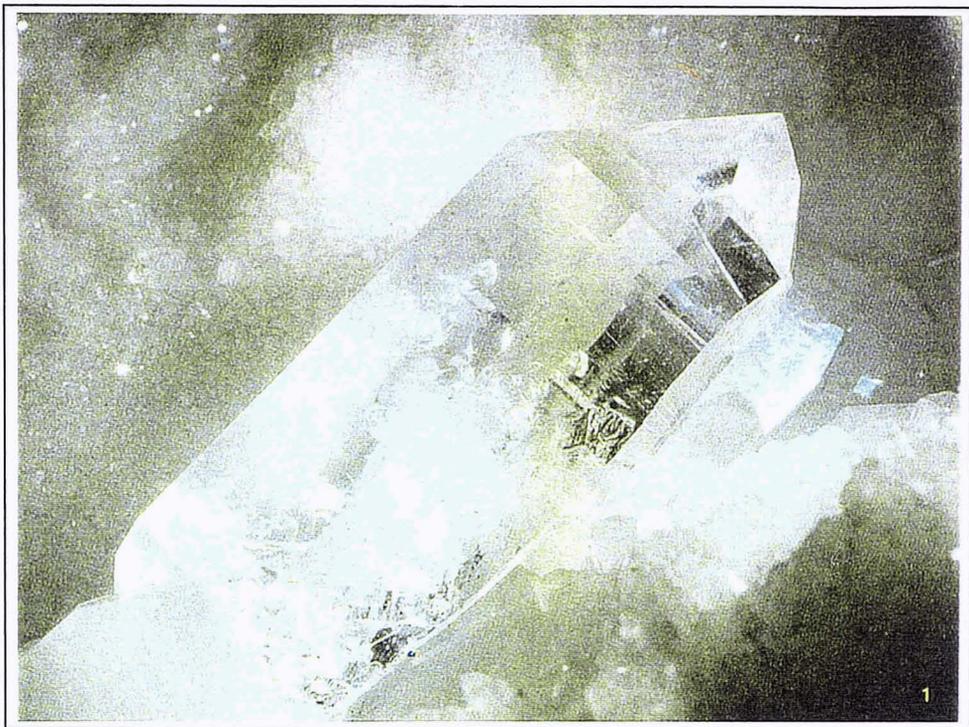


José Augusto de Abreu Peixoto Fernandes

*“Quartzo de determinados depósitos
portugueses, filoneanos e pegmatíticos:
propriedades e aplicações industriais”*



UNIVERSIDADE DE AVEIRO
1998

Sumário:

Resumo	v
Abstract	vii
Introdução	xi
Capítulo 1 - Origem do quartzo	1
1. Quartzo de depósitos naturais	2
1.1. Tipos de depósitos	2
1.2. Características mineralógicas	13
1.3. Ocorrências geológicas. em Portugal, reservas, produções e mercados	18
1.4. Reconhecimento e pesquisa	23
1.5. Extração mineira	27
1.6. Refinação e beneficiação do quartzo de filão e de pegmatito	31
2. Quartzo cristal sintético	37
3. Sílicas sintéticas	39
Capítulo 2 - Aplicações tradicionais do quartzo e respectivas especificações	42
1. Aplicações tradicionais	43
2. Especificações para as diferentes aplicações	47

2.1. Metalurgia	47
2.2. Indústria de abrasivos	53
2.3. Indústrias de electrónica e de óptica	55
2.4. Torres e tanques de ácidos	59
2.5. Préaquecimento de ar	60
2.6. Filtros	60
2.7. Indústria de refractários	62
2.8 .Outras aplicações.....	62
Capítulo 3 - Selecção de depósitos e respectivos enquadramentos geográficos e geológicos	67
1. Depósitos de quartzo de filão e de pegmatito	70
1.1. Depósitos do Distrito de Braga - Dornas.....	70
1.2. Depósitos de Vila Longa e Poço Palheiro (Distrito de Viseu).....	72
1.2.1 Depósito de Vila Longa	72
1.2.2 Depósito de Poço Palheiro	75
1.3. Depósito de Freches (Distrito da Guarda).....	78
1.4. Depósito de Pedras Pintas (Distrito de Évora).....	79
2. “Stocks” de unidades industriais desactivadas	81
Capítulo 4 - Amostragem de quartzo nos depósitos seleccionados com vista à determinação dos parâmetros físicos e químicos relevantes para a aplicação	83
1. Análise macroscópica	85
2. Análise petrográfica.....	89
3. Análise química	95

3.1 Espectrometria de fluorescência de raios X	96
3.1.1 Princípios da técnica	96
3.1.2 Preparação das amostras	97
3.2 Espectrofotometria de chama	99
3.2.1 Princípios da técnica.....	99
3.2.2 Preparação da solução	100
3.3 Perda ao rubro	101
3.4 Difracção de raios X (DRX).....	101
4. Resultados analíticos	105
5. Resistência ao choque térmico.....	112
Capítulo 5 - Possíveis aplicações do quartzo em função dos resultados obtidos das amostras estudadas	120
1. Amostras do depósito de Dornas	125
2. Amostras do depósito de Vila Longa	128
3. Amostras do depósito de Poço Palheiro	131
4. Amostras do depósito de Freches	135
5. Amostras do depósito de Pedras Pintas	138
6. Amostras do “stock” de Canas de Senhorim.....	142
Capítulo 6 - Conclusões e proposta de trabalho futuro.....	146
Bibliografia	149
Índices	153
Anexo	

RESUMO

O objectivo principal do presente trabalho é determinar as aplicações possíveis, tendo em conta as exigências actuais dos diferentes mercados, para o quartzo filoneano e pegmatítico de determinados depósitos portugueses.

Para o efeito, tentou-se determinar o leque possível de aplicações de acordo com as características químicas e físicas do quartzo existente nos depósitos estudados.

A atenção recaiu fundamentalmente sobre as características químicas, uma vez que as características granulométricas necessárias para fazer face às diferentes especificações, são facilmente atingíveis com a utilização de equipamentos adequados.

Assim, e porque as características químicas são intrínsecas ao tipo de depósito, são estas as mais limitadoras no que concerne às aplicações industriais. Daí, o especial relevo prestado aos parâmetros químicos do quartzo amostrado nos cinco depósitos considerados, não descorando porém as restantes características.

Tentou-se, igualmente, seleccionar depósitos em áreas geográficas onde a ocorrência de quartzo filoneano e pegmatítico é mais frequente.

Dado que existem inúmeros depósitos de pequenas dimensões, a selecção recaiu sobre os distritos de Braga, Viseu, Guarda e Évora, por forma a tentar uma razoável distribuição geográfica.

Incluiu-se ainda nos estudos realizados, por se entender ser economicamente importante, o “stock” de quartzo existente na antiga Companhia de Fornos Eléctricos, S.A., agora desactivada, no intuito de determinar uma possível aplicação para o mesmo.

Relativamente às especificações granulométricas a atingir, apontam-se para além de um diagrama de tratamento genérico, exemplos de algumas instalações ainda em funcionamento.

Espera-se com o presente trabalho ter-se de algum modo contribuído para a correcta utilização do quartzo, como matéria prima de primordial importância para inúmeras indústrias, no intuito de rentabilizar as reservas de quartzo existentes em Portugal.

2. ABSTRACT

The principal objective of this study is to identify possible end uses for quartz sourced from portuguese veins and pegmatites, taking into account the requirements of various markets.

In this way an attempt is made to determine the possible range of applications in the light of the chemical and physical characteristics of the quartz occurring in the deposits studied.

The greatest attention focuses on chemical characteristics since the particle mean size and particle size distribution needed for the various specifications are readily obtained through the utilisation of appropriate mineral processing techniques.

Therefore, and since the chemical characteristics are intrinsic to the type of deposit, these become the principal limiting factors in determining industrial applications. Despite this, the specific relevance of chemical parameters of the quartz samples from the five deposits studied, has not been allowed to divert attention from the other characteristics.

At the same time an attempt was made to select deposits in areas with the greatest occurrence of quartz of veins and pegmatites.

Given that there exist innumerable small scale deposits, the selection was restricted to the districts of Braga, Viseu, Guarda and Évora thereby achieving a reasonable geographical distribution.

Because of its economic importance, the stockpile of quartz existing at the now abandoned installations of Fornos Eléctricos is included in this study with a view to identifying possible applications for this material.

Concerning methods utilised in meeting particle size requirements, there are included, in addition to a typical process flow sheet, examples of some installations currently in operation.

It is hoped that this study will, in some way, contribute to the correct utilisation of quartz as a raw material of fundamental importance for many industries, and the viable exploitation of quartz reserves existing in Portugal.

INTRODUÇÃO

Dada a importância económica do quartzo como matéria prima industrial, pretendeu-se com o presente trabalho amostrar alguns depósitos aflorantes no intuito de identificar as respectivas características físicas e químicas mais relevantes.

Como objectivo principal surge a melhor aplicação para o quartzo dos depósitos em estudo, que se pretende seja o mais correcta possível em função das características que possuem, evitando deste modo que se apliquem matérias primas de boa qualidade em aplicações menos nobres, o que permitirá uma adequada rentabilização das reservas de quartzo existentes.

Pretendeu-se, assim, contribuir para um melhor conhecimento do quartzo, não somente enquanto depósito mineral, mas também como matéria prima na indústria, pelo que se apontam as características típicas que o quartzo deve exibir para ser passível de utilização nas diversas indústrias onde é aplicado.

Optou-se, então, por analisar as áreas com maior aptidão à ocorrência de quartzo para , nessas mesmas áreas, realizar amostragens nos depósitos aflorantes.

Seleccionaram-se em seis locais os seguintes depósitos de quartzo com importância em termos de reservas: Dornas (concelho de Ponte de Lima, distrito de Braga), Vila Longa (concelho de Sátão, distrito de Viseu), Poço Palheiro (concelho de Sátão, distrito de Viseu), Freches (concelho de Celorico da Beira, distrito da Guarda), Pedras Pintas (concelho de Montemor-o-Novo, distrito de

Évora) e o “stock” existente na antiga Companhia de Fornos Eléctricos, S.A., agora desactivado.

Sobre essas amostras realizaram-se ensaios para determinação qualitativa e quantitativa dos parâmetros químicos (dado que são fortemente limitadores das aplicações industriais), e mineralógicos, já que as características granulométricas são facilmente atingíveis coma a utilização de equipamentos adequados.

Na análise química utilizou-se fluorescência de raios X e espectrofotometria de chama (esta para a determinação dos teores em Na e K). Quanto à análise mineralógica prepararam-se lâminas delgadas representativas das amostras para posterior análise petrográfica, na qual se estudaram as características granulométricas do quartzo (dimensão e forma das partículas), as impurezas existentes e respectiva distribuição, fracturação e presença de inclusões fluidas, ou seja, todas as características com maior influência nas possíveis aplicações industriais.

A Origem do Quartzo

Capítulo 1

ORIGEM DO QUARTZO

1. QUARTZO DE DEPÓSITOS NATURAIS

1.1 TIPOS DE DEPÓSITOS

Os depósitos de quartzo dividem-se em dois tipos principais: pegmatíticos (onde o quartzo aparece normalmente associado a feldspato, embora localmente possa predominar um deles) e filoneanos hidrotermais (onde normalmente o quartzo é o mineral dominante).

De um modo geral, os depósitos de quartzo portugueses com maior interesse económico incluem-se nas formações pegmatíticas. Os pegmatitos são rochas de grão grosseiro, cuja composição pode variar de granítica a gabróide, embora no nosso país seja maioritariamente granítica, pelo que habitualmente a referência a pegmatito significa pegmatito de natureza granítica.

Apenas pontualmente os pegmatitos surgem encaixados em rochas metamórficas, constituindo neste caso, estruturas geralmente tabulares com composição mineralógica mais simples e de menor interesse económico.

A intrusão dos pegmatitos nos maciços graníticos (aos quais se associam geneticamente) levam a concluir que representam fases tardias de cristalização nos processos de instalação e diferenciação dos maciços.

Julga-se existir uma estreita relação entre os pegmatitos e os granitos “recentes” (tardi a pós-tectónicos) e os granitos de duas micas e megacristais (granulado médio a grosseiro).

Os pegmatitos quando inclusos em maciços graníticos “antigos” (sintectónicos) situam-se a pequena distância do contacto com os granitos tardi a pós-tectónicos. As zonas de cúpula dos batólitos graníticos pouco erodidos são favoráveis à ocorrência de pegmatitos.

Os pegmatitos instalam-se função de factores estruturais e genéticos, tais como zonas de tensão e de intersecção de alinhamentos estruturais e a composição e a textura das rochas encaixantes. Estas formações pegmatíticas ocorrem, na sua maioria, dentro ou na periferia de massas eruptivas plutónicas, de composição essencialmente granítica.

O aspecto zonado que apresentam constitui uma característica marcante dos pegmatitos produtores de quartzo e feldspato. Trata-se de uma diferenciação traduzida pela ocorrência de unidades litológica e estruturalmente distintas entre si, relativamente à composição, textura ou ambas. Tendem a dispor-se concentricamente em relação a um núcleo central ou simetricamente no caso dos corpos tabulares.

Em termos gerais, podem distinguir-se três zonas principais nos depósitos de natureza pegmatítica:

- a) Zona periférica - com quartzo, feldspato, mica e outros minerais, normalmente sem interesse económico, devido à granulometria mais fina e à mistura de todos estes minerais.
- b) Zona intermédia - onde o feldspato normalmente predomina sobre o quartzo, sendo em alguns casos composta quase exclusivamente por feldspato potássico.
- c) Zona central - onde o quartzo é o mineral predominante e onde justamente apresenta maior pureza, associado a raras bolsadas de feldspato e/ou outros minerais.

Obviamente, as duas últimas zonas referidas são as que apresentam maior interesse sob o ponto de vista económico, para a produção de quartzo com boa qualidade comercial.

Verifica-se habitualmente que o tamanho e a percentagem relativa dos minerais pode variar dentro do corpo pegmatítico (em geral as dimensões aumentam progressivamente da periferia para o interior).

Relativamente à génese, os pegmatitos podem considerar-se metassomáticos e magmáticos; os primeiros são homogéneos, com composição mineralógica e estrutura simples, textura uniforme da periferia até à zona central e sem cristais de dimensões notáveis, enquanto os de origem magmática apresentam maior complexidade mineralógica, maior diferenciação e um notório zonamento.

Os depósitos de pegmatitos, dos quais se produz a maior quantidade de quartzo em Portugal, apresentam geralmente forma lenticular ou ocorrem como largas massas minerais (figura 1). Um grande número de depósitos denota constância em termos de espessura, direcção e pendor.

Quando apresentam forma lenticular, as espessuras rondam os vinte metros e a extensão poucas centenas de metros. Relativamente às massas minerais, estas atingem volumes da ordem dos 20.000 m³. Em Portugal, as formas mais frequentes são as tabulares, lenticulares alongadas ou batolíticas, donde irradiam várias apófises.

Sob o ponto de vista mineralógico, os componentes principais dos depósitos pegmatíticos, tal como já foi mencionado, são os feldspatos sódicos e potássicos, quartzo e moscovite. Muito raramente, em alguns pegmatitos, lepidolite, espodumena, moscovite e turmalina podem tornar-se constituintes principais.

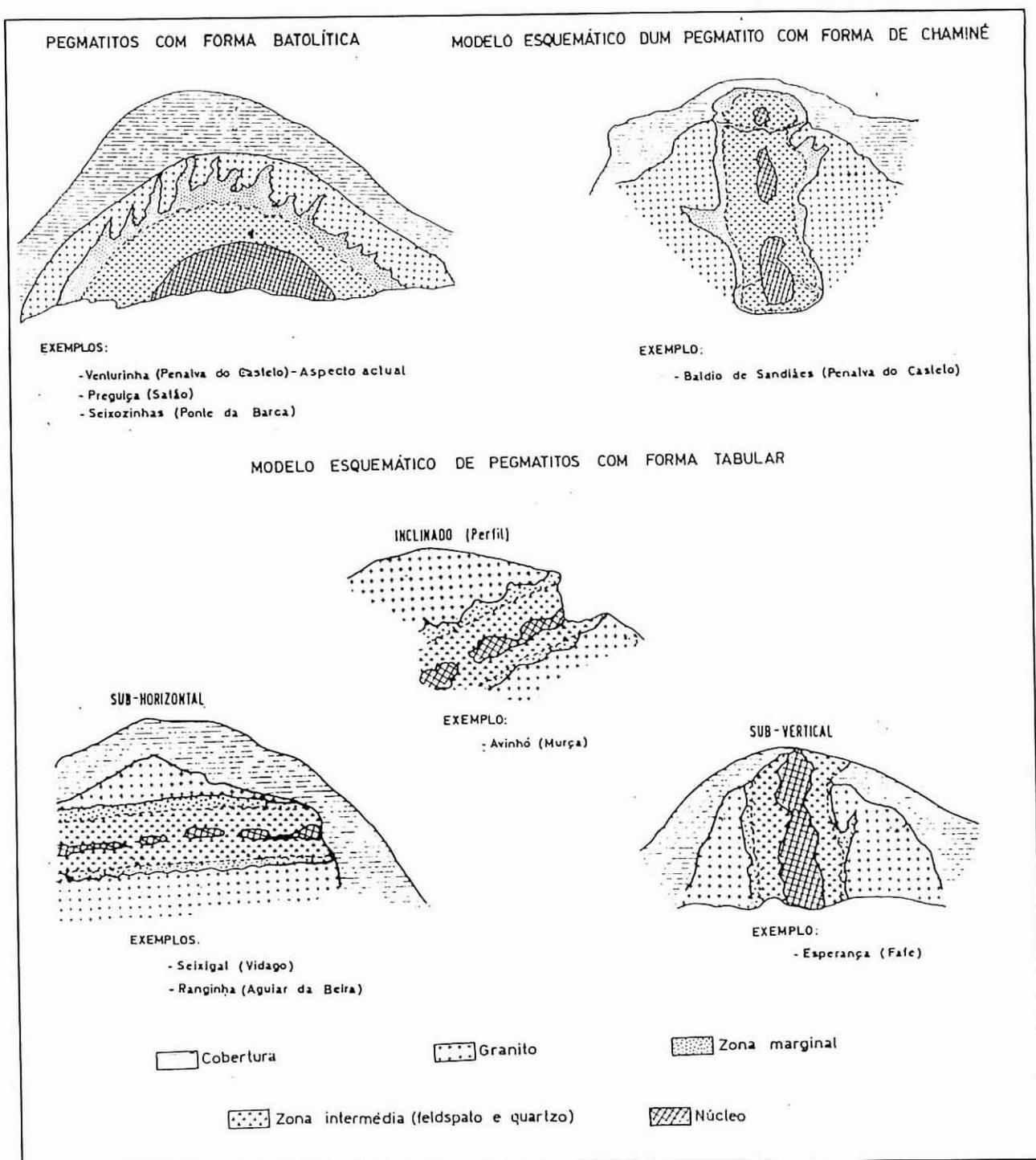


Figura 1 - Características morfológicas de alguns depósitos pegmatíticos portugueses (Ramos, J. M. Farinha; Oliveira, J. M. Santos - O feldspato e o quartzo como matérias primas na indústria, "Bol. Minas", Lisboa 17 (1) Jan./Mar., 1980)

Também ocorrem frequentemente turmalina e biotite, e em menor quantidade outros componentes tais como apatite, berilo, granadas, cassiterite, volframite, torbernite, columbite-tantalite, fluorite, minerais litiníferos e diversos sulfuretos, como minerais acessórios.

O feldspato potássico é frequentemente a microclina, O feldspato sódico é quase sempre albite, mas bastante raro. O quartzo ocorre principalmente nas variedades branco, rosa e cinzento, enquanto o tipo hialino é mais raramente encontrado.

A moscovite ocorre na forma de pequenos cristais, flocos ou agregados e, geralmente, nas zonas periféricas dos depósitos. Na zona intermédia ocorrem bolsadas de micas, mas normalmente em volumes pouco significativos.

Os depósitos pegmatíticos são raros em Portugal, apenas pouco mais de uma centena poderão ser inumerados (*figura 2*). As dimensões variam de estreitos filonetes centimétricos até aos grandes pegmatitos com comprimento e largura de 1500 metros e 30 metros, respectivamente. Ocorrem normalmente a pequena profundidade, que raramente atinge os 50 metros.

Embora normalmente de pequena dimensão com reservas quantificadas que na maior parte dos casos não excede vinte mil toneladas de quartzo e feldspato, são poucos os pegmatitos que apresentam maiores reservas.

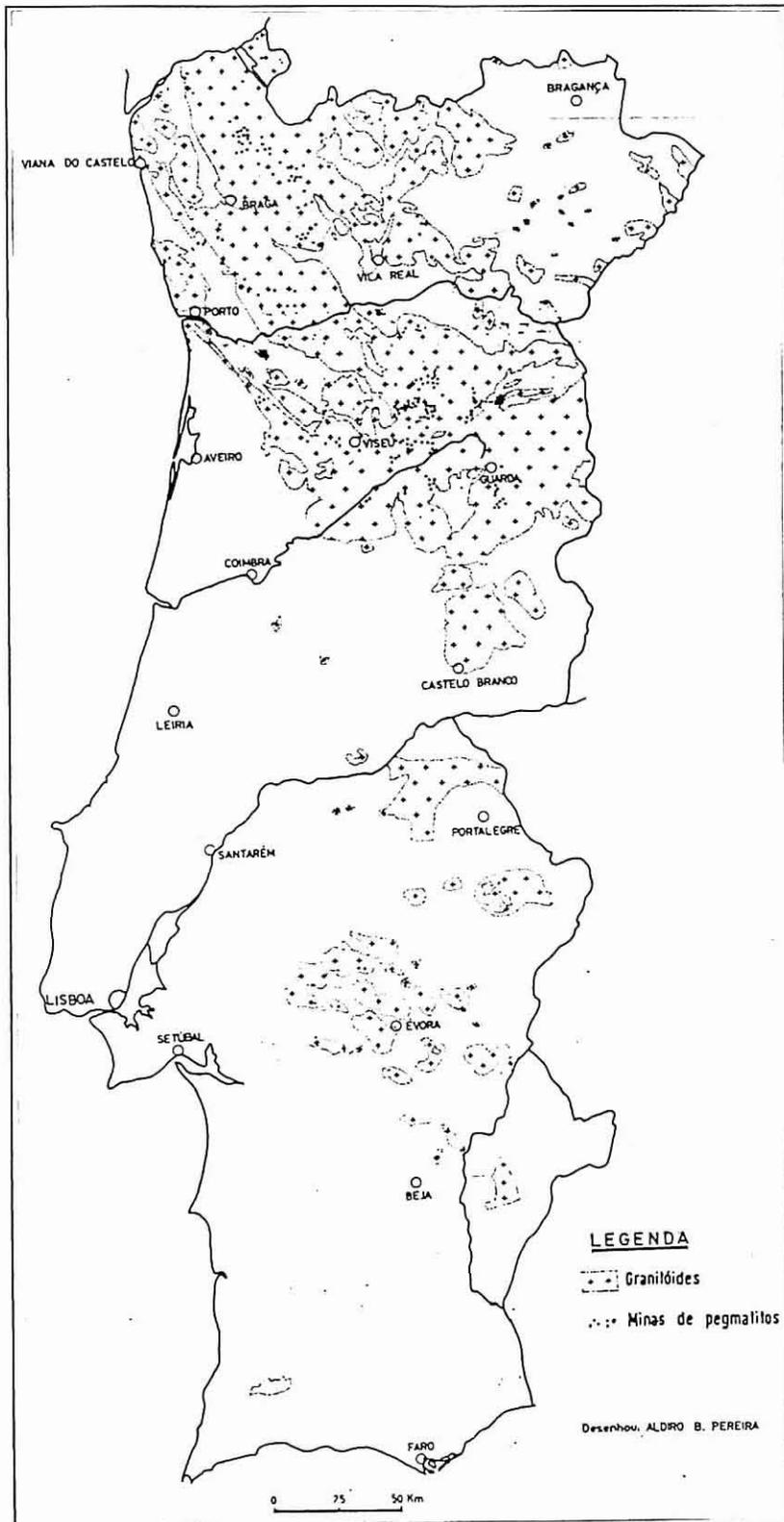


Figura 2 - Localização dos principais jazigos pegmatíticos portugueses (Ramos, J. M. Farinha; Oliveira, J. M. Santos - O feldspato e o quartzo como matérias primas na indústria, "Bol. Minas", Lisboa 17 (1) Jan./Mar., 1980)

Outra fonte de quartzo em Portugal tem origem em filões hidrotermais. Estes ocorrem normalmente no interior de maciços graníticos, do tipo brechiforme, estendendo-se por vários quilómetros e exibindo espessuras da ordem das dezenas de metros. Os depósitos filoneanos hidrotermais (essencialmente quartzosos) constituem estruturas tabulares ou lenticulares que se instalam em fracturas com direcção e pendor variáveis (*figura 3*).

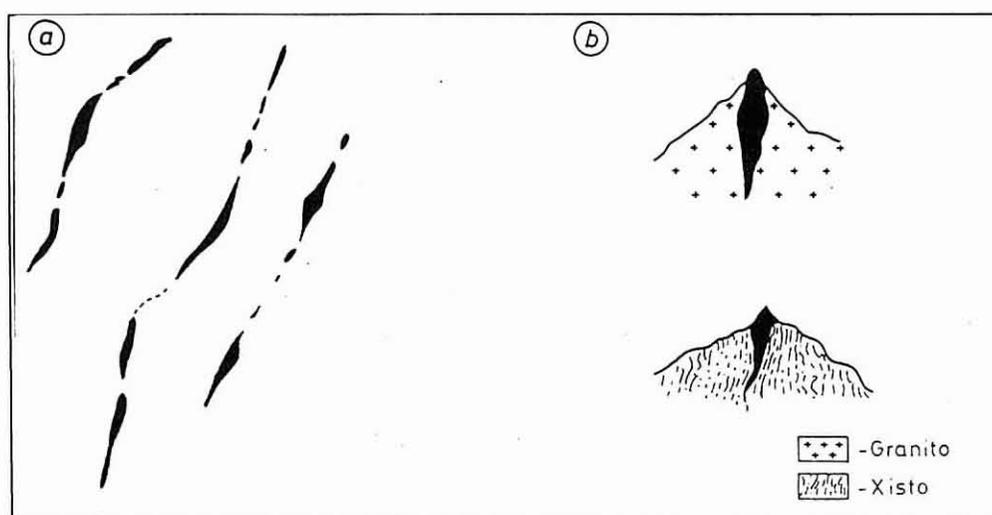


Figura 3 - a) Representação em planta de filões de quartzo hidrotermais ; b) perfis transversais de filões de quartzo hidrotermais (Gomes, Celso de Sousa Figueiredo - Minerais Industriais: matérias primas cerâmicas. Aveiro, INIC, 1990)

A orientação preferencial dos filões quartzosos hidrotermais é NE-SW ou NNE-SSW e, mais raramente, N-S ou NW-SE, como se pode constatar pela observação da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:500.000.

A maior ocorrência dos filões quartzosos hidrotermais verifica-se no interior dos maciços graníticos do Norte e das Beiras, ou no contacto destes com formações metasedimentares, apenas raramente se verifica a sua presença a distâncias consideráveis de maciços graníticos aflorantes.

Os filões de quartzo de origem hidrotermal ou metassomática podem possuir uma estrutura zonada, onde se pode encontrar quartzo de várias gerações. Os depósitos filoneanos hidrotermais podem dividir-se em dois tipos fundamentais: brechóides e não brechóides.

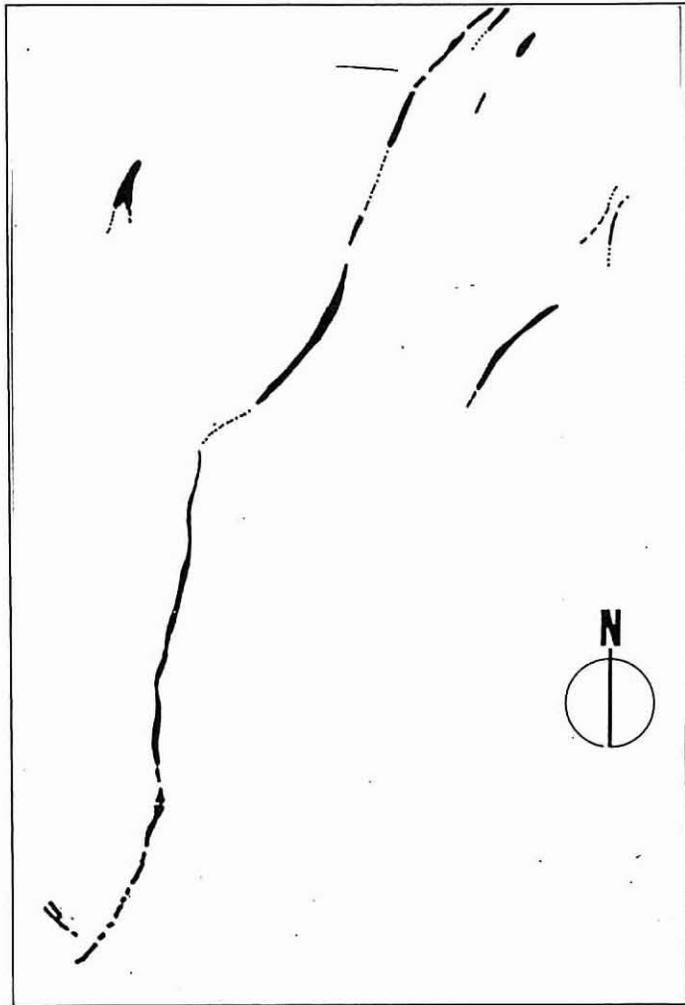


Figura 4 - Morfologia (em planta) dos filões de quartzo hidrotermal do tipo brechoide, aflorantes na região de Chaves (Ramos, J. M. Farinha; Oliveira, J. M. Santos - O feldspato e o quartzo como matérias primas na indústria, "Bol. Minas", Lisboa 17 (1) Jan./Mar., 1980)

Os filões do tipo brechóide surgem instalados em fracturas que sofreram reajustamentos tectónicos sucessivos, com movimentações e consequentes injeções de sílica que provocam a fragmentação do preenchimento quartzoso inicial e das paredes da rocha encaixante (*figuras 4 e 5*).

Ora, todo este processo vai permitir a entrada desses materiais nas fracturas e a cimentação por sílica, o que explica a fraca qualidade do quartzo deste tipo quando utilizado como matéria-prima.

Os filões de quartzo do tipo não brechóide estão de igual modo instalados em fracturas, só que estas fracturas não foram afectadas por movimentações posteriores sensíveis, daí que este mineral habitualmente se apresente bastante homogéneo e com um grau de pureza bem mais elevado.

A geração mais antiga apresenta-se com grão grosseiro e geralmente contém algumas inclusões. A geração mais recente é de grão fino e apresenta maior pureza, sendo constituída por cristais que se formam em cavidades.

O “encosto” destes veios sofreu normalmente lixiviação, sericitização ou cloritização, e a dimensão das cavidades que contêm cristais de quartzo é directamente proporcional à intensidade de alteração das rochas do “encosto”.

De um modo geral, quanto mais clorite existe no filão, mais puro é o quartzo que ele contém.

Filões hidrotermais que foram metamorfisados ou segregados de rochas regionais, durante o metamorfismo regional, tendem a não apresentar inclusões fluídas e, portanto, a aumentar a quantidade do tipo de quartzo de boa fusibilidade.

Contudo, o quartzo destes veios é geralmente de qualidade inferior, algumas vezes com baixo teor de sílica e alta percentagem de alumina e óxidos de ferro.

Em contraste, o quartzo dos veios não brechiformes é de melhor qualidade, mas a extensão e espessura com que ocorrem são geralmente reduzidas, apresentando pequenas reservas.

Em ambos os casos, a profundidade da ocorrência é normalmente pequena, raramente atingindo os 40 ou 50 metros; no caso dos filões pode verificar-se que em profundidade tendem a ser lenticulares, dependendo as reservas existentes do nível de erosão atingido.

Os filões de quartzo podem, frequentemente, ocorrer em extensões da ordem da dezena de quilómetros, e apresentar possanças que pontualmente chegam a atingir cerca de 50 metros.

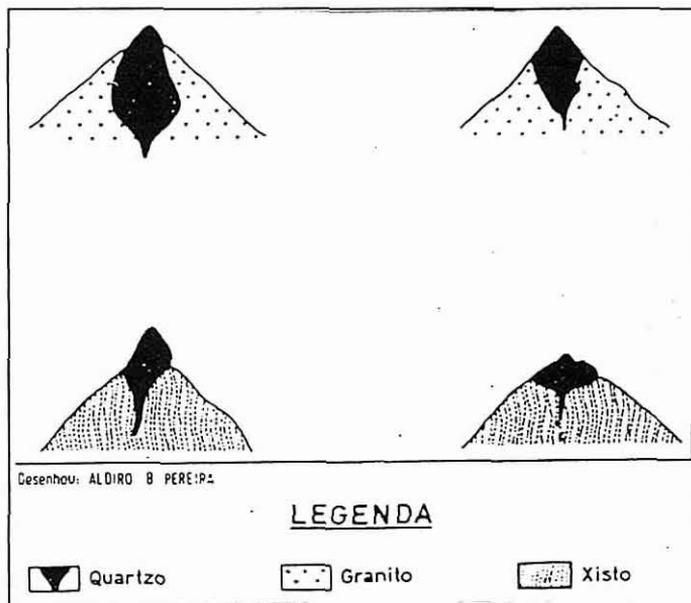


Figura 5 - Aspectos (em perfil transversal) de alguns filões de quartzo hidrotermal do tipo brechoide (Ramos, J. M. Farinha; Oliveira, J. M. Santos - O feldspato e o quartzo como matérias primas na indústria, "Bol. Minas", Lisboa 17 (1) Jan./Mar., 1980)

Os filões hidrotermais, quando do tipo brechóide, apresentam-se constituídos por quartzo leitoso, podendo eventualmente conter geodes de cristais hialinos ou de tom levemente ametista, para além de feldspato, em regra caulinizado, e óxidos de ferro em percentagens variadas.

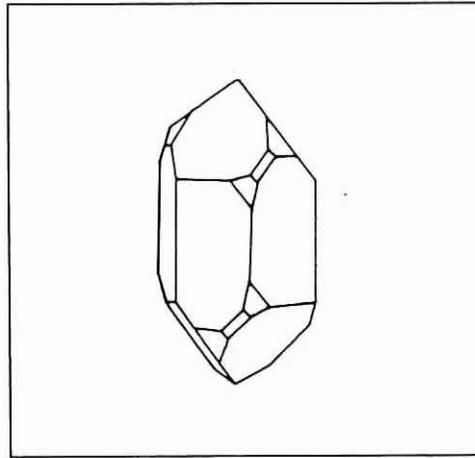
Os filões de quartzo hidrotermal do tipo não brechóide que afloram nas proximidades do contacto entre granitos e xistos encaixantes, encontram-se

frequentemente mineralizados de cassiterite, volframite e/ou sulfuretos, podendo também apresentar-se preenchidos apenas por quartzo de boa qualidade.

Geralmente os filões deste tipo apresentam-se muito limitados em termos de reservas, dado que são estreitos e sem grande continuidade.

1.2 CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS

O quartzo depois do feldspato é o segundo mineral mais abundante da crosta terrestre e a composição química é expressa por SiO_2 . Cristaliza na classe 32 ou trapezoédrica do sistema trigonal. Os cristais euédricos de quartzo (figura 6) são muito raros e apenas ocorrem em pegmatitos e veios ou filões.



*Figura 6- Cristal euédrico de quartzo (Gomes, Celso de Sousa Figueiredo - *Minerais Industriais: matérias primas cerâmicas*. Aveiro, INIC, 1990)*

Quando proveniente de depósitos arenosos a forma dos cristais de quartzo é irregular e angulosa, ocorrendo quer em cristais isolados quer formando agregados.

Os cristais são geralmente transparentes ou hialinos, brancos ou branco leitoso. Como impurezas químicas apontam-se o ferro, o manganês e titânio que conferem ao quartzo cor amarela, rosa violácea, cinzenta ou preta.

Propriedades como a transparência (importante na porcelana) poder fundente e velocidade de dissolução na cozedura (importante nas misturas cerâmicas) são função das diferentes origem do quartzo, as quais podem ser:

pegmatito, veio ou filão, areia fluvial, areia marinha, areia eólica, resíduo arenoso da lavagem do granito, quartzito, cherte, sílex e lidito.

A estrutura do quartzo é formada por átomos de Si em coordenação 4 com átomos de oxigénio. O tetraedro SiO_4 é a unidade básica da estrutura do quartzo e dos outros polimorfos da sílica, tais como a cristobalite e tridimite que também têm interesse em cerâmica (figura 7).

Cada oxigénio dum tetraedro está ligado a outro oxigénio de tetraedros vizinhos. A estrutura das ligações é função do tipo de polimorfo.

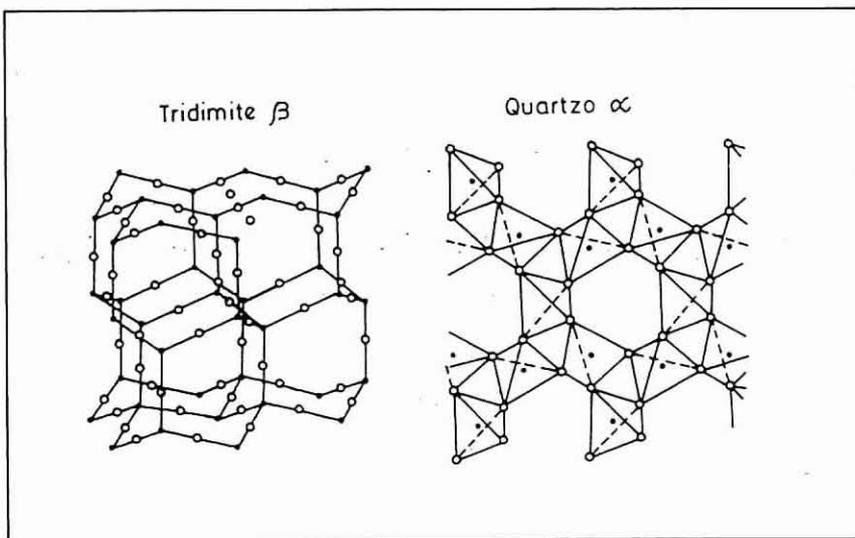


Figura 7- Estruturas cristalinas do quartzo α e da tridimite β (Gomes, Celso de Sousa Figueiredo - *Minerais Industriais: matérias primas cerâmicas*. Aveiro, INIC, 1990)

No quartzo as ligações Si-O-Si que ligam os tetraedros vizinhos não formam linha recta, mas apresentam deformações de modo a produzirem cadeias em espiral ligadas entre si por átomos de Si comuns.

Na cristobalite e na tridimite os tetraedros SiO_4 estão ligados de modo a formar anéis, cada um com seis Si e seis O, dispostos em planos ligados entre si por átomos de O, que fazem a ponte. Contudo os anéis são mais distorcidos na cristobalite que na tridimite.

Assiste-se a fenómenos de dilatação contracção térmica nas transformações de sílica cristalina durante o aquecimento (*figura 8*).

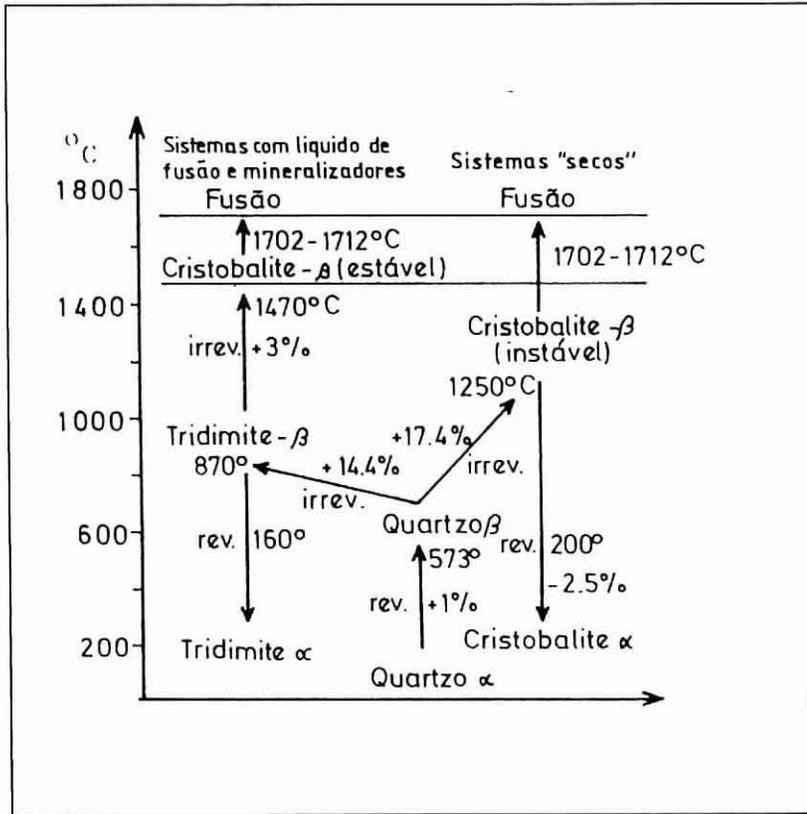


Figura 8 - Variações de fase e de dilatação - contracção térmica da sílica (SiO₂) quando aquecida - arrefecida (Gomes, Celso de Sousa Figueiredo - Minerais Industriais: matérias primas cerâmicas. Aveiro, INIC, 1990)

A temperatura de inversão para o quartzo puro, isto é, a transformação quartzo α (trigonal) - quartzo β (hexagonal) verifica-se a 573°C, à pressão normal. As temperaturas correspondentes a outras transformações polimórficas, também á pressão normal, estão representadas na figura 9 onde se evidencia o diagrama P-T da sílica

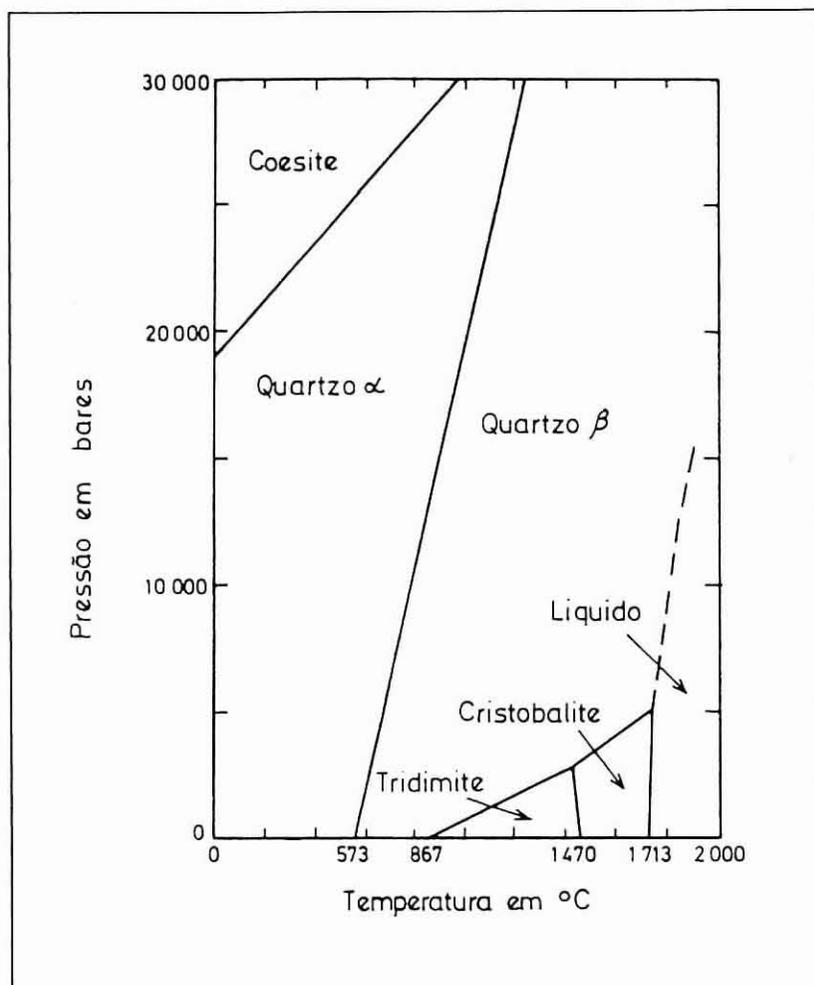


Figura 9 - Diagrama P - T da sílica (Gomes, Celso de Sousa Figueiredo - *Minerais Industriais: matérias primas cerâmicas*. Aveiro, INIC, 1990)

Para o quartzo utilizado em cerâmica, proveniente de filão e de areia, de quartzito e cherte, apontam-se no Quadro I as respectivas características químicas:

*QUADRO I - Características químicas de quartzo de filão, de areia, de quartzito e de cherte, utilizado em cerâmica (Gomes, Celso de Sousa Figueiredo - *Minerais Industriais: matérias primas cerâmicas. Aveiro, INIC, 1990*).*

	FILÃO	AREIA	QUARTZITO	CHERTE
SiO ₂	99.70	99.15	96.71	98.91
TiO ₂	traços	0.07	n.d.	0.005
Al ₂ O ₃	0.10	0.20	1.71	0.14
Fe ₂ O ₃	0.01	0.10	0.17	0.14
MgO	0.01	0.02	0.05	0.02
CaO	0.03	0.08	traços	0.04
Na ₂ O	0.01	0.15	0.34	traços
K ₂ O	0.01	0.10		traços
P.R.	0.16	0.12	n.d.	0.45
Total	100.03	99.99	98.98	99.705

1.3 OCORRÊNCIAS GEOLÓGICAS EM PORTUGAL, RESERVAS, PRODUÇÕES E MERCADOS

Tal como se pôde observar na figura 2, as zonas de ocorrência dos depósitos pegmatíticos localizam-se ao longo da faixa granítica do noroeste da Península Ibérica, passando pelas áreas de Viana do Castelo, Braga, Vila Real, Viseu, Guarda e penetrando em Espanha. No sul do país, a única zona de ocorrência situa-se na área de Évora.

É um facto conhecido, que Portugal é um produtor europeu de quartzo de alta qualidade. Assistiu-se a partir de 1978 a um ligeiro aumento da produção de quartzo ($\pm 4,5\%$ / ano) acompanhado de uma diminuição do número de minas em actividade que ficou reduzida, em 1980, a cerca de metade do respeitante a 1978.

As principais minas produtoras, todas com uma produção unitária superior a 6 500 tons, encontram-se indicadas no Quadro II, referentes ao ano de 1980.

QUADRO II - Produções relativas das principais minas produtoras de quartzo (Pereira, Alcides Rodrigues - Industria extractiva: situação actual e perspectivas de desenvolvimento. "Bol. Minas, 18 (3) Jul./Set. 1981)

Santa Luzia (Viseu)	44,0%
Sítio do Castelo (Guarda)	12,8%
Mata da Lapeira (Braga)	12,7%
Ribeira de Sendão (Braga)	4,9%
Seixos Alvos nº2 (Viseu)	4,9%
Total	79,3%

A quase totalidade dos quartzos consumidos pela indústria nacional pertencem aos tipos I e II, estabelecidos função das especificações químicas constantes no Quadro III.

QUADRO III - Tipos de quartzo estabelecidos função das especificações químicas (Pereira, Alcides Rodrigues - Indústria extractiva: situação actual e perspectivas de desenvolvimento. "Bol. Minas, 18 (3) Jul./Set. 1981)

	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO
Tipo I	≥ 99,5	≤ 0,10	≤ 0,20	≤ 0,10
Tipo II	≥ 98,5	≤ 0,10	0,20-0,50	≤ 0,10

Constata-se ainda a existência de grandes reservas de quartzo com teores de sílica ligeiramente inferiores a 97,5%, e de alumina situados no intervalo 0,20-0,50.

Assim, deverá estudar-se a possibilidade de introdução deste último tipo de quartzo em certas indústrias por forma a rentabilizar as reservas existentes, isto se for possível o uso do quartzo em causa nas unidades electrometalúrgicas, libertando as melhores qualidades para fins mais nobres que o citado.

Durante muitos anos Portugal exportou grandes quantidades de quartzo de 2ª qualidade para os países escandinavos e Itália, especialmente para a produção de silício metal e ferro-silício.

Contudo, no início da década de 70 (por volta de 1972), a indústria portuguesa de silício metal registou um crescimento substancial em termos de capacidade. O mercado nacional absorvia praticamente toda a produção e houve mesmo necessidade de definir novas reservas.

Entre 1972 e 1975 registou-se uma descida de 43%, na produção de quartzo, passando-se de 161 000 toneladas para 92 000 toneladas. Desde então, a produção de 1972 nunca mais foi atingida, embora se notasse novamente uma ligeira subida por volta dos anos de 1979/1980, todavia insuficiente para que a produção em 1979 não ultrapassasse as 130 000 toneladas.

A produção de quartzo, desde 1985-1986 sofreu um decréscimo acentuado, cifrando-se em 1994 em cerca de 14 000 toneladas.

Esta subida deveu-se, em parte a uma resolução governamental de 1978 que condicionou as exportações de quartzo, ocasionando assim um decréscimo acentuado das exportações e a expansão da indústria portuguesa de Si e Fe-Si.

Nesse mesmo ano, havia dez empresas produtoras de quartzo. A produção nacional de Si e Fe-Si, destinava-se a duas empresas associadas, a Companhia de Fornos Eléctricos SARL (os dois produtos), situada em Canas de Senhorim e a MILNORTE-Metalúrgica do Norte SARL (só silício), situada em Vila Real.

Ambas as empresas estão actualmente fora de laboração pela perda de competitividade, ocasionada pelo elevado custo de produção, consequência do elevado custo da energia eléctrica.

No Quadro IV consta a produção nacional de quartzo verificada no período 1970-1995.

QUADRO IV - Produção de quartzo entre 1970 e 1995 (Boletim de Minas
1970-1996)

ANO	TONELADAS	ANO	TONELADAS
1970	144 000	1983	129 210
1971	158 200	1984	125 142
1972	169 800	1985	135 228
1973	163 300	1986	71 817
1974	141 300	1987	11 050
1975	101 400	1988	10 971
1976	101 700	1989	4 720
1977	116 000	1990	5 675
1978	122 200	1991	6 928
1979	130 300	1992	8 190
1980	132 500	1993	9 745
1981	120 850	1994	14 188
1982	135 100	1995	28335

Deve referir-se que a produção de quartzo em Portugal foi sempre suficiente para responder às necessidades dos mercados nacionais.

Actualmente, e passados cerca de dez anos sobre o encerramento das unidades electrometalúrgicas, verifica-se uma franca reanimação do mercado do quartzo, fundamentalmente para a produção de Fe-Si e Si, assistindo-se a exportações anuais de 20 000 a 30 000 toneladas de quartzo de qualidade, com acentuada tendência de crescimento ao longo dos próximos anos.

Esta situação veio despoletar a formação de novas empresas, de produção e comercialização do quartzo, assim como, imprimiu uma nova dinâmica às empresas produtoras já existentes, cuja actividade havia baixado substancialmente, senão mesmo parado.

Trata-se, portanto, de uma forte recuperação do mercado do quartzo, assinalando o reinício de um novo ciclo de grande dinamismo, que se fica a dever fundamentalmente ao elevado grau de qualidade dos depósitos de quartzo existentes e a uma boa relação qualidade/preço, o que vai de encontro à crescente procura a nível mundial, por parte dos principais produtores de Fe-Si e Si, de quartzo de boa qualidade.

1.4 RECONHECIMENTO E PESQUISA

A pesquisa dos depósitos de quartzo dos tipos pegmatítico e filoneano é inicialmente orientada pelo conhecimento geológico das formações com aptidão para conter rochas quartzosas de razoável qualidade, após o que se segue o reconhecimento geológico e a cartografia das áreas onde é conhecida a presença dessas formações.

Em Portugal, a prospecção dos depósitos não aflorantes (ou mal aflorantes) deve ser incrementada, uma vez que a maioria dos depósitos pegmatíticos aflorantes estão já detectados.

Novos depósitos só poderão ser detectados e evidenciados através da utilização de métodos indirectos de prospecção e/ou sondagens em áreas previamente consideradas favoráveis.

A prospecção de depósitos não aflorantes, pegmatíticos e hidrotermais, reveste-se de particular dificuldade, dado que ocorrem em zonas graníticas e daí resulta uma semelhança de rochas sob os pontos de vista químico e mineralógico, logo com um contraste mínimo que não permite a melhor aplicação dos métodos indirectos de prospecção.

Assim, entende-se ser necessário para a prospecção deste tipo de depósitos, a aplicação de métodos conjugados de natureza geológica, geoquímica e geofísica, cuja aplicação sucessiva e integrada pode constituir uma boa contribuição para a descoberta dos depósitos pegmatíticos, e até filoneanos, que não sejam bem evidentes à superfície.

Uma possível metodologia para a prospecção destes tipos de depósitos, para além da aplicação integrada dos métodos já referidos, consiste na aplicação da prospecção geológica com o objectivo de definição de áreas potenciais dentro dos maciços graníticos.

As áreas particularmente importantes são as que evidenciam as características que a seguir se apontam:

- Afloramentos de maciços graníticos tardi a pós-tectónicos, de grão médio a grosseiro, com fenocristais.
- Zonas de cisalhamento ou intersecção de grandes alinhamentos estruturais.
- Zonas onde se evidenciam acções metassomáticas (sericitização, caulínização, albitização, silicificação, turmalinização, greizenização).
- Apófises ou filonetes pegmatíticos constituindo redes mais ou menos apertadas (áreas graníticas que apresentam efeitos de intensas acções metassomáticas).

Todas as etapas referidas deverão ter como apoio, entre outros, cartografia geológica e fotointerpretação.

Após selecção das áreas de interesse, e depois da análise convergente dos métodos de prospecção geológica de pormenor, geoquímica e geofísica, deverá ser possível definir eventuais anomalias, que conduzirão à descoberta de depósitos não aflorantes.

Os métodos geoquímicos podem fornecer resultados positivos através da definição, quando possível, de anomalias geoquímicas no local e na vizinhança

dos depósitos, embora apresentem limitações, como sejam a pouca diferenciação das ocorrências geológicas e a profundidade, que não poderá ser excessiva.

A prospecção terá sempre um carácter litogeoquímico, apoiada na colheita de amostras de litotipos (essencialmente rochas e solos) nas áreas definidas como tendo maior potencial, com uma malha regular e adequada.

Deste modo são obtidos os teores dos elementos, variâncias estatísticas correspondentes à distribuição dos elementos, relações inter-elementos ou ainda relações multiplicativas ou aditivas entre grupos de elementos.

O método da resistividade eléctrica pode fornecer boas indicações, pois a intrusão de um corpo pegmatítico origina geralmente uma alteração metassomática mais ou menos marcante no granito encaixante.

O tipo de intrusão referido ocasiona transformações mineralógicas, tal como a caulinição (provoca baixa resistividade eléctrica). Também, como nos pegmatitos zonados que frequentemente apresentam um núcleo de quartzo bem desenvolvido, se verificam picos de resistividade, cujos valores no quartzo são bem superiores aos dos restantes minerais presentes.

De aplicação mais discutível, surge a prospecção magnética, uma vez que entre o pegmatito e o granito encaixante não se observam diferenças notórias de campo magnético, exceptuando a zona de parede de alguns pegmatitos, onde se encontra maior número de minerais magnéticos.

A avaliação do potencial económico requer normalmente sondagem e amostragem para estabelecer a extensão e reservas da pedra com qualidade.

A perfuração com percussão nem sempre é adequada, porque as propriedades físicas da pedra são tão importantes, ou mais importantes, que a respectiva pureza química. Contudo, podem fornecer algumas informações

relativamente á pureza química mas, tal como se referiu são inadequadas para testes de medida de algumas das propriedades físicas.

Problemas respeitantes à fraca recuperação de amostras surgem normalmente quando a perfuração é realizada em ângulos entre a horizontal e a vertical, assim como quando a rocha siliciosa é altamente fracturada, diaclasada ou friável.

A perfuração poderá mesmo ser impraticável, quando se trate de seixo silicioso presente em sedimentos não consolidados ou quando as rochas que constituem quer o tecto quer o muro do filão de quartzo estão profundamente alteradas.

Nas situações referidas, a solução adoptada consiste na escavação de valas ou sanjas com auxílio de meios de escavação mecânica, a que se deve seguir a amostragem do material pretendido. O material escavado deverá ser lavado e crivado no intuito de se determinar o teor de produto por m³ escavado.

1.5 EXTRACÇÃO MINEIRA

Devido à natureza das formações nas quais o quartzo ocorre (geralmente nos extremos das massas ou formações lenticulares, como foi referido), a exploração é sempre realizada a céu aberto.

As frentes são geralmente baixas (na ordem das poucas dezenas de metros) e de pequena extensão, razão pela qual estes depósitos apenas permitem minas em pequena escala.

Normalmente são utilizados equipamentos de perfuração pneumática, explosivos e cápsulas convencionais.

Também o método de rebentamento alternativo é frequentemente usado, com rebentamento inicial no quartzo e seguidamente na zona do feldspato, permitindo assim um método de extracção selectivo.

Numa mina de dimensão média, o que em Portugal significa uma produção entre 400 a 800 toneladas/mês de quartzo, o equipamento consiste num compressor, equipamento de perfuração, escavadora frontal e/ou retroescavadora, dumpers e/ou camiões, conforme representam as figuras 10, 11, 12, 13, 14 e 15, respectivamente.



Figura 10 - Compressor portátil (Atlas Copco: catálogo).

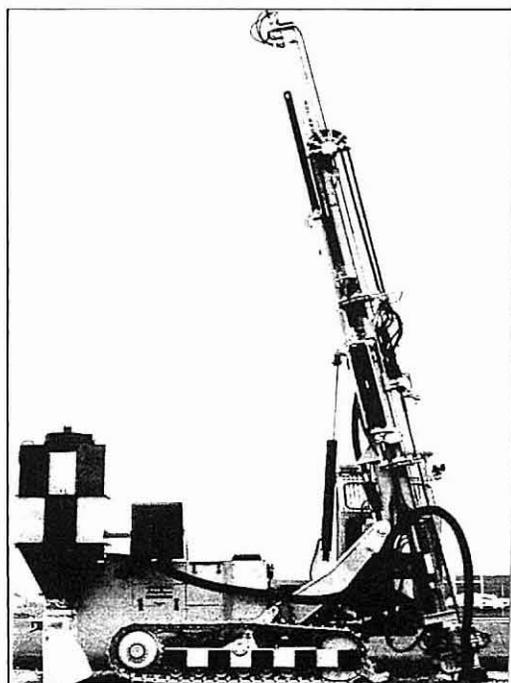


Figura 11 - Equipamento de perfuração (Atlas Copco: catálogo)

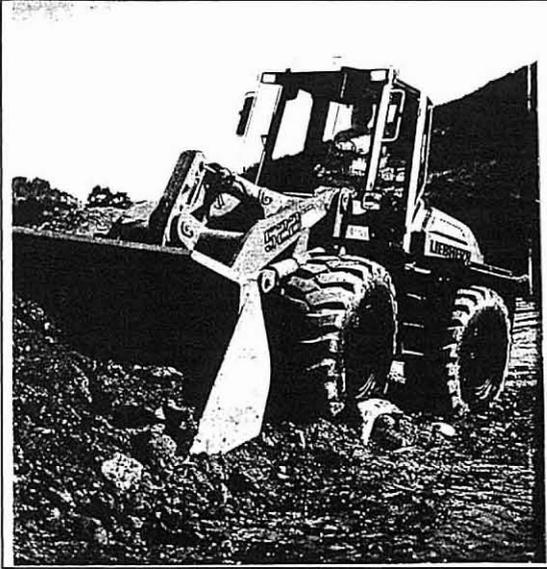


Figura 12 - Escavadora frontal de carga (Liebherr: catálogo).

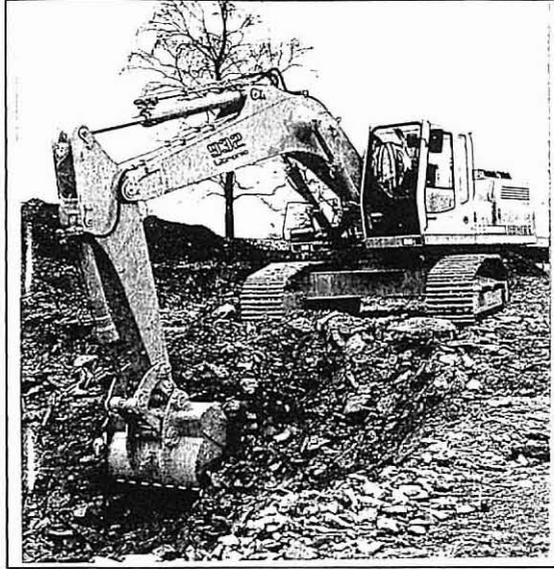


Figura 13 - Retroescavadora (Liebherr: catálogo).

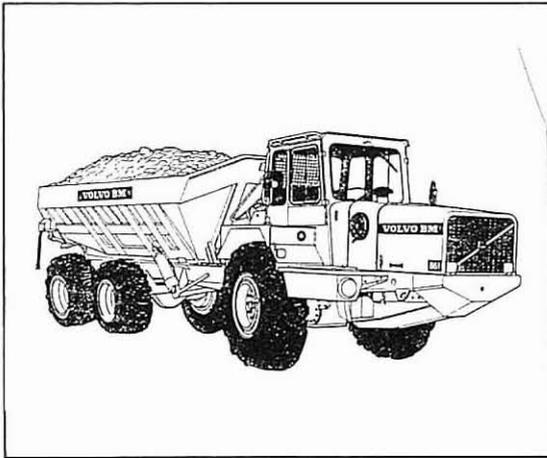


Figura 14 - Dumper (Volvo BM: catálogo).



Figura 15 - Camião.

Provavelmente porque as dimensões dos depósitos não encorajam grandes investimentos ou devido ao conceito conservativo dos métodos, de facto nas explorações mineiras de quartzo/feldspato não está divulgado o uso de perfuradoras para maiores profundidades assim como o uso de ANFO (explosivo formado pela mistura de nitrato de amónia e gasóleo, como alternativa aos explosivos tradicionais) ou tiro eléctrico, etc.

A maior componente dos custos de extracção de quartzo assenta na mão-de-obra utilizada nas operações mineiras.

Em Portugal, numa mina de quartzo de média dimensão, os custos de mão-de-obra chegam a atingir cerca de 50 a 60% dos custos totais, como consequência, em geral, das características dos depósitos pegmatíticos portugueses.

Também, mesmo tendo em conta um certo grau de selectividade na operação mineira, assim como uma razoável diferenciação entre quartzo, feldspato e presença de mica, etc., impõe-se uma operação de selecção que, em Portugal, ainda actualmente constitui uma tarefa 100% manual.

Estas operações não consistem apenas na separação do quartzo e feldspato. Elas são bem mais selectivas pois permitem a separação do produto em diferentes qualidades tais como:

- Quartzo de 1ª qualidade
- Quartzo de 2ª qualidade
- Feldspato potássico de 1ª e 2ª qualidades
- Feldspato sódico

1.6 REFINAÇÃO E BENEFICIAÇÃO DO QUARTZO DE FILÃO E DE PEGMATITO

Após a selecção do quartzo com as características químicas pretendidas e após o desmonte na mina, impõe-se dotá-lo das características granulométricas necessárias às diferentes aplicações industriais.

Ora, como do desmonte em mina se obtém quartzo cuja dimensão varia de escassos centímetros a blocos que podem atingir cerca de 100 cm, tornam-se necessárias operações de britagem e de classificação.

Assim, a primeira britagem, denominada primária, é realizada imediatamente sobre o minério em bruto, tal qual foi extraído da mina, em cujo desmonte deverá ter sido considerada a dimensão dos blocos a obter, por forma a permitir um transporte fácil e, também, a entrada na abertura de alimentação do primeiro britador.

De um modo geral, com a britagem pretende-se levar os blocos de minério extraído a dimensões de britas, aptas a poderem submeter-se a subsequentes estágios de trituração, ter uma utilização imediata ou permitir que sobre elas sejam praticadas operações de concentração.

Exceptuando os casos de fragmentações de grandes blocos por meio de explosivos (“block holling”) e as britagens manuais (com auxílio de marretas ou martelos demolidores sobre blocos isolados com dimensão superior à entrada do primeiro triturador) elas são realizadas mecanicamente em britadores.

Independentemente do tipo de britador, o trabalho de trituração é semelhante em todos eles, consistindo no esmagamento por compressão dos fragmentos entre duas peças, uma das quais fixa e outra móvel.

Como critérios decisivos de selecção do tipo de britadores a utilizar, apontam-se as dimensões dos produtos a britar e a amplitude do movimento das peças fragmentadoras na zona de descarga, tendo também em conta a capacidade requerida, a plasticidade do material ou a sua aptidão a provocar engasgamentos durante a trituração.

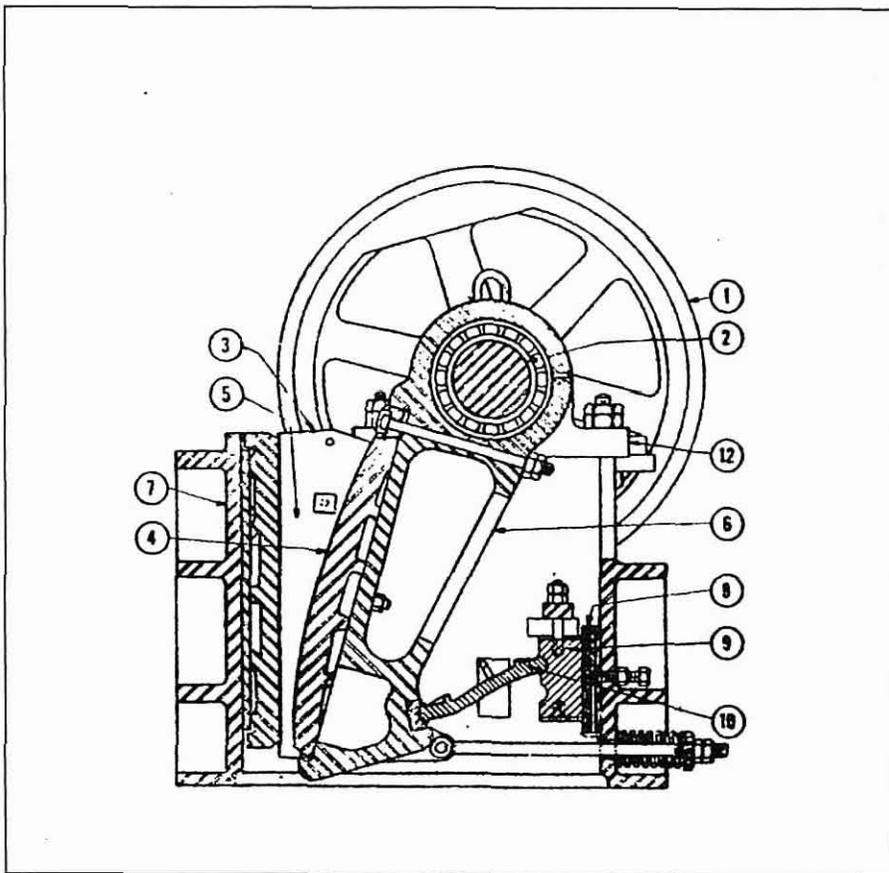


Figura 16 - Representação, em corte, de um dos tipos de britador utilizado em instalações de britagem de quartzo (Cerveira, Aberto de Morais -Preparação de minérios. Porto, FEUP,1974).

Quanto á operação de classificação, esta realiza-se com o intuito de conduzir à divisão de um conjunto de partículas em lotes, por forma a garantir

que os produtos obtidos de cada um dos lotes a formar possuam características granulométricas comuns.

Embora possa parecer que não se trata de uma operação com importância, por não apresentar uma localização rígida nos diagramas de tratamento, a classificação deve ser considerada como uma operação primordial da preparação de minérios, pois desempenha funções principais na beneficiação de alguns minerais.

A classificação por calibragem, estabelecida com base num critério geométrico efectua-se através do lançamento do produto a classificar sobre uma superfície provida de orifícios de dimensões e forma conhecidas, de molde a produzir lotes caracterizados por possuírem partículas cujo calibre se situa entre o valor das aberturas da superfície que atravessam e o valor das aberturas da superfície que as reteve.

Na figura 17 é representado um classificador geométrico (crivo vibratório), utilizado industrialmente no tratamento de minério quando se pretendem calibres de corte superiores a um milímetro.

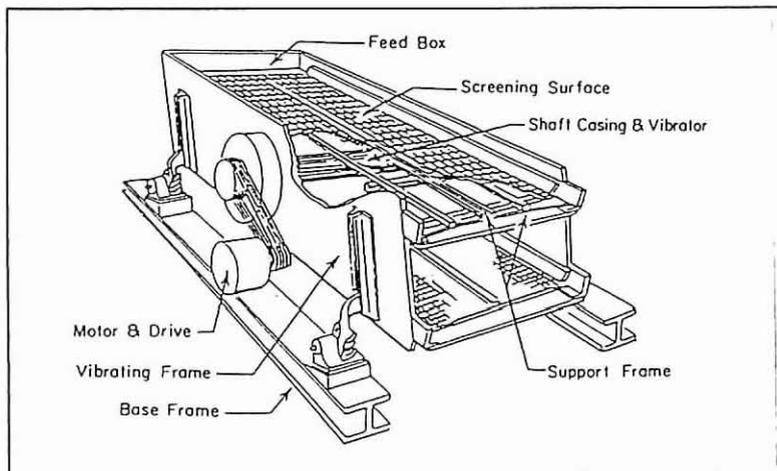


Figura 17 - Representação de um dos tipos de crivo vibratório utilizado em instalações de britagem de quartzo (Weiss, S. - S.M.E. Mineral Processing Handbook).

A figura seguinte representa uma proposta de diagrama de britagem de quartzo, par fins metalúrgicos (produção de Si ou Fe-Si).

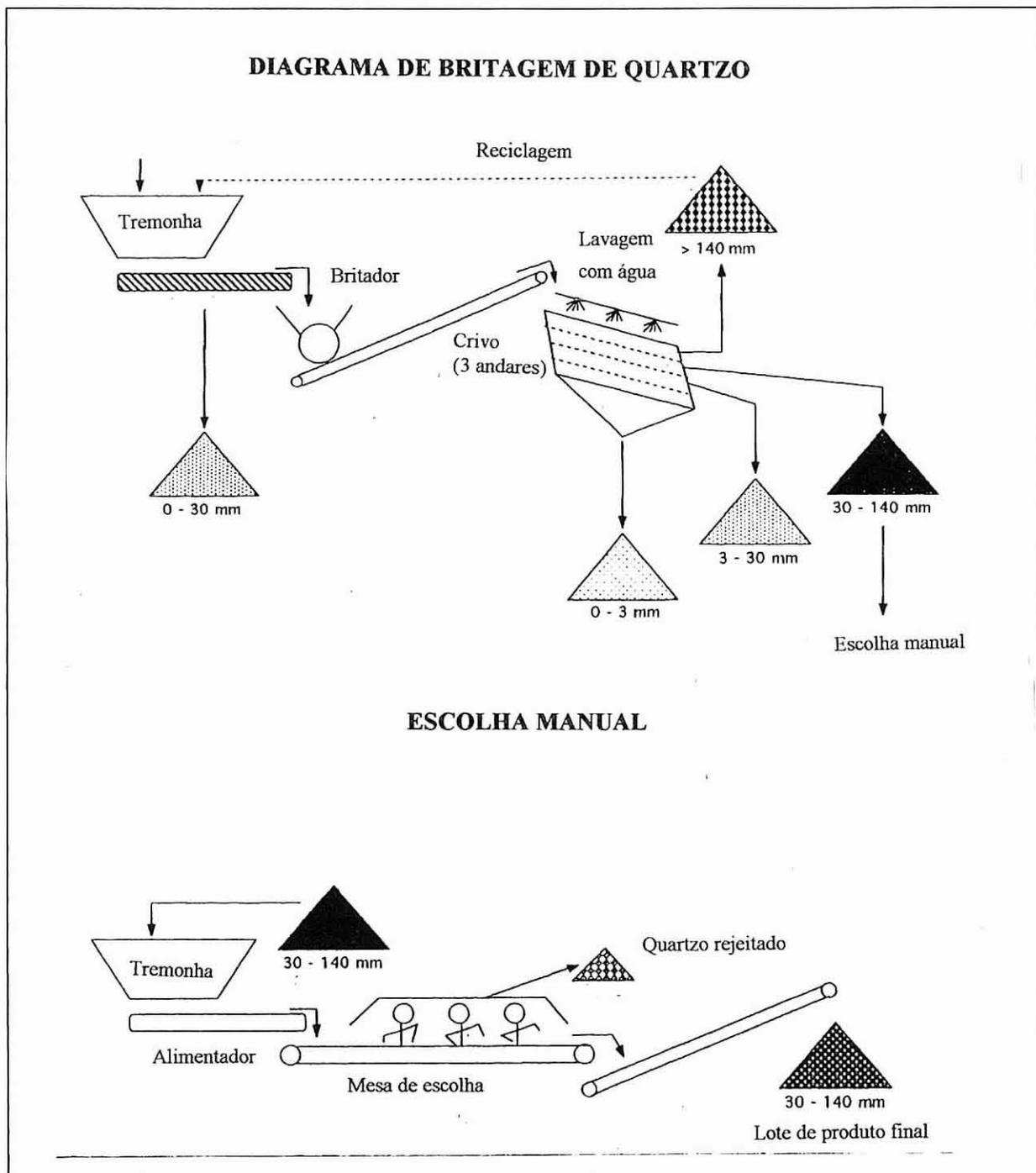


Figura 18 - Representação de diagrama de britagem de quartzo para fins metalúrgicos.

O objectivo principal da beneficiação, quando se trata de quartzo do tipo cristal de rocha, consiste na obtenção de um elevado grau de pureza, com valores de SiO_2 , Fe total e Al_2O_3 no ordem de 99,9%, 0,001% e 0,01%, respectivamente.

Este objectivo é alcançado quando os cristais individuais de quartzo são aparados manualmente, com o intuito de remover as capas exteriores onde normalmente se encontram alojadas a grande maioria das impurezas.

Em seguida, na respectiva cominuição evita-se a contaminação com metais (de placas de britadores, placas de revestimentos, barras, bolas, etc.) dos equipamentos habitualmente empregues (por exemplo, moínhos), e calcina-se o quartzo a $900/1000^\circ\text{C}$, introduzindo-o seguidamente em água fria.

Este procedimento leva os cristais de quartzo a reduzirem-se à dimensão de um grão de areia, que será em seguida fundido. O quartzo de filão ou de pegmatito tem a composição média constante no Quadro V.

QUADRO V - Composição química média do quartzo de filão e pegmatito

SiO_2	99,5%
Al_2O_3	0,2%
Fe total	0,01%

O quartzo é moído em moinho de maxilas, crivado e tratado quimicamente com ácido clorídrico. Depois de retirada a solução sobrenadante, o quartzo é seco e limpo de minerais ferrosos presentes através de separação magnética. Finalmente o quartzo é moído a calibre inferior a 0,25 mm, podendo atingir a composição média constante no Quadro VI:

QUADRO VI - Composição química média do quartzo obtido por separação magnética

SiO ₂	99,7%
Al ₂ O ₃	0,2%
Fe total	0,0015%
Na ₂ O	0,02%
K ₂ O	0,02%

2. QUARTZO CRISTAL SINTÉTICO

O processo de fabrico de quartzo sintético utiliza o crescimento hidrotermal, assim designado porque utiliza uma solução aquosa a alta temperatura e é similar á acção hidrotermal que origina a formação de depósitos minerais quartzosos que ocorrem na crosta terrestre.

O processo sintético consiste basicamente num recipiente vertical de aço, com um manómetro de pressão, válvula de segurança, acoplamentos térmicos e uma fonte eléctrica de aquecimento.

O recipiente é cheio com:

1. material nutriente denominado “lascas” perfazendo até cerca de um $\frac{1}{4}$ do respectivo volume;
2. solução alcalina diluída até cerca de $\frac{3}{4}$ do volume do recipiente;
3. fileiras de placas activadoras ou de germinação.

O recipiente é fechado e levado a uma temperatura de 350° C produzindo assim uma elevada pressão. A fonte de aquecimento é ajustada por forma a possibilitar uma diferença de temperatura entre a área de dissolução e a área de deposição e crescimento.

As condições de temperatura e pressão são mantidas por um período de algumas semanas. O estado dos cristais em crescimento pode ser monitorado através do uso de radiografias com cobalto-60.

Para a quase totalidade do produto extraído em mina e fundido, os detalhes microscópicos e submicroscópicos não são de grande importância. Pelo contrário, o quartzo a aplicar em osciladores piezoelétricos deve ser isento de imperfeições, especialmente as que afectam a estrutura cristalina.

As imperfeições incluem retorcimentos, defeitos estruturais como deslocamentos, especialmente do tipo helicoidal, impurezas iónicas e inclusões microscópicas.

No caso do quartzo de cultura, os retorcimentos raramente se observam, desde que as placas activadoras sejam bem escolhidas.

No início do processo de crescimento dos cristais, quando a pressão do recipiente, a solução e o activador são submetidos a um acréscimo de temperatura, a solução alcalina provavelmente dissolve pequenos poros e tubos ao longo das linhas de deslocamento, tal como quando o crescimento se inicia, ainda com a abertura tapada, resultando uma bolha microscópica.

Se, em vez do processo continuar, o recipiente for arrefecido e aberto, as placas de activação exibirão marcas de orifícios com formas características e fornecem informação sobre a densidade de defeitos.

Estudos realizados com técnicas de espectrometria de Raios X (de cristal duplo) vieram explicar muitos dos defeitos estruturais. Esta técnica produz a topografia da estrutura interna e permite estabelecer a correlação entre defeitos na estrutura e outros, tais como impurezas de substituição.

Um defeito ocasionalmente verificado, especialmente no início de operações de crescimento menos controladas, consiste no aparecimento de partículas microscópicas brancas, identificadas como aglomerados de cristais de aegirite, $\text{NaFeSi}_2\text{O}_8$.

3. SILICAS SINTÉTICAS

Em alternativa às sílicas naturais a indústria pode utilizar sílicas sintéticas que podem ser amorfas e apresentar tamanho de grão controlado.

Estas sílicas distribuem-se em dois grupos, como a seguir se indica:

- sílica fumada e sílica pirogénica.
- sílica precipitada e sílica gel.

A sílica fumada prepara-se por hidrólise a alta temperatura de tetracloreto de silício em chama de hidrogénio e oxigénio, com formação de partículas esféricas de sílica com diâmetros compreendidos entre 7 e 20 μm , agrupadas em agregados e formando armações tridimensionais com consequente espessamento ou formação de gel e de propriedades tixotrópicas.

Relativamente à sílica pirogénica, esta é produzida através de um processo de arco eléctrico, utilizando quartzo e coque como cargas. Também neste caso, as sílicas pirogénicas mais importantes derivam do tetracloreto de silício.

A sílica precipitada e a sílica gel resultam da reacção entre ácido sulfúrico e silicato de sódio, com formação de um precipitado de sílica e solução de sulfato de sódio, no primeiro caso.

Quanto ao segundo caso, sílica gel, produz-se um hidrosol que depois passa a massa dura e translúcida de hidrogel, do qual o sulfato de sódio é

removido por lavagem, enquanto que o sulfato de sódio formado no primeiro caso é filtrado e lavado, e depois removido seco e pulverizado.

Na sílica gel, o hidrogel formado contém 30% de SiO_2 e 70% de H_2O , que é convertido em xenogel por secagem.

Como aplicações da sílica sintética, apresentam-se as indicadas no Quadro VII.

QUADRO VII - Aplicações da sílica sintética.

Sílica precipitada	<ul style="list-style-type: none"> • Cargas reforçadoras (ex.: borracha de calçado e pneu) • Extensores em tintas e plásticos, pastas dentífricas e isolantes
Sílica fumada	<ul style="list-style-type: none"> • Cargas reforçadoras (ex.: borracha de calçado e pneu) • Extensores em tintas e plásticos, pastas dentífricas e isolantes • Formulação de tintas de impressão, cosméticos e fármacos
Sílica gel	<ul style="list-style-type: none"> • Cromatografia (para separar líquidos) • Clarificação de cerveja • Dessecante de gases e líquidos

O quadro VIII refere as características químicas e propriedades específicas dos tipos de sílica sintética mencionados no quadro anterior.

QUADRO VIII - Características químicas e propriedades dos tipos de sílica sintética (Gomes, Celso de Sousa Figueiredo - *Minerais Industriais: matérias primas cerâmicas*. Aveiro, INIC, 1990).

	SÍLICA GEL	SÍLICA PRECIPITADA	SÍLICA FUMADA
SiO₂	99.5	98.0-99.5	99.0 (mín.)
Na₂O		0.2-1.0	<0.05
Al₂O₃			
CaO			
MgO			
Fe total	0.01	<0.03	<0.003
SO₃		0.1-0.8	
P.R.(perda ao rubro)	3-15	3-7	1-3
Superf. específica m²/g (BET)	250-850	25-300	50-400
Tamanho médio de partícula (μm)	5-20	5-60	5-50
Densidade	2.0	2.0	2.2
pH	3-8	5-9	3.6-4.3
Grau de brancura (%)	-	97	-

Da produção do mundo ocidental de sílicas sintéticas, na ordem das 650000 ton/ano, destacam-se principalmente as sílicas precipitadas.

*Aplicações tradicionais do quartzo
e respectivas especificações*

Capítulo 2

APLICAÇÕES TRADICIONAIS DO QUARTZO E RESPECTIVAS ESPECIFICAÇÕES

1. APLICAÇÕES TRADICIONAIS

A qualidade mais apurada, isenta de impurezas e totalmente incolor ou de cor branca, destina-se essencialmente à indústria óptica. É fornecida a granel, em pequenos blocos de dimensão à roda de 20 cm.

O quartzo de 1ª qualidade é exportado já britado para outras aplicações. A maior percentagem é exportada para Inglaterra, Irlanda, Bélgica e Holanda, onde o quartzo britado a diferentes calibres é usado para cobertura de placas, abrasivos, e painéis ornamentais para a construção.

Este quartzo é produzido em diferentes granulometrias, desde 0,3 mm a 50 mm e as dimensões menores (granulados) são consumidos nas indústrias do vidro, cerâmica, química e tintas.

O quartzo de 1ª qualidade é normalmente de cor branca ou rosa e de baixo teor em alumina e óxidos de ferro o que significa teores de Fe_2O_3 inferiores a 0,05% e de Al_2O_3 menores que 0,1%. Trata-se de uma matéria prima com qualidade aceitável para a indústria óptica, química, tintas, abrasivos e cerâmica.

O quartzo de 2ª qualidade é também de cor branca, algumas vezes acinzentado e pode comportar algumas impregnações de óxidos de ferro, que lhe conferem uma coloração acastanhada.

A sua introdução processa-se através das fracturas, depositando-se à superfície do quartzo, com formação de finas películas ou carapaças que chegam a atingir mais de um centímetro de espessura. O grau de fracturação do corpo pegmatítico afecta o interesse económico dos jazigos, pelo facto de facilitar a disseminação dos óxidos de ferro, de que pode resultar um grau de contaminação superior ao normalmente permitido.

Estas impregnações de óxidos de ferro, sob a forma de camadas finas superficiais, são frequentes nos depósitos pegmatíticos, contudo elas são normalmente eliminadas através da britagem e lavagem do material.

A alumina constitui uma das principais contaminações, resultando fundamentalmente da presença dos feldspatos e mica. A contaminação do quartzo é mais acentuada na zona intermédia devido à associação de quartzo-feldspato-mica.

O teor de Fe_2O_3 não é normalmente superior a 0,1% e a percentagem de alumina situa-se, em termos médios, entre 0,15% e 0,2%. Este tipo de quartzo é normalmente utilizado na indústria de silício metal.

O quartzo e matérias primas afins têm várias funções nas massas e produtos cerâmicos, tais como:

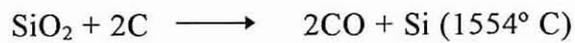
- carga
- agente refractário
- formador principal (ex: indústria do vidro)

Apontam-se como características típicas no quartzo para uso em metalurgia e óptica as constantes no Quadro IX

QUADRO IX - Características típicas do quartzo para metalurgia e óptica (Gomes, Celso de Sousa Figueiredo - *Minerais Industriais: matérias primas cerâmicas. Aveiro, INIC, 1990*)

	METALURGIA	ÓPTICA
SiO₂ (%)	> 99.4	> 99.6
Fe₂O₃ (%)	< 0.1	< 0.02
Al₂O₃ (%)	< 0.1 (no silício)	< 0.2
Al₂O₃ (%)	< 0.2 (no ferro-silício)	
CaO (%)	< 0.1	
K₂O+Na₂O (%)		< 0.01

O silício é produzido num forno de arco eléctrico submerso de 25 MVA de acordo com a reacção:



Como reacções secundárias são de considerar as seguintes:



Coque de petróleo, hulha, carvão vegetal ou estilha de madeira podem ser as fontes de carbono necessárias ao processo.

A indústria metalúrgica utiliza 80-90% do Si produzido sob as formas: Si, Fe-Si, Al-Si, Ca-Si. As indústrias química, electrónica e de energia solar são os outros utilizadores do silício.

A indústria electrónica consome cerca de 0,5% do silício produzido, mas os semicondutores exigem silício puro (teor em impurezas < 10 ppm).

2.ESPECIFICAÇÕES PARA AS DIFERENTES APLICAÇÕES

2.1 METALURGIA

Na produção de silíciometal, ferrosilício e haletos de silício as matérias primas usadas são quartzito britado, aglomerados de novaculite, quartzo arredondado, seixos de quartzito (de depósitos fluviais) e arenitos conglomeráticos, para forno eléctrico.

Muitos dos produtores preferem quartzito, ainda que os teores de Al_2O_3 e Fe_2O_3 tendam a ser mais elevados, isto porque o quartzo filoneano é mais quebradiço (frágil) e conseqüentemente gera excesso de finos durante o manuseamento.

O quartzo de veios também contém inclusões fluidas, o que provoca pequenas explosões quando submetido ás altas temperaturas dos fornos.

Para aplicações metalúrgicas a rocha siliciosa deve ser dura, não friável, deverá ter elevada resistência ao choque térmico e isento de finos quando é usado, não devendo também decrepitar ou fraccionar-se em finos quando aquecido.

Os finos não são admissíveis em fornos de arco eléctrico submerso porque reduzem a porosidade da carga eléctrica, o que provoca o bloqueio do fluxo de gases, assim como a fusão prematura e a formação de crosta, originando uma estruturação do gás e a produção de um sopro que desliga o forno.

Os referidos sopros são libertações súbitas de gás, que contêm CO e SiO, pelo que produzem uma perda de silício e conseqüente diminuição de eficiência.

Novaculite de elevada pureza também tem sido utilizada na produção de silíciometal e ferrosilício, mas os finos que gera, criam quando aquecidos uma espuma que se vai acumulando, obrigando ao fecho do forno para limpeza periódica, o que significa custos por paragem.

a) Os produtores de silíciometal pretendem quartzo ou quartzito com grão de diâmetro superior a 2,54 cm, com um ponto de amolecimento mínimo de 1700° C e que não decrepitem a temperaturas inferiores a 950° C.

As dimensões das pedras (“lumps”) devem situar-se entre 1,27 cm e 10,16 cm ou 12,7 cm de diâmetro médio.

A rocha deve conter pelo menos 98,5 ou 99% de SiO₂ (tipicamente de 99,3 a 99,8% de SiO₂) e valores de Fe₂O₃, Al₂O₃, CaO e MgO menores que 0,1%, 0,15%, 0,2% e 0,2%, respectivamente.

As perdas por ignição (P.R.) deverão ser inferiores a 0,2%, dado que este valor é directamente proporcional à tendência da rocha para decrepitar quando aquecida. O Fe₂O₃ e o CaO são impurezas especialmente críticas para as qualidades de silício metalúrgico.

Algumas qualidades de silíciometal requerem matérias primas com teores inferiores a: 0,05% de Fe₂O₃, 0,10% de Al₂O₃, 0,005% de CaO e 0,002% de TiO₂.

b) Os produtores de ferrosilício podem aceitar rocha siliciosa com dimensão entre 0,32 cm e 10,16 cm de diâmetro, com a dimensão a variar em proporção directa com o teor de silício do halogeneto a produzir.

A rocha deverá conter mais de 96% de SiO_2 , mas preferencialmente mais de 98%, Al_2O_3 menor que 0,4%, sendo usualmente menor que 0,25% e Fe_2O_3 menor que 0,2%.

A percentagem de Al_2O_3 presente influencia o consumo de energia eléctrica durante a fusão, o qual poderá atingir 40 a 45% dos custos de produção.

O teor de enxofre na rocha deverá ser muito baixo, mas o teor de fósforo pode atingir 0,1%. Os teores de ferro e carbono não são tão importantes quanto os teores de alumina, álcalis e metais terrosos alcalinos.

Alguns produtores nos EUA aceitam teores máximos de 0,03% de Fe_2O_3 , 0,20% de Al_2O_3 , 0,01% de CaO e 0,02% de TiO_2 .

c) Na produção de silício para a indústria química, a rocha siliciosa deve apresentar alta reactividade e baixo teor em alumina. A rocha não deve conter fósforo, enxofre ou arsénico como impurezas, as quais são particularmente indesejadas pelo facto de produzirem gases venenosos no forno.

Se a percentagem de TiO_2 presente for alta, torna-o impróprio para produção de silicões. Como características químicas do quartzo, necessárias à respectiva utilização na indústria química, indica-se: 99,0 % (mínimo) de SiO_2 ; 0,1% de Fe_2O_3 (máximo); 0,2% (máximo) de Al_2O_3 ; 0,1% de CaO (máximo); 0,1% MgO (máximo) e 0,02% (máximo) de TiO_2 .

d) A produção de silício manganês não obriga que a rocha siliciosa seja tão pura como nos casos anteriores (75% de Si, 35% de Mn).

e) Para produção de carboneto de silício coloca-se um leito de rocha siliciosa no fundo do forno, com diâmetro superior a 2,5 cm e inferior a 10 cm, através do qual o gás é extraído, filtrado e limpo.

Muito embora a rocha angular apresente maior superfície, as rochas arredondadas de rio são preferidas, pois permitem uma compactação solta, constituindo assim um leito mais permeável.

Como carga para alto forno e fornos de fornalha aberta utilizados no fabrico de aço são usados seixos de rio, crivados e lavados, com calibre superior a 0,6 cm e inferior a 1,6 cm ou superiores a 0,8 cm e inferiores a 2,54 cm, contendo mais de 99% de silício e usualmente existentes, localmente, a baixo custo.

Na produção do elemento fosforoso em fornos eléctricos é usado quartzo “lump” de calibre superior a 0,3 cm e inferior a 2,5 cm ou seixo de quartzo proveniente de depósitos fluviais, de calibres compreendidos entre 0,6 e 3,2 cm. Normalmente, o quartzo ou quartzito usados devem conter mais de 90% de SiO_2 , menos de 1,5% de Al_2O_3 , 1,5% de Fe_2O_3 e 0,2% de CaO e MgO combinados.

Para a produção de Si e FeSi, apontam-se no Quadro X as respectivas quantidades de quartzo a utilizar para a obtenção de uma tonelada de produto final.

QUADRO X - Consumo de quartzo para produção de uma tonelada de Si e FeSi

APLICAÇÃO	QUARTZO UTILIZADO (TON) / TON DE PRODUTO FINAL	QUALIDADE
Silíciometal	2,6-3,5	99,7%
Ferosilício	1,05-1,1	50%
	1,7-2,0	75%
	2,3-2,5	90%

Os processos produtivos de ferosilício e silíciometal de uma empresa Norueguesa, são apresentados nas figuras 19 e 20.



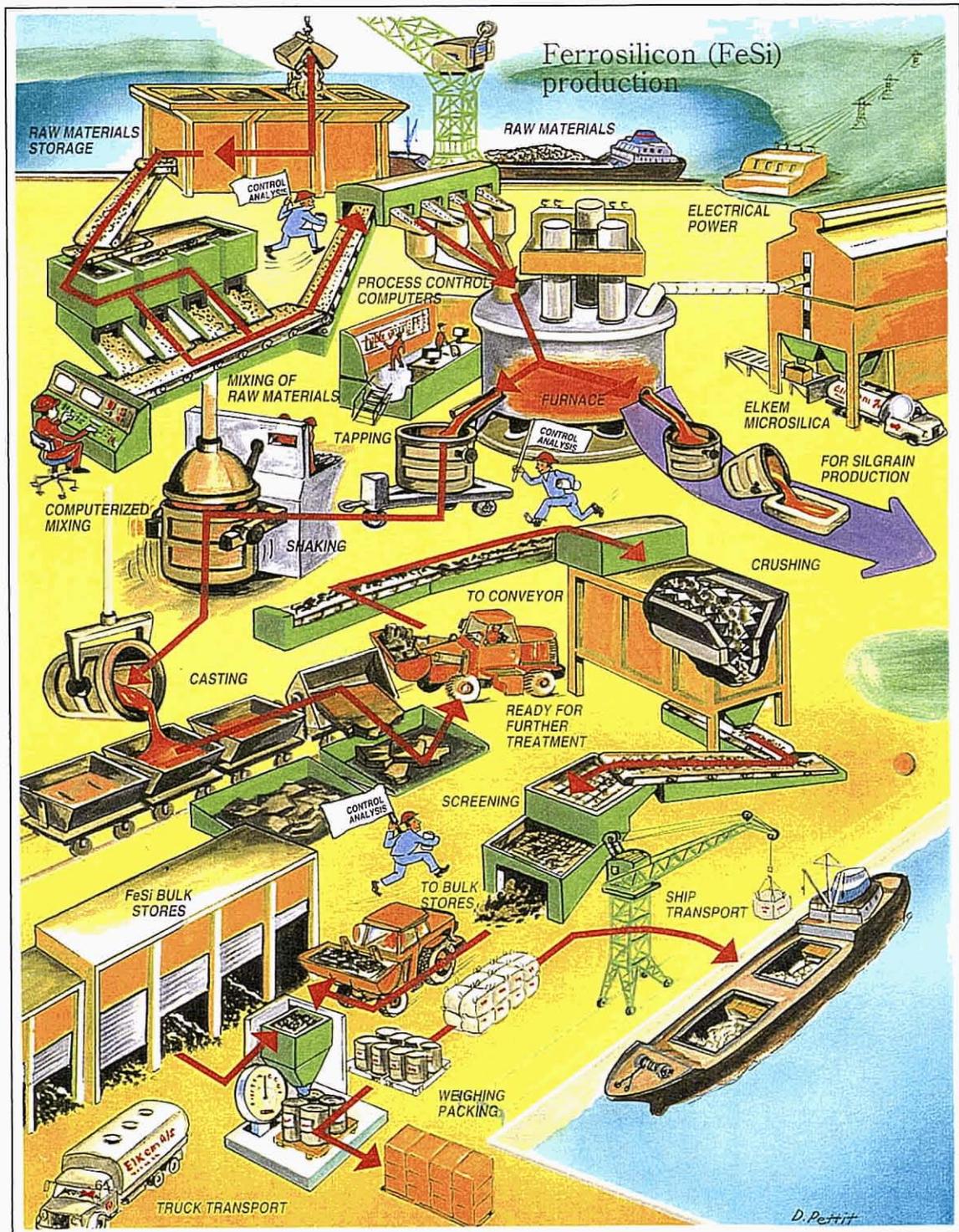


Figura 19 - Processo produtivo de Ferrosilício (Elkem Bremanger - Business advertising, Norway)

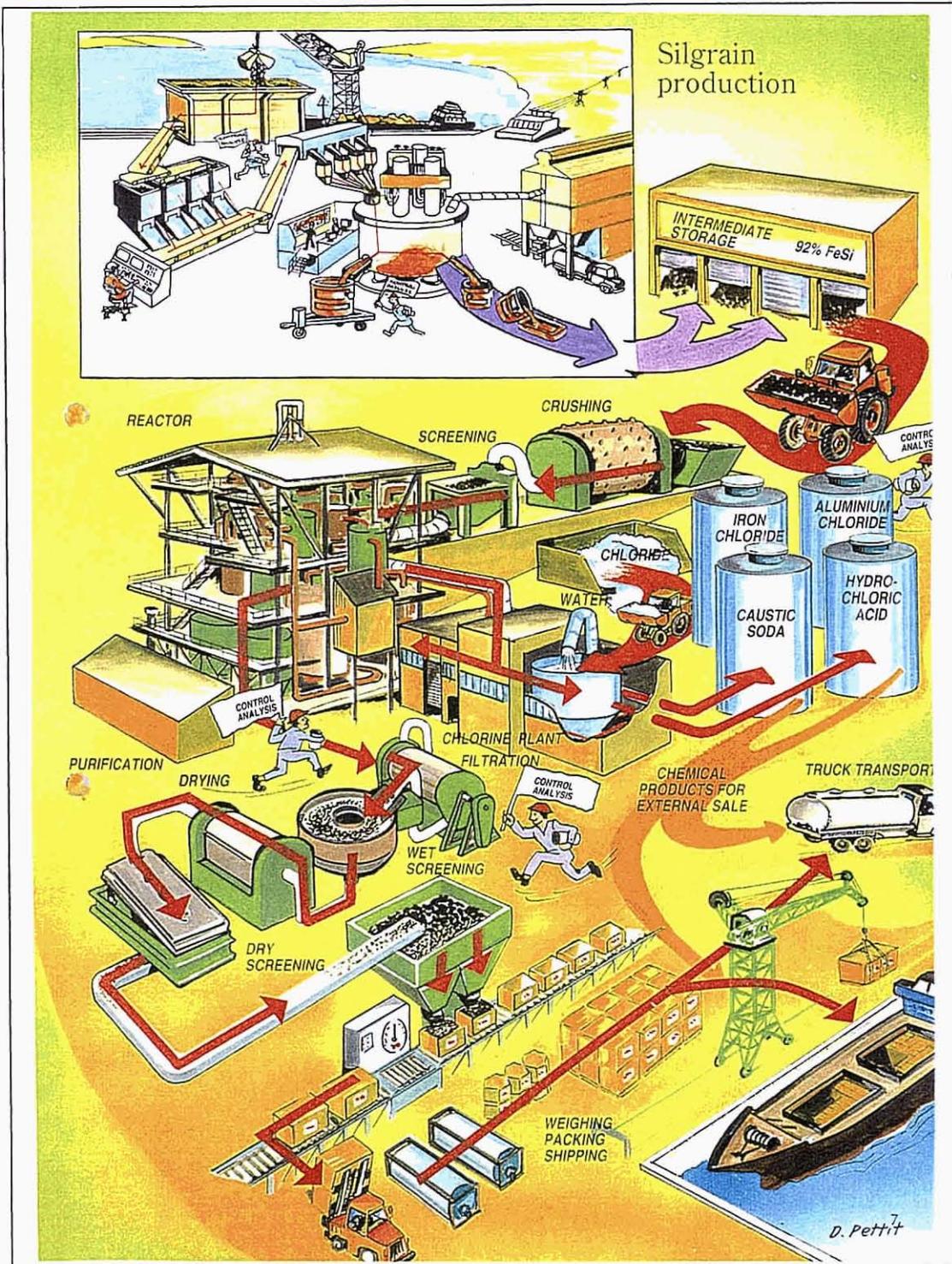


Figura 20 - Processo produtivo de Siliciometal (Elkem Bremanger - Business advertising, Norway)

2.2 INDÚSTRIA DE ABRASIVOS

Para uso como abrasivo em moinhos de pulverização e equipamentos de desagregação o quartzito, o seixo, o jaspe e a novaculite normalmente utilizados com aquele fim, devem apresentar alta resistência á compressão, peso específico alto, tenacidade e durabilidade elevadas, alto grau de pureza, homogeneidade, dureza e resistência à contaminação, à fractura, à lascagem e a alta temperatura.

A rocha deverá ter baixa porosidade e não deverá conter substâncias tóxicas ou colorações escuras resultantes de impurezas metálicas, tais como ferro e manganês.

Deverá, também, apresentar forte cimentação e ser quimicamente inerte quando na presença de álcalis e ácidos fortes.

O “meio” deverá ter forma arredondada e de dimensionamento apertado, assim como deverá produzir um pulverizado branco quando friccionado (por atrito).

Tanto a forma como a dimensão dos grãos constituintes e respectiva clivagem e fractura são igualmente importantes.

Os meios de moagem de alta densidade são preferenciais, dado o maior poder de impacto e força de moagem, o que significa menor volume de moinho necessário, para um dado volume de carga ou permitindo ainda uma moagem mais rápida, a ser obtida sem redução de carga do “meio”.

Em ambos os casos apresentados a capacidade de produção é mais elevada que em “meio” de baixa densidade.

A novaculite normalmente não é aceite como agente de moagem, uma vez que em termos comparativos apresenta baixo peso específico, carácter friável e baixa resistência á fractura pelo impacto durante a moagem.

O quartzito britado também não é usualmente satisfatório para aplicações com impactos elevados, porque a britagem pode produzir microfissuras na rocha, que a levam a partir durante o uso.

As propriedades que determinam a aplicabilidade da rocha siliciosa como agente de moagem são as mesmas que determinam a aplicabilidade como revestimento em moinhos de pulverização.

A rocha siliciosa qualificada como agente de moagem e material de revestimento, de um modo geral, também é aplicável como abrasivo de desagregação, no qual é necessário um controle apertado na dimensão das partículas, por forma a minimizar a respectiva acumulação.

São levados a cabo testes de certificação em vibrador tipo tubo de 0,28 m³, carregados com 90,7 kg de agente de moagem e 4,5 kg de pedaços angulosos de ferro, em seguida accionado a 1800 vibrações por minuto, durante um período de 24 horas.

Assim, pretende-se com o teste avaliar sobre a estabilidade e uniformidade da relação de corte, desgaste e desenvolvimento de um fino e elevado brilho final, na parte revestida.

O comportamento do agente abrasivo é avaliado em termos de razão de corte, razão de desgaste, eficiência de corte e qualidade de acabamento final na parte metálica, que deverá apresentar-se isento de riscos.

A razão de corte corresponde á percentagem de metal removido, em peso. A razão de desgaste ou factor de cisalhamento é a percentagem em peso, de agente perdido como finos não recicláveis. O factor de eficiência de corte é o “ratio” entre a razão de corte e a razão de desgaste, que deverá preferencialmente ser um número elevado.

A rocha deve apresentar-se com forte cimentação e suficientemente resistente, ainda que não excessivamente, por forma a não vidrar durante o uso. Grãos grosseiros moem mais rapidamente mas produzem uma superfície mais rugosa.

Uma máquina vibratória típica, de 0,57 m³, necessita, na fase de arranque, de 910 Kg de “meio” abrasivo, que deverá ser acrescentado em cerca de 23 Kg por cada dia de funcionamento.

2.3 INDÚSTRIA ELECTRÓNICA E ÓPTICA

As propriedades do cristal de quartzo que o tornam aplicável em comunicações de rádio foram descobertas em 1918.

Desde então, deu-se um crescimento da indústria mineira e de processamento de quartzo cristal natural, que foi quase totalmente substituída por novas tecnologias.

A nova tecnologia continua a envolver quartzo cristal, mas agora trata-se de um produto fabricado e não extraído da mina.

Quase todos os cristais naturais com maior dimensão e com padrões de qualidade rigorosos foram usados em electrónica, assim como em componentes ópticos, embora no segundo caso em menor escala. Outros cristais de menor dimensão e fragmentos foram usados para produzir sílica vítrea.

O quartzo pertence à categoria dos materiais designados de dieléctricos, aqueles que não conduzem uma corrente eléctrica mas que permitem a existência e a interacção de campos eléctricos através deles.

O quartzo exhibe também o efeito piezoeléctrico, o que significa a capacidade de se deixar carregar negativamente numa superfície e positivamente noutra, oposta, quando uma placa de quartzo é deformada mecanicamente contra a sua natural resistência à flexão.

Quando a placa é libertada rapidamente da tensão que lhe havia sido aplicada as cargas desaparecem à medida que readquire a forma original, mas devido ao momento mecânico dá-se a deformação da placa em sentido oposto (agora com menor intensidade) e as superfícies correspondentes adquirem novamente carga na direcção oposta.

Através de um revestimento fino de ambas as superfícies com metal e ligando-as a arames flexíveis, aquelas cargas podem tornar-se circuitos electrónicos.

Se for aplicada uma carga eléctrica instantânea sobre aquelas superfícies, pelo movimento de uma corrente ao longo dos arames, ocorre o efeito piezoeléctrico invertido e a placa deforma-se.

A situação referida extrapolada para um fluxo de corrente alterna, leva a admitir o surgimento de uma oscilação mecânica quando aquele tipo de corrente atravessa os arames, o que permite uma variação de frequência da

vibração mecânica num largo espectro, através do controle da espessura da placa.

A indústria de quartzo cristal é composta por três principais segmentos (excluindo fins ópticos e “fused” quartzo), a indicar:

1. Quartzo cristal natural - extraído em mina e aplicável no fabrico de unidades piezoeléctricas.

2. “Lasca” - quartzo extraído em mina usado como matéria prima na produção de quartzo de cultura (sintético).

3. Quartzo de cultura - produzido de “lascas”, em processo de crescimento de cristais em autoclave sob determinadas condições de temperatura, pressão e tempo.

Os cristais de quartzo para utilização em electrónica e óptica devem ter peso compreendido entre 50 e 100 g. A qualidade de cristal piezoeléctrico deve conter pelo menos $16,4 \text{ cm}^3$ de material sem qualquer defeito.

Mesmo um cristal perfeito não será susceptível de aplicação se apresentar espectro, fissuras, bolhas de inclusões líquidas, fibras de rútilo ou incrustações de outros minerais

Pedaços de cristal de quartzo com pesos entre 10 e 30 gr e material com acabamento defeituoso das qualidades de quartzo cristal piezoeléctrico pode ser usado como nutriente em culturas de crescimento (sintéticas) de cristais de quartzo, desde que os respectivos teores de ferro e alumina sejam suficientemente baixos.

Para o crescimento de cristais pode usar-se um nutriente que contenha menos de 50 ppm (total) de impurezas, muito embora o material que contenha

entre 50 e 100 ppm de impurezas também possa ser usado em aplicações de menor exigência.

Os contaminantes mais importantes são o ferro e alumina, porque eles determinam a quantidade de sódio e lítio indesejável que entra no cristal durante o processo de crescimento.

Nas qualidades não piezoelétricas, fragmentos de quartzo ultrapuro com peso entre 10 e 30 gr podem ser fundidos e utilizados para fibras ópticas (varas e tubulação), óptica de precisão e modelos electroópticos, prismas, tubos de lâmpadas especiais, cadinhos para semicondutores electrónicos e aplicações laboratoriais do tipo ensaio de desgaste.

Para produção de quartzo fusível (sílica vítrea ou vidro de quartzo) exigem-se produtos transparentes, que contenham menos de 30 ppm (0,0030%) de total de impurezas, o que significa um teor de sílica de pelo menos 99,997%.

A pureza em sílica exigida na produção de vidro de quartzo fusível opaco é 99,8% versus 99,97%, para produtos translúcidos.

O quadro seguinte apresenta os valores médios da quantidade de matéria prima necessária para a produção de uma tonelada de quartzo sintético e sílica vítrea.

QUADRO XI - Consumo de matéria prima para produção de um quilograma de quartzo sintético e sílica vítrea

APLICAÇÕES	MATÉRIA PRIMA (KG) UTILIZADA / POR KG DE PRODUTO FINAL A OBTER
<i>Electrónica e óptica</i>	
Quartzo sintético	1,3 - 1,4 ("lascas")
Sílica vítrea	1 - 3 (quartzo)

2.4 TORRES E TANQUES PARA ÁCIDO

Blocos de arenito e quartzito utilizados em revestimento de tanques de ácido, torres e caixas de colectores são resistentes aos ácidos sulfúrico e clorídrico, mas não aos ácidos fluorídrico e fosfórico de alta temperatura.

Os blocos devem ter boa resistência á abrasividade, tensão de compressão de 55×10^3 a 70×10^3 KPa e tensão tangencial de $8,3 \times 10^3$ a 9×10^3 KPa.

Seixo de quartzo e quartzito usados como “meio” de acondicionamento em torres de ácido devem ter baixa porosidade (isto é $< 3\%$), uma alta tensão de corte, alto grau de coeficiente de uniformidade granulométrica e alta superfície específica por metro cúbico.

O seixo deverá ser resistente á dissolução pelo ácido sulfúrico e deverá ter um pH neutro a levemente ácido, dado que um pH de 7,5 ou superior pode causar problemas.

É exigida baixa porosidade para que isso permita uma baixa absorção de ácido e uma alta tensão de rotura, para minimizar a produção de finos que poderiam bloquear os orifícios por onde passa o gás ou qualquer outro equipamento na base da torre.

O leito de seixo deve conter elevado índice de vazios por metro cúbico.

2.5 PRÉ-AQUECIMENTO DE AR

Seixo quartzoso de terraços fluviais, altamente puro, é usado em três das quatro camadas que servem de “meio” de transferência de calor nas câmaras de pré-aquecimento de ar.

Seixo com diâmetro entre 12 e 15 mm é usado no fundo (1ª camada), o que constitui cerca de 5% do leito. Seixo entre 3 e 5 mm de diâmetro é usado na 2ª e 4ª camadas do leito, ocupando cerca de 70% do leito.

O seixo deve conter pelo menos 99% de SiO_2 e deve ser esférico, para que o leito tenha um volume e dimensão de vazios que garantam a adequada transferência de calor e decréscimo de pressão, dado que fragmentos angulares restringem o fluxo de ar.

O seixo também deverá apresentar condutividade térmica alta, alta capacidade de armazenamento de calor, alta eficiência térmica ($\pm 98\%$) e deverá ter granulometria apertada.

2.6 FILTROS

Filtros de gravidade rápidos para instalações de tratamento de águas municipais são constituídos na base por seixo de quartzo de diâmetro de cerca de 2,54 cm, que vai diminuindo gradualmente até atingir 3,2 mm no topo da camada, para um total de espessura de leito de 30,5 a 45,7 cm.

Certas Associações, como por exemplo a American Water Works Association, apenas aceitam material não britado para ser empregue em instalações de tratamento de águas municipais, uma vez que o “meio” de filtragem deve conter menos de 25% de fragmentos alongados ou do tipo plano com relações comprimento : largura de 5:1, ou mais.

Ora, a rocha britada apresenta-se com formas angulares, portanto com fragmentos alongados e planos que tendem a criar bloqueios no leito do filtro, o que faz com que possa ser rejeitada em instalações de tratamento de águas.

O seixo de quartzo de forma arredondada não bloqueia o leito, para além de garantir um índice de vazios de cerca de 35 ou 40%, tal como deve acontecer num leito de filtragem.

Neste tipo de aplicação não é exigido material de elevada pureza química, mas deverá apresentar um peso específico alto, baixa solubilidade ácida, alto coeficiente de uniformidade granulométrica e uma dimensão efectiva própria para especificação de filtros.

Em instalações de filtros de percolação a rocha siliciosa com dimensão entre 3,80 e 11,40 cm é usada como suporte do “meio”, no qual as bactérias crescem para digestão dos efluentes brutos.

A rocha deve apresentar elevada pureza química, mas não necessariamente alta densidade. A forma deve ser angulosa, de modo a garantir elevada superfície específica.

Leitos de filtros usados na secagem de efluentes impuros, para aplicações em adubos químicos, requerem seixo silicioso com coeficiente de uniformidade granulométrica alto e uma distribuição da dimensão do grão entre 3,2 e 12,7 mm.

A pedra com diâmetro superior a 15,9 mm é usada em instalações de lixiviação séptica.

2.7 INDÚSTRIA DE REFRACTÁRIOS

O quartzito, pedra de quartzo e quartzo de filão usados na manufactura de produtos refractários são normalmente britados até se obterem calibres entre 0,24 e 3,80 cm.

Devem ter baixo teor em ferro, álcalis e fósforo, elementos estes que constituem as principais impurezas neste tipo de aplicação. A pedra deve apresentar baixa porosidade depois de atingir a temperatura de 1500° C.

Quartzitos de grão fino apresentam geralmente mais baixa porosidade do que os quartzitos de grão grosseiro, depois de fundidos.

Especificações químicas mais restritivas são ainda exigidas á novaculite quando usada na produção de vidros siliciosos especiais.

2.8 OUTRAS APLICAÇÕES

Para utilização como agregados em betão polimerizado, a ser carregado com 90 % de humidade, a rocha siliciosa deve ter formas angulosas e dimensões compreendidas entre 6,35 mm e 44 µm.

Surgem, actualmente, aplicações para os subprodutos obtidos nas operações de britagem de quartzo, aplicações essas que se devem fundamentalmente a duas razões, uma de ordem económica e outra de recuperação de um material susceptível de aplicação.

Dada a concorrência a que as empresas produtoras se encontram submetidas, torna-se extremamente importante o aproveitamento e comercialização de todos os produtos obtidos numa instalação, por forma a rentabilizar, tanto quanto possível, os equipamentos existentes e, conseqüentemente, obter baixos custos de produção.

Acresce, também, o facto de se estimar em cerca de 10 % da produção, a quantidade de quartzo retirada na operação de escolha manual, cujas características químicas excluem qualquer possibilidade de utilização desse quartzo nas aplicações tradicionais.

O quartzo resultante dessa escolha e rejeitado, é normalmente, armazenado no solo, o que para além de um impacte visual negativo acarreta um elevado custo, tanto pela utilização de equipamentos de carga e transporte na sua movimentação, como pela utilização de correias transportadoras para o colocar nos diferentes locais de armazenagem.

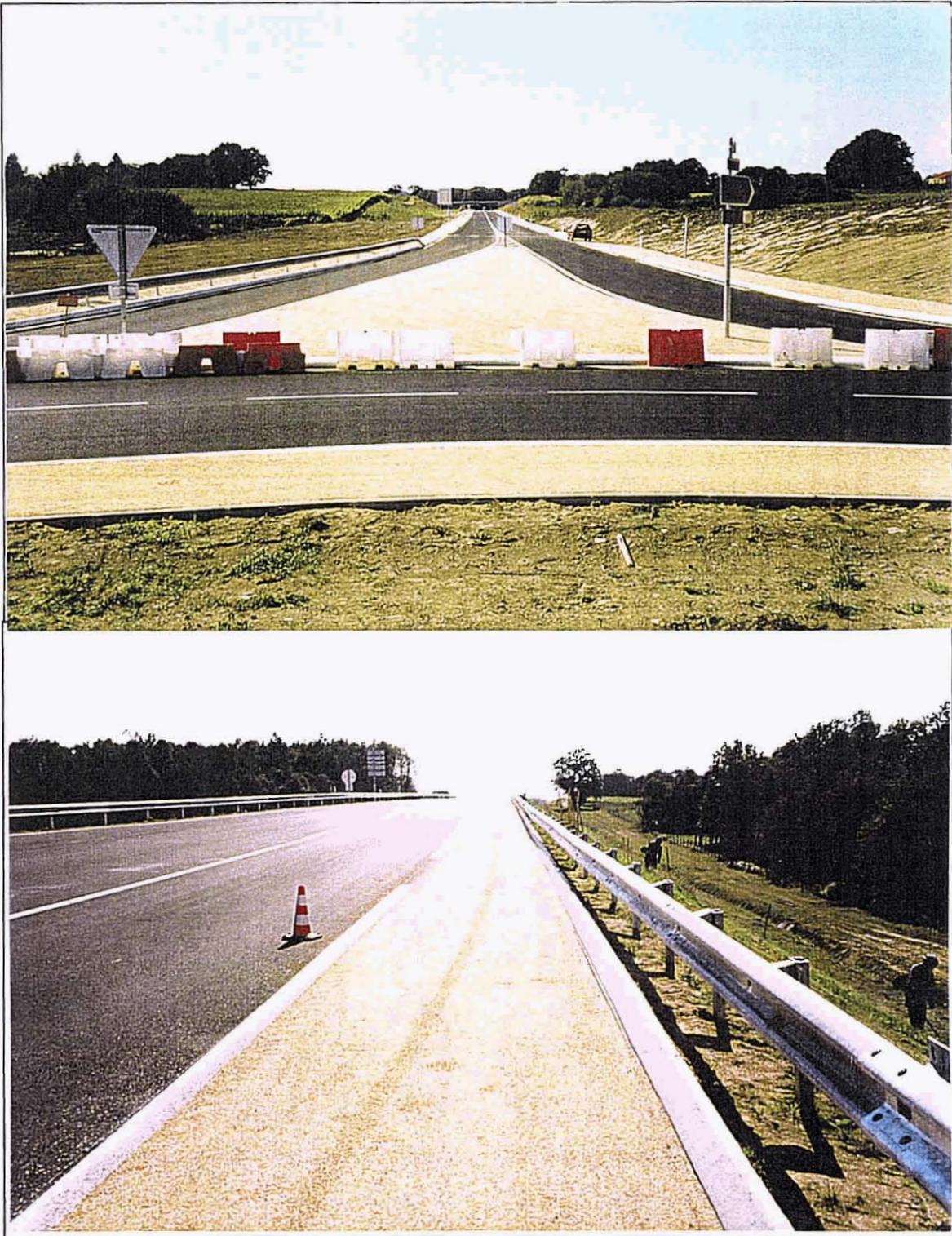
Os referidos produtos podem ser aplicados no sector da construção civil, nomeadamente como granulados a utilizar em revestimentos de coberturas de edificios, agregados em painéis de betão projectado ou agregados para betão polimerizado a utilizar em locais sujeitos a ataques ácidos.

Podem, ainda, ser utilizados em agregados para construção de sub-bases de estradas e balastro de caminhos de ferro.

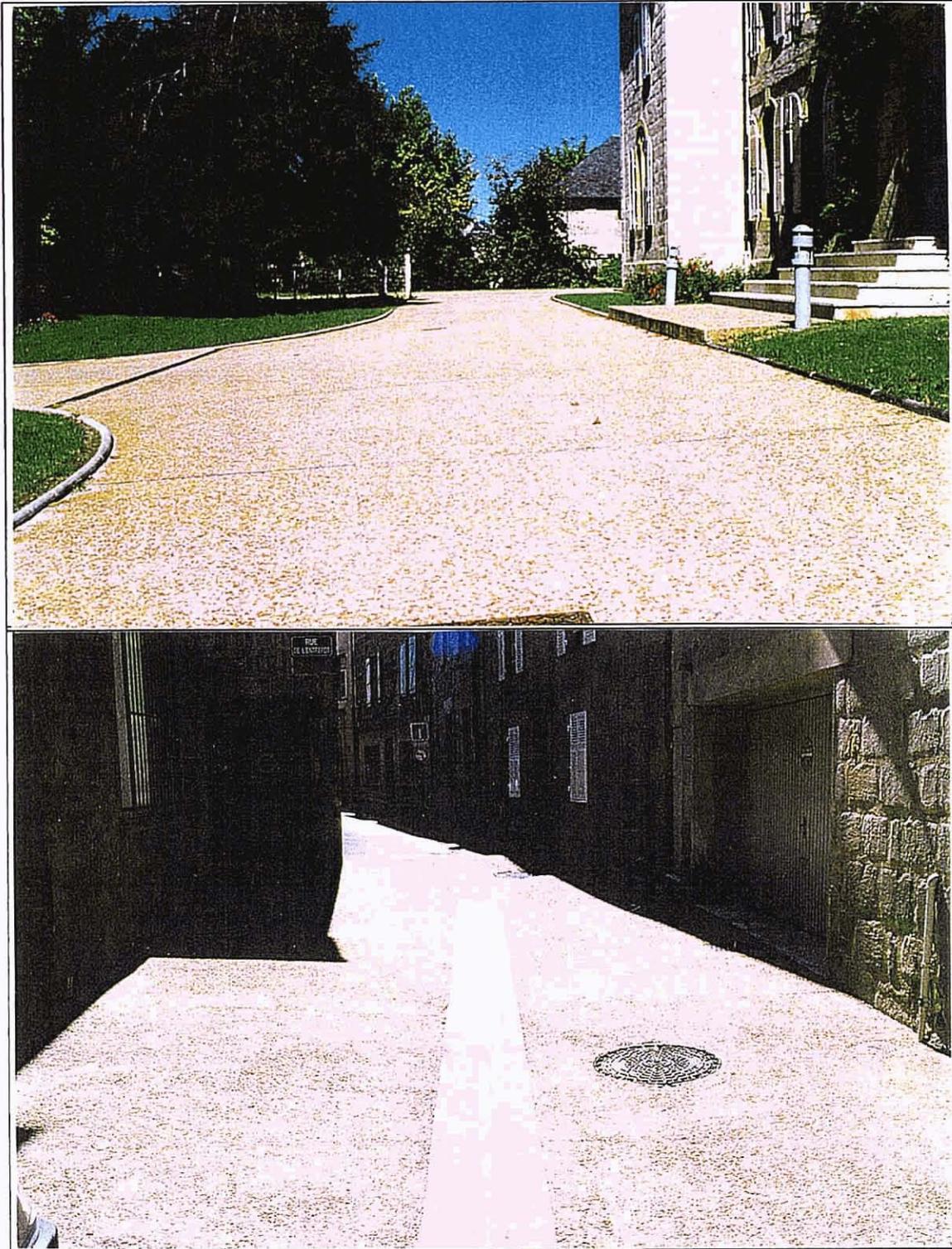
Outra aplicações, ainda menos específicas, tais como a decoração de taludes, a ornamentação de jardins, agregados para reboco de piscinas, e

pavimentação de zonas pedestres ou de muito baixo tráfego rodoviário (acessos particulares a casas de habitação ou outras).

As figuras seguintes ilustram algumas das utilizações do quartzo cujas características químicas não permitem a sua aplicação industrial (quartzo rejeitado na operação de selecção manual), mas apresentam características físicas adequadas para utilização em pavimentação de zonas pedestres e acessos particulares.



Figuras 21 e 22- Utilização de brita de quartzo nas dimensões 3/6 e 6/10 mm



Figuras 23 e 24 - Utilização de britas de quartzo na dimensão 8/16 mm

*Seleccção de depósitos e respectivos
enquadramentos geográficos e geológicos*

Capítulo 3

SELECÇÃO DE DEPÓSITOS E RESPECTIVOS ENQUADRAMENTOS GEOGRÁFICOS E GEOLÓGICOS

Neste estudo foram consideradas cinco áreas conforme consta na figura 21, da página seguinte.

Foram considerados depósitos com ocorrências nos Distritos de Braga (Dornas), Viseu (Vila Longa e Poço Palheiro), Guarda (Freches), Évora (Pedras Pintas), e ainda, o stock de uma unidade industrial desactivada, situada no Distrito de Viseu, em Canas de Senhorim, que funcionava como matéria prima da antiga Companhia de Fornos Eléctricos, SARL.

Entendeu-se que os depósitos de quartzo atrás referidos e objecto deste estudo, seriam representativos da faixa geográfica que compreende o maior número de ocorrências de quartzo em Portugal, faixa que se estende de Évora até ao Norte do país, com orientação preferencial NE-SW ou NNE-SSW.

Quanto ao stock da antiga Companhia de Fornos Eléctricos, SARL, este é composto por quartzo proveniente de várias minas, situadas na região da Beira Alta, nomeadamente, Santa Luzia, Aldeia Nova, Folgosinho, Castro Daire, Gouveia e Guarda.

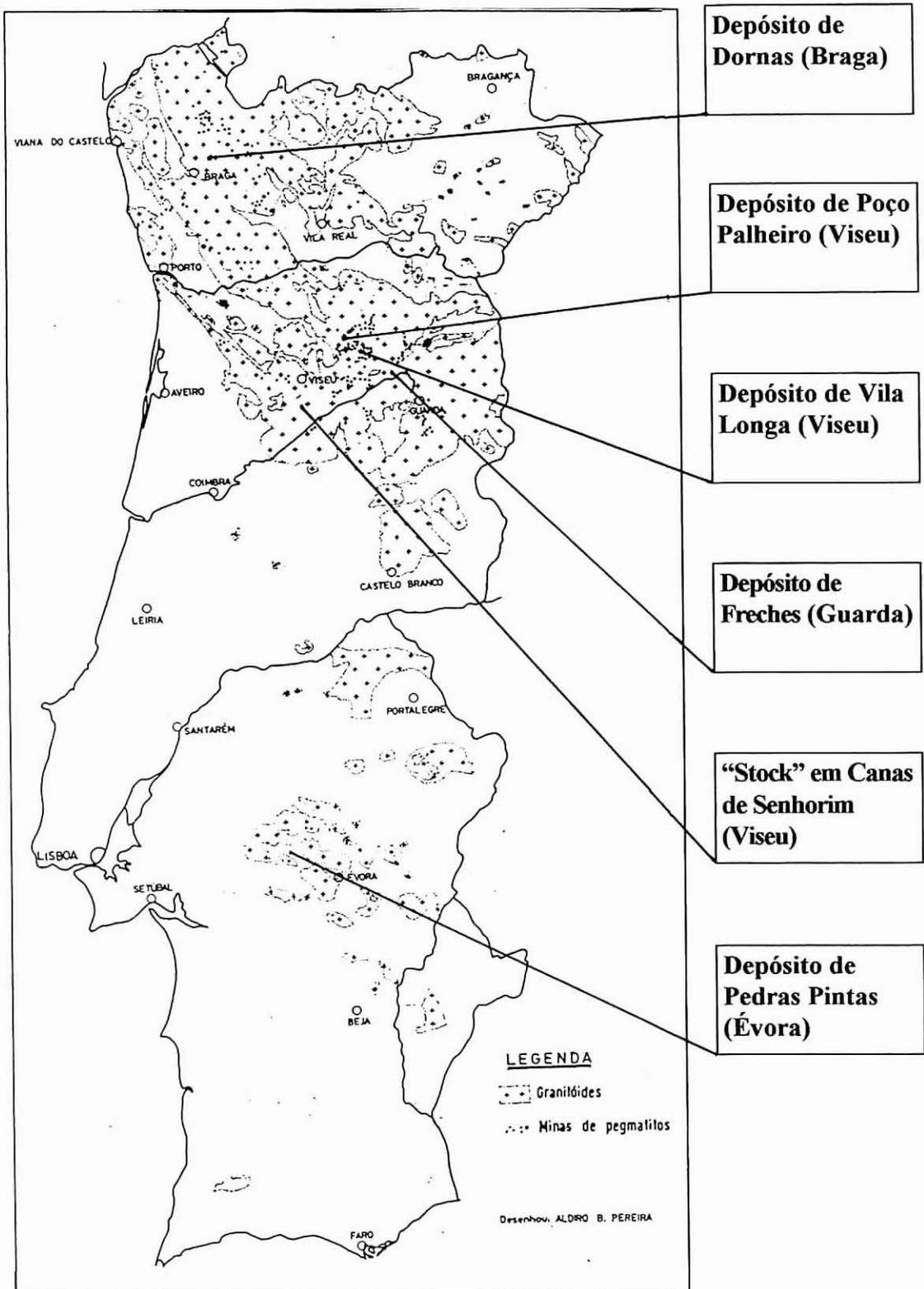


Figura 25 - Mapa com a indicação dos depósitos de quartzo estudados.

1. - DEPÓSITOS DE QUARTZO DE FILÃO E DE PEGMATITO

1.1. DEPÓSITO DE DORNAS (DISTRITO DE BRAGA)

O depósito de Dornas que é objecto do presente estudo, situa-se junto da localidade de Dornas, Concelho de Amares, Distrito de Braga (figura 26).

Trata-se de uma área onde, em termos regionais, predominam as rochas graníticas assim como numerosos filões de rochas básicas, de quartzo e aplito-pegmatito.

A área em estudo é formada essencialmente por filões de quartzosos, como é o caso do depósito de Dornas. São também visíveis afloramentos de massas quartzosas, as quais são constituídas por quartzo hialino, por vezes levemente rosado, acompanhado por pegmatito com berilo.

As rochas graníticas que integram a área surgem descritas nas folhas publicadas da carta geológica 1:50 000 da região, incluídas numa extensa mancha descrita como “granito porfiróide de grão médio ou fino a médio”.

Este depósito foi objecto de trabalhos preparatórios de lavra, há alguns anos, donde apenas terá sido extraído uma reduzida quantidade de quartzo.

As amostras retiradas deste depósito têm as referências D1, D2 e D3.

1.2. DEPÓSITOS DE VILA LONGA E POÇO PALHEIRO (DISTRITO DE VISEU)

1.2.1. DEPÓSITO DE VILA LONGA

Relativamente à geologia do depósito de Vila Longa, situado na Freguesia de Vila Longa, Concelho do Sátão, Distrito de Viseu, o substrato da área em estudo é constituído por rochas graníticas Hercínicas, com intrusões de rochas filonianas do tipo pegmatítico e cobertas localmente por depósitos detríticos do tipo aluvião / eluvião.

Nas folhas publicadas na carta geológica 1:50 000 da região, toda a área aparece incluída numa extensa mancha de um único tipo de granito, designado como “granito calco-alcálico porfiróide de grão grosseiro/médio, essencialmente biotítico” (figura 27).

É possível diferenciar no seio da mancha granítica, a ocorrência de dois tipos distintos de granito, embora ambos hercínicos tardí a pós-tectónicos, de carácter calco-alcálico, aspecto leucocrático, geralmente de duas micas predominantemente biotítica (por vezes só biotítica), de grão médio a grosseiro, distinguindo-se um do outro relativamente à textura, tipo de fracturação e resistência à meteorização.

A distinção é mais fácil quando à escala do afloramento. Torna-se então possível referenciar o granito de Vila Longa e o granito da Serra Alta, o primeiro francamente porfiróide de grão médio, raramente grosseiro, enquanto o segundo se apresenta não porfiróide e de grão notavelmente grosseiro.

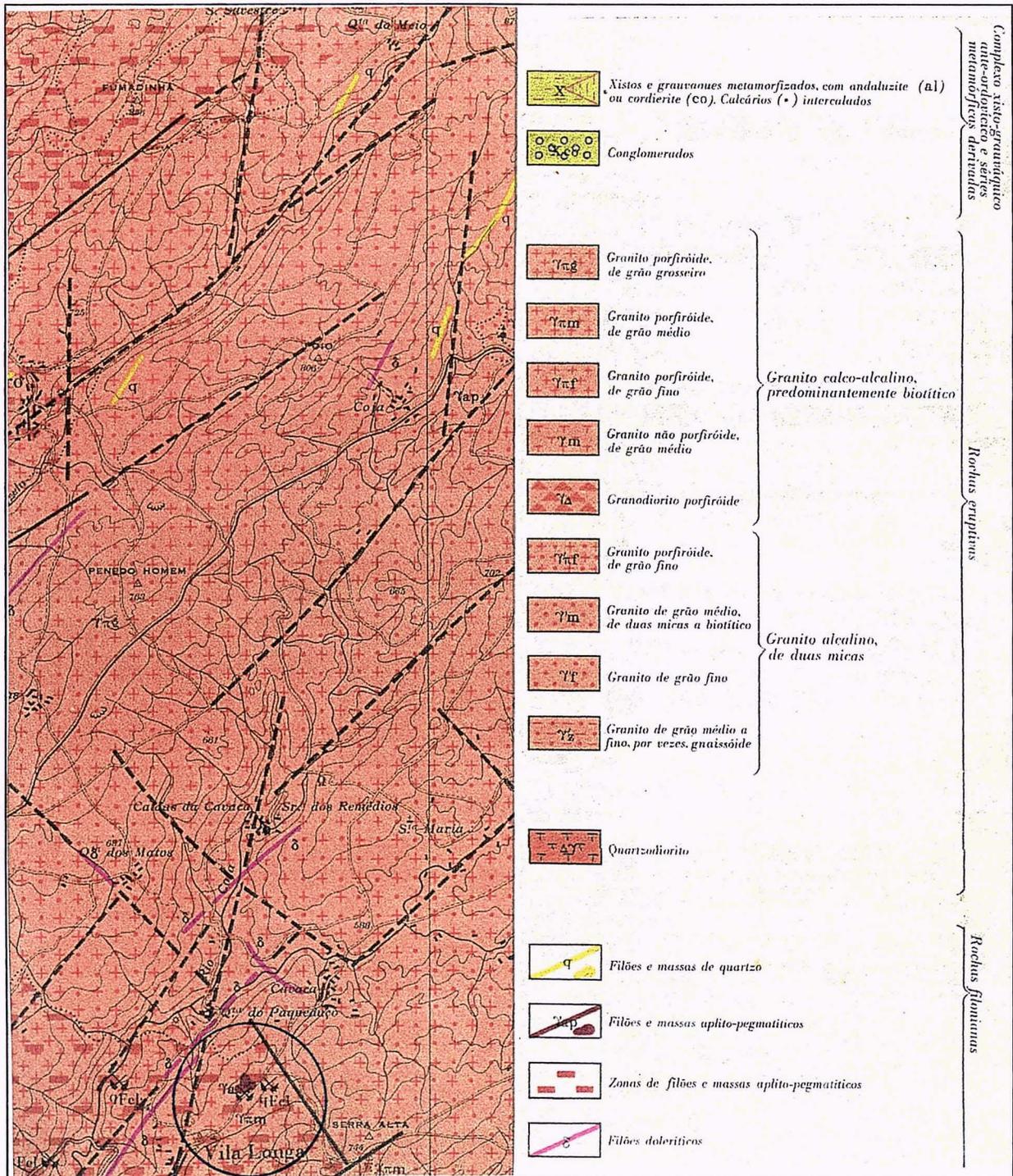


Figura 27 - Localização do depósito de Vila Longa (Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50.000, Aguiar da Beira, folha 14D)

Ao contrário do granito da Serra Alta, o granito de Vila Longa apresenta-se muito fracturado, geralmente com fracturas de espaçamento subsimétrico, bastante meteorizado e arenizado, pelo que ocorre em afloramentos de pequenas proporções.

Assim, o granito da Serra Alta apresenta-se pouco meteorizado, em afloramentos de grandes dimensões, em forma de laje ligeiramente arredondada e pouco fracturada e quase sempre com ausência de solo de cobertura.

Entendem-se os dois granitos como estádios distintos de intrusão de magma granítico, julgando-se o de Vila Longa como sendo o mais recente.

Ocorrem, também, rochas filoneanas do tipo pegmatítico, intrudidas nos granitos já referidos, com atitudes predominantemente subhorizontais, com apófises de desenvolvimento subvertical.

Como cobertura dos granitos e rochas filoneanas surgem os aluviões e eluviões, nos vales das linhas de água principais que atravessam a zona em estudo.

Trata-se de depósitos detríticos que se formaram como consequência da meteorização e arenização do granito. São depósitos de pequena espessura, que formam os solos agrícolas da região.

Este depósito encontra-se em fase de exploração, com produção mensal de, aproximadamente, duas centenas de toneladas de quartzo de 1ª qualidade.

As amostras retiradas deste depósito estão designadas como VL1, VL2 e VL3.

1.2.2. DEPÓSITO DE POÇO PALHEIRO

O depósito situado junto da povoação designada por Poço Palheiro está referenciado na folha n.º 168 da Carta Militar de Portugal à escala 1:25 000, na margem esquerda do rio Vouga, a cerca de 1500 metros a WNW da povoação de Pinheiro e a 2000 metros a Sul da aldeia Quinta da Madalena (figura 28).

O referido depósito já se encontra assinalado, na forma de um extenso filão aplito pegmatítico, na Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000, folha 14-D (Aguiar da Beira).

O depósito já foi alvo de trabalhos preparatórios de lavra há alguns anos, tendo sido nessa altura iniciadas três frentes de desmonte, alguns caminhos e uma plataforma para serviços, além de várias pequenas escavações de prospecção. Actualmente todos os trabalhos efectuados encontram-se cobertos por uma densa vegetação.

Relativamente ao enquadramento regional e geometria das estruturas filoneanas a área em questão faz parte do grande maciço granítico das Beiras e do Minho, de contornos bastante irregulares devido à natureza tardia em relação à orogenia hercínica da grande parte dos granitos que a formam, pelo que constitui uma mancha bastante complexa.

A cartografia realizada assenta essencialmente na textura e mineralogia, complementada pela distinção de duas séries geoquímicas alcalina e calco-alcalina, não se verificando contudo uma relação clara entre estes critérios e a cronologia das intrusões, por um lado, e as manifestações pegmatíticas e hidrotermais de interesse económico, por outro.

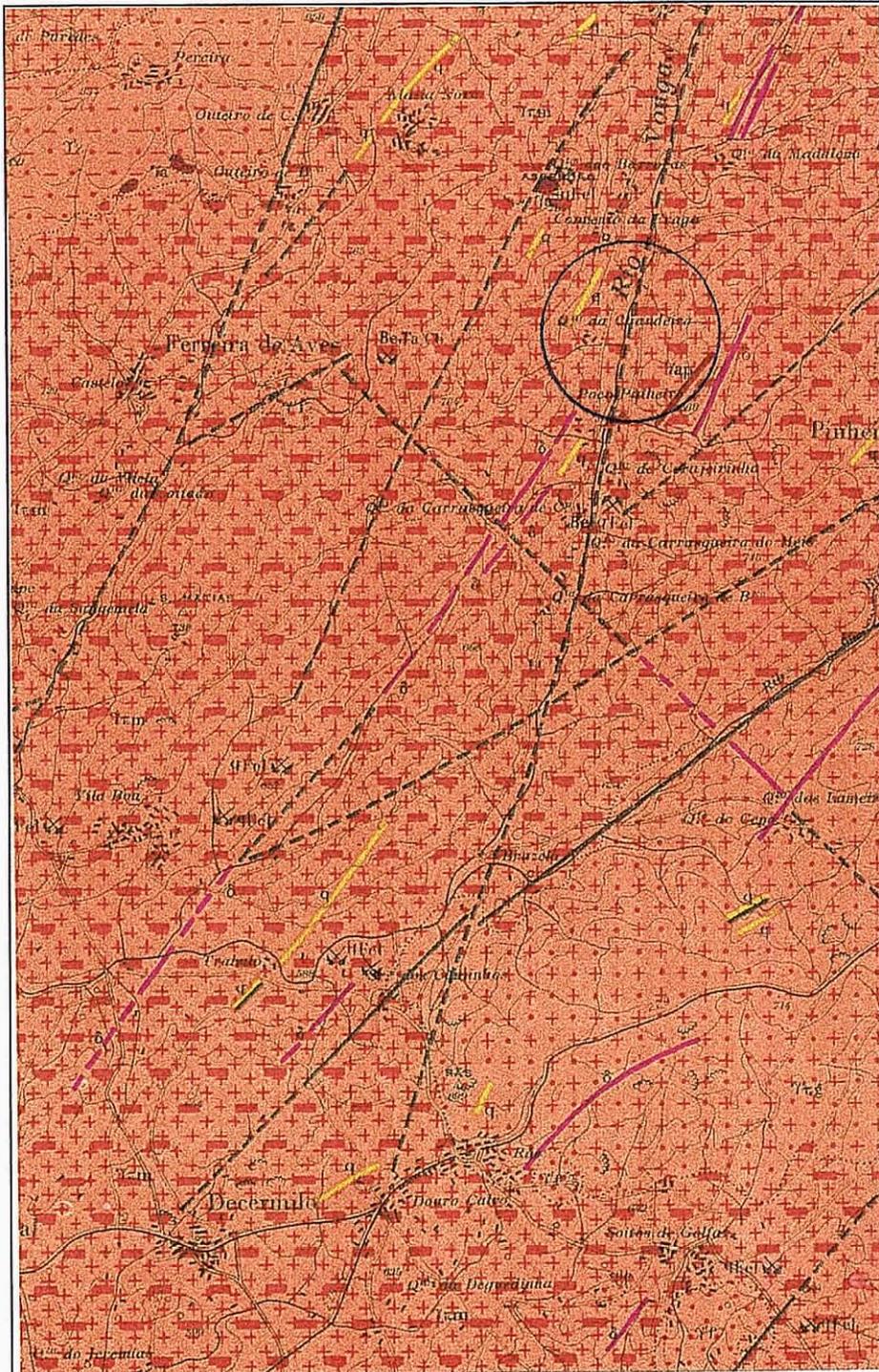


Figura 28 - Localização do depósito de Poço Palheiro (Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50 000, Aguiar da Beira, folha 14D)

Uma outra abordagem iniciada pelos trabalhos de L.J.G. Schermerhorn (1956) e por Oen Yng Soen (1958) na região de Viseu utiliza, além dos critérios cronológicos aplicáveis nos contactos, a orientação preferencial dos minerais, a qual está relacionada com as tensões prevalecentes durante o arrefecimento e *a fortiori* com a cronologia relativa à evolução da orogenia e com a localização e geometria das concentrações de minerais úteis.

Na região em torno do depósito de Poço Palheiro, na qual são particularmente frequentes os pegmatitos e depósitos metálicos associados aos granitos, os elementos cartográficos desta natureza pouco ultrapassam os que figuram nos mapas publicados pelos referidos autores.

De acordo com a folha 14-D, da Carta Geológica de Portugal, o depósito em estudo encontra-se na área de granitos designados de calco-alcalinos porfiróides predominantemente biotíticos, de grão médio a grosseiro, e de megacristais com dimensões compreendidas entre 4 e 10 cm.

São também referenciados na mesma folha afloramentos de granitos porfiróides e biotíticos de grão fino, incluídos no granito porfiróide médio a grosseiro, discordantes e com foliação de carácter magmático, que acompanha a orientação dos contactos.

Foram retiradas deste depósito as amostras com referências PP1, PP2, PP3 e PP4.

1.3. DEPÓSITO DE FRECHES (DISTRITO DA GUARDA)

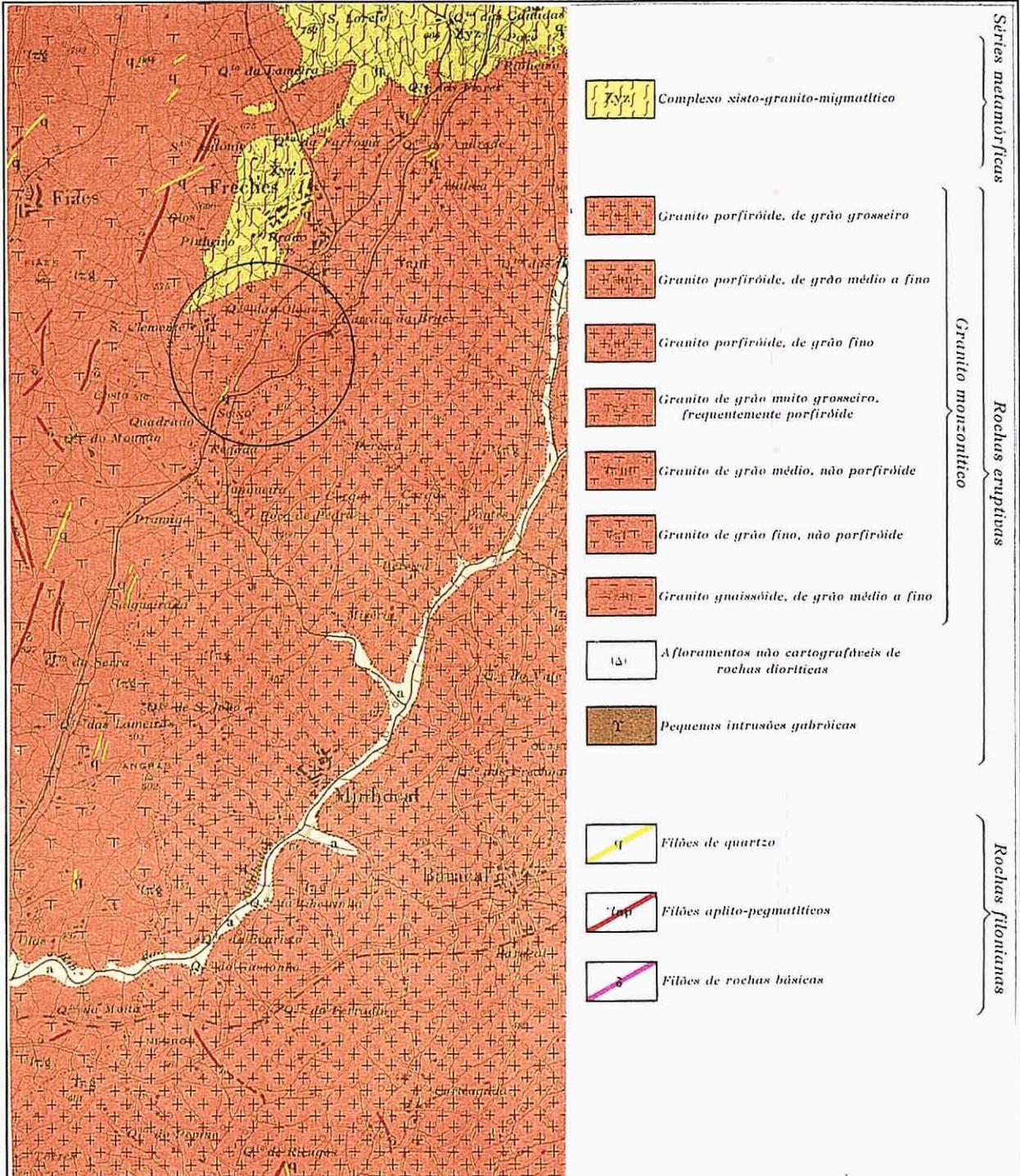


Figura 29 - Localização do depósito de Freches (Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50 000, Fornos de Algodres, folha 18A)

Este depósito está situado junto da localidade de Freches, próximo do lugar de Seixo, Concelho de Celorico da Beira, Distrito da Guarda, e apresenta-se assinalado na Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000, folha 18-A, na zona de transição entre duas manchas graníticas.

Na referida carta, as manchas graníticas aparecem designadas por granito porfiróide de grão grosseiro e granito porfiróide de grão médio a fino, respectivamente. Trata-se de um filão quartzoso, com quartzo branco leitoso, cujo afloramento é visível ao longo de poucas centenas de metros.

Foram retiradas deste depósito as amostras com as referências F1, F2 e F3.

1.4. DEPÓSITO DE PEDRAS PINTAS (DISTRITO DE ÉVORA)

Este depósito está inserido na Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000, na folha 35-B, situando-se do lado norte da estrada que liga Lavre a Cíborro, próximo da povoação Godeal.

Na referida área os pegmatitos graníticos são numerosos, em massas e filões de direcção predominantemente NW-SE. Inserem-se nas rochas do Maciço de Pavia, de idade hercínica, onde o granito biotítico se apresenta com grão médio.

Estes pegmatitos graníticos são constituídos por feldspato potássico, quartzo, moscovite e, mais raramente, por biotite e turmalina. Podem associar-se a aplitos.

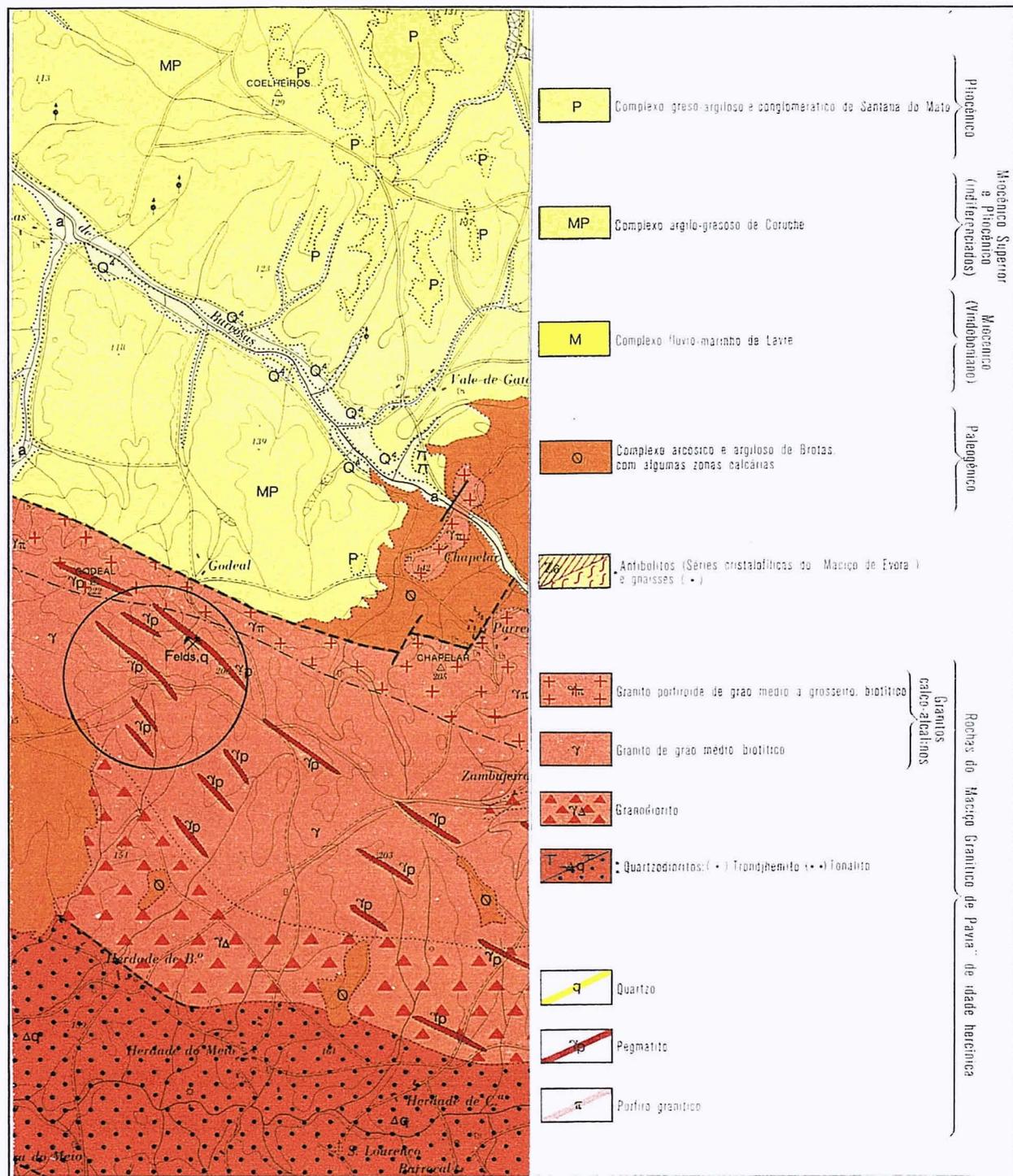


Figura 30 - Localização do depósito de Pedras Pintas (Carta Geológica de Portugal, Escala 1:50 000, Mora, folha 35B)

O depósito de Pedras Pintas é formado por uma massa de pegmatito, que se encontra actualmente em exploração. Constata-se uma certa zonagem, que se manifesta por uma concentração monomirelática, de quartzo leitoso, a que se associa no sentido da periferia da massa, feldspato e quartzo associados a moscovite e, por fim, zonas com predomínio de mica branca.

As amostras retiradas deste depósito têm a referências PeP1, PeP2, PeP3 e PeP4.

2 “STOCKS” DE UNIDADES INDUSTRIAIS DESACTIVADAS

Tal como já foi referido, foi objecto deste estudo o “stock” da antiga Companhia Portuguesa de Fornos Eléctricos, situada em Canas de Senhorim, Concelho de Nelas, Distrito de Viseu.

Este “stock” avaliado em cerca de 90000 ton. de quartzo, proveniente de várias minas do distrito de Viseu, apresenta-se bastante heterogéneo relativamente às características químicas e granulométricas.

Foram retiradas diversas amostras, tão representativas quanto possível, para ensaios microscópicos, químicos e granulométricos com o objectivo de avaliar a possibilidade da mesma aplicação industrial que lhe havia sido destinada, assim como outras aplicações, uma vez que as especificações hoje exigidas são diferentes das existentes à data da deposição daquele quartzo.

As amostras provenientes deste “stock” estão referenciadas como CS1, CS2, CS3 e CS4.

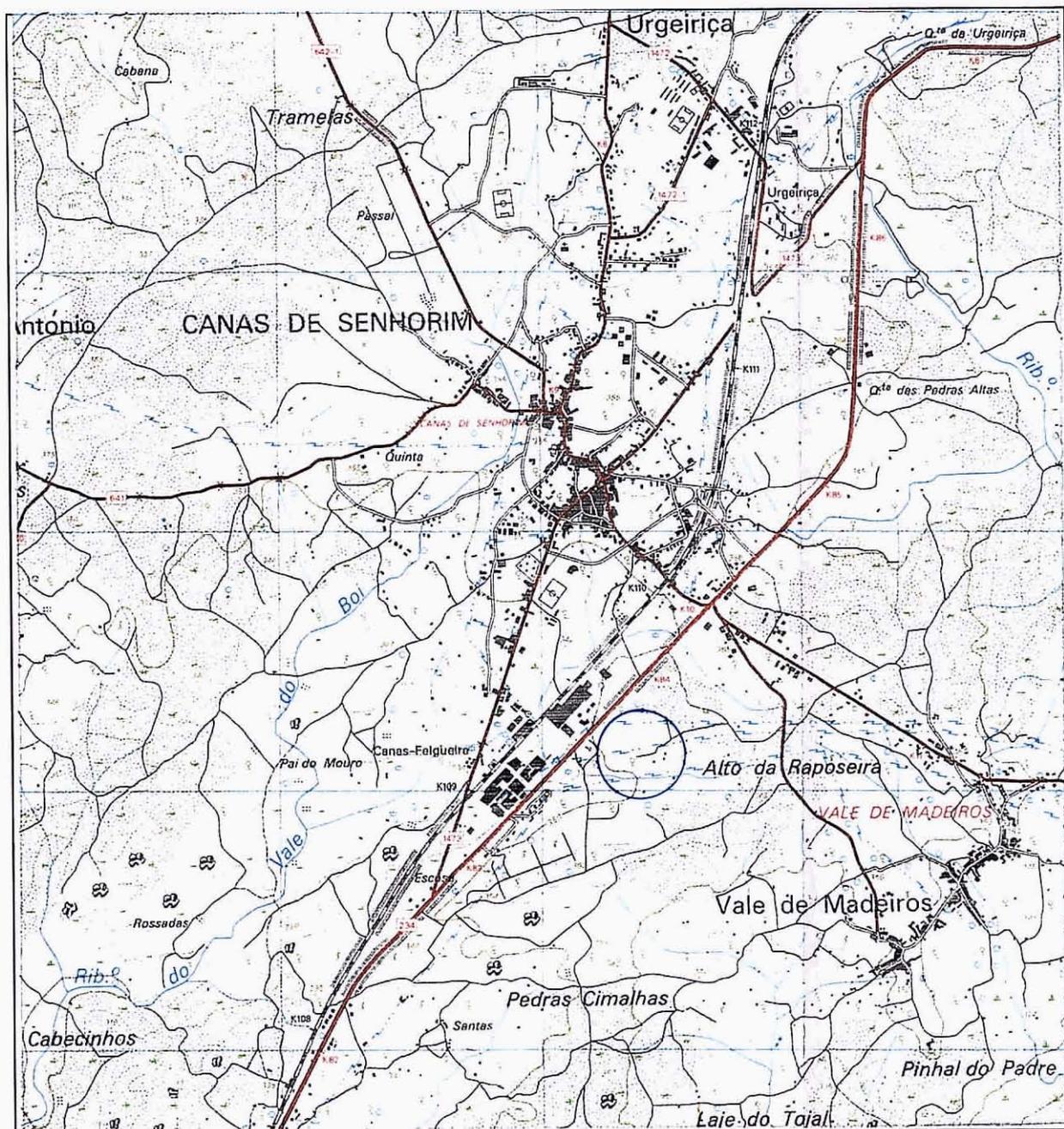


Figura 31 - Localização do "stock" de Canas de Senhorim (Carta Militar de Portugal, Escala 1: 25 000, folha 200)

Amostragem de quartzo nos depósitos seleccionados com vista à determinação dos parâmetros físicos e químicos relevantes para a aplicação

Capítulo 4

AMOSTRAGEM DE QUARTZO NOS DEPÓSITOS SELECIONADOS COM VISTA À DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS RELEVANTES PARA A APLICAÇÃO

O estudo recaiu fundamentalmente sobre as características químicas e mineralógicas do quartzo, uma vez que, tal como já foi referido anteriormente, são fortemente limitadoras das aplicações industriais, enquanto que as características granulométricas, com vista à satisfação das especificações exigidas, são facilmente atingíveis com a utilização de equipamentos adequados.

A análise mineralógica passou pela feitura de lâminas delgadas representativas das amostras de quartzo, para posterior análise petrográfica.

Na análise química utilizaram-se as técnicas de fluorescência de raios X e a espectrofotometria de chama, esta com vista à determinação dos teores em Na e K.

Na análise petrográfica, o estudo incidiu, essencialmente, sobre as características granulométricas do quartzo (dimensão e forma das partículas), identificação de impurezas, sua distribuição, fracturação e presença de inclusões fluidas, isto é, características que maior influência podem exercer em termos de aplicações possíveis.

1. ANÁLISE MACROSCÓPICA

Do ponto de vista macroscópico, as amostras estudadas evidenciam algumas diferenças entre si, destacando-se, pelo seu aspecto leitoso, com uma cor branca muito uniforme, as amostras de Poço Palheiro e de Freches. No entanto, as últimas evidenciam nalguns espécimes, algumas impurezas, nomeadamente micas a preencherem fracturas e planos de clivagem.

Todas as mostras se mostram compactas, difíceis de serem partidas, sendo comum em todas elas a presença de microfracturas. Os óxidos de ferro também se encontram visíveis em algumas amostras, em especial numa amostra do “stock” de Canas de Senhorim, óxidos que se encontram a preencher fracturas e, numa amostra de Freches, os óxidos de ferro estão dispersos por toda a amostra. Esta amostra é a de pior qualidade de todas as que foram seleccionadas para este estudo.

Quanto às amostras do “stock” de Canas de Senhorim, o seu aspecto exterior varia desde o hialino, com elevada pureza, até um quartzo sacaróide com uma tonalidade ligeiramente escura. Nas amostras de Pedras Pintas, Vila Longa e Dornas, as amostras apresentam pontualmente tonalidade alaranjada devido à presença de óxidos de ferro.

Em resumo, as amostras de quartzo seleccionadas para o presente estudo apresentam-se com um nível elevado de pureza, apesar de por vezes conterem algumas impurezas. Há, por isso, a necessidade, de realizar um trabalho de selecção de matéria prima, donde possa resultar a obtenção de vários graus de qualidade.



Figura 32- Observação macroscópica de uma amostra de quartzo de Dornas.

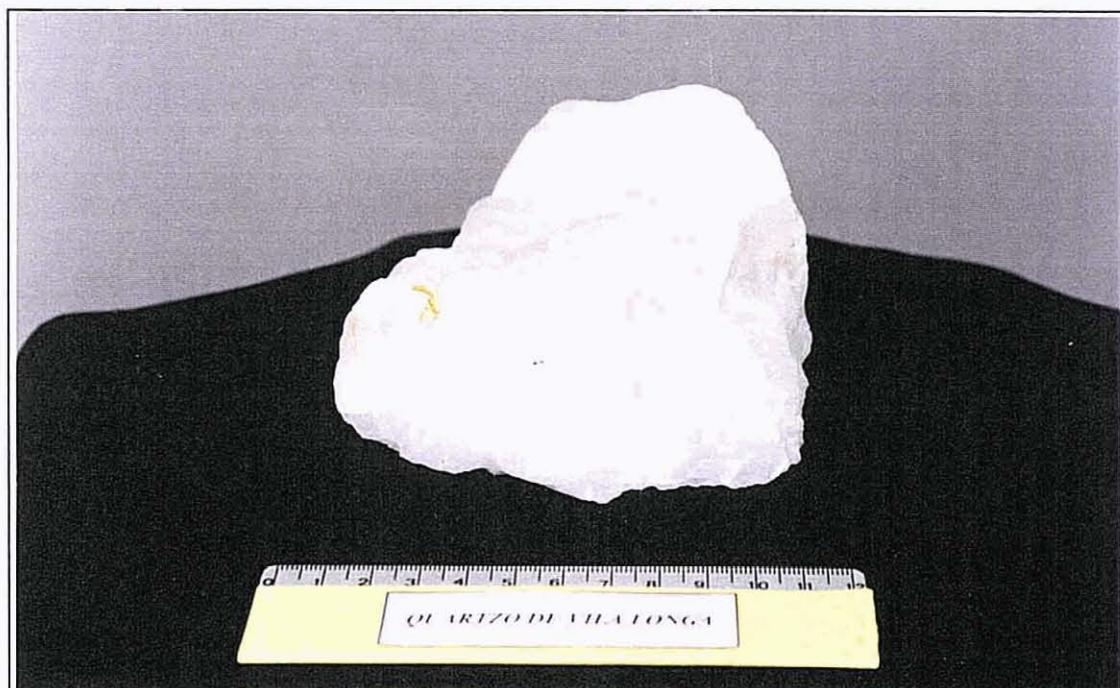


Figura 33- Observação macroscópica de uma amostra de quartzo de Vila Longa

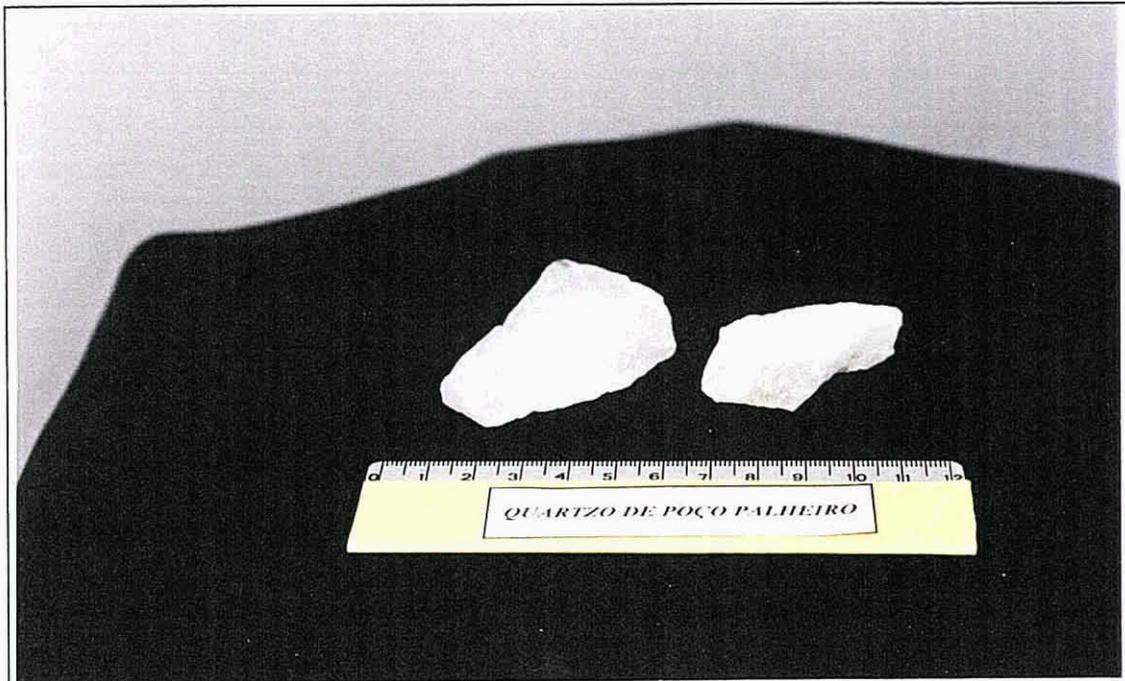


Figura 34- Observação macroscópica de uma amostra de quartzo de Poço Palheiro

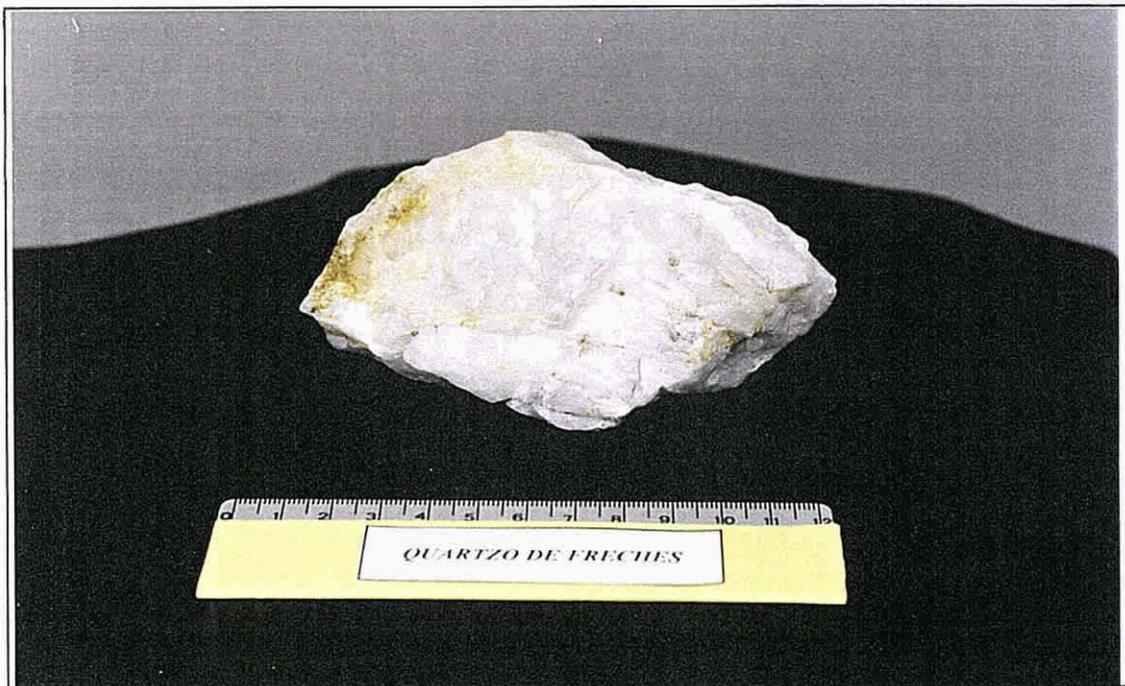


Figura 35- Observação macroscópica de uma amostra de quartzo de Freches

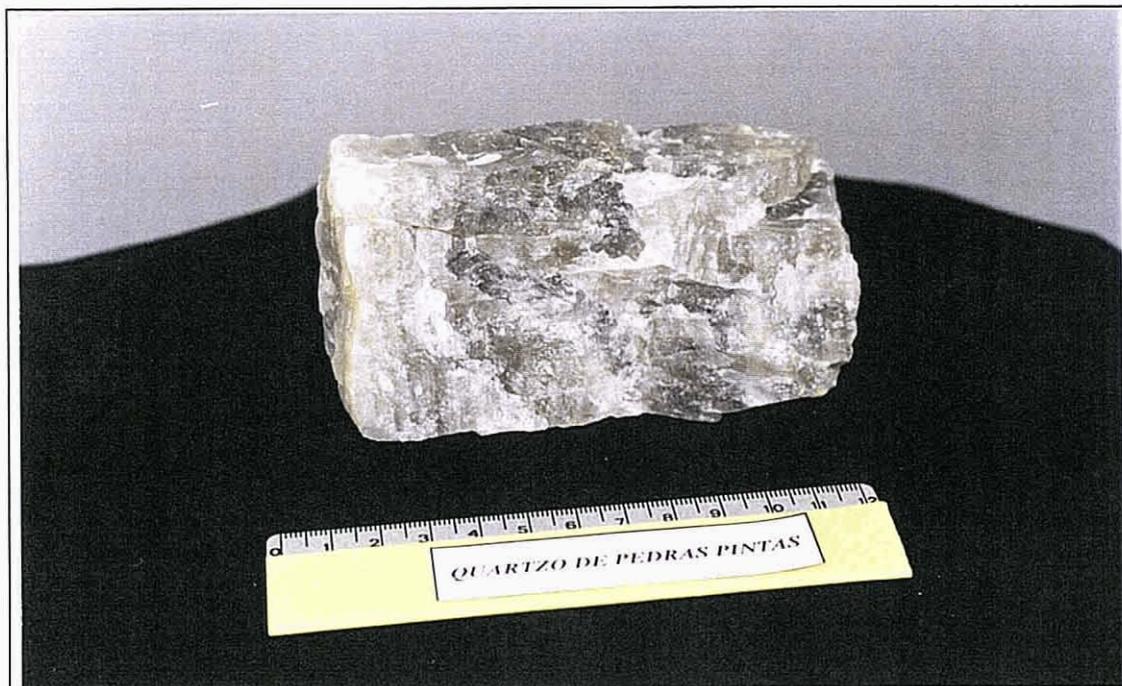


Figura 36- Observação macroscópica de uma amostra de quartzo de Pedras Pintas.

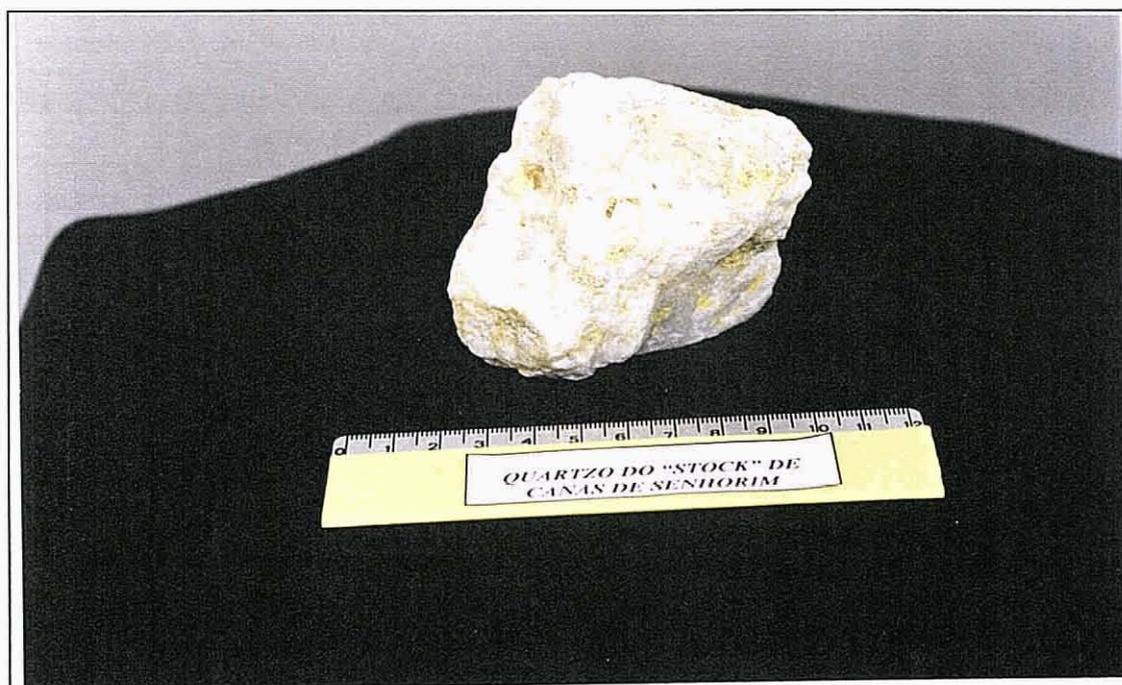


Figura 37- Observação macroscópica de uma amostra de quartzo do "stock" de Canas de Senhorim.

2. ANÁLISE PETROGRÁFICA

Os pegmatitos associados a rochas graníticas costumam apresentar quartzo que, geralmente, contém inclusões fluidas que o tornam, com frequência, não adequado para fusão produtora de vidro límpido.

O quartzo que ocorre em veios contém inclusões fluidas, que, ao rebentarem durante o aquecimento, podem provocar uma percentagem adicional de finos. Para fins metalúrgicos, o quartzo deve ser resistente e maciço, deve ser isento de finos e não deve decrepitar e formar partículas muito finas durante o aquecimento.

A produção de finos pode diminuir a porosidade da carga que, por sua vez, bloqueia o fluxo de gases, causando uma fusão e formação de crustas prematuras

A análise petrográfica efectuada mostrou que as amostras de quartzo diferem bastante de local para local, podendo-se tirar conclusões interessantes e que ajudam a avaliar as suas potencialidades.

As amostras de quartzo colhidas no depósito de Vila Longa e no “stock” de Canas de Senhorim são bastante semelhantes, apresentando-se o quartzo com um aspecto muito homogéneo, não se conseguindo em algumas das lâminas visualizar os limites do grão.

Nas amostras do “stock” de Canas de Senhorim, os grãos de quartzo surgem com grandes dimensões, bem individualizados, com limites subédricos a euédricos. Os grãos de quartzo apresentam uma ligeira a, por vezes, inexistente extinção ondulante e encontram-se bastante fracturados. A impureza principal é

constituída por pequeníssimos grãos de mica, contemporâneas da formação do quartzo.

Quanto às amostras do depósito de Vila Longa, os grãos de quartzo são de menor dimensão que nas amostras anteriores, enquanto noutras lâminas se observam campos completamente homogéneos. A extinção dos grãos de quartzo é ondulante. Os grãos de mica parecem ser contemporâneos do quartzo, no entanto, por vezes, observam-se alguns grãos alinhados em fracturas e nos bordos dos grãos de quartzo.

Contrastando com a elevada homogeneidade revelada nas amostras do “stock” de Canas de Senhorim e Vila Longa, devem referir-se as amostras dos depósitos de Dornas e Pedras Pintas. Nas amostras de Dornas, o quartzo apresenta-se com grãos de pequenas dimensões, com forte extinção ondulante e elevada heterogeneidade granular.

As amostras de Pedras Pintas são bastante heterogéneas. Em algumas lâminas, o campo de observação é bastante homogéneo, estando o quartzo isento de extinção ondulante e possuindo grão de grandes dimensões, muito pouco fracturado onde praticamente não se vislumbram impurezas. No entanto, noutras lâminas, o quartzo apresenta extinção ondulante, com a presença de grãos de mica de dimensões por vezes assinaláveis, frequentemente alinhadas quer ao longo dos limites dos grãos de quartzo quer ao longo de fracturas.

Nas amostras de Poço Palheiro, o quartzo apresenta-se com grão geralmente muito fino, constituindo um mosaico onde os grãos se interpenetram, apresentando acentuada extinção ondulante e forma anédrica. Os grãos de maiores dimensões apresentam alinhamento preferencial sendo as impurezas extremamente raras.

Quanto à amostra de Freches, numa das lâminas o campo de observação é muito homogéneo, apresentando o quartzo extinção ondulante. O quartzo ocorre

numa massa, sendo muito difícil a definição dos bordos dos grãos. O quartzo encontra-se muito fracturado, sendo visível uma geração mais nova de quartzo a preencher algumas fracturas.

Numa outra lâmina o quartzo tem um aspecto completamente distinto. O quartzo apresenta forte extinção ondulante, encontra-se bastante fracturado, sendo nítida uma orientação preferencial daquela extinção.

A extinção ondulante é uma característica típica do quartzo de veios e pegmatitos. Resulta de tensões mecânicas provocadas por tensões externas relacionadas com metamorfismo ou com o crescimento confinado, acções que produzem desorientação que pode deslocar o eixo óptico de alguns graus. É evidente que as diferenças verificadas na análise petrográfica reflectem bem os processos genéticos envolvidos.

As amostras que mostram grãos de grandes dimensões reflectem um arrefecimento lento, uma nucleação também lenta, onde a migração dos iões essenciais ao crescimento dos cristais é facilitada. Por sua vez, as amostras que apresentam cristais de quartzo de menores dimensões, reflectem um arrefecimento rápido, bem como um aumento de viscosidade e uma nucleação rápida.

Se bem que as considerações expressas e as análises não sejam eliminatórias em termos de avaliação do potencial dos quartzos estudados, podemos, no entanto, considerar como mais adequadas as amostras que revelam uma maior uniformidade petrográfica, em especial as amostras dos depósitos de Pedras Pintas e Freches. Devido à presença relativamente elevada de impurezas (óxidos de ferro e micas), as amostras do depósito de Dornas são as de menor qualidade.

As figuras seguintes, representam uma lâmina delgada de cada local de amostragem com a respectiva legenda.

Amostragem de quartzo nos depósitos seleccionados com vista à determinação dos parâmetros físicos e químicos relevantes para a aplicação



Figura 38 - Observação microscópica de uma amostra de quartzo de Dornas - quartzo com extinção ondulante e sub-grãos, com algumas inclusões fluidas.



Figura 39- Observação microscópica de uma amostra de quartzo de Vila Longa - quartzo com extinção ondulante e alguns sub-grãos



Figura 40- Observação microscópica de uma amostra de quartzo de Poço Palheiro - quartzo filoneano, um só grão e uma só orientação óptica. Não deformado e com muitas inclusões fluidas, clorite e moscovite.



Figura 41 - Observação microscópica de uma amostra de quartzo de Freches - quartzo filoneano com muitos planos de inclusões fluidas e extinção ondulante.

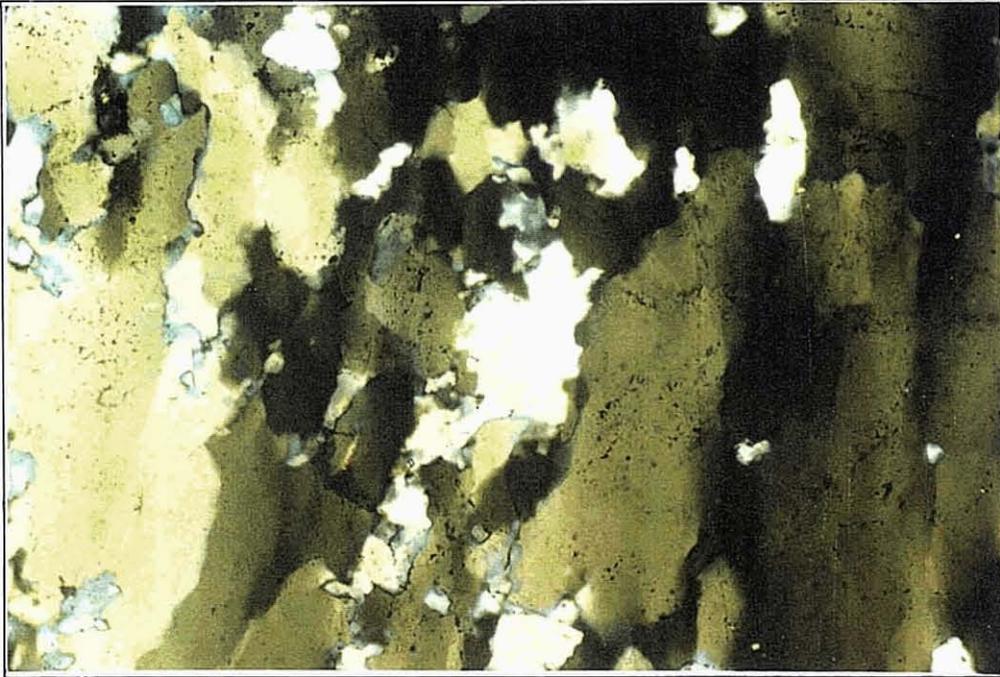


Figura 42- Observação microscópica de uma amostra de quartzo de Pedras Pintas - formação de neogrãos com acentuado estiramento. São identificáveis bordos de subgrão paralelos à direcção do eixo $\langle c \rangle$.

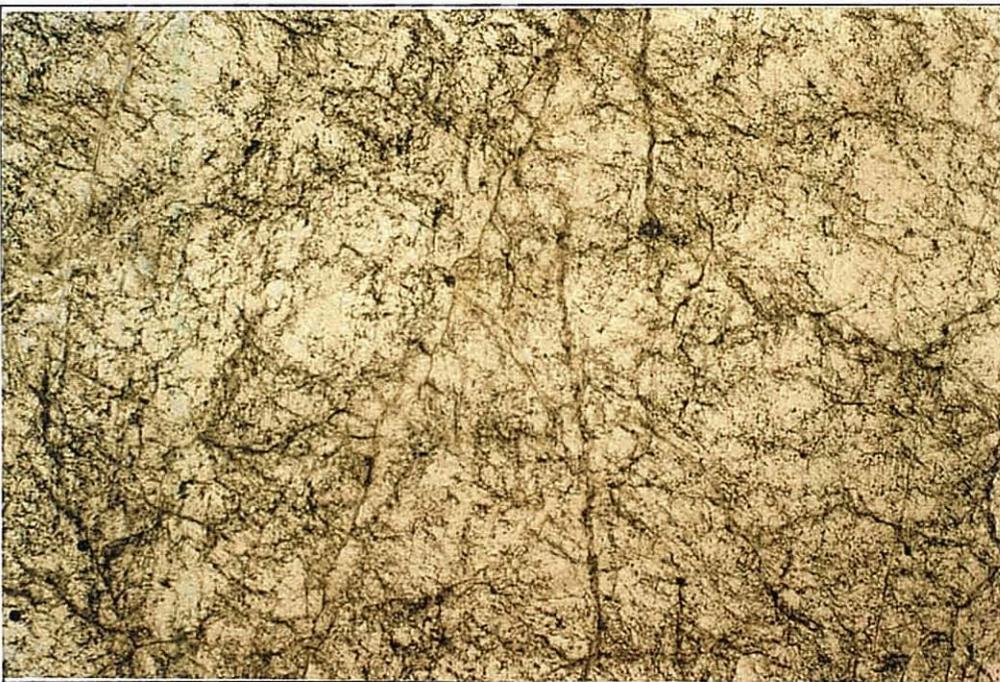


Figura 43- Observação microscópica de uma amostra de quartzo do "stock" de Canas de Senhorim - quartzo com extinção ondulante e muitos planos de inclusões fluidas.

3. ANÁLISE QUÍMICA

No intuito de esclarecer questões de adequabilidade para certas aplicações e questões relacionadas com a génese dos materiais em estudo, realizaram-se análises químicas fundamentais para a respectiva caracterização.

Assim, identificaram-se e avaliaram-se quantitativamente os elementos químicos presentes em cada amostra.

As técnicas analíticas utilizadas foram seleccionadas em função dos elementos a analisar, uns incidindo sobre espécimes sólidos (sob a forma de vidros provenientes de fusão, tendo em vista uma dispersão mais homogénea dos elementos químicos, ou sob a forma de pós prensados) outros incidindo sobre espécimes em solução.

Tornou-se necessário efectuar a fusão ou a dissolução química das amostras a analisar, processos que constituem etapas importantes na análise química das amostras.

Dada a complexidade dos materiais geológicos impõe-se uma técnica de decomposição o mais adequada possível, que satisfaça relativamente às características da amostra e ao objectivo da análise.

Relativamente às amostras de quartzo em estudo, foram utilizados os métodos de Espectrometria de fluorescência de Raios X e de Espectrofotometria de chama, que a seguir se descrevem mais detalhadamente através dos quais se determinaram os teores dos diferentes elementos químicos presentes, considerando sempre aqueles determinantes para as diversas aplicações, conforme as respectivas especificações.

3.1 ESPECTROMETRIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X

3.1.1 PRINCÍPIOS DA TÉCNICA

Dada a rapidez e precisão analítica, a técnica de Espectrometria de Fluorescência de Raios X (FRX), é correntemente usada na determinação dos elementos químicos em amostras de minerais e rochas.

Os equipamentos actualmente utilizados permitem determinar na maioria dos casos, elementos químicos com número atómico superior a 6, em concentrações que podem variar de poucos ppm a 100%. O equipamento por nós utilizado, de marca Philips PW 1410/00, apenas permite de forma segura, a detecção e quantificação dos elementos com número atómico superior a 10.

Contudo, há limitações em termos de precisão, relativamente à análise do Na e K com números atómicos de 11 e 12, respectivamente. Assim, optou-se pela utilização da técnica de Espectrofotometria de Chama para a análise destes elementos.

A base da FRX consiste em excitar os elementos químicos presentes numa amostra, através de um feixe policromático de raios X com determinada energia. A interferência dos raios X com os elementos químicos presentes na amostra faz com que estes emitam radiações características também denominadas secundárias ou de fluorescência.

Estas radiações características são dispersas por cristais analisadores ou dispersores, de modo a que possam ser resolvidas e depois captadas por detectores dos tipos proporcional e de cintilações.

Dado que a fluorescência de raios X não é uma técnica analítica de carácter absoluto, a concentração de um determinado elemento obtém-se por comparação da intensidade da radiação emitida por determinado elemento químico da amostra em estudo, com a intensidade da mesma radiação emitida por uma amostra padrão que contenha o mesmo elemento químico em quantidade conhecida (método do padrão interno).

As curvas de calibração são obtidas graficamente, representando-se em abcissas a relação intensidade do elemento na amostra em estudo / intensidade do elemento na amostra padrão e, em ordenadas, a quantidade conhecida do elemento na amostra padrão.

É fundamental a escolha do padrão correcto, pois a precisão do método é função da precisão das concentrações na amostra de referência.

3.1.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

A preparação das amostras a analisar é diferente consoante se pretendam determinar elementos maiores ou elementos menores, contudo quer se trate de uns ou outros, há uma primeira fase comum a ambos grupos de elementos.

A referida primeira fase consiste em tratar a amostra de modo a obter uma fracção de granulometria inferior a 200 mesh e submeter essa fracção a secagem em estufa, à temperatura de 110 °C.

Os elementos maiores determinaram-se através de um vidro, ou pérola, obtido por fusão da amostra. Para o efeito, num cadinho de platina apropriado é

misturado um grama de amostra e 5,5 gramas de fundente (mistura de metaborato e tetraborato de lítio, na razão de 34:66, respectivamente).

De seguida coloca-se o cadinho no aparelho PERL'X3, de marca Philips, no qual e através de instruções programáveis a amostra é fundida, após o que é vazada para um prato de platina, que funciona de suporte e molde. Quando arrefece, o disco assim obtido destaca-se facilmente do prato onde havia sido colocado.

No disco de vidro obtido a distribuição dos elementos químicos é homogénea, não se colocando o problema da representatividade da fina camada do espécime que será interferida pelos raios X.

Os elementos Si, Al, Ti, Fe, Mn, Mg e Ca foram quantificados através do método atrás referido.

Relativamente aos elementos menores, estes foram determinados através da execução de uma pastilha prensada. Para tal, utiliza-se cerca de 10 gramas de amostra, em pó, à qual se adicionam 9 gotas de aglutinante, solução de Moviol a 2 %, que se deve misturar eficazmente, com auxílio de uma vareta de vidro.

O preparado assim obtido é introduzido num molde metálico que é levado a uma prensa, onde é submetido a uma força de 15 toneladas/cm² durante um tempo mínimo de 30 segundos. A amostra fica pronta para análise logo que destacada do molde.

A figura seguinte representa o esquema de funcionamento da técnica que se acaba de descrever, denominada fluorescência de raios X.



Figura 44 - Esquema de funcionamento da técnica de Espectrometria de fluorescência de raios X

3.2 ESPECTROFOTOMETRIA DE CHAMA

3.2.1 PRINCÍPIOS DA TÉCNICA

Tal como já foi referido anteriormente, para a quantificação dos elementos Na e K optou-se pela técnica de Espectrofotometria de chama.

Submete-se uma solução do espécime a atomização numa chama de acetileno, em fotómetro de chama, o que vai provocar a transferência dos electrões para níveis de energia mais elevados, em consequência da energia transmitida aos átomos.

Quando os electrões regressam aos respectivos estados fundamentais emitem energia com comprimentos de onda característicos da natureza dos átomos. Estas radiações incidem sobre uma célula fotoelétrica, produzindo uma corrente eléctrica de intensidade proporcional à da radiação.

A corrente eléctrica produzida é amplificada e medida por intermédio de um galvanómetro, sendo as leituras proporcionais às concentrações dos elementos a determinar.

As concentrações de Na e K calculam-se com base em curvas de calibração elaboradas com duas gamas adequadas de padrões, uma para o sódio e outra para o potássio. Cada gama é constituída por amostras padrão com concentrações crescentes de 1, 3, 5, 7 e 10 ppm.

Utilizou-se para análise dos referidos elementos um fotómetro de chama da marca Corning, modelo 400, no qual foram lidos os valores de absorvância correspondentes às concentrações referidas, a partir dos quais se elaborou um gráfico com as respectivas rectas de calibração.

Efectuaram-se as leituras relativas à amostra em análise, projectando em seguida os valores da absorvância nos gráficos já referidos, calculando-se assim os valores das concentrações de Na e K.

3.2.2 PREPARAÇÃO DA SOLUÇÃO

Adiciona-se 5 ml de HF e 10 ml de uma mistura ácida [H₂SO₄ (1:1) + HNO₃ (C) e H₂O (destilada)] à amostra em pó, de peso compreendido entre 0,1 e 0,3 gr, colocada previamente num cadinho de Teflon.

A preparação efectuada é seca numa placa eléctrica a 150 °C. O processo volta a repetir-se após a adição de 10 ml da mesma mistura. O resíduo é dissolvido em 15 ml de HNO₃ (1:19) e filtrado com papel Whatman nº 4 para um balão de 250 ml, completando-se a capacidade deste balão com água desionizada.

3.3 PERDA AO RUBRO

Sob a forma de um pó a amostra deverá ser submetida primeiro a secagem, a 110 °C. Depois, retira-se uma toma de cerca de um grama que deverá ser colocada num cadinho de porcelana, previamente calcinado e de peso conhecido, e sujeita a tratamento térmico numa mufla a 1100 °C, pelo período de uma hora.

O cadinho é então retirado e arrefecido à temperatura ambiente num excicator, obtendo-se por pesagem o peso de amostra calcinada. A perda ao rubro calcula-se do seguinte modo:

$$\% \text{ de perda ao rubro} = \frac{\text{peso da amostra calcinada}}{\text{peso da amostra seca}} \times 100$$

3.4. DIFRACÇÃO DE RAIOS X (DRX)

Esta técnica é a mais correntemente utilizada na identificação, caracterização e quantificação dos minerais presentes numa dada amostra, que apresenta como

vantagens a rapidez, versatilidade e o facto de se tratar de uma técnica não destrutiva.

Como os minerais apresentam uma estrutura própria, o diagrama de DRX mostra um determinado modelo de difracção, sendo então, possível a sua correcta identificação.

A amostra deve ser moída até ficar em pó, e em seguida é montada num porta-amostras “Standard” evitando-se, tanto quanto possível, a orientação cristalográfica preferencial das poeiras. Esta montagem é a indicada para se proceder ao estudo da O-D estrutural do quartzo.

Esta técnica utiliza geralmente a radiação $K\alpha$ Cu, monocromatizada por filtro de Ni, com as seguintes condições de trabalho:

- velocidade de rotação do goniómetro (vg) = $1^\circ 2\theta / \text{min}$
- velocidade do papel de registo (vp) = 600 a 800 mm / h

Em seguida, procura-se obter um diagrama de difracção da amostra que convirá abranger o intervalo 2° e 40° (2θ). Os difractogramas obtidos são interpretados através da consulta dos ficheiros ASTM, assim como das fichas e informações suplementares existentes em publicações diversas.

O quadro XII apresenta os dados principais e mais característicos, habitualmente utilizados na identificação dos minerais mais comuns presentes numa amostra de quartzo.

QUADRO XII - Valores principais e mais característicos utilizados na identificação dos minerais mais comuns presentes numa amostra de quartzo

Mineral	Espaçamento (Å) do máximo de difracção característico	(hkl)	Espaçamento (Å) de outros máximos de difracção característicos
Quartzo	3.34		4.26; 2.45; 2.28; 1.82
Feldspato-k	3.25	040 202	6.45; 4.21; 3.83; 3.71; 3.48; 3.36; 3.29; 2.96
Feldspato-Na, Ca	3.18	002 040	6.52; 4.04; 3.91; 3.76; 3.63; 3.36; 3.21; 3.13; 2.95
Moscovite, 2M	9.99	002	4.98; 3.88; 3.73; 3.34; 3.21; 2.99; 2.87; 2.78; 2.56

A difracção não possui um grau de detecção para identificar as impurezas, que estão presentes em quantidades ínfimas. De qualquer modo, na figura 45 é mostrado um difractograma da amostra que apresenta maior teor de impurezas.

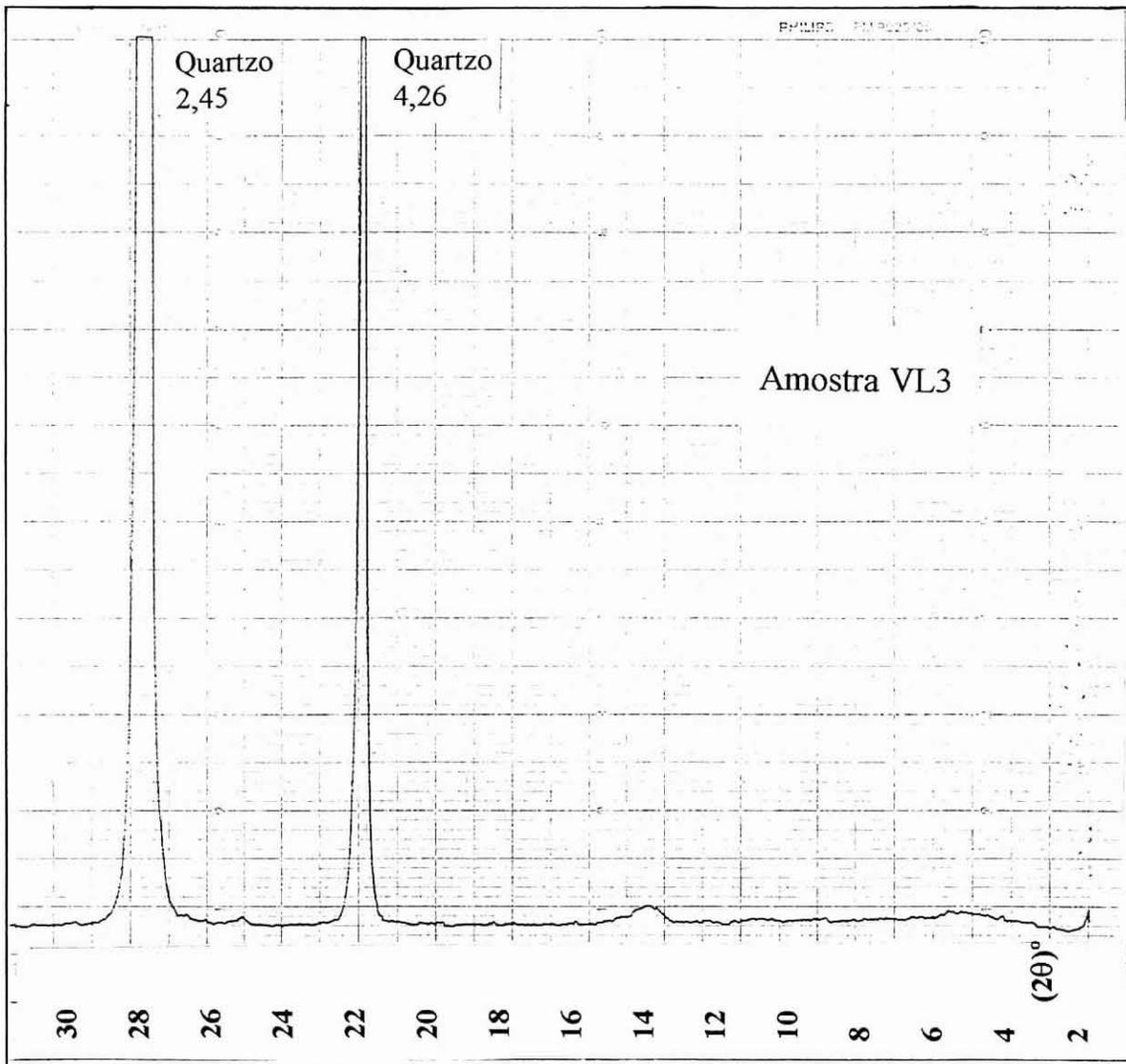


Figura 45 - Diffractograma da amostra que apresenta maior teor de impurezas

Assim, indicam-se nos quadros XIII, XIV, XV, XVI, XVII e XVIII para as amostras recolhidas nos depósitos seleccionados, os resultados das respectivas análises químicas.

4. RESULTADOS ANALÍTICOS

QUADRO XIII - Quartzos de Dornas

Amostra	D1	D2	D3
Ref.			
SiO₂	98,90	99.65	98.94
Fe₂O₃	0.19	0.14	0.27
Al₂O₃	0.23	< 200*	< 200*
TiO₂	0.01	0.01	0.01
CaO	0.01	0.02	0.01
MgO	< 200*	< 200*	< 200*
K₂O	0.01	0.01	96*
Na₂O	0.06	0.01	0.01
MnO	0.01	0.01	0.02
P₂O₅	0.04	0.04	0.04
P.R.	0.26	0.20	0.16
Total	99,72	100,09	99,46

* ppm

QUADRO XIV - Quartzos de Vila Longa

Amostra	VL1	VL2	VL3
Ref.			
SiO₂	99.46	99.59	98.90
Fe₂O₃	0.21	0.11	0.19
Al₂O₃	< 200*	< 200*	0.23
TiO₂	0.01	0.01	0.01
CaO	0.02	0.01	0.01
MgO	< 200*	< 200*	< 200*
K₂O	0.01	0.02	0.01
Na₂O	0.01	0.01	0.06
MnO	0.01	< 200*	0.01
P₂O₂	0.04	0.06	0.04
P.R.	0.34	0.31	0.37
Total	100,11	100,12	99,83

* ppm

QUADRO XV - Quartzos de Poço Palheiro

Amostra	PP1	PP2	PP3	PP4
Ref.				
SiO₂	98,71	98,72	99,02	99,03
Fe₂O₃	0,07	0,06	0,07	0,06
Al₂O₃	<200*	< 200*	< 200*	< 200*
TiO₂	0,01	0,01	0,01	0,01
CaO	0,01	0,01	0,01	0,01
MgO	<200*	< 200*	< 200*	< 200*
K₂O	83*	86*	88*	89*
Na₂O	0,13	97*	0,12	0,17
MnO	< 200*	< 200*	< 200*	< 200*
P₂O₂	0,03	0,03	0,03	0,04
P.R.	0,61	0,65	0,63	0,54
Total	99,57	99,48	99,89	99,86

* ppm

QUADRO XVI - Quartzos de Freches

Amostra	F1	F2	F3
Ref.			
SiO₂	98,76	99,37	99,36
Fe₂O₃	0,21	0,06	0,08
Al₂O₃	0,26	< 200*	< 200*
TiO₂	0,02	0,01	0,02
CaO	0,01	0,01	0,01
MgO	< 200*	< 200*	< 200*
K₂O	0,02	53*	0,01
Na₂O	0,01	0,11	0,06
MnO	< 200*	< 200*	< 200*
P₂O₂	0,04	0,04	0,04
P.R.	0,79	0,56	0,51
Total	99,86	100,16	100,09

*ppm

QUADRO XVII - Quartzos de Pedras Pintas

Amostra	PEDP1	PEDP2	PEDP3	PEDP4
Ref.				
SiO₂	99,33	99,26	99,12	99,28
Fe₂O₃	0,08	0,09	0,09	0,09
Al₂O₃	< 200*	< 200*	< 200*	< 200*
TiO₂	0,01	0,01	0,01	0,01
CaO	0,01	0,01	0,01	0,01
MgO	< 200*	< 200*	< 200*	< 200*
K₂O	80*	93*	98*	97*
Na₂O	0,04	0,01	0,03	0,14
MnO	< 200*	< 200*	< 200*	< 200*
P₂O₂	0,02	0,02	0,04	0,02
P.R.	0,54	0,38	0,43	0,56
Total	100,03	99,78	99,71	99,98

*ppm

QUADRO XVIII - Quartzos do “stock” de Canas de Senhorim”

Amostra Ref.	CS1	CS2	CS3	CS4
SiO₂	98.73	99.85	99.13	99.60
Fe₂O₃	0.31	0.11	0.12	0.12
Al₂O₃	0.14	< 200*	< 200*	< 200*
TiO₂	0.01	0.01	0.01	0.01
CaO	0.02	0.01	0.01	0.04
MgO	< 200*	< 200*	< 200*	< 200*
K₂O	0.02	0.02	0.02	0.02
Na₂O	0.05	0.01	0.01	0.01
MnO	0.02	< 200*	< 200*	0.01
P₂O₂	0.05	0.04	0.03	0.05
P.R.	0.14	0.23	0.15	0.27
Total	99,46	100,28	99,48	100,13

*ppm

Tal como se pode verificar pela observação dos quadros anteriores, os resultados analíticos evidenciam a presença de algumas impurezas nos quartzos estudados, embora as quantidades apresentadas não se afastem substancialmente dos valores exigidos nas diversas aplicações.

São de referir, como impurezas principais, as quantidades de Fe total, Al_2O_3 e alguns valores de perda ao rubro.

5. RESISTÊNCIA AO CHOQUE TÉRMICO

Para avaliar a resistência do quartzo ao choque térmico, a amostra deverá ser britada para calibres situados no intervalo de 20 a 30 mm e submetida à temperatura de 1300° C, durante um período de 60 minutos.

Após o arrefecimento do material da amostra, este deve ser crivado, numa série de peneiros com aberturas de 0,5; 2; 4; 7; 12,5 e 20 mm, respectivamente. Em seguida, pesa-se o material retido nos diferentes peneiros e calculam-se as percentagens acumuladas do material retido, com as quais se constrói a respectiva curva granulométrica.

A curva granulométrica assim obtida, também designada de Curva de Resistência ao Choque Térmico, corresponde à resistência do quartzo ao fraccionamento pela acção da temperatura, quando submetido a 1300° C durante 60 minutos.

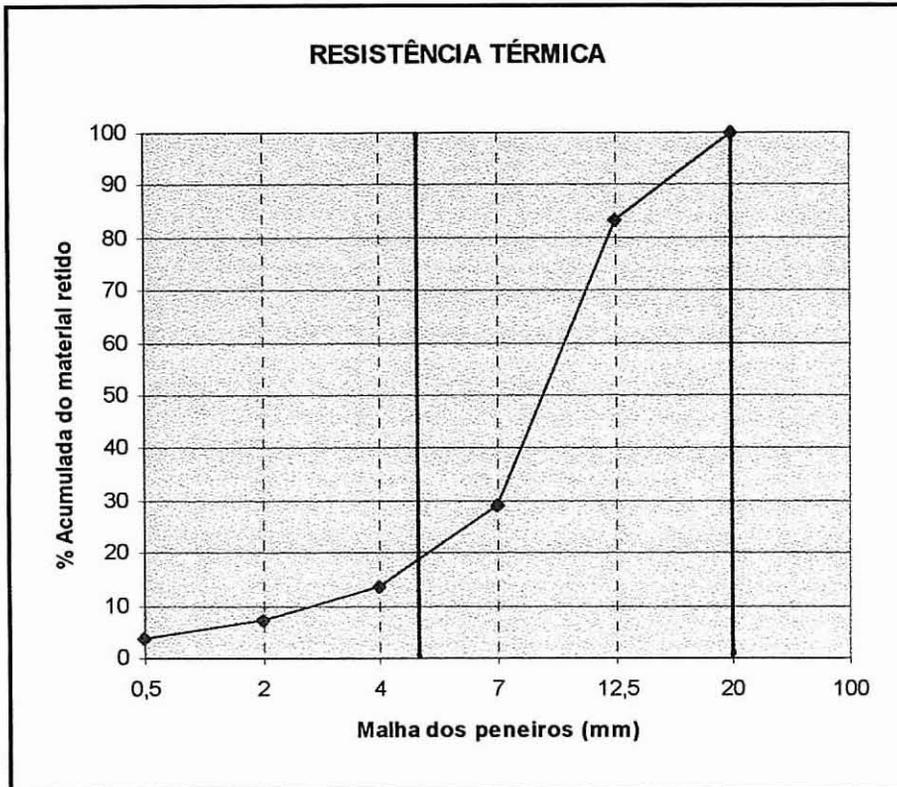
O resultado, avaliado em termos qualitativos, será tanto melhor quanto maior for a fracção granulométrica do material compreendida no intervalo de calibres 5 a 20 mm.

Este ensaio, tal como foi descrito, é utilizado por duas das maiores unidades electrometalúrgicas europeias, actualmente em funcionamento.

Em seguida, apresentam-se as curvas granulométricas obtidas nos ensaios de resistência ao choque térmico, realizados sobre cada uma das amostras de quartzo estudadas.

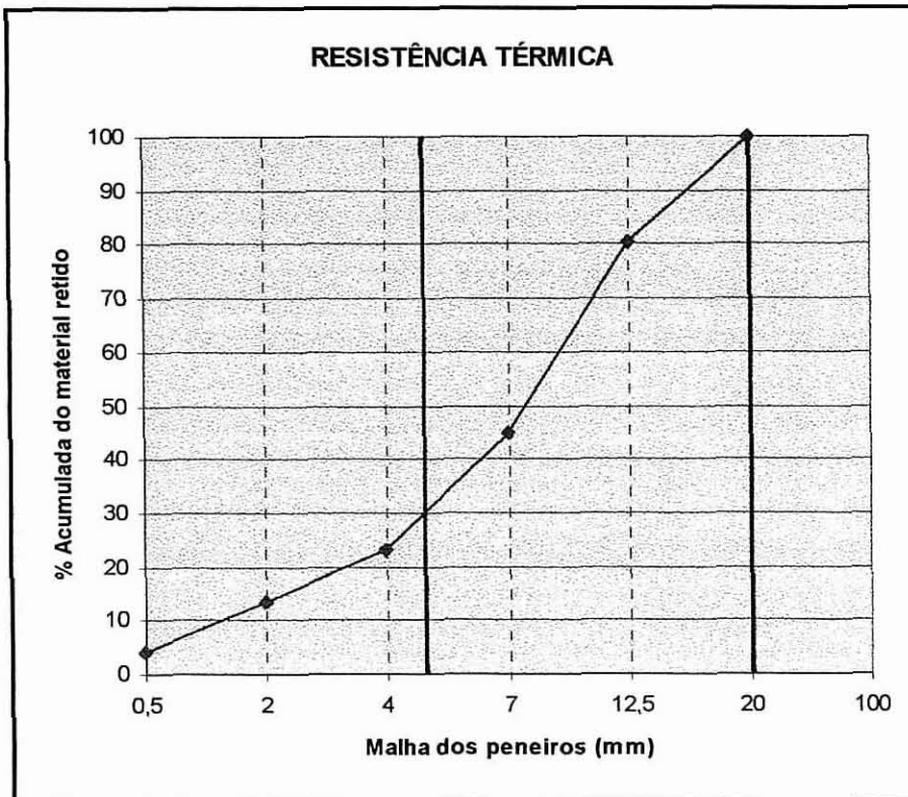
5.1 QUARTZO DE DORNAS

RESISTÊNCIA TÉRMICA	
Malha dos peneiros (mm)	% Acumulada do Material Retido
0,5	3,969
2	7,153
4	13,67
7	29,35
12,5	83,49
20	100



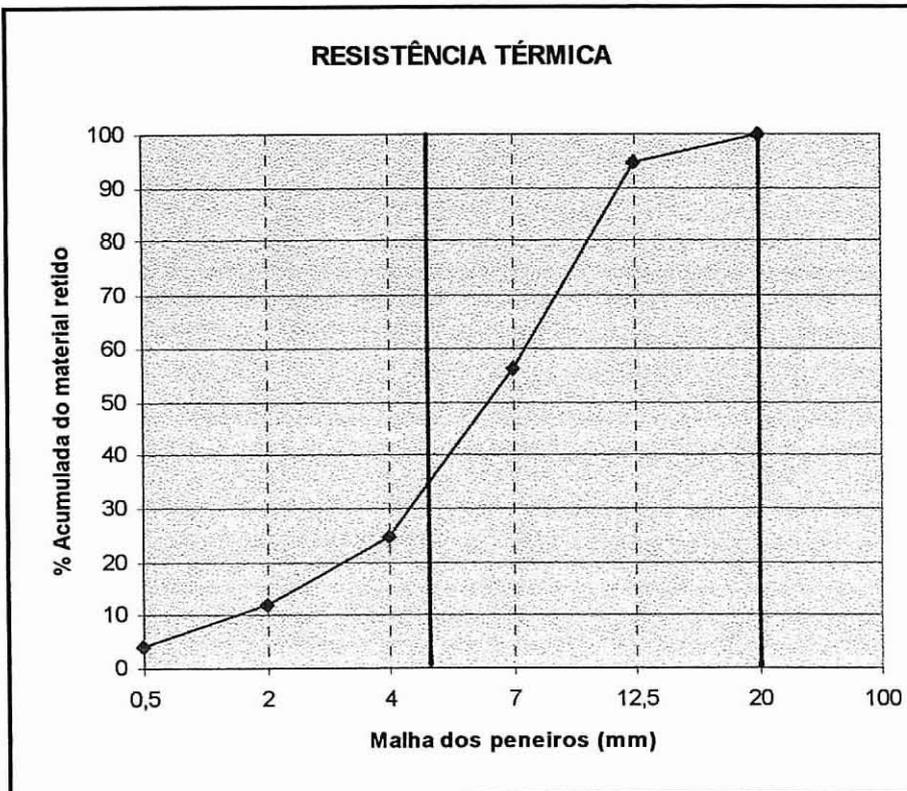
5.2 QUARTZO DE VILA LONGA

RESISTÊNCIA TÉRMICA	
Malha dos peneiros (mm)	% Acumulada do Material Retido
0,5	4,18
2	13,62
4	23,07
7	44,89
12,5	80,55
20	100



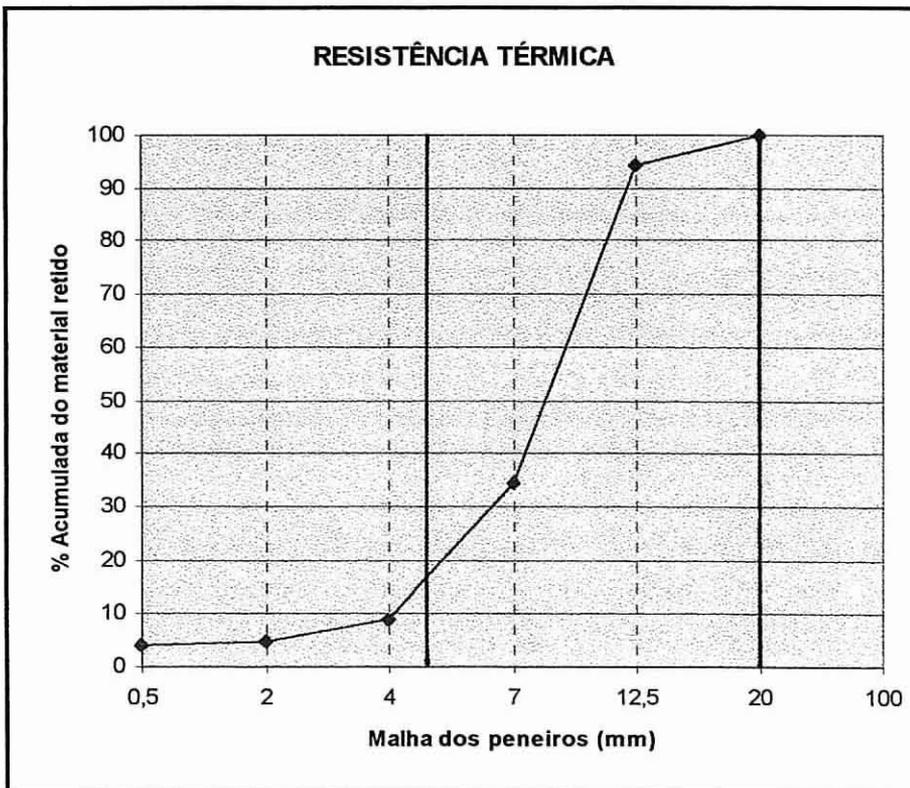
5.3 QUARTZO DE POÇO PALHEIRO

RESISTÊNCIA TÉRMICA	
Malha dos peneiros (mm)	% Acumulada do Material Retido
0,5	4,195
2	11,81
4	24,86
7	56,29
12,5	94,77
20	100



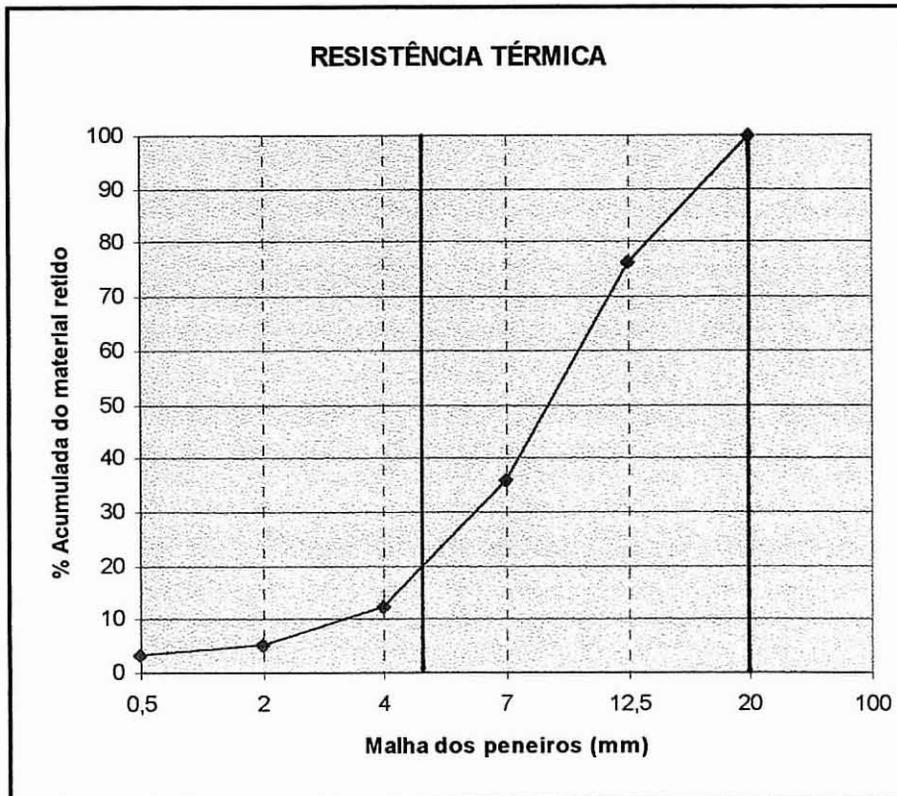
5.4 QUARTZO DE FRECHES

RESISTÊNCIA TÉRMICA	
Malha dos peneiros (mm)	% Acumulada do Material Retido
0,5	3,94
2	5,01
4	8,804
7	34,39
12,5	94,31
20	100



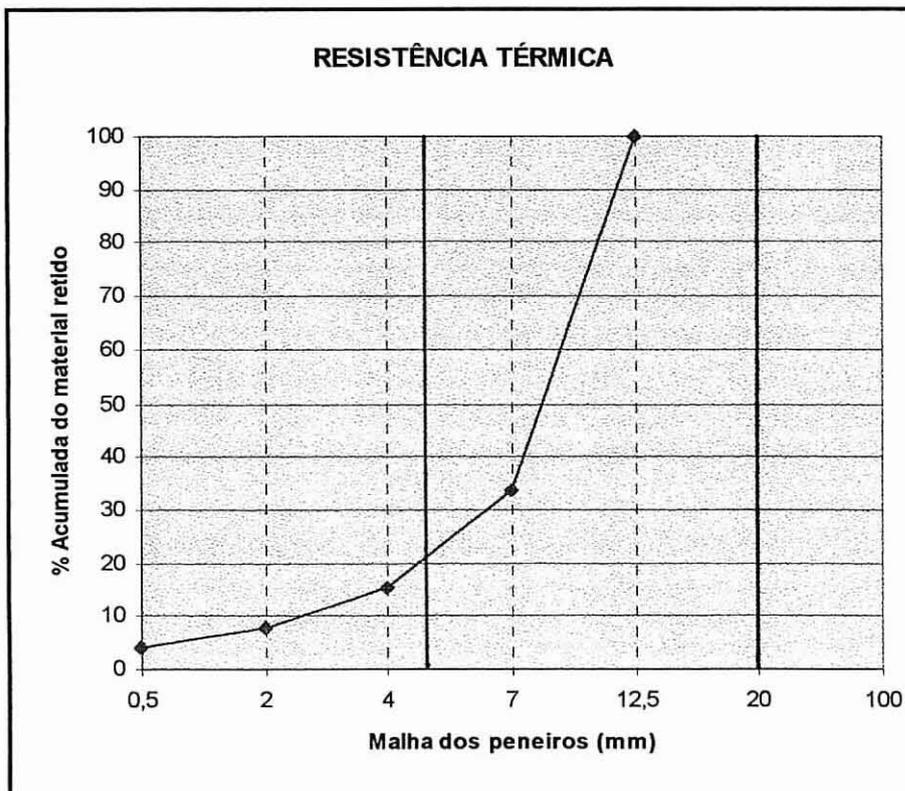
5.5 QUARTZO DE PEDRAS PINTAS

RESISTÊNCIA TÉRMICA	
Malha dos peneiros (mm)	% Acumulada do Material Retido
0,5	3,936
2	5,199
4	12,34
7	35,86
12,5	76,29
20	100



5.6 QUARTZO DO “STOCK” DE CANAS DE SENHORIM

Malha dos peneiros (mm)	RESISTÊNCIA TÉRMICA
	% Acumulada do Material Retido
0,5	4,008
2	7,719
4	15,29
7	33,89
12,5	100
20	



Tal como se pode observar nos gráficos anteriores, todos os quartzos estudados apresentam boa resistência ao choque térmico, pelo que podem considerar-se com aptidão para as produções de silíciometal e ferrosilício, especialmente os quartzos de Dornas, Freches, Pedras Pintas e do “stock” de Canas de Senhorim.

*Possíveis aplicações do quartzo em
função dos resultados obtidos das
amostras estudadas*

Capítulo 5

POSSÍVEIS APLICAÇÕES DO QUARTZO EM FUNÇÃO DO RESULTADO OBTIDOS DAS AMOSTRAS ESTUDADAS

Em termos de produção de ferrosilício, todas as amostras de quartzo estudadas apresentam valores de silício suficientemente elevados (todas acima de 98,71%), para não existir qualquer tipo de limitação. Mesmo as impurezas mais importantes que são Al_2O_3 e Fe total, à exceção das amostras CS1, VL1, VL3, D1, D3 e F1 apresentam abaixo dos requeridos. Pode-se concluir, com segurança, que o quartzo de todos locais amostrados apresenta qualidade suficiente para a produção de ferrosilício.

Quanto à produção de metal silício, as exigências são bastante maiores, no entanto, o quartzo de todos os locais amostrados, à exceção de Poço Palheiro, apresenta teores em SiO_2 próximos ou superiores a 99,30%. Em relação às principais impurezas, os teores de Al_2O_3 , MgO e CaO situam-se abaixo daquilo que é exigido, no entanto, o problema principal reside no teor de Fe total. As amostras de quartzo para este tipo de aplicação devem possuir um teor abaixo de 0,1%, de modo que as amostras dos depósitos de Pedras Pintas, de Poço Palheiro e duas de Freches, obedecem a este requisito.

O facto referido não é deveras limitativo da aplicação das restantes amostras de quartzo para a produção de silício metal. No processo de tratamento de quartzo para além de moagem e crivagem, esta matéria prima costuma ser tratada quimicamente com uma solução de HCL. Retirada a solução sobrenadante, o quartzo é seco e limpo de minerais ferríferos através da separação magnética. Consegue-se deste modo, obter quartzo com teor de Fe total abaixo de 0,01%.

Os quartzos que mais problemas e dificuldades podem levantar ao nível de redução dos teores de ferro são os do “stock” de Canas de Senhorim (teor médio de 0,17%), Vila Longa (teor médio de 0,17%) e de Dornas (teor médio de 0,20%). Neste depósitos, dever-se-ão realizar processos de beneficiação por separação magnética.

Quanto aos valores de perda ao rubro, a preocupação reside na possibilidade do quartzo decrepitar durante o processo de aquecimento. É importante que aqueles valores sejam os mais baixos possível, abaixo de 0,2%.

Verifica-se a existência de uma excelente correlação entre os teores de sílica e os de perda ao rubro, como seria, aliás, de esperar. Isto significa que os valores de perda ao rubro estão relacionados com a presença de impurezas. Para se atingir o valor máximo exigido de perda ao rubro, de 0,2% é necessário que a amostra de quartzo apresente um teor médio de SiO_2 de cerca de 99,75%. A aplicação dos processos de beneficiação atrás referidos constituirão uma solução viável para a resolução deste problema.

Relativamente à aplicação dos quartzos amostrados, nas indústrias de electrónica e óptica, exceptuando as amostras CS2, CS4, VL2 e D2, que se aproximam do valor exigido, todas as restantes não apresentam teor em SiO_2 suficiente.

Tal como se pode verificar nos quadros de resultados analíticos, excluindo as amostras atrás referidas, a quantidade total de impurezas existentes em cada uma das restantes amostras é superiores a 10 ppm, o que elimina qualquer possibilidade de aplicação naquelas indústrias.

Para aplicações em torres e tanques de ácido, pré-aquecedores de ar e filtragem, as quantidades de impurezas apresentadas pelos quartzos estudados são aceitáveis, mas nestes casos, são exigidas características granulométricas

difíceis de obter, dado que o quartzo teria de ser submetido a britagem, que lhe conferiria a dimensão necessária mas nunca a forma pretendida, pois esta deverá ser a mais esférica possível (baixa percentagem de fragmentos alongados, à excepção da aplicação em filtros de percolação).

Finalmente, faz-se uma referência à potencialidade do quartzo para a produção de silício para fins químicos. O nível de exigência é bastante superior, nomeadamente nos teores de ferro e da alumina. Com a utilização de métodos de separação magnética é possível atingir-se níveis suficientemente baixos de ferro e titânio. A principal dificuldade reside no teor de fósforo.

De facto, o quartzo deve estar isento deste elemento químico para se evitar a formação de gases nocivos no interior do forno. Esta dificuldade reside, fundamentalmente, ao nível do processo de fabrico não sendo uma condicionante decisiva da viabilidade da matéria prima.

Apesar dos teores de cálcio se situarem ligeiramente acima do exigido, consideram-se suficientemente baixos para não originarem qualquer tipo de problema.

Em seguida, representam-se graficamente os valores obtidos nas análises químicas versus valores típicos necessários para a produção de silíciometal e ferrosilício, e de silício para a indústria química, já que, face aos resultados obtidos, estas são as aplicações mais apropriadas para os quartzos analisados.

Relativamente ao SiO_2 , o valor indicado deve ser considerado como o mínimo necessário para cada uma das aplicações, ao contrário dos restantes elementos, cujos valores devem ser considerados como o máximo admissível para cada uma das aplicações consideradas, pois constituem os contaminantes principais.

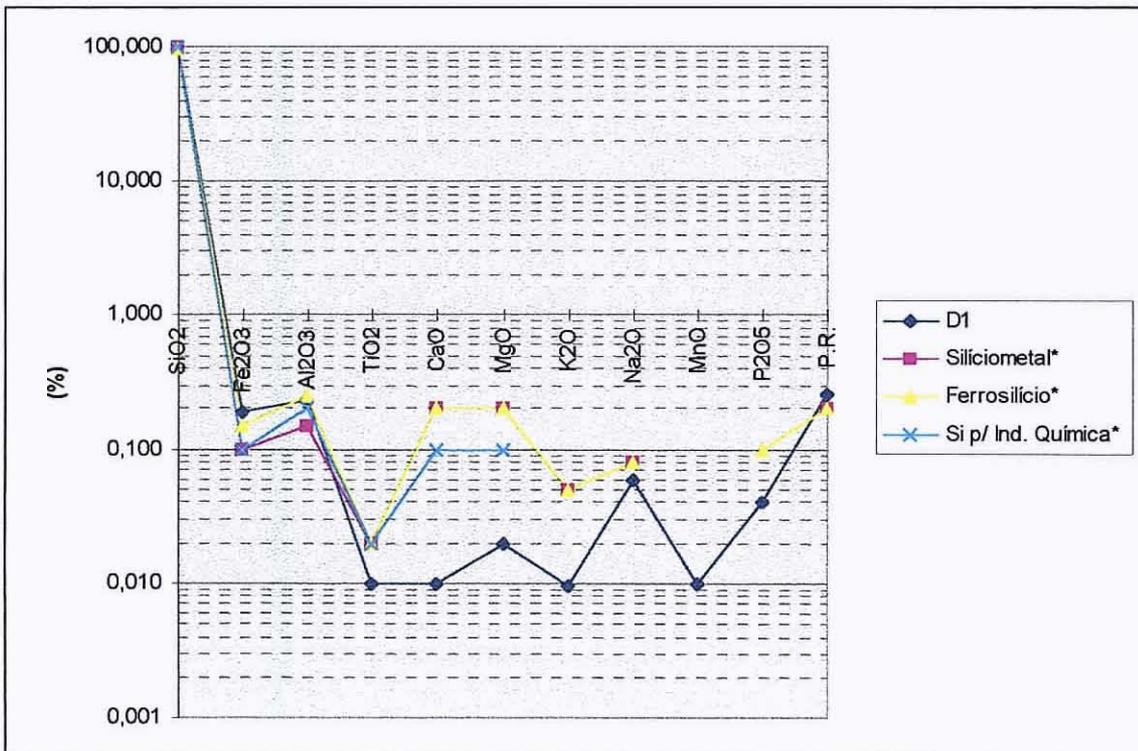
As quantidades de cada elemento químico (apresentadas em percentagem) devem ser entendidas como indicadores, e podem ser consideradas como referência para os países europeus e Estados Unidos da América.

Contudo, pode acontecer que algumas unidades metalúrgicas exijam teores mais elevados para o SiO_2 e teores menores para os restantes elementos, o que obrigará os produtores de quartzo a apurar as operações de beneficiamento e escolha manual.

1. AMOSTRAS DO DEPÓSITO DE DORNAS

	D1
SiO ₂	98,900
Fe ₂ O ₃	0,190
Al ₂ O ₃	0,230
TiO ₂	0,010
CaO	0,010
MgO	0,020
K ₂ O	0,010
Na ₂ O	0,060
MnO	0,010
P ₂ O ₅	0,040
P.R.	0,260

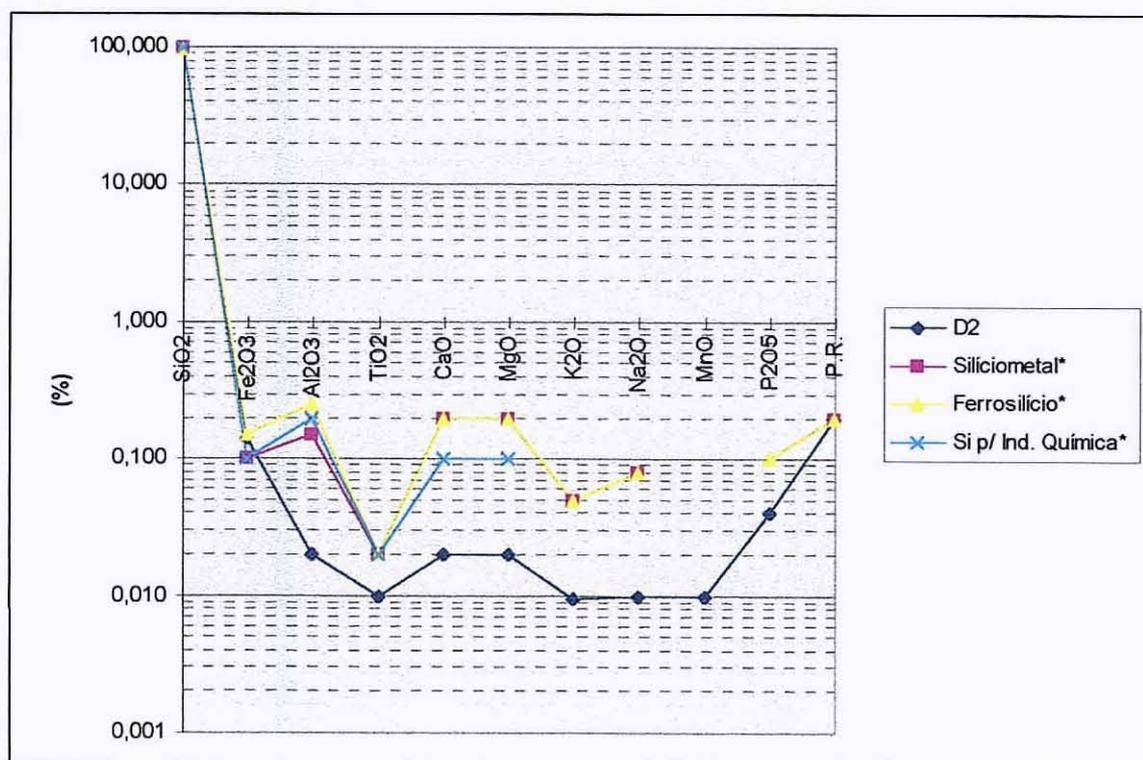
DORNAS 1



* Características típicas

	D2
SiO ₂	99,650
Fe ₂ O ₃	0,140
Al ₂ O ₃	0,020
TiO ₂	0,010
CaO	0,020
MgO	0,020
K ₂ O	0,010
Na ₂ O	0,010
MnO	0,010
P ₂ O ₅	0,040
P.R.	0,200

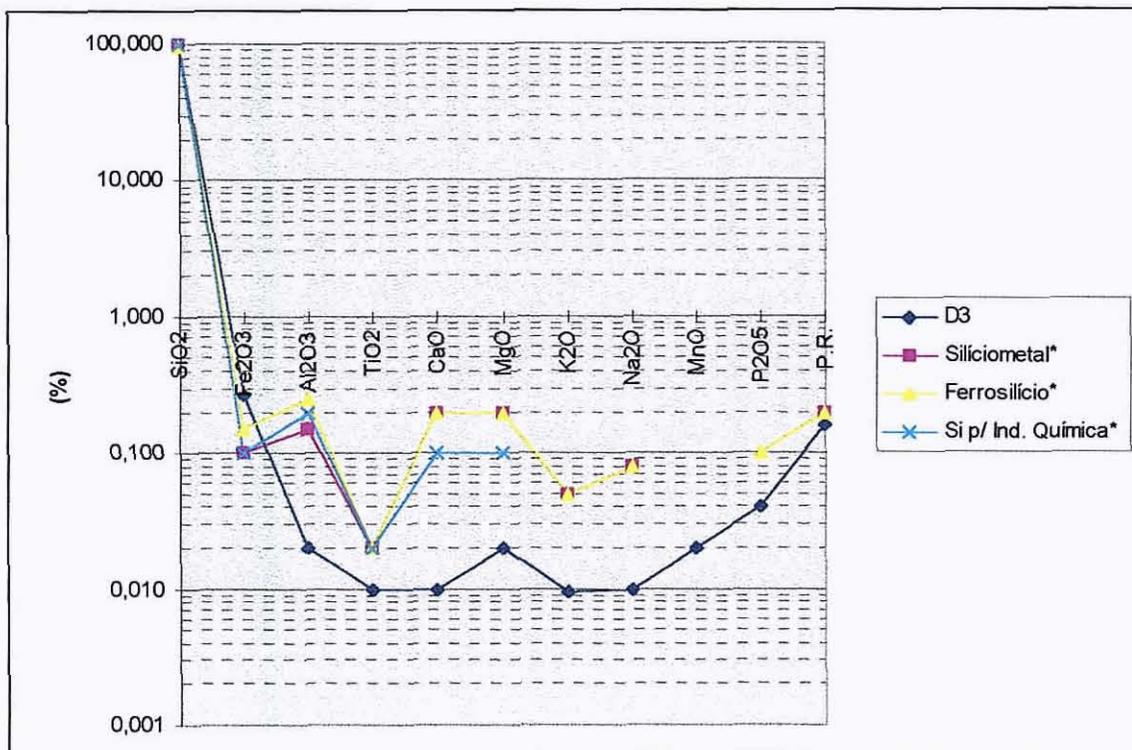
DORNAS 2



* Características típicas

	D3
SiO ₂	98,940
Fe ₂ O ₃	0,270
Al ₂ O ₃	0,020
TiO ₂	0,010
CaO	0,010
MgO	0,020
K ₂ O	0,010
Na ₂ O	0,010
MnO	0,020
P ₂ O ₅	0,040
P.R.	0,160

DORNAS 3

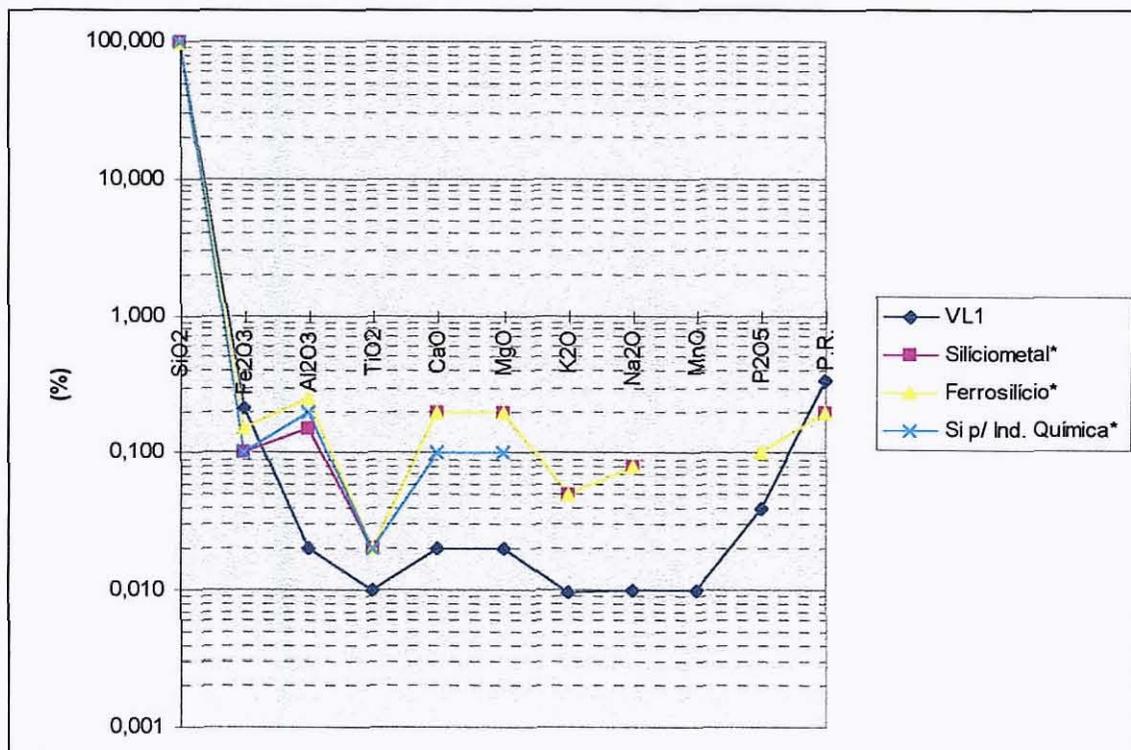


* Características típicas

2. AMOSTRAS DO DEPÓSITO DE VILA LONGA

	VL1
SiO ₂	99,460
Fe ₂ O ₃	0,210
Al ₂ O ₃	0,020
TiO ₂	0,010
CaO	0,020
MgO	0,020
K ₂ O	0,010
Na ₂ O	0,010
MnO	0,010
P ₂ O ₅	0,040
P.R.	0,340

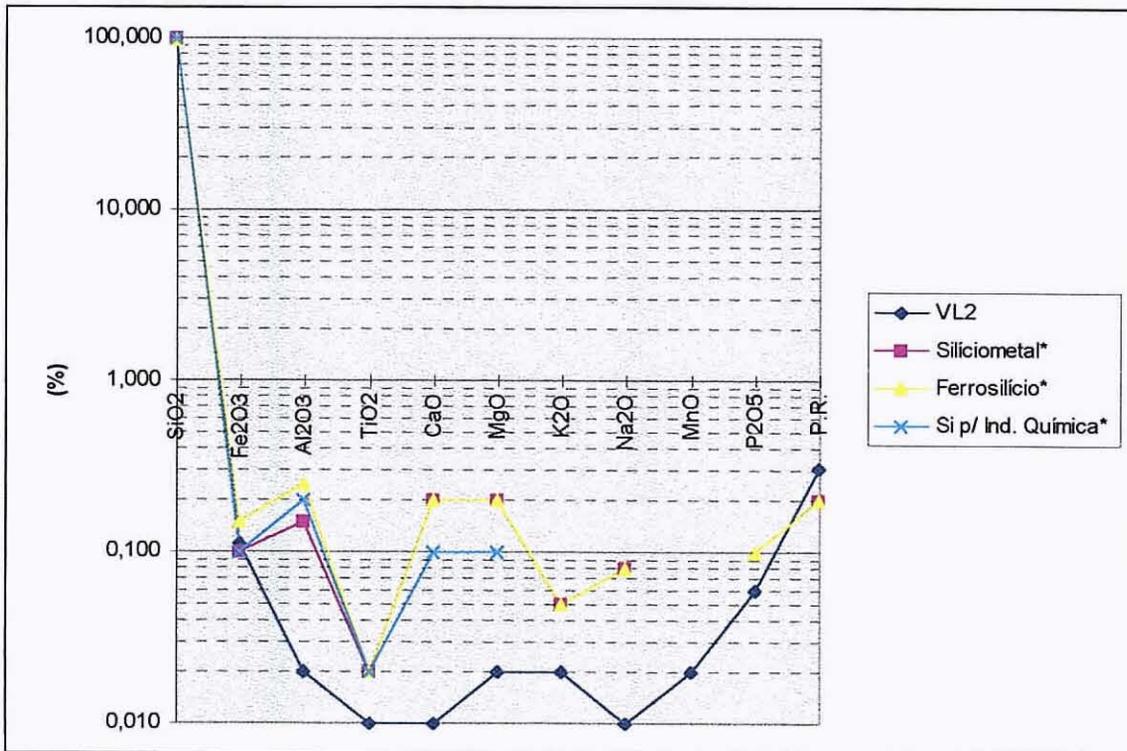
VILA LONGA 1



* Características típicas

	VL2
SiO ₂	99,590
Fe ₂ O ₃	0,110
Al ₂ O ₃	0,020
TiO ₂	0,010
CaO	0,010
MgO	0,020
K ₂ O	0,020
Na ₂ O	0,010
MnO	0,020
P ₂ O ₅	0,060
P.R.	0,310

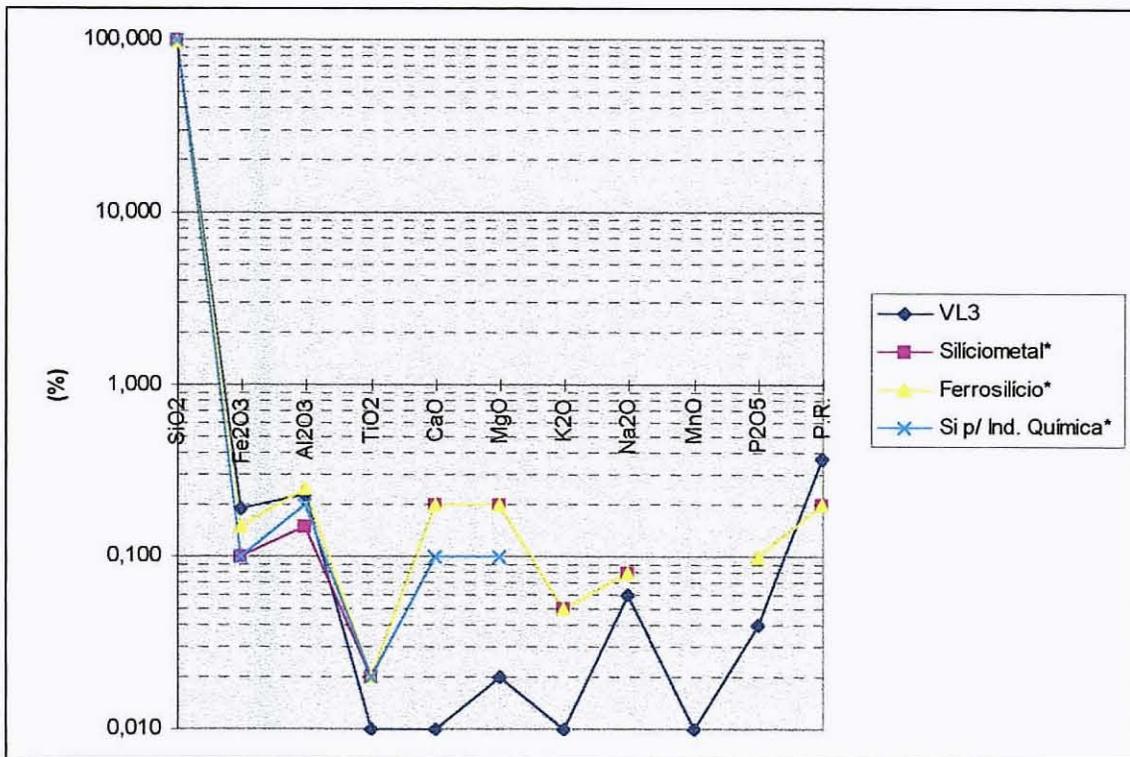
VILA LONGA 2



* Características típicas

	VL3
SiO ₂	98,900
Fe ₂ O ₃	0,190
Al ₂ O ₃	0,230
TiO ₂	0,010
CaO	0,010
MgO	0,020
K ₂ O	0,010
Na ₂ O	0,060
MnO	0,010
P ₂ O ₅	0,040
P.R.	0,370

VILA LONGA 3

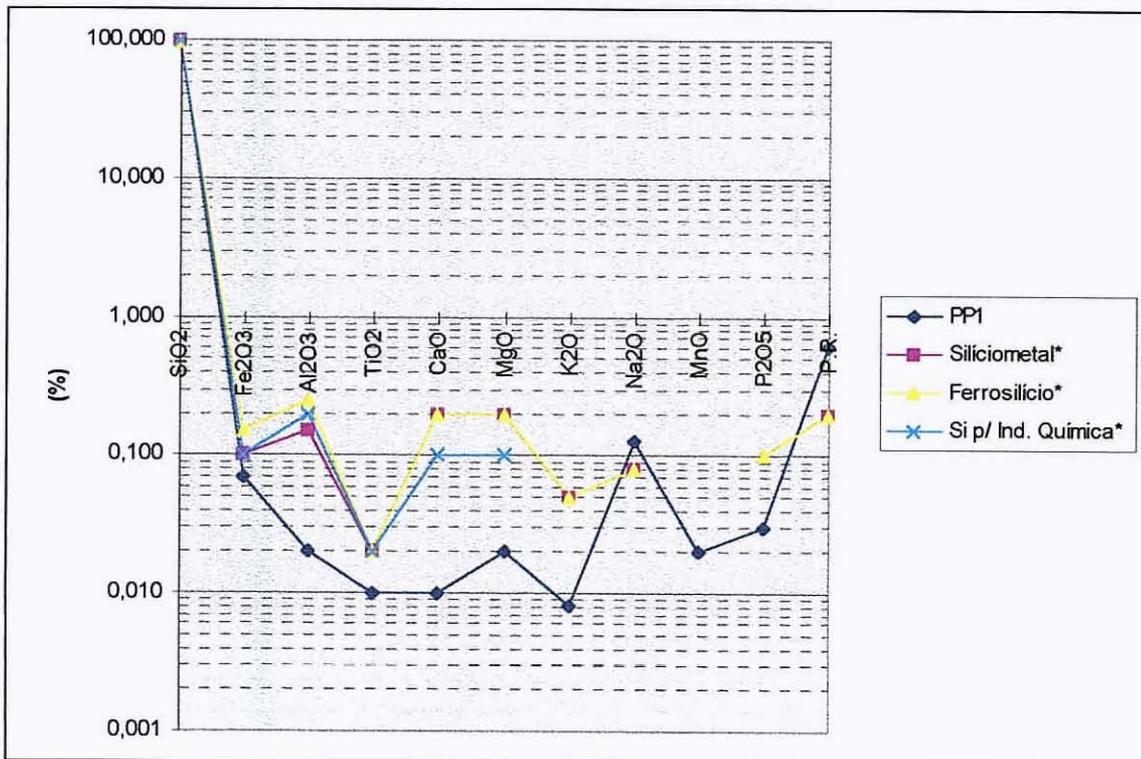


* Características típicas

3. AMOSTRAS DO DEPÓSITO DE POÇO PALHEIRO

	PP1
SiO ₂	98,710
Fe ₂ O ₃	0,070
Al ₂ O ₃	0,020
TiO ₂	0,010
CaO	0,010
MgO	0,020
K ₂ O	0,008
Na ₂ O	0,130
MnO	0,020
P ₂ O ₅	0,030
P.R.	0,610

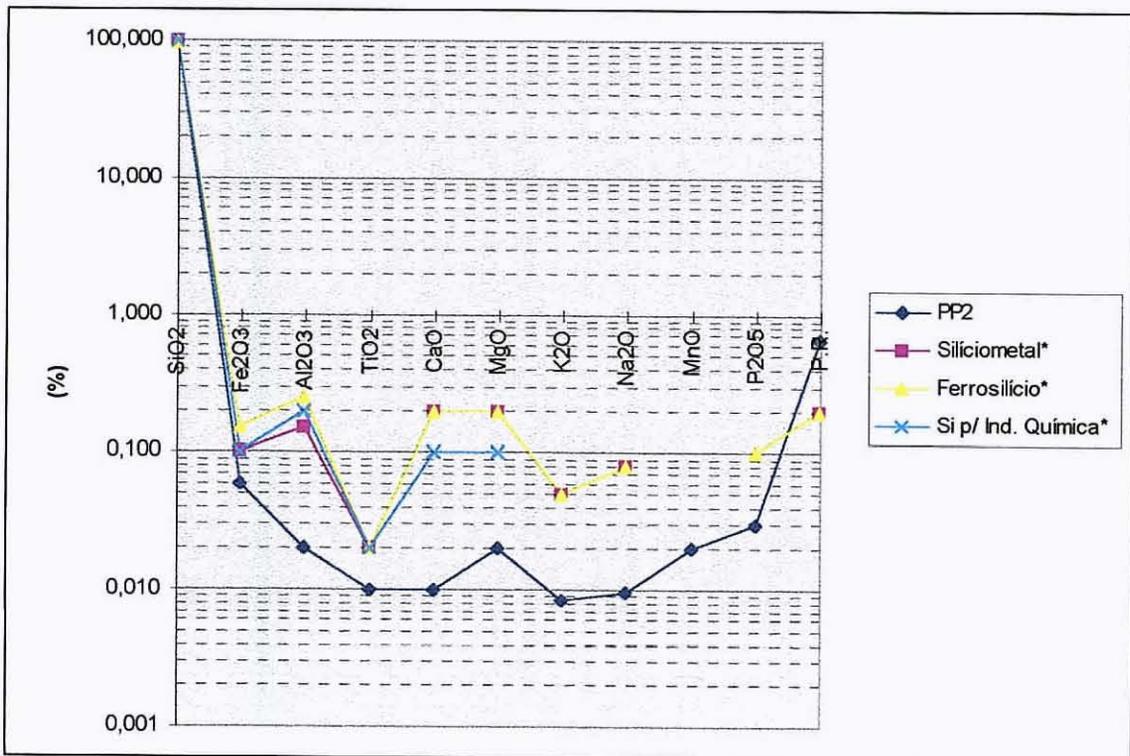
POÇO PALHEIRO 1



* Características típicas

	PP2
SiO ₂	98,720
Fe ₂ O ₃	0,060
Al ₂ O ₃	0,020
TiO ₂	0,010
CaO	0,010
MgO	0,020
K ₂ O	0,009
Na ₂ O	0,010
MnO	0,020
P ₂ O ₅	0,030
P.R.	0,650

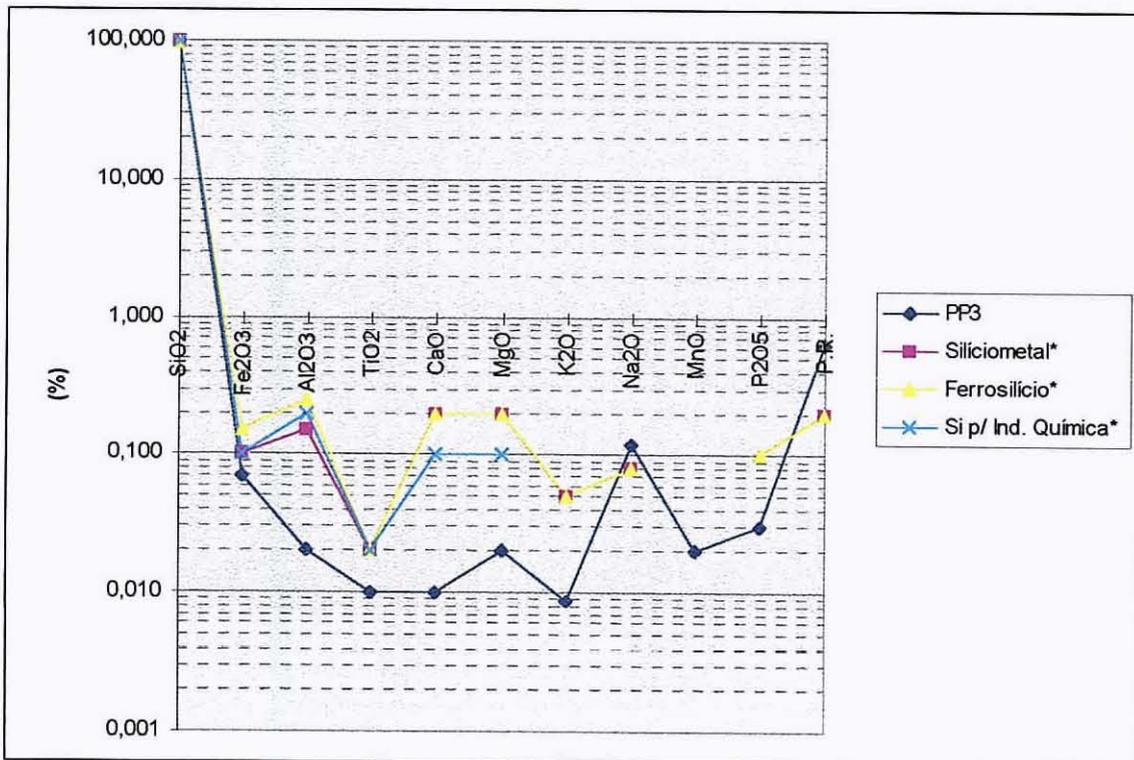
POÇO PALHEIRO 2



* Características típicas

	PP3
SiO ₂	99,020
Fe ₂ O ₃	0,070
Al ₂ O ₃	0,020
TiO ₂	0,010
CaO	0,010
MgO	0,020
K ₂ O	0,009
Na ₂ O	0,120
MnO	0,020
P ₂ O ₅	0,030
P.R.	0,630

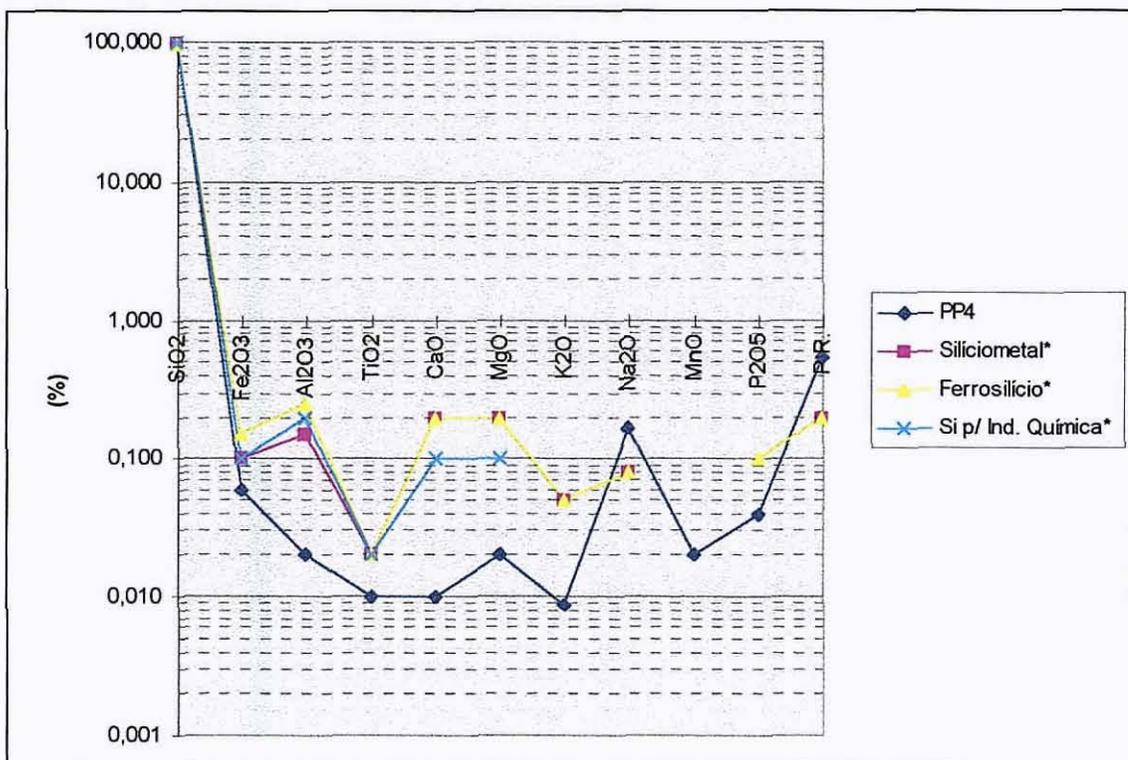
POÇO PALHEIRO 3



* Características típicas

	PP4
SiO ₂	99,030
Fe ₂ O ₃	0,060
Al ₂ O ₃	0,020
TiO ₂	0,010
CaO	0,010
MgO	0,020
K ₂ O	0,009
Na ₂ O	0,170
MnO	0,020
P ₂ O ₅	0,040
P.R.	0,540

POÇO PALHEIRO 4

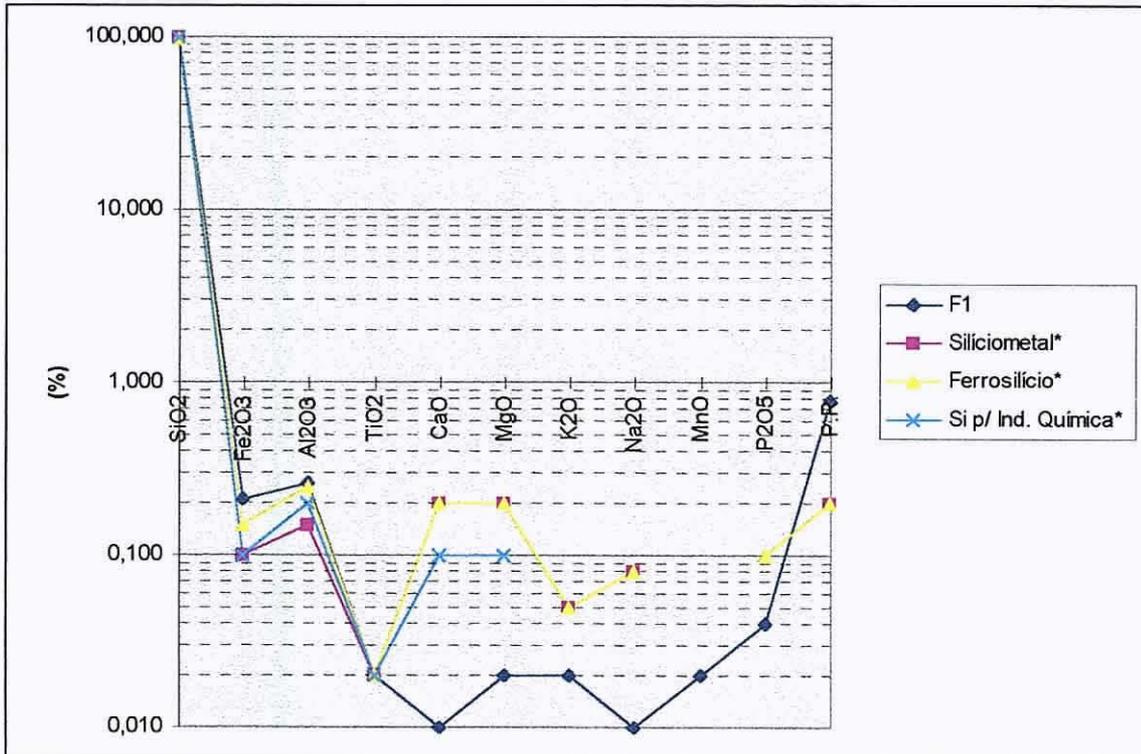


* Características típicas

4. AMOSTRAS DO DEPÓSITO DE FRECHES

	F1
SiO ₂	98,760
Fe ₂ O ₃	0,210
Al ₂ O ₃	0,260
TiO ₂	0,020
CaO	0,010
MgO	0,020
K ₂ O	0,020
Na ₂ O	0,010
MnO	0,020
P ₂ O ₅	0,040
P.R.	0,790

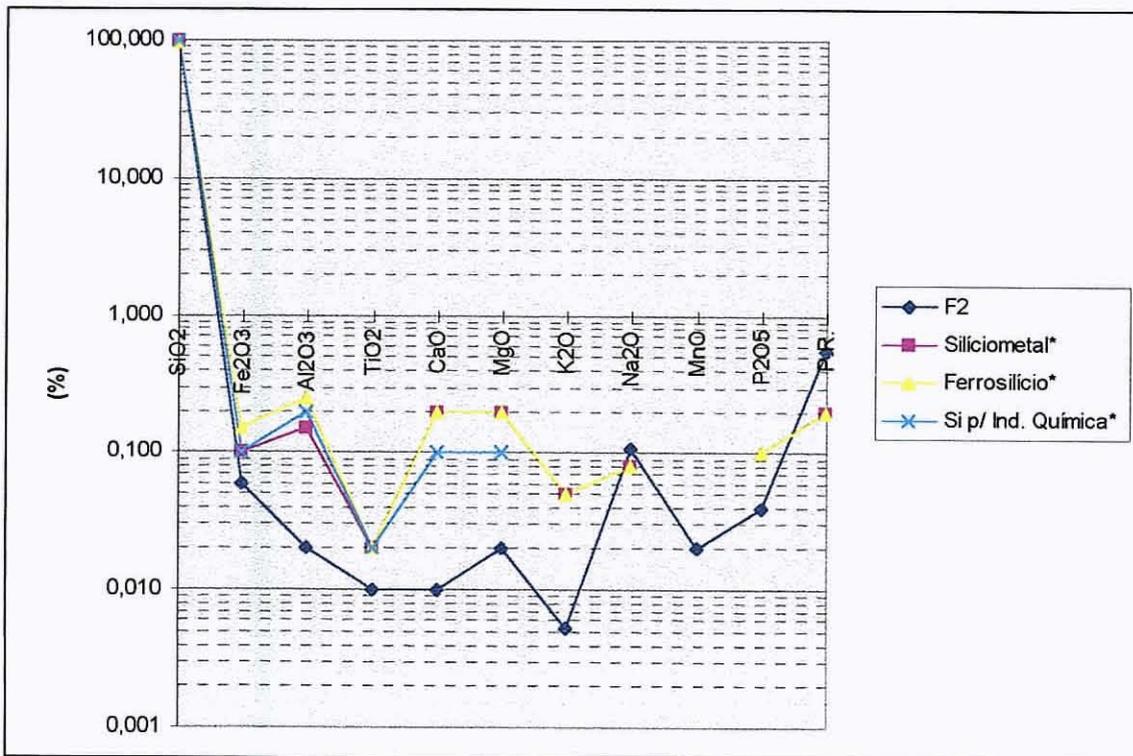
FRECHES 1



* Características típicas

	F2
SiO ₂	99,370
Fe ₂ O ₃	0,060
Al ₂ O ₃	0,020
TiO ₂	0,010
CaO	0,010
MgO	0,020
K ₂ O	0,005
Na ₂ O	0,110
MnO	0,020
P ₂ O ₅	0,040
P.R.	0,560

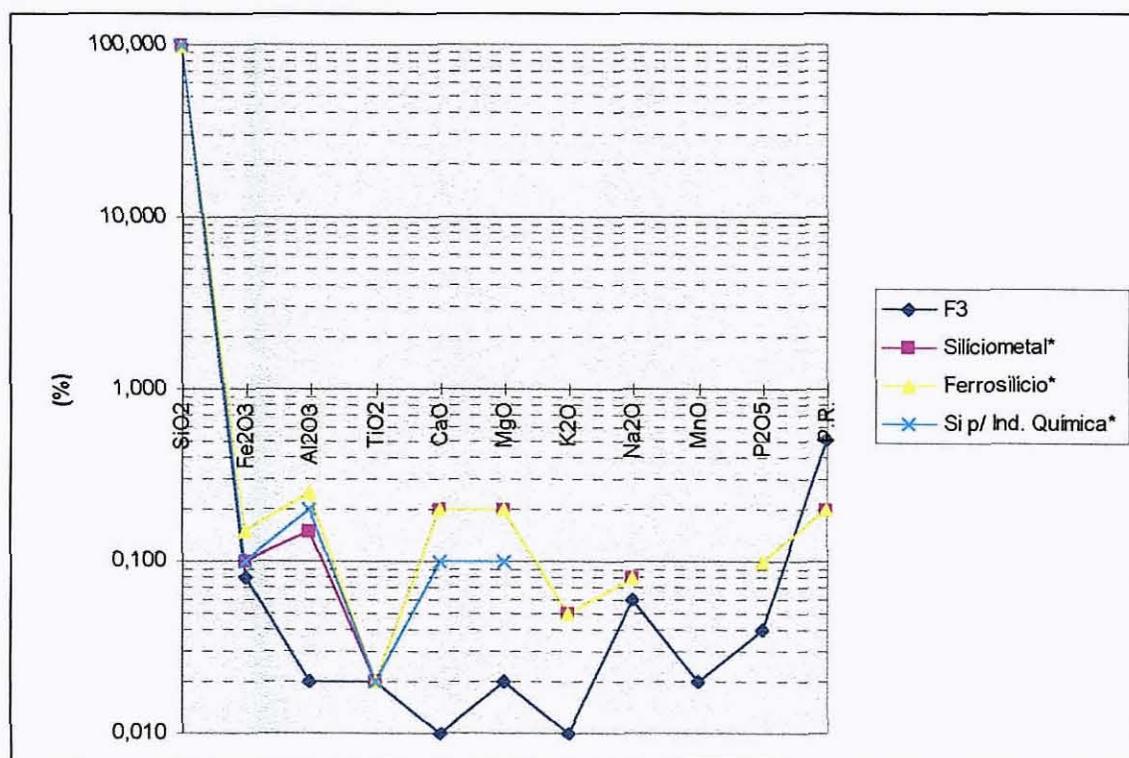
FRECHES 2



* Características típicas

	F3
SiO ₂	99,360
Fe ₂ O ₃	0,080
Al ₂ O ₃	0,020
TiO ₂	0,020
CaO	0,010
MgO	0,020
K ₂ O	0,010
Na ₂ O	0,060
MnO	0,020
P ₂ O ₅	0,040
P.R.	0,510

FRECHES 3

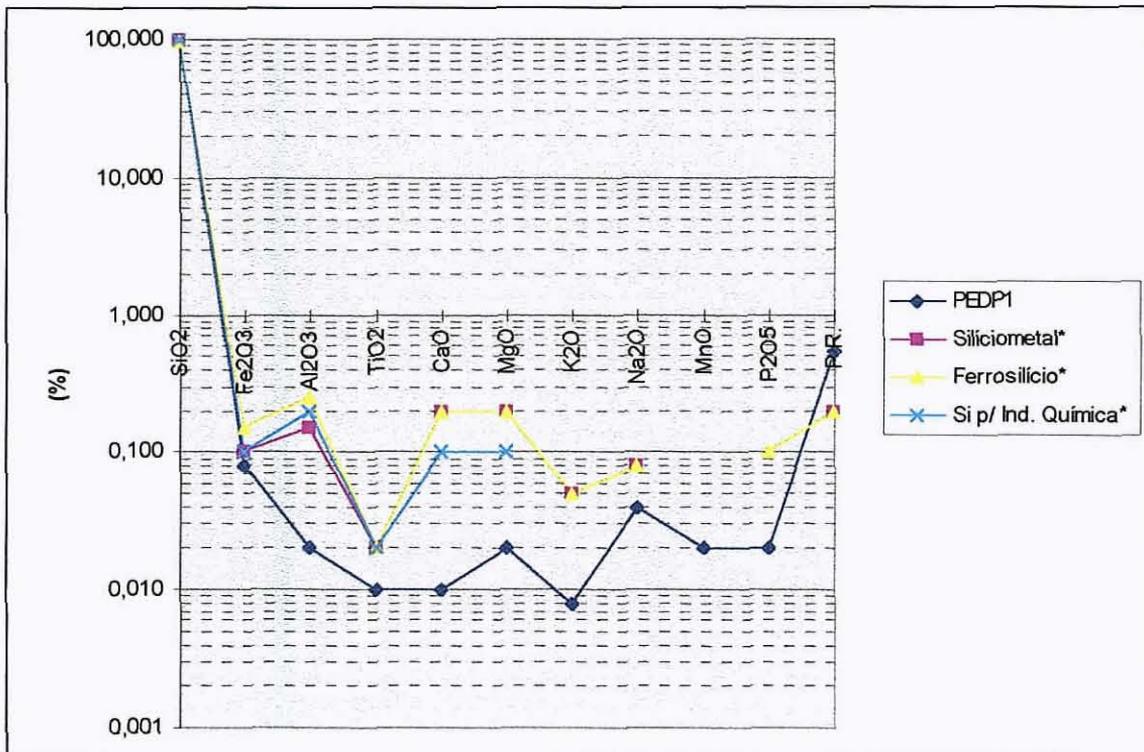


* Características típicas

5. AMOSTRAS DO DEPÓSITO DE PEDRAS PINTAS

	PEDP1
SiO ₂	99,330
Fe ₂ O ₃	0,080
Al ₂ O ₃	0,020
TiO ₂	0,010
CaO	0,010
MgO	0,020
K ₂ O	0,008
Na ₂ O	0,040
MnO	0,020
P ₂ O ₅	0,020
P.R.	0,540

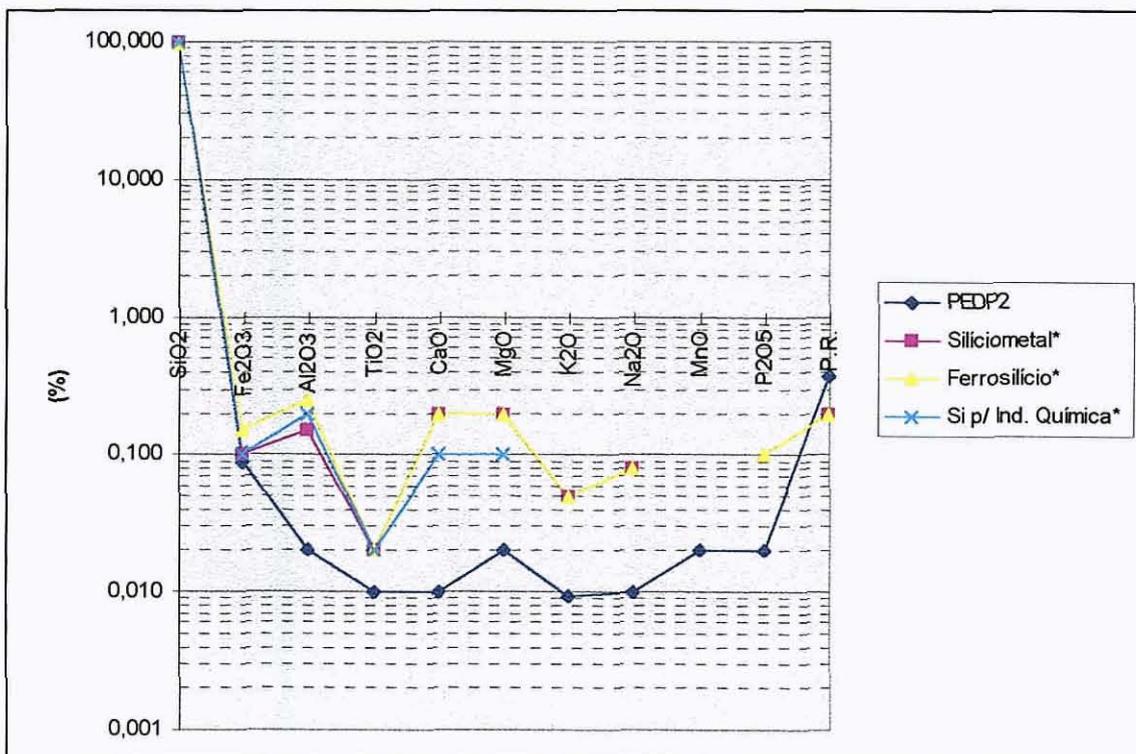
PEDRAS PINTAS 1



* Características típicas

	PEDP2
SiO ₂	99,260
Fe ₂ O ₃	0,090
Al ₂ O ₃	0,020
TiO ₂	0,010
CaO	0,010
MgO	0,020
K ₂ O	0,009
Na ₂ O	0,010
MnO	0,020
P ₂ O ₅	0,020
P.R.	0,380

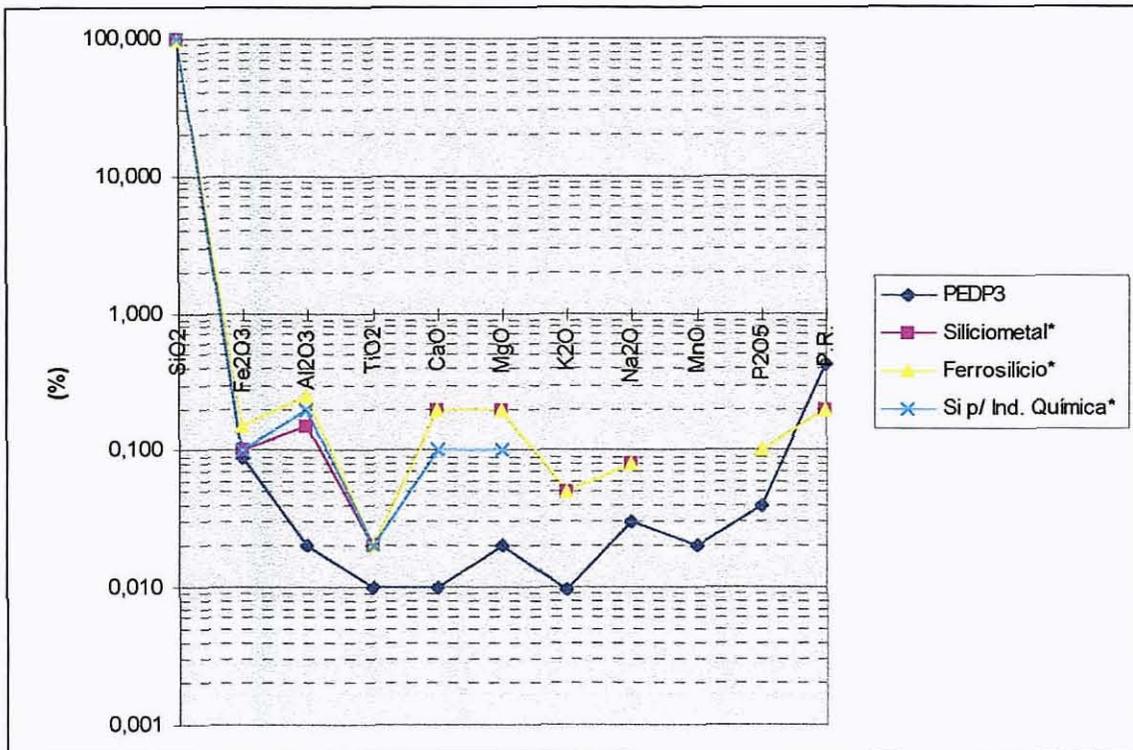
PEDRAS PINTAS 2



* Características típicas

	PEDP3
SiO ₂	99,120
Fe ₂ O ₃	0,090
Al ₂ O ₃	0,020
TiO ₂	0,010
CaO	0,010
MgO	0,020
K ₂ O	0,010
Na ₂ O	0,030
MnO	0,020
P ₂ O ₅	0,040
P.R.	0,430

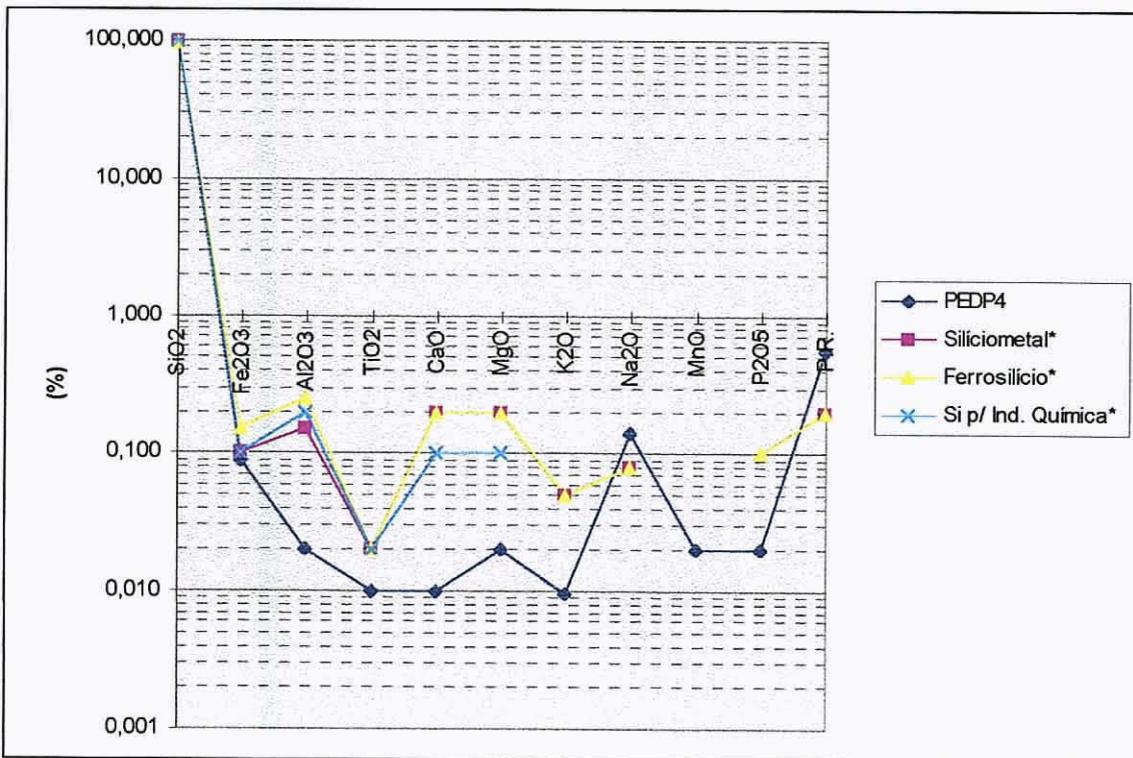
PEDRAS PINTAS 3



* Características típicas

	PEDP4
SiO ₂	99,280
Fe ₂ O ₃	0,090
Al ₂ O ₃	0,020
TiO ₂	0,010
CaO	0,010
MgO	0,020
K ₂ O	0,010
Na ₂ O	0,140
MnO	0,020
P ₂ O ₅	0,020
P.R.	0,560

PEDRAS PINTAS 4

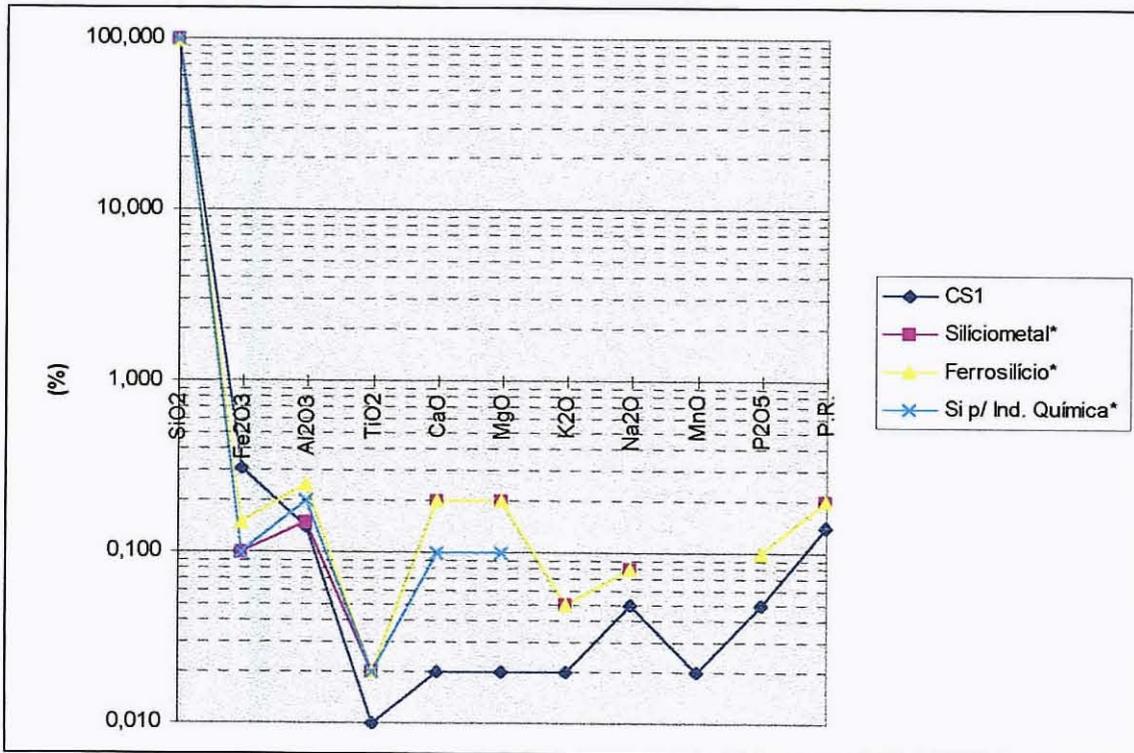


* Características típicas

6. AMOSTRAS DO "STOCK" DE CANAS DE SENHORIM

	CS1
SiO ₂	98,730
Fe ₂ O ₃	0,310
Al ₂ O ₃	0,140
TiO ₂	0,010
CaO	0,020
MgO	0,020
K ₂ O	0,020
Na ₂ O	0,050
MnO	0,020
P ₂ O ₅	0,050
P.R.	0,140

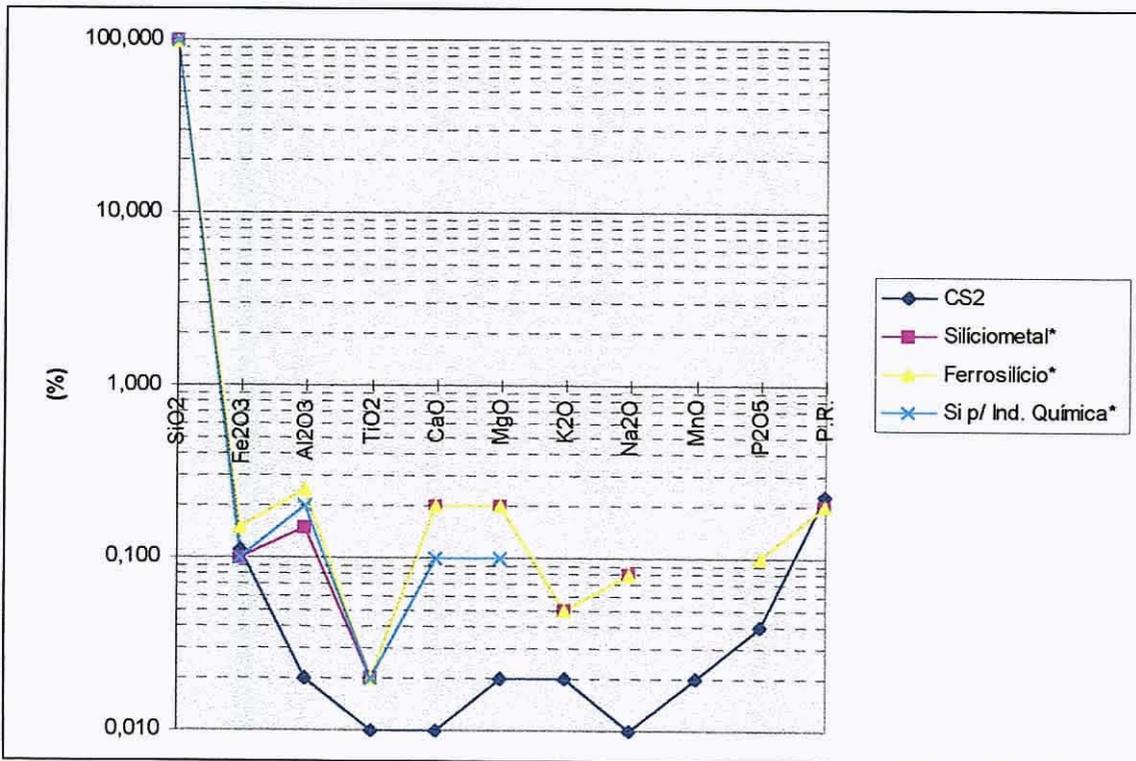
CANAS DE SENHORIM 1



* Características típicas

	CS2
SiO ₂	99,850
Fe ₂ O ₃	0,110
Al ₂ O ₃	0,020
TiO ₂	0,010
CaO	0,010
MgO	0,020
K ₂ O	0,020
Na ₂ O	0,010
MnO	0,020
P ₂ O ₅	0,040
P.R.	0,230

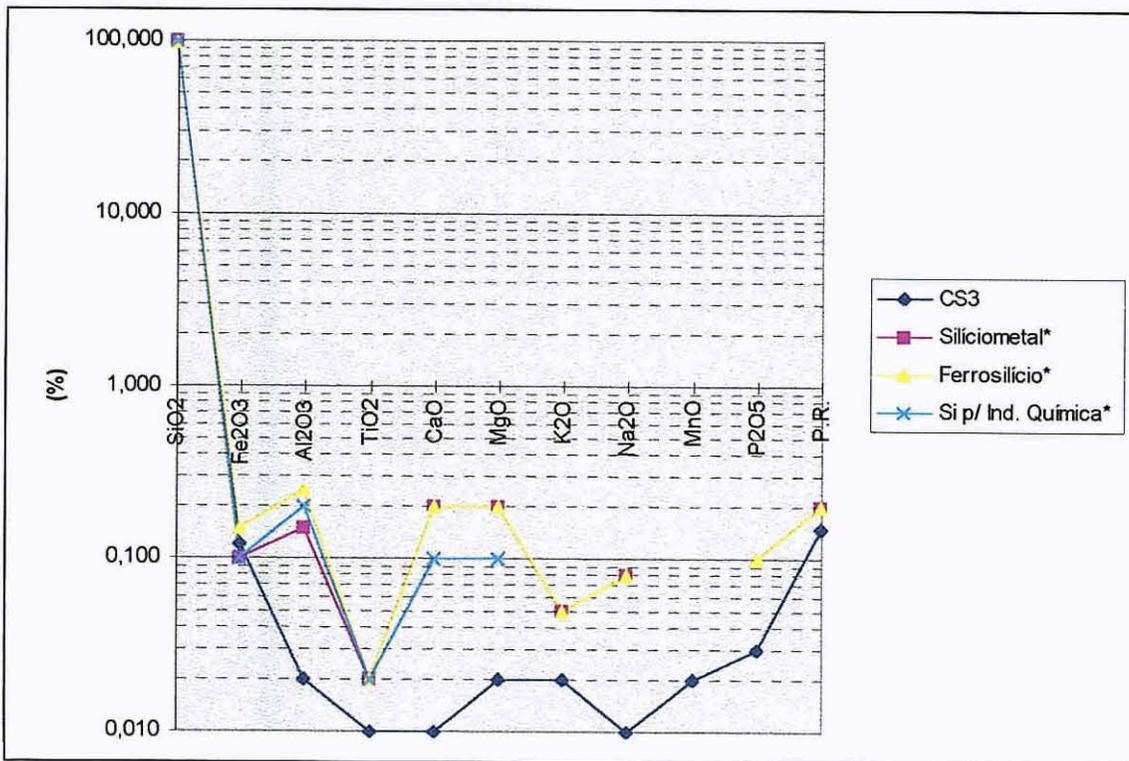
CANAS DE SENHORIM 2



* Características típicas

	CS3
SiO ₂	99,130
Fe ₂ O ₃	0,120
Al ₂ O ₃	0,020
TiO ₂	0,010
CaO	0,010
MgO	0,020
K ₂ O	0,020
Na ₂ O	0,010
MnO	0,020
P ₂ O ₅	0,030
P.R.	0,150

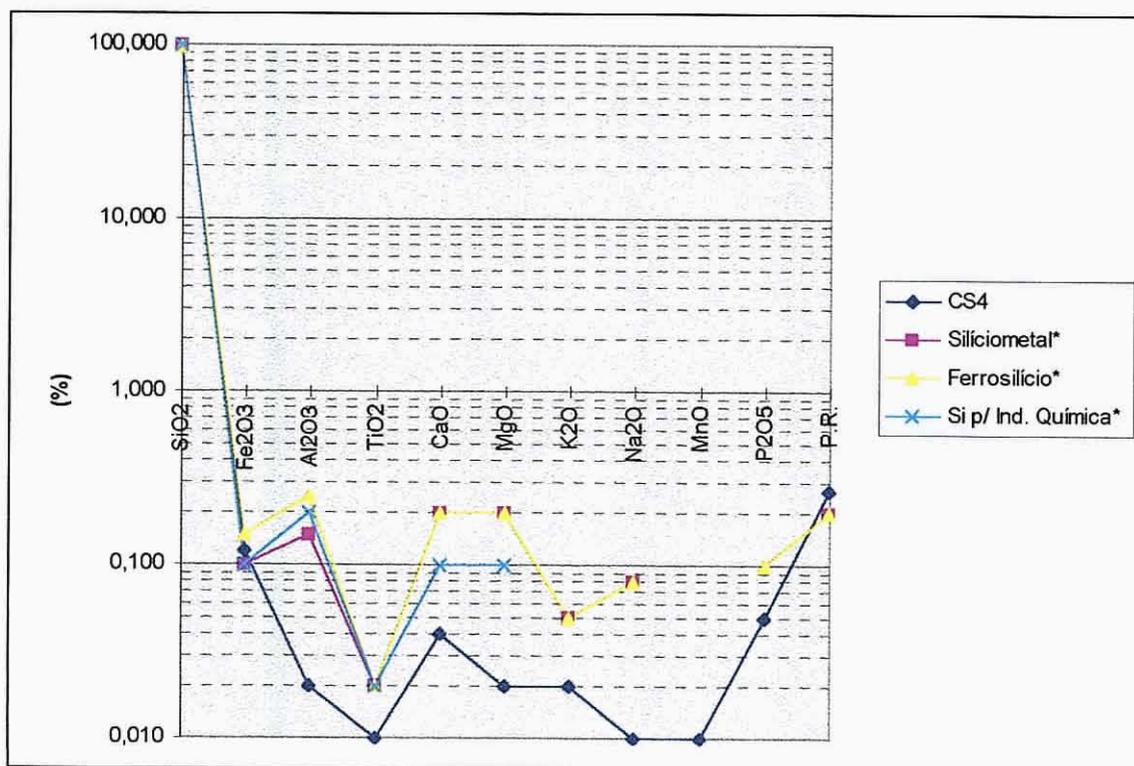
CANAS DE SENHORIM 3



* Características típicas

	CS4
SiO ₂	99,600
Fe ₂ O ₃	0,120
Al ₂ O ₃	0,020
TiO ₂	0,010
CaO	0,040
MgO	0,020
K ₂ O	0,020
Na ₂ O	0,010
MnO	0,010
P ₂ O ₅	0,050
P.R.	0,270

CANAS DE SENHORIM 4



* Características típicas

*Conclusões e proposta de trabalho
futuro*

Capítulo 6

CONCLUSÕES

Pretendeu-se com o presente trabalho avaliar a potencialidade do quartzo de depósitos portugueses, com origem em veios hidrotermais e pegmatitos, relativamente às tradicionais aplicações industriais.

O estudo recaiu, fundamentalmente, sobre a aplicação do quartzo na indústria metalúrgica, como matéria prima para a produção de Fe-Si e Si, dado que se trata do sector industrial onde o quartzo é aplicado com maior significado, tanto em termos de tonelagem utilizada como em nível de qualidade exigido.

Os depósitos de quartzo objecto deste estudo consideram-se economicamente importantes, pois, individualmente, apresentam reservas que vão das 20.000 às 60.000 toneladas, com quartzos que podem ser utilizados, na quase totalidade, para produção de Fe-Si e Si.

Embora pese o facto de não apresentarem pureza química para aplicações mais nobres, elas podem ser atingidas através de processos de beneficiação, nos quais se incluem a separação magnética, com o principal intuito de diminuição do teor em ferro, elemento este fortemente limitador da aplicação do quartzo.

Como proposta futura de desenvolvimento deste trabalho indica-se o estudo do quartzo rejeitado pela selecção manual com vista a determinar possíveis aplicações, dado que a quantidade desse quartzo se estima em cerca de 10 % da quantidade produzida, o que para além do valor económico em causa significa, também, o aproveitamento dessa matéria prima, evitando até os inerentes custos de deposição.

Para tal, deverão ser realizados ensaios sobre as britas produzidas com esse quartzo rejeitado, com vista à possível utilização na construção civil e estradas.

Bibliografia

BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, Pedro Nunes de; CORTEZ, J. A. Simões - *Quartz and feldspar in Portugal*, in INDUSTRIAL MINERALS INTERNATIONAL CONGRESS, 5th., Barcelona, p.105-108
- ALSOBROOK, A. - Speciality Materials: silica. "Industrial Minerals and Rocks" (1994)
- BATES, R. L. - *Quartz cristal*. in "Geology of the industrial Rocks and Minerals", New York, Dover pub., 1969, p. 271-276,435
- BATES, Robert L. - *Geology of the industrial rocks and minerals*. New York, Dover Publications, 1969
- CERVEIRA, Alberto de Moraes - *Preparação de Minérios: fragmentação e classificação*. Porto, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1974
- COOPE, Brian M. - *Synthetic silicas & silicon chemicals*. "Industrial Minerals", Mar. 1989, p.43-55
- COSTA, Joaquim Botelho da - *Estudo e classificação das rochas*, 5ª ed., Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1979
- DANA, James D. - *Manual de Mineralogia*. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora, 1983

- DEER, W.A. *et al.* - *Minerais constituintes das rochas : uma introdução*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1981
- DEER, William Alexander, *et al.* - *Rock-forming minerals*. London, Longman, 1978-
- FARIA, Alberto Filipe - *Estudo geológico sobre a área da concessão mineira "Gralheira" de quartzo-feldspato-glucínio (Concelho de Sátão, Distrito de Viseu)*, 1993 [texto policopiado]
- GOMES, Celso Sousa de Figueiredo - *Minerais industriais: Matérias primas cerâmicas*. Aveiro, Instituto Nacional de Investigação Científica, 1990
- HALE, D.R.; BLAIR, R.E. - *Electronic and optical uses*. "Industrial Minerals and Rocks, 5th ed. , Vol 1 (1983), p. 213-231
- HARBEN, Peter W. - *The industrial minerals handybook : a guide to markets, specifications and prices*, 2nd ed. , London, Industrial Minerals Division, 1995
- HARBEN, Peter W. ; BATES, Robert L. - *Geology of the nonmetallics*. New York, Metal Bulletin, 1984
- LOBATO, C. Pires - *Condições geológicas de integração de exploração de jazigos pegmatíticos das Beiras-Portugal*, in CONGRESSO HISP.-LUSO-AMER. GEOL. ECON., 1º, Madrid, 1971, vol 2, p. 721-741
- MERINO, Henrique K. W. - *Jazigo pegmatítico de Pestarenga (Sátão-Viseu): relatório de reconhecimento geológico*, 1991 [texto policopiado]
- MURPHY, T.D. ; HENDERSON, G.F. - *Silica and Silicon*. "Industrial Minerals and Rocks", 5th ed., Vol.2 (1983), p. 1167-1185

-
- OBBER, J.A. - *Quartz cristal*. "Minerals Yearbook 1989", U.S. Bureau os Mines, 1990
- OLERUD, Svein - *Norway's industrial minerals: changing ownership & increased export*. "Industrial Minerals" Dec. 1995, p. 23-31
- PEREIRA, Alcides Rodrigues - *Industria extractiva: situação actual e perspectivas de desenvolvimento*. "Boletim de Minas", Lisboa, 18 (3) Jul./Set. 1981, p. 125-149
- RAMOS, J. M. Farinha; OLIVEIRA, J. M. Santos - *O feldspato e o quartzo como matérias primas na industria : definição dos seus jazigos minerais, guias para a prospecção e substâncias alternativas*. "Boletim de Minas", Lisboa, 17 (1) Jan./Mar. 1980, p. 3-15
- RIBEIRO, A., *et al.* - *Introduction à la géologie générale du Portugal*. Lisboa, Servos Geológicos de Portugal, 1979
- SCHERMERHORN, L. J. G. - *Igneous, metamorphic and ore geology of Castro de Aire: S. Pedro do Sul: Sátão region (northern Portugal)*. Com. S.G.P., XLI (1956)
- SOEN, O. Yng - *The geology, petrology and ore deposits of the Viseu region, northern Portugal*. Com. S.G.P., XXXVII (1956)
- WEISS, Norman L., ed. - *SME Mineral Processing Handbook*, New York, American Institute of the Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc., 1985

Índices

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Características morfológicas de alguns depósitos pegmatíticos portugueses.....	5
Figura 2 - Localização dos principais jazigos pegmatíticos portugueses.....	7
Figura 3 - a) Representação em planta de filões de quartzo hidrotermais ;b) perfis transversais de filões de quartzo hidrotermais.....	8
Figura 4 - Morfologia (em planta) dos filões de quartzo hidrotermal do tipo brechóide, aflorantes na região de Chaves.....	9
Figura 5 - Aspectos (em perfil transversal) de alguns filões de quartzo hidrotermal do tipo brechóide.....	11
Figura 6- Cristal euédrico de quartzo.....	13
Figura 7- Estruturas cristalinas do quartzo α e da tridimite β	14
Figura 8 - Variações de fase e de dilatação - contracção térmica da sílica (SiO_2) quando aquecida - arrefecida.....	15
Figura 9 - Diagrama P - T da sílica.....	16
Figura 10 - Compressor portátil.....	28
Figura 11 - Equipamento de perfuração.....	28
Figura 12 - Escavadora frontal.....	29
Figura 13 - Retroescavadora.....	29
Figura 14 - Dumper.....	29
Figura 15 - Camião.....	29

Figura 16 - Representação, em corte, de um dos tipos de britador utilizado em instalações de britagem de quartzo.....	32
Figura 17 - Representação de um dos tipos de crivo vibratório utilizado em instalações de britagem de quartzo.....	33
Figura 18 - Representação de diagrama de britagem de quartzo para fins metalúrgicos.....	34
Figura 19 - Processo produtivo de Ferrosilício.....	51
Figura 20 - Processo produtivo de Silíciometal.....	52
Figuras 21 e 22- Utilização de brita de quartzo nas dimensões 3/6 e 6/10 mm.....	65
Figuras 23 e 24 - Utilização de britas de quartzo na dimensão 8/16 mm.....	66
Figura 25 - Mapa com a indicação dos depósitos de quartzo estudados.....	69
Figura 26 - Localização do depósito de Dornas.....	71
Figura 27 - Localização do depósito de Vila Longa.....	73
Figura 28 - Localização do depósito de Poço Palheiro.....	76
Figura 29 - Localização do depósito de Freches.....	78
Figura 30 - Localização do depósito de Pedras Pintas.....	80
Figura 31 - Localização do “stock” de Canas de Senhorim.....	82
Figura 32- Observação macroscópica de uma amostra Dornas.....	86
Figura 33- Observação macroscópica de uma amostra de quartzo de Vila Longa.....	86
Figura 34- Observação macroscópica de uma amostra de quartzo de Poço Palheiro.....	87
Figura 35- Observação macroscópica de uma amostra de quartzo de Freches.....	87

Figura 36- Observação macroscópica de uma amostra de quartzo de Pedras Pintas.....	88
Figura 37- Observação macroscópica de uma amostra de quartzo do “stock” de Canas de Senhorim.....	88
Figura 38 - Observação microscópica de uma amostra de quartzo de Dornas.....	92
Figura 39- Observação microscópica de uma amostra de quartzo de Vila Longa.....	92
Figura 40- Observação microscópica de uma amostra de quartzo de Poço Palheiro.....	93
Figura 41 - Observação microscópica de uma amostra de quartzo de Freches.....	93
Figura 42- Observação microscópica de uma amostra de quartzo de Pedras Pintas.....	94
Figura 43- Observação microscópica de uma amostra de quartzo do “stock” de Canas de Senhorim.....	94
Figura 44 - Esquema de funcionamento da técnica de Espectrometria de fluorescência de raios X.....	99
Figura 45 - Difractograma da amostra que apresenta maior teor de impurezas.....	104

ÍNDICE DE QUADROS

<i>QUADRO I</i> - Características químicas de quartzo de filão, de areia, de quartzito e de cherte, utilizado em cerâmica.....	17
<i>QUADRO II</i> - Produções relativas das principais minas produtoras de quartzo	18
<i>QUADRO III</i> - Tipos de quartzo estabelecidos função das especificações químicas.....	19
<i>QUADRO IV</i> - Produção de quartzo entre 1970 e 1995.....	21
<i>QUADRO V</i> - Composição química média do quartzo de filão e pegmatito.....	35
<i>QUADRO VI</i> - Composição química média do quartzo obtido por separação magnética.....	36
<i>QUADRO VII</i> - Aplicações da sílica sintética.....	40
<i>QUADRO VIII</i> - Características químicas e propriedades dos tipos de sílica sintética	41
<i>QUADRO IX</i> - Características típicas do quartzo para metalurgia e óptica	45
<i>QUADRO X</i> - Consumo de quartzo para produção de uma tonelada de Si e FeSi.....	50
<i>QUADRO XI</i> - Consumo de matéria prima para produção de um quilograma de quartzo sintético e sílica vítrea.....	58
<i>QUADRO XII</i> - Valores principais e mais característicos utilizados na identificação dos minerais mais comuns presentes numa amostra de quartzo.	103
<i>QUADRO XIII</i> - Quartzos de Dornas.....	105
<i>QUADRO XIV</i> - Quartzos de Vila Longa.....	106
<i>QUADRO XV</i> - Quartzos de Poço Palheiro.....	107
<i>QUADRO XVI</i> - Quartzos de Freches.....	108

QUADRO XVII - Quartzos de Pedras Pintas..... 109

QUADRO XVIII - Quartzos do “stock” de Canas de Senhorim”..... 110

Anexo

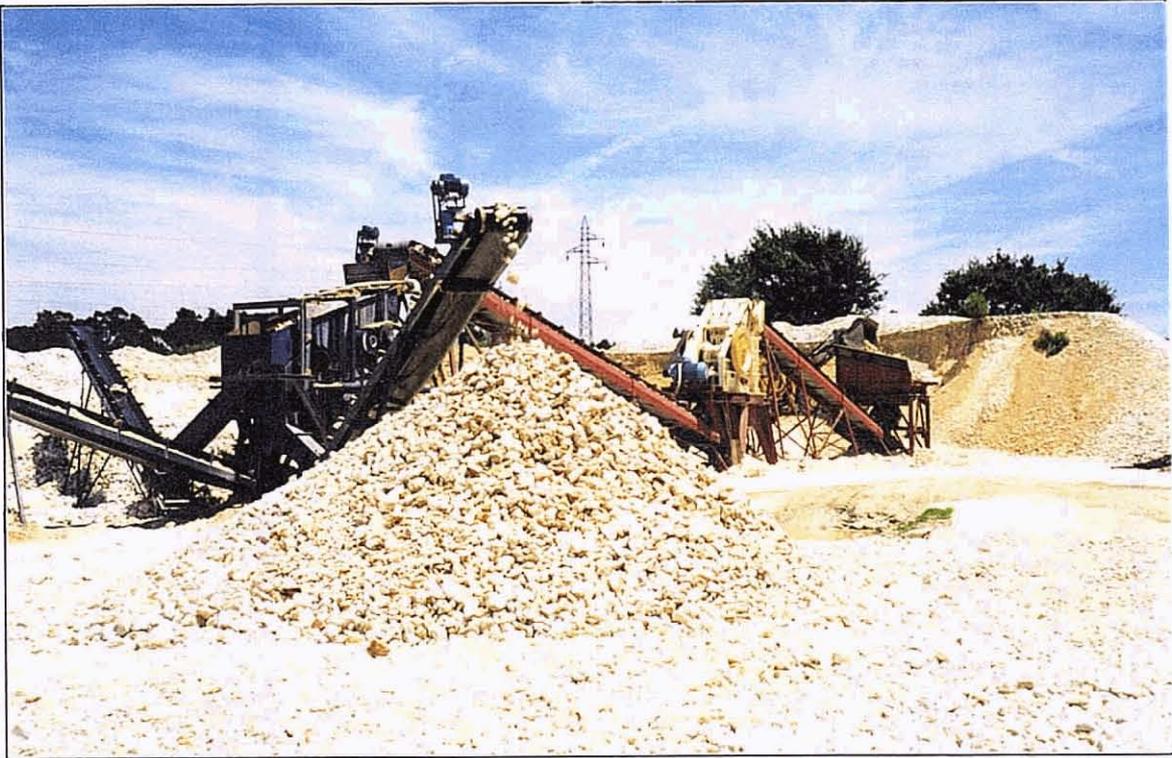


FOTO 1 - Vista geral de uma instalação de britagem de quartzo

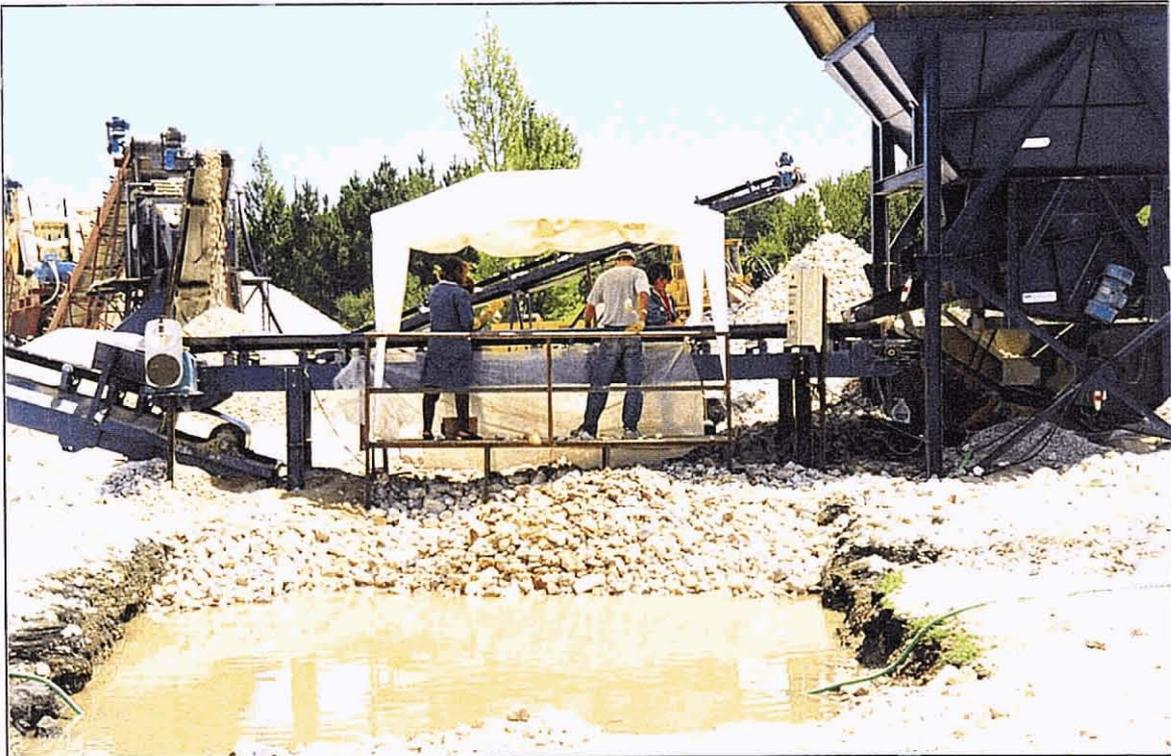


FOTO 2 - Mesa de escolha manual



FOTO 3 - Vista do depósito de quartzo de Freches.



FOTO 4 - Vista do depósito de quartzo de Freches.



FOTO 5 - Vista do depósito de quartzo de Dornas.



FOTO 6 - Vista do depósito de quartzo de Dornas.



FOTO 7 - Vista do depósito de quartzo de Pedras Pintas.



FOTO 8 - Vista do depósito de quartzo de Pedras Pintas.



FOTO 9 - Lote de quartzo 40/140 mm para produção de Fe-Si

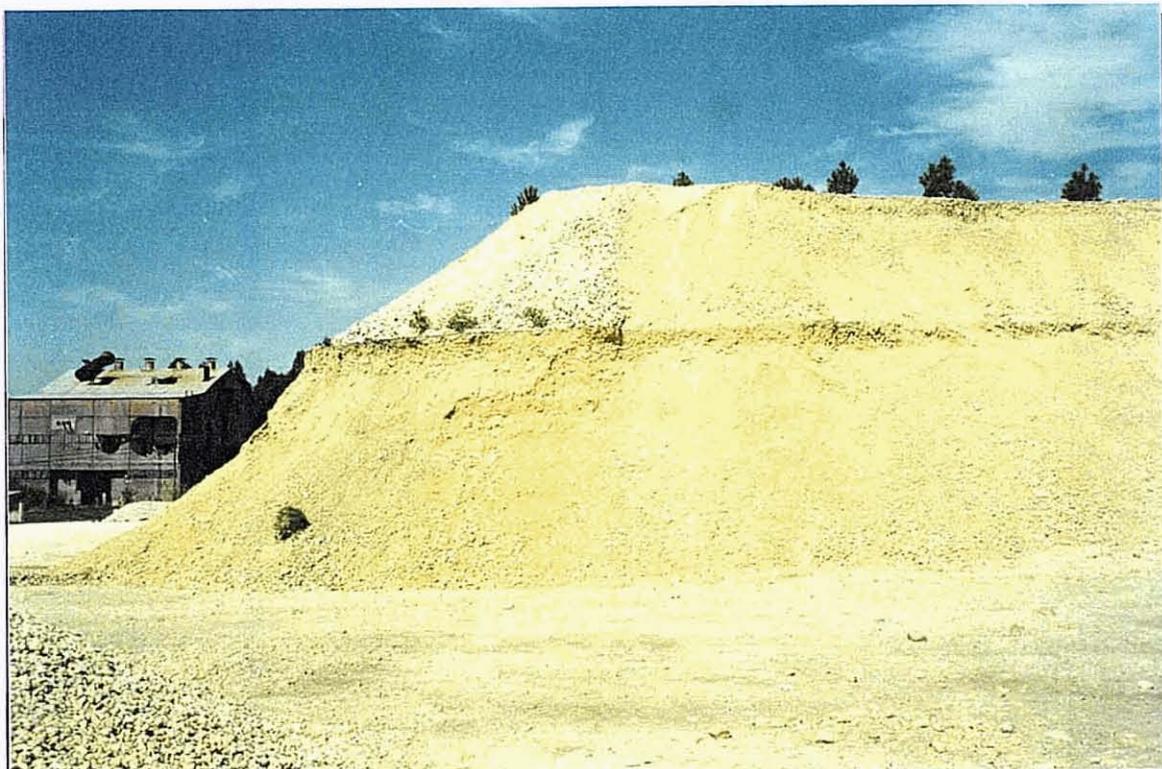


FOTO 10 - “Stock” de Canas de Senhorim