



UNIVERSIDADE DE COIMBRA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
Departamento de Ciências da Terra

BENEFICIAÇÃO POR FLUTUAÇÃO DOS FELDSPATOS DA MINA DE VILA SECA - MANGUALDE

Rudêncio de Rodolfo Novais Morais

Mestrado em Engenharia Geológica e de Minas

Orientadores científicos

Prof. Doutor Fernando Antunes Gaspar Pita, Faculdade de Ciências e Tecnologias da
Universidade de Coimbra

Prof. Doutor João António Mendes Serra Pratas, Faculdade de Ciências e Tecnologias da
Universidade de Coimbra

Julho, 2013

Dedicatória

Dedico este trabalho ao meu falecido irmão Maurício de Rodolfo Novais Morais pelos momentos de férias que juntos passávamos na cidade de Quelimane e pelos sonhos que não viveu, aos meus pais Rodolfo Morais e Faustina Novais que me incentivaram a continuar, ao meu filho Nataniel e a minha noiva Ema pela minha ausência.

Agradecimentos

Um agradecimento especial á Deus pelo dom da vida, ao poder do Espirito Santo que sempre me ajudou nos momentos em que me encontrava sem força de continuar a caminhada estudantil e a todos irmãos na fé vai o meu muito obrigado pelo sim incondicional.

A Ncondezi Coal Company pela concessão da bolsa, pois sem ela era impensavel ver este sonho realizado.

Especial agradecimento ao Professor Doutor Fernando Antunes Gaspar Pita e ao Professor Doutor João Pratas, pela sábia orientação que foram proporcionando no decorrer deste trabalho e pelos momentos de ensino apredizagem por eles proporcionados.

Agradeço a todos os docentes do Departamento de Ciências da Terra, em especial ao Prof. Doutor Fernando Pedro, Prof. Doutora Lidia Catarino, Prof. Doutor Nelson Rodrigues, Dr Castelo Branco, Prof. Doutor Fernando Carlos, pela transmissão do conhecimento sem poupar esforços.

A dona Manuela do laboratório de sedimentologia, ao Sr Carlos da sala em que funciona o difratometro de raios x, ao Sr Armando da oficina de informatica, a dona Conceição e Cristina da biblioteca, a dona Aurora da secretária, ao Sr Moura, pela ajuda prestada quer durante o curso assim como na fase da dissertação.

Aos meus irmãos Novais, Julia e Isabel pelo companherismo familiar que sempre proporcionaram.

Um agradecimento especial ao meu colega e amigo de longa data Nel Mondlane, aos colegas Fernando Mulhovo, Fidel Ataide, pela distancia que juntos partlihamos longe de casa e dos familiares. Aos colegas André, Rafael, Nelson, Igor, Joana, João, Ana e Nuria pelos tempos de carteira que juntos partilhamos por quase dois anos.

Aos amigos Dario Dias e Elma Magaia pela familiaridade que sempre mostraram ser durante estes dois anos de formação.

Resumo

Os feldspatos são classificados como pertencentes à família dos minerais industriais, e atualmente encontram a sua maior aplicação na indústria cerâmica e do vidro. Os feldspatos ocorrem na natureza associados ao quartzo e às micas, sendo a sua aplicação é dependente de processos de beneficiação com vista a empobrecer o feldspatos dos contaminantes a ele associados. A flutuação, processo de beneficiação mais utilizado no tratamento de minérios, é também utilizado na beneficiação de feldspatos contribuindo de forma significativa para a obtenção de concentrados de feldspatos de melhor qualidade e exauridos de penalizantes.

Um dos métodos utilizado em Portugal para a beneficiação dos feldspato e com muito sucesso é o método óptico, que permite a separação dos minerais pelas propriedades físicas, geometria, cor e transparência, sendo um exemplo da aplicação deste método a Felmica -Portugal.

Neste trabalho foi desenvolvido um estudo experimental com o objetivo de avaliar a flutuabilidade das micas e do quartzo presentes nos feldspatos de Vila Seca (Mangualde), para este efeito foram efetuados ensaios laboratoriais de flutuação em uma célula Denver com capacidade de 3 litros, utilizando uma alimentação de duas gamas granulométricas diferentes, uma com calibre inferior a 250 μ m, e outra com calibre entre 250-355 μ m. Os ensaios de flutuação, visando a flutuação das micas, foram realizados em meio ácido na presença de uma amina primária (1-Amino-2-naphthol-4-sulfónico ácido - C₁₀H₉NO₄S) que desempenhou o papel de coletor. No caso da flutuação do quartzo os ensaios foram realizados em meio alcalino na presença de dois coletores diferentes, o ácido oleico e o oleato de sódio, utilizados separadamente e nunca os dois ao mesmo ensaio. Como ativadores foram utilizados o gásóleo para o caso das micas, e o querosene para a flutuação do quartzo, tendo sido utilizados como espumantes o óleo de pinho, e o metil isobutil carbinol.

Os resultados obtidos mostram que a flutuação das micas funciona melhor que a do quartzo, sendo que para o caso do quartzo o arrastamento é predominante em detrimento da flutuação verdadeira, este fato é agudizado com o aumento da concentração do ácido oleico devido à sua contribuição para o aumento da estabilidade da espuma.

Na flutuação das micas obteve-se os melhores resultados em termos de teores para concentrações de amina de 0,5, 0,75 e 1g/kg. As recuperações assim como os rendimentos em peso são geralmente reduzidos, consequência da formação de pouca espuma.

O aumento de calibre de alimentação conduz a uma ligeira melhoria dos teores nos flutuados de mica, o que não acontece nos flutuados de quartzo. Os flutuados das micas apresentam uma distribuição de calibre mais grosseira que a dos flutuados do quartzo quer para a alimentação inferior a 250 μ m, quer para a alimentação de 250-355 μ m.

Abstract

Feldspars are classified as belonging to the industrial mineral family, and currently find their greatest application in the glass and ceramics industry. Feldspars occur in the nature associated with quartz and mica, and their application depends on a beneficiation process in order to deplete the feldspars contaminants associated therewith. Flotation is the most used method in beneficiation process for the ore treatment, is also used on feldspar beneficiation contributing significantly to obtain best quality of concentrates and less contamination.

One of the methods that are used in Portugal for the beneficiation of feldspar and with much success is the optical method, this method allows the separation of minerals by the physical properties, geometry, colour and transparency, the example of application of this method is the FELMICA - Portugal.

In this work, an experimental study was developed to evaluate the floatability of mica and quartz, present in Feldspar of Vila Seca (Mangualde). For this purpose were achieved floating laboratory assay in a Denver cell with a capacity of 3 liters, using two different calibers feed, at first with the caliber of less than 250 μ m, and the second with caliber between 250-355 μ m. The assays to float mica were carried out in acidic medium in the presence of a primary amine (1-Amino-2-naphthol-4-sulfonic acid - C₁₀H₉NO₄S) which acted as collector. In the case of quartz flotation the assays were carried out in alkaline medium in the presence of two different collectors, oleic acid and sodium oleate used separately, and never both at the same assay. As activators, diesel oil to mica floatation assay, and kerosene for the quartz floatation assay were used, and as frothy, pine oil and methyl isobutyl carbinol were used.

The obtained results showed that the flotation of mica works better than the quartz, and in the case of quartz entrainment is predominant over than the true flotation. This fact is heightened by increasing the oleic acid concentration due to its contribution to increasing the froth stability. In the case of mica, the best results were obtained in terms of grade with the amine concentrations of 0.5, 0.75 and 1g/kg. The recoveries as well as income by weight are generally reduced, Consequence of little froth formation.

The increase in feed caliber leads to a slight improvement in the grades of mica floated, these increases do not happen on quartz floated. The mica floated show a granulometric distribution coarser than the quartz floated for both feed caliber ($< 250\mu\text{m}$ and $250\text{-}355\ \mu\text{m}$).

Palavras – Chave

Minerais Industriais

Beneficiamento

Flutuação

Feldspatos

Calibre

Flutuados

ÍNDICE

<u>Conteúdo</u>	<u>Página</u>
Dedicatória	1
Agradecimento	iii
Resumo	v
Abstract	vii
Índice	xi
Índice de figuras	xv
Índice de tabelas	xvii
1. Generalidades	1
1.1 Introdução.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo geral.....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Feldspatos.....	2
1.3.1 Características cristalográficas da ortoclase (feldspato potássico) e da albite (feldspato sódico).....	3
1.3.1.1 Ortoclase.....	3
1.3.1.2 Albite.....	4
1.3.2 Fonte dos feldspatos.....	4
1.3.2.1 Alaskito.....	5
1.3.2.2 Sienito nefelínico.....	5
1.3.2.3 Granitos.....	5
1.3.2.4 Aplito.....	6
1.3.2.5 Areia Feldspática.....	6
1.3.2.6 Rochas intrusivas parcialmente caulinizadas.....	6
1.3.2.7 Filitos.....	6
1.3.3 Exploração e beneficiação dos feldspatos.....	6
1.3.4 Aplicação dos feldspatos.....	7
1.3.4.1 Cerâmica.....	8

1.3.4.2 Vidro.....	9
1.3.4.3 Especificações	9
1.3.5 Principais produtores de feldspatos.....	11
1.3.6 Produção de feldspatos em Portugal	12
1.3.6.1 Minas de exploração de feldspatos em Portugal.....	14
2. Beneficiação de minérios	16
2.1 Tratamento ou beneficiação de minérios.....	16
2.1.1 Concentração gravítica	17
2.1.2 Concentração em meio denso.....	17
2.1.3 Concentração magnética	18
2.1.4 Concentração eletrostática.....	18
2.1.5 Lixiviação.....	18
2.1.5 Flutuação	19
2.1.5.1 Reagentes utilizados na flutuação	20
2.1.5.2 Condicionamento.....	21
2.1.5.3 Grau de agitação.....	22
2.1.5.4 Equipamentos usados na flutuação.....	22
2.1.5.5 Recuperação versus calibre das partículas	25
2.1.5.6 Comportamento das partículas na espuma	26
3. Mina de Vila Seca.....	27
3.1 Localização da mina de Vila Seca.....	27
3.2 Área de exploração da concessão C – 83 ”Vila Seca”	28
3.3 Enquadramento geológico	29
3.4 Depósito de feldspato e quartzo “Vila Seca”.....	29
3.4.1 Mineralogia	30
3.4.2 Estrutura	30
3.4.3 Alteração	30
3.4.4 Quimismo	31
3.5 Aplicações industriais.....	32

4. Estudo Experimental	34
4.1 Metodologia do trabalho.....	34
4.1.1 Trabalho de Campo	34
4.1.2 Trabalho de Laboratório.....	34
4.1.2.1 Preparação da amostra.....	34
4.1.2.2 Ensaios de flutuação	35
4.1.2.3 Métodos utilizados para determinação dos teores.....	36
4.1.2.3.1 Difração de raio-X.....	37
4.1.2.3.1.1 Identificação de fases minerais por difração de raios X.....	39
4.1.2.3.1.2 Dificuldades na identificação e quantificação de fazes cristalinas por Difração de raios X.....	40
4.1.2.3.2 Análise mineralógica com recurso à lupa binocular.....	41
4.1.2.4 Análise granulométrica	42
4.1.2.4.1 Granulómetro Laser	42
5. Apresentação dos resultados de beneficiação por flutuação dos feldspatos de Vila Seca	44
5.1 Determinação dos teores dos flutuados	46
5.1.2 Quantificação com recurso à lupa binocular	46
5.1.3 Determinação semiquantitativa por difração de raios X	48
5.1.4 Influência da concentração de amina	49
5.1.4.1 Influência do calibre das partículas	51
5.1.5 Influência da concentração de gasóleo.....	53
5.1.6 Flutuação de quartzo	53
5.1.6.1 Influência do calibre das partículas	55
5.1.7 Ácido oleico versus oleato de sódio.....	57
5.1.8 Influência do uso do oleato de sódio ou ácido oleico antes da flutuação das micas.....	57
5.1.9 Comparação entre as curvas granulométricas dos materiais que na alimentação apresentavam 250, 250-350 µm e o tal qual	60
5.1.10 Flutuados de mica versus quartzo	62
6. Conclusões e recomendações do estudo experimental	63
6.1 Conclusões do estudo experimental	63

6.2 Recomendações para estudos futuros	64
7. Bibliografia	65
 Anexos	
Anexo I. Condições dos Ensaios de flutuação	71
Anexo II. Teor das micas obtidos com auxílio da Lupa Binocular	75
Anexo III. Teor das micas e do quartzo obtidos pelo método semiquantitativo de difracção de raios X	77
Anexo IV. Dados das distribuições granulométrica	79
Anexo V. Produção Mundial de feldspatos	81
Anexo VI. Produção anual de feldspatos em Portugal	82
Anexo VII. Carta geológica “Vila Seca”	83

Índice de figuras

Figura 1 – Produção mundial dos feldspatos (dados obtido no sítio da USGS).....	12
Figura 2 – Distribuição de Quartzo e feldspato, Caulino e Argila (Jorge Coelho, 2010).....	13
Figura 3 – Evolução na quantidade de produção de feldspato em Portugal (dados do boletim de minas de Portugal e do USGS).	15
Figura 4 – Evolução no valor na mina do feldspato produzido em Portugal (dados do boletim de minas de Portugal e do USGS).	15
Figura 5 – Representação esquemática dos processos ocorridos numa célula de flutuação.....	24
Figura 6 – Representação esquemática de uma coluna flutuação.....	24
Figura 7 – Recuperação versus calibre das partículas.	25
Figura 8 – Localização da mina de Vila Seca.....	27
Figura 9 – Material já fragmentado na mina de Vila Seca.	34
Figura 10 – Crivo vibratório utilizando a serie de Tyler com abertura 2,0 mm à 0,250 mm.	35
Figura 11 – Célula Denver em funcionamento.....	36
Figura 12 – Difractómetro de raio X Philips PW 3710.	37
Figura 13 – Esquema do fenómeno de difração atendendo a condição de Bragg (em que A e B representam os feixes incidentes; D e E os feixes difratados e d as distâncias interplanares).	38
Figura 14 – Ficha com dados da estrutura cristalina e picos difratados de albite (dados da ICDD, 1999).	39
Figura 15 – Lupa binocular.....	42
Figura 16 – Granulómetro laser L230.....	43
Figura 17 – Esquema ilustrativo dos reagentes e tempos de condicionamento usados nos ensaios de flutuação.....	45
Figura 18 – Imagem ilustrando o flutuado de mica (a e b) e material tal qual (c e d) observados numa lupa binocular, a) parte representativa das micas e b) parte representativa de material denominado como sendo não mica, da mesma amostra; c) micas no tal qual e d) não mica no tal qual.....	47
Figura 19 – Teor de mica versus concentração amina, a) método de lupa binocular, b) método de difração de raios X.	49

Figura 20 – Recuperação (Ri) e rendimento em peso (Rp) versus concentração de amina, a) método de lupa binocular, b) método de difração de raios X.	50
Figura 21 – Comparação entre as curvas granulométricas do flutuado (micas) e tal qual.	52
Figura 22 – Teor e recuperação versus concentração de gas.	53
Figura 23 – Teor versus concentração ácido oleico.	54
Figura 24 – Recuperação versus ácido oleico.	55
Figura 25 – Comparação entre as curvas granulométricas do flutuado (Qtz) e tal qual.	56
Figura 26 – Difratoogramas, a) tal qual; b) calibre da alimentação (250 μ m), flutuado obtido pela flutuação da mica antes do quartzo; c) calibre da alimentação (250 – 355 μ m), flutuado obtido a seguir a flutuação do quartzo na presença de oleato de sódio; d) calibre da alimentação 250 μ m, flutuado obtido a seguir a flutuação do quartzo na presença de oleato de sódio.	60
Figura 27 – Comparação entre as curvas granulométricas de dois flutuados de dois matérias com calibres de alimentação diferente (250-355 μ m e < 250 μ m).	61

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Especificação de feldspato utilizado como carga (Harben, 2002; dados da K – T Feldspar corp., USA)	10
Tabela 2 – Uma comparação de diversas fontes de alumínio para cerâmica e vidro (Hebren, 2002)	10
Tabela 3 – Especificações comerciais de feldspato para vidro e porcelana (Redeker, 1997)	11
Tabela 4 – Exploração de feldspato e situação de produção em Portugal (Lneg-geoportal).....	14
Tabela 5 – Limites da área ocupada pela Mina Vila Seca	27
Tabela 6 – Limites da área de exploração “Vila Seca”	28
Tabela 7 – Caraterísticas químicas da amostra 1(Relatório geológico da Felmica, 2012)	31
Tabela 8 – Caraterísticas químicas da amostra 2 (Relatório geológico da Felmica, 2012)	32
Tabela 9 – Reagentes utilizados e condições de trabalho	44
Tabela 10 – Espaçamentos e factor de conversão dos minerais em estudo (factores de conversão segundo: Jhon et al, 1954; Biscaye, 1965; Islam & Lotse, 1986 e Drits et al, 2001)	48
Tabela 11 – Teor e recuperação de dois flutuados de quartzo na presença de ácido oleico e oleato de sódio	57
Tabela 12 – Teor e recuperação de dois flutuados de quartzo na presença de ácido oleico e oleato de sódio	58
Tabela 13 – Teor e recuperação de dois flutuados de quartzo na presença de ácido oleico e oleato de sódio	58

Simbologia

Al – Alumínio

Ba – Bário

Ca – Cálcio

K – Potássio

Na – Sódio

Si – Silício

Abreviaturas

Alb – albite

Arg – argila

EUA – Estados Unidos da América

DRX – Difracção dos raios X

Fk – Feldspato potássico

Flt.Qtz – Flutuado de quartzo

ICCD – International Center for Diffraction Data

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

MIBC – Metil Isubutil Carbinol

Mic – Mica

NE – Nordeste geográfico

NNE – Norte do Nordeste geográfico

NW – Noroeste geográfico

Ort – ortóclase

Qtz – Quartzo

SSW – Sul do Sudoeste geográfico

SW – Sudoeste geográfico

USGS – United States Geological Survey

1. Generalidades

1.1 Introdução

Os minerais industriais apresentam uma vasta aplicação em diferentes setores da indústria, estes são por definição, minerais ou agrupamento de minerais a partir dos quais, quer no estado natural quer após refinação e beneficiação mais ou menos complexas, são fabricados muitos produtos industriais tão diversos como são por exemplo as indústrias cerâmica, do vidro, do papel, de refratários, química e metalúrgica.

Neste trabalho dá-se mais ênfase aos feldspatos, que são principalmente utilizados na indústria cerâmica e do vidro. Durante os séculos XIX e XX a produção mundial dos feldspatos cresceu significativamente, fato este que é associado à descoberta de novos jazigos, à aplicação de uma mineração integrada e ao desenvolvimento em 1939 do processo de flutuação aplicado aos feldspatos, desenvolvido pela USBM (United States Bureau of Mines).

Os feldspatos na natureza geralmente ocorrem associados a micas e ao quartzo, havendo assim necessidades de uma separação ou mesmo diminuição das percentagens de micas e de quartzo presentes nos feldspatos de modo a não penalizar a sua aplicação. A flutuação quer das micas assim como do quartzo tem sido aplicada como um dos métodos para diminuir o teor destes nos feldspatos. Neste trabalho é estudado a flutuabilidade das micas e do quartzo associado ao feldspato explorado na mina de Vila Seca. Os ensaios de flutuação, realizados em uma célula Denver com capacidade de 3 litros foram efetuados na presença de uma amina primária visando a flutuação das micas e na presença do ácido oleico e do oleato de sódio para a flutuação do quartzo.

1. Generalidades

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

- Estudar a flutuabilidade das micas e do quartzo, presentes nos feldspatos de Vila Seca (Mangualde), utilizando como processo de beneficiação a flutuação em uma célula Denver.

1.2.2 Objetivos específicos

- Descrever as características geoquímicas dos leucogranitos da Vila Seca;
- Avaliar a capacidade de flutuabilidade dos feldspatos e quartzo;
- Estudar a aplicabilidade da C10H9NO4S na flutuação das micas;
- Estudar a flutuabilidade do quartzo na presença do ácido oleico, assim como na presença oleato de sódio.

1.3 Feldspatos

Os feldspatos constituem importante grupo de minerais formadores de rochas, e são de grande interesse para a indústria cerâmica. Podem apresentar cor branca, amarela, vermelha, verde, azul, cinzento ou preta. Possuem densidade situada entre 2,54-2,64 e dureza (escala de Mohs) entre 6-7, (Gomes, C.S.F 1990).

Quimicamente os feldspatos são aluminossilicatos de K, Na, Ca e mais raramente de Ba. Constituem cerca de 60% das rochas da crosta terrestre mas, apenas uma pequena parte pode ser usada na indústria cerâmica pois a maioria ocorre em grão fino a médio com separação mecânica impraticável dos minerais a eles associados, que muitas vezes são portadores de ferro. Geralmente, quanto maior for o conteúdo em Ca do feldspato, maior é a probabilidade de estar associado a minerais ferríferos tais como: biotite, piroxena, anfíbola, etc. Por esta razão que não é única, só os feldspatos alcalinos, isto é, os feldspatos sódico-potássicos são utilizados na indústria cerâmica.

Quando os elementos K, Na e Ca se intersubstituem dão origem a minerais de composição mista. A intersubstituição pode ser de 0-100% entre o feldspato de Na e o de K, constituindo os

feldspatos alcalinos, o mesmo acontece entre o feldspato de Na e Ca, dando origem ao grupo das plagioclases. O mesmo não acontece entre o K e o Ca. Assim, os termos extremos são:

- a) Feldspato de sódio: Albite - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
- b) Feldspato de cálcio: Anortite - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
- c) Feldspato de potássio: Ortóclase - KAlSi_3O_8

Estas espécies dificilmente são encontradas de forma pura na natureza, mas ocorrem misturadas em várias proporções. De acordo com as respetivas características cristaloquímicas os feldspatos, tal como o quartzo, pertencem ao grupo dos tetossilicatos o que significa que são construídos por uma rede ou arrumação tridimensional de tetraedros de sílica, SiO_4 , onde entre $\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{2}$ de átomos de Si podem ser substituídos por Al e todos os oxigénios de um tetraedro estão ligados a oxigénios dos tetraedros vizinhos. A deficiência de carga eléctrica resultante da substituição isomórfica de Si por Al é compensada pela introdução de átomos de Na, K e Ca na estrutura em cavidades existentes entre as cadeias do grupo SiO_4 . O Si e o Al têm coordenação 4 enquanto o Na, o K e o Ca têm coordenação 8.

1.3.1 Características cristalográficas da ortóclase (feldspato potássico) e da albite (feldspato sódico)

Neste trabalho o feldspato potássico e o sódico são os feldspatos que irão merecer uma atenção substancial, devido à sua maior presença nos feldspatos da mina de Vila Seca, estes feldspatos juntos perfazem mais de 70% dos feldspatos. Sendo que a restante percentagem é dividida entre as micas, quartzo e alguma argila em quantidades muito reduzida. Em termos cristalográficos os feldspatos (potássico e sódico) apresentam as seguintes características:

1.3.1.1 Ortóclase

- a) **Sistema cristalino:** monoclinico.
- b) **Composição química:** Alumossilicato de Potássio – KAlSi_3O_8 .
- c) **Propriedades físicas:**
 - ✓ Hábito: geralmente prismático, maciça;

1. Generalidades

- ✓ Clivagem e Fratura: clivagem basal perfeita e prismática imperfeita;
 - ✓ Cor: incolor, branca, cinzenta, raramente verde ou amarela;
 - ✓ Risca: branca;
 - ✓ Brilho: vítreo;
 - ✓ Dureza: média – termo 6 da Escala de Mohs;
 - ✓ Densidade: baixa: 2,57;
 - ✓ Diafanidade: opaco a translúcido;
- d) **Variedades:** Adulária (incolor).
- e) **Utilização:** por vezes usado como gema; normalmente usado na indústria da cerâmica e do vidro.
- f) **Origem do nome:** do Grego *orthos* = direito + *klasis* = fratura, por terem clivagens em ângulo reto.

1.3.1.2 Albite

- a) **Sistema cristalino:** triclinico.
- b) **Composição química:** Alumossilicatos de Sódio – $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$.
- c) **Propriedades físicas:**
- ✓ Hábito: geralmente tabular, por vezes prismáticos;
 - ✓ Clivagem e Fratura: clivagem basal imperfeita perfeita e prismática perfeita;
 - ✓ Cor: geralmente branca; pode ser amarela clara ou cinzenta verde;
 - ✓ Risca: branca; Brilho: vítreo; Dureza: média – 6;
 - ✓ Densidade: baixa: 2,62; Diafanidade: opaco a translúcido.
- d) **Variedades:** consoante a percentagem de Na): Oligoclase, Andesina, Labradorite.
- e) **Utilização:** por vezes usado na indústria do vidro.
- f) **Origem do nome:** Albite: do Latim *albus* = branco.

1.3.2 Fonte dos feldspatos

Os pegmatitos são uma das principais fontes dos feldspatos, são rochas de composição granítica (quartzo-feldspato-mica), de granulometria geralmente grossa e com cristais gigantes que

permite fácil separação. A composição dos pegmatitos pode ser simples ou complexa e pode incluir minerais enriquecidos em certos elementos como lítio, elementos de terras raras, tântalo e outros (Jackson 1997).

Além dos pegmatitos são conhecidas as seguintes fontes de feldspato:

- ✓ Alaskito;
- ✓ Nefelina sienito, granitos;
- ✓ Aplitos, areia feldspática;
- ✓ Rochas intrusivas, tipo anortosito, parcialmente caulinizadas; e
- ✓ Filitos

1.3.2.1 Alaskito – É a principal fonte de feldspato nos EUA. Ocorre no distrito de Spruce Pine, Carolina do Norte O alaskito é um pegmatito granítico de granulometria grossa e composição mineralógica relativamente uniforme. Uma outra característica do feldspato contido nesses alaskitos é o predomínio da albite, feldspato sódico. Os alaskitos explorados na região de Spruce Pine, Carolina do Norte-EUA, contêm cerca de 60 a 70% de feldspato, 25 a 30% de quartzo, 3 a 6% de moscovite, 2% de minerais de ferro, principalmente granada e pequenas quantidades de argilas (Segemar, 2000).

1.3.2.2 Sienito nefelínico – É uma rocha ígnea alcalina, sem quartzo, composta essencialmente por feldspato potássico e nefelina (feldspatóide de composição $(Na>K) AlSiO_4$, frequentemente com relação $Na/K = 3.1$. O teor em alcalis da nefelina é maior do que o existente nos feldspatos devido a substituição quase 1:1 do silício tetraédrico por Al, a qual tem de ser balanceada por metais alcalinos.

O sienito nefelínico tem como minerais acessórios as piroxenas e anfíbulas alcalinas, biotite, esfena e magnetite. Os sienitos nefelínicos enriquecidos em nefelina são utilizados no fabrico de azulejos, mosaico, porcelana eléctrica, porcelana química, porcelana dentária, vidro. (Sousa, C e Gomes, F, 1990).

1.3.2.3 Granitos – São rochas constituídas, essencialmente, de quartzo, feldspato e mica. Os feldspatos são minerais formadores de rochas, principalmente rochas ígneas ácidas, como o granito. Embora este possa conter entre 50 e 70% de feldspatos alcalinos, raramente é explorado pelo seu conteúdo em feldspato. Poucos são os exemplos de feldspato obtido de granitos: na

1. Generalidades

Geórgia-EUA é extraído feldspato do granito Shadydale no Condado de Jasper (13,9% Al_2O_3 ; 4,7% Na_2O 3,6% K_2O ; 0,9% CaO) (Harben, 2002).

1.3.2.4 Aplito – Os aplitos apresentam geralmente a forma de dique e são compostos essencialmente por feldspato potássico, quartzo e pequenas quantidades de micas brancas, (Sousa. C e Gomes. F, 1990). Existem vários exemplos de exploração de feldspatos a partir de depósitos de aplito como é o caso da produção comercial de feldspato em Virginia-EUA (condado de Hanover, Piney River), e da exploração do aplitopegmatítico levada a cabo pela Felmica na mina de Vila Seca no distrito de Viseu-Portugal.

1.3.2.5 Areia Feldspática – Segundo Harben (2002), depósitos de areia de praia, de rio ou de dunas podem conter quantidades de feldspatos passíveis de serem aproveitados economicamente. Na localidade de Navas de Oro, Província de Segóvia, Espanha, a Companhia Mineira de Rio Prión S. A. explora e beneficia areia feldspática de origem eólica, de idade quaternária, com 50% de quartzo, cerca de 40% de feldspato potássico (menos de 8% de plagioclase) e, como minerais pesados mais frequentes, a turmalina, granada e micas (Javier, 2002). No Brasil, na baixa fluminense, nos municípios de Seropédica e de Itaguaí-RJ, ocorrem depósitos de areia feldspática com cerca de 25% de feldspatos potássicos e sódicos (4,24% K_2O ; 1,56% Na_2O); sendo objeto de estudo laboratorial, visando o seu aproveitamento para a indústria de vidro e cerâmica.

1.3.2.6 Rochas intrusivas parcialmente caulinizadas – Anortosito, que é uma rocha ígnea intrusiva de granulação grosseira composta principalmente por feldspato plagioclásio rico em cálcio.

1.3.2.7 Filitos – O filito é uma rocha metamórfica de granulação fina constituída por caulinite, sericite e quartzo, tendo várias aplicações industriais. Um dos principais usos do filito é na indústria cerâmica, onde é empregue como fundente, auxiliando na fusão da massa cerâmica para produção de pisos, louças sanitárias e de mesa.

1.3.3 Exploração e beneficiação dos feldspatos

Na extração, seleção e beneficiação de feldspatos de algumas explorações ainda se usam

processos clássicos que compreendem o rebentamento e quebra da rocha, a escolha e a selecção do feldspato à mão baseada em diagnose empírica (o feldspato potássico é geralmente corado em tons de rosa ou vermelho-tijolo, enquanto que o feldspato sódico é geralmente branco) e moagem de feldspato.

Em explorações mais modernas, na beneficiação do feldspato intervêm processos mais sofisticados que compreendem moagem fina e processos de separação que envolvem a flutuação, separação eletromagnética de alta intensidade e em certos casos a separação por métodos ópticos (processo que permite a separação pelas propriedades físicas, geometria, cor e transparência, Exemplo: Felmica - Portugal), que vão permitir a separação de micas, quartzo e outros minerais associados aos feldspatos e até mesmo a separação entre feldspato potássico e feldspato sódico.

Antes do emprego dos métodos de separação o feldspato é fragmentado, inicialmente em britadores de máxilas e finalmente em moinhos que reduzem o grão médio até pouco menos de 1mm tendo sempre em conta o calibre de libertação dos minerais. Para separar o feldspato do quartzo por flutuação, o feldspato tem de ser ativado com HF e utilizar-se um coletor orgânico com o mínimo de 10 carbonos na cadeia carbónica, geralmente são utilizadas as amins primárias e o gásóleo como estabilizador. (Sousa. C e Gomes. F, 1990). No presente estudo foi feito o processo inverso flutuando as micas e o quartzo, e afundando os feldspatos.

Em alguns países como os Estados Unidos da América, Noruega, Finlândia e Alemanha, utiliza-se a técnica de flutuação para se fazer a separação entre o feldspato potássico e o feldspato sódico, após o emprego da flutuação a suspensão de feldspato é seca e sujeita a separação eletromagnética de alta intensidade para separar os minerais de ferro. Yanis (1968), afirma que os iões de Mg^{2+} e Ca^{2+} quando presentes na flutuação de feldspatos na presença de uma amina primária e ácido fluorídrico (HF), atuam como depressores do feldspato sódico fazendo com que este se encontre no afundado, e flutuando o feldspato potássico.

1.3.4 Aplicação dos feldspatos

As indústrias de cerâmica e vidro representam os principais campos de aplicação do feldspato. Usa-se também o feldspato como carga funcional e extensor, nas indústrias de tinta, plástico e borracha. Não se trata de um uso tradicional, mas tem-se mostrado que, com o uso de feldspato,

é possível melhorar o desempenho daqueles produtos (Kauffman e Van Dyk, 1994).

1.3.4.1 Cerâmica

Na indústria cerâmica a quantidade de feldspato utilizada varia com o tipo de produto. A porcelana de mesa pode conter entre 17 e 20% de feldspato, cerâmica de piso entre 55 e 60%, revestimento de parede de zero a 11%, porcelana elétrica entre 25 e 35%, (Kauffman e Van Dyk, 1994).

O feldspato usado na indústria cerâmica (revestimento de piso e parede, louça sanitária, porcelana elétrica, vidro e esmalte), como fluxante, tem a função de formar uma fase vítrea no corpo, promovendo uma vitrificação e transluzimento. Os feldspatos são usados no vidro vitrificado como fonte de álcalis e alumínio. Tanto para o vidro como para a cerâmica, o feldspato contribui como fonte de SiO_2 (Harben, 2002).

A formulação de qualquer cerâmica tradicional é constituída de dois elementos principais: o material plástico, constituído por uma argila, e o material duro constituído por sílica e feldspato. O constituinte plástico permite que o corpo cerâmico seja moldado, enquanto os constituintes duros permitem ao corpo cerâmico sua forma, capacidade e resistência após a queima (Motter, 2000).

Segundo Motter (2000), na indústria cerâmica o feldspato é representado por dois minerais: albite ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), feldspato sódico e ortoclase ou microclina, feldspato potássico. A anortite, feldspato cálcico, é raramente usada, pois trata-se de um mineral muito refratário. Na indústria cerâmica, os feldspatos sódicos e potássicos apresentam comportamento diferente, durante a queima. Os feldspatos sódicos são caracterizados por apresentar baixo ponto de fusão (em torno de 1.170°C) e por uma fusão abrupta, bem como retração (*shrinkage*) e fusibilidade dependentes da temperatura. A massa fundida do feldspato sódico tem viscosidade mais baixa. Por isto, na indústria cerâmica o feldspato sódico é mais propenso à formação de peças empenadas ou deformadas. Os limites térmicos para trabalhar são mais estreitos. Por outro lado, os feldspatos potássicos têm um ponto de fusão mais elevado (cerca de 1500°C) e o seu comportamento cerâmico se dá de forma mais progressiva. A massa fundida proveniente do feldspato potássico apresenta maior viscosidade e dessa forma os limites térmicos de trabalho são relativamente mais amplos.

1.3.4.2 Vidro

Na fabricação do vidro, o feldspato é utilizado como fonte de Al_2O_3 , Na_2O e/ou K_2O e SiO_2 . Segundo Maia (2003), no processo de fabricação do vidro há uma classificação para os óxidos utilizados que diz respeito à função desses, no processo de produção do vidro e no seu uso:

- ✓ vidro-formadores (formadores da rede);
- ✓ estabilizadores;
- ✓ fundentes ou fluxos;
- ✓ acessórios.

Vidro-formadores são compostos cujos átomos formam arranjos tetraédricos gerando cadeias que se podem dispor de forma aleatória, formando o vidro. Estabilizadores são óxidos que conferem, ao vidro, um elevado grau de resistência química. Os fluxos ou fundentes têm a função de baixar a temperatura de fusão das matérias-primas resultantes da blendagem, no processo de produção do vidro. Os fundentes são constituídos de óxidos que reagem no processo de obtenção do vidro, em temperaturas relativamente baixas.

Num vidro alcalino constituído de SiO_2 , Na_2O e CaO , o dióxido de silício é o vidro-formador, o Na_2O o fundente e o CaO o estabilizador. Há outros vidros em que os óxidos vidro-formadores são compostos de tipo óxido de germânio (GeO_2), ou óxido bórico (B_2O_3) ou pentóxido de fósforo (P_2O_5), (Maia, 2003).

Os alcalis (K_2O , Na_2O) contidos no feldspato substituem, parcialmente, o carbonato de sódio e têm a função de fundente. A alumina ajuda a trabalhabilidade do vidro fundido, aumenta a resistência do vidro à corrosão química, aumenta a sua dureza e durabilidade e inibe a desvitrificação (Harben, 2002).

Os óxidos acessórios são utilizados na fabricação do vidro em pequenas quantidades e com funções específicas. Por exemplo: alguns óxidos de metais (óxidos de ferro, de cromo, de cobre etc) são usados como corantes, para conferir ao vidro uma cor desejada.

1.3.4.3 Especificações

Nas tabelas 1, 2 e 3 abaixo estão representadas as especificações de feldspato para diferentes aplicações como carga, indústria de vidro e cerâmica.

1. Generalidades

Tabela 1 – Especificação de feldspato utilizado como carga (Harben, 2002; dados da K – T Feldspar corp., USA)

	Minspar 3	Minspar 4	Minspar 25	Minspar 7
Brilho (G.E. brightness)	89,6	91,4	91,5	92,2
Densidade aparente				
não compactado	0,70	0,70	0,64	0,61
compactado	1,12	0,96	0,96	0,88
Humidade	0,1	0,1	0,1	0,1
PH	8,7	9,3	9,3	9,3
Absorção de óleo (rub out)	16 - 17	18 - 19	19 - 20	21 - 23
ASTMD-282-31				
% em peso passante em:				
74 µm	99,6	100	100	100
44 µm	96	99,95	100	100
30 µm	87	94	99	100
20 µm	72	88	96	100
10 µm	41	60	70	90
5 µm	19	30	35	55
Tamanho médio (µm)	12	8	7	4,8
Área sup.específica (m ² /g)	0,8 - 0,9	1,0 - 1,2	1,2 - 1,4	1,5 - 1,6

Tabela 2 – Uma comparação de diversas fontes de alumínio para cerâmica e vidro (Hebren, 2002)

	Sienito nefilínico	Feldspato sódico	Feldspato potássico	Aplito com baixo teor de ferro	Escória de calumita
SiO ₂	61,40	67,54	67,04	63,71	38,8
Al ₂ O ₃	22,74	19,25	18,02	21,89	10,5
Fe ₂ O ₃	0,06	0,06	0,04	0,09	0,3
CaO	0,70	1,94	0,38	0,48	38,5
MgO	–	–	–	–	1,4
K ₂ O	4,95	4,05	12,10	2,37	0,5
Na ₂ O	9,54	6,96	2,12	5,60	0,4
P.F	0,60	0,13	0,30	0,21	1,1

Beneficiação por flutuação dos feldspatos da mina de Vila Seca - Mangualde

Tabela 3 – Especificações comerciais de feldspato para vidro e porcelana (Redeker, 1997)

Produtos	Vidro F-20	Vidro C-20	Vidro G-40	Vidro Aplito	Porcelana NC-4	Porcelana C-6	Porcelana G-200	Porcelana K-200
Análise química (%)								
SiO ₂	68,20	68,90	67,70	63,10	68,15	68,70	67,00	67,10
Al ₂ O ₃	22,00	18,75	18,50	22,00	19,00	18,50	18,30	18,30
FeO	0,10	0,07	máx	0,10	0,067	0,07	0,08	0,07
CaO	5,60	1,85	0,90	5,60	1,60	0,90	1,02	0,36
MgO								
K ₂ O	3,00	3,85	4,10	3,00	4,00	4,10	10,50	10,50
Na ₂ O	6,00	7,15	7,00	6,00	7,00	7,20	2,85	2,85
P.F	0,20	0,13	0,25	0,20	0,10	0,25	0,20	0,20
Granulometria (% peso retido acumulado)								
+16 malhas	0,1	0,4		0				
+20 malhas	8,2	8,0		1,5				
+30 malhas	12,0			15,0				
+40 malhas		49,0	1,75	50,0				
+50 malhas	85,5	81,0		97,0				
+100 malhas	98,8	96,1	61,0	100,0	(1)			(2)
+200 malhas			97,5					

(1) moido abaixo de 170, 200 ou 250 malhas (Tyler).

(2) moido abaixo de 120, 170, 200 ou 250 malhas (Tyler).

1.3.5 Principais produtores de feldspatos

O feldspato é produzido em mais de 50 países (USGS, 2003), sendo que atualmente a produção mundial de feldspato é dominada pela Turquia, Itália, Espanha e Estados Unidos e apesar de ter sido afetada pela reciclagem do vidro, pela competição com recipientes de metal, plástico e papel, a indústria de feldspato continua a crescer, principalmente devido à procura de minerais industriais com qualidade cada vez maior, (Potter. M. J., 2006).

Durante os séculos XIX e XX a produção do feldspato cresceu significativamente, este fato deveu-se à descoberta de novos locais de exploração, sistemas integrados de mineração e processamento e ao desenvolvimento do processo de flutuação para os feldspatos como método de concentração nos Estados Unidos em 1939. Na Fig. 1, representa-se a evolução da produção mundial dos feldspatos desde 1980. Observa-se que esta tem crescido sistematicamente ao longo

1. Generalidades

dos últimos anos, observando-se um crescimento exponencial a partir de 2000. Também se observa uma diminuição no ano 2008 resultante da crise económico-financeira mundial desse ano.

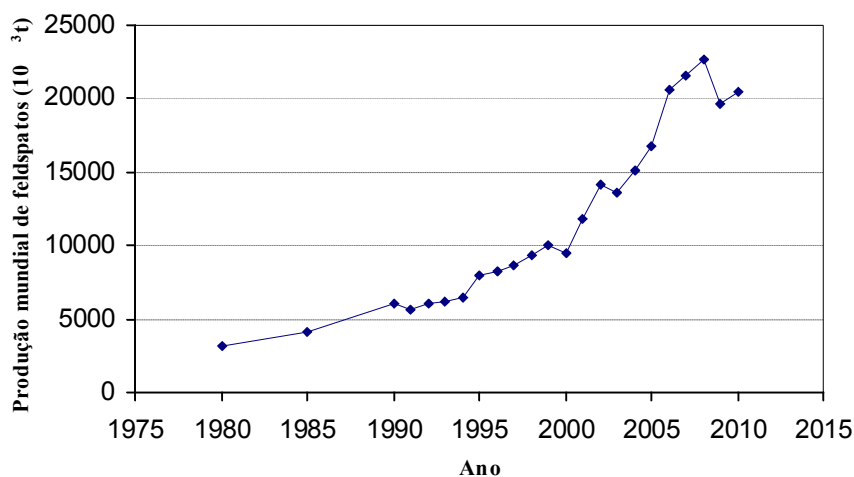


Figura 1 – Produção mundial dos feldspatos (dados obtido no sítio da USGS).

O maior mercado do feldspato encontra-se no Brasil, China, países Asiáticos e países do oeste da Europa (Ros-kill Information Services Ltd, 2002), Em relação ao feldspato utilizado no revestimento cerâmico os países que mais exportam são nomeadamente o Brasil, China, Colômbia, Itália, México e Espanha que encontram nos Estados Unidos o seu maior mercado.

1.3.6 Produção de feldspatos em Portugal

Em Portugal os feldspatos estão distribuídos por quase todo o País, estando mais representados na zona Centro e Norte (Fig. 2). Os feldspatos da Guarda e Viseu são classificados como sendo recursos de interesse regional, apresentando uma importância considerável para a economia da região, e contribuem de forma substancial para o emprego, sendo por isso um elemento de coesão social, contrariando a desertificação humana. (Carvalho, 2010).

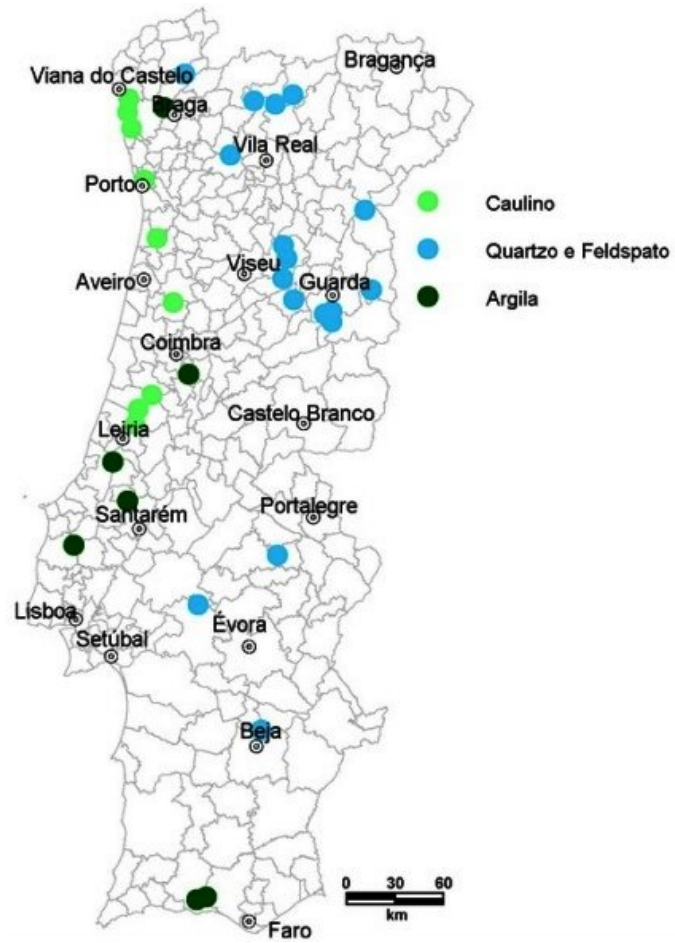


Figura 2 – Distribuição de Quartzo e feldspato, Caulino e Argila (Jorge Coelho, 2010).

1. Generalidades

1.3.6.1 Minas de exploração de feldspatos em Portugal

Na tabela 4, estão representados os locais em que há exploração de feldspato, bem como a situação da produção.

Tabela 4 – Exploração de feldspato e situação de produção em Portugal (Lneg-geoportal)

Nome da exploração	Substância	Situação da Produção
Ade	Feldspato	Lavra Ativa
Alvarrões	Feldspato	Lavra Ativa
Bajoca	Feldspato	Lavra Ativa
Benespera	Feldspato	Lavra Ativa
Castanho	Feldspato	Lavra Ativa
Castanho Sul	Feldspato	Lavra Suspensa
Companheiro	Feldspato	Lavra Ativa
Covão	Feldspato	Lavra Ativa
Cubos	Feldspato	Lavra Ativa
Fonte de Cal	Feldspato	Lavra Ativa
Freineda	Feldspato	Lavra Suspensa
Gonçalo Sul	Feldspato	Lavra Ativa
Lagares	Feldspato	Lavra Ativa
Madalena	Feldspato	Lavra Ativa
Quinta Comeira	Feldspato	Lavra Ativa
Quinta do Quelhas	Feldspato	Lavra Suspensa
Real	Feldspato	Lavra Ativa
Sandiães	Feldspato	Lavra Ativa
Sangas-Saibro	Feldspato	Lavra Ativa
Seixinhos	Feldspato	Lavra Ativa
Vela Nordeste	Feldspato	Lavra Ativa
Venturinha	Feldspato	Lavra Ativa
Vigia	Feldspato	Lavra Ativa
Vila Seca	Feldspato	Lavra Ativa

A produção dos feldspatos em Portugal já vem de há muitos anos mas tem variado ao longo dos anos. Nas figuras 3 e 4, estão representados respectivamente a evolução dos valores da produção do feldspato em cada ano assim como o valor correspondente na mina.

Beneficiação por flutuação dos feldspatos da mina de Vila Seca - Mangualde

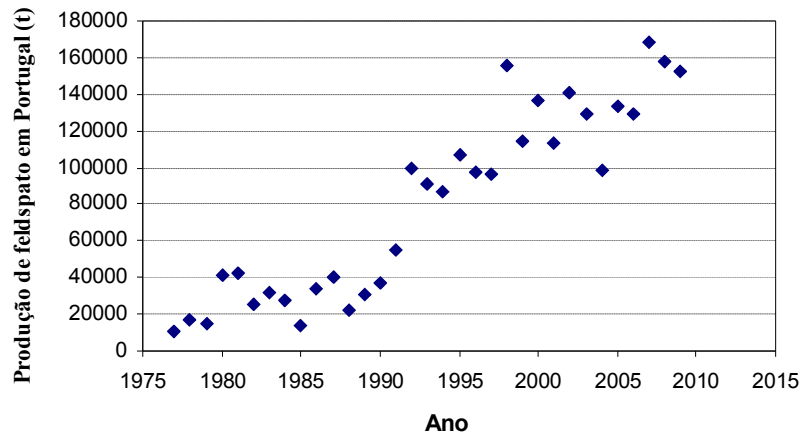


Figura 3 – Evolução na quantidade de produção de feldspato em Portugal (dados do boletim de minas de Portugal e do USGS).

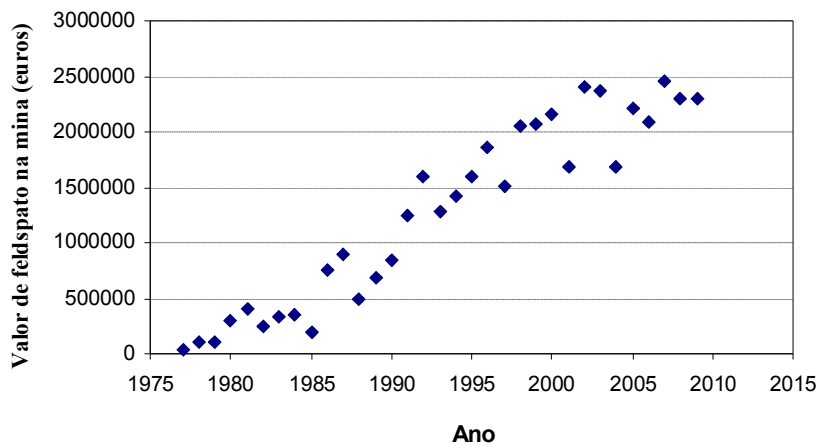


Figura 4 – Evolução no valor na mina do feldspato produzido em Portugal (dados do boletim de minas de Portugal e do USGS).

2. Beneficiação de minérios

Geralmente os minérios tal como são extraídos dos seus jazigos, não são imediatamente utilizáveis ou tratáveis metalurgicamente. A grande maioria das espécies minerais que os constituem não possuem valor comercial, formando as chamadas espécies minerais gangas, ligando-se a elas, em proporções variáveis, os minerais úteis que conferem valor e utilidade ao minério. No conjunto das operações de tratamento de minérios, são as operações de concentração que na maioria das vezes fazem a separação entre as espécies minerais úteis e as inúteis ou gangas, ou mesmo a separação entre si de várias espécies minerais úteis. Desta separação resulta a obtenção de dois produtos:

- ✓ O concentrado – produto enriquecido em substância mineral útil;
- ✓ O estéril – produto empobrecido em substância mineral útil, que é rejeitado.

2.1 Tratamento ou beneficiação de minérios

O processo de tratamento ou beneficiação de minérios consiste em um conjunto de operações aplicadas aos bens minerais visando modificar a granulometria, a concentração relativa das espécies minerais presentes ou a forma, sem contudo modificar a identidade química ou física dos minerais. Há, no entanto, autores que defendem um conceito mais amplo para o tratamento, como sendo um processamento no qual os minerais podem sofrer até alterações de ordem química, resultantes de simples decomposição térmica ou mesmo de reacções típicas geradas pela presença do calor, (Luz. A. & Lins. F. et al, 2004).

Mineral é todo o corpo inorgânico de composição química e de propriedades físicas definidas, encontrado na crosta terrestre. Minério é toda a rocha constituída por um mineral ou agregado de minerais contendo um ou mais minerais valiosos, possíveis de serem aproveitados economicamente. Esses minerais valiosos, aproveitáveis como bens úteis, são chamados de minerais-minério. O mineral ou conjunto de minerais não aproveitados de um minério é denominado ganga.

Para um minério ser concentrado, é necessário que os minerais estejam fisicamente libertos. Isto implica que uma partícula deve apresentar, idealmente, uma única espécie mineralógica. Para se

obter a libertação do mineral, o minério é submetido a uma operação de redução de tamanho (cominuição), isto é, britagem e/ou moagem, que pode variar de centímetros até micrómetros. Como as operações de redução de tamanho são caras (consumo de energia, meio moedor, revestimento etc.), deve-se fragmentar só o estritamente necessário para a operação seguinte. Para evitar uma cominuição excessiva, faz-se uso de operações de separação por tamanho ou classificação (peneiramento, ciclone etc.), nos circuitos de cominuição. Após a redução de tamanho do minério, promovendo a libertação adequada dos seus minerais, estes são submetidos à operação de concentração ou separação das espécies minerais, obtendo-se, nos procedimentos mais simples, um concentrado e um rejeito (estéril), (Luz. A. & Lins et al, 2010).

As operações de separação seletiva de minerais baseiam-se nas diferenças de propriedades entre o mineral-minério (o mineral de interesse) e os minerais de ganga. Entre estas propriedades destacam-se: peso específico (ou densidade), susceptibilidade magnética, condutividade elétrica, propriedades de química de superfície, cor, radioatividade, forma etc. Em muitos casos, também se requer a separação seletiva entre dois ou mais minerais de interesse. Atendendo às propriedades citadas os métodos de concentração podem ser divididos de seguinte modo:

2.1.1 Concentração gravítica – Processo no qual as partículas de diferentes densidades, tamanhos e formas são separadas umas das outras por ação de forças de gravidade ou por forças centrífugas. É uma das mais antigas formas de processamento mineral e com longos séculos de aplicação na indústria mineira.

2.1.2 Concentração em meio denso – é um processo de separação gravítica aplicado na separação de minerais, onde o meio denso pode ser constituído de líquidos orgânicos, soluções de sais inorgânicos ou, ainda, de uma suspensão estável de densidade pré-determinada. Na indústria o método de suspensão é o utilizado, sendo designado por separação em meio denso, e constituído por um sólido insolúvel disperso em água, que se comporta como um líquido denso. Os sólidos insolúveis mais utilizados são finos de magnetite ou de ferro silício. O meio denso a ser utilizado na separação de minerais deve apresentar uma densidade ligeiramente superior à densidade das espécies minerais menos densas a serem separadas, de maneira que os minerais com densidade inferior flutuem, e os que apresentam densidade superior afundem.

2. Beneficiação de minérios

2.1.3 Concentração magnética – É um método utilizado no tratamento de minérios como processo único ou como processo complementar de outros na purificação de pré-concentrados. Ele depende das diferentes respostas ao campo magnético das espécies mineralógicas. A propriedade de um material que determina a sua resposta a um campo magnético é chamada de susceptibilidade magnética. Com base nessa propriedade os materiais ou minerais são classificados em duas categorias: aqueles que são atraídos pelo campo magnético e os que são repelidos por ele. No primeiro caso têm-se os minerais ferromagnéticos, os quais são atraídos fortemente pelo campo, e os paramagnéticos, que são atraídos fracamente. Aqueles que são repelidos pelo campo denominam-se de diamagnéticos. A separação magnética pode ser feita tanto a seco como a húmido.

2.1.4 Concentração eletrostática – É um processo de concentração de minérios que se baseia na diferente condutibilidade eletrostática dos minerais a separar, pois estes podem apresentar diferente susceptibilidade em adquirir cargas elétricas superficiais. Para promover a separação é necessária a existência de dois fatores elétricos:

- ✓ Um campo elétrico de intensidade suficiente para desviar uma partícula eletricamente carregada, quando em movimento na região do campo;
- ✓ Carga elétrica superficial das partículas, ou polarização induzida, que lhes permitam sofrer a influência do campo elétrico.

2.1.5 Lixiviação – A lixiviação é um processo de concentração de minérios que se baseia no diferente comportamento químico dos minerais perante certos solutos, isto é, diferenciamento de dissolução em solutos. Este diferente comportamento é aproveitado para que certos minerais presentes num minério sejam atacados preferencialmente por solutos selecionados, enquanto outros permanecem substancialmente intactos. O fundamento básico deste método consiste na dissolução selectiva de um mineral ou minerais num minério em bruto, ou no seu concentrado, seguida da precipitação do metal ou composto a partir do soluto obtido (extração direta), ou na eliminação por dissolução de impurezas contidas num concentrado (extração indireta ou purificação de concentrados).

2.1.5 Flutuação

O interesse industrial pelo processo de flutuação teve o seu início por volta de 1920. Após alguns desenvolvimentos importantes, o uso deste processo intensificou-se e consolidou-se, sendo hoje predominante na área de concentração de minérios.

A flutuação é um processo de concentração de minerais que se baseia nas propriedades superficiais das partículas, tendo por base a adesão seletiva de algumas partículas sólidas para com o ar e de outras para com a água. O primeiro tipo de partículas denominam-se hidrófobas e o segundo tipo hidrófilas. Os agregados partículas-bolhas apresentam menor densidade que a polpa circundante, flutuando portanto até à superfície. Assim, a separação é baseada na diferença de densidade entre os agregados partículas-bolhas e as outras partículas hidrófilas dispersas na polpa. A característica que suporta a separação é o diferente grau de hidrofobicidade das partículas existentes. Enquanto algumas substâncias minerais são naturalmente hidrófobas, ligando-se com relativa facilidade às bolhas de ar, existem outras que não se ligam às bolhas naturalmente, sendo necessário adicionar alguns reagentes de modo a torná-las flutuáveis, isto é, hidrófobas. Aliás, na maior parte dos casos a hidrofobicidade natural é aumentada pela adição de coletores. Contrariamente, quando se pretende que alguns minerais não flutuem, a sua propriedade hidrófila pode ser aumentada através da utilização de reagentes depressores. Deste modo, este processo de separação é físico-químico, pois exige a adição de pequenas quantidades de reagentes, (Pita, 2000).

São várias as classes de reagentes potencialmente utilizáveis, existindo em cada um deles muitos tipos de reagentes. Dentro dos reagentes utilizados, os coletores desempenham geralmente o papel principal no processo de flutuação.

Quando se flutua a espécie mineral útil, o processo designa-se por *flutuação direta*, quando se flutua a ganga, e se deprime a substância mineral útil, o processo designa-se por *flutuação inversa* ou *indireta*. Na presença de uma mistura de minerais, geralmente procura-se flutuar as substâncias que ocorrem em menor percentagem, tendo sempre em atenção o diferente grau de flutuabilidade dos minerais presentes, (Pita, 2000).

Nos processos de flutuação para além da flutuação verdadeira há sempre o processo denominado de arrastamento. A flutuação verdadeira ocorre quando as partículas hidrófobas, após colisão, se ligam às bolhas de ar formando agregados estáveis e são levitadas por estas até à zona da espuma

2. Beneficiação de minérios

sendo aí recolhidas, constituindo um processo seletivo. A flutuação falsa (arrastamento), fenómeno indiscriminatório, ocorre quando as partículas são arrastadas para a superfície em suspensão na água situada entre as bolhas, não contribuindo para a separação.

2.1.5.1 Reagentes utilizados na flutuação

A flutuação é o principal processo de concentração baseado na química inter-facial das partículas minerais em solução. Apesar de se poder estudar em termos genéricos a química da flutuação, deve-se ter presente que cada aplicação é um caso particular, intervindo uma combinação única entre o mineral e a água. Deste modo, é impossível seleccionar os reagentes de flutuação e a sua concentração a partir unicamente do conhecimento dos minerais existentes. Todavia, isto é um bom ponto de partida para a realização de ensaios laboratoriais com vista ao estudo das condições ótimas para a beneficiação por flutuação de um determinado minério. Para proceder à flutuação da maioria dos minerais é necessário torná-los hidrófobos. Isto é feito através da adição, em ambiente químico propício, de um coletor que seja seletivamente adsorvido. A criação das condições químicas ideais para que ocorra separação por flutuação implica geralmente a adição de alguns reagentes, salientando-se o regulador de pH , o dispersante e o ativador.

Crozier (1992) classifica os reagentes em cinco classes, coletores (por vezes designados por promotores), ativadores, modificadores, depressoires e espumantes.

Os coletores, reagentes mais decisivos na flutuação, têm um determinado campo de pH de trabalho, sendo portanto de extrema importância a regularização do pH antes da adição do coletor ou outros reagentes, pois aquele influencia decisivamente a eficiência dos reagentes. Os coletores reagem com a superfície do mineral, tornando-a repelente à água, ligando-se portanto às bolhas de ar.

Ativadores são reagentes que facilitam e aumentam a seletividade do processo de flutuação intensificando a adsorção do coletor. Isto é, eles coadjuvam a acção dos colectores, criam revestimentos para melhorar a atuação do coletor ou reforçam a sua aderência aos minerais a flutuar.

Modificadores são reagentes geralmente utilizados para modificar as características dos minerais. Estes reagentes são muito utilizados em flutuação integral restabelecendo as propriedades de

flutuação de espécies minerais previamente deprimidas.

Os depressores são reagentes que impedem a flutuação de certos minerais, inibindo a adsorção dos coletores. Eles estão na base da flutuação diferencial, pois permitem aumentar as propriedades selectivas dos coletores. A depressão de alguns minerais pode ser conseguida evitando a sua ativação por sais solúveis presentes na polpa, evitando a reacção com os coletores, pela destruição dos revestimentos coletores já existentes ou pela produção de um revestimento hidrófilo.

No tratamento de produtos de granulometria extremamente fina é comum adicionar um dispersante, cujo objetivo é garantir que as partículas minerais estejam individualizadas. Para além dos reagentes anteriormente referidos, adiciona-se também um produto designado espumante cuja acção é extremamente importante para a flutuação.

Espumante são substâncias orgânicas formadas por moléculas heteropolares, de constituição semelhante aos coletores mas em que a parte polar não tem afinidade para qualquer mineral. Adicionado sob pequenas doses, conduzem a elevadas quedas de tensão superficial, responsáveis pelo aparecimento de espuma e pela formação de bolhas estáveis. A presença do espumante é responsável por: promover o aumento da espuma formada; o aumento da dispersão das bolhas de ar; diminuição do tamanho das bolhas e a conseqüente diminuição da velocidade de subida das bolhas (efeito importante sobretudo na coluna), aumentando assim o seu tempo de residência na zona da polpa; redução da coalescência na zona da polpa e da espuma. Assim, pode-se dizer que a utilização de espumante também conduz ao aumento da probabilidade de contacto entre as partículas e as bolhas, ou seja, conduz ao aumento da taxa de flutuação.

2.1.5.2 Condicionamento

Para que os reagentes possam atuar na superfície da partícula mineral, coletando-a, ativando-a ou deprimindo-a, é necessário que se dê um tempo para que as partículas minerais e as moléculas de reagentes tenham possibilidade de reagirem. Esta operação é denominada de condicionamento. Com a maioria das espécies minerais o condicionamento é feito com baixa diluição de polpa (alta percentagem de sólidos), de modo a aumentar a probabilidade de contacto entre as gotículas de reagente e as partículas. Durante o condicionamento o controle dos tempos de ataque de cada reagente é importante para o sucesso do processo de flutuação.

2.1.5.3 Grau de agitação

A agitação operada numa célula tem por objetivo manter as partículas em suspensão de modo a obter-se uma polpa homogênea, promover a colisão entre as partículas e as bolhas e dispersar as bolhas gasosas na polpa. Nas células mecânicas, o grau de agitação deverá ter em atenção a estabilidade dos agregados partículas- bolhas, devendo a agitação ser tanto mais pequena quanto menor for a estabilidade desses agregados. Para que não ocorra a sua destruição, o grau de agitação deve ser apenas o suficiente para promover a suspensão das partículas na polpa permitindo a colisão entre as partículas e as bolhas, possibilitando a ligação. Se esta intensidade de agitação for demasiado violenta pode suceder que, apesar da probabilidade de colisão ser elevada, seja também elevada a probabilidade de destruição dos agregados formados, podendo estes serem facilmente destruídos (Pita, 2000).

2.1.5.4 Equipamentos usados na flutuação

A obtenção de bons resultados depende não só das características do próprio minério mas também do tipo de equipamento a utilizar. Na indústria mineira utilizam-se fundamentalmente dois tipos de máquinas de flutuação, as células mecânicas e a coluna de flutuação. Enquanto o primeiro tipo de máquina tem mais de um século de existência, a coluna surgiu pela primeira vez em 1962 no Canadá em testes laboratoriais (Wheeler,1988). A sua primeira aplicação industrial ocorreu em 1981 no Canadá, onde uma coluna operando no estágio de apuramento de concentração de molibdenite, substituiu com sucesso uma bancada de células mecânicas convencionais.

A coluna conduz a melhores resultados, fundamentalmente no tratamento de partículas finas. Isto porque ela permite trabalhar com elevadas alturas de espuma e também com água de lavagem, diminuindo assim a contribuição do arrastamento para a recuperação, obtendo-se flutuados mais "limpos". Permite também obter maior recuperação de material fino e material grosseiro. Isto resulta do fato de nas colunas ser mais fácil controlar o diâmetro das bolhas, podendo-se trabalhar com bolhas de menor diâmetro o que promove o aumento da probabilidade de colisão pois aumenta o número de bolhas formadas e aumenta o seu tempo de residência na coluna. Maiores recuperações para partículas grosseiras, resulta de na coluna ocorrer menor turbulência. Outra característica que diferencia o processo de flutuação operado em cada um daqueles dois

aparelhos, está relacionada com o modo de promover a colisão entre as partículas e as bolhas (Pita, 2000).

O processo de flutuação operado numa célula e numa coluna estão representados, respetivamente, nas Figuras 5 e 6. Na célula a agitação, provocada por um agitador (rotor), é responsável pela suspensão das partículas e sua consequente colisão com as bolhas e também pela geração das bolhas gasosas. A agitação provocada pelo rotor pode também ser responsável pela desagregação de algumas das partículas ligadas às bolhas, sendo esta desagregação tanto maior quanto mais intensa for a agitação. Os agregados partículas- bolhas sobem ao longo da célula, formando à superfície a espuma que será recolhida por transbordo com ou sem a ajuda de limpa espumas (Pita, 2000).

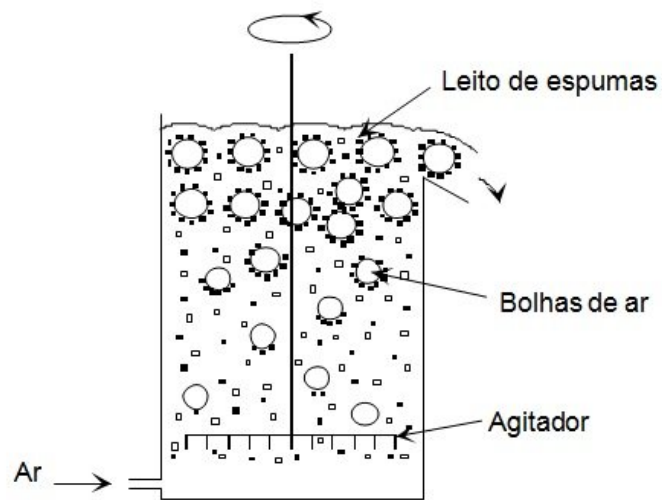


Figura 5 – Representação esquemática dos processos ocorridos numa célula de flutuação.

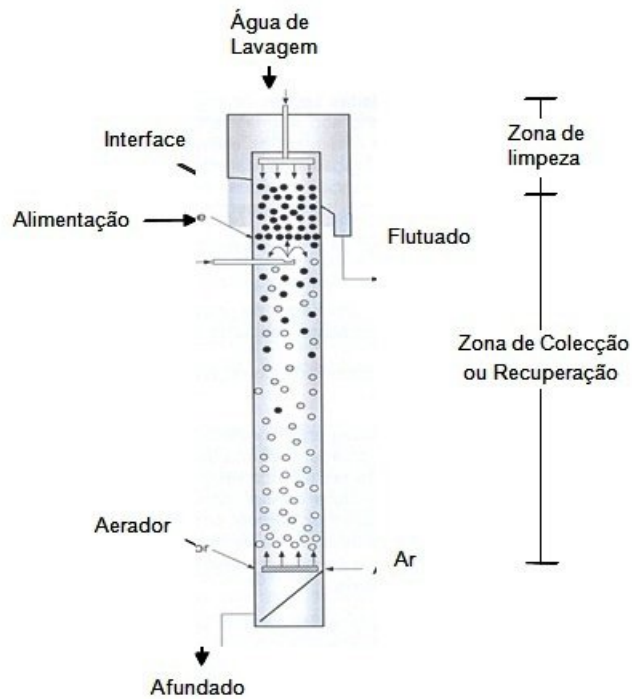


Figura 6 – Representação esquemática de uma coluna flutuação.

2.1.5.5 Recuperação versus calibre das partículas

Todos os estudos efetuados sobre a influência do calibre no processo de flutuação têm permitido concluir que a variação da recuperação versus calibre das partículas é representada por uma curva do tipo da apresentada na Figura 7. Este tipo de curva mostra que, relativamente ao comportamento das partículas com diferente calibre, normalmente existem três conjuntos de partículas, ou três regiões: as partículas finas, difíceis de flutuar e de separar, conduzindo a pequenas recuperações; as partículas intermédias, fáceis de separar e que conduzem a elevadas recuperações; as partículas grosseiras que conduzem a pequenas recuperações. Verifica-se assim, que existe um calibre máximo, a partir do qual é impossível flutuar as partículas e um calibre mínimo abaixo do qual a recuperação diminui rapidamente (Pita, 2000).

A relação recuperação versus calibre depende de vários fatores, entre os quais se destacam a densidade dos minerais a flutuar e a sua hidrofobicidade. No processo de flutuação, o calibre das partículas influencia fortemente a estabilidade dos agregados partículas-bolha. Esta propriedade está na origem da diminuição brusca da recuperação, aquando do aumento do calibre das partículas acima de determinados valores, mesmo quando em presença de partículas libertas.

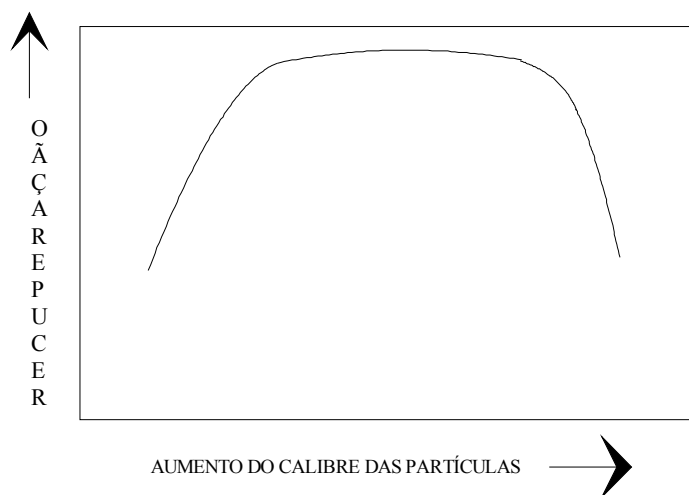


Figura 7 – Recuperação versus calibre das partículas.

A gama de calibres, para a qual é máxima a recuperação, varia de mineral para mineral e depende não só das propriedades desses minerais a flutuar mas também das condições operatórias.

2.1.5.6 Comportamento das partículas na espuma

Relativamente à influência do calibre das partículas na zona da espuma, constata-se que, como as partículas mais finas conduzem a agregados partículas-bolhas bastante estáveis, é natural que a drenagem das partículas finas flutuadas seja inferior à drenagem das partículas mais grosseiras. Já no que se refere ao material arrastado, as partículas mais finas quando em presença de espuma bastante estável, poderão ser mais facilmente drenadas, pois elas fluem mais facilmente entre as bolhas, ao contrário das grosseiras que ficam aí aprisionadas. Todavia, uma vez que a flutuação verdadeira, constitui a principal modalidade contribuinte para a recuperação, a fina granulometria não parece afetar negativamente os fenómenos de drenagem ocorridos na espuma, de modo a explicar as suas baixas recuperações.

Resumidamente, pode afirmar-se que as menores recuperações das partículas ultrafinas, deverão estar relacionadas com os fenómenos de colisão e com os aspetos químicos que afetam a seletividade e a intensidade das reacções exigidas para preparar a superfície das partículas a flutuar (Pita, 2000).

3. Mina de Vila Seca

3.1 Localização da mina de Vila Seca

A mina apresenta uma área de concessão de 102.5Ha, enquadra-se na carta dos SCE N° 190 Mesquitela localizando-se nas Freguesias de Travanca de Tavares, Chãs de Tavares e Mareco, Concelho de Mangualde, Distrito de Viseu. A área é limitada por uma poligonal definida por 7 vértices cujas coordenadas Hayford-Gauss, referidas ao ponto central e apresentadas na tabela 5 e na figura 8:

Tabela 5 – Limites da área ocupada pela Mina Vila Seca

VÉRTICE	MERIDIANA	PERPENDICULAR
1	42 817.2	108 507.4
2	43 757.8	108 149.3
3	44 682.2	107 568.3
4	44 102.3	107 194.6
5	43 672.3	107 465.2
6	43 695.0	107 651.0
7	42 644.4	108 038.2

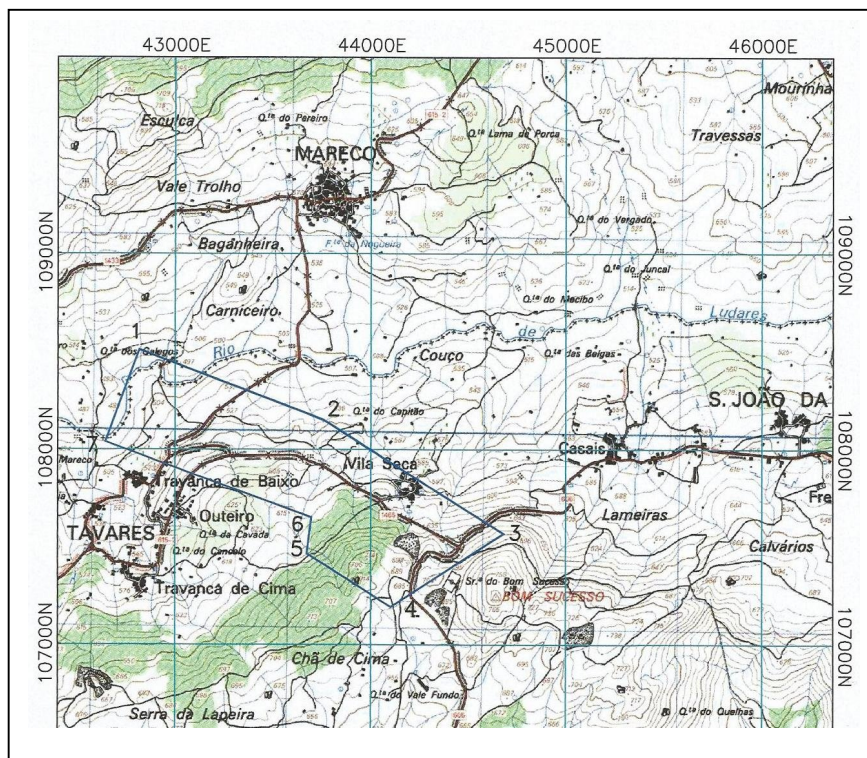


Figura 8 – Localização da mina de Vila Seca

3. Mina de Vila Seca

3.2 Área de exploração da concessão C – 83 "Vila Seca"

A concessão "Vila Seca" apresenta uma área de exploração com 4.99Ha, localizada na Freguesia de Chãs de Tavares, Concelho de Mangualde e Distrito de Viseu. A área é limitada por uma poligonal definida por 18 vértices cujas coordenadas HG referidas ao ponto central são apresentadas na Tabela 6:

Tabela 6 – Limites da área de exploração "Vila Seca"

VÉRTICE	MERIDIANA	PERPENDICULAR
1	44 132.0	107 595.1
2	44 174.0	107 570.2
3	44 176.0	107 553.4
4	44 183.6	107 538.8
5	44 228.6	107 499.9
6	44 223.4	107 494.7
7	44 177.9	107 463.7
8	44 177.4	107 444.2
9	44 183.0	107 441.7
10	44 181.8	107 421.4
11	44 173.1	107 354.9
12	44 156.3	107 331.8
13	44 142.1	107 242.7
14	44 123.0	107 233.5
15	44 121.7	107 208.5
16	44 102.1	107 196.3
17	44 079.7	107 210.0
18	44 076.1	107 241.8
19	44 008.1	107 254.8
20	43 985.2	107 269.2
21	44 027.3	107 455.3
22	44 037.3	107 453.8
23	44 044.0	107 472.1
24	44 053.5	107 476.7
25	44 081.0	107 514.0
26	44 084.8	107 531.8
27	44 097.2	107 555.6

3.3 Enquadramento geológico

Esta região está inserida na folha 17-B Fornos de Algodres da Carta Geológica de Portugal 1 : 50 000. A região é essencialmente constituída por terrenos xistentos e graníticos, estando estes cortados por inúmeros filões de quartzo, aplitopegmatitos e dolerito, cobertos em algumas zonas por depósitos modernos, nomeadamente, aluviões atuais e depósitos do fundo de vale. Os terrenos xistentos são constituídos pelas Formações de Matela – Matança e de Sátão – Penalva. A primeira, de idade Ordovícica (Lanvirniano - Landeiliano), é constituída por quartzitos finos com *Scholithus*, xistos argilosos e grauvaques metamorfizados com andaluzite.

A Formação de Sátão – Penalva, de idade Câmbrica, pertence ao Complexo Xisto-Grauváquico (Grupo do Douro) sendo constituída por xistos biotíticos – moscovíticos e metagrauvaques com intercalações de rochas calco-silicatadas (Sátão - Penalva) ou intercalações de quartzitos finos (Real). O granito apresenta fácies texturalmente variadas, em termos composicionais e em geral é um granito de duas micas, predominantemente biotítico (Relatório geológico da Felmica, 2012).

Na área da concessão aflora a NW o granito de duas micas, na parte central o granito biotítico e a SE da área o leucogranito moscovítico. Afloram também um pouco por toda a área da concessão, massas e filões aplitopegmatíticos. Em falhas e fraturas alpinas ou variscasrevivadas, com orientação predominante, NE-SW a NNE-SSW, instalaram-se os filões de quartzo, aplitopegmatitos e doleritos (Relatório geológico da Felmica, 2012).

3.4 Depósito de feldspato e quartzo “Vila Seca”

Afloram na área da concessão o granito médio binário com raros fenocristais de feldspato disseminados na zona Oeste, o granito porfiróide de granulometria média na zona central e um leucogranito médio a fino essencialmente moscovítico no extremo Leste. É neste leucogranito moscovítico que frequentemente enquadra aplitopegmatitos, que se desenvolve a exploração. Para além do quartzo e feldspato não foram identificadas outras substâncias úteis susceptíveis de aproveitamento económico.

3.4.1 Mineralogia

A associação mineralógica mais comum deste corpo é: Fk + Qtz + Alb + Mica. O corpo geológico é constituído por um aplogranito (leucogranito moscovítico) com fase aplítica em cerca de 85% e pegmatítica 15%. Segundo o Relatório Geológico da Felmica (2002), a mineralogia é composta por:

- ✓ Minerais fundamentais:
 - Albite (8%);
 - Ortoclase (7%);
 - Microclina (44%).
 - Quartzo (30%);
- ✓ Minerais acessórios:
 - Moscovite (4%);
 - Plagioclase (2%);
- ✓ Minerais de alteração:
 - Caulinite (4%);
 - Óxidos e hidróxidos de ferro e outros fosfatos (1%).

3.4.2 Estrutura

A mina de Vila Seca caracteriza-se pela ocorrência de um corpo batolítico de natureza granítica que, pela sua composição quartzo-feldspática, constitui uma matéria-prima com boas características para aplicação em pavimento cerâmico. A investigação por sondagens permitiu concluir que a massa se encontra enraizada até à profundidade de 50 metros.

3.4.3 Alteração

A alteração fundamental é supergénica que se manifesta não só pela hidrólise da albite transformando-a em caulino como também pela oxidação dos minerais ferromagnesianos. Este tipo de alteração ocorre principalmente ao longo das principais fraturas.

3.4.4 Quimismo

São comercializados dois tipos de produtos nesta mina. Estes apresentam as seguintes características químicas sem qualquer processo mineralúrgico (Tabela 7 e 8):

Tabela 7 – Características químicas da amostra 1(Relatório geológico da Felmica, 2012)

Amostra:	A1
% SiO ₂	76,47
% Al ₂ O ₃	14,94
% Fe ₂ O ₃	0,67
% CaO	0,30
% MgO	0,02
% Na ₂ O	3,09
% K ₂ O	4,11
%TiO ₂	0,05
% MnO	0,03
%P ₂ O ₅	0,11
% Retraccção	6,28
Cor (L a b)	69,08
Grau de Fusibilidade	M

A – Alta M – Média B – Baixa

- a) A percentagem de sílica é aceitável dada a natureza da rocha;
- b) A percentagem de minerais corantes, particularmente óxidos de ferro é relativamente elevada;
- c) A rocha é mais potássica do que sódica. No conjunto a quantidade de álcalis é muito boa chegando aos 7.2%;
- d) A rocha coze castanho claro e a sua fusibilidade não é muito elevada;
- e) A alumina é normal dada a natureza da rocha.

Tabela 8 – Características químicas da amostra 2 (Relatório geológico da Felmica, 2012)

Amostra:	A2
% SiO ₂	73,32
% Al ₂ O ₃	15,85
% Fe ₂ O ₃	0,75
% CaO	0,23
% MgO	0,14
% Na ₂ O	3,45
% K ₂ O	4,46
%TiO ₂	0,05
% MnO	0,01
%P ₂ O ₅	1,16
% Retracção	7,23
Cor (L a b)	66,99
Grau de Fusibilidade	M

- a) A percentagem de sílica é mais baixa em relação à amostra anterior;
- b) A percentagem de minerais corantes, particularmente óxidos de ferro é relativamente elevada;
- c) A rocha é mais potássica do que sódica. No conjunto a quantidade de álcalis é boa chegando aos 7,91%;
- d) A rocha coze castanho claro e a sua fusibilidade não é muito elevada;
- e) A percentagem de alumina é mais elevada o que denota o elevado grau de alteração.

Os dois produtos comercializados da concessão “Vila Seca” diferem basicamente do grau de alteração.

3.5 Aplicações industriais

O produto extraído na concessão C – 83 “Vila Seca” é constituído por uma mistura de elementos que contém feldspato essencialmente potássico e caulino, permitindo a sua aplicação como produto de boa qualidade nas pastas cerâmicas de pavimentos.

O seu teor em potássio confere fusibilidade e retracção ideais para altas temperaturas e uma porosidade muito próxima de zero por cento. A presença, por vezes significativa de óxidos de

ferro, que induzem coloração acastanhada no feldspato é compensada com a presença do caulino que tem uma característica branqueadora na cozedura da pasta cerâmica.

4. Estudo experimental

4.1 Metodologia do trabalho

4.1.1 Trabalho de Campo

O trabalho de campo consistiu na busca do material leucogranítico na Mina de Vila Seca pertencente a Felmica Minerais Industrias, S.A. O material foi colhido na Mina depois da fragmentação, e apresentava uma granulometria entre os 0 a 2,0 mm (Figura 9).



Figura 9 – Material já fragmentado na mina de Vila Seca.

4.1.2 Trabalho de Laboratório

4.1.2.1 Preparação da amostra

A amostra foi preparada no laboratório de geotecnia e tratamento de minérios do Departamento de Ciências da Terra - Universidade de Coimbra, a selecção da abertura dos crivos a serem usados na crivagem foi feita admitindo que a um calibre de 2 mm os minerais se encontram individualizados (Felmica). Foi feita uma crivagem do material em um crivo vibratório com duração de 4 minutos, utilizando a série de Tyler, desde a abertura 2,0 mm até 0,250 mm (figura 10), e finalmente foi feito um corte de tal forma que todo o material estivesse abaixo de 0,250 mm.



Figura 10 – Crivo vibratório utilizando a serie de Tyler com abertura 2,0 mm à 0,250 mm.

4.1.2.2 Ensaios de flutuação

O material com calibre inferior a 0,250 mm e o de calibre 0,355-0,250 mm foi submetido a ensaios laboratoriais de flutuação em uma célula Denver com capacidade de 3 litros (Figura 11), mantendo constante as outras variáveis. O grau de agitação foi de 2000 RPM, por se ter concluído que para agitações menores havia a sedimentação de algum material. A concentração de sólidos utilizada para a maioria dos ensaios laboratoriais de flutuação foi de 14,3%.

Os ensaios tinham como objetivo flutuar as micas e o quartzo, e afundar os feldspatos. Para a flutuação das micas foi utilizado como coletor uma amina, e para a flutuação do quartzo foram utilizados como coletores o ácido oleico e o oleato de sódio. As condições de trabalho fixadas nos ensaios são apresentadas no anexo I. Para os ensaios de flutuação foram utilizados os seguintes reagentes:

Acido sulfúrico, hidróxido de sódio, querosene, gasóleo, ácido oleico, oleato de sódio, 1-Amino-2-naphthol-4-sulfonico ácido, óleo de pinho e metil isobutil carbinol.



Figura 11 – Célula Denver em funcionamento.

Os ensaios de flutuação foram realizados com o objetivo de flutuar as micas e o quartzo de feldspatos da mina de Vila Seca, estes foram divididos em duas fases, uma primeira direcionada para a flutuação das micas, e uma segunda direcionada para a flutuação do quartzo. Na maioria dos ensaios de flutuação foi utilizada a sequência inversa, iniciando-se pela flutuação do quartzo em um meio alcalino, e depois seguida pela flutuação das micas em um meio ácido.

A grande dificuldade foi observada durante a flutuação do quartzo, devido à difícil formação de espuma, este fato é também associado à grande morosidade, e aos tempos demasiados longos para a obtenção da espuma. A quantidade de espumante utilizado é consideravelmente grande, chegando a utilizar-se 0,39g/kg de espumante, Pelo contrário na flutuação das micas a formação de espuma foi mais rápida tendo sido necessário muito menor quantidade de espumante, entre 0,03 e 0,06g/kg de espumante.

4.1.2.3 Métodos utilizados para determinação dos teores

Devido à grande dificuldade em determinar os teores de cada mineral nos flutuados obtidos, por métodos químicos, como é o caso da espectrometria de absorção atômica, foram utilizados dois métodos, a difração de raios X e a lupa binocular. A não utilização da espectrometria de absorção atômica para a determinação dos teores dos flutuados obtidos, prende-se com o fato deste método apenas indicar os óxidos e as suas respectivas quantidades presentes. Sendo impossível determinar o conteúdo em feldspato, micas e quartzo, uma vez que o mesmo óxido pode aparecer

nas micas, nos feldspatos, nas argilas e no quartzo. Assim, que neste estudo foram utilizados como alternativa o método de difracção de raios X, que permitiu fazer uma determinação semiquantitativa dos teores dos minerais no flutuado, e um método expedito com recurso à utilização de lupa binocular mas que permitiu determinar apenas o teor em micas.

4.1.2.3.1 Difracção de raio-X

Foi feita uma avaliação semi-quantitativa da composição mineralógica das amostras totais através de difracção de raios X (DRX). As amostras totais foram reduzidas a pó e passadas num Difractómetro de RX Philips PW 3710 (Figura 12) entre os 2 e os 60°, com avanço de 1,2°/minuto. Com base nas áreas de reflexões caraterísticas, foram avaliadas as percentagens de quartzo, feldspatos, mica e argila presente nos produtos da flutuação das micas e do quartzo. As áreas das reflexões basais foram multiplicadas pelos seguintes fatores de conversão: quartzo (4.26 Å) por 0,5, feldspato (3.18 a 3,25 Å) por 0,5, moscovite - mica (10 Å) por 1.



Figura 8 – Difractómetro de raio X Philips PW 3710.

A difracção de raios X é uma técnica que fornece informação detalhada acerca da estrutura atómica de substâncias cristalinas, permitindo assim a caraterização e quantificação dos minerais presentes num determinado material rochoso. A difracção de raio X tem apenas o obstáculo de

4. Estudo experimental

não se poder aplicar a minerais não cristalinos ou com cristalinidade incipiente. A difração de raios X resulta da combinação de dois fenômenos distintos:

- O espalhamento do feixe incidente de raio X por cada átomo de cristal;
- A interferência (construtiva) entre as ondas espalhadas pelos diferentes átomos.

Esta interferência é possível por que as ondas espalhadas são coerentes com as ondas incidentes e, portanto, entre si (Cullity, 1959). Isto permite a medida precisa dos espaçamentos entre planos cristalinos através dos ângulos entre os feixes incidentes e difratados pelos planos, satisfazendo assim a lei de Bragg.

A lei de Bragg como é mostrado na equação 1, relaciona o ângulo de difração, 2θ , medido entre o feixe difratado e o feixe transmitido, com comprimento de onda dos raios X, λ , e a distância interplanar, d_{hkl} do conjunto de planos $\{hkl\}$ que participam da difração (Azároff, 1958). O n define a ordem de reflexão (1ª ordem, 2ª ordem, 3ª ordem, ...). O máximo da difração da primeira ordem é o mais intenso.

$$n\lambda = 2d_{hkl}\text{sen}\theta, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

Na Figura 13 é apresentado o esquema de interferências por planos cristalográficos respeitando a reflexão de Bragg.

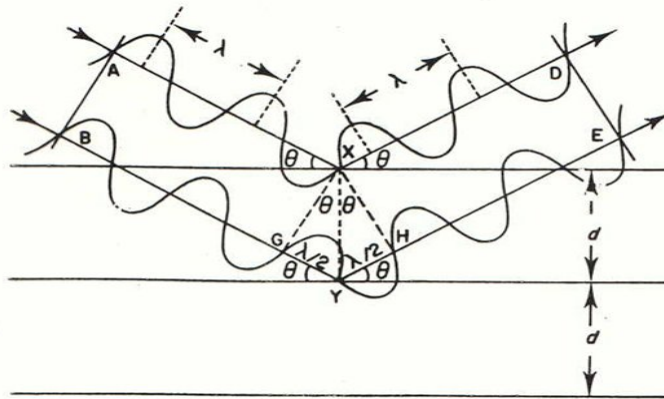


Figura 9 – Esquema do fenômeno de difração atendendo a condição de Bragg (em que A e B representam os feixes incidentes; D e E os feixes difratados e d as distâncias interplanares).

4.1.2.3.1.1 Identificação de fases minerais por difração de raios X

Cada mineral tem a sua própria estrutura e o diagrama da difração do raio X respetivo mostra o modelo de difração de radiação X nos planos estruturais. Cada espécie mineral cristalina tem um modelo de difração específico a partir do qual ela pode ser identificada mesmo quando faça parte de misturas mais ou menos complexas com outras espécies minerais.

Um banco de dados contendo informações cristalográficas básicas e algumas propriedades físicas de compostos cristalinos é mantido e continuamente atualizado pelo ICDD (International Center for Diffraction Data, com sede nos Estados Unidos). Atualmente são disponíveis informações referentes a mais de 70.000 compostos cristalinos, sendo que as mais importantes, para fins de identificação de um composto cristalino são as distâncias interplanares e as intensidades difratadas normalizadas (relativas a 100%) para os vários planos (hkl) que difratam construtivamente os raios X.

Na figura 14 está representado um exemplo de uma ficha de dados do ICDD referente a uma plagioclase sódica (albite).

09-0466		Wavelength= 1.5405									
NaAlSi3O8		d(A)	Int	h	k	l	d(A)	Int	h	k	l
Sodium Aluminum Silicate		6.39	20	0	0	1	2.000	2	2	0	2
		5.94	2	1	1	1	1.980	4	0	6	1
		5.59	2	1	1	1	1.927	2	2	2	2
Albite, ordered		4.03	16	2	0	1	1.889	0	2	2	2
		3.857	8	1	1	1	1.851	2	4	0	3
Rad.: CuKα1 λ: 1.5405 Filter: Ni Beta d-sp:		3.780	25	1	1	1	1.844	3	2	6	1
Cut off: Int.: Diffract. I/cor.: 2.1		3.684	20	1	3	0	1.829	4	2	6	0
Ref: Smith, Mineral. Mag., 31, 47 (1956)		3.663	16	1	3	1	1.824	18	0	4	3
		3.509	10	1	1	2	1.804	6	1	1	3
		3.484	2	2	2	1	1.785	8	2	0	4
		3.375	8	1	1	2					
Sys.: Triclinic. S.G.: C1		3.196	100	0	0	2					
a: 8.144 b: 12.787 c: 7.160 A: 0.6369 C: 0.5599		3.151	10	2	2	0					
α: 94.26 β: 116.6 γ: 87.67 Z: 4 mp: 1118		2.964	10	1	3	1					
Ref: Ibid.		2.933	16	0	2	2					
		2.866	8	1	3	1					
		2.843	2	1	3	2					
		2.787	2	0	2	2					
Dx: 2.620 Dm: 2.605 SS/FOM: F ₃₀ = 36(0.0138, 60)		2.039	6	1	3	2					
		2.563	8	2	4	1					
ω: 1.525 ηωβ: 1.529 εγ: 1.536 Sign: + 2V: 7C		2.538	2	3	1	2					
Ref: Winchell, H., Elements of Optical Mineralogy, 2, 312 (1951)		2.511	2	1	1	2					
		2.496	6	2	2	1					
		2.460	6	2	2	1					
		2.443	4	2	4	1					
Color: Colorless, gray, white, bluish		2.431	2	1	5	1					
Specimen from Amelia, VA, USA. Composition (wt.%): albite		2.405	2	2	4	0					
98.2, orthoclase 1.8. Low temperature structure. For variations		2.388	4	3	1	0					
in 2θ with composition to 50% anorthite see Smith, Mineral		2.320	4	3	3	1					
Mag., 31 47 (1956), also Smith, Yoder, Am. Mineral., 41 632		2.278	2	1	1	3					
(1956). Feldspar group, plagioclase subgroup. C.D.		2.189	4	0	4	2					
Cell: a=7.439, b=7.718, c=7.160, α=107.32, β=100.44,		2.125	8	0	6	0					
γ=115.03, a/b=0.9638, c/b=0.9276, S.G.=P 1(2). PSC: aP26.		2.119	6	1	3	3					
To replace 1-739 and validated by calculated pattern 20-554.		2.076	2	2	4	1					
Mwt: 262.22. Volume[CD]: 332.42.		2.035	2	2	4	1					

Figura 10 – Ficha com dados da estrutura cristalina e picos difratados de albite (dados da ICDD, 1999).

4.1.2.3.1.2 Dificuldades na identificação e quantificação de fases cristalinas por Difração de raios X

A dificuldade de identificação aumenta com o número de fases cristalinas presentes em uma amostra. E como referido anteriormente a intensidade da difração é dependente da densidade de elétrons em um dado plano cristalino. Conforme expresso na equação 2:

$$I_{(hkl)J} = K_e P_{(hkl)} (1/VJ^2) F_{(hkl)J}^2 LP_{(hkl)} fJ / \mu \quad (2) \quad \text{onde}$$

$I_{(hkl)J}$ intensidade integrada; K_e constante para um equipamento particular; $P_{(hkl)}$ fator de multiplicidade; VJ volume da cela unitária; $F_{(hkl)J}$ fator estrutura; $LP_{(hkl)}$ fator Lorentz-polarização; fJ fração volumétrica da fase J na amostra; μ coeficiente de absorção linear da amostra. O fator estrutura (F) considera a eficiência do espalhamento pelos elétrons de um átomo e os efeitos da temperatura sobre a posição dos átomos na estrutura cristalina. O fator de multiplicidade, P , refere-se à proporção relativa de planos que contribuem para um pico difratado. O fator Lorentz-Polarização, LP , refere-se a um fator geométrico que diminui as intensidades integradas dos picos difratados em ângulos intermediários (na faixa de 2θ entre 40° e 60°), quando comparados com os valores de ângulos menores e maiores, uma vez que a quantidade de polarização depende do ângulo através do qual a radiação é espalhada.

Já o fenômeno de absorção linear está relacionado à espessura da amostra, ao coeficiente de absorção de massa, aos elementos químicos presentes e ao comprimento de onda da radiação utilizada. A absorção, no entanto, limita a profundidade de penetração do feixe na amostra, variando de acordo com a natureza do material, o que afeta distintamente as intensidades difratadas de fases diferentes. Adicionalmente, outros fatores, como orientação preferencial, microabsorção e granulação da amostra, dentre outros, propiciam substanciais dificuldades para se obter resultados quantitativos dentro de intervalos de precisão e exatidão aceitáveis, fazendo com que as técnicas de análises quantitativas por difração de raios X não sejam amplamente utilizadas.

Um outro problema que faz com que dificilmente se obtenham análises quantitativas com intervalos de confiança aceitáveis é a divergência entre vários autores em relação ao valor do MIF (mineral intensity factor), que é também designado por fator de conversão. O conhecimento deste valor é de extrema importância uma vez que a contribuição de um determinado mineral em uma amostra

é determinada pela multiplicação da área de reflexão basal pelo fator de conversão, ou seja, pelo MIF.

4.1.2.3.2 Análise mineralógica com recurso à lupa binocular

O flutuado das micas foi submetido a uma crivagem a húmido utilizando-se um crivo de 25 μ m. O sobre crivo da crivagem húmida a 25 μ m foi seco, pesado e submetido a uma separação com auxílio de caixa petri, as micas por aderirem à caixa petri ficavam retidas na base, e o outro material (feldspato e quartzo) por não aderirem à caixa petri, não ficavam retidos na base da caixa, e, assim, era facilmente recolhido. Esta metodologia de separação das micas é bastante simples, uma vez que consiste em colocar uma determinada quantidade do material numa caixa petri e manualmente agitá-la ligeiramente de modo que haja uma separação entre o material que adere à base (micas) e a parte não aderente (quartzo e feldspato) que são facilmente removidos por meio de uma pequena inclinação da caixa petri.

As micas que ficavam retidas na base assim como o outro material (quartzo e feldspato) da mesma amostra, que não era retido, foram recolhidos e pesados. O passo seguinte consistiu em observar à lupa binocular (Figura 15) separadamente os dois produtos, e função do que se via na lupa binocular atribuiu-se uma percentagem (de 0 a 100) de micas, isto para a parte do material que ficou retido na caixa petri, e do mesmo modo foi também atribuído um valor percentual ao material (quartzo e feldspato) que não ficou retido na base da caixa petri. Obtidas as percentagens dos dois produtos, facilmente por cálculos matemáticos pouco complexos, foi obtida a contribuição das micas e do material não aderente à caixa petri.



Figura 15 – Lupa binocular.

Devido à dificuldade de separação do quartzo dos feldspatos, associada à diminuta quantidade do quartzo nos flutuados, foi difícil a quantificação do quartzo e do feldspato com o auxílio da lupa binocular, fato que contribuiu para que este método fosse apenas utilizado para a quantificação das micas. A quantificação do quartzo, ortóclase, albite e argila, presentes nos flutuados tanto do quartzo como das micas, foi feita utilizando apenas a difração do raio-X.

4.1.2.4 Análise granulométrica

4.1.2.4.1 Granulômetro Laser

Para obtenção das curvas granulométricas, foi utilizado o método de difração de Luz Laser a partir de um granulômetro laser L230 (Figura 16). Este método tem como princípio a interação de um feixe de luz com as partículas contidas no fluido. Este feixe de luz monocromático produzido por um laser de He-Ne atinge partículas contidas no fluido, sendo difractado pelas partículas, gerando-se um padrão de difração estável, independente do movimento das partículas. O princípio desta técnica de análise granulométrica é que o ângulo de difração é inversamente proporcional ao tamanho da partícula. Este aparelho é amplamente utilizado devido à sua grande flexibilidade de uso, à amplitude de análise (0,04 a 2000 μm), rapidez e reprodutibilidade.



Figura 16 – Granulómetro laser L230.

5. Apresentação dos resultados de beneficição por flutuação dos feldspatos de Vila Seca

São apresentados neste capítulo os resultados correspondentes aos ensaios de flutuação inversa do minério de feldspato. Ao todo foram realizados 64 ensaios de flutuação, tendo sido recolhidos como flutuado as micas e o quartzo, nos anexos estão representados todos os ensaios realizados e as respectivas condições de flutuação.

Os ensaios de flutuação tinham como objetivo flutuar as micas e o quartzo e afundar os feldspatos e estudar a influência de alguns reagentes. Os reagentes utilizados nos ensaios de flutuação e as condições de trabalho são apresentadas de forma detalhada na Tabela 9.

Tabela 9 – Reagentes utilizados e condições de trabalho

	Reagentes	Concentração
Regulador do pH	H ₂ SO ₄ NaOH HF CaCO ₃	pH = 3,0 e 8,0
Coletor	C ₁₀ H ₉ NO ₄ S Ácido Oleico Oleato de sódio	0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25; 1,5 e 0,75 g/kg 1; 2; 2,5 g/kg 1 g/kg
Ativador	Gasóleo Querosene	0; 0,25; 0,5; 0,75 ml/kg 0,5 ml/kg
Espumante	MIBC Óleo de pinho	0,03; 0,06; 0,1; 0,15; 0,30; 0,34 e 0,39ml/l
Agitação		2000 r.p.m
Concent. de sólidos		12,3%; 13,8; 14,3 e 16,7%

Realizámos dois conjuntos de testes laboratoriais de flutuação. No primeiro cada ensaio de flutuação foi feito em duas fases diferentes em termos de sequência, uma primeira que consistiu na flutuação das micas a um pH ácido, seguido da flutuação do quartzo, a um pH básico. No segundo conjunto de testes em cada ensaio visou-se a flutuação do quartzo a um pH alcalino seguido da flutuação das micas a um pH ácido. O condicionamento, assim como a ordem da

adição dos reagentes e os respectivos tempos de condicionamento são apresentados de forma resumida na Figura 17.

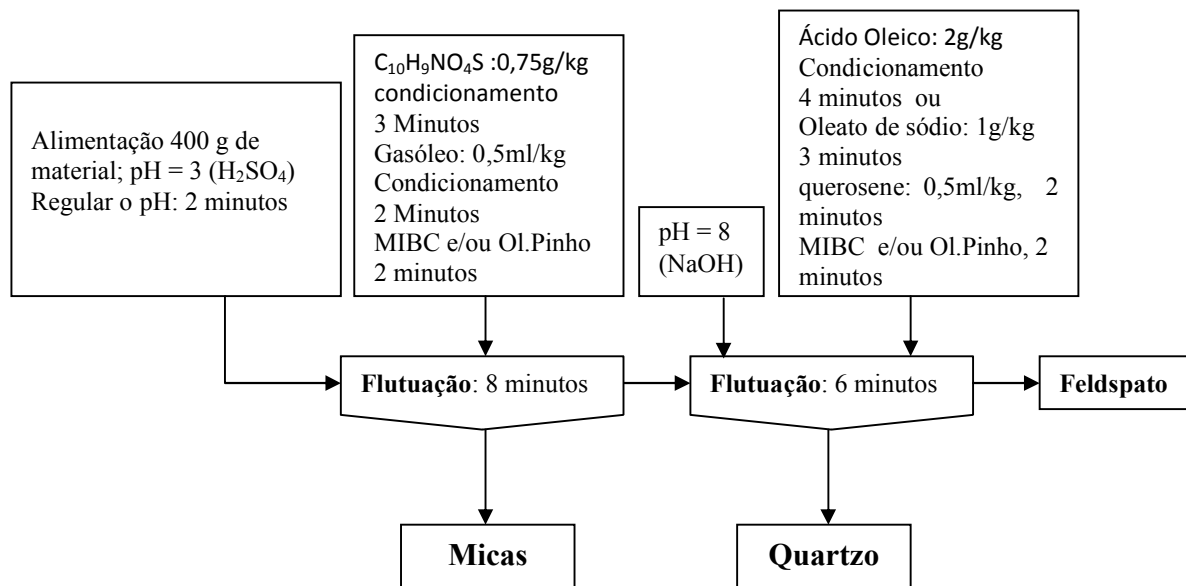


Figura 17 – Esquema ilustrativo dos reagentes e tempos de condicionamento usados nos ensaios de flutuação.

Um conjunto de ensaios de flutuação (Figura 17), foram feitos seguindo a orientação da esquerda para direita (iniciando com a flutuação das micas) e outro conjunto de ensaios seguiram a sequência da direita para esquerda (iniciando com a flutuação do quartzo), isto é, alguns ensaios iniciaram-se a um pH ácido para a flutuação das micas e outros ensaios tiveram o seu início a um pH básico para flutuação do quartzo, baixando-se o pH de seguida para 3 de modo a flutuar as micas.

O esquema ilustrado na Figura 17, representa de forma genérica a sequência dos ensaios de flutuação não estando representado o conjunto de ensaios onde se pretendeu flutuar o feldspato (flutuação direta). Dos poucos ensaios feitos para flutuar os feldspatos utilizando o ácido fluorídrico (HF) para deprimir o quartzo, chegou-se à conclusão que não seria praticável uma vez que mais de 70% do material é constituído por feldspato.

5.1 Determinação dos teores dos fluviados

A determinação dos teores dos fluviados foi feita por dois métodos distintos, conforme descrito no capítulo anterior. O primeiro baseado na observação dos minerais em uma lupa binocular, metodologia expedita para a determinação das percentagens das micas presentes nos respectivos fluviados. O segundo método baseou-se na determinação semi-quantitativa das percentagens dos minerais por difração do raio-X.

5.1.2 Quantificação com recurso à lupa binocular

Com o auxílio da lupa binocular foi possível quantificar em termos percentuais as micas presentes nos respectivos fluviados, pois a sua forma tabular e o seu aspeto achatado bem como a sua forma hexagonal, fazem com que quer à vista desarmada assim como com a lupa binocular elas sejam facilmente identificadas.

Depois de uma pequena separação manual e observados os fluviados das micas numa lupa binocular, estes foram divididos em duas partes (Figura 18):

- ✓ Micas – a que apresentava geralmente mica e apenas pequenas quantidades de feldspato e quartzo;
- ✓ Não micas – parte que apresentava feldspato, quartzo e alguma mica, sendo que na maioria das vezes era dominada por feldspatos de cor branca.

Pesadas as duas partes do mesmo fluviado e tendo a contribuição percentual das micas em cada uma delas, o passo seguinte foi calcular a contribuição das micas na amostra como um todo (anexo II) e da parte denominada não mica (feldspato e quartzo), estes últimos não separados devido à pequena quantidade de quartzo e da difícil separação com os feldspatos associada ao tamanho das partículas.

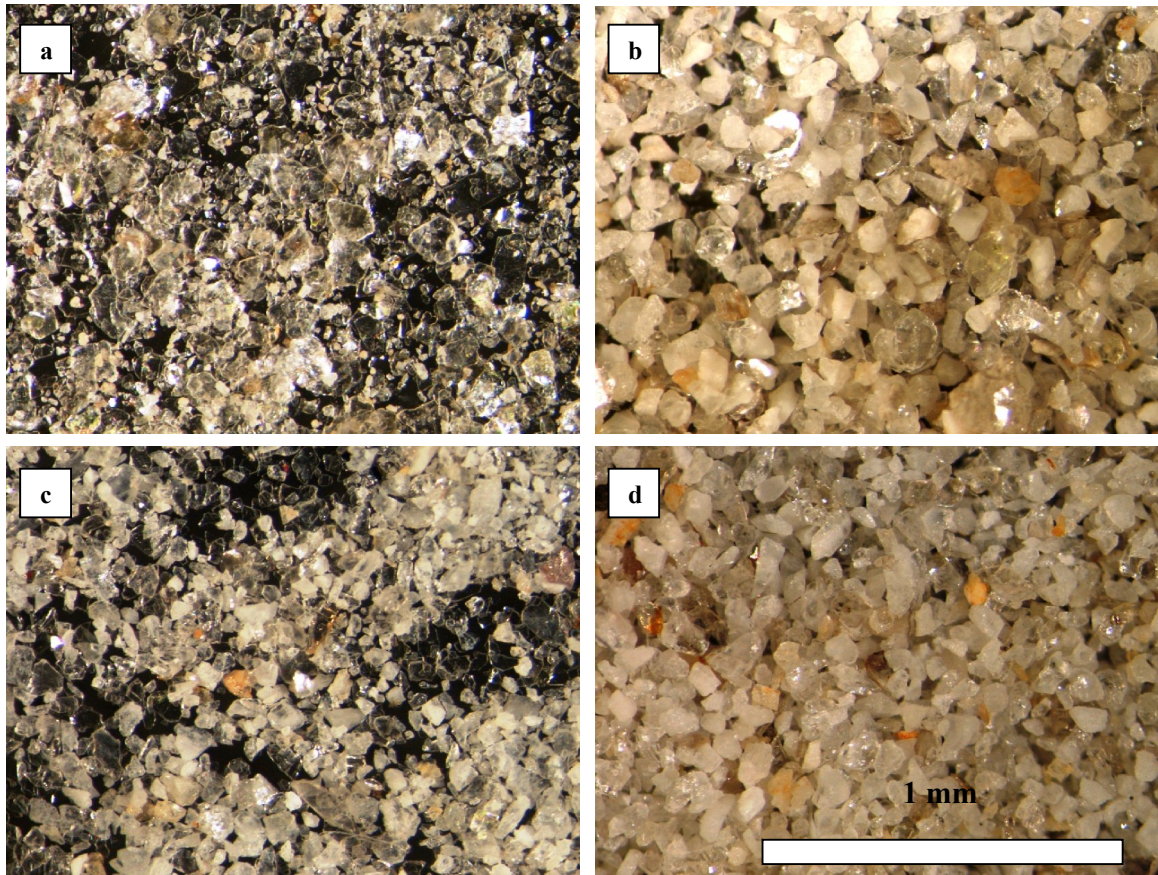


Figura 18 – Imagem ilustrando o flutuado de mica (a e b) e material tal qual (c e d) observados numa lupa binocular, a) parte representativa das micas e b) parte representativa de material denominado como sendo não mica, da mesma amostra; c) micas no tal qual e d) não mica no tal qual.

O uso da observação à binocular para quantificar a contribuição de cada espécie mineral, quando estas apresentam diferentes formas podem, entre outros, conduzir a algumas incorrecções motivadas por essa mesma metodologia. No caso de partículas de forma achatada versus partículas de forma esférica, a determinação da contribuição mássica de cada um deles a partir da sua contagem à binocular, sem introdução de fator corretivo da forma, conduz à sobrevalorização da contribuição da espécie de forma achatada e obviamente à subvalorização da contribuição da espécie de forma esférica. Duas partículas com igual tamanho mas diferente forma, uma partícula de forma achatada tem menor peso que uma partícula de forma esférica. Como no presente estudo as micas apresentam uma forma achatada e as partículas de quartzo e feldspato apresentam uma forma muito mais regular, similar a pequenas esferas, no cálculo da sua

5. Apresentação dos resultados de beneficiação por flutuação dos feldspatos de Vila Seca

contribuição mássica a partir da observação à binocular foi necessário utilizar um fator de correção de forma para as micas.

Para o cálculo da percentagem da mica em cada flutuado foi considerado um fator de correção, tendo em conta que o observado numa lupa binocular é a área superficial do mineral. Assim, a partir da pesagem e contagem de algumas partículas de micas e de quartzo e feldspato, com área projectada semelhante, verificou-se que as micas apresentam um peso cerca de 3.3 vezes menor.

5.1.3 Determinação semiquantitativa por difração de raios X

A partir dos difratogramas (Figura 26) foi estimada a percentagem dos minerais presentes. O valor das áreas das reflexões basais foram obtidos utilizando os dados apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Espaçamentos e factor de conversão dos minerais em estudo (factores de conversão segundo: Jhon et al, 1954; Biscaye, 1965; Islam & Lotse, 1986 e Drits et al, 2001)

Mineral	d (Å)	Fator de conversão
Quartzo	4,26	0,5
Ortoclase	3,24	0,5
Albite	3,18	0,5
Moscovite	9,99	1
caulinite	7,15	0,5

Os valores dos espaçamentos (d (Å)) de cada mineral apresentados na Tabela 10, permitem a fácil identificação do pico correspondente a um determinado mineral e com ele, o seu valor assim como a largura. A multiplicação dos valores dos picos pela largura é denominada de área basal, a qual multiplicada pelo fator de conversão do mineral em causa e presente na amostra fornece a contribuição do mineral na amostra. Conhecidas as contribuições de todos os minerais na amostra em análise, calculou-se a seguir a percentagem admitindo que na amostra só existem tais minerais. Para este estudo é considerado que na amostra apenas existem os minerais apresentados na tabela 10, sendo que o somatório das contribuições de quartzo, ortoclase, albite, muscovite e caulinite para 100%.

5.1.4 Influência da concentração de amina

Nos anexo II e III são apresentados todos os resultados obtidos com a utilização da lupa binocular e difração de raios X. Na Figura 19 representa-se a influência da concentração de amina ($C_{10}H_9NO_4S$) na flutuação das micas. Observa-se menor teor em mica para 0,25g/kg de amina, quando comparado com as restantes quantidades de amina. O teor aumenta substancialmente nas concentrações de 0,5, 0,75 e 1g/kg de amina, obtendo-se com estas os melhores resultados em termos de teor. Para as quantidades de 1,25, 1,5 e 1,75 o teor diminui ligeiramente (Figura 19a).

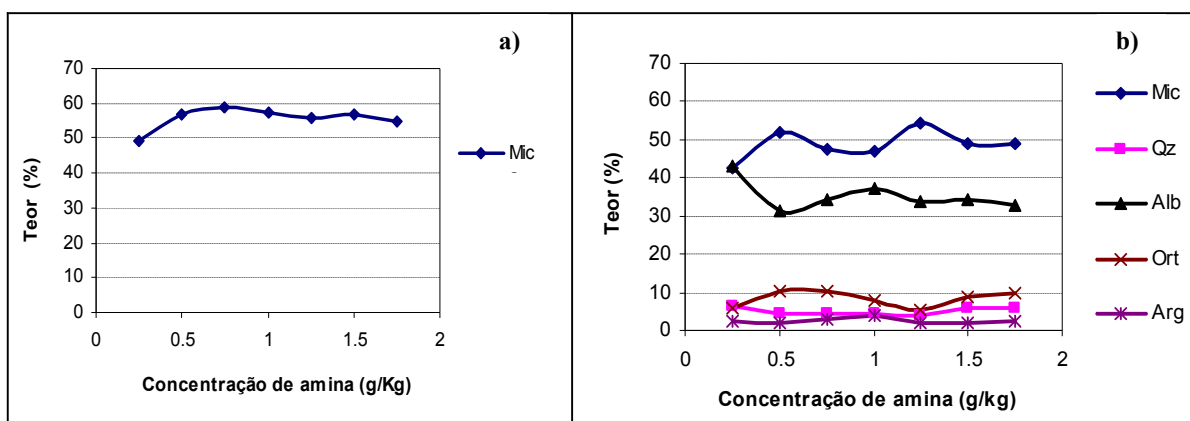


Figura 19 – Teor de mica versus concentração amina, a) método de lupa binocular, b) método de difração de raios X.

Na Figura 19b, pode verificar-se os teores da mica, quartzo, albite, ortóclase e argila. No caso da mica os teores altos são obtidos com 0,5 e 1,25g/kg de amina, iniciando com teor baixo (0,25g/kg de amina) sobe substancialmente e baixa ligeiramente nas quantidades 0,75, 1, 1,5 e 1,75g/kg de amina. Em relação a albite o máximo do teor é atingindo com a quantidade de 0,25g/kg de amina, o gráfico inicia com esse valor alto do teor e vai descendo continuamente associando-se algumas oscilações.

Ainda na Figura 19b, pode verificar-se que a ortóclase, quartzo e argila apresentam teores relativamente baixos quando comparados com os teor de mica e albite. Os teores da ortóclase são elevados nas quantidades 0,5 e 0,75g/kg de amina com teores mais baixos em 0,25 e 1,25g/kg de amina. Em relação ao quartzo e as argilas estes mantêm-se quase que constantes com a variação das quantidades da amina, apresentando apenas diminutas mudanças.

5. Apresentação dos resultados de beneficição por flutuação dos feldspatos de Vila Seca

Em relação ao teor das micas pode verificar-se na Figura 19, que os resultados são ligeiramente diferentes para os dois métodos utilizados na determinação dos teores. Os valores dos teores são ligeiramente maiores no método de lupa binocular quando comparados com o método de difração de raios X, de uma forma geral o método de lupa binocular sobrestima o teor das micas, e por outro lado o método de difração de raios X subestima o valor dos teores das micas.

A diferença dos teores apresentada nos dois métodos utilizados pode estar relacionada com a dificuldade de quantificação do método de difração dos raios X, assim como a influência dos factores de conversão que variam bastante para mesmo mineral. Por outro lado o método de lupa binocular é bastante afetado pela forma lamelar das micas o que faz com se utilize um fator de correção na quantificação dos teores.

Na Figura 20, estão representados os gráficos correspondentes às recuperações e rendimento em peso de mica, albite, ortoclase, quartzo e argila para diferentes quantidades de amina.

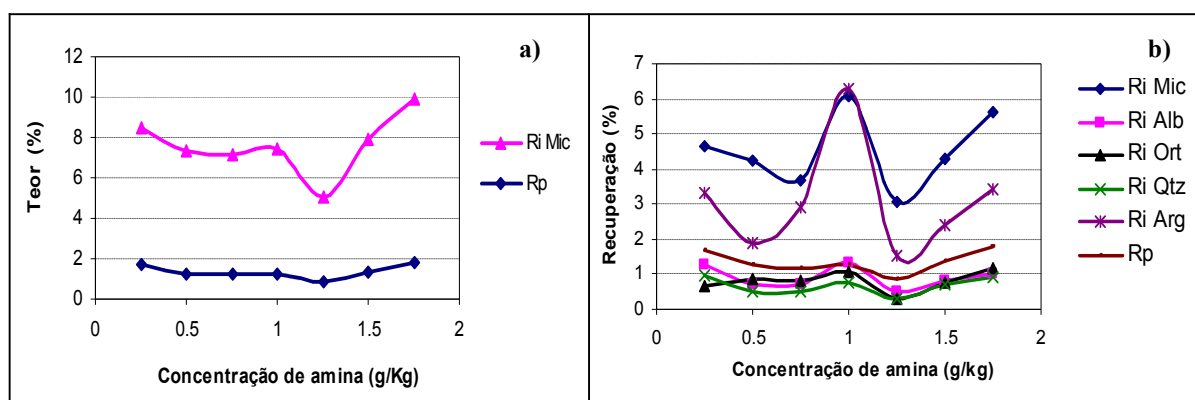


Figura 20 – Recuperação (Ri) e rendimento em peso (Rp) versus concentração de amina, a) método de lupa binocular, b) método de difração de raios X.

Pode verificar-se na Figura 20a, que a recuperação apresenta de forma geral, valores baixos. Observa-se menor recuperação em mica para 1,25g/kg de amina, quando comparado com as restantes quantidades de amina. Para 1,5 e 1.75g/kg de amina a recuperação apresenta uma tendência crescente, sendo que para 0,25, 0,5, 0,75 e 1g/kg de amina observa-se uma tendência quase que constante da recuperação não havendo grandes alterações no valor da recuperação.

Na Figura 20b, Pode verificar-se que as micas apresentam recuperações bastante elevadas quando comparadas com albite, ortoclase e quartzo. As recuperações atingem o seu máximo com a quantidade de 1g/kg de amina, esta quantidade faz com que todos os minerais presentes neste

ensaio atinjam o seu máximo de recuperação. De 0,75g/kg de amina até a 1g/kg de amina a recuperação tende a crescer consideravelmente, baixando substancialmente a recuperação quando são utilizadas 1,25g/kg de amina, onde chega a atingir o seu mínimo de recuperação para todos os minerais em análise.

A baixa recuperação de mica pode estar associada à variação da espuma durante os ensaios de flutuação, este facto é levado em consideração devido à melhoria da espuma com o aumento do tempo de flutuação. Um outro factor que pode contribuir para a baixa recuperação é a capacidade de recolha do material durante a flutuação, isto é, dependendo da forma como foi feita a recolha do material pode-se ter mais ou menos quantidade de material, mesmo que se controle de forma cerrada o tempo de flutuação. Assim como a recuperação também o rendimento em peso apresenta valores baixos variando entre os 0,88 a 1,7%, sendo que o menor rendimento em peso foi obtido para 1,25g/kg de amina (ensaio 41, anexo II), e o maior para 0,25 e 1,75g/kg de amina (ensaios 37 e 43, anexo II).

5.1.4.1 Influência do calibre das partículas

Para avaliar uma possível influência do calibre das partículas no processo de flutuação, comparamos as curvas granulométricas dos flutuados e seus respectivos teores (Figura 21).

As curvas granulométricas dos flutuados das micas mostram uma tendência de se afastarem mais para a direita em relação a curva granulométrica do tal qual (Figura 21). Estes flutuados apresentam uma distribuição granulométrica relativamente mais grosseira que a alimentação, este fato é um indicador que as partículas presentes no flutuados foram recolhidas por flutuação verdadeira, reforçando assim a afirmação segundo a qual os ensaios das micas funcionam melhor que os ensaios para flutuar o quartzo. Se a recolha de material no flutuado se devesse fundamentalmente ao arrastamento, o produto flutuado deveria apresentar uma granulometria mais fina pois as partículas mais finas são muito mais facilmente arrastadas.

5. Apresentação dos resultados de beneficiação por flutuação dos feldspatos de Vila Seca

Na Figura 21 estão apresentadas as curvas granulométricas dos flutuados das micas obtidos para diferentes concentrações de amina, variando de 0,25 à 1,75 g/kg de amina, do ensaio 37 à 43, os ensaios apresentam uma diferença entre eles de 0,25g/kg de amina.

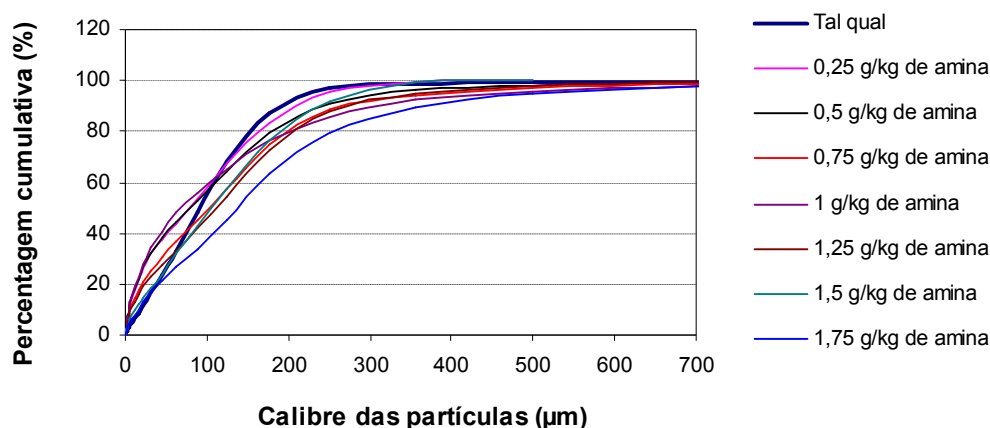


Figura 21 – Comparação entre as curvas granulométricas do flutuado (micas) e tal qual.

Na Figura 21, pode verificar-se que a partir de um calibre de aproximadamente 120 μ m a curva de todos os flutuados interceptam a curva do tal qual passando a estar mais à direita que esta. Alguns dos flutuados interceptam o tal qual nos 40 μ m e outros nos calibres correspondentes a 60 μ m.

O tal qual apresenta uma granulometria mais homogénea que qualquer um dos flutuados. Estes apresentam maior percentagem de material fino e também maior percentagem de material de calibre grosseiro. Isto pode resultar da maior facilidade de flutuação das micas nas fracções grosseiras e da maior facilidade de arrastamento de material ultra-fino.

Nos flutuados entre 35% a 55% do material tem calibre superior a 125 μ m, enquanto que apenas 32% do tal qual tem calibre superior a 125 μ m.

5.1.5 Influência da concentração de gasóleo

Para avaliar a influência de gasóleo na flutuabilidade da amina, foram feitos ensaios de flutuação com diferentes quantidades de gasóleo. Na Figura 22 estão representados os resultados do teor e da recuperação na presença e na ausência de gasóleo.

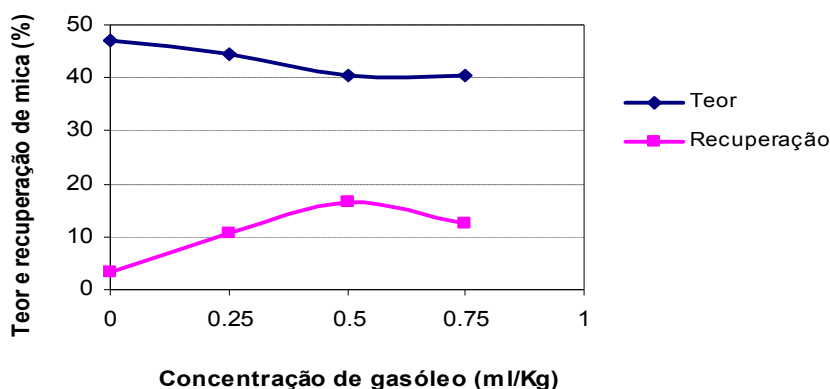


Figura 22 – Teor e recuperação versus concentração de gasóleo.

Na Figura 22 pode verificar-se que com o aumento de gasóleo o teor em mica do flutuado tende a diminuir significativamente, relativamente à recuperação ela aumentou até uma determinada concentração de gasóleo (0,5 ml/kg de gasóleo) e depois diminuiu consideravelmente.

Se por um lado a diminuição do teor com o aumento de gasóleo está relacionada a sua nocividade para com a espuma, à medida que se adiciona mais gasóleo torna-se mais difícil a formação de espuma, e sem espuma não se consegue recolher o material uma vez que fica quase que inexistente a zona da espuma, predominando apenas a chamada zona da polpa. Por outro lado este fato pode estar relacionado com o arrastamento. Observa-se na Figura 22 que na ausência de gasóleo a recuperação é mínima (4%) fato este que acontece devido à obtenção de baixos rendimentos em peso o que traduz a formação de pouca espuma.

5.1.6 Flutuação de quartzo

No anexo III, estão representados os dados quantitativos inerentes aos flutuados do quartzo, obtidos com o método de difração dos raios X. Comparativamente aos ensaios para flutuar as micas os ensaios para flutuar o quartzo são os mais morosos e difíceis de executar. A dificuldade

5. Apresentação dos resultados de beneficição por flutuação dos feldspatos de Vila Seca

neste processo está associada à difícil obtenção da espuma e aos tempos demasiados longos para que haja formação de espuma.

O outro problema ligado à flutuação do quartzo na presença do ácido oleico está relacionado à difícil estabilização do pH com recurso ao hidróxido de sódio, o pH para o qual é mais rápida a formação de espuma e com menos quantidade de espumante foi o pH=8. Mesmo que durante o condicionamento o pH fosse ajustado para um valor acima do 8, apenas havia formação de espuma quando o pH baixava para 8.

Na Figura 23 representa-se a influência da concentração de ácido oleico, pretense colector de quartzo, na qualidade do flutuado.

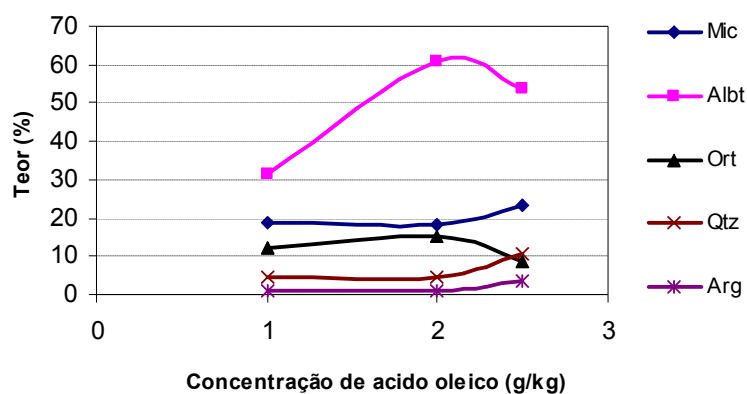


Figura 23 – Teor versus concentração ácido oleico.

Verifica-se claramente na Figura 23 que mesmo tratando-se de um flutuado de quartzo os teores em quartzo são bastante reduzidos ao ponto de serem inferiores ao teor do tal qual, daí que não se possa afirmar que o quartzo esteja a flutuar. No entanto pode observar-se teores elevados para albite, mica e ortoclase, estes três minerais apresentam teores consideravelmente acima quando comparados com os teores de quartzo. Os baixos teores de quartzo podem estar relacionados com o mau funcionamento do processo de flutuação do quartzo na presença do ácido oleico, associado a uma intensa flutuação falsa (arrastamento). O material presente na zona da espuma pode ter chegado por arrastamento fato este que é confirmado pelo calibre das partículas presentes no flutuado, pois este material apresenta uma granulometria mais fina que o tal qual.

Na Figura 23 pode verificar-se que de 1 a 2g/kg de ácido oleico a albite apresenta uma subida bastante significativa chegando a duplicar o valor do teor obtido com 1g/kg de ácido oleico, os

restantes minerais apresentam uma variação ligeira sendo que as micas, quartzo e argila com uma pequena tendência crescente no teores, enquanto que a ortóclase apresenta uma tendência decrescente logo depois de 2g/kg de ácido oleico.

Na Figura 24 está representado as recuperações do quartzo, albite, ortóclase e argila, para diferentes quantidades de ácido oleico.

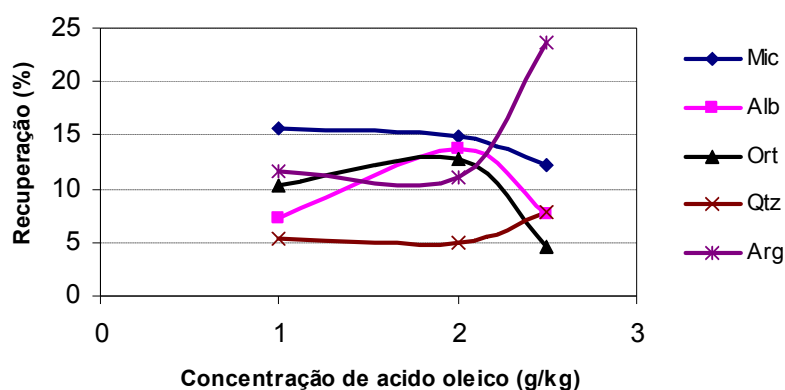


Figura 24 – Recuperação versus ácido oleico.

Pode verificar-se na Figura 24 que a partir de 2g/kg de ácido oleico há uma mudança da tendência dos gráficos de recuperação, os minerais como albite, micas e ortóclase a partir desse ponto descem significativamente em termos de recuperação atingindo o mínimo para 2.5g de ácido oleico. Para o caso do quartzo e argila estes apresentam uma tendência crescente dos valores de recuperação a partir de 2g/kg de ácido oleico chegando a atingir o seu máximo de recuperação para 2.5g/kg de ácido oleico.

5.1.6.1 Influência do calibre das partículas

O comportamento das curvas granulométricas dos flutuados de quartzo é totalmente diferente do comportamento demonstrado pelas curvas dos flutuados das micas, pois o flutuado apresenta uma granulometria mais fina que o tal qual (Figura 25). Isto resulta da recuperação no flutuado resultar fundamentalmente da contribuição do arrastamento. Sendo este um fenómeno não selectivo e intenso sobretudo para partículas finas, o flutuado apresenta uma granulometria muito mais fina e não enriquecido em qualquer um dos minerais.

5. Apresentação dos resultados de beneficiação por flutuação dos feldspatos de Vila Seca

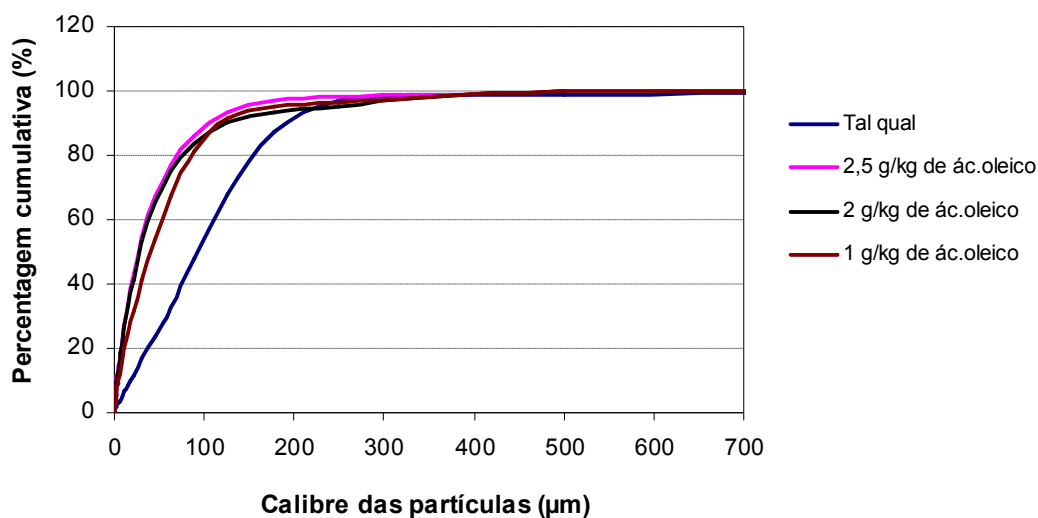


Figura 25 – Comparação entre as curvas granulométricas do flutuado (Qtz) e tal qual.

Na Figura 25 pode verificar-se claramente que mais de 90% do material presente no flutuado tem calibre inferior a 125µm, enquanto que no tal qual cerca de 68% tem calibre inferior a 125µm.

Este comportamento do flutuado do quartzo em termos granulométricos vem reforçar a conclusão anterior de que nos ensaios em que se pretendia flutuar o quartzo o material flutuado poderá ter sido recuperado quase exclusivamente por arrastamento (flutuação falsa).

Ainda na figura 25 pode verificar-se que o flutuados de quartzo obtidos com 2,5 e 2g/kg de ácido oleico encontra-se mais a esquerda que o flutuado de quartzo obtido com 1g/kg de ácido oleico, este facto vem a confirmar uma das conclusões de Pita, 2002, segundo a qual nas partículas finas o arrastamento é directamente proporcional a concentração do ácido oleico.

Isto resulta do facto do ácido oleico também influenciar a estabilidade da espuma. Maior concentração de ácido oleico significa obtenção de espuma mais estável, traduzindo-se em fenómenos de drenagem menos intensa, e conseqüentemente maior recuperação por arrastamento, fundamentalmente das fracções mais finas.

5.1.7 Ácido oleico versus oleato de sódio

Para além do ácido oleico também foi utilizado o oleato de sódio com o objetivo de flutuar o quartzo, em que ambos os casos o regulador do pH utilizado foi o hidróxido de sódio (NaOH). As diferenças do processo de flutuação utilizando o ácido oleico e o oleato de sódio são bastante reduzidas, observou-se que quando se utilizou o oleato de sódio, a estabilização do pH durante o condicionamento foi relativamente mais fácil, não havendo grandes oscilações.

Um outro fator que fez a diferença na utilização do oleato de sódio foi a mais rápida formação de espuma, pese embora ainda fosse moroso tal como a flutuação com uso do ácido oleico. Em relação aos teores do quartzo obtidos com ácido oleico assim como com o oleato de sódio não há grandes diferenças.

Na Tabela 11 pode verificar-se que as diferenças são bastante diminutas, sendo que os dois reagentes (ácido oleico e oleato de sódio) apresentam resultados similares quer em relação aos teores assim como às recuperações.

Tabela 11 – Teor e recuperação de dois flutuados de quartzo na presença de ácido oleico e oleato de sódio

	Teor Mic (%)	Teor Abt (%)	Teor Ort (%)	Teor Qtz (%)	Teor Arg (%)
Flt.Qtz- ácido oleico	18,13	61,12	15,38	4,34	1,03
Flt.Qtz- oleato de sódio	19,11	62,22	13,18	3,70	1,79
	Ri Mica (%)	Ri Alb (%)	Ri Ortcl (%)	Ri Qz (%)	Ri Arg (%)
F.Qtz- ác.oleico	14,87	13,73	12,74	4,95	11,03
F.Qtz- oleato de sodio	16,93	15,09	11,79	4,56	20,69

5.1.8 Influência do uso do oleato de sódio ou ácido oleico antes da flutuação das micas

Como referido anteriormente os ensaios foram feitos em duas sequências distintas, uma primeira que consistiu na flutuação primeiro das micas, seguida da flutuação do quartzo, e uma segunda que consistiu na flutuação, primeiro do quartzo e depois das micas. O fato das micas serem flutuadas na primeira fase ou segunda do ensaio contribui de algum modo para uma ligeira diferença dos teores nos flutuados obtidos. A flutuação das micas após a flutuação do quartzo em

5. Apresentação dos resultados de beneficição por flutuação dos feldspatos de Vila Seca

alguns casos tem a tendência de apresentarem teores ligeiramente elevados quando comparados com os flutuados das micas obtidos antes da flutuação do quartzo (Tabela 12) e Figura 26b e 26d.

Tabela 12 – Teor e recuperação de dois flutuados de quartzo na presença de ácido oleico

	Lupa binocular	Difração de raios X				
	Teor Mic (%)	Teor Mic (%)	Teor Abt (%)	Teor Ort (%)	Teor Qtz (%)	Teor Arg (%)
Flt.Mic- antes da Flt do Qtz	38,20	29,50	45,70	11,60	8,60	4,60
Flt.Mic- depois da Flt do Qtz	49,90	37,20	41,80	11,50	6,10	3,40
	Ri Mic (%)	Ri Mic (%)	Ri Alb (%)	Ri Ort (%)	Ri Qtz (%)	Ri Arg (%)
Flt.Mic- antes da Flt do Qtz	2,78	1,36	0,58	0,54	0,55	2,76
Flt.Mic- depois da Flt do Qtz	6,20	2,92	0,89	0,91	0,67	3,48

Um outro fator que também contribui para as diferenças de teores nos flutuados das micas obtidos a seguir a flutuação de quartzo é o fato de se utilizar o ácido oleico ou o oleato de sódio na flutuação de quartzo, assim como o fato de se realizar a flutuação da mica antes ou depois da flutuação do quartzo. A utilização do oleato de sódio na flutuação do quartzo mostra-se vantajosa para a flutuação das micas, contribuindo para uma ligeira melhoria do teor das micas (Tabela 13).

Tabela 13 – Teor e recuperação de dois flutuados de quartzo na presença de ácido oleico e oleato de sódio

	Lupa binocular	
	Teor Mic (%)	Recuperação (%)
Depois da Flt.Qtz com ácido oleico		
Flutuado de Mica - ácido oleico	52,60	5,10
Flutuado de Mica - oleato de sódio	56,80	5,90
	Teor (%)	Recuperação (%)
Depois da Flt.Qtz com oleto de sódio		
Flutuado de Mica - oleato de sódio	69,40	4,56
Flutuado de Mica - oleato de sódio	53,80	5,07

5.1.9 Influencia do calibre das partículas da alimentação no flutuado

O calibre das partículas na alimentação é um outro fator que também condiciona o teor nos flutuados das micas. Nos anexos II e III, concretamente a partir do ensaio 50 a 64 pode verificar-se os teores dos flutuados obtidos a partir de uma alimentação de 250-355 μ m, que são ligeiramente elevados quando comparados com os obtidos para uma alimentação inferior a 250 μ m.

Na Figura 26, pode verificar-se que para a alimentação de 250-355 μ m o flutuado das micas apresenta intensidades bastante altas (Figura 26c) que é indicativo de teores altos, e para a alimentação < 250 μ m as intensidades são reduzidas (Figura 26b) o que indica menor teor de mica no flutuado. Este fato pode estar relacionado com o tamanho relativamente maior das micas associada à sua forma lamelar, que de certo modo facilita a sua flutuação. Associado ao calibre chega-se à conclusão que há menos material fino numa alimentação relativamente graúda o que faz com que haja menos flutuação falsa (arrastamento) e como consequência maior parte do material que perfaz o flutuado acaba saindo por flutuação verdadeira.

5. Apresentação dos resultados de beneficiação por flutuação dos feldspatos de Vila Seca

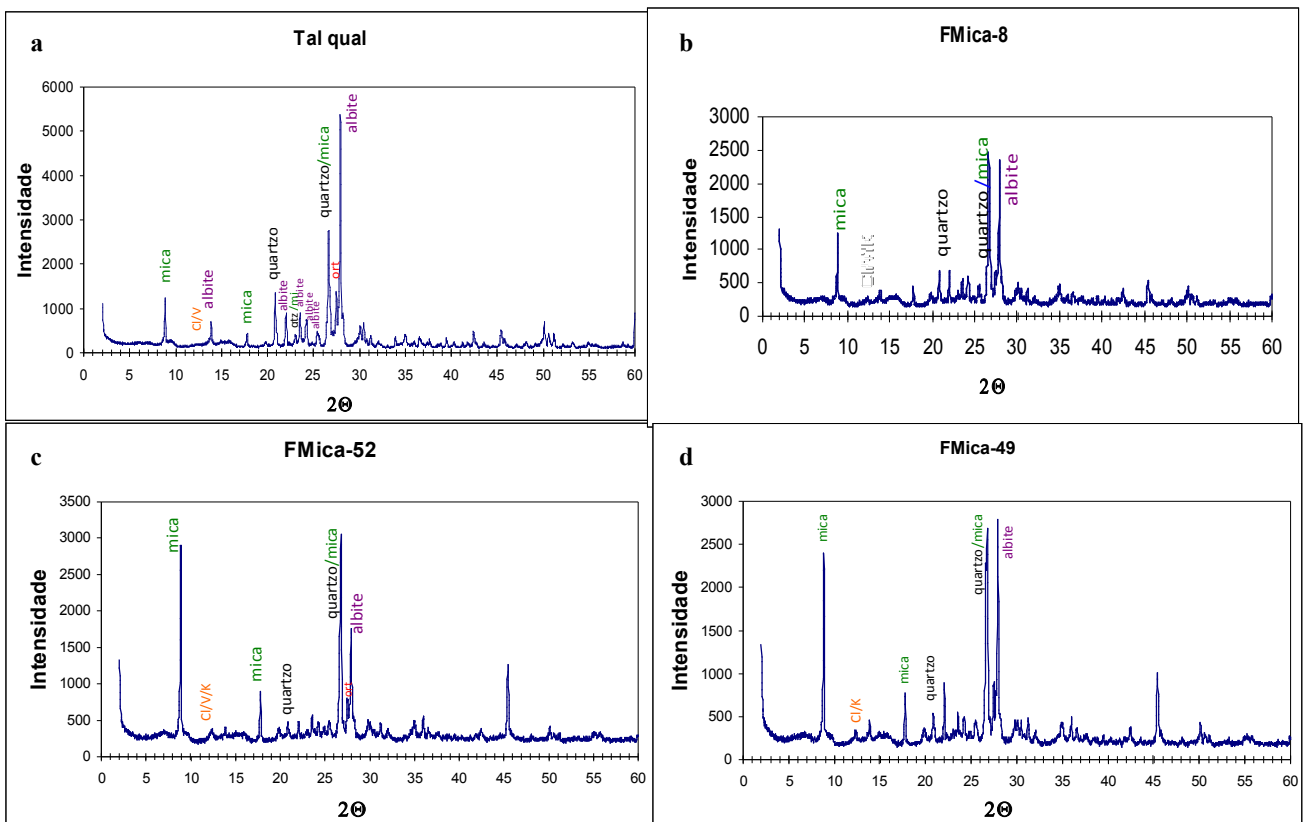


Figura 26 – Difractogramas, a) tal qual; b) calibre da alimentação (250µm), flutuado obtido pela flutuação da mica antes do quartzo; c) calibre da alimentação (250 – 355µm), flutuado obtido a seguir a flutuação do quartzo na presença de oleato de sódio; d) calibre da alimentação 250µm, flutuado obtido a seguir a flutuação do quartzo na presença de oleato de sódio.

5.1.9 Comparação entre as curvas granulométricas dos materiais que na alimentação apresentavam 250, 250-350 µm e o tal qual

Os flutuados obtidos a partir de um material de alimentação com calibre entre 250-355µm, apresentam um comportamento similar em termos de distribuição granulométrica quando comparado com os flutuados obtidos a partir de um material de alimentação com calibre menor que 250µm.

A distribuição granulométrica do fluviado de quartzo continua sendo relativamente mais fina, e encontra-se mais a esquerda e mais distanciada da curva granulométrica do tal qual (Figura 27). O fluviado da mica apresenta uma distribuição granulométrica com tendência mais grosseira, encontrando-se a direita da curva granulométrica do tal qual (<250 μ m) e a uma distancia relativamente maior que aquela apresentada pelos fluviados da mica obtidos com um material de alimentação com calibre menor que 250 μ m (Figura 27).

Na figura 27 são apresentadas as curvas granulométricas de fluviados de dois matérias com calibres diferentes na alimentação.

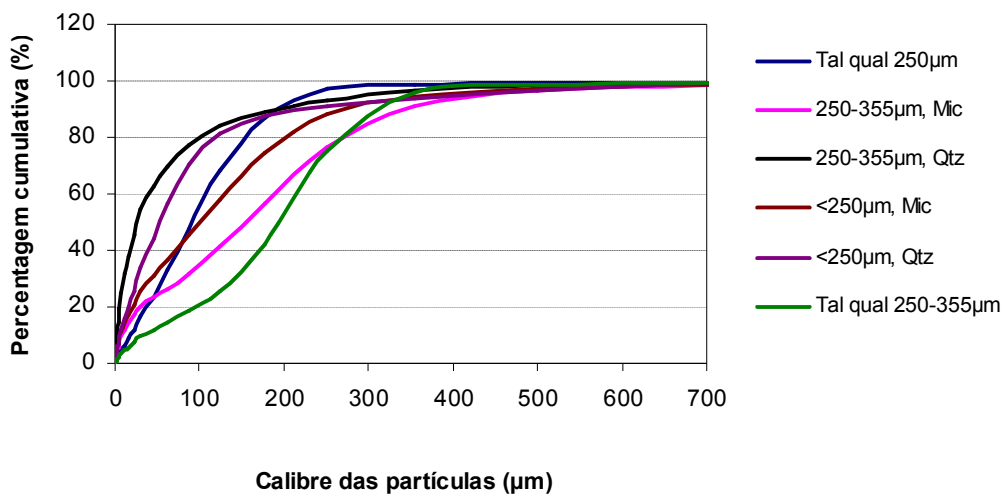


Figura 27 – Comparação entre as curvas granulométricas de dois fluviados de dois matérias com calibres de alimentação diferente (250-355 μ m e < 250 μ m).

Na Figura 27 pode verificar-se que o aumento do calibre da alimentação (250-355 μ m) não torna a distribuição granulométrica dos fluviados do quartzo mais grosseiras, isto é, estes fluviados assim como os obtidos com o material de alimentação inferior a 250 μ m continuam a apresentar uma distribuição mais fina o que pode ser associado ao fato deste material estar a ser recuperado fundamentalmente por arrastamento ao invés de uma flutuação verdadeira. Para o caso das micas um aumento no calibre de alimentação faz com que se tenha um fluviado com uma distribuição granulométrica mais grosseira, próxima da do tal qual, consequência da recuperação por flutuação verdadeira das micas, sobrepondo-se esta à recuperação por arrastamento.

5.1.10 Flutuados de mica versus quartzo

Como mostrado anteriormente estes dois flutuados mostram características diferentes, a diferença notória nas características, está relacionado com o bom funcionamento da flutuação do primeiro e o mau funcionamento da flutuação do segundo. Como referido nos parágrafos 5.1.4 e 5.1.6, assim como mostrado nas figuras 19 e 23, os flutuados de mica apresentam maior teor de mica em relação aos restantes minerais presentes no material em análise. Nos flutuados do quartzo este fato não se verifica uma vez que em todos os flutuados há sempre maior percentagem de albite, mineral este que contribui com aproximadamente 68% no material tal qual. Olhando para a percentagem de albite no tal qual, e relacionando-a com as que aparecem nos flutuados de quartzo (variam entre os 49.5% à 69%), pode verificar-se que estes ensaios com a finalidade de flutuar o quartzo não apresentam bons resultados, e o material é levado quase que todo por arrastamento.

Olhando para os aspetos mencionados no parágrafo acima e os já mencionados nos parágrafos anteriores, pode concluir-se que os ensaios com a finalidade para flutuar as micas na presença da amina primária referida neste trabalho funcionam muito melhor que os ensaios com a finalidade para flutuar o quartzo na presença do ácido oleico ou na presença de oleato de sódio.

6. Conclusões e recomendações do estudo experimental

6.1 Conclusões do estudo experimental

O estudo realizado permitiu observar que na presença de uma amina primaria as micas flutuam facilmente e apresentam resultados encorajadores.

O estudo permitiu observar que a um pH=8 e na presença do ácido oleico assim como na presença do oleato de sódio a flutuabilidade do quartzo é bastante reduzida, havendo mais arrastamento que flutuação verdadeira.

O estudo permitiu concluir que para a flutuação das micas os melhores resultados são obtidos para quantidades da amina iguais à 0,5, 0.75 e 1g/kg.

Verificou-se neste estudo que o teor em micas é inversamente proporcional à concentração do gasóleo, uma vez que o aumento da concentração do gasóleo é prejudicial a formão de bolhas.

O estudo realizado permitiu observar que para os ensaios realizados na sequência inversa (flutuação primeira do quartzo, seguida da flutuação das micas), a utilização do oleato do sódio na flutuação do quartzo, era ligeiramente vantajosa para a flutuação das micas, fazendo com que houve-se uma ligeira melhoria nos teores das micas.

O estudo experimental realizado permitiu observar que durante a flutuação das micas a espuma apresenta uma tendência a melhorar, tornando-se mais consistente e compacta, à medida que o tempo passa. Este facto contribui bastante para um teor relativamente maior nas segundas recolhas assim como para uma quantidade de material também maior.

Verificou-se neste estudo que a medida que se aumenta o calibre de alimentação os flutuados das micas apresentam teores ligeiramente maiores que os obtidos com uma alimentação menos grosseira.

O estudo experimental realizado permitiu observar que para uma alimentação mais grosseira, as curvas granulométrica dos flutuados das micas apresentam calibres mais grosseiros que os calibres do tal qual.

Verificou-se neste estudo que para os flutuados de quartzo obtidos a partir de uma alimentação grosseira (250-355) a distribuição granulométrica é mais fina que a distribuição granulométrica

6. Conclusões e recomendações do estudo experimental

do tal qual e dos fluviados de quartzo obtidos a partir de uma alimentação menos grosseira ($<250\mu\text{m}$).

6.2 Recomendações para estudos futuros

No que respeita as recomendações para os trabalhos futuros e tendo em conta que a flutuação do quartzo não correu como desejado recomenda-se o seguinte:

Estudar a fluviabilidade do quartzo na presença do ácido oleico ou oleato de sódios a pH ácidos, isto é, pH = 4, 5 e 5.5, de modo a perceber o seu comportamento em meio ácido.

Recomenda-se também que nos estudos futuros para flutuação do quartzo, caso sejam feitos a pH básico que se utilize o hidróxido de cálcio como o regulador do pH de tal forma que se tente estabilizar pH da polpa.

Para uma melhor compreensão da técnica de difração dos raios X é importante que nos próximos estudos sejam sempre referenciados os factores de conversão utilizados para os cálculos semiquantitativos.

7. Bibliografia

Azároff. L, 1968, “Elements o x- ray crystallography”, Mc-Graw-Hill Book Company, New York.

Biscaye, P, 1965, “Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans”, Geological Society of America Bulletin 76, 803 – 832.

Cullity, B, 2001, “Elements of X-ray diffraction”, 3^a. Ed. Prentice Hall. (IFGW).

Drits et al, 2001, “Quantitative X-Ray diffraction analysis of clay-bearing rocks from random preparations, Clay Minerals”, vol 49, no 6 514-521.

Harben. P. W., 2002, “ Feldspar : in The Industrial Minerals HandyBook – A Guide to Markets, Specifications & Prices”, 4th Edition.

Islam, A & Lotse, E, 1986, “Quantitative mineralogical analysis of some Bangladesh soils with X-ray, ion exchange and selective dissolution techniques”. Clay Minerals 21, 31 – 42.

Johns, W., Grim, R et al, 1954, “Quantitative estimations of clay minerals by diffraction methods”, Journal of Sedimentary Petrology 24, 242 – 251.

Kahle, M., Kleber, M et al, 2002, “Review of XRD – based quantitative analyses of clay minerals in soils: the suitability of mineral intensity factors”, Geoderma 109, 191-205.

Kogel. J., Trivedi, N. et al, 2006, “ Industrial Minerals & Rocks – Commodities, Markets and Uses” 7th Edition, Society for Mining, Metallurgy, and nExploration, Inc. United States of America.

Kauffman. R & Van Dyk. D., 1994, “Feldspar: in Industrial Minerals and Rocks” 6th Edition, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Littleton, Colorado.

Luz. A & Lins F, 2005, “Rochas & Minerais Industriais – Usos e Especificações” Centro de Tecnologia Mineral Ministério da Ciência e Tecnologia (CETEM-MCT), Rio de Janeiro.

Luz. A & Sampaio. J et al, 2004, “Tratamento de minérios”, 4^a Edição, Centro de Tecnologia Mineral Ministério da Ciência e Tecnologia (CETEM-MCT), Rio de Janeiro.

7. Bibliografia

Luz. A & Sampaio. J et al, 2010, “Tratamento de minérios”, 5ª Edição, Centro de Tecnologia Mineral Ministério da Ciência e Tecnologia (CETEM-MCT), Brasil, Rio de Janeiro.

Motter. B, 2000, “Feldspar for the sanitary ware industry”, Industrial Minerals, nº 390.

Pita. F, 2000, “Processamento por Flutuação do Caulino de Olho Marinho – Contribuição para o estudo do fenómeno de arrastamento em flutuação de polpas com partículas de cabre muito fino”, Coimbra: Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra, Tese de Doutoramento.

Pita. F, 2002, “Influencia do calibre das partículas na acção do ácido oleico e do petróleo, aplicação a um minério caulínico”, Boletim de Minas, Lisboa, 39 (1), Janeiro/Março.

Potter. M, J., 2006, “Feldspar and Nepheline Syenite”, Mineral yearbook, United States Geological Survey, Department of the Interior.

Sousa. C & Gomes. F, 1990, “Minerais Industriais – Matérias Primas Cerâmicas”, Instituto Nacional de Investigação Científica, Aveiro.

Sítios na internet consultados:

Dutra. R, 2000, “Beneficiamento de Minerais Industriais” 2º Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais. <http://pt.scribd.com/doc/70424227/13-Beneficiamento-de-Minera-Industriais-1>. Visitado pela última vez em Outubro de 2012.

LNEG, “Matérias Primas Minerais com Utilização na Industria Cerâmica - Ceram”, Geoportal. <http://geoportal.lneg.pt/geoportal/mapas/index.html>. Visitado pela última vez em Abril de 2013.

Kahn.H, “Difracção dos Raios X”, <http://www.ebah.com.br/content/ABAAfLHkAL/difraccao-raio-x-aplicacoes?part=4>. Visitado pela última vez em Abril de 2013.

USGS – Mineral Information. “Annual Publications of Feldspar Production”, United States of America. <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/feldspar/index.html#myb>. Visitado pela última vez em Fevereiro de 2013.

Tonnesen, D et al, “Aproveitamento integral do pegmatite de Currais Novos – RN”, XVI Jornada de Iniciação Científica – CETEM.

http://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CDUQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.cetem.gov.br%2Fpublicacao%2Fserie_anais_XVI_jic_2008%2FDiego

http://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CDwQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.cetem.gov.br%2Fpublicacao%2Fserie_anais_XVII_jic_2009%2FDiego_Araujo_Tonnesen.pdf&ei=ExWQUebyA87n7AaqIBY&usg=AFQjCNFoebGLqBILXZ0b1TDxvn8OtX_1Qw&sig2=ha72nJmV09PPRoia4kZoQQ&bvm=bv.46340616,d.ZGU

Visitado pela última vez em Março de 2013.

Tonnesen, D e tal, “ Beneficiamento de Feldspato a partir do Pegmatito de Currais Novos – RN” XVII Jornada de Iniciação Científica – CETEM.

http://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CDwQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.cetem.gov.br%2Fpublicacao%2Fserie_anais_XVII_jic_2009%2FDiego_Araujo_Tonnesen.pdf&ei=gRaQUcDkI4fG7Aam_oHIDQ&usg=AFQjCNHGvcPi0J7eQ1GY5G2S6b6navwjtg&sig2=PR_kQk2_v4EnXxyKM0xJpw&bvm=bv.46340616,d.ZGU

Visitado pela última vez em Março de 2013.

Universidade de Aveiro “Caracterização das propriedades das partículas”.

http://geo.web.ua.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=142:caracterizacao-das-propriedades-das-particulas&catid=25:classificacao&Itemid=28

Visitado pela última vez em

Outubro de 2012.

Anexos

Beneficiação por flutuação dos feldspatos da mina de Vila Seca - Mangualde

Anexo I. Condições dos Ensaios de flutuação.

Ensaio	Reg. pH	Atctivador		Colector (g/kg)	Espumante (ml/l)	Agitação (R.P.M)	Con.Sól. (%)	Calibre (µm)
		Gasóleo (ml/kg)	Petroleo (ml/kg)					
Fl.Fel.1	HF: 2.5	1,25		C ₇ H ₇ CINNaO ₂ S.3H ₂ O: 0.3	ól pinho: 0,03	2000	16.7	< 250
Fl.M.2	H ₂ SO ₄ : 3	0,25		C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	ól pinho: 0,03	2000	16.7	< 250
Fl.Fel.2	HF: 2.5	1,25		C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	ól pinho: 0,03	2000	16.7	< 250
Fl.M.3	H ₂ SO ₄ : 3	0,25		C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	ól pinho: 0,03	2000	13.8	< 250
Fl.Fel.3	HF: 2.5	0,5		C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	ól pinho: 0,03	2000	13.8	< 250
Fl.M.4	H ₂ SO ₄ : 3	0,5		C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	ól pinho: 0,03	2000	12.3	< 250
Fl.Fel.4	H ₂ SO ₄ : 3	0,5		C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	ól pinho: 0,03	2000	12.3	< 250
Fl.M.5	H ₂ SO ₄ : 3	0,5		C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	ól pinho: 0,03	2000	14.3	< 250
Fl.Fel.5	HF: 2.5	0,5		C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	ól pinho: 0,03	2000	14.3	< 250
Fl.M.6	H ₂ SO ₄ : 3	0,5		C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	ól pinho: 0,03	2000	14.3	< 250
Fl.Fel.6	HF: 2.5	0,5		C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	ól pinho: 0,03	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.7	NaOH: 8		0,5	ác. Oleico: 1,25	ól pinho: 0,14;MIBC: 0,09	2000	14.3	< 250
Fl.M.8	H ₂ SO ₄ : 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	ól pinho: 0,03	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.8	NaOH: 8		0,5	ác. Oleico: 2,5	ól pinho:0,08 MIBC: 0,12	2000	14.3	< 250
Fl.M.9	H ₂ SO ₄ : 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	ól pinho: 0,03	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.9	NaOH: 8			ác. Oleico: 2,5	ól pinho: 0,09;MIBC: 0,1	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.10	NaOH: 8			ác. Oleico: 2,5	ól pinho: 0,13 MIBC: 0,08	2000	14.3	< 250
Fl.M.11	H ₂ SO ₄ : 3	0,25		C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	ól pinho: 0,03	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.11	NaOH: 8		0,5	ác. Oleico: 2,5	ól pinho: 0,16	2000	14.3	< 250
Fl.M.12	H ₂ SO ₄ : 3	0,25		C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	ól pinho: 0,03	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.12	H ₂ SO ₄ : 3		1,25			2000	14.3	< 250
Fl.Fel.12	HF: 2.5	0,25		C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	ól pinho: 0,03	2000	14.3	< 250
Fl.M.13	H ₂ SO ₄ : 3	0,25		C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	ól pinho: 0,03	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.13	H ₂ SO ₄ : 3		1,25			2000	14.3	< 250
Fl.Fel.13	HF: 2.5	0,25		C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	ól pinho: 0,03	2000	14.3	< 250
Fl.M.14	H ₂ SO ₄ : 3	0,25		C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	ól pinho: 0,03	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.14	H ₂ SO ₄ : 3		1,25			2000	14.3	< 250

Anexos

Fl.Fel.14	HF: 2.5	0,25		C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	ól pinho: 0,03	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.15	NaOH: 8		0,5	ác. Oleico: 1	ól pinho: 0,26	2000	14.3	< 250
Fl.M.15	H ₂ SO ₄ : 3	0,25		C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	ól pinho: 0,18	2000	14.3	< 250
Fl.Fel.15	HF: 2.5	0,25		C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	ól pinho: 0,03	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.16	NaOH: 8	0,25	0,5	ác. Oleico: 1	ól pinho: 0,15 MIBC: 0,19	2000	14.3	< 250
Fl.M.16	H ₂ SO ₄ : 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,03	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.17	NaOH: 8		0,5	ác. Oleico: 1	MIBC: 0,3	2000	14.3	< 250
Fl.M.17	H ₂ SO ₄ : 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,03	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.18	NaOH: 8		0,5	ác. Oleico: 1	ól pinho: 0,05 MIBC: 0,23	2000	14.3	< 250
Fl.M.18	H ₂ SO ₄ : 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75		2000	14.3	< 250
Fl.Fel.18	HF: 2.5			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,03	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.19	NaOH: 8			ác. Oleico: 1	MIBC: 0,3	2000	14.3	< 250
Fl.M.19	H ₂ SO ₄ : 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,03	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.20	NaOH: 8			ác. Oleico: 2	MIBC: 0,3	2000	14.3	< 250
Fl.M.20	H ₂ SO ₄ : 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,03	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.21	NaOH: 8			ác. Oleico: 2	MIBC: 0,34	2000	14.3	< 250
Fl.M.21	H ₂ SO ₄ : 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75		2000	14.3	< 250
Fl.Qz.22	NaOH: 8			ác. Oleico: 2	MIBC: 0,34	2000	14.3	< 250
Fl.M.22	H ₂ SO ₄ : 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75		2000	14.3	< 250
Fl.Qz.23	NaOH: 8			ác. Oleico: 2	MIBC: 0,34	2000	14.3	< 250
Fl.M.23	H ₂ SO ₄ : 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75		2000	14.3	< 250
Fl.Qz.24	NaOH: 8		0,5	ác. Oleico: 2	MIBC: 0,39	2000	14.3	< 250
Fl.M.24	H ₂ SO ₄ : 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75		2000	14.3	< 250
Fl.Qz.25	NaOH: 8		0,5	ác. Oleico: 2	MIBC: 0,34	2000	14.3	< 250
Fl.M.25	H ₂ SO ₄ : 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,05	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.26	NaOH: 8		0,5	ác. Oleico: 2	MIBC: 0,34	2000	14.3	< 250
Fl.M.26	H ₂ SO ₄ : 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,05	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.27	CaCO ₃ : 8.6		0,5	ác. Oleico: 2	MIBC: 0,19	2000	14.3	< 250
Fl.M.27	H ₂ SO ₄ : 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,1	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.28	NaOH: 8			ác. Oleico: 2	MIBC: 0,39	2000	14.3	< 250
Fl.M.28	H ₂ SO ₄ : 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75		2000	14.3	< 250
Fl.Qz.29	NaOH: 8			ác. Oleico: 2	MIBC: 0,39	2000	14.3	< 250
Fl.M.29	H ₂ SO ₄ : 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75		2000	14.3	< 250
Fl.Qz.30	NaOH: 8			ác. Oleico: 2	MIBC: 0,34	2000	14.3	< 250
Fl.M.30	H ₂ SO ₄ : 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,05	2000	14.3	< 250

Beneficiação por flutuação dos feldspatos da mina de Vila Seca - Mangualde

Fl.Qz.31	NaOH: 8			ác. Oleico: 2	MIBC: 0,34	2000	14.3	< 250
Fl.M.31	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 1,25	MIBC: 0,05	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.32	NaOH: 8			ác. Oleico: 2	MIBC: 0,34	2000	14.3	< 250
Fl.M.32	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 1,25	MIBC: 0,05	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.33	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,34	2000	14.3	< 250
Fl.M.33	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,05	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.34	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,34	2000	14.3	< 250
Fl.M.34	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,05	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.35	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,34	2000	14.3	< 250
Fl.M.35	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,5	MIBC: 0,05	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.36	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,34	2000	14.3	< 250
Fl.M.36	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,5	MIBC: 0,05	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.37	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,34	2000	14.3	< 250
Fl.M.37	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,25	MIBC: 0,05	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.38	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,34	2000	14.3	< 250
Fl.M.38	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,25	MIBC: 0,05	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.39	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,34	2000	14.3	< 250
Fl.M.39	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 1	MIBC: 0,05	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.40	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,3	2000	14.3	< 250
Fl.M.40	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 1	MIBC: 0,1	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.41	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,3	2000	14.3	< 250
Fl.M.41	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 1,25	MIBC: 0,1	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.42	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,3	2000	14.3	< 250
Fl.M.42	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0.6	MIBC: 0,1	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.43	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,3	2000	14.3	< 250
Fl.M.43	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 1,75	MIBC: 0,15	2000	14.3	< 250
Fl.M.44	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,06	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.44	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,34	2000	14.3	< 250
Fl.M.45	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,06	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.45	NaOH: 8			oleato de sódio: 0.4	MIBC: 0,34	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.46	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,06	2000	14.3	< 250
Fl.M.46	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,34	2000	14.3	< 250
Fl.M.47	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,06	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.47	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,34	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.48	NaOH: 8		0,25	oleato de sódio: 1	MIBC: 0,39	2000	14.3	< 250
Fl.M.48	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,15	2000	14.3	< 250
Fl.Qz.49	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,34	2000	14.3	< 250
Fl.M.49	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,05	2000	14.3	< 250

Anexos

Fl.Qz.50	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,3	2000	14.3	355-250
Fl.M.50	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,1	2000	14.3	355-250
Fl.Qz.51	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,3	2000	14.3	355-250
Fl.M.51	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,1	2000	14.3	355-250
Fl.Qz.52	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,3	2000	14.3	355-250
Fl.M.52	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,1	2000	14.3	355-250
Fl.Qz.53	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,3	2000	14.3	355-250
Fl.M.53	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,1	2000	14.3	355-250
Fl.Qz.54	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,3	2000	14.3	355-250
Fl.M.54	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,1	2000	14.3	355-250
Fl.Qz.55	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,3	2000	14.3	355-250
Fl.M.55	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,1	2000	14.3	355-250
Fl.Qz.56	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,3	2000	14.3	355-250
Fl.M.56	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,1	2000	14.3	355-250
Fl.M.57	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,06	2000	14.3	355-250
Fl.Qz.57	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,39	2000	14.3	355-250
Fl.M.58	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,3	MIBC: 0,06	2000	14.3	355-250
Fl.Qz.58	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,39	2000	14.3	355-250
Fl.Qz.59	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,3	2000	14.3	355-250
Fl.M.59	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,1	2000	14.3	355-250
Fl.Qz.60	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,3	2000	14.3	355-250
Fl.M.60	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,1	2000	14.3	355-250
Fl.Qz.61	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,3	2000	14.3	355-250
Fl.M.61	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,1	2000	14.3	355-250
Fl.Qz.62	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,3	2000	14.3	355-250
Fl.M.62	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,1	2000	14.3	355-250
Fl.Qz.63	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,3	2000	14.3	355-250
Fl.M.63	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,1	2000	14.3	355-250
Fl.Qz.64	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,3	2000	14.3	355-250
Fl.M.64	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,1	2000	14.3	355-250
Fl.Qz.65	NaOH: 8			oleato de sódio: 1	MIBC: 0,3	2000	14.3	355-250
Fl.M.65	H2SO4: 3			C ₁₀ H ₉ NO ₄ S: 0,75	MIBC: 0,1	2000	14.3	355-250

Anexo II. Teor das micas obtidos com auxílio da Lupa Binocular.

L.Binocular					
Ensaio	Peso flutuado (g)	Teor Mica (%)	Peso Mica (g)	Ri Mica (%)	Rp (%)
Tal qual		9.8			
E2_ F. Mica	6.71	42.1	2.8249	5.7540	1.3420
E3_ F. Mica	9.42	44.4	4.1825	10.6489	2.3550
E4_ F. Mica	14.09	40.4	5.6924	16.5637	4.0257
E5_ F. Mica	12.12	40.3	4.8844	12.4360	3.0300
E6_ F. Mica	10.36	44.5	4.6102	11.7380	2.5900
E8_ F. Mica	2.73	47	1.2831	3.2669	0.6825
E9_ F. Mica	2.24	46.1	1.0326	2.6292	0.5600
E11_ F. Mica	5.57	52.6	2.9298	7.4596	1.3925
E12_ F. Mica	7.07	48.9	3.4572	8.8024	1.7675
E13_ F. Mica	2.01	44.6	0.8965	2.2825	0.5025
E14_ F. Mica	2.86	38.2	1.0925	2.7816	0.7150
E15_ F. Mica	1.66	41.2	0.6839	1.7413	0.4150
E16_ F. Mica	2.9	67.3	1.9517	4.9692	0.7250
E17_ F. Mica	7.15	63.9	4.5689	11.6327	1.7875
E18_ F. Mica	3.81	52.6	2.0041	5.1025	0.9525
E19_ F. Mica	4.06	56.8	2.3061	5.8715	1.0150
E20_ F. Mica	5.71	64.2	3.6658	9.3335	1.4275
E21.1_ F. Mica	2.6	53.2	1.3832	3.5217	0.6500
E21.2_ F. Mica	1.9	64.4	1.2236	3.1154	0.4750
E22.1_ F. Mica	3.31	61.3	2.0290	5.1661	0.8275
E22.2_ F. Mica	2.41	66.7	1.6075	4.0928	0.6025
E23.1_ F. Mica	2.16	45.1	0.9742	2.4803	0.5400
E23.2_ F. Mica	3.2	65.9	2.1088	5.3692	0.8000
E24.1_ F. Mica	3.99	51.2	2.0429	5.2013	0.9975
E24.2_ F. Mica	3.67	53.2	1.9524	4.9711	0.9175
E25.1_ F. Mica	3.92	47.6	1.8659	4.7508	0.9800
E25.2_ F. Mica	4.88	49.9	2.4351	6.2000	1.2200
E26.1_ F. Mica	3.94	51.1	2.0133	5.1261	0.9850
E26.2_ F. Mica	6.15	52.3	3.2165	8.1894	1.5375
E27.1_ F. Mica	2.99	42.9	1.2827	3.2659	0.7475
E27.2_ F. Mica	6.49	55.3	3.5890	9.1378	1.6225
E28.1_ F. Mica	2.94	54.3	1.5964	4.0646	0.7350
E28.2_ F. Mica	6.52	55.2	3.5990	9.1635	1.6300
E29.1_ F. Mica	4.34	51.2	2.2221	5.6576	1.0850
E29.2_ F. Mica	10.87	52	5.6524	14.3915	2.7175
E30.1_ F. Mica	2.81	57	1.6017	4.0781	0.7025
E30.2_ F. Mica	9.15	54	4.9410	12.5802	2.2875
E31.1_ F. Mica	4.34	57.4	2.4912	6.3427	1.0850
E31.2_ F. Mica	7.07	60	4.2420	10.8005	1.7675
E32.1_ F. Mica	3.12	45.2	1.4102	3.5906	0.7800
E32.2_ F. Mica	4.34	50.7	2.2004	5.6024	1.0850

Anexos

E33_ F. Mica	5.94	52.4	3.1126	7.9248	1.4850
E34.1_ F. Mica	2.7	60	1.6200	4.1247	0.6750
E34.2_ F. Mica	1.75	57	0.9975	2.5397	0.4375
E35_ F. Mica	5.06	56.9	2.8791	7.3305	1.2650
E36_ F. Mica	6.39	53.8	3.4378	8.7530	1.5975
E37_ F. Mica	6.82	49	3.3418	8.5085	1.7050
E38_ F. Mica	8.56	53	4.5368	11.5511	2.1400
E39_ F. Mica	5.05	57.5	2.9038	7.3932	1.2625
E40_ F. Mica	5.16	50.1	2.5852	6.5820	1.2900
E41_ F. Mica	3.52	56	1.9712	5.0188	0.8800
E42_ F. Mica	5.44	57	3.1008	7.8949	1.3600
E43_ F. Mica	7.1	55	3.9050	9.9425	1.7750
E44_ F. Mica	1.91	65.8	1.2568	3.1999	0.4775
E45_ F. Mica	2.78	71.3	1.9821	5.0467	0.6950
E46_ F. Mica	2.58	69.4	1.7905	4.5588	0.6450
E47_ F. Mica	3.41	56.8	1.9369	4.9315	0.8525
E48_ F. Mica	3.7	53.8	1.9906	5.0682	0.9250
E49_ F. Mica	4.77	58.6	2.7952	7.1169	1.1925
E50_ F. Mica	5.66	80	4.5280	11.5287	1.4150
E51_ F. Mica	4.65	78.1	3.6317	9.2465	1.1625
E52_ F. Mica	6.19	62	3.8378	9.7714	1.5475
E53_ F. Mica	7.72	51.2	3.9526	10.0638	1.9300
E54_ F. Mica	8.29	61.4	5.0901	12.9597	2.0725
E55_ F. Mica	6.2	60	3.7200	9.4714	1.5500
E56_ F. Mica	5.33	56.5	3.0115	7.6674	1.3325
E57_ F. Mica	3.62	67.8	2.4544	6.2490	0.9050
E58_ F. Mica	6.6	71.9	4.7454	12.0822	1.6500
E59_ F. Mica	4.8	64.3	3.0864	7.8582	1.2000
E60_ F. Mica	5.86	66.6	3.9028	9.9368	1.4650
E61_ F. Mica	5.65	75.8	4.2827	10.9041	1.4125
E62_ F. Mica	5.26	60.5	3.1823	8.1024	1.3150
E63_ F. Mica	6.18	64.6	3.9923	10.1647	1.5450
E64_ F. Mica	6.15	54	3.3210	8.4555	1.5375

Beneficiação por flutuação dos feldspatos da mina de Vila Seca - Mangualde

Anexo III. Teor das micas e do quartzo obtidos pelo método semiquantitativo de difração de raios X

Ensaio	Peso flutuado (g)	Teor Mica (%)	Peso mica (g)	Ri Mica (%)	Rp (%)	Teor Abt (%)	Peso Abt (g)	Ri Alb (%)	Teor Ort (%)	Peso Ort (g)	Ri Ortcl (%)	Teor Qtz (%)	Peso Qtz (g)	Ri Qtz (%)	Teor Arg (%)	Peso Arg (g)	Ri Arg (%)
Tal qual		15.5				56.7			15.4			11.2			1.2		
E8.FMic	2.73	34.8	0.9500	1.5294	0.6825	42.8	1.1684	0.5149	8.6	0.2348	0.3816	10.9	0.2976	0.6660	2.9	0.0792	1.6632
E14.FMic	2.86	29.5	0.8437	1.3582	0.7150	45.7	1.3070	0.5760	11.6	0.3318	0.5393	8.6	0.2460	0.5505	4.6	0.1316	2.7639
E25.2FMic	4.88	37.2	1.8154	2.9223	1.2200	41.8	2.0398	0.8989	11.5	0.5622	0.9138	6.1	0.2977	0.6662	3.4	0.1659	3.4857
E29.2FMic	6.17	61.4	3.7884	6.0985	1.5425	25.5	1.5734	0.6934	5.5	0.3394	0.5516	4.8	0.2962	0.6628	2.8	0.1728	3.6294
E30.2FMic	9.15	48.6	4.4469	7.1586	2.2875	30.4	2.7816	1.2258	8.1	0.7412	1.2047	10.1	0.9242	2.0684	2.7	0.2471	5.1901
E31.2FMic	7.07	38.5	2.7220	4.3818	1.7675	33.9	2.3967	1.0562	19.3	1.3645	2.2180	6.2	0.4383	0.9811	2.2	0.1555	3.2676
E33.FMica	5.94	41	2.4354	3.9205	1.4850	34.1	2.0255	0.8926	18.2	1.0811	1.7573	3.9	0.2317	0.5185	2.9	0.1723	3.6189
E34.1FMic	2.7	49	1.3230	2.1297	0.6750	29.6	0.7992	0.3522	12.4	0.3348	0.5442	4.8	0.1296	0.2901	4.2	0.1134	2.3824
E34.2FMic	1.75	48.3	0.8453	1.3607	0.4375	35.1	0.6143	0.2707	9.6	0.1680	0.2731	3.8	0.0665	0.1488	3.3	0.0578	1.2132
E35.FMic	5.06	52	2.6312	4.2357	1.2650	31.5	1.5939	0.7024	10.4	0.5262	0.8554	4.4	0.2226	0.4983	1.8	0.0911	1.9134
E37.FMic	6.82	42.4	2.8917	4.6550	1.7050	42.9	2.9258	1.2893	5.9	0.4024	0.6541	6.5	0.4433	0.9922	2.3	0.1569	3.2954
E39.FMic	8.05	47.1	3.7916	6.1036	2.0125	37	2.9785	1.3126	8.0	0.6440	1.0468	4.2	0.3381	0.7567	3.7	0.2979	6.2574
E41.FMic	3.52	54.4	1.9149	3.0825	0.8800	34	1.1968	0.5274	5.3	0.1866	0.3033	4.1	0.1443	0.3230	2.1	0.0739	1.5529
E42.FMic	5.44	48.8	2.6547	4.2735	1.3600	34.5	1.8768	0.8271	8.9	0.4842	0.7870	5.7	0.3101	0.6940	2.1	0.1142	2.4000
E43.FMic	7.1	49	3.4790	5.6005	1.7750	32.8	2.3288	1.0263	10.0	0.7100	1.1541	5.9	0.4189	0.9376	2.3	0.1633	3.4307
E46.FMic	2.58	63	1.6254	2.6165	0.6450	22.4	0.5779	0.2547	6.0	0.1548	0.2516	4.5	0.1161	0.2598	4	0.1032	2.1681
E49.FMic	4.77	47.6	2.2705	3.6551	1.1925	34.4	1.6409	0.7231	10.5	0.5009	0.8141	4.6	0.2194	0.4911	2.9	0.1383	2.9061
E50.FMic	5.66	62	3.5092	5.6491	1.4150	25.5	1.4433	0.6360	5.9	0.3339	0.5428	3.4	0.1924	0.4307	3.2	0.1811	3.8050
E51.FMic	4.65	59	2.7435	4.4165	1.1625	24.3	1.1300	0.4980	7.7	0.3581	0.5820	4.6	0.2139	0.4787	4.6	0.2139	4.4937
E52.FMic	6.19	61.8	3.8254	6.1581	1.5475	23.7	1.4670	0.6465	7.8	0.4828	0.7848	3.9	0.2414	0.5403	2.8	0.1733	3.6412
E53.FMic	7.1	49.6	3.5216	5.6690	1.7750	39.5	2.8045	1.2359	5.7	0.4047	0.6578	2.5	0.1775	0.3973	2.8	0.1988	4.1765
E57.FMic	6.58	60	3.9480	6.3554	1.6450	26.2	1.7240	0.7597	9.3	0.6119	0.9947	2.6	0.1711	0.3829	1.9	0.1250	2.6265
E8_F_Qtz	24.6	28.2	6.93	11.16	6.15	51.4	12.65	5.58	7.78	1.91	3.11	11	2.70	6.05	1.67	0.41	8.63
E9_F_Qtz	32.4	23.3	7.55	12.15	8.10	54	17.49	7.71	8.58	2.78	4.52	10.7	3.46	7.75	3.47	1.12	23.62
E18_F_Qtz	27	32.	8.66	13.93	6.76	49.5	13.38	5.90	10.2	2.74	4.46	5.99	1.62	3.63	2.36	0.64	13.41

Anexos

E19_F.Qtz	40.4	29.5	11.91	19.17	10.09	53.6	21.64	9.54	14.9	6.02	9.78	3.95	1.59	3.57	0.98	0.40	8.31
E30_F.Qtz	51	18.1	9.25	14.88	12.75	61.1	31.17	13.74	15.4	7.84	12.75	4.34	2.21	4.95	1.03	0.52	11.03
E32_F.Qtz	49.2	11.7	5.76	9.27	12.30	69.5	34.18	15.06	10.5	5.17	8.40	5.53	2.72	6.09	2.8	1.38	28.94
E35_F.Qtz	51.7	18.9	9.78	15.75	12.93	31.5	16.26	7.17	12.4	6.40	10.40	4.57	2.36	5.29	1.08	0.56	11.73
E36_F.Qtz	55	19.1	10.51	16.93	13.76	62.2	34.23	15.09	13.2	7.25	11.79	3.7	2.04	4.56	1.79	0.98	20.69

Anexo IV. Dados das distribuições granulométrica.

Calibre (mm)	M37	M35	M49 cum (%)	M39 cum (%)	M41 cum (%)	M42 cum (%)	M43 cum (%)	Tal qual <250 µm	Tal qual 250-355 µm
0	0.11	0.12	0.09	0.12	0.093	0.076	0.062	0.068	0.042
0.5	0.49	0.54	0.4	0.54	0.413	0.336	0.272	0.298	0.192
0.71	1.11	1.24	0.92	1.21	0.933	0.756	0.612	0.648	0.422
1	1.94	2.2	1.62	2.1	1.613	1.296	1.042	1.068	0.692
1.4	3.05	3.49	2.56	3.26	2.493	1.986	1.572	1.538	0.992
2	4.32	4.98	3.65	4.58	3.473	2.736	2.132	1.978	1.282
2.8	5.98	6.88	5.08	6.32	4.713	3.696	2.822	2.478	1.632
4	7.86	8.92	6.66	8.3	6.083	4.736	3.582	3.028	2.032
5.5	10.51	11.62	8.78	11.1	7.983	6.136	4.662	3.838	2.642
7.8	13.83	14.83	11.3	14.6	10.333	7.816	6.072	4.958	3.472
11	17.83	18.52	14.24	18.81	13.103	9.816	7.942	6.538	4.552
15.6	21.93	22.32	17.34	23.18	15.943	12.046	10.222	8.628	5.802
22	26.15	26.5	20.73	27.79	18.993	14.676	13.002	11.618	7.302
31	31.86	32.19	25.46	34.14	23.293	18.336	16.942	16.848	9.462
45	37.52	37.94	30.77	40.53	27.623	23.436	21.252	23.698	11.692
63	43.68	44.49	36.81	47.82	32.843	31.746	26.532	32.988	14.292
88	53.59	53	45.46	55.61	41.763	42.946	33.622	47.888	18.722
125	67.19	64.2	57.66	65.24	54.463	57.346	45.422	68.088	25.202
177	83.09	79.5	74.56	76.64	72.463	76.146	63.122	87.088	42.002
250	95.59	91	88.46	85.32	87.763	91.946	79.222	96.968	75.102
355	99.44	96.23	94.38	92.38	94.613	99.016	89.222	98.838	95.602
500	99.97	98.12	97.23	95.57	97.923	100.066	95.082	99.028	98.772
710	99.97	99.05	98.9	98	99.273	100.066	98.132	99.358	99.262
1000	99.97	100.03	99.99	100.01	100.093	100.066	99.692	99.828	100.052
1410	99.97	100.03	100.022	100.01	100.093	100.066	100.002	99.968	100.088

Calibre (mm)	Q35 cum (%)	Q30 cum (%)	Q18 cum (%)	*M52 cum (%)	*Q52 cum (%)	M49 cum (%)	Q49 cum (%)	Q 9 cum (%)
0	0.14	0.2	0.14	0.078	0.21	0.09	0.11	0.3
0.5	0.64	0.89	0.62	0.348	0.95	0.4	0.49	1.22
0.71	1.44	2	1.42	0.798	2.17	0.92	1.1	2.35
1	2.48	3.45	2.49	1.408	3.79	1.62	1.88	3.85
1.4	3.8	5.29	3.91	2.228	5.88	2.56	2.85	5.75
2	5.23	7.27	5.54	3.158	8.18	3.65	3.9	7.75
2.8	7.05	9.73	7.67	4.348	11.11	5.08	5.24	10.25
4	9.09	12.43	10.04	5.658	14.38	6.66	6.77	12.99
5.5	11.97	16.2	13.31	7.428	18.98	8.78	9	16.82

Anexos

7.8	15.6	20.92	17.33	9.568	24.71	11.3	11.89	21.62
11	20.09	26.69	22.2	12.068	31.46	14.24	15.56	27.52
15.6	25.15	33.17	27.6	14.628	38.26	17.34	19.82	34.11
22	31.29	41.18	34.14	17.208	45.46	20.73	25.22	42.74
31	41.39	53.08	43.88	20.298	54.73	25.46	33.9	54.77
45	53.79	65.28	54.18	23.278	62.78	30.77	44.2	67.16
63	67.19	75.21	64.98	26.298	69.8	36.81	56.3	77.23
88	81.29	83.78	76.28	31.788	77.18	45.46	70.2	86.26
125	91.27	90.38	86.15	41.168	83.88	57.66	81.3	93.05
177	95.24	93.24	92.93	56.368	89.09	74.56	87.78	96.75
250	96.1	94.87	95.85	76.668	93.05	88.46	90.91	98.44
355	98.02	98.23	98.63	91.168	96.49	94.38	93.69	99.01
500	99.89	100.01	100	96.618	98.46	97.23	96.86	100.03
710	100.07	100.01	100	98.548	99.45	98.9	99.07	100.03
1000	100.07	100.01	100	99.868	100	99.99	99.99	100.03
1410	100.07	100.01	100	99.908	100	100.022	99.994	100.03

* Calibre de alimentação igual à 250-355.

Anexo V. Produção Mundial de feldspatos

Ano	Produção (t)
1980	3200
1985	4100
1990	5990
1991	5700
1992	6090
1993	6170
1994	6490
1995	7910
1996	8290
1997	8650
1998	9330
1999	9980
2000	9540
2001	11800
2002	14100
2003	13600
2004	15100
2005	16800
2006	20600
2007	21500
2008	22700
2009	19600
2010	20500

Anexo VI. Produção anual de feldspatos em Portugal

Ano	Produção (t)	valor na mina (Euros)
1977	10803	39865
1978	17225	97370
1979	15031	99795
1980	40802	299910
1981	42435	401655
1982	25795	243070
1983	31902	333645
1984	27462	356670
1985	14193	187755
1986	33740	759170
1987	40729	892760
1988	21849	489305
1989	30218	679125
1990	37228	846595
1991	54873	1243600
1992	99645	1600360
1993	90547	1275995
1994	87196	1420655
1995	106559	1598825
1996	96955	1854655
1997	96347	1508920
1998	155264	2059230
1999	114685	2070720
2000	136730	2158390
2001	112923	1686000
2002	141125	2398000
2003	129366	2361000
2004	98262	1689000
2005	133344	2205000
2006	129333	2092000
2007	168606	2452000
2008	157539	2295000
2009	152126	2293000

Anexo VII. Carta geológica “Vila Seca”

