,70	95,95	98,65	0,01	0,01	-	-	-
< 200	35	1,35	98,65	100,00	-	-	-	-	-
Total	2595	100,00			4,75	0,18			

Fonte: Criação própria.

A mesma explanação dada no item anterior pode ser aplicada a amostra 6, já que ambas se tratam do mesmo material, mas coletas em pontos com cerca de 40 m de distância entre eles. Nesse caso, assim como no anterior, a maior massa retina está na faixa entre 0,25 – 8#.

Gráfico 6. Classificação granulométrica da amostra 6: massa x faixa granulométrica.



Fonte: Criação própria.

### 3.2. Ensaio com mesa oscilatória

#### 3.2.1. Amostra 1

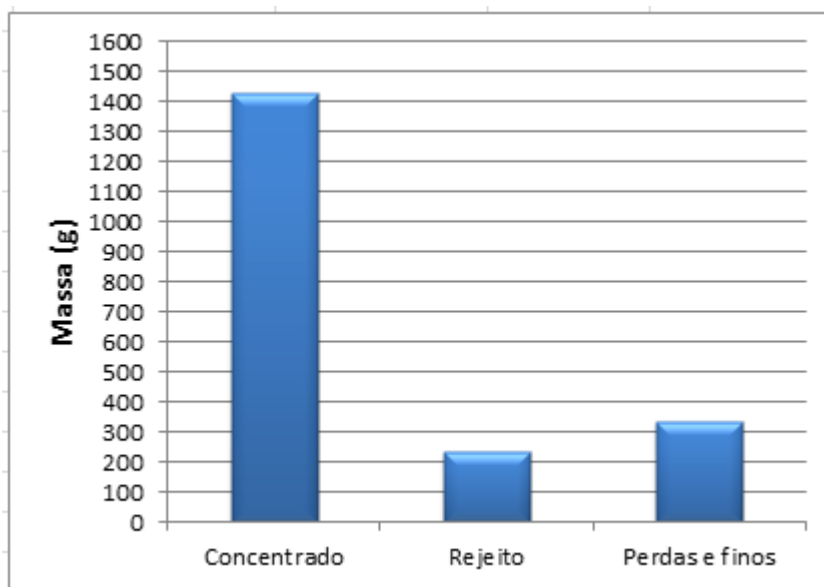
Buscando maior precisão e confiabilidade nos resultados, realizamos 2 testes com a amostra 1, com massas iniciais de 2 kg. Abaixo apresentamos os quadros e gráficos com os resultados dos procedimentos.

Quadro 12. Resultados dos testes de concentração gravítica de zirconita da amostra 1/teste 1 por meio da mesa oscilatória.

AMOSTRA 1			
TESTE 1			
Massa Inicial (g)	2000		
Concentrado	Rejeito	Massa final	Perdas e finos
1429,81	235,21	1665,02	334,98

Fonte: Criação própria.

Gráfico 7. Apresentação dos 3 diferentes produtos obtidos no teste de concentração de zirconita com a amostra 1/teste 1, com suas respectivas massas.



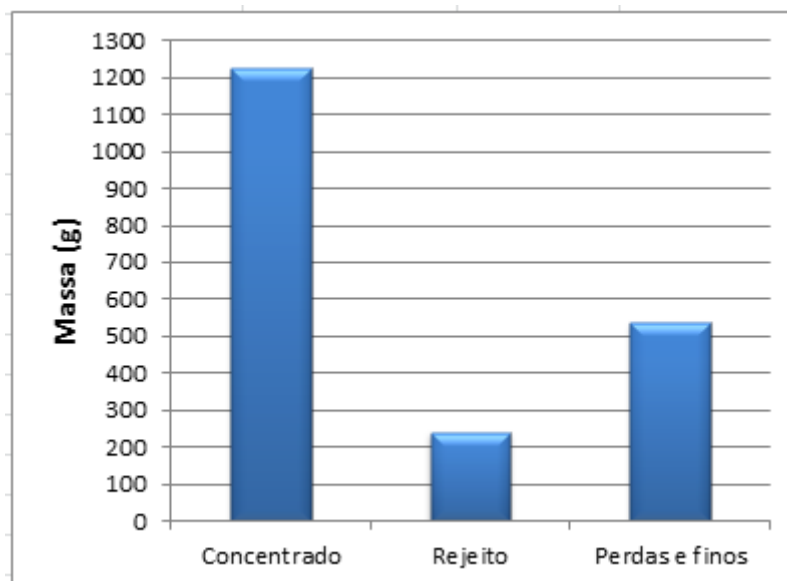
Fonte: Criação própria.

Quadro 13. Resultados dos testes de concentração gravítica de zirconita da amostra 1/teste 2 por meio da mesa oscilatória.

AMOSTRA 1			
TESTE 2			
Massa Inicial (g)	2000		
Concentrado	Rejeito	Massa final	Perdas e finos
1223,24	238,5	1461,74	538,26

Fonte: Criação própria.

Gráfico 8. Apresentação dos 3 diferentes produtos obtidos no teste de concentração de zirconita com a amostra 1/teste 2, com suas respectivas massas.



Fonte: Criação própria.

Ambos os testes apresentaram resultados similares entre si, especialmente as massas do concentrado e rejeito. Isso já era esperado, e se deve ao fato de a regulagem da mesa ter sido mantida.

Fazendo uma média comum, temos uma massa de 1.326,52 g de concentrado e 236,85 g de rejeito. O alto número de perdas e finos, tendo como média de 436,62 g, foi perdido por ser composto por partículas de granulometria abaixo de 100#. Esse material se mantém suspenso em água por longo tempo, tendo então sido descartado juntamente com a água usada no processo, mesmo após 24 horas de repouso. Essa perda não influencia nos resultados da pesquisa.

### **3.2.2. Amostra 2/3**

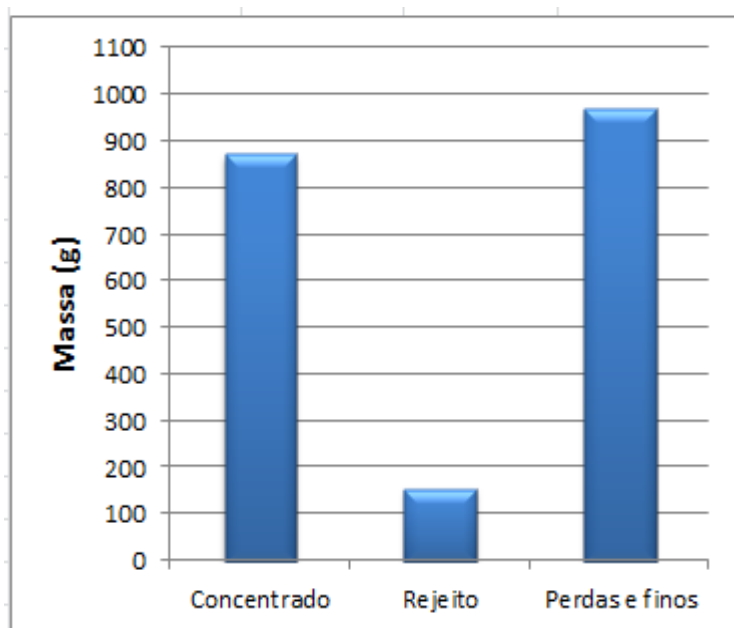
Os 2 testes com as amostras 2 e 3, devidamente homogêneas, foi realizado com atenção especial por se tratar de amostras com alta concentração de zirconita. A mesa foi precisamente regulada para evitar a perda do nosso mineral de interesse. Nos quadros e gráficos a seguir temos os resultados desses testes.

Quadro 14. Resultados dos testes de concentração gravítica de zirconita da amostra 2/3 - teste 3 por meio da mesa oscilatória.

AMOSTRA 2/3			
TESTE 3			
Massa Inicial (g)	2000		
Concentrado	Rejeito	Massa final	Perdas e finos
872,51	156,13	1028,64	971,36

Fonte: Criação própria.

Gráfico 9. Apresentação dos 3 diferentes produtos obtidos no teste de concentração de zirconita com a amostra 2/3 - teste 3, com suas respectivas massas.



Fonte: Criação própria.

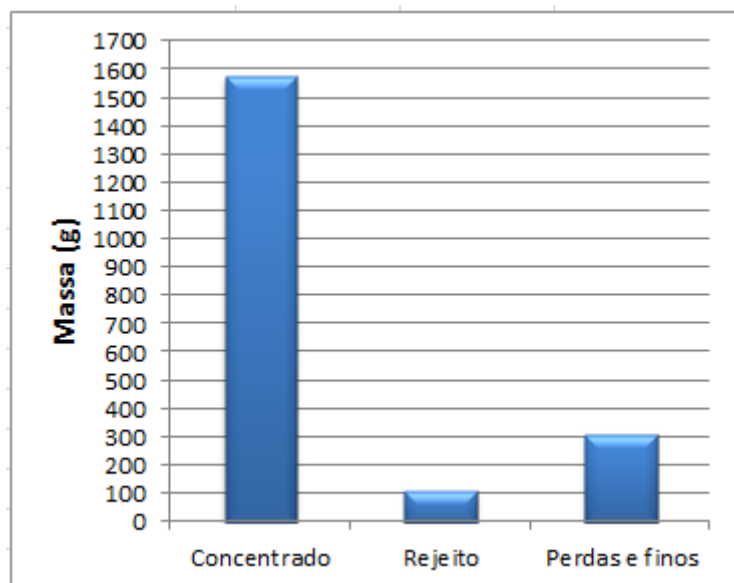
Quadro 15. Resultados dos testes de concentração gravítica de zirconita da amostra 2/3 - teste 4 por meio da mesa oscilatória.

AMOSTRA 2/3			
TESTE 4			
Massa Inicial (g)	2000		
Concentrado	Rejeito	Massa final	Perdas e finos
1576,36	113,95	1690,31	309,69

Fonte: Criação própria.



Gráfico 10. Apresentação dos 3 diferentes produtos obtidos no teste de concentração de zirconita com a amostra 2/3 - teste 4, com suas respectivas massas.



Fonte: Criação própria.

Ao contrário dos testes com a amostra 1, mesmo mantendo a regulagem da mesa, os resultados finais das massas de concentrado e perdas e finos nos testes apresentaram significativa diferença. No caso dos concentrados, o teste 4 teve 703,85 g a mais, isto é, um aumento de 80,67% em relação ao teste 3. Já nas percas e finos, o aumento de 661,67 g refletiu em 213,65% a mais. Analisando o rejeito, vemos que a massa se manteve próxima, em média 135,04g.

Desse modo, podemos afirmar que o percentual de finos era maior na amostra do teste 3, o que ocasionou no alto percentual do mesmo, enquanto no teste 4, esse percentual caiu, o que mostra uma elevação na granulometria da amostra.

### **3.2.3. Amostra 5/6**

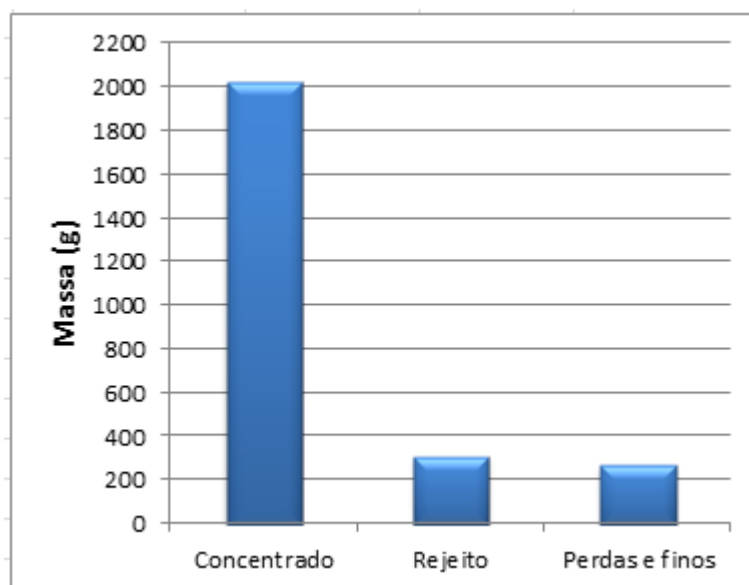
As amostras 5 e 6, ambas coletadas na pilha de rejeito da empresa. Essas amostras foram homogeneizadas e quarteadas, de modo a comporem duas amostras de 2,6 kg de mesmo material, destinadas a 2 testes com a mesa oscilatória. Nos quadros e gráficos a seguir temos os resultados desses testes.

Quadro 16. Resultados dos testes de concentração gravítica de zirconita da amostra 5/6 - teste 5 por meio da mesa oscilatória.

AMOSTRA 5/6			
TESTE 5			
Massa Inicial (g)	2600		
Concentrado	Rejeito	Massa final	Perdas e finos
2021,59	308,57	2330,16	269,84

Fonte: Criação própria.

Gráfico 11. Apresentação dos 3 diferentes produtos obtidos no teste de concentração de zirconita com a amostra 5/6 - teste 5, com suas respectivas massas.



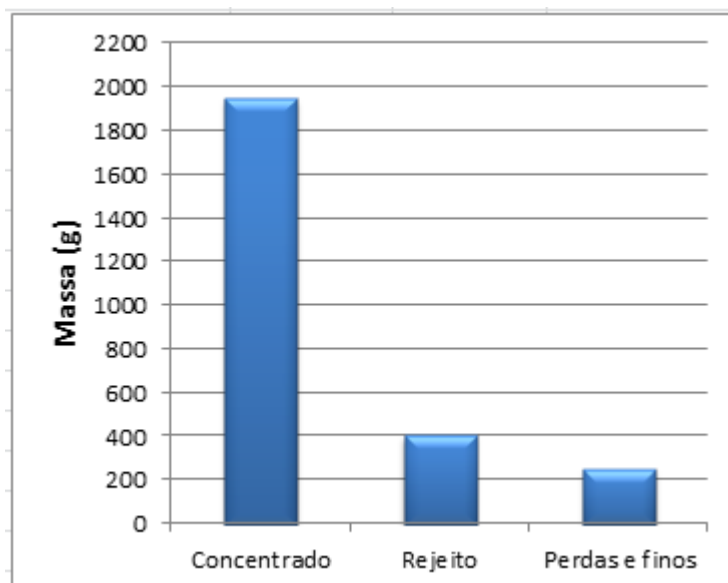
Fonte: Criação própria.

Quadro 17. Resultados dos testes de concentração gravítica de zirconita da amostra 5/6 - teste 6 por meio da mesa oscilatória.

AMOSTRA 5/6			
TESTE 6			
Massa Inicial (g)	2600		
Concentrado	Rejeito	Massa final	Perdas e finos
1946,06	405,23	2351,29	248,71

Fonte: Criação própria.

Gráfico 12. Apresentação dos 3 diferentes produtos obtidos no teste de concentração de zirconita com a amostra 5/6 - teste 6, com suas respectivas massas.



Fonte: Criação própria.

Nesses dois últimos testes (5 e 6), ao contrário dos anteriores (3 e 4), os valores do concentrado, rejeito e perdas e finos se mantiveram aproximados, como esperado.

As massas das perdas e finos ficaram em média em 259,27 g, isso porque as amostras iniciais (5 e 6) apresentam 97,5% do material situado em faixas granulométricas acima de 100#, o que facilita a sedimentação do mesmo após a realização dos ensaios com a mesa, e evita o descarte dessas partículas.

### 3.3. Ensaios com separação magnética

Como explicado no item 3.4 *Ensaios de separação magnética*, para esse ensaio destinamos as amostras 2 e 3 devidamente homogêneas, por possuírem as características mais próximas ao produto final da empresa estudada.

O quadro abaixo nos mostra que da massa inicial de 3 kg, 792,38 g foram captados pelo ímã, e isso representa 26,41% de todo o material.

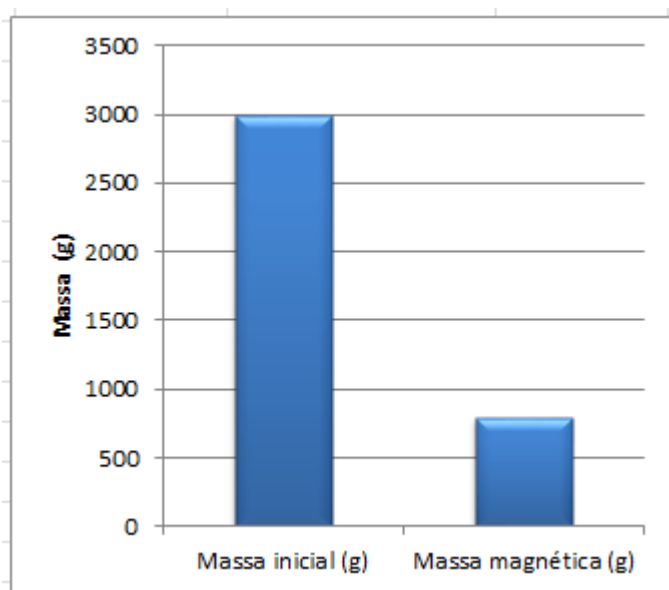
Vale ressaltar que dos 2.207,62 g que não responderam ao campo magnético, grande parte é sílica ou/e minerais que são separados da zirconita na jigagem, e não estão presentes no concentrado de zirconita. Porém com o percentual de material magnético não acontece a mesma coisa, e devido as densidades similares ele continuarão fazendo parte da massa final do produto de interesse.

Quadro 18. Resultados dos testes de separação magnética de zirconita com a amostra 2/3, com suas respectivas massas.

Amostra 2/3		
Massa inicial (g)	Massa magnética (g)	% magnético
3000	792,38	26,41

Fonte: Criação própria.

Gráfico 13. Apresentação dos 2 diferentes produtos obtidos no teste de separação magnética de zirconita com a amostra 2/3, com suas respectivas massas.



Fonte: Criação própria.

### 3.4. Ensaios físico-químicos

Os ensaios de difração de Raios X (DRX) foram realizados com o objetivo de identificar os elementos presentes em cada uma das 10 amostras encaminhadas ao Instituto de Química na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

Discutiremos abaixo os resultados de oito dos difratogramas, que podem ser vistos no *Anexo 2*, ao fim do trabalho, e para melhor entendimento, indicamos a visualização dos mesmos. Ressaltando ainda que caso necessite, consulte o item *2.5.1 Preparação das amostras no LTM – CEULP/ULBRA*, para lembrar a organização das amostras em relação aos ensaios de concentração mineral.

#### 3.4.1. Amostra 1 e 2

A amostra 1, material primário coletado in situ e de alimentação do ensaio com a mesa, apresentou 4 diferentes variações de óxido de sílica. Já a amostra 2 (concentrado) apresentou 3 variações do óxido de silício e 2 do óxido de zircônio, sendo que esses obtiveram picos de maior intensidade e maior volume.

A não presença de óxido de zircônio na amostra 1 não significa que não há de fato o elemento na amostra, mas sim que o percentual do mesmo era insuficiente para ser captado pelo equipamento de DRX devido o limite de sensibilidade do mesmo equipamento.

#### **3.4.2. Amostra 3 e 4**

A amostra 3 refere-se à mistura entre as amostras 2 e 3, coletadas in situ, e que juntas alimentaram a mesa oscilatória. A amostra 4 refere-se ao concentrado da mesa.

A amostra 3 apresentou 4 variações de óxido de silício e 1 de óxido de zircônio, sendo este responsável pelos mais altos picos obtidos no difratograma. Enquanto a amostra 4 apresentou 2 variações de cada óxido, sendo também os de zircônio mais relevantes.

#### **3.4.3. Amostra 5 e 6**

A amostra 5 é o produto da mistura das amostras 5 e 6 coletadas na pilha de rejeito da Mito Mineração, que alimentou o ensaio realizando com a mesa oscilatória. Enquanto a amostra 6 é o concentrado da mesa.

No difratograma, temos na amostra 5 variações de óxido de silício e apenas 1 de óxido de zircônio, sendo esse último de pouca significância. Na amostra 6 temos uma diminuição das variações de óxido de silício para apenas 2, porém o óxido de zircônio se mantém em apenas 1, mas com picos de maior intensidade que os de sílica.

#### **3.4.4. Amostra 7 e 9**

A amostra 7 é uma mistura das amostras 2 e 3 que alimentou o ensaio de separação magnética. A amostra 9 é o concentrado dessa separação, sem o percentual magnético.

Logo, no difratograma da amostra 7 tivemos 2 variações de óxido de silício e 1 de óxido de zircônio, com picos medianos. No difratograma 9, tivemos 1 variação de cada óxido citado acima, sendo que o de zircônio apresentou mais relevância na intensidade dos picos.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como vimos, a mesa oscilatória apresentou bom resultados no aumento do percentual de massa de zirconita nas amostras testadas, especialmente nas amostras 2 e 6, porém esse aumento ainda não é suficiente para o julgarmos como satisfatório e propormos a implantação da mesa no circuito de beneficiamento da Mito – Mineração Tocantins LTDA.

O referido equipamento executou uma função mais de deslamagem, diminuindo a massa de sílica, do que de concentração mineral, não separando a zirconita dos demais materiais presentes, e isso se deve a densidade similar dos materiais presentes.

Além disso, a mesa utilizada possui uma pequena superfície de trabalho, sendo que a quantidade e comprimento dos rifles, não foram considerados satisfatórios, não permitindo uma boa estratificação das partículas, o que acarreta numa concentração por vezes falha. Mas mesmo se tivéssemos um melhor equipamento, ainda assim a aplicação do mesmo não seria viável.

Em relação ao segundo método testado, a separação magnética, obtivemos resultados significativamente positivos.

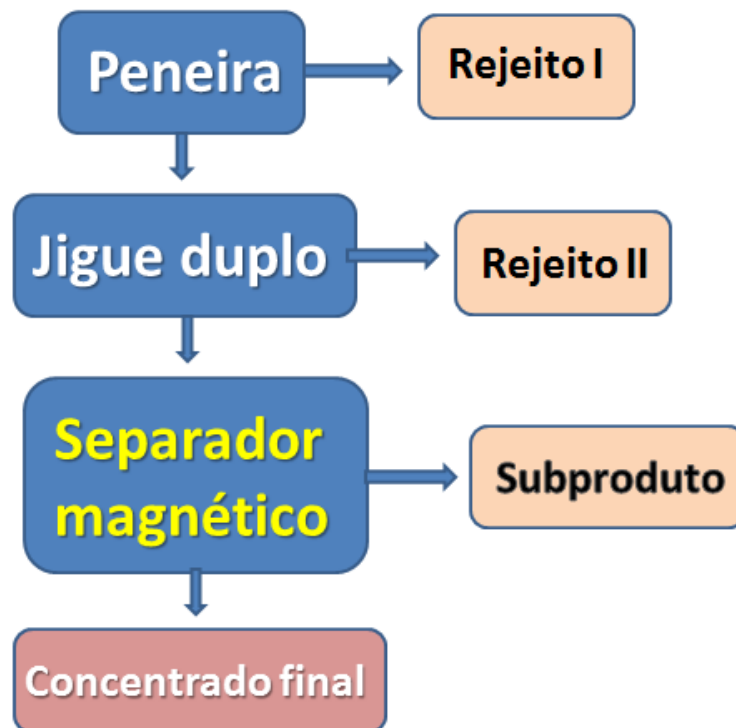
Como vimos no item *4.3 Ensaios de separação magnética*, aproximadamente 26,41% de 3 kg de amostra foram coletados pelo ímã, o que representa um alto volume de material que acompanha o mineral de zircônio no produto final da empresa.

A separação da zirconita do óxido de ferro não é necessária para a aplicação que se dá a zirconita (liga ferro-zircônio) se o teor de ferro permanecer abaixo de 38%, acima disso se faz necessário. Mas com essa separação, mesmo abaixo do teor de corte, gerará novos produtos para a mina.

Cabe caracterizar de forma precisa a massa magnética, já que na região de Jaú do Tocantins, no Complexo Alcalino de Peixe, segundo Kitajima em sua dissertação de mestrado que tem como título *Caracterização mineralógica e avaliação econômica preliminar da monazita e alanita do complexo alcalino de Peixe – Tocantins*, citada nesse trabalho, é comprovada a ocorrência de minerais como alanita, monazita e ilmenita, sendo que esses provavelmente possam fazer parte de toda a massa lavrada pela Mito – Mineração Tocantins LTDA, e serem concentrados juntamente com o óxido de ferro.

Logo, visando o melhor aproveitamento dos bens minerais presentes na jazida da Mito – Mineração Tocantins LTDA, apresentamos abaixo uma proposta de um novo fluxograma de operações, com a inserção de um separador magnético via úmido após a etapa de jigagem, sendo esse alimentado pelo concentrado do jigge.

Fluxograma 4. Fluxograma com proposta de implantação de separador magnético no processo de beneficiamento da Mito Mineração.



Fonte: Criação Própria.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTOLINO, Luiz Carlos et al. Zirconita. **CETEM - Rochas & Minerais Industriais: usos e especificações**, Rio de Janeiro, nov. 2009. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2009-103-00.pdf>>. Acesso em 14 maio 2013.

Ciclo do Combustível Nuclear. **INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL**. São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://www.inb.gov.br/pt-br/LeiAcesso/FAQ.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2013.

DA LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. **Tratamento de minérios**. Ed. 5. Rio de Janeiro: CETEM, 2010. 927 p.

DAMASCENO, Eduardo Camilher. Disponibilidade, suprimento e demanda de minérios para metalurgia. **CETEM**, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <[http://www.cetem.gov.br/publicacao/series\\_sed/sed-69.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicacao/series_sed/sed-69.pdf)>. Acesso em: 11 maio 2013.

DUTRA, Ricardo. Beneficiamento De Minerais Industriais. In: II ENCONTRO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA DOS CAMPOS GERAIS, ago. 2000, Paraná. **Anais eletrônicos...** Paraná, 2000. Disponível em: <[http://www.pg.utfpr.edu.br/ppgep/anais/artigos/eng\\_civil/13%20BENEFICIAMENTO%20DE%20MINERA%20INDUSTRIAIS.pdf](http://www.pg.utfpr.edu.br/ppgep/anais/artigos/eng_civil/13%20BENEFICIAMENTO%20DE%20MINERA%20INDUSTRIAIS.pdf)>. Acesso em: 21 abr. 2013.

KITAJIMA, Luiz Fernando Whitaker. **Caracterização mineralógica e avaliação econômica preliminar da monazita e alanita do complexo alcalino de Peixe – Tocantins**. Brasília, DF. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, 1998.

Laboratório Multi-Usuário em Técnicas Analíticas. Disponível em: <<http://cpd1.ufmt.br/ppqgeo/lamuta/default.htm>>. Acesso em: 12 maio 2013.

Laboratório Multi-Usuário em Técnicas Analíticas. Disponível em: <<http://www.iq.unesp.br/#!/multiusuarios/raios-x/>>. Acesso em: 1 maio 2014.

LOBATO, Emílio. **Relatório Técnico 49 Perfil da Zirconita**, Brasília, set. 2009. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano\\_duo\\_decenal/a\\_mineracao\\_br\\_asileira/P28\\_RT49\\_Perfil\\_da\\_Zirconita.pdf](http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_mineracao_br_asileira/P28_RT49_Perfil_da_Zirconita.pdf)>. Acesso em 3 abr. 2013.

NETO, Luiz Rodrigues. **Relatório Final de Pesquisa** (DNPM 864.147/1 – Alvará de Pesquisa 9.202). Palmas, 2004.

SABEDOT, S., SAMPAIO, C. H. Caracterização de zircões da Mina Guaju (PB). **REM - Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 55, n.1, p. 49-53, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0370->



44672002000100010&script=sci\_arttext>. Acesso em: 27 abr. 2013. DOI: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672002000100010>>.

SABEDOT, Sydney; SAMPAIO, Carlos Hoffmann. Remoção de Inclusões Mineraias em Zircões. **REM: Rev. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 59, n. 2, abr./jun. 2006.

Disponível em:

<<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/21018/000552756.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 12 maio 2013. DOI: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672006000200003>>.

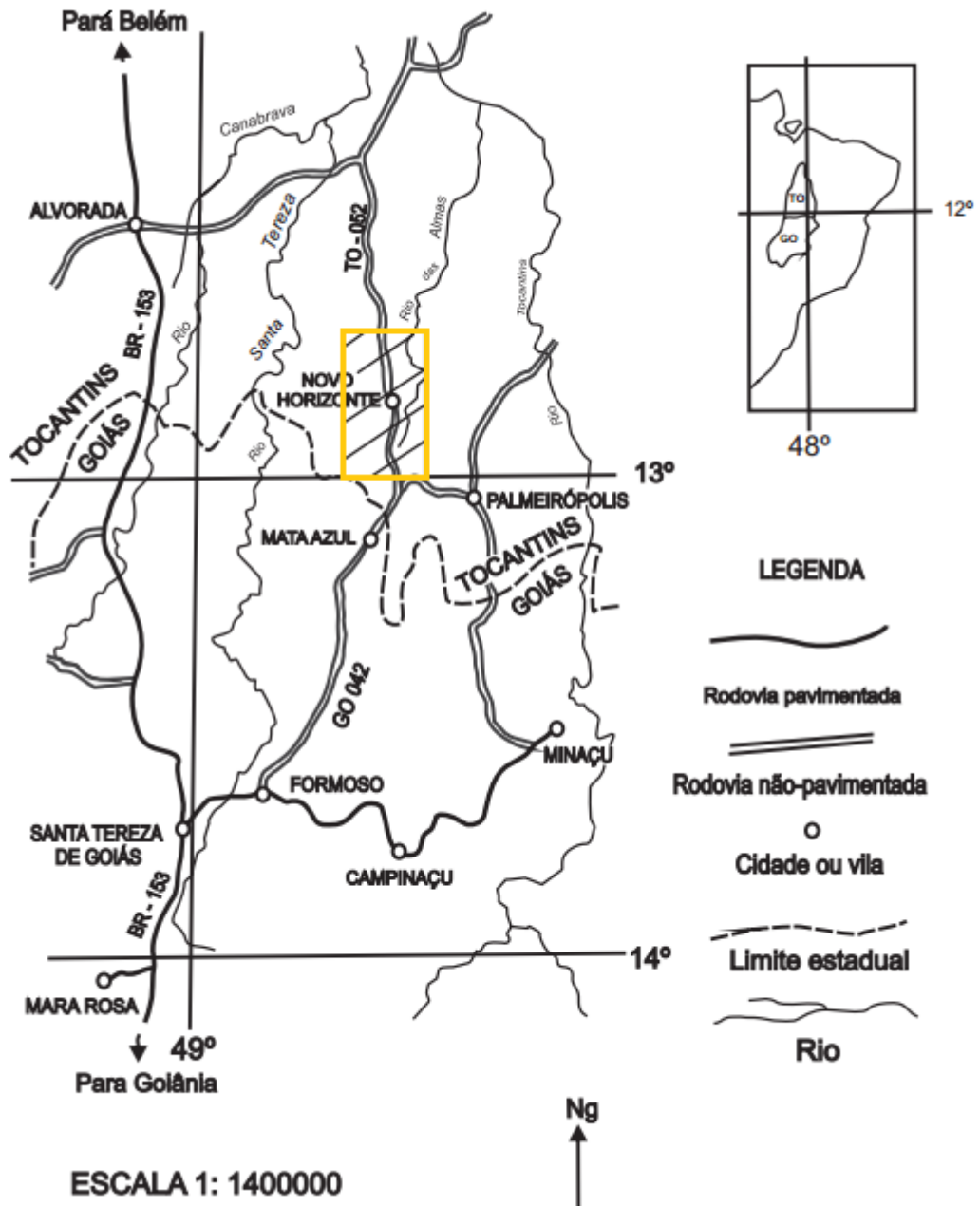
SAMPAIO, C. H.; TAVARES, L. M. M. **Beneficiamento Gravimétrico**: Uma introdução aos processos de concentração mineral e reciclagem de materiais por densidade. Ed. 1. Rio Grande do sul: Editora UFRGS, 2005. 605 p.

SAMPAIO, João Alves et al. Mineraias Pesados – Millennium. **CETEM**, Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2002-178-00.pdf>>. Acesso em: 2 maio 2013.

VALADÃO, G. E. S.; ARAUJO, A. C. **Introdução ao Tratamento de minérios**. Ed. 1. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007. 243 p.

## **ANEXOS**

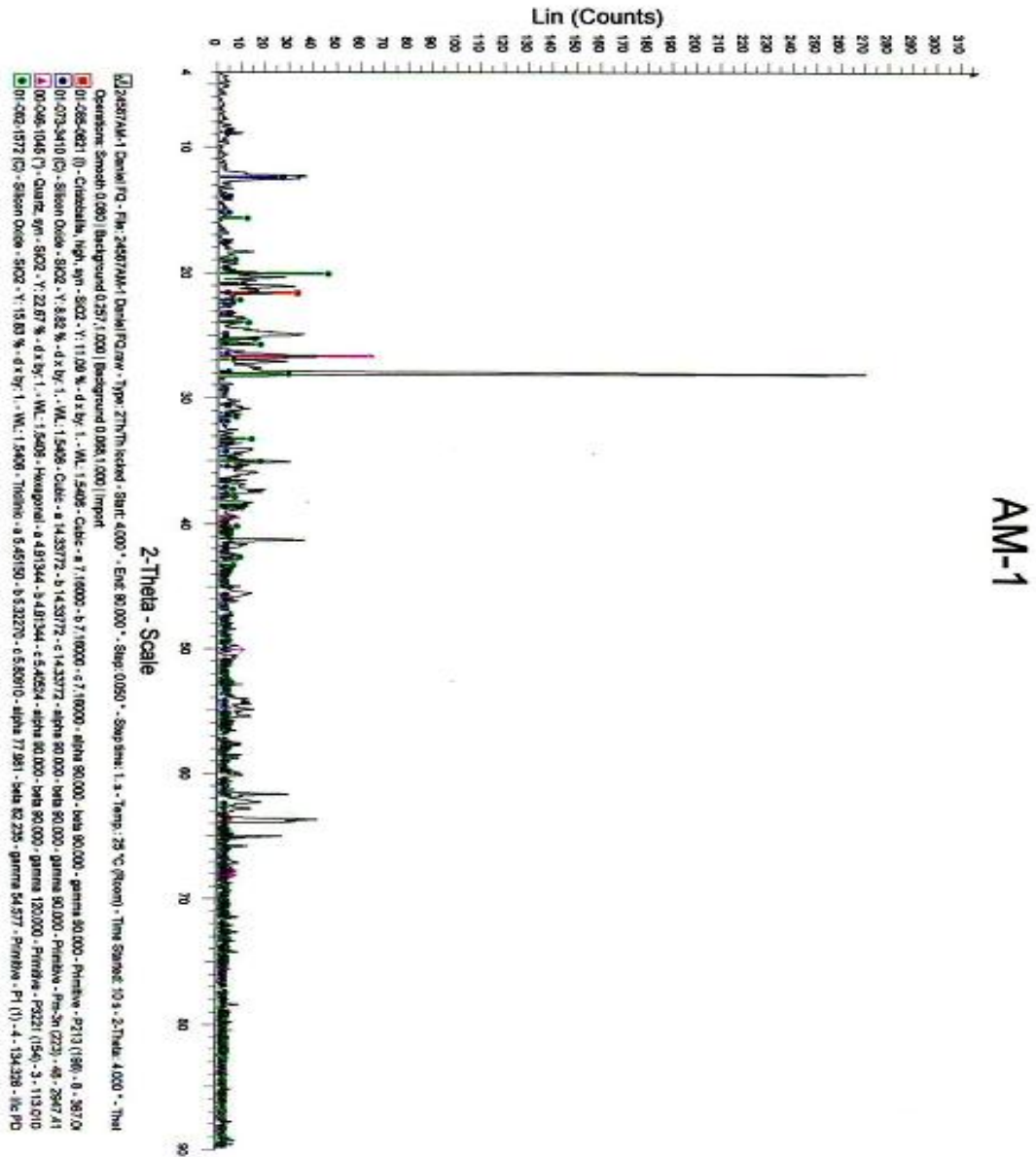
Anexo 1 – Mapa de localização da região de coleta das amostras em destaque.



Fonte: Kitajima, 1998.

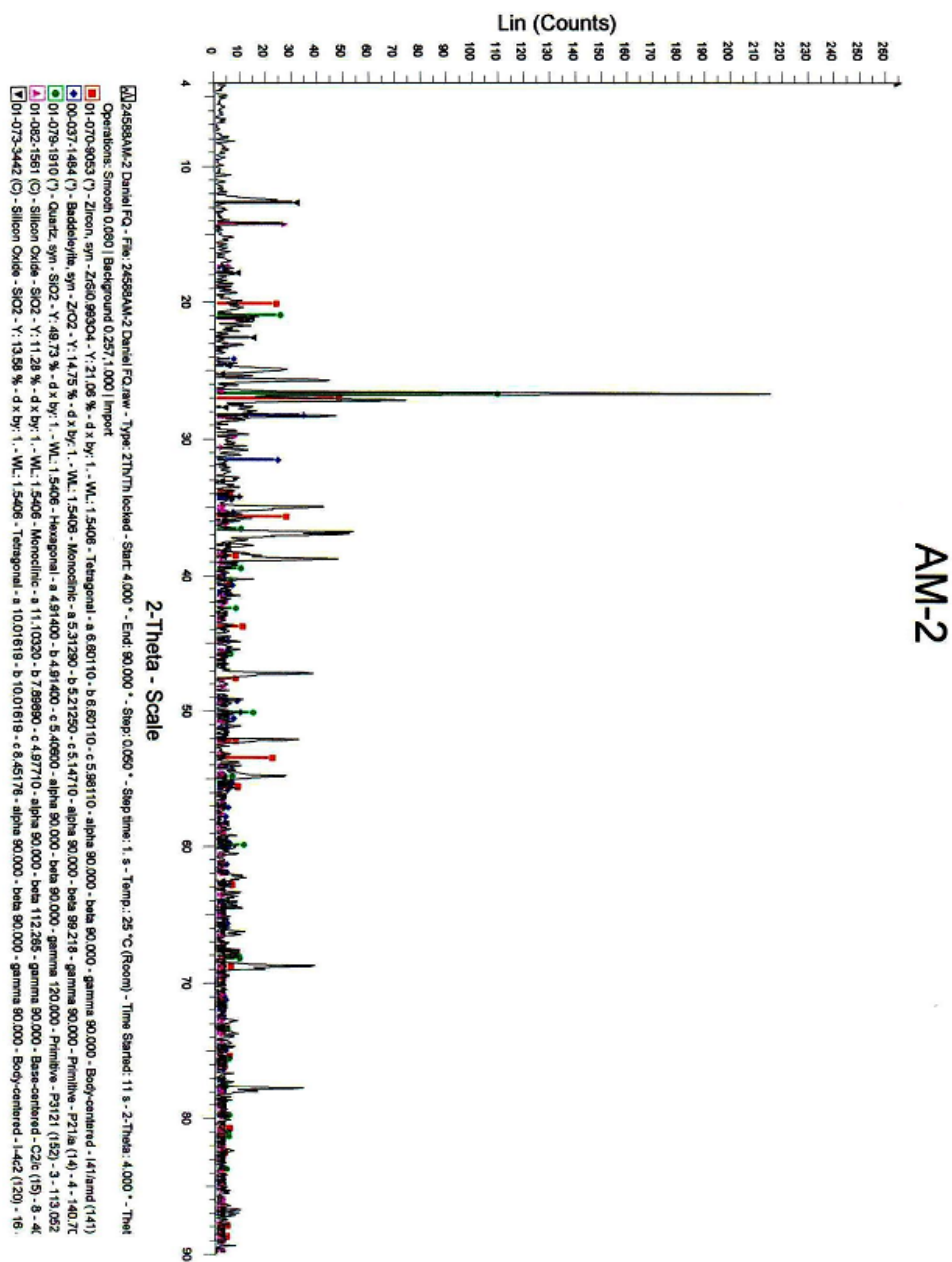
Anexo 2 – Difratomogramas gerados a partir do ensaio de DRX nas 10 amostras finais da pesquisa.

Difratograma 1. Amostra 1.



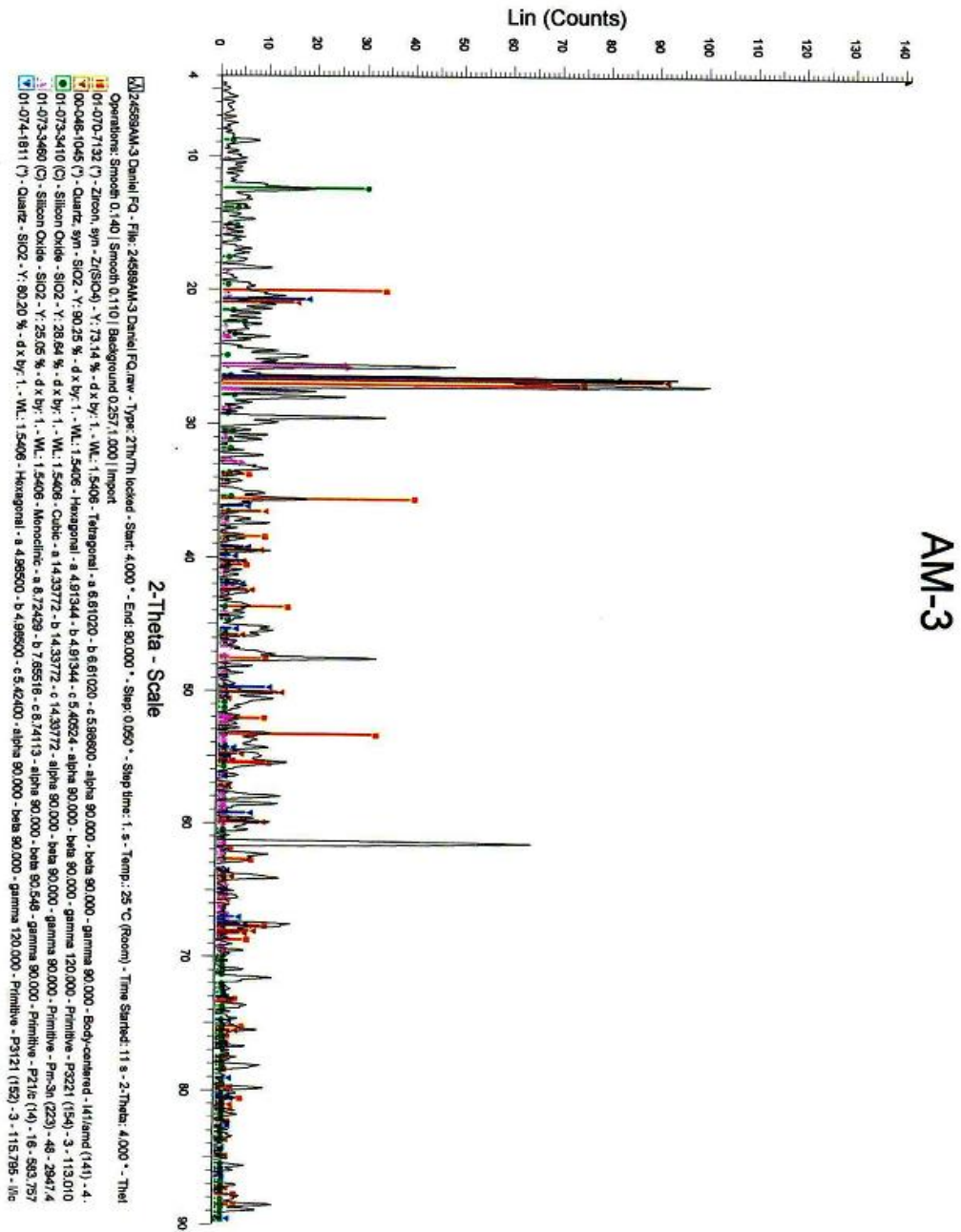
Fonte: Difrátograma gerado pelo aparelho de DRX da Instituto de Química na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Araraquara.

Difratograma 2. Amostra 2



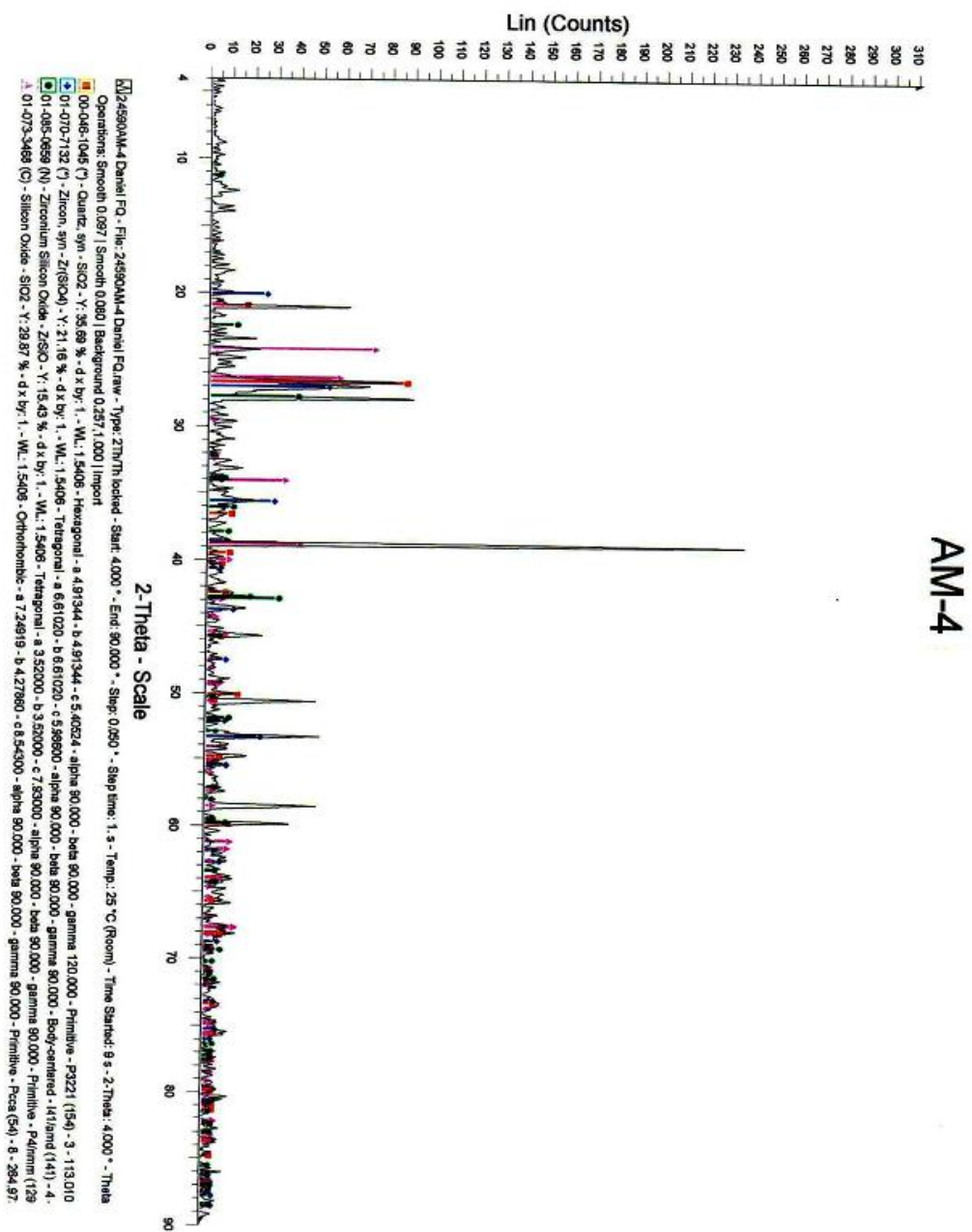
Fonte: Difratograma gerado pelo aparelho de DRX da Instituto de Química na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Araraquara

Difratograma 3. Amostra 3



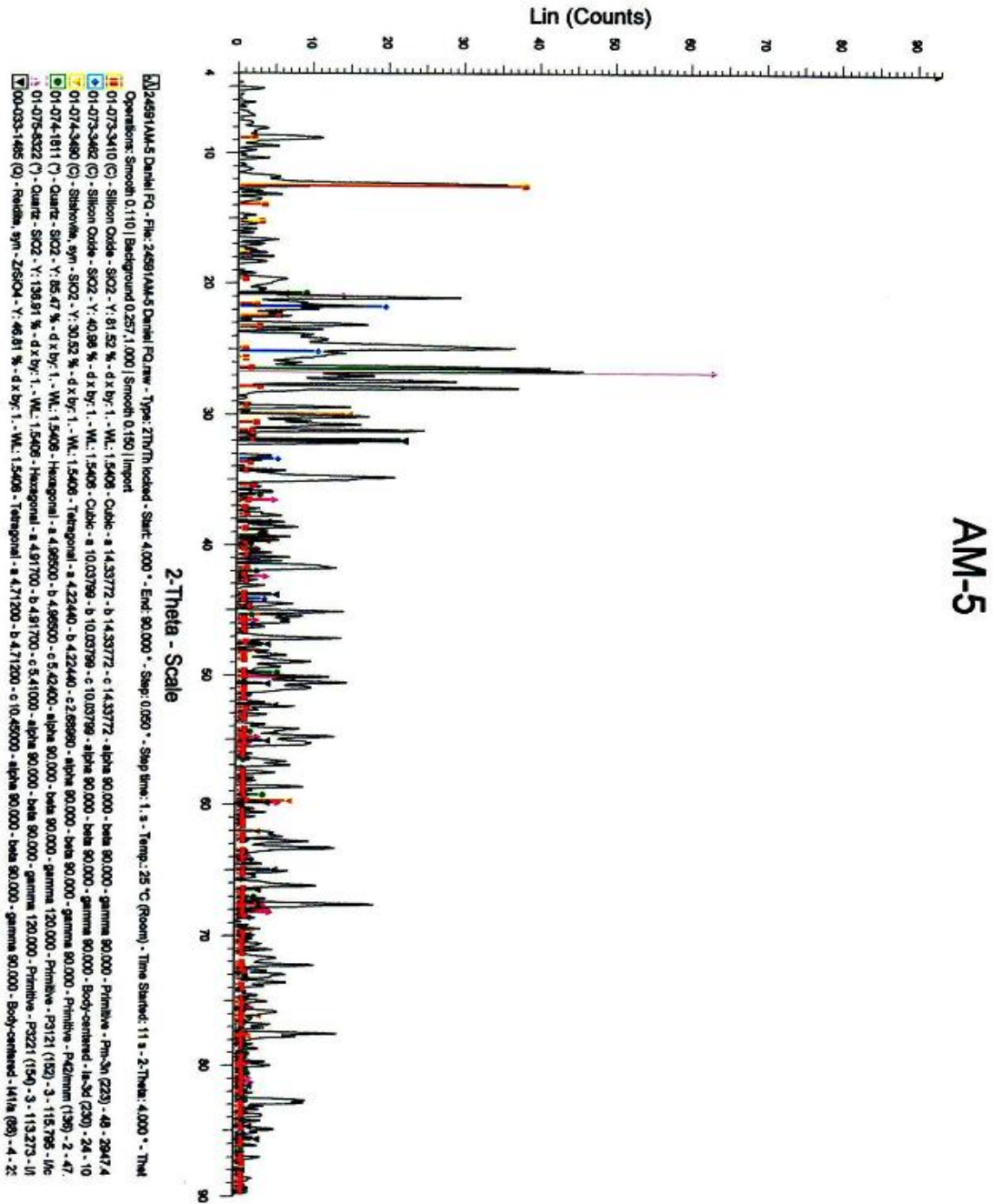
Fonte: Difratograma gerado pelo aparelho de DRX da Instituto de Química na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Araraquara

Difratograma 4. Amostra 4



Fonte: Difratograma gerado pelo aparelho de DRX da Instituto de Química na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Araraquara

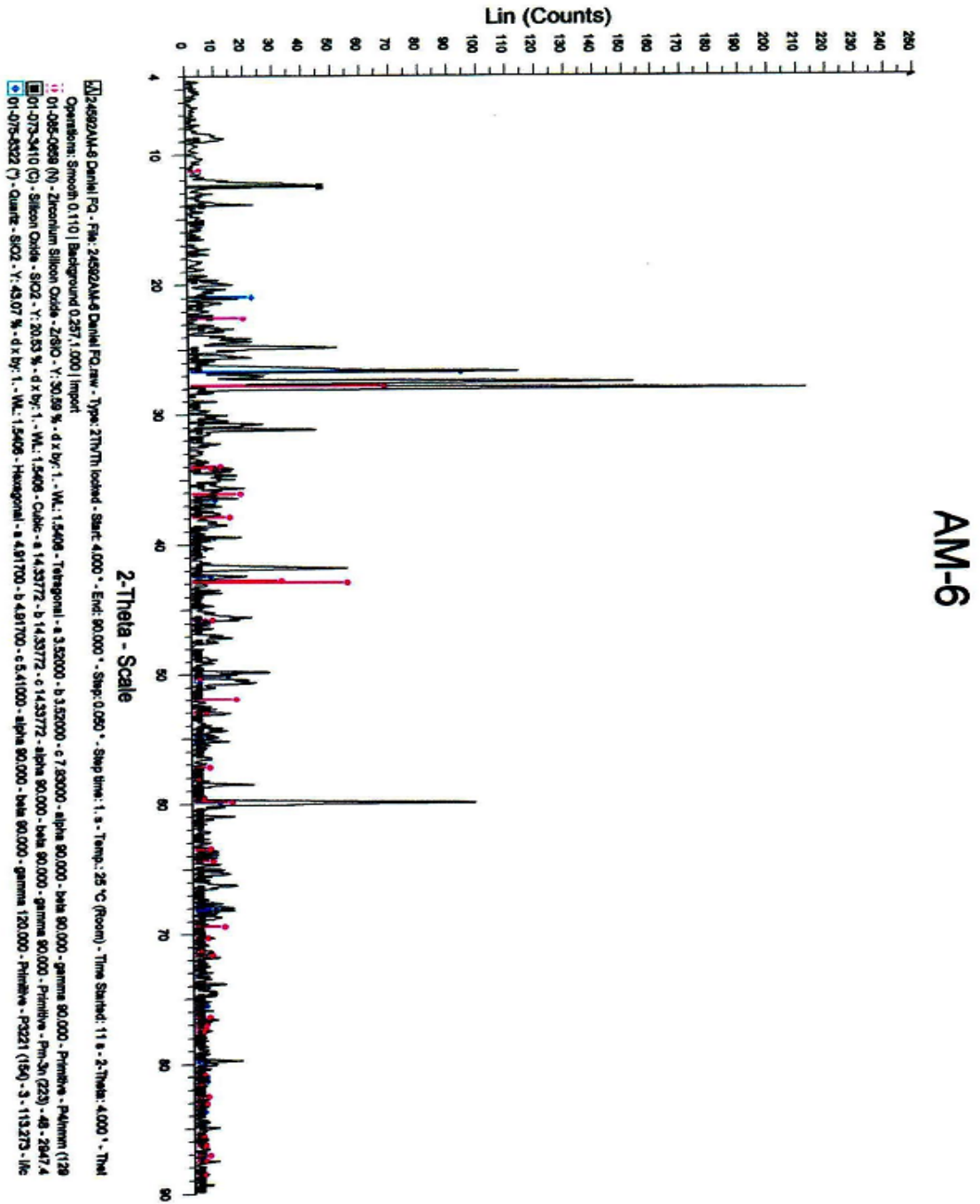
Difratograma 5. Amostra 5



Fonte: Difratograma gerado pelo aparelho de DRX da Instituto de Química na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Araraquara

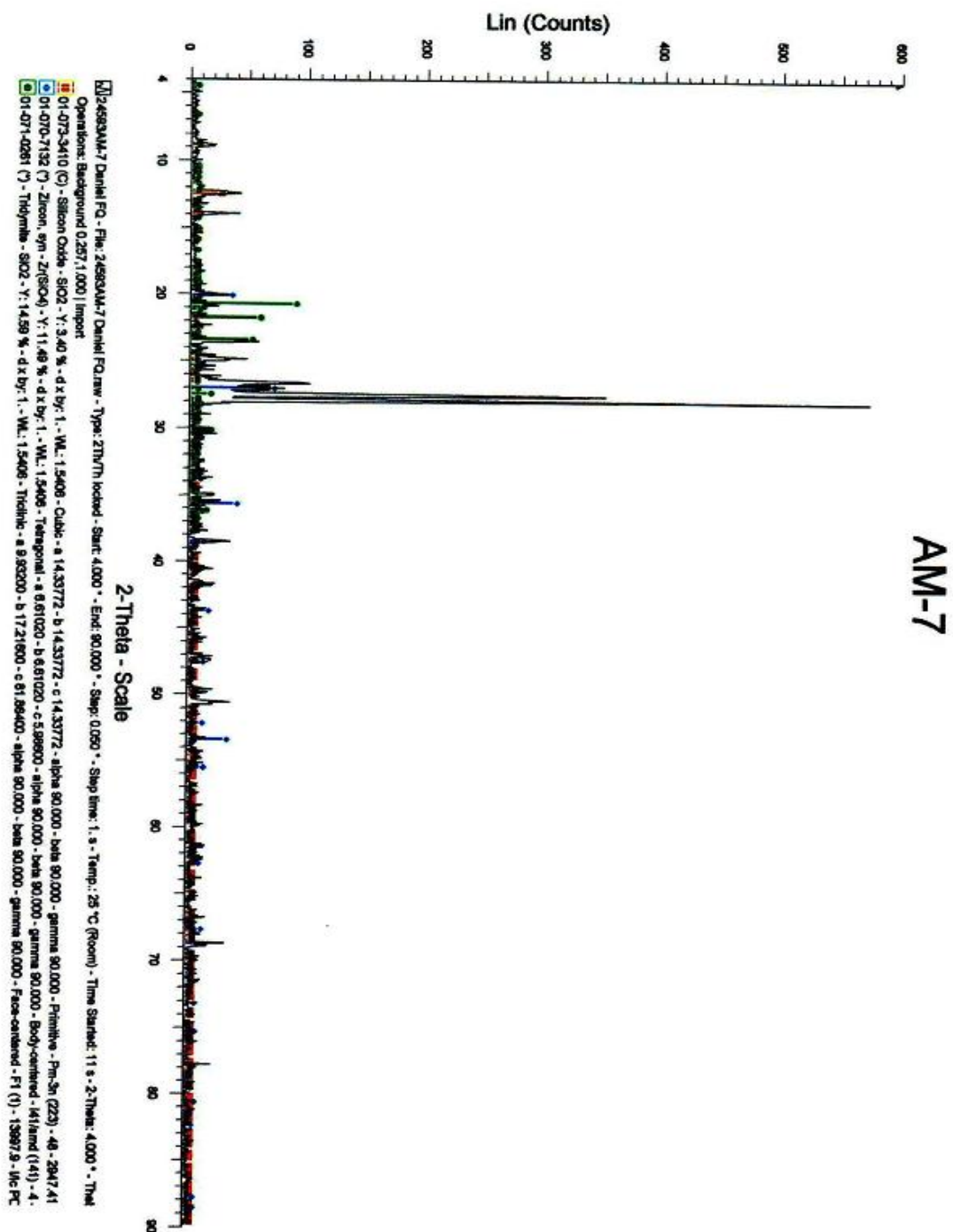


Difratograma 6. Amostra 6



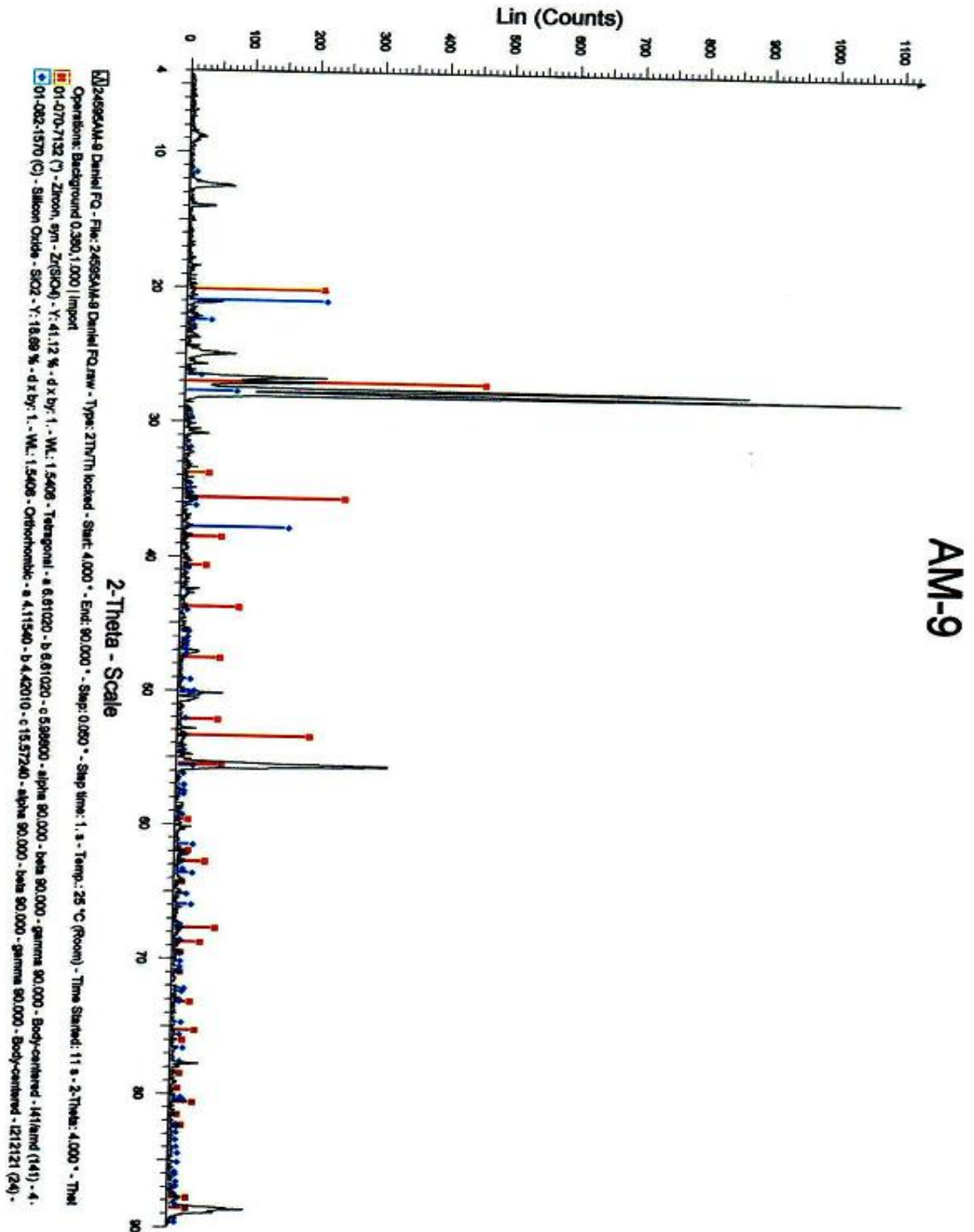
Fonte: Difratograma gerado pelo aparelho de DRX da Instituto de Química na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Araraquara

Difratograma 7. Amostra 7



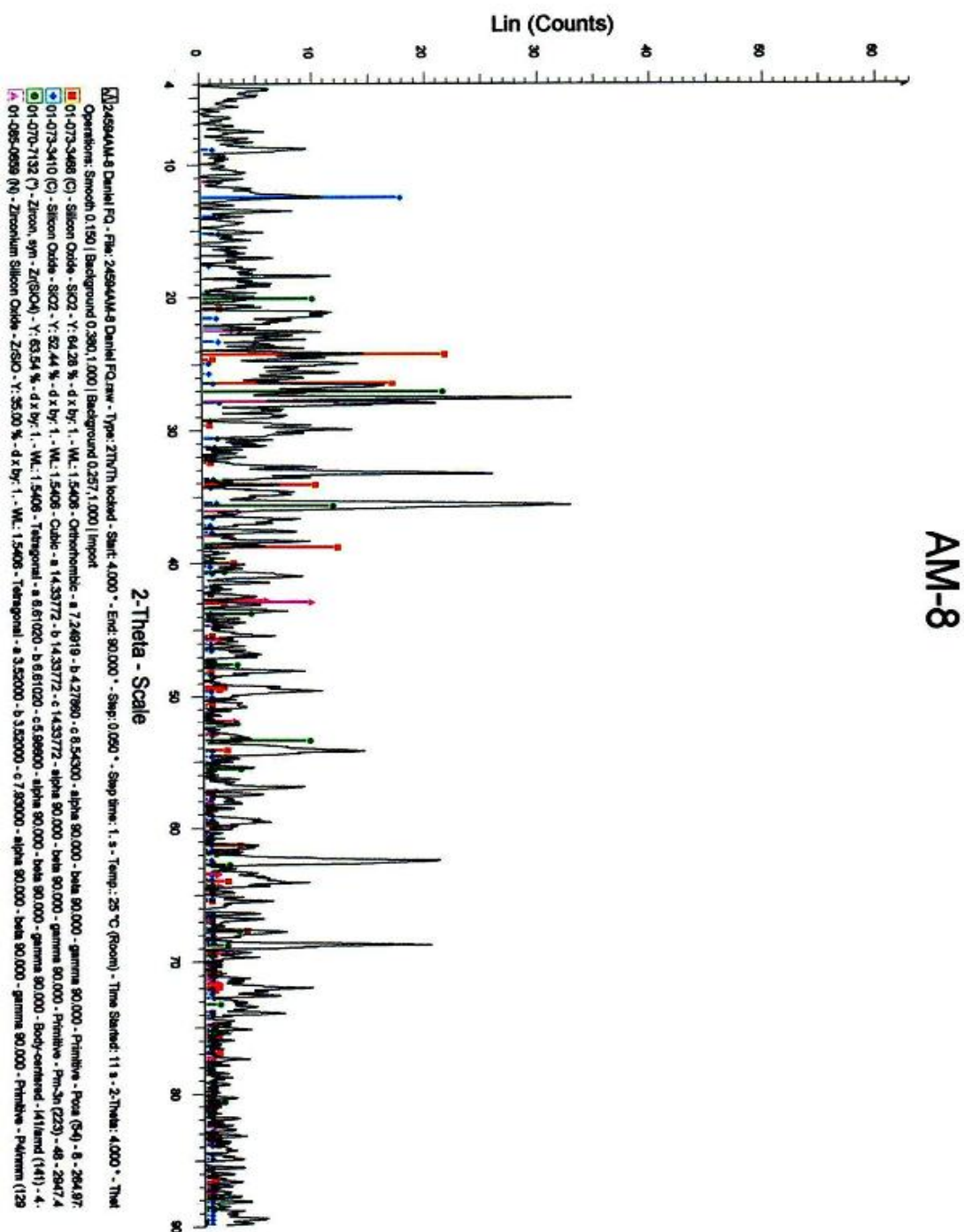
Fonte: Difratograma gerado pelo aparelho de DRX da Instituto de Química na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Araraquara

Difratograma 8. Amostra 9



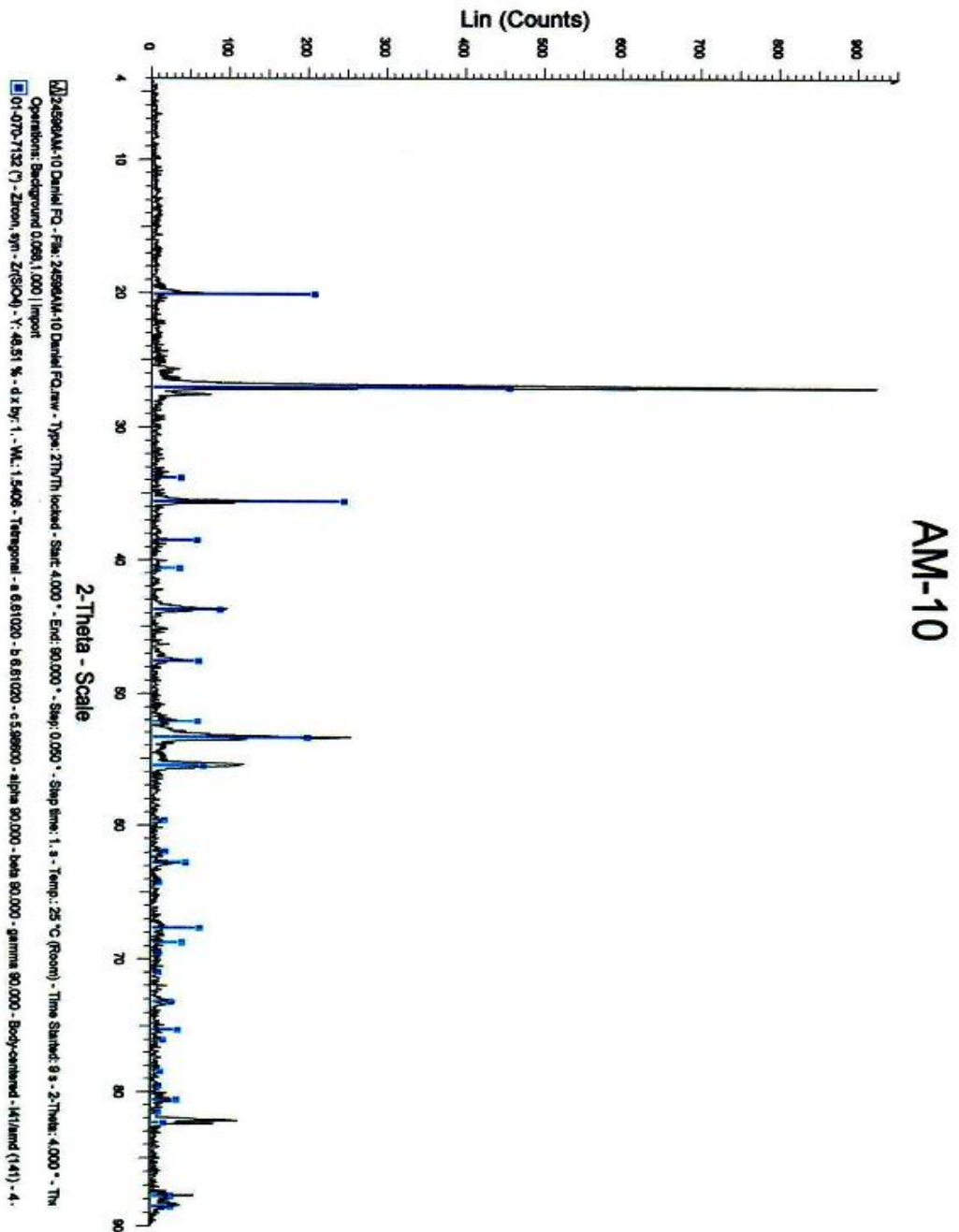
Fonte: Difratograma gerado pelo aparelho de DRX da Instituto de Química na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Araraquara

Difratograma 9. Amostra 8



Fonte: Difratograma gerado pelo aparelho de DRX da Instituto de Química na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Araraquara

Difratograma 10. Amostra 10



Fonte: Difratograma gerado pelo aparelho de DRX da Instituto de Química na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Araraquara