

69

**CETEM**

**Série Tecnologia Mineral**

# **Caracterização Tecnológica de Lascas de Quartzos**

**Marília Inês Mendes Barbosa  
Ney Hamilton Porphírio**

*PRESIDENTE DA REPÚBLICA:* Fernando Henrique Cardoso  
*VICE-PRESIDENTE DA REPÚBLICA:* Marco Antonio Maciel  
*MINISTRO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA:* José Israel Vargas

*PRESIDENTE DO CNPq:* José Galízia Tundisi  
*DIRETOR DE DESENV. CIENT. E TECNOLÓGICO:* Marisa B. Cassim  
*DIRETOR DE PROGRAMAS:* Eduardo Moreira da Costa  
*DIRETOR DE UNIDADES DE PESQUISA:* José Ubyrajara Alves

CETEM - CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL  
CONSELHO TÉCNICO-CIENTÍFICO (CTC)

Presidente: Roberto C. Villas Bôas

Vice-presidente: Juliano Peres Barbosa

Membros Internos: Luiz Gonzaga S. Sobral; RONALDO Luiz Corrêa dos Santos e Fernando Freitas Lins (suplente)

Membros Externos: Antonio Dias Leite Junior; Arthur Pinto Chaves; Octávio Elísio Alve de Brito; Saul Barisnik Suslick e Luis Alberto C. Teixeira (suplente)

*DIRETOR:* Roberto C. Villas Bôas

*DIRETOR ADJUNTO:* Juliano Peres Barbosa

*DEPTº DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS (DTM):* Adão Benvindo da Luz

*DEPTº DE METALURGIA EXTRATIVA (DME):* Ronaldo Luiz C. dos Santos

*DEPTº DE QUÍMICA ANALÍTICA E INSTRUMENTAL (DQI):* Luis Gonzaga S. Sobral

*DEPTº DE ESTUDOS E DESENVOLVIMENTO (DES):* Carlos César Peiter

*DEPTº DE ADMINISTRAÇÃO (DAD):* Antônio Gonçalves Dias

**Marília Inês Mendes Barbosa**

*Geóloga (UFRJ), M.Sc. (UFRJ); ex-bolsista RHAЕ do CEEM, atuando em caracterização de minérios.*

**Ney Hamilton Porphírio**

**\*1938 – 1994+**

*Licenciado em História Natural em 1964 (UFMG), petrógrafo da SUDENE entre 1963 e 1973; Pesquisador Titular do CETEM. Especialista em mineralogia aplicada ao processamento mineral, tendo participado da maioria dos projetos desenvolvidos no CETEM desde 1978*

## SÉRIE TECNOLOGIA MINERAL

### CONSELHO EDITORIAL

#### Editor

Fernando Freitas Lins

#### Conselheiros Internos

Adão Benvindo da Luz, João Alves Sampaio, Juliano Peres Barbosa, Luiz Gonzaga Sobral, Roberto C. Villas Bôas, Vicente Paulo de Souza

#### Conselheiros Externos

Antonio E. Clark Peres (UFMG), Henrique Kahn (USP), João Batista Bruno (NATRONTEC), José Aury de Aquino (CDTN/CNEN), José Farias de Oliveira (COPPE/UFRJ), Luiz Alberto Cesar Teixeira (PUC-RJ), Paulo Sérgio Moreira Soares (Consultor), Virgínia Sampaio Ciminelli (UFMG)

---

A **Série Tecnologia Mineral** publica trabalhos na área minero-metalúrgica. Tem como objetivo principal difundir os resultados das investigações técnico-científicas decorrentes dos projetos desenvolvidos no CETEM.

---

**Dayse Lúcia M. Lima** COORDENAÇÃO EDITORIAL E REVISÃO

**Vera Lúcia Ribeiro e Valéria Cristina de Souza** EDITORAÇÃO ELETRÔNICA

**Jacinto Frangella** ILUSTRAÇÃO

*Indexado no Chemical Abstracts e no Imm Abstracts.*

Barbosa, Marília Inês Mendes

Caracterização Tecnológica de Lascas de Quartzo/Marília Inês Mendes Barbosa; Ney Hamilton Porphírio. – Rio de Janeiro: CNPq/CETEM, 1995.

45p. - (Série Tecnologia Mineral, 69)

1. Lascas de Quartzo – Caracterização Tecnológica. I. Porphírio, Ney Hamilton. II. Centro de Tecnologia Mineral. III. Título. IV. Série.

ISBN 85-7227-051-15

ISSN 0103-7382

CDD 622.7

## APRESENTAÇÃO

**A** caracterização tecnológica das lascas de quartzo estava a exigir uma abordagem técnica na literatura científica nacional.

A presente monografia trata de identificar os parâmetros físico-químicos e mineralógicos do quartzo que possam ser utilizados nas indústrias de quartzo cultivado ou quartzo fundido.

Creio que os leitores, da Série Tecnologia Mineral encontrarão, nesta publicação de leitura fácil, uma valiosa fonte de informação sobre o tema.

*Rio de Janeiro, agosto, 1995.*

**Roberto C. Villas Boas**  
**Diretor**

# SUMÁRIO

RESUMO/ABSTRACT .....	1
1. INTRODUÇÃO.....	3
2. GENERALIDADES SOBRE O QUARTZO .....	5
2.1 Classificação.....	6
2.2 Reservas Nacionais .....	8
2.3 Produção Nacional.....	9
2.4 Fatores Econômicos .....	10
2.5 Especificações, Usos e Aplicações.....	12
3. PROPRIEDADES DO QUARTZO .....	19
3.1 Quartzo Cultivado .....	19
3.2 Quartzo Fundido.....	20
4. METODOLOGIA .....	22
4.1 Inspectoscopia Ótica .....	22
4.2 Determinação de Densidade .....	23
4.3 Micrografia Ótica .....	24
4.4 Topografia e Goniometria de Raios X.....	25
4.5 Atenuação Ultra-sônica.....	26
5. CARACTERIZAÇÃO DE LASCAS DE QUARTZO DE ALTO PARAÍSO – GO.....	30
5.1 Amostragem .....	30
5.2 Preparação das Amostras .....	30
5.3 Medidas de Densidade.....	32
5.4 Microscopia Ótica.....	33
5.5 Microtermometria das Inclusões Fluidas .....	34
5.6 Análises Químicas Quantitativas.....	41
6. CONCLUSÕES .....	43
BIBLIOGRAFIA .....	45

## RESUMO

*Este trabalho tem por objetivo estimular a capacitação técnica em caracterização de lascas de quartzo para fins industriais nobres.*

*A metodologia de caracterização adotada permitiu a identificação de parâmetros físico-químicos e mineralógicas das lascas de quartzo para indústrias de alta tecnologia, como matéria-prima para produção de quartzo cultivado e/ou obtenção de granulado de alta pureza para fabricação de quartzo fundido.*

*Para exemplificar esta caracterização foram feitos estudos físico-químicos e mineralógicos das lascas de quartzo da região de Alto Paraíso de Goiás-GO, os quais revelaram uma estreita correlação entre a graduação visual dos fragmentos, os valores médios da densidade, a ocorrência microscópica das inclusões fluídas e a presença de determinados elementos químicos nestes fragmentos.*

**Palavras-Chave:** *quartzo, lascas de quartzo, caracterização tecnológica*

## ABSTRACT

*These work aims at providing the capacity of technological characterization of lascas of quartz intend to industrials purposes.*

*The methodology of characterization adopted was aimed at finding out which parameters affect the chemical-physical and mineralogical properties of lascas for the high technology industry, by means of the raw-material for production of cultivated quartz and/or obtaining the high purity granulated material for smelt quartz manufacturing.*

*A study case concerning the characterization of the chemical-physical and mineralogical properties of the lascas of quartz from Alto Paraíso de Goiás showed on fine relation between the visual grade of fragments, the average values of density, the microscopy identification of fluid inclusions and the chemical element occurrence.*

**Key words:** *quartz, lascas of quartz, technological characterization*





## 1 . INTRODUÇÃO

---

O estudo dos novos materiais e o interesse pelo conhecimento das particularidades dos minerais não metálicos, quando comparados aos metálicos, motivou o desenvolvimento desse projeto.

Este estudo apresenta os resultados das análises físico-químicas e mineralógicas de lascas de lascas de quartzo, efetuadas no CETEM e com a colaboração de outros institutos de pesquisa e universidades.

Para exemplificar esse estudo foram analisadas lascas de quartzo coletadas na jazida de Alto Paraíso de Goiás-GO.

A abundância do quartzo na crosta terrestre o tornou objeto de várias investigações, visando a substituição dos materiais tradicionais e o desenvolvimento de novas aplicações. Apesar de ser uma realidade a existência de materiais com propriedades semelhantes ao quartzo, esses ainda não apresentam condições de vir a substituí-lo na maior parte de seus usos.

O Brasil, há muito ocupa uma posição privilegiada no que diz respeito ao segmento primário do quartzo. As estatísticas oficiais revelam que o País detém as maiores e as melhores reservas mundiais, sendo também o líder na produção do quartzo primário. Entretanto, possui uma participação reduzida na estrutura produtiva mundial do segmento quartzo, devido à ausência de capacitação tecnológica nas diversas etapas que envolvem a sua industrialização.

O quartzo constitui matéria-prima básica e indispensável aos vários segmentos da indústria de alta tecnologia. Em face dos excepcionais requisitos de pureza exigidos do material destinado a esse importante setor econômico, o estudo de caracterização das lascas de quartzo teve como principais objetivos:

- O desenvolvimento de uma metodologia de caracterização de lascas de quartzo, tendo em vista a obtenção de quartzo para indústria de alta tecnologia.
- O estabelecimento de parâmetros físico-químicos e mineralógicos das lascas de quartzo que se aplicam a fins industriais nobres.

Recentemente, as crescentes alíquotas de tributação sobre a produção mineral brasileira, a progressiva tendência de substituição do cristal natural pelo cultivado, o domínio americano do quartzo granulado de alta pureza no mercado internacional vêm reduzindo substancialmente a participação do Brasil nos vários segmentos do quartzo.

## 2. GENERALIDADES SOBRE O QUARTZO

---

O quartzo, mineral conhecido desde a época anterior ao Cristo, foi citado pelo geógrafo Estrabão (64 A.C.) e pelo naturalista grego Plínio, o Velho (23 D.C.). O dinamarquês N.Stenon, em 1669, e Isle, em 1783, já conheciam o quartzo e estudavam suas propriedades. Foi no final do século XVIII, em 1784, que o abade R.J.Haüy observou pela primeira vez a propriedade piezoelétrica do quartzo (Abreu, 1978). A piezoelectricidade, segundo Dana (1932), consiste no desenvolvimento de cargas elétricas em determinadas faces de certos cristais quando são aplicados esforços mecânicos. Em 1881, P.J. Curie redescobriu esta propriedade.

K.Chrustschoff, em 1887, anunciou a obtenção artificial de um diminuto cristal de quartzo. Os efeitos da temperatura e atmosfera alcalina na solubilidade do quartzo foram objeto dos estudos experimentais realizados pelo geólogo italiano G.Spezia em 1908, vindo a constituir os princípios do quartzo cultivado em autoclave por processos hidrotermais (Hale, 1975). A estrutura cristalina do quartzo foi determinada pelos físicos britânicos W.H..Bragg e W.L. Bragg, em 1914, com o advento da difração de raios-X, que valeu ao pai e ao filho, o Prêmio Nobel de 1915.

Durante a I Guerra Mundial, o físico francês P.Langevin veio a utilizar placas de quartzo para transmissão e recepção de ondas sonoras (Frondel, 1945). No entanto, a primeira aplicação prática do efeito piezoelétrico em radiofrequência foi oficialmente introduzida pelo professor W.C.Cady, em 1921. O emprego em larga escala do quartzo em radiocomunicação se deu durante a II Guerra Mundial (Ferrell, 1985).

A partir de 1971, os cristais naturais piezoelétricos passaram a ser amplamente substituídos pelo quartzo sintético em muitas de suas aplicações. Entretanto, os cristais piezoelétricos de quartzo natural ainda são úteis na produção de sementes para o

cultivo. As lascas de quartzo têm agora maior aproveitamento, fornecendo principalmente os nutrientes necessários à produção do quartzo cultivado e obtenção de granulado de quartzo para fusão usado na fabricação de fibra ótica.

## 2.1 Classificação

Os depósitos de quartzo no Brasil podem ser divididos em duas categorias, de acordo com a gênese (Johnston e Butler, 1946, Franco, 1957): primários e secundários.

Nos depósitos primários estão incluídos os veios hidrotermais e os pegmatitos.

São classificados como secundários os depósitos residuais que ocorrem geralmente na proximidade dos veios hidrotermais e pegmatitos, dando origem aos aluviões, colúvios e elúvios.

Na maior parte dos depósitos brasileiros de quartzo, o desmonte é manual, através de pás e picaretas, sendo raras as jazidas que possuem uma atividade mecanizada.

Quanto à produção de quartzo para indústrias de alta tecnologia, o setor está sob regime exclusivamente garimpeiro, incentivado por empresas exportadoras (Lemos, 1988a). A exploração é feita normalmente em lavra artesanal, a céu aberto ou poços de pequenas profundidades. A extração é rudimentar e obtém-se dois tipos de materiais de interesse industrial: (IPT, 1989)

- Cristal natural piezoelétrico que fornece sementes insubstituíveis na obtenção de quartzo sintético.
- Lascas de quartzo que são fragmentos irregulares utilizados inicialmente na fabricação de vidros e, hoje em dia, essenciais como nutrientes para produção do quartzo cultivado e/ou granulado para obtenção de quartzo fundido.

É indispensável que o cristal piezoelétrico tenha elevada pureza, livre de imperfeições, inclusões minerais e/ou fluidos e geminações óticas e/ou elétricas (Leonardos, 1960).

Numa primeira etapa, o cristal bruto é classificado observando-se a forma (facetado ou irregular), o peso (12 grupos, variando de 100/g a 10/kg) e os defeitos visíveis a olho nu. A seguir, o cristal é examinado em inspectoscópio para verificação das geminações, que podem invalidar sua utilização. Finalmente, os cristais selecionados recebem as seguintes designações:

- Classe A: cristal hialino, incolor com 65 a 100% de material aproveitável para fins piezoelétricos.
- Classe B: cristal hialino, incolor ou leve e uniformemente colorido, com 45 a 60% de material aproveitável.
- Classe C: cristal hialino, incolor ou levemente colorido, com 30 a 45% de material aproveitável.
- Classe D: cristal hialino, incolor ou colorido, com um mínimo de 50% de material isento de defeitos perceptíveis.

As lascas de quartzo constituem portanto fragmentos irregulares, incolores, límpidos, vítreos, pesando menos de 200g e são descartados do cristal natural piezoelétrico na fase de extração.

As lascas de quartzo são selecionadas de acordo com aspectos macroscópicos, recebendo as seguintes designações:

- *Lascas de primeira*: fragmentos perfeitamente transparentes, não opalescentes;
- *Lascas de segunda*: fragmentos com grau médio de opalescência e imperfeições visíveis;

- *Lascas de terceira ou mista*: fragmentos opalescentes, de aspecto leitoso e com maior concentração de imperfeições.

## 2.2 Reservas Nacionais

Os dados sobre recursos mundiais de quartzo não estão disponíveis, mas acredita-se que o Brasil possui as maiores reservas, o equivalente a 73 milhões de toneladas. (DNPM, 1990) Jazidas de grandes cristais piezoelétricos naturais ocorrem quase que exclusivamente no Brasil e, em menores proporções, em Madagascar, Arkansas (EUA), Namíbia, Angola, África do Sul, ex-URSS e Venezuela. Na Índia, China, Canadá, Portugal e Coréia do Sul ocorrem depósitos de quartzo leitoso. (Arcoverde, 1991)

No estado do Pará estão as maiores reservas medidas do País, cerca de 64% das jazidas, seguida de 17% em Minas Gerais, 15% em Santa Catarina e 2% na Bahia. O restante dos depósitos está distribuído pelos estados de São Paulo, Ceará, Rio de Janeiro, Paraná, Espírito Santo e Goiás. Embora ainda não constituam reserva, são conhecidas ocorrências nos estados de Pernambuco, Mato Grosso do Sul e Amazonas. No Quadro 1 podem ser vistas as principais reservas nacionais de quartzo medidas.

**Quadro 1 - Principais reservas medidas nacionais de quartzo**

ESTADOS	RESERVAS (t)	MUNICÍPIOS
Bahia	1.643.539	Caldeirão Grande, Castro Alves, Sentro Sé, Seabra, Ibitiara
Ceará	496.084	Canindé, Solonopole
Espírito Santo	1.836	Mimoso do Sul
Goiás	131	Cristalina
Minas Gerais	12.242.298	Bocaiuva, Marmelópolis, Curvelo, Jequitaiá, Francisco Sá, Itabira, Buenópolis, Ouro Fino, Gouveia, Borda da Mata, Divino das Laranjeiras, Inconfidentes, Presidente Juscelino, Bicas, Itinga, Monte Sião
Pará	46.631.034	Tucuruí
Paraná	37.210	Campo Largo
Rio de Janeiro	397.883	Niterói, São Gonçalo
Santa Catarina	10.969.791	Urussanga, Gravataí, Laguna, Braço do Norte, Rio Fortuna, São Ludgero, Biguaçu
São Paulo	554.186	Campinas, Socorro

Fonte: DNPM (1990)

**2.3 Produção Interna**

A produção bruta brasileira de quartzo, em 1989, chegou a 503 mil toneladas, assim distribuída pelos estados: 85% Pará, 10% Minas Gerais, 4% Bahia, 0,6% Santa Catarina, 0,2% Espírito Santo e 0,1% somados São Paulo e Rio de Janeiro (DNPM, 1990). A produção de quartzo está relacionada à sua utilização (Arcoverde, 1988): quartzo para indústrias de alta tecnologia (cristais piezoelétricos e lascas de alta pureza); quartzo industrial comum (leitoso); e quartzo ornamental (variedades coloridas).

Em 1990, a produção brasileira de cristal de quartzo somou 2340 toneladas, dos quais, 66,3% de cristais para fins ornamentais, e apenas 0,1% de cristal natural de grau eletrônico (Arcoverde, 1991).

Os principais estados produtores de cristais e lascas em 1990 foram: Bahia, Minas Gerais, Goiás e Espírito Santo. Alguns estados do Nordeste e Amazônia contribuíram com produção esporádica.

As maiores empresas que produzem cristais e lascas de quartzo são: Quartzbrás Com.Exp. de Quartzo Ltda., Telequartz Exp. Ltda., Egger do Brasil Min.Ind. e Exp. Ltda., Multiquartz Min. Ltda., Minasquartzo Ltda., Telstar Mineraiis Ltda. e Beloquartz Min.. do Brasil Ltda. As três primeiras empresas citadas participaram com cerca de 62% da produção nacional de quartzo em 1990. (Arcoverde, 1991)

## 2.4 Fatores Econômicos

### 2.4.1 Exportação

No Quadro 2 estão relacionados os preços médios de quartzo, ressaltando-se a disparidade entre os valores da matéria-prima e seus produtos finais. (Lemos, 1988a)

**Quadro 2 - Preço médio dos produtos de quartzo**

Produtos	Preço Médio (US\$/kg)
Lascas de terceira	1,2
Lascas de segunda	2,5
Lascas de primeira	6,2
Cristal natural	10,0
Bastão cultivado	30,0
Cristal oscilador	1,0 (0,08)*
Quartzo fundido	100
Tubos de quartzo fundido	78 a 1500 **
Fibras óticas	0,26 **
Silício de grau metalúrgico	1,0 a 1,2
Silício de grau eletrônico	60 a 85
Silício monocristalino	360 a 450
Lâmina monocristalina de silício	800 a 110

Fonte: Lemos (1988a)



\* = US\$/g (grama)

\*\* = us\$/m (metro)

## 2.4.2 Importação

As importações no segmento do quartzo, em 1990, somaram cerca de 9,363 dólares, devido quase unicamente aos bens manufaturados. (Quadro 3)

Estes produtos correspondem aos cristais piezoelétricos montados e suas partes, através do quartzo fundido, forneceram: tubos e bastões para fibras óticas, tubos capilares, tubos para lâmpadas, artefatos de laboratórios, higiene, farmácia e lâminas delgadas para análises ao microscópio ótico. O Brasil importou esses produtos de quartzo principalmente de países como: EUA, Alemanha, Japão, Bélgica, Inglaterra e Holanda.

## 2.4.3 Consumo Interno

Apesar do fraco desempenho industrial do Brasil até 1990, o quadro de consumo interno do quartzo não sofreu grande impacto, tendo ocorrido crescimento no consumo de lascas (30%), de cristal cultivado (29,6%), e diminuição do cristal natural de grau eletrônico (59,6%). O cristal de quartzo, tanto cultivado como de grau eletrônico, teve como destino a confecção de dispositivos piezoelétricos utilizados nos equipamentos das indústrias de informática e telecomunicações.

Nos Quadros 3 e 3a estão resumidas as estatísticas do segmento brasileiro de quartzo, referente ao ano de 1990. (Arcoverde, 1991)

**Quadro 3 - Estatísticas do segmento do quartzo do Brasil em 1990**

Dados	(t)	10 <sup>3</sup> US\$
<b>Produção</b>		3747 FOB
lasca e cristal;	2339,5	
cristal cultivado	24	
<b>Importação</b>		9363,2 FOB
<b>Bens Primários</b>		
quartzo piezoelétrico	0	33,4 CIF
qualquer outro quartzo	9,7	52,6 CIF
quartzo ornamental	44,3	31,8 FOB
<b>Manufaturados</b>		
cristal montado e partes	25,9	6465 CIF
quartzo fundido	140,8	2745 CIF
cristal cultivado trabalhado	0	8,9 FOB
quartzo ornamental	18	26 FOB
<b>Exportação</b>		3930 FOB
<b>Bens primários</b>		
lasca e cristal	1347	1468 FOB
cristal piezoelétrico	1	54,6 FOB
cristal ornamental	653,5	1109,6 FOB
qualquer outro quartzo	933	396,6 FOB
<b>Manufaturados</b>		
cristal montado e partes	0,4	191 FOB
cristal cultivado	17,5	500 FOB
quartzo ornamental	131,7	606,7 FOB
<b>Consumo interno</b>		
lâscas *	206	
cristal grau eletrônico	0,2	
cristal cultivado bruto	18,4	

Fonte: Arcoverde (1991)

## 2.5 Especificações, Usos e Aplicações

No Brasil, o quartzo foi descoberto por acaso no final do século XIX, por imigrantes alemães lapidadores, às margens do Rio Guaíba, em Porto Alegre-RS. (Freitas, 1973) Desde então, o Brasil se caracterizou como principal fornecedor de quartzo para um ou outro país detentor de tecnologia avançada.

Nos Quadros 4<sup>a</sup> e 4b estão resumidas algumas das especificações de quartzo para diversas finalidades, elaborado pela METAGO - Metais de Goiás S.A. (in IPT, 1989)

**Quadro 4a - Resumo de algumas especificações de quartzo para diversos usos.**

USO/FINALIDADE	Mínimo SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Máximo CaO (%)
AREIA PARA VIDRO				
• ótico	99,5	variável	0,008	
• colorido	99,5	0,1 - 0,5	0,013	
• recipientes/planos	98,3		0,030	
AREIA PARA FUNDIÇÃO	88 - 99			
SÍLICA PULVERIZADA	97-99,9	0,5	0,2	baixo
CARBETO DE SILÍCIO	99,5	0,06-0,25	0,1	ausente
SILÍCIO METÁLICO	98	0,4	0,2	0,2
FERROSSILÍCIO	96	0,4	0,2	baixo
TIJOLO REFRAATÁRIO	96-98	0,1	-	baixo
SILICATO DE SÓDIO	99	0,25	0,03	0,5
FLUXO METÁLICO	90	1,5	1,5	0,2
OSCILADOR DE FREQUÊNCIA	99,99	0,004	0,001	0,06
QUARTZO CULTIVADO	99,5	0,5	0,15	0,03
TINTAS	99,8	NA	0,2	
ELETRODOS	98			NA
AREIA PARA CONSTRUÇÃO	80			NA

NA = .não analisado

Fonte: IPT (1989)

**Quadro 4b - Resumo de algumas especificações de quartzo para diversos usos.**

USO/FINALIDADE	Máximo MgO %	Outros %	Tamanho dos Grãos
AREIA PARA VIDRO <ul style="list-style-type: none"> <li>• ótico</li> <li>• colorido</li> <li>• recipientes/planos</li> </ul>	baixo	Cr < 6ppm Co < 2ppm TiO <sub>2</sub> < 0,03%	μm
AREIA PARA FUNDIÇÃO	variável		8330-74 μm
SÍLICA PULVERIZADA	baixo	NA	-37 μm
CARBETO DE SILÍCIO	ausente	P < 0.1ppm	149 μm
SILÍCIO METÁLICO	0,2	P < 0.1ppm	2,54-5,18 cm
FERROSSILÍCIO	baixo	P < 0,1%	2,54-5,18 cm
TIJOLO REFRAATÁRIO	baixo	NA	-2,36 mm
SILICATO DE SÓDIO	0,5	NA	8330-149 μm
FLUXO METÁLICO	0,2	NA	< 5,18 cm
OSCILADOR DE FREQUÊNCIA	NA	NA	NA
QUARTZO CULTIVADO	0,05	NA	0-10 cm
TINTAS	NA		-74 μm
ELETRODOS			NA
AREIA PARA CONSTRUÇÃO			< 2 mm

NA - não analisado

Fonte: IPT (1989)

Nos Quadros 5a e 5b são apresentadas as várias gerações de quartzo com os diferentes processos utilizados para obtenção dos produtos, a partir de blocos piezoelétricos, lascas, quartzitos e areias silicosas. (CETEC, 1980)

Quadro 5a - As várias gerações de quartzo

1ª GERAÇÃO		2ª GERAÇÃO	
Processos Utilizáveis	Produtos Obtidos	Processos Utilizáveis	Produtos Obtidos
limpeza, inspeção fragmentação, corte, usinagem, polimento classificação	lâminas piezoelétricas sementes para cultivo lascas para cultivo blocos ornamentais	síntese hidrotermal corte	lâminas
limpeza, inspeção fragmentação, classificação, choque térmico, cominuição, separação magnética, flutuação, análises	Granulado A	fusão, cloretação, pu- xamento, moldagem, corte, polimento, do- pagem.	quartzo fundido, tubos, barras
limpeza, inspeção fragmentação, classificação, choque térmico, cominuição, separação magnética, flutuação, análises	Granulado B	redução em forno a arco submerso	ferrosilício, silício metálico (metalúrgico)
limpeza, inspeção fragmentação, classificação, choque térmico, cominuição, separação magnética, flutuação, análises	Granulado C	redução carbo- térmica, moldagem  fusão, refinamento, repouso	Carborundum   vidro comum, areia

Quadro 5b - As várias gerações de quartzo

3ª GERAÇÃO		4ª GERAÇÃO	
Processos Utilizáveis	Produtos Obtidos	Processos Utilizáveis	Produtos Obtidos
usinagem, ajustagem, ataque químico, metalização, encapsulamento, medidas elétricas	osciladores, filtros, sensores, transdutores, sementes para cultivo		
recozimento, usinagem, polimento	tubos de sílica, bastões para fibra ótica, tubos para difusão, vidro ótico, vidraria essencial, bulbos, lâ, fios, placas, blocos de sílica, cadinhos	puxamento	fibra ótica
recozimento, pulverização, reação c/catalise, cloração em leito fluidizado, destilação fracionada, eletrólise	aços especiais, ligas especiais, clorosilanos ( $\text{SiCl}_4$ e $\text{SiHCl}_3$ )	hidrólise, catálise, gelificação, destilação fracionada, deposição química a vapor (CVD), dopagem	silicones, tubos e bastões, quartzo sinterizado, pré-forma para fibra ótica, silicato de etila, silício policristalino
limpeza, pulverização, classificação	abrasivos, refratários		
estampagem, coagem, sopro	vidros planos, vasilhames, vidraria		
5ª GERAÇÃO		6ª GERAÇÃO	
Processos Utilizáveis	Produtos Obtidos	Processos Utilizáveis	Produtos Obtidos
puxamento	fibra ótica		
crescimento por métodos Cz ou Fz, purificação	silício monocristalino	corte, polimento mecânico, ataque químico, dopagem, análise de impurezas, análise estrutural	célula fotovoltaica, transdutores, transistores, trístores, chips, detectores

Fonte: CETEC Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. (1980)

As aplicações do quartzo nas indústrias são inúmeras, algumas das quais estão relacionadas no Quadro 6<sup>a</sup> e 6b. (CETEC, 1980)

**Quadro 6a - Aplicações do quartzo nas indústrias**

QUARTZO Produtos Finais	Equip. Médico	Metalur- gia	Óptica	Química	Relojoeira	Telecom.	Outras
Osciladores	○				○	○	
Filtros						○	
Sensores							
Transdutores				○			
Sementes de Cultivo							○
Blocos ornamentais							○
Tubos de sílica	○	○		○			○
Fibra ótica	○					○	
Tubos para difusão				○			
Vidro ótico			○				
Vidraría especial	○		○	○			
Bulbos							
Ampolas				○			
Lã de sílica							○
Fios de sílica							○
Placas de sílica			○				
Blocos de sílica			○				
Cadinhos	○			○			○
Aços especiais		○					
Ligas especiais		○					
Silicones	○	○	○	○	○	○	○
Tubos de sílica	○	○		○			○
Bastões de sílica							
Célula fotovolta					○		○
Transdutores							
Transistores							
Tristores							
Sensores							
Chips	○*				○	○	○
Detentores			○				
Abrasivos			○				○
Refratários		○					
Resistores		○					
Vidros planos	○						○
Vasilhames	○			○			○
Vidraría em geral	○			○			○
Areia		○					○

Fonte: CETEC Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (1980)

Quadro 6b - Aplicações do quartzo nas indústrias

QUARTZO Produtos Finais	Automo- bilística	Bélica	Compu- tação.	Const. Civil	Elétrica	Eletrodo- méstica	Eletrô- nica
Osciladores		○	○			○	○
Filtros		○					○
Sensores	○	○					
Transdutores	○	○					○
Sementes de Cultivo							
Blocos ornamentais							
Tubos de sílica					○		○
Fibra ótica	○						
Tubos para difusão							○
Vidro ótico							
Vidraia especial	○						○
Bulbos					○		
Ampolas					○		
Lã de sílica		○					
Fios de sílica		○					
Placas de sílica							
Blocos de sílica							
Cadinhos							
Aços especiais	○	○		○			
Ligas especiais	○	○		○			
Silicones	○	○	○	○	○	○	○
Tubos de sílica					○		○
Bastões de sílica					○		
Célula fotovoltaica		○					○
Transdutores	○						○
Transistores	○						○
Tristores	○					○	○
Sensores		○					○
Chips	○	○	○			○	○
Detentores	○	○					○
Abrasivos		○					
Refratários		○		○	○		
Resistores					○		
Vidros planos	○			○			
Vasilhames							
Vidraia em geral							
Areia				○			

Fonte: CETEC Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (1980)



### 3. PROPRIEDADES DO QUARTZO

---

As propriedades físicas, químicas e óticas que caracterizam o quartzo serão relacionadas a seguir, baseadas nas descrições mineralógicas de Dana (1932); Deer et al. (1975) e Betejtin (1977).

Alfa quartzo, ou simplesmente quartzo, cristaliza-se no sistema trigonal, classe trapezoédrica-trigonal, cujos elementos de simetria são três eixos horizontais binários e um eixo vertical ternário.

Os cristais de quartzo se apresentam sob formas características, mostrando prismas com faces estriadas horizontalmente, terminados por combinação de romboedros, dando a impressão de bibirâmides hexagonais.

O quartzo tem brilho vítreo, é transparente a translúcido, geralmente incolor, leitoso em algumas espécies, podendo se tornar colorido na presença de impurezas químicas, peso específico igual a 2,65 nas variedades puras e dureza 7 na escala relativa de Mohs. Não possui clivagens, apenas fraturas conchoidais.

A composição química do quartzo é dada por  $\text{SiO}_2$ , com peso molecular de 60,09, sendo que o silício corresponde a 46,7% e oxigênio equivale a 53,3%. É insolúvel em ácidos, com exceção do ácido fluorídrico. Tem ponto de fusão em  $1713^\circ \text{C}$ .

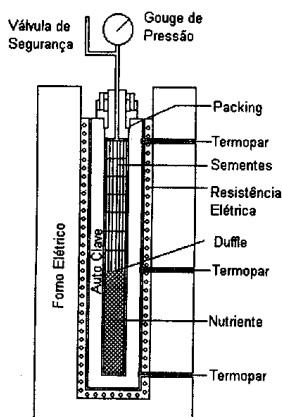
#### 3.1 Quartzo Cultivado

O desenvolvimento da tecnologia de recristalização do quartzo resultou em maior aproveitamento da matéria-prima e obtenção de material cultivado do mais alto fator de qualidade, com os trabalhos pioneiros de Waesche em 1960. (Hale, 1975)

O crescimento hidrotérmico do quartzo sintético consiste na recristalização do quartzo natural em solução aquosa à pressão e temperatura elevadas. (Braga, 1986)

Este processo é semelhante à cristalização hidrotermal dos minerais quando são formados no interior da crosta terrestre.

A Figura 1 mostra o esquema de uma autoclave de crescimento do quartzo, cujas severas condições de operação tornam a sua concepção uma das etapas complicadas do processo hidrotérmico. (in Suzuki et al., 1986c)



**Figura 1 – Esquema de autoclave de crescimento hidrotérmico de quartzo sintético**

### 3.2 Quartzo Fundido

O quartzo fundido caracteriza-se como um produto semi-faturado, obtido por fusão do quartzo granulado de alta pureza nas frações de 100 a 200 malhas (0,149 - 0,074 mm.). Durante a fusão, o quartzo perde a estrutura cristalina, passando à substância amorfa, transparente, incolor, vítrea e não-higroscópica. (IPT, 1989)

O quartzo fundido apresenta grande resistência mecânica, muito superior a outros materiais. Entre os materiais conhecidos é o de menor coeficiente de dilatação, suportando grandes choques térmicos. Possui alta resistência elétrica à temperatura elevada e excelentes propriedades dielétricas. Caracteriza-se pela resistência à maior parte dos produtos químicos, principalmente os de grande poder de corrosão.

A fusão do quartzo é um processo de difícil controle, e partindo do tetracloreto de silício, duas rotas tecnológicas podem ser usadas: (IPT, 1989)

- a) processo Heraeus: fusão em chama direta de hidrogênio-oxigênio em cadinhos de molibdênio ou grafita;
- b) processo Osram: fusão em altas temperaturas em fornos elétricos sob atmosfera inerte ou redutora.

## 4. METODOLOGIA DE CARACTERIZAÇÃO DE QUARTZO

Os principais métodos e técnicas de caracterização das propriedades mecânicas, físicas e químicas dos cristais e lascas de quartzo para indústrias de alta tecnologia serão descritos resumidamente a seguir.

### 4.1 Inspectoscopia ótica

A técnica de inspectoscopia ótica é um dos métodos mais simples e rápidos utilizados na caracterização de lascas e cristais de quartzo, tanto o cultivado como o natural. O método permite a observação dos principais defeitos do quartzo relacionados às inclusões, geminações, "cracks", "boundary" etc.

O esquema de um inspectoscópio ótico é apresentado na Figura 2. (Shinora et al., 1986)

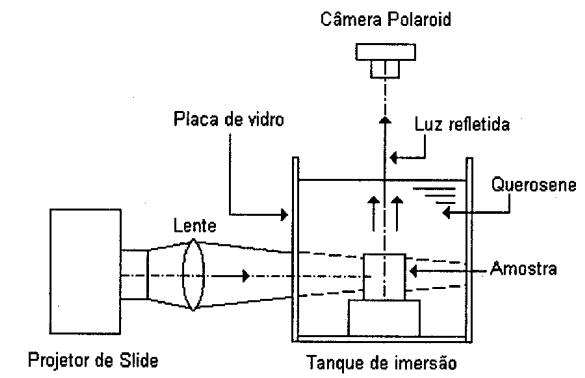


Figura 2 – Esquema de um inspectoscópio ótico (Shinohara et al., 1986)

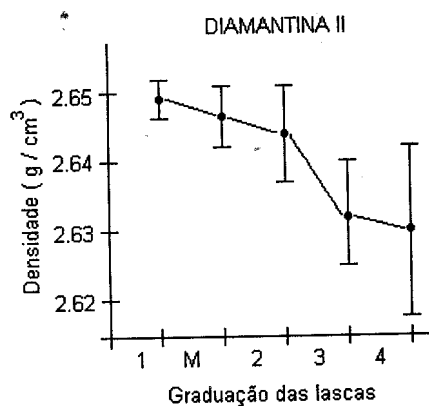
#### 4.2 Determinação da densidade

A densidade ou peso específico de um mineral é uma das propriedades físicas mais importantes, e constitui um dos primeiros passos na sua caracterização.

A determinação da densidade de lascas de quartzo é um método simples, prático e conveniente, com a vantagem do material ser utilizado ao natural. (Iwasaki et al., 1986a)

A densidade das lascas de quartzo de diferentes jazidas de diversas regiões produtoras nacionais mostra uma relação decrescente dos valores médios de densidade com o aumento da graduação das lascas. (Hummel et al., 1986a)

Na Figura 3 pode-se observar um diagrama de densidade versus graduação das lascas de quartzo de jazidas de Diamantina-MG. (Hummel et al., 1988)



**Figura 3 – Diagrama de densidade versus graduação das lascas de quartzo de Diamantina – MG (Hummel et al., 1988).**

### 4.3 Micrografia ótica

A primeira descrição de uma inclusão fluida em mineral remonta ao século XI, registrada pelo sábio árabe A.R. El Bairomi. Em 1972, R.Boyle reconheceu uma inclusão fluida em um cristal de quartzo. Em meados do século XIX, as inclusões fluidas passaram de simples curiosidade científica a objeto de considerável importância e mérito técnico, através do geólogo inglês H.C.Sorby, em publicação sobre mineralogia dos cristais de quartzo, alguns dos quais procedentes do Brasil. De acordo com Sorby (1858), as inclusões fluidas representam fusões primitivas aprisionadas durante a cristalização dos minerais, podendo ser usadas no estabelecimento do ambiente geológico de formação das rochas.

A ciência das inclusões fluidas combina as mais recentes técnicas com os mais antigos métodos de estudo, através de análises por microscopia ótica, microtermometria e espectrometria Raman, bem como análises ao microscópio eletrônico de varredura e platina de esmagamento.

As inclusões fluidas podem ser encontradas em vários minerais, mas o quartzo oferece o melhor material para estudo, devido às suas propriedades e à sua abundância na crosta terrestre.

As observações das inclusões fluidas ao microscópio ótico somente são possíveis através de uma fina lâmina do mineral, polida de ambos os lados, cuja condição é a chave para esse tipo de estudo, e requer uma série de refinamentos no procedimento básico de corte, desbaste e polimento.

As inclusões fluidas podem ser classificadas ao microscópio ótico de acordo com a percentagem volumétrica de fases sólida, líquida e gasosa, conforme apresentado no Quadro 7. (Sheperd et al., 1985)

**Quadro 7 - Classificação das Inclusões fluidas.**

Tipo de Inclusão	Fases Essenciais	Abreviação
líquido monofásico	L = 100%	L
duas fases ricas em líquidos	L > 50%	L + V
duas fases ricas em vapor	V = 50-80%	V + L
vapor monofásico	V = 100%	V
sólido multifásico	S < 50%	S + L ± V
	L = variável	
multissólido	S > 50%	S + L ± V
	L, V variável	
líquido imiscível	L <sub>1</sub> , L <sub>2</sub>	L <sub>1</sub> , L <sub>2</sub> ± V
vidro	GL > 50%	GL ± V ± S

Fonte: Shepherd et al ( 1985)

As fases sólidas minerais mais comuns em inclusões fluidas estão relacionadas no Quadro 8 (Sheperd et al., 1985), podendo ser facilmente identificadas por suas propriedades físico-químicas ao microscópio ótico polarizante em luz transmitida.

#### 4.4 Topografia e Goniometria de Raios-X

A combinação da topografia e goniometria de raios-X (Suzuki et al., 1986a) é uma das técnicas mais poderosas para caracterização estrutural das imperfeições cristalinas do quartzo. É ainda uma técnica de suma importância no estudo dos defeitos de crescimento dos cristais de quartzo sintético.

Na topografia de raios-X (Suzuki et al., 1986a) são obtidas imagens de difração em correspondência espacial com o cristal e, pelo contraste das intensidades, informações sobre os defeitos de rede, como: deslocamentos, geminações, inclusões, estrias de crescimento, etc.

Na goniometria de raios-X (Suzuki et al., 1986a), a partir da posição dos picos de difração, obtêm-se dados sobre espaçamento e desorientação dos planos atômicos. Através do perfil de intensidade de difração e do espalhamento difuso, pode-

se conseguir informações sobre as imperfeições da rede cristalina como média dos defeitos pontuais e segregação de impurezas.

**Quadro 8 - Fases sólidas mais comuns em inclusões fluidas.**

Mineral	Composição	Sistema Cristalino	Hábito Comum	Birrefringência
Halita	NaCl	cúbico	cubos	isotrópico
Silvita	KCl	cúbico	cubos	isotrópico
Anidrita	CaSO <sub>4</sub>	ortorrômbico	prismático	baixa
Nacolita	NaHCO <sub>3</sub>	ortorrômbico	tabular	muito alta
Carbonatos	(Ca, Mg)CO <sub>3</sub>	trigonal	romboedro	muito alta
Cloretos	FeCl <sub>2</sub>	vários	tabular	moderada-alta
Dawsonita	NaAl(CO <sub>3</sub> )	ortorrômbico	aglomerado	moderada
Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	trigonal	fibroso placas hexagonais	-
Sulfetos	vários	vários	grãos euédricos	-
Micas	vários	monoclínico	placóide	baixa- moderada

Fonte: Shepherd et al. (1985)

#### 4.5 Atenuação ultrassônica

O comportamento da propagação de ondas elásticas de alta frequência em sólidos é um método eficaz na avaliação das principais propriedades físicas do material, especialmente das imperfeições estruturais como "cracks", "boundaries", inclusões, deslocamentos, etc. (Shinohara et al., 1986)

A técnica ultrassônica adequada para estudo de lascas e cristais de quartzo natural e sintético é o método do pulso-eco. (Torikai et al., 1987a) O método consiste na aplicação de um pulso de ultrassom de frequência fundamental de 1 a 2 segundos de duração, através de um transdutor piezoelétrico colado na amostra. O pulso de ultrassom se propaga pela amostra, reflete na face oposta e volta ao transdutor, que detecta a intensidade do eco. Através da análise dos ecos obtêm-se as medidas de



atenuação e o tempo de propagação do pulso entre ecos consecutivos.

#### 4.6 Espectrometria de Absorção Atômica

A espectrometria de absorção atômica é uma técnica analítica freqüentemente empregada na determinação quantitativa dos constituintes dos materiais, especialmente impurezas químicas em quartzo para indústrias de alta tecnologia.

A preparação de amostras de quartzo para análises químicas por espectrometria de absorção atômica requer, numa primeira etapa, limpeza dos fragmentos em ultrassom, choque térmico a temperatura de 400 °C e pulverização em gral de ágata. Em seguida, cerca de 1 g da amostra é solubilizada a quente em 30 ml de ácido fluorídrico, e a solução é retomada com 20 ml de ácido nítrico diluído (1:1), completando-se o volume de 50 ml com água deionizada. As curvas de calibração são preparadas em função da faixa de concentração dos elementos que serão analisados. (Oliveira et al., 1986)

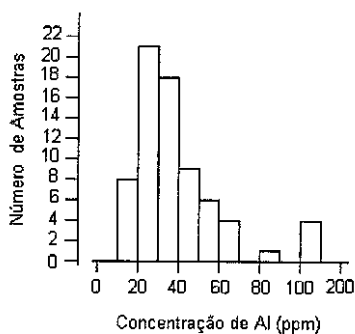
As lascas de quartzo de Goiás apresentam uma particularidade interessante no que se refere ao aparecimento de uma coloração avermelhada após choque térmico ("quenching").

Neste caso, foram verificados valores elevados e crescentes do ferro e dos elementos alcalinos com a graduação das lascas como exposto na Tabela 1. (Oliveira et al., 1987a)

A soma total das impurezas após choque térmico, incluídos ou excluídos os elementos alcalinos, também mostra uma relação crescente com a graduação das lascas de quartzo de Goiás.

O comportamento do alumínio pode ser avaliado no histograma da Figura 4, que reúne os valores encontrados em 71

lascas de quartzo de diferentes graduações de diversas jazidas dos estados da Bahia, Goiás e Minas Gerais. (Hummel et al., 1988) Os resultados mostram um intervalo marcante de concentração de alumínio na faixa de 20 a 40 ppm, independente da graduação da lasca de quartzo. A impureza de alumínio está relacionada, no entanto, à procedência geográfica das lascas e, naturalmente, à gênese da jazida de quartzo (Iwasaki et al., 1986b).



**Figura 4 - Histograma do comportamento do alumínio em lascas de quartzo (Hummel et al., 1988).**

É importante salientar o efeito da purificação do alumínio decorrente do crescimento hidrotérmico, embora se tenha verificado a influência negativa que exerce na qualidade e geração dos defeitos estruturais nos cristais sintéticos. (Suzuki et al., 1986a) Na Tabela 2 são apresentados os valores de alumínio em lascas e nos respectivos cristais sintéticos. (Iwasaki et al., 1988b) Todos os cristais obtidos mostram valores de alumínio sensivelmente menores do que o nutriente. Sob esse ponto de vista, o crescimento hidrotérmico pode ser considerado como um processo de purificação do alumínio.

**Tabela 1 - Impurezas em lascas de quartzo de Alto Paraíso de Goiás- GO após choque térmico**

Lascas	Elementos (ppm)								Total	
	Al	Fe	Mn	Ca	Mg	Na	K	Li	c/alc	s/alc
1ª	48,4	12,9	-	-	0,5	21,4	12,9	0,5	68,7	61,8
M	41,5	10,8	-	-	0,7	27,7	6,0	0,4	87,1	53,0
2ª	55,7	9,3	-	-	0,4	37,6	10,0	0,7	113,7	65,4
3ª	31,5	35,6	1,2	3,6	0,9	114,6	40,4	0,1	228,0	69,3
4ª	40,8	46,3	-	2,6	0,5	158,2	46,3	0,1	305,5	87,6

S/alc = sem alcalis C/alc = com alcalis

Fonte: Oliveira et al. (1987a)

**Tabela 2 - Impureza de alumínio em lascas e cristais sintéticos**

Lascas		Conteúdo de Alumínio (ppm)	
Procedência	Gradação	Lascas	Cristais
Brumado	3a	25,9	22,9
Diamantina	4a	28,5	16,9
Diamantina	3a	30,1	22,3
Diamantina	4a	48,0	18,7
Cabral	3a	117	26,7
Bicas	3a	241	77,5

Fonte: Iwasaki et al (1986b).

## **5. CARACTERIZAÇÃO DE LASCAS DE QUARTZO DE ALTO PARAÍSO DE GOIÁS**

---

### **5.1 Amostragem**

A região de amostragem das lascas de quartzo está situada nas proximidades da cidade de Alto Paraíso de Goiás, distante cerca de 170 km ao norte do Distrito Federal. A área é de fácil acesso, podendo ser atingida pela rodovia asfaltada GO-118, interligando Brasília-DF a Campos Belos-GO.

Alto Paraíso de Goiás é uma região brasileira historicamente produtora de cristais piezoelétricos e lascas de alta pureza, embora as reservas até hoje não tenham sido de todo avaliadas.

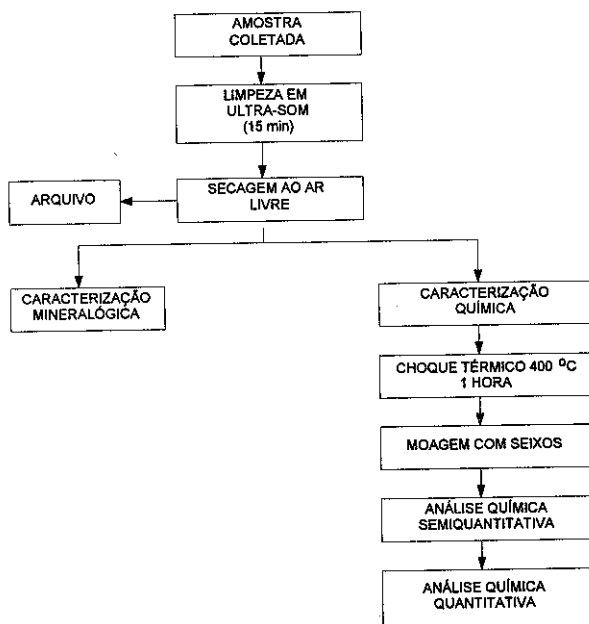
A exploração de lascas e cristais de quartzo na região é realizada em garimpos, sob condições precárias, através de poços com 10 a 20 m de profundidade. As lascas são classificadas nas próprias casas dos garimpeiros, armazenadas em sacos de aniagem e repassadas às empresas exportadoras.

Os trabalhos de campo na amostragem das lascas de quartzo na região de Alto Paraíso de Goiás tiveram apoio da METAGO - Metais de Goiás S/A, com supervisão do geólogo Solon Vieira, contando ainda com a participação de José Pereira Neto, engenheiro de minas do CETEM - Centro de Tecnologia Mineral.

### **5.2 Preparação das Amostras**

Os procedimentos utilizados na preparação das amostras para caracterização mineralógica das lascas de quartzo de Alto Paraíso de Goiás, podem ser acompanhadas na Figura 4. Na Tabela 3 estão relacionadas as características das amostras

quanto ao peso médio dos fragmentos e dimensões do eixo maior das lascas de quartzo da região de Alto Paraíso de Goiás que se enquadram nas especificações de uso industrial nobre (IPT,1989), como exposto anteriormente no Quadro 3.



**Figura 5 - Fluxograma de preparação das amostras para caracterização físico-química e mineralógica das lascas de quartzo de Alto Paraíso.**

**Tabela 3 - Características físicas das lascas de quartzo da região de Alto Paraíso**

Procedência	Gradação	Dimensão Eixo Maior/(mm)	Peso Médio Fragmentos/(g)
São Jorge	1 <sup>a</sup>	58,2	38,60
São Jorge	2 <sup>a</sup>	53,7	40,59
São Jorge	Mista	43,1	32,20
São Luiz do Tocantins	Mista	61,2	91,99

Nota: Valores médios de dez fragmentos.

### 5.3 Medidas de Densidade

O método do picnômetro foi escolhido entre os normalmente usados para determinação da densidade de materiais geológicos, fornecendo resultados precisos para pequenas quantidades de amostras granulares.

Na Tabela 4 encontram-se os valores médios das densidades das lascas de quartzo na fração -48 +100 malhas (0.297 - 0.149mm) utilizando-se água destilada à temperatura de 25°C como meio de imersão.

**Tabela 4 - Densidade média das lascas de quartzo.**

Procedência	Gradação	Densidade Média	Desvio Padrão (n = 5)
São Jorge	1 <sup>a</sup>	2,648	± 0,031
São Jorge	2 <sup>a</sup>	2,635	± 0,036
São Jorge	Mista	2,623	± 0,015
São Luiz do Tocantins	Mista	2,634	± 0,028

Nota: Densidade média da fração - 48 + 100 malhas

Os resultados obtidos mostraram que a densidade média das lascas de quartzo de Alto Paraíso de Goiás-GO diminui em função da graduação. A densidade de 2,648 para a lasca de primeira se aproxima do valor padrão aceito pela literatura, indicando que se trata de quartzo de excelente qualidade para uso industrial nobre.

#### 5.4 Microscopia ótica

Foram selecionados aleatoriamente para análises microscópicas cinco fragmentos de cada amostra de lasca de quartzo da região de Alto Paraíso de Goiás-GO. As observações ao microscópio ótico permitem identificar facilmente as principais características dos fragmentos, tais como: côr, transparências, fraturas, inclusões sólidas de diminutos grãos de minerais opacos e principalmente as formas e os tipos das microinclusões fluidas. Na Tabela 5 estão resumidas as principais características microscópicas observadas nos fragmentos das lascas de quartzo.

**Tabela 5 - Características microscópicas das lascas de quartzo da região de Alto Paraíso de Goiás.**

Lascas de Quartzo		Características Microscópicas dos fragmentos
Procedência	Graduação	
São Jorge	1ª	Incolor, límpido, transparente, fraturas restritas, raras e diminutas inclusões fluidas.
São Jorge	2ª	Incolor, transparente, presença de inclusões fluidas, minerais opacos euédricos e fraturas.
São Jorge	Mista	Incolor, leitoso, fraturado, com minerais opacos e inclusões fluidas freqüentes
São Luiz do Tocantins	Mista	Levemente colorido, leitoso, geminação óptica, mineral opaco e várias inclusões fluidas.

## **5.5 Microtermometria das Inclusões Fluidas**

A microtermometria é um método de identificação e avaliação das inclusões fluidas, através de uma platina de aquecimento e resfriamento acoplada ao microscópio ótico. Esse equipamento permite atingir temperaturas de até 600°C no aquecimento e temperaturas de -180°C no resfriamento quando se utiliza o nitrogênio líquido.

Todos os cristais crescem em meio fluido, exceto os minerais metamórficos, que são formados no estado sólido. A inclusão fluida é o material aprisionado no momento da formação do mineral quando ocorre o resfriamento e o consequente crescimento do cristal. Em geral, o material aprisionado no mineral é homogêneo, podendo desenvolver cristais de saturação e fases imiscíveis.

As inclusões fluidas dos tipos líquidas, gasosas e/ou sólidas são normalmente inferiores a um milímetro cúbico, e o seu estudo exige lâminas bipolidas de alta qualidade para estudos ao microscópio ótico. A espessura recomendada varia de 0,2 a 0,5mm, diferente da espessura das lâminas delgadas para estudos usuais de petrografia e mineralogia, que é de 0,03mm. A espessura das lâminas bipolidas acima destes valores tem-se problemas relacionados com a observação das inclusões fluidas e ao formato das platinas de aquecimento e resfriamento utilizadas nas análises de microtermometria. As inclusões fluidas podem ser classificadas em função do número de fases observadas à temperatura ambiente, distinguindo-se inclusões monofásicas, bifásicas, trifásicas e multifásicas.

Essa classificação é completada por análises de microtermometria para determinação da composição do fluido original e da temperatura de homogeneização. A temperatura de homogeneização nada mais é do que a temperatura mínima de formação do cristal.



As inclusões primárias representam uma fração do fluido original aprisionado durante a cristalização do mineral e as inclusões secundárias se formam ao longo das microfraturas após cristalização do mineral.

Raras são as inclusões fluidas que permanecem intactas através dos tempos geológicos. As transformações químicas ou físicas posteriores à cristalização do mineral compreendem a formação de: bolhas de contração; fases imiscíveis; minerais filhos; cristalização junto às paredes; estrangulamento ("necking down"); deformação irreversível ("stretching"); coalescência de inclusões e vazamentos ("leakage").

Nas análises de microtermometria é observado o comportamento das inclusões fluidas perante o resfriamento e o aquecimento da amostra. São necessárias de 20 a 50 medidas para efeito de análise estatística das temperaturas registradas.

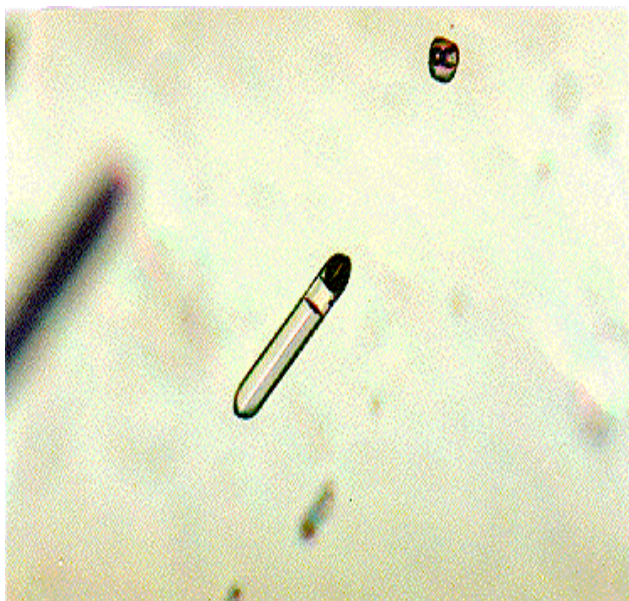
Na platina de resfriamento, a inclusão é rapidamente congelada com auxílio do nitrogênio líquido, podendo atingir a temperatura de  $-180^{\circ}\text{C}$ . As transformações de fase são observadas e as respectivas temperaturas anotadas. Na platina de aquecimento podem ser atingidas lentamente temperaturas de  $+600^{\circ}\text{C}$  para determinação das temperaturas de fusão do cristal de saturação, crepitação e homogeneização. A homogeneização pode se dar na fase líquida ou vapor.

Nas Tabelas 6 e 7 estão relacionados os dados obtidos nas análises de microtermometria das inclusões fluidas das lascas de quartzo da região de Alto Paraíso de Goiás-GO. A microtermometria foi realizada no Laboratório de Inclusões Fluidas do Departamento de Geoquímica e Recursos Minerais da Universidade de Brasília, sob orientação do geólogo Paulo de Tarso Fortes, e o equipamento utilizado foi o da marca Chaixmecca, de origem francesa.

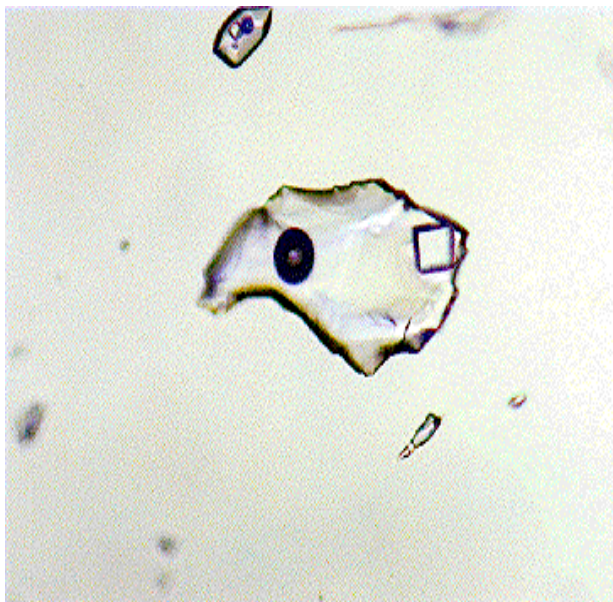
As inclusões multifásicas são constituídas por cristais de saturação e água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), sob forma líquida e vapor. Os minerais

de saturação correspondem aos cristais cúbicos isotrópicos de halita (NaCl) e silvita (KCl). Ocorrem também nas inclusões, cristais romboédricos de alta birrefringência de minerais do grupo dos carbonatos (calcita e/ou dolomita). Um mineral de aspecto fibroso foi observado em algumas inclusões fluidas multissólidas, sugerindo tratar-se de dawsonita.

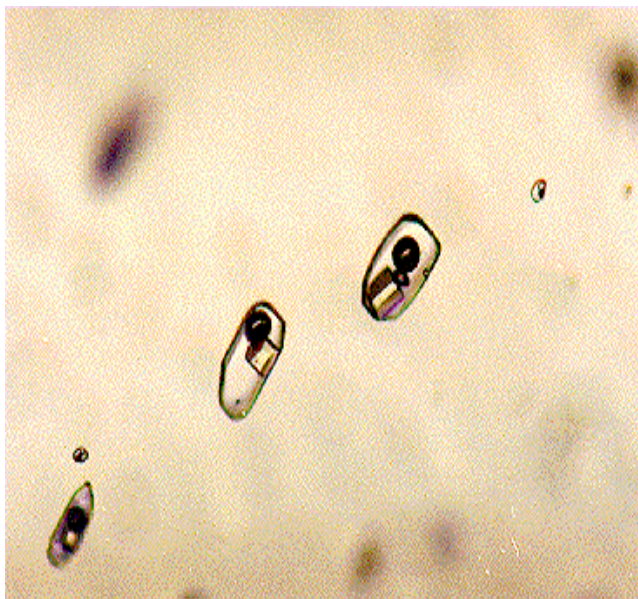
Nas fotomicrografias de 1 a 4 são mostrados tipos e formas de inclusões fluidas nas lascas de quartzo de Alto Paraíso de Goiás. São apresentadas inclusões multifásicas alongadas ou não, regulares e ou irregulares, bem como uma trilha constituída por diminutas inclusões. Vale salientar que algumas inclusões exibem cristais cúbicos de sólidos (halita), bôlhas de gases e água, aprisionadas em seu interior.



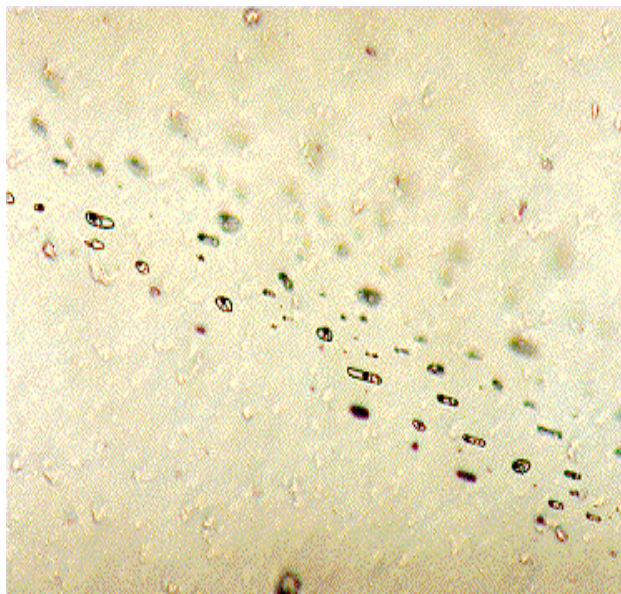
**Fotomicrografia 1 - Inclusão multifásica alongada em lasca mista de quartzo da mina São Jorge (s/nicol); aumento 50 X; escala 2cm = 75  $\mu$ m**



**Fotomicrografia 2 - Inclusão multifásica em lasca mista de quartzo da mina de São Luiz do Tocantis. ( s/nicol ); aumento de 50 X; escala 2 cm = 75µm**



**Fotomicrografia 3 - Inclusão multifásica em lasca mista de quartzo da mina de São Jorge. (s/nicol); aumento de 50 X; escala 2 cm = 75µm**



**Fotomicrografia 4 - Inclusão alongada em lasca mista de quartzo da mina de São Luiz do Tocantis. ( s/nicol ); aumento de 50 X; escala 2 cm = 75µm**

**Tabela 6 - Características das inclusões fluidas das lascas de quartzo de Alto Paraíso de Goiás**

Características das Inclusões Fluidas					
Natureza do Fluido	Sistema	Fase	Tipo	Forma	Tamanho ( $\mu\text{m}$ )
Fluido I (precoce)	aquoso saturado (H <sub>2</sub> O-NaCl-KCl)	multifásica V <sub>L</sub> = 60-70% V <sub>G</sub> = 20-15% V <sub>S</sub> = 20-15%	isolada (primária)	irregular alongada	50-300
			agrupada (pseudo-secundária)	regular arredondada	10-50
Fluido II (tardio)	aquoso não saturado (H <sub>2</sub> O-NaCl-KCl)	bifásica V <sub>L</sub> = 90-95% V <sub>G</sub> = 10-15%	alinhada (secundária)	irregular estirada	50-100

Nota: Microtermometria das inclusões fluidas realizadas no Departamento de Geoquímica e Recursos Minerais da UNB, Brasília - DF.

**Tabela 7 - Caracterização dos fluidos associados às lascas de quartzo de Alto Paraíso de Goiás.**

Natureza do Fluido	Temperaturas (°C)	Observações
Fluido I (precoce)	$T_{eut} = -60$ a $-30$ $T_{fg} = -45$ a $-50$ $T_{fHidr} = 2$ a $30$ $T_{crep} = 170$ a $270$ $T_{fHal} = 190$ a $340$ $T_{H(L)} = 250$ a $350$	indica outros sais dissolvidos: NaCl; KCl, CaCl <sub>2</sub> , MgCl <sub>2</sub> , etc  salinidade = 30 - 40% em peso de NaCl equivalente
Fluido II (tardio)	$T_{eut} = -55$ a $-40$ $T_{fg} = -10$ $T_{H(L)} = 100$ a $200$	indica outros sais dissolvidos salinidade = 155% em peso de NaCl equivalente

Nota:  $T_{eut}$  = temperatura do eutético.

$T_{fg}$  = temperatura de fusão do gelo.

$T_{fHidr}$  = temperatura de fusão do hidrato.

$T_{crep}$  = temperatura da crepitação.

$T_{fHal}$  = temperatura de fusão da halita.

$T_{H(L)}$  = temperatura de homogeneização na fase líquida.

## 5.6 Análises Químicas Quantitativas

Inicialmente, as lascas de quartzo foram analisadas por espectrografia ótica de emissão para determinação dos elementos presentes e avaliação das faixas de concentração. Os resultados das análises químicas semiquantitativas das lascas de quartzo estão relacionadas na Tabela 8. As principais impurezas químicas registradas nas lascas de quartzo da região de Alto Paraíso de Goiás foram Al, Fe, Mg, Ca, Na e K.

Os resultados das análises químicas quantitativas das lascas de quartzo estão apresentadas na Tabela 9. Convém salientar que os elementos alcalinos foram determinados por

espectrometria de absorção atômica, no Centro de Tecnologia Mineral - CETEM. Os demais elementos foram analisados por espectrometria de plasma, no Laboratório de Geoquímica da Universidade de Brasília.

**Tabela 8 - Análises semiquantitativas por espectroscopia ótica de emissão das lascas de quartzo de Alto Paraíso.**

Lascas de Quartzo		Elementos (ppm)					
Procedência	Graduação	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K
São Jorge	1ª	100	70	15	<70	i	i
São Jorge	2ª	200	70	15	<70	i	i
São Jorge	Mista	150	70	15	<70	i	i
São Luiz do Tocantins	Mista	100	70	20	<70	i	i

Nota: (i) = interferência na leitura da raia.

**Tabela 9 - Análises quantitativas das lascas de quartzo da região de Alto Paraíso de Goiás.**

Elementos (ppm)	Lascas de Quartzo			
	São Jorge 1ª	São Jorge 2ª	São Jorge Mista	São Luiz Mista
Al	81	68	117	45
Fe	14	51	49	54
Na*	37	45	36	48
K*	3,0	5,5	4,0	15
Li	7,0	9,0	5,0	4,0
Ca	19	23	31	41
Mg	1,9	4,4	4,8	8,2
Ti	11,9	1,8	2,1	17
Cu	2,4	5,4	6,0	0,4
Cr	0,8	0,4	0,5	1,1
Mn	0,5	0,6	0,8	1,3

Análises por CP-AS (Un B) - \* absorção atômica (CETEM).



## 6. CONCLUSÕES

---

Com base nos resultados obtidos nesses estudos, evidenciou-se que uma técnica expedita de inspectocopia ótica permite a identificação dos principais defeitos nas lascas de quartzo, tais como: inclusão, geminação, "crack", "boundary", etc.

As medidas de densidade tem-se revelado um método eficaz de avaliação da classificação das lascas de quartzo. A densidade das lascas de diferentes jazidas das regiões produtoras nacionais, mostra uma relação decrescente dos valores médios de densidade com o aumento da graduação das lascas.

Um diagrama de densidade versus graduação de lascas de uma jazida de Diamantina-MG, evidenciou que lascas de primeira estão com densidade igual a 2,65 e lascas de quarta com densidades que variam de 2,64 a 2,62.

Determinações das densidades de amostras de Alto Paraíso de Goiás, realizadas no laboratório do CETEM e utilizando o picnômetro, mostrou um valor de 2,648 para lasca de primeira e valores de 2,634 a 2,623 para lascas mistas. Vale salientar que a densidade de 2,648 medida está próximo do valor padrão de quartzo apresentado na literatura que é de 2,653. Com esse resultado pode-se afirmar que se trata de um quartzo de excelente qualidade portanto bastante útil para uso industrial nobre.

As análises por microtermometria das inclusões fluidas das amostras de Alto Paraíso de Goiás evidenciou que a distribuição e frequência das microcavidades intensifica nas lascas de baixa qualidade. O estudo por microtermometria ressaltou ainda a ocorrência de dois importantes tipos de inclusões: um de natureza precoce e o outro de natureza tardio.

O fluido de natureza precoce consiste de um sistema aquoso-saturado, com inclusões multifásicas. O fluido de natureza tardio corresponde ao sistema aquoso não saturado e as inclusões são bifásicas de origem secundária.

A temperatura de homogeneização do fluido precoce das lascas de Goiás indicou uma temperatura mínima de + 350°C para formação dos cristais. A temperatura de homogeneização de +100°C a +200°C do fluido tardio evidenciou uma percolação de material após a cristalização do quartzo

Os resultados das análises químicas mostram que, de um modo geral, não há uma correlação muito grande entre as impurezas químicas e a classificação das lascas, com exceção apenas da presença dos elementos alcalinos sódio e potássio.

No caso específico do quartzo sintético o alumínio influi diretamente na geração dos defeitos estruturais do cristal, porém o crescimento hidrotermal baixa esses teores e funciona como um processo de purificação desse elemento.

Assim sendo, os estudos de caracterização físico-química e mineralógica do quartzo da região de Alto Paraíso de Goiás, evidenciaram uma significativa relação entre a classificação das lascas com as medidas de densidade do granulado, com a distribuição das inclusões fluidas nos fragmentos e com os resultados de análises químicas dos elementos alcalinos e alcalinos terrosos, cujas concentrações desses elementos constituem impurezas químicas indesejáveis nas lascas de quartzo.

## 7. BIBLIOGRAFIA

---

1. ABREU, S.F. 1978. Recursos Minerais do Brasil. Ed. Edgard Blücher Ltda., São Paulo. 2ª ed. vol. I, p. 255-266
2. ARCOVERDE, W.L. 1988. Balanço mineral do quartzo. Brasil Mineral, 54: p. 24-35.
3. ARCOVERDE, W.L. 1991. Cristal de quartzo. In: Souza, W.O. (Ed.), Sumário Mineral. Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília. Vol. 11, p. 40-41.
4. BETEJTIN, A. 1977. Curso de Mineralogia. Ed. Mir. Moscú. 3ª ed.. p. 349-364.
5. BRAGA, R. 1985. Como cultivar quartzo por hidrotermia. Dirigente Construtor, 21 (6):34 - 37.
6. DANA, E.S.. 1932. A Textbook of Mineralogy. John Wiley, New York. 4th. ed. 732 p.
7. DEER, W.A.; HOWIE, R.A. and ZUSMAN J. 1975. An Introduction to the Rock-Forming Minerals. Longman Group Ltd., London, p. 340-355.
8. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. 1990. Anuário Mineral Brasileiro. DNPM, Brasília. 380 p. Min
9. FERRELL, J.E.. 1985. Quartz Crystal. In: Mineral, Facts and Problems. Bureau of Mines. Bulletin 675, 6 p.
10. FRANCO, R.R. 1957, Sobre os depósitos de quartzo do Brasil. Associação Brasileira de Gemologia, 2 (7): L5-20.
11. FREITAS, A.S. 1973. Perfil Analítico do Quartzo. Departamento Nacional de Produção Mineral. Rio de Janeiro. Boletim 20. 40 p.
12. FRONDEL, C. 1945. History of the quartz oscillator-plate industry, 1941-1944. American Mineralogist, 30 (5/6): 205-213.

13. HALE, D.R. 1975 Eletronic and optical uses. In: Lefond, S.,J. (Ed.), Industrial Minerals and Rocks. American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers. New York. p. 224-235.
14. HUMMEL, D.C.A.; SHINOHARA, A.H.; TORIKAY, D. and SUZUKI, C.K. 1988. Study of quartz lascas properties for technological applications. Anais do 8<sup>o</sup> CBECIMAT, Campinas. p. 432-435.
15. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. 1989. Oportunidades Tecnológicas e Industriais para Minerais Estratégicos. IPT, São Paulo. Relatório Final, volume I, p. 1-20; volume 2, 182 p.
16. IWASAKI, F.; HUMMEL, D.C.A.; SUZUKI, C.K. e IWASAKI, H. 1986a. Caracterização de lascas de quartzo para indústrias de "alta tecnologia"; Parte I: Estudos por difração de raios-X. Cerâmica. 32 (202): 277-280.
17. IWASAKI, H.; IWASAKI, F.; SUZUKI, C.K.; OLIVEIRA, V.A.R.; HUMMEL, D.C.A. and SHINOHARA, A.H. 1986b. Characterization of brazilian lascas from various regions and their use for synthetic quartz growth; part 1: lascas study. 40th. Annual Frequency Control Symposium, Philadelphia. p. 39-46.
18. JOHNSTRON Jr., W.D. and BUTLER, R.D. 1946. Quartz crystal in Brazil. Geological Society of America. Bulletin 57. p.601-605.
19. LEMOS, C. 1988a. Diagnóstico do Segmento de Quartzo e Silício. Núcleo de Estudos e Planejamento de Novos Materiais, Rio de Janeiro. 62 p.
20. LEMOS, C. 1988B. Perspectivas para quartzo e silício. Brasil Mineral, 54: 36-37
21. LEONARDOS, O.H. 1960. Cristal-de-rocha em Cristalina. Goiás. Mineração e Metalurgia, 31 (186): 293-300.
22. OLIVEIRA, V.A.R.; IWASAKI, H. e SUZUKI, C.K. 1987a. Estudo de impurezas em lascas de diversas regiões. Anais 31<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Cerâmica, Brasília. volume I, p. 423-442.
23. OLIVEIRA, V.A.R.; IWASAKI, H.; SUZUKI, C.K. e TORIKAI, D. 1986. Caracterização de lascas de quartzo para indústrias de

- "alta tecnologia"; Parte III: Análises de impurezas por AAS. Cerâmica, 32 (202): 285-288.
24. SHEPHERD, T.J.; RANKIN, A.H. e ALDERTON, D.H.M. 1985. A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies. Chapman & Hall, New York. p. 21-234.
  25. SHINOHARA, A.H.; IWASAKI, H.; IWASAKI, F.; SUZUKI, C.K. e TORIKAI, D. 1986a. Caracterização ultrassônica de sólidos (parte I): quartzo sintético e natural. Cerâmica, 32(202): 289-292.
  26. SHINOHARA, A.H.; RANGEL, F.O.; IWASAKI, H.A.; HUMMEL, D.A.C. e SUZUKI C.K. 1986b. Caracterização ultrassônica de cristais de quartzo sintético e natural. Cerâmica, 32(202): 273-276.
  27. SORBY, H.C. 1858. On the microscopical structure of crystals. Quaterly Journal of Geological Society of London, 14: 453-501.
  28. SUZUKI, C.K.; IWASAKI, F. e IWASAKI, H. 1986a. Influência da impureza de Al na fabricação do quartzo sintético estudada por topografia e goniometria de raios-X. Cerâmica, 32(202): 263-268.
  29. SUZUKI, C.K.; FARIAS, C.; TAKIYA, S.M. e KISS, J. 1986c. Tecnologia de sementes para quartzo sintético. Cerâmica. 32(202): 303-306.
  30. TORIKAI, D.; SHINOHARA, A.H.; IWASAKI, H e SUZUKI, C.K. 1987 a. Estudo da atenuação ultrassônica em quartzo. Anais 31<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Cerâmica, Brasília, vol. 1, p.386-409.