



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**

**Cândido Jorge de Sousa Lobo**

**ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DO REJEITO  
GRANITO ROSA IRACEMA COMO MATÉRIA-PRIMA NA  
FABRICAÇÃO DE FUNIS DE SAÍDA DA FIAÇÃO A ROTOR  
NA INDÚSTRIA TÊXTIL**

Fortaleza - CE  
Maio / 2009

**Cândido Jorge de Sousa Lobo**

**ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DO REJEITO DO  
GRANITO ROSA IRACEMA COMO MATÉRIA-PRIMA NA  
FABRICAÇÃO DE FUNIS DE SAÍDA DA FIAÇÃO A ROTOR  
NA INDÚSTRIA TÊXTIL**

Fortaleza - CE  
Maio / 2009

**Cândido Jorge de Sousa Lobo**

**ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DO REJEITO DO  
GRANITO ROSA IRACEMA COMO MATÉRIA-PRIMA NA  
FABRICAÇÃO DE FUNIS DE SAÍDA DA FIAÇÃO A ROTOR  
NA INDÚSTRIA TÊXTIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais da Universidade Federal do Ceará como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Materiais

Orientador:

Prof. Dr. Ricardo Emílio F. Q. Nogueira

MESTRADO EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE MATERIAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E DE PRODUÇÃO  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

Fortaleza - CE  
Maio / 2009



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**

**CENTRO DE TECNOLOGIA**

**Departamento de Engenharia Mecânica**

**PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS**

**PARECER DA COMISSÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**CÂNDIDO JORGE DE SOUSA LOBO**

**“ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DO REJEITO DO GRANITO ROSA IRACEMA COMO MATÉRIA-PRIMA NA FABRICAÇÃO DE FUNIS DE SAÍDA DA FIAÇÃO A ROTOR NA INDÚSTRIA TÊXTIL”**

A Comissão de Dissertação composta pelos professores Ricardo Emílio Ferreira Quevedo Nogueira (Presidente e Orientador) do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, José de Araújo Nogueira Neto do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará e Divanira Ferreira Maia da Coordenação de Indústria do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, consideram o candidato:

( ) Aprovado                      ( ) Não Aprovado

Secretaria do Programa de Mestrado em Engenharia e Ciências de Materiais da Universidade Federal do Ceará, em 25 de maio de 2009.

Ricardo Emílio Ferreira Q. Nogueira  
Presidente e Orientador

José de Araújo Nogueira Neto  
Membro

Divanira Ferreira Maia  
Membro

*Aos meus pais,  
Elsa e Miguel,  
pela educação valorosa que  
me deram,  
apesar das dificuldades.*

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus criador de tudo, pelo dom da minha vida e por me dar a capacidade de superar obstáculos sem desistir.

Ao Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais pelo suporte oferecido na realização deste trabalho.

Ao Professor, orientador e amigo, Dr Ricardo Emilio pela contribuição nos ensinamentos e pela paciência.

Ao professor Dr Lindberg Gonçalves, pela dedicação prestada ao programa durante o meu período como aluno.

À Francisca Maria, profissional mais competente e dedicada que conheço, pelo companheirismo e ajuda. Sua contribuição foi fundamental para esse trabalho.

Ao Professor Cherlio Scandian, pelas análises e resultados de MEV realizados na Universidade Federal do Espírito Santo.

Ao grande amigo Herlânio Pessoa, pela ajuda no desenvolvimento da dissertação.

Ao senhor José Milton pela confecção do molde metálico e grande contribuição em conhecimento técnico.

Aos meus colegas de mestrado pelos momentos vividos e pela força nos momentos mais difíceis.

À Têxtil Bezerra de Menezes pelas peças doadas e apoio técnico prestado.

Aos demais professores do programa, em especial os professores Hamilton Ferreira, Tereza Verônica, Vicente Walmick, pelos conhecimentos disponibilizados nas aulas.

À toda minha família, Irmãs: Tallyta e Carolina, Nicolý minha sobrinha, pelo amor e carinho que fizeram parte de todas as minhas conquistas.

## LISTA DE FIGURAS

1	Aparência do Quartzo.....	19
2	Característica visual do Feldspato.....	20
3	Ilustração da Mica.....	21
4	Foto ilustrativa de Anfíbula Hornblenda.....	21
5	Escala de Mohs.....	22
6	Fluxograma do processo produtivo de Rochas Ornamentais.....	23
7	Fotografia panorâmica da Serra do Barriga e o esboço geográfico.....	27
8	Fotografia do granito polido Rosa Iracema.....	28
9	Fotografia do Rio dos Monos com as suas margens assoreadas pelo descarte de rejeitos.....	28
10	Classificação geral dos fios.....	33
11	Fotografia superior: fio fiado pelo sistema Open End; fotografia inferior: fio fiado pelo sistema de fiação a Anel.....	36
12	Foto do funil de saída KN4 da Belcoro (à esquerda); Ilustração do processo de formação do fio na fiação a rotor (à direita).....	38
13	Porosidade e a densidade relativa de pós compactados com a pressão de compactação.....	40
14	Diagrama de fase da mistura $Al_2O_3$ e $SiO_2$ .....	42
15	Molde cilíndrico para obter pastilhas.....	44

16	Peças compactadas a verde (escala em milímetros).....	46
17	Difratograma de raios x para o funil KS K4-A.....	54
18	Difratograma de raios x para o funil KN4.....	55
19	Difratograma de raios x do resíduo: f- microlina; a- albita; i/m- ilita/mica; q- quartzo; h- hematita; e d- dolomita.....	55
20	Propriedades da Alumina RC – HPT- DBM.....	56
21	Amostras Sinterizadas: A) 1200°C B) 1500°C (% em p Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ).....	58
22	Amostra 70% p Granito – 30% p Alumina, sinterizada a 1500°C.....	59
23	Amostras classificadas % p de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . 1 - 0%; 2 - 10%; 3 - 20%; 4- 30%; 5 - 40%.....	60
24	Amostra 4 - Feixe de elétrons com EDS nos pontos 1 e 2.....	61
25	Difratograma dos pontos 1 e 2.....	61
26	Amostra fraturada após ensaio de compressão diametral.....	65
27	Rugosidade para funil KN4 – Ra= 2,31.....	67
28	Gráfico de rugosidade: A) 30% p de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – Ra= 5,78 B) 40% p de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – Ra= 3,61.....	68

## LISTA DE TABELAS

1	Comparativo econômico entre Rochas Ornamentais e Minério de ferro e ouro.....	18
2	Principais jazidas de Granito no Estado do Ceará.....	26
3	Impactos gerados pelas Indústrias de Rochas Ornamentais.....	29
4	Classificação dos resíduos quanto à periculosidade.....	30
5	Composição em peso das pastilhas compactadas.....	45
6	Análise da fluorescência dos funis KN4, KS4-A e do Granito Rosa Iracema.....	52
7	Características mineralógicas do Granito Rosa Iracema.....	53
8	Área BET para o resíduo Rosa Iracema e Alumina.....	57
9	Dureza das Amostras em Vickers.....	64
10	Compressão diametral em (1300°C e 1400°C) em KPa.....	67
11	Tabela de Absorção de água e retração linear para amostra com 30% em de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> às temperaturas de sinterização de 1300°C e 1400°C.....	70

## LISTA DE GRÁFICOS

1	Principais tipos de Rochas produzidas no Brasil.....	24
2	Análise Termogravimétrica do Rejeito do Granito.....	57
3	Dureza Vickers para temperatura de sinterização a 1200° C.....	63
4	Dureza Vickers para temperatura de sinterização a 1500° C.....	64
5	Resistência à compressão diametral – 1200°C.....	66
6	Resistência à compressão diametral – 1500°C.....	66
7	Curva de gresificação do compósito à temperatura de 1200°C.....	69
8	Curva de gresificação a 1500°C.....	70

## RESUMO

O presente trabalho foi motivado pela necessidade de minimizar impactos ambientais causados pela extração de granito, dando aplicabilidade aos rejeitos da indústria de rochas ornamentais. Trabalhos anteriores mostraram a viabilidade de se utilizar esses rejeitos na produção de guia-fios cerâmicos para a Indústria Têxtil. Um outro componente, bastante utilizado na Indústria Têxtil é o funil de saída da fiação a rotor. O elevado custo de importação desses componentes torna bastante atrativo a busca de materiais alternativos para sua fabricação no País. Análises preliminares mostraram que esses funis são compostos basicamente de alumina, com resistência mecânica muito superior ao dos resíduos de granito que se pretendia utilizar, levando à necessidade de se reforçar o material. Partículas de alumina foram incorporadas às amostras formando compósitos dos quais foram estudadas diversas composições de matriz e reforço para se obter características aproximadas daquelas dos funis comerciais. Foram realizadas análises de caracterização dos materiais envolvidos, e ensaios para determinação das propriedades físicas. As amostras com 30% e 40% em peso do reforço de alumina resultaram em uma melhor sinterização e resultados de dureza com 81% dos valores obtidos pelos funis comerciais, com uma rugosidade próxima da exibida por aqueles componentes.

## ABSTRACT

The present work was motivated by the need to minimize environmental impacts caused by granite quarrying. One of the ways to achieve this objective is to find value-added technical applications for granite residues. In a previous work it has been demonstrated that these silica-rich granite powders can be employed as raw-materials for the production of textile thread-guides. One very promising application for the textile industry in Brazil is the fabrication of open end navels. These are high-cost components made from expensive technical ceramics, which are imported from Europe. Therefore, it would be very interesting to be able to produce them at a lower cost, using residual granite powders. Preliminary analysis of the materials of commercially available textile navels has shown that they are composed mainly of alumina. Under normal conditions, alumina-made components exhibit much higher mechanical strength and hardness than silica-made components. Thus, it is necessary to introduce reinforcements to the starting granite powder used in this work (a residue obtained from the commercial stone "Rosa Iracema"), in order to improve the performance of the parts made from it. Different amounts of submicrometric alumina particles were added to the starting powder, rendering composites. These composites were submitted to several mechanical and physical analysis aiming at finding the best combination of properties, compared to the properties of the commercially available textile navels. Test pieces containing 30% and 40%wt alumina gave the best results in terms of sinterability, and surface roughness. Their hardness was approximately 80% of the hardness of the alumina navels.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>IX</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>X</b>
<b>CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1 INTRODUÇÃO.....	14
1.2 OBJETIVOS.....	16
1.2.1 Objetivo geral.....	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	17
<b>CAPÍTULO II – REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>18</b>
2.1 AS ROCHAS ORNAMENTAIS.....	18
2.1.1 Processo produtivo na Indústria das Rochas Ornamentais.....	22
2.1.2 Contexto mundial e nacional.....	24
2.2 GRANITO ROSA IRACEMA.....	26
2.3 INDÚSTRIA TÊXTIL.....	31
2.3.1 Funis de Saída.....	36
2.4 COMPÓSITOS.....	38
2.4.1 Características e classificação dos compósitos.....	38

<b>CAPÍTULO III – MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>43</b>
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS.....	43
3.2 MÉTODOS.....	43
<b>3.2.1 Obtenção dos corpos de prova.....</b>	<b>43</b>
3.2.1.1 Mistura ao ligante.....	43
3.2.1.2 Compactação dos corpos de prova.....	44
3.2.1.3 Sinterização dos corpos de prova.....	46
<b>3.2.2 Caracterização do material.....</b>	<b>48</b>
3.2.2.1 Fluorescência de Raios X.....	48
3.2.2.2 Difração de Raios X.....	48
3.2.2.3 Determinação da área Brunauer-Emmett-Teller.....	48
3.2.2.4 Análise Termogravimétrica (TG).....	49
3.2.2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	49
<b>3.2.3 Determinação das propriedades físicas.....</b>	<b>49</b>
3.2.3.1 Dureza.....	49
3.2.3.2 Compressão Diametral.....	50
3.2.3.3 Análise de Rugosidade.....	50
3.2.3.4 Determinação da Curva de Gresificação.....	51
<b>CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>52</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL.....	52
<b>4.1.1 Análise de Fluorescência.....</b>	<b>52</b>
4.1.2 Análise de difração de Raio x.....	54

4.1.3	Área Brunauer-Emmelt-Teller (BET).....	56
4.1.4	Análise Termogravimétrica (TG).....	57
4.1.5	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	59
4.2	DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS.....	62
4.2.1	Dureza.....	62
4.2.2	Compressão Diametral.....	65
4.2.3	Análise de Rugosidade.....	67
4.2.4	Curva de Gresificação.....	69
	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>71</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>75</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A Indústria das Rochas Ornamentais (RO) tem crescido durante os anos com o aumento principalmente das exportações, no entanto, paralelo a esse crescimento aumenta também a quantidade de rejeitos dessa indústria assim como os problemas ambientais por ela causados. Esses rejeitos, na maioria das vezes ricos em Sílica ( $\text{SiO}_2$ ), Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e Óxido de Cálcio ( $\text{CaO}$ ), são depositados no ambiente em forma de lama aterrando os rios, destruindo a vegetação e a fauna em seus arredores. De acordo com Neves (2002, p.2), os impactos ambientais causados pelas indústrias mineradoras podem ser classificados em três etapas:

Na primeira etapa, o impacto ambiental é originado pela pesquisa mineral, na qual o grande problema deve-se ao desmatamento, causando grandes problemas hidrológicos. Na segunda etapa, o impacto ambiental é oriundo da exploração de lavras, na qual o grande problema deve-se as perdas originárias da confecção dos blocos com dimensões padronizadas, causando elevado volume de resíduos que frequentemente são depositados em locais inadequados. Na terceira etapa, o impacto é devido aos resíduos gerados pelo beneficiamento na forma da polpa abrasiva chamada de "lama", resultante da ação dos teares e que precisam ser descartados, o que tem sido efetuado com grandes agressões ambientais.

Estes dados reforçam o quanto é imprescindível a realização de pesquisas que tornem as ações das Indústrias Mineradoras uma atividade coerente com o desenvolvimento sustentável, ou seja, que permita a maximização dos benefícios da produção minimizando os prejuízos da exploração, reduzindo os impactos no meio ambiente.

Pesquisas anteriores apontaram algumas soluções possíveis para esse problema, envolvendo o reaproveitamento dos resíduos de granito como

substitutos das cerâmicas sintéticas. Os resultados preliminares da sinterização mostraram que os resíduos podem ser utilizados para fins comerciais em diversas atividades industriais como: matéria-prima para fabricação de azulejos, produção de argamassa para alvenaria e ainda como insumo para a produção de guia-fios da indústria têxtil (FELIX, 2001; NEVES, 2002; CORDEIRO, 2004).

Esta última, a Indústria Têxtil, utiliza em abundância uma gama de peças produzidas com matéria-prima cerâmica sintética (material de elevado custo), aproveitando suas características de alta resistência ao desgaste e resistência a temperaturas elevadas (em torno de 800°C). A fiação, que é o primeiro processo da Indústria Têxtil, utiliza peças como guia-fio, conjunto tensionador de fios, funis, entre outros.

Seja na fiação a rotor (Open-End) ou a anel (Convencional), é frequente encontrar o fio (algodão, viscose, poliéster) em contato com peças cerâmicas, porém este trabalho enfoca apenas o funil de saída utilizado no processo a rotor, pois é nele que é construído o fio e principalmente são atribuídas todas as características importantes para um fio de qualidade (uniformidade, pilosidade, e.t.c).

É importante ressaltar o custo elevado dessas peças, oriundas em sua grande maioria da Europa, pois ainda não existem fabricantes nacionais para esse componente, o que contribui com grande parte do custo de fabricação dos produtos têxteis. Diante do exposto, as motivações que impulsionaram este estudo foram: a necessidade de se reaproveitar os resíduos da Indústria do Granito, reduzindo assim os impactos ambientais na região explorada e a grande relevância em dar prosseguimento aos estudos sobre a utilização desses rejeitos como matéria-prima na fabricação de peças utilizadas na Indústria Têxtil. Já existem dados que

favorecem sua aplicação, com a vantagem de ser uma alternativa viável financeiramente, pois seria a pioneira a ser produzida no país.

A hipótese defendida nesse trabalho é que a utilização do rejeito do granito Rosa Iracema, presente em abundância no Estado do Ceará, como matéria-prima para fabricação do funil de saída da fiação a rotor, atenderá as exigências da produção do fio (resistência, dureza e acabamento superficial) reduzindo custo de aquisição da peça e minimizando os prejuízos ambientais causados pelo mesmo.

Atualmente as indústrias exploradoras de Granito e Mármore pagam para dar um destino a esse rejeito o que tornaria mais atrativo o reaproveitamento desse material, tornando o funil com nova composição um produto competitivo no mercado em épocas de grandes preocupações ambientais.

Trata-se de uma pesquisa experimental onde o investigador analisa, constrói suas hipóteses e trabalha manipulando os possíveis fatores que se referem ao fenômeno observado, para avaliar com se dão suas relações preditas pelas hipóteses (KÖCHE, 2001). O resíduo será submetido a compactação uniaxial e após sinterização submeteremos o mesmo a caracterização química e física para posterior comparação a dados tecnológicos da peça produzida comercialmente.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral analisar a potencialidade do rejeito do Granito Rosa Iracema como matéria-prima para fabricação do funil de saída da

fiação a rotor, comparando as propriedades das amostras obtidas com as do funil comercializado.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Determinar a temperatura de sinterização do material que atribua melhores características superficiais e de resistência do funil de saída;
- Analisar composição química das matérias primas e relacionar esta composição com a do material do funil de saída;
- Determinar as propriedades físicas da peça sinterizada, tais como: contração linear e mássica, rugosidade e dureza;
- Determinar o percentual de reforço a ser acrescentado à matriz para obter propriedades mecânicas comparáveis às dos funis comercializados.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 AS ROCHAS ORNAMENTAIS

As Rochas Ornamentais são compostos minerais com grande valor comercial, utilizados principalmente na construção civil, com alto grau de aplicabilidade em revestimentos internos e externos de paredes, pisos, colunas e pilares. Para J.M.S. Moreira et al (2003, p.262):

As pedras naturais ornamentais são produtos que competem com os pisos e revestimentos cerâmicos. Para estas pedras em forma de placas polidas, além da beleza, é necessário algumas características importantes tais como homogeneidade, resistências química e física das pedras e da superfície polida.

Basicamente a Indústria de Rochas Ornamentais se resume a extração de Rochas Graníticas e Mármore (na proporção de 60% e 35% respectivamente) (PEITER; CHIODI FILHO, 2001 *apud* CORDEIRO, 2004).

Para ilustrar a importância da indústria de Rochas Ornamentais, Peiter et al (2001 *apud* Carvalho et al.se, 2004), compara na tabela 1, esta indústria com a de importantes atividades mineradoras na pauta brasileira de produção e exportação, em relação ao seu valor em peso:

**Tabela 01** - Comparativo econômico entre rochas ornamentais e minério de ferro e ouro.

<b>Ferro</b>	<b>Ouro</b>	<b>Rochas Ornamentais</b>
US\$ 22/tonelada	US\$ 93/tonelada	US\$ 185/tonelada

Fonte: CARVALHO, CARISSO, RIBEIRO (2004).

Nesse sentido, destaca-se a importância da classe dos granitos, pois estes são considerados as rochas ornamentais comercialmente mais importantes, visto que, além de possuírem beleza visual, são mais resistentes (inclusive a ataques químicos e desgaste abrasivo), não perdendo o brilho de polimento durante longos anos. (VARGAS et al, 2001 *apud* CARVALHO et al, 2004).

O Granito é uma Rocha Ígnea de grão grosseiro basicamente composto por Quartzo, Feldspato, Micas e Anfíbulas. Para Frascá e Sartori (1998 *apud* Cordeiro, 2004, p. 18), “os granitos são rochas ácidas plutônicas, que formam a maior parte dos batólitos em núcleos de cadeias montanhosas, sendo muito abundantes no Brasil, principalmente nas regiões de escudo (Guianas, Brasil Central e Atlântico)”.

O Quartzo é um dos constituintes do granito mais abundante em sua estrutura (aproximadamente 12% da crosta terrestre) com características bem peculiares. Possui estrutura cristalina trigonal composta por tetraedros de sílica (dióxido de silício,  $\text{SiO}_2$ ), pertencendo ao grupo dos tectossilicatos. É classificado como tendo peso específico 2,65 (dois virgula sessenta e cinco). Polimorfo da sílica sua formação cristalina depende da temperatura e pressão no momento da cristalização. Macroscopicamente, o quartzo é reconhecido como mineral incolor, geralmente translúcido, muito comum nos granitos. (MOREIRA; FREIRE;

HOLANDA, 2003). A figura 01 ilustra a aparência do Quartzo.



**Figura 01** – Aparência do Quartzo. Fonte: Disponível em: <<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a5/QuartzUSGOV.jpg>> Acesso em: 20 abr 2009.

O Feldspato é um mineral do grupo dos tectosilicatos, constituintes de rochas que formam cerca de 60% da crosta terrestre. Cristalizam nos sistemas triclínico ou monoclínico. Os feldspatos (microclina, ortoclase e plagioclasas), são os principais condicionantes do padrão cromático das rochas silicáticas, conferindo as colorações avermelhada, rosada e creme-acinzentada a estas rochas. (MOREIRA; FREIRE; HOLANDA, 2003). A figura 02 mostra a característica visual do Feldspato.



**Figura 02** – Característica visual do Feldspato Disponível em: <Fonte:<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d3/Feldspar%28Microcline%29USGOV.jpg>> Acesso em 20 abr 2009.

O grupo das Micas inclui diversos minerais proximamente relacionados, do grupo dos filossilicatos, que têm a divisão basal altamente perfeita. Todos são cristais monoclinicos, com tendência para pseudo-hexagonal e são similares na composição química. A divisão altamente perfeita, que é a característica mais proeminente da mica, é explicada pela disposição hexagonal de seus átomos ao longo de planos sucessivamente paralelos. (MOREIRA; FREIRE; HOLANDA, 2003). A figura 3 ilustra o componente Mica dos granitos.



**Figura 3** – Ilustração da Mica. Fonte: Disponível em: <<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/50/MicaSheetUSGOV.jpg>> Acesso em 20 abr 2009.

Anfíbola é o nome genérico dado a um extenso grupo mineralógico (conhecido por grupo das anfíbolas), constituído por silicatos complexos de dupla cadeia de  $\text{SiO}_4$ , contendo o hidroxil e catiões metálicos variados. Agrupam-se geralmente em anfíbolas monoclinicas e anfíbolas ortorrômbricas. De cores escuras, com predominância para o verde e o azul, estão presentes em rochas

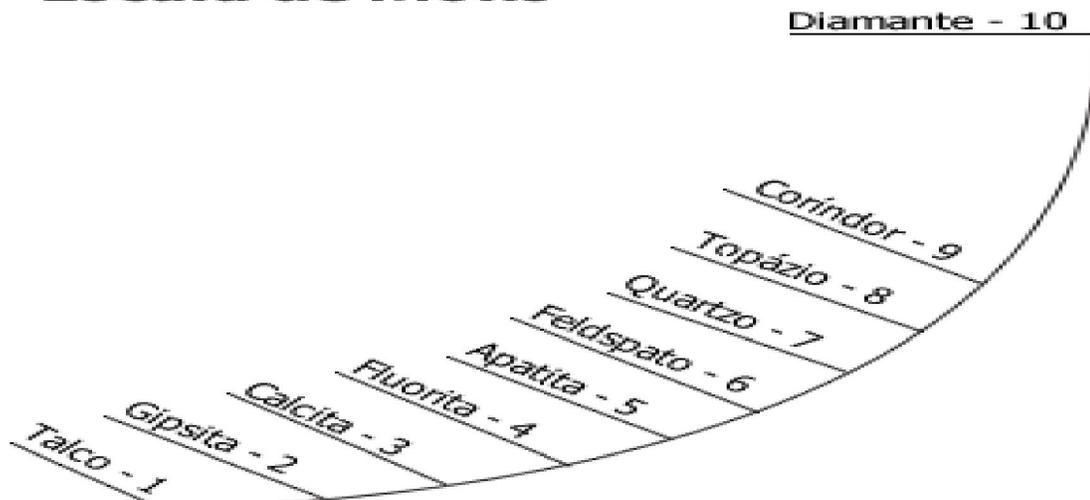
ígneas e metamórficas, sendo contudo mais abundantes nas primeiras. (MOREIRA; FREIRE; HOLANDA, 2003). A figura 4 mostra esse tipo de componente granítico:



**Figura 4** – Foto ilustrativa de Anfíbola Hornblenda. Fonte: Disponível em: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9d/Amphibole.jpg> Acesso em: 20 abr 2009.

Uma importante característica e um dos objetivos desse estudo é a determinação da dureza do material proposto. A escala de Mohs é usada comumente para qualificar os minerais e assim classificar quanto a resistência dos mesmos ao risco. Com valores de 1 a 10, foi atribuído a condição 1 para o mineral menos duro que é o Talco e o valor 10 para o mais duro que é o diamante. A figura 5 classifica os minerais segundo a escala de Mohs.

## Escala de Mohs



**Figura 5** – Escala de Mohs Fonte: Disponível em: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/30/Escala\\_de\\_mohs.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/30/Escala_de_mohs.png) Acesso em 20 abr 2009.

### 2.1.1 Processo produtivo na Indústria das Rochas Ornamentais

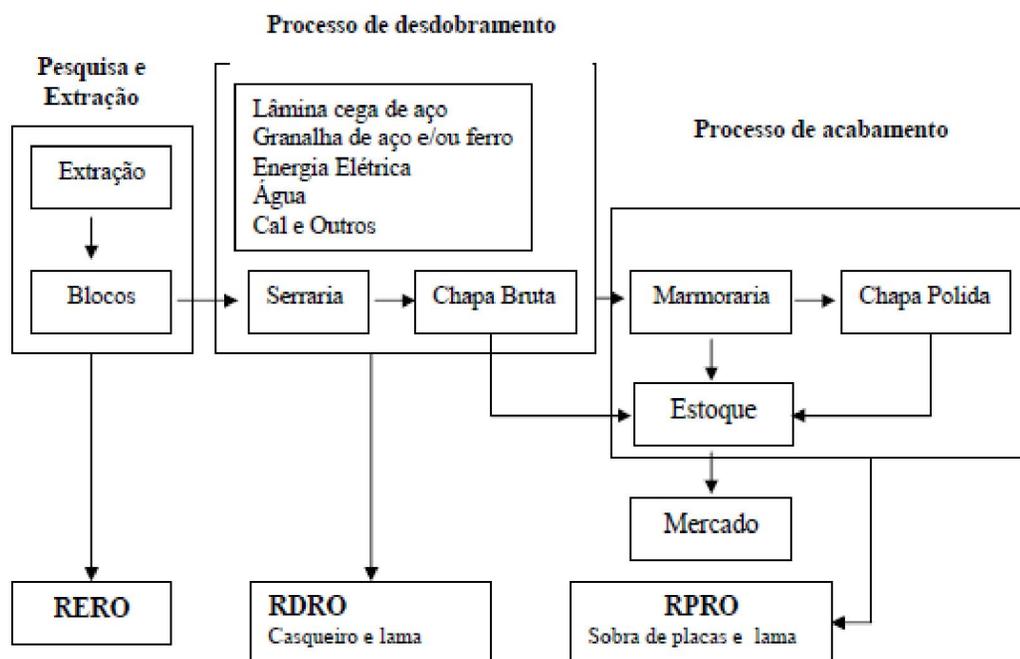
A Indústria de Rochas Ornamentais tem como características a extração e o beneficiamento de rochas como Mármore e Granitos, vastamente utilizados na construção civil com aplicações de revestimento de pisos e paredes assim como esculturas e objetos para o lar como mesas e estantes.

Sua forma de industrialização compreende um fluxograma que se resume basicamente em três etapas: Pesquisa e Extração, Processo de desdobramento e Processo de acabamento. A Pesquisa e extração englobam uma parte importantíssima do processo, pois é onde se caracteriza o tipo de formação Mineral, o processo de exploração e principalmente a forma de recompor o bem natural para compensar (minimizar) os prejuízos causados.

O processo de desdobramento compreende aos processos de serragem e lavagem. Para Gonçalves (2000 *apud* Braga *et al*, 2005):

O processo de serragem inicia-se com a lavagem dos blocos, provenientes da área de extração da rocha ornamental para a retirada de solo que adere ao bloco durante o processo de extração e manuseio para transporte. Após a lavagem dos blocos, estes são fixados com solo-cimento sobre berços e inicia-se a serragem dos blocos através das lâminas dos teares. O processo é realizado com o auxílio de lama abrasiva, com o objetivo de lubrificar e evitar a oxidação e o aquecimento das lâminas, limpar os canais entre chapas e servir como abrasivo para facilitar a serragem.

Finalmente no processo de acabamento ocorre o polimento da chapa bruta, o corte da chapa polida em dimensões padrões, resultando em produto acabado para comercialização. A figura 6 mostra o processo produtivo das Rochas Ornamentais.



**Figura 6** - Fluxograma do processo produtivo de Rochas Ornamentais. Fonte: BRAGA et al (2005).

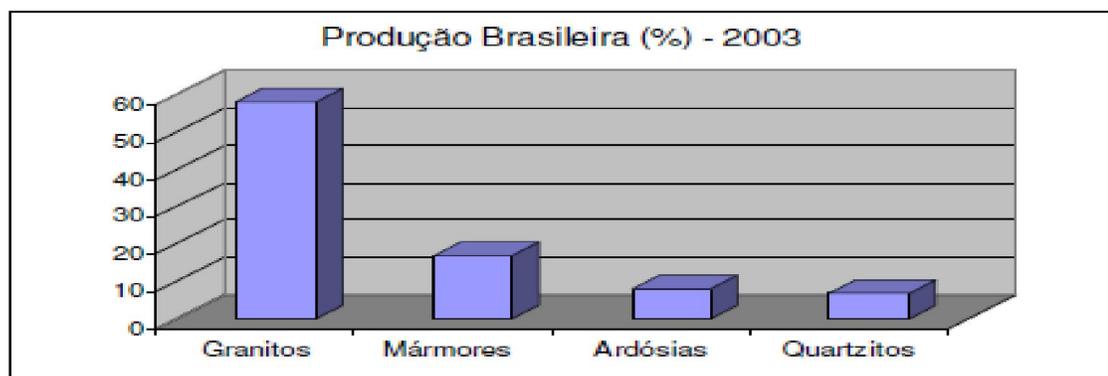
### 2.1.2 Contexto Mundial e Nacional da Indústria de Rochas Ornamentais

A Indústria de Rochas Ornamentais atinge altos níveis de faturamento sendo responsável pela geração de milhares de empregos diretos e indiretos.

A produção mundial de rochas totalizou 67,5 milhões de toneladas em 2002, sendo 58% mármore, 37% granitos e 5% ardósias. A China produziu 14 milhões de toneladas; Itália 8 milhões, Índia 6,5, Espanha 5,35 e Irã 4,25 milhões, os quais constaram como os cinco principais produtores mundiais, colocando o Brasil em 6º lugar com 2,75 milhões de toneladas de rochas comercializadas. (CHIODI FILHO, 2005 *apud* MATTOS, 2005)

O Brasil é dono de uma vasta diversidade geológica que lhe proporciona assim um grande potencial de produção e exportação de rochas ornamentais. De acordo com Mattos (2005), sua produção inclui granitos, ardósias, quartzitos, mármore, travertinos, pedra-sabão, serpentinitos, calcários, conglomerados, gabros, dioritos, basaltos, gnaisses foliados e várias outras rochas.

A produção brasileira de rochas ornamentais e de revestimento foi estimada em 6,0 milhões toneladas no ano de 2003, abrangendo cerca de 600 variedades comerciais derivadas de 1.500 frentes ativas de lavra. As variedades de rochas produzidas no Brasil, bem como seu volume de produção são expostas na Figura 7:



**Gráfico 1** – Principais tipos de Rochas produzidas no Brasil. Fonte: MATTOS (2005).

O gráfico 1 revela a superioridade da produção nacional de granito em relação às outras principais rochas produzidas no Brasil que se somadas ainda não

alcançam o seu volume de produção. Isto faz do granito em especial, uma das indústrias que mais faturam neste ramo.

Conforme estudo feito por Menezes R. R. et al, (2002):

A indústria da mineração e beneficiamento de granitos é uma das mais promissoras áreas de negócio do setor mineral, apresentando um crescimento médio da produção mundial estimado em 6% ao ano, nos últimos anos. Com movimentação de US\$ 6 bilhões/ano, no mercado internacional e cerca de US\$ 13 bilhões na cadeia produtiva dos países produtores.

O Ceará destaca-se como um dos líderes na extração e produção no Nordeste, visto que o estado é detentor de uma ampla diversidade mineralógica que justifica a posição de status. De acordo com Mattos (2005) a produção cearense de rochas em 2002 foi de 250.000 toneladas, correspondendo a 4,2% da produção brasileira e 28% da produção do Nordeste. Deste total 76% corresponde aos granitos e 24% aos calcários (Pedra Cariri).

Conforme dados do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM/CE), mensalmente a produção gira em torno de 4500 m<sup>3</sup>, com destaque para a produção do Granito Branco Ceará e a Pedra Cariri (Calcário Laminado), levando assim o estado ao segundo lugar no cenário Nordestino perdendo apenas para a Bahia e seguido de perto pela Paraíba. (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL/CE, 2004 *apud* MATTOS, 2005).

As principais jazidas de granito e rochas afins do estado do Ceará partem de diversas regiões do estado mostrando o potencial do estado para essa prática e foram relacionadas por Roberto (1998 *apud* Cordeiro, 2004) de acordo com tabela 2:

**Tabela 2** - Principais jazidas de Granito no Estado do Ceará

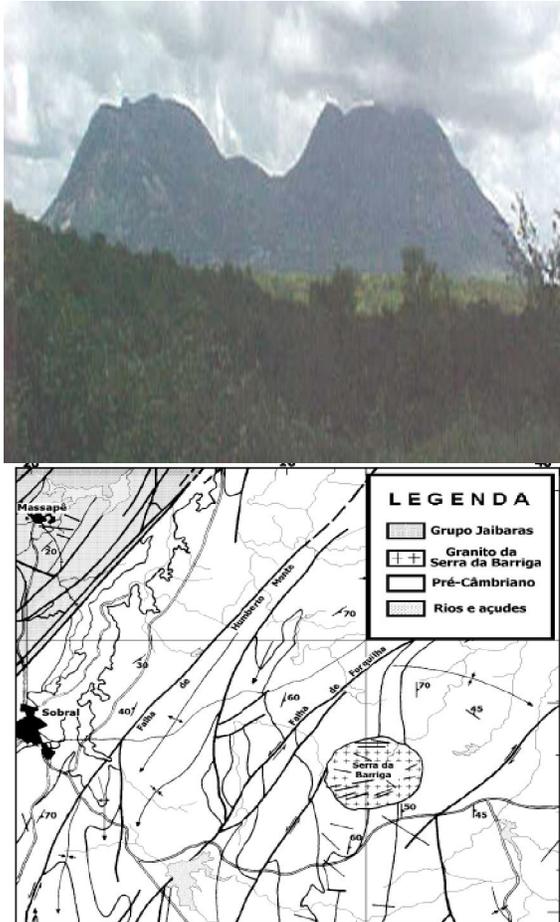
<b>Município</b>	<b>Denominação do Granito</b>	<b>Município</b>	<b>Denominação do Granito</b>
Alcântara	Vermelho Filomena	Cariré	Cinza Prata
Meruoca	Amêndoa Barroco Creme Meruoca	Itapipoca	Charnockito Verde Amazonas Cinza Granada
Massapé	Amarelo Massapé Meruoca Clássico Verde Meruoca Verde Ventura	Aracoiaba	Dioritos Preto Aracoiaba Preto Redenção Juparaná Brasil
Miraíma	Juceará	Sobral	Migmatito Aurora Tropical Red Symphony Yellow Symphony Róseo Taperuaba
Santa Quitéria	Asa Branca Rosa Olinda Amaraleo Jurujuba Rosa Santa Quitéria	Marco	Milonito Verde Pantanal Preto Pantanal
Forquilha	Rosa Iracema Thiú Imperial	Tamboril	Vermelho Fuji Brown Paradise
Irauçuba	Rosa Missi Amêndoa Missi Coral / Icarai Amarelo Santa Angélica Branco Santa Rosa Róseo Manuel Dias Migmatito Juparaná Delicato	Nova Russas	Cinza Nova Russas
Iracema	Pink Iracema	Itapiúna	Gnaisse Preto Itapiúna
Itapajé	Clássico Dunas	Boa Viagem	Branco Tropical
São Luis do Curú	Branco Vizon	Pedra Branca	Casa Blanca
Itaitinga	Cinza Ouro Velho	Granja	Migmatito Kinawa Rosa
Amontada	Migmatito Kinawa Gold	Crato/ Juazeiro	Vermelho Cariri
Caridade	Verde Cactus	Umari	Vermelho Umari
Eusébio	Fonolito Cararu		

Fonte: ROBERTO (1998 )apud Cordeiro, (2004).

## 2.2 GRANITO ROSA IRACEMA

O Granito estudado provém de uma jazida de aproximadamente 8 km de diâmetro, situada na Serra do Barriga no município de Forquilha, porção noroeste do estado do Ceará, microrregião de Sobral, ficando a 220 km de Fortaleza. A

figura 8 Mostra uma visão panorâmica da serra do Barriga e sua localização no contexto geológico.



**Figura 7** - Fotografia panorâmica da Serra do Barriga e o esboço geológico. Fonte: MATTOS (2005).

Essa região apresenta uma variedade de formas graníticas descritas por Mattos (2005), tais como: Rosa Iracema – sienogranito inequigranular grosso de coloração rosa; Rosa Olinda - monzogranito porfirítico de coloração rosa acinzentada; Branco Savana - sienogranito inequigranular médio a grosso de coloração branca; e Branco Cristal Quartzo - sienogranito inequigranular grosso de

coloração branca. A utilização destes tipos graníticos como rocha ornamental é amplamente reconhecida pela indústria local e nacional.

O Rosa Iracema corresponde a um granito grosseiro de textura porfirica e pegmatóide, branco, cinza claro e avermelhado conforme figura 9.



**Figura 8** – Fotografia do Granito Polido Rosa Iracema. Fonte: IMARF GRANITOS E MINERAÇÃO S/A.

No entanto os estudos revelam as conseqüências desastrosas deste lucrativo negócio para o meio ambiente e destaca uma preocupação com os rejeitos dessa Indústria, pois Menezes R.R. et al, (2002) informam que esse setor industrial gera elevada quantidade de rejeitos na forma de uma lama com elevados teores de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{CaO}$ , que podem provocar grandes agressões ambientais, se não adequadamente descartados. A figura 10 ilustra um dos prejuízos que o rejeito da indústria de exploração de granito pode causar à natureza.



**Figura 9** - Rio dos Monos com as suas margens assoreadas pelo descarte de rejeito. Fonte: MOTHE FILHO, POILIVANOV, MOTHE (2005).

O Nordeste brasileiro, por exemplo, é uma região onde se concentra grande quantidade de indústrias de beneficiamento, sendo responsáveis pela liberação de centenas de toneladas deste resíduo por ano no meio ambiente.

Este quadro de descaso é agravado ainda mais, pelos indicativos de crescimento da produção, em vista de um cenário ainda mais perigoso e danoso ao meio ambiente e à saúde da população. Essa preocupação gerou a motivação para tomadas de ações mais concretas, como a elaboração e aperfeiçoamento de leis:

Assim novas leis são elaboradas e aperfeiçoadas, como o Projeto de Lei 121/2003 que “Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, seus princípios, objetivos e instrumentos, e estabelece diretrizes e normas de ordem pública e interesse social para o gerenciamento dos diferentes tipos de resíduos sólidos”. (MOTHE FILHO *et al*, 2005)

A utilização destes rejeitos para a obtenção de um produto apresenta, dentre outras, a vantagem de diminuir a quantidade deste produto a ser descartado na natureza. A Tabela 3 apresenta os impactos gerados pelas Indústrias de RO.

**Tabela 3** – Impactos gerados pelas Indústrias de Rochas Ornamentais.

<b>(1) PESQUISA MINERAL</b>	
TIPO	CAUSA DO IMPACTO
Sondagem rotativa ou percussão.	Arraste de partículas por águas pluviais.
Sondagem e amostragem de grandes volumes.	Revolvimento e turbilhonamento de áreas alagadas e leitos de cursos d'água.
<b>(2) LAVRA (EXPLORAÇÃO)</b>	
TIPO	CAUSA DO IMPACTO
A céu aberto, em bancadas.	Arraste de partículas finas, das áreas decapadas, por águas pluviais.
Desmonte Hidráulico.	Aporte de partículas por arraste pluvial e lançamento de resíduos sob forma de polpa provocando assoreamento.
<b>(3) BENEFICIAMENTO</b>	
TIPO	CAUSA DO IMPACTO
Serragem de blocos.	Lançamento de rejeitos sob forma de polpa em tanques de deposição ou nos cursos d'água, com cal e granalha de aço incorporados.
Polimento e corte.	Lançamento de rejeitos sob forma de polpa, em tanques de deposição ou nos d'água, podendo conter insumos químicos incorporados.

Fonte: SILVA (1998) *apud* NEVES (2002)

Para uma melhor avaliação e classificação do rejeito e principal constituinte do nosso estudo, Tressoldi e Consoni (1998 *apud* Cordeiro 2004), propõe uma classificação baseada em três características importantes.

**Tabela 4** – Classificação dos resíduos quanto à periculosidade.

CATEGORIA	CARACTERÍSTICAS
Classe I (Perigosos)	Apresentam risco a saúde pública ou ao meio ambiente, caracterizando-se por ter uma ou mais das seguintes propriedades: Inflamabilidade corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.
Classe II (Não-Inertes)	Podem ter propriedades como inflamabilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, porém não se enquadram como resíduo I ou III.
Classe III (Inertes)	Não tem constituinte algum solubilizado, em concentração superior ao padrão de potabilidade da água.

Fonte: CORDEIRO (2004).

Em estudos realizados por Gonçalves (2000 *apud* Braga, 2005), através de ensaios de lixiviação (NBR10005/87) e solubilização (NBR 10006/87), o resíduo foi classificado como Classe II – Não inerte, por apresentar concentrações de fluoreto

no solubilizado de 3,2mg/l, superior ao limite máximo de 1,5 mg/l estabelecido pela NBR 10004/87.

Comprovadamente a indústria de extração e beneficiamento tem grande responsabilidade sobre os impactos causados por essas atividades, visto que, Menezes R.R. et al (2002) nos descreve que a lama da serragem enquanto fluída afoga plantas e animais e deprecia o solo, quando seca, sua poeira inspirada é danosa à saúde de homens e animais. Sendo comprovada a poluição de cursos d' água e mananciais por parte dos resíduos da indústria do granito.

Para Peyneau (2004), a lama que banha o bloco durante todo o processo de corte é abrasiva composta de granalha de aço, cal e água. Durante a serragem ela retorna ao poço e fica mantida em circulação até o término da serrada. Periodicamente é feita a análise e controle da mistura pelo equipamento analisador de mistura. Quando a mistura está fora do padrão em função do excesso do pó de pedra e do desgaste da granalha, parte da mistura é lançada a um outro reservatório (poço de expurgo, localizado próximo aos teares) e finalmente expurgada em lugares nem sempre designados por órgãos responsáveis pelo meio ambiente.

Na Serra da Meruoca (região de Sobral, Ceará) existem cerca de 10 jazidas de extração, com produção que varia de 200 a 1.000 m<sup>3</sup>/mês. Cerca de 70% dessa produção são considerados rejeitos de granito de diferentes tamanhos, desde blocos chegando até a granulometria de pó. Os resíduos, com as mais variadas dimensões, são depositados em montanhas sem nenhuma finalidade definida. Alguns desses rejeitos são depositados clandestinamente indo parar nas lagoas e drenagens, obstruindo canais, córregos, e até mesmo rios. (NOGUEIRA et al, 2006).

## 2.3 INDÚSTRIA TÊXTIL

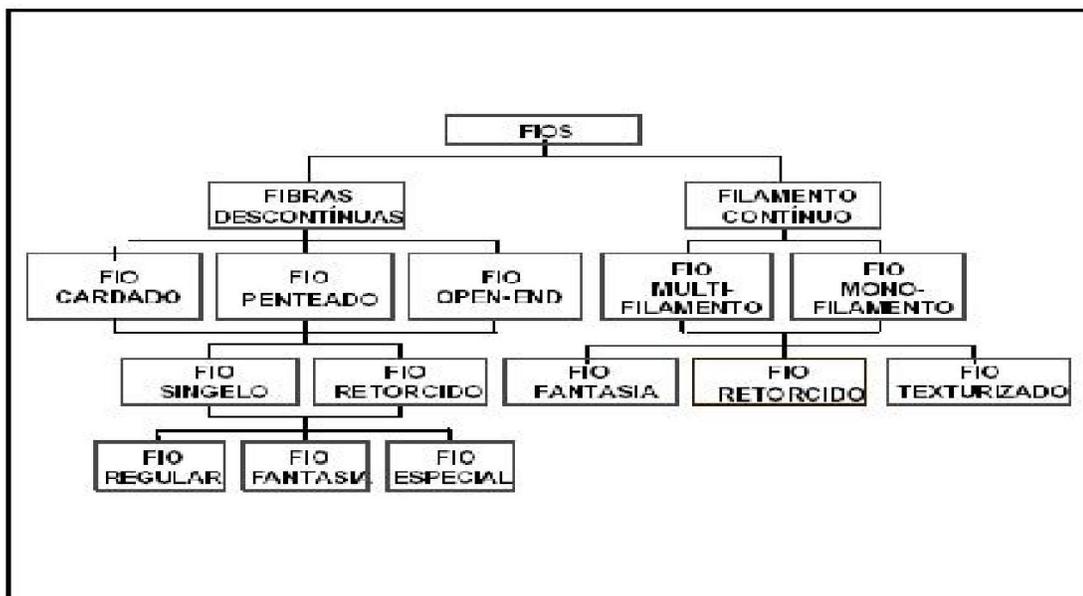
Durante décadas a Indústria Têxtil foi considerada uma das maiores responsáveis pela sustentabilidade e geração de emprego e renda no estado do Ceará. O Nordeste, por ser grande produtor de algodão do País, abriga atualmente importantes empresas do ramo Têxtil e divide com o Sudeste e Centro-oeste a liderança nesse setor no país.

A Indústria têxtil tem como objetivo a transformação de fibras em fios, de fios em tecidos e de tecidos em peças de vestuário, têxteis domésticos (roupa de cama e mesa) ou em artigos para aplicações técnicas (geotêxteis, airbags, cintos de segurança etc). As Industrias têxteis tem seu processo produtivo muito diversificado, ou seja, algumas podem possuir todas as etapas do processo têxtil (fiação, tecelagem e beneficiamento) outras podem ter apenas um dos processos (somente fiação, somente tecelagem, somente beneficiamento ou somente fiação e tecelagem etc)

A Fiação pode ser definida como uma seção de operações que transforma uma massa de fibras têxteis inicialmente desordenadas (flocos) em um conjunto de grande comprimento, a qual em sua seção possui algumas dezenas de fibras mais ou menos orientadas e presas a si mediante uma torção. As fibras têxteis podem ser de origem natural, química ou mineral. Podemos distinguir dois tipos de fiação quanto ao tipo de fibra: a fiação de fibra descontínua (lã, algodão, viscose, poliéster, linho etc.) e a produção de fios contínuos por extrusão (poliéster, viscose, poliamida, elastano, polipropileno etc).

Os fatores da fibra decisivos para a qualidade do fio são: comprimento/espessura das fibras e o estado de limpeza das mesmas. Para o algodão é necessário retirar restos de folhas e matéria vegetal.

O elo da cadeia têxtil representado pela fiação é composto por vários processos de fabricação que variam em função da matéria-prima utilizada e aplicação final do fio (Figura 10). A produção de filamento contínuo apesar de envolver uma alta tecnologia possui poucas máquinas, pois o fio é formado na primeira etapa do processo.



**FIGURA 10** – Classificação geral dos fios. Fonte: ROMANO (2003).

A grande complexidade está no processo de fibras descontínuas para formar o fio fiado, que pode trabalhar com máquinas para fibras curtas ou fibras longas, sendo que a seqüência de máquinas para ambas é bem maior que o processo de filamento contínuo, já que para produzir o fio fiado é necessário abrir, limpar, afinar e torcer a massa de fibras, precisando para isto de uma grande seqüência de máquinas, pois de acordo com Romano (2003):

Um fardo de algodão possui bilhões de fibras enquanto um fio possui aproximadamente 100 fibras na sua seção transversal. Para cada processo existem várias máquinas distintas, que produzem fios com características específicas seja para vestuário, decoração ou tecidos técnicos.

O Brasil tem se destacado como um dos principais produtores mundiais, como destaca Gorini e Siqueira (1997):

O Brasil foi o quinto maior produtor mundial de fios em 1995, incluindo fios de algodão - que respondem por mais de 70% da produção nacional de fios - e sintéticos, produção destinada quase integralmente ao consumo doméstico. A produção brasileira é inferior ao volume produzido na China, maior produtor mundial, com cerca de 5 milhões de toneladas, nos Estados Unidos, com 3,6 milhões de toneladas, na Índia, com 2,3 milhões de toneladas, e no Paquistão, com 1,4 milhão de toneladas. Com relação à produção de fios de algodão, o Brasil também foi quinto lugar, porém com uma participação maior, 7%.

Apesar de ser um dos destaques mundiais no setor, o Brasil importa praticamente toda tecnologia empregada em seus processos têxteis. Tecnicamente, a fiação foi o segmento da cadeia têxtil que mais avanços incorporou, registrando elevado incremento no grau de automação e na produtividade, passando a caracterizar-se como indústria de capital intensiva.

As novas práticas conferem, inclusive, maior resistência ao fio, cabendo destacar o desenvolvimento da fiação a rotor (*open-end*) e, mais recentemente, o *jet-spinner* - filatório a jato de ar – ainda pouco difundido no Brasil. (GORINI & SIQUEIRA, 1997)

Tanto em relação à fiação do algodão quanto às fibras químicas cortadas, a capacidade de produção de uma fiação é especialmente determinada pelos filatórios, que para Gorini e Siqueira (1997), podem ser classificados em três tipos básicos, diferenciando-se principalmente em relação à velocidade de produção, aos níveis de automação alcançados e à qualidade/espessura do fio produzido:

1. Filatórios de anéis: utilizam o princípio tradicional de estiramento do pavio de algodão conjugado com uma torção no fio. Este sistema é extremamente versátil, uma vez que pode produzir fios de todos os títulos (espessura), tendo incorporado

avanços técnicos ao longo do tempo. Um filatório moderno com produção na faixa de 20g-30g/fuso/hora (fio título 30 Ne) - chega a produzir cerca de 30% a mais que os filatórios a anel mais antigos.

2. Filatórios de rotores: conhecidos como *open-end*, são equipamentos que apresentam maior produtividade que a fiação por anéis, já que podem alcançar maior velocidade de produção, além de eliminarem etapas da a fiação tradicional.

Sua aplicação, contudo, limita-se à produção de fios mais grossos, sendo muito utilizados segundo as autoras, na produção de *jeans* (título médio em torno de 8-12 Ne, variando de acordo com o tipo de tecido que será confeccionado).

No mesmo estudo, Gorini e Siqueira (1997), informam que “os filatórios mais modernos já produzem fios mais finos, por exemplo, uma máquina *open-end* de última geração tem produção em torno de 80g/rotor/hora (fio título 30 Ne), entre três e quatro vezes superior à produção do filatório a anel, já mencionada”.

3. Filatórios *jet-spinner* - apresentam alta produtividade em relação aos demais, podendo ser utilizados para a produção de fios finos. Esta tecnologia é de desenvolvimento recente em nível mundial, sendo ainda pouco difundida no Brasil.

O processo de fiação "open-end" elimina algumas fases do processamento industrial, como as da maçarqueira e da conicaleira, ambas utilizadas no sistema convencional de filatórios a anéis. Kondo et al, (1984) nos informa que:

Tal processo lança mão de rotores que giram a altas velocidades, provocando o retorcimento das fibras individualizadas, para dar formação ao fio. A produção de uma unidade "open-end" é três a quatro vezes maior do que a de uma unidade do filatório convencional mais desenvolvido.

No mencionado sistema, a fita da matéria-prima vinda dos passadores, alimenta um Cilindro Desagregador e Limpador, que a desfaz. As fibras oriundas dessa fita desfeita seguem por um canal, puxada por uma corrente de ar, indo cair

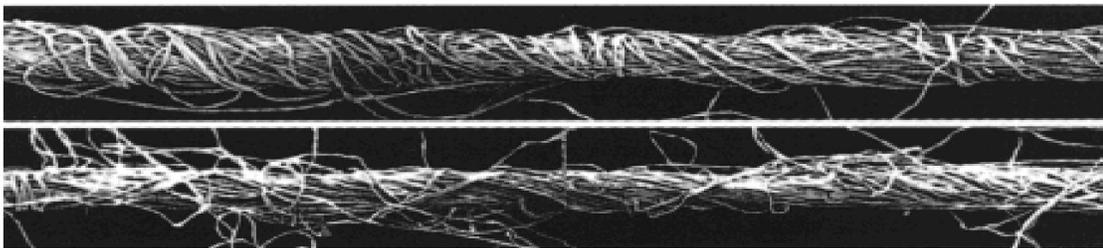
dentro de uma Turbina ou Rotor, onde tornam a juntar-se, ali recebendo uma torção que dá origem ao fio. Os poucos resíduos que se formam passam por uma abertura própria, indo cair numa esteira transportadora de resíduos. O fio formado é, em seguida, retirado por um par de Cilindros, indo formar uma bobina, um cone ou um queijo.

De acordo com Ribeiro (1984), as principais características, comparadas àquelas apresentadas pelos fios fiados através do sistema de filatório a Anéis são:

- O fio consiste de um miolo e de uma camada estrutural exterior de fibra;
- A resistência do fio é cerca de 20% menor que a do fio fiado pelo sistema de Filatórios de Anéis;
- A capacidade de alongamento do fio Open-End é maior;
- O fio Open-End é mais uniforme e apresenta-se com melhor aparência;
- O fio Open-End é mais limpo;

O fio Open-End apresenta qualidades superiores de absorção de corantes.

A conformação da torção é diferente (Ver figura 12).



**Figura 11** – Fotografia superior ( Fio fiado pelo sistema Open-End). Fotografia inferior (Fio fiado pelo sistema de fiação a Anel). Fonte: RIBEIRO (1984).

### 2.3.1 Funis de Saída

Diversos processos numa indústria de fiação utilizam-se de peças cerâmicas justamente para aproveitar suas características de resistência ao desgaste e aparência vítrea (superfície polida). Seja na fiação a rotor (Open-End) ou a anel (Convencional), é freqüente encontrarmos o fio em contato com peças desse material, porém o objeto de estudo será apenas ao funil de saída utilizado no processo a rotor, pois é nele que é construído o fio e principalmente atribuídas todas as características importantes para um produto de qualidade (uniformidade, pilosidade, torção).

Nenhum outro elemento influencia de forma tão intensiva as propriedades de um fio como o funil de saída. Com a sua forma e estruturação da superfície, ele é, além do rotor, determinante para a qualidade do fio e responsável pela estabilidade de fiação. (SCHLAFHORST, 2004).

Os primeiros funis eram de aço níquelado, um material muito cuidadoso com a fibra, mas com um desgaste demasiadamente intensivo. Através do tratamento com boro foi possível obter um material mais duro e, deste modo, uma vida útil mais prolongada. No entanto, o comportamento de fiação destes funis piorava ao longo do tempo de duração da sua utilização, uma vez que a aspereza da superfície era reduzida devido ao “efeito abrasivo” do fio. Por este motivo, foi utilizado nos funis metálicos cromo em vez de níquel para obter um coeficiente de atrito constante ao longo de toda a duração da utilização dos funis de saída. Em 1986 foram desenvolvidos os primeiros funis feitos com cerâmicas com a finalidade de eliminar as marcas de desgaste em um espaço curto de tempo, melhorando a performance da produção e a qualidade do produto. (SCHLAFHORST, 2004).

Com o filatório Open-End em funcionamento, o Rotor trabalha com parte do fio em seu interior com um número de rotações até 150.000 rpm. As forças

centrífugas produzidas pelas altas velocidades pressionam as fibras para o interior da ranhura do rotor, onde cada uma das fibras é torcida através da rotação do rotor, formando assim o fio. O fio é retirado do rotor através do funil de saída e desviado em 90° durante este processo. Parte do fio é girado em torno do centro (aqui o funil de saída) através da rotação do rotor e é aplicada rotação ao fio, sendo comparável a uma manivela cujo eixo é o funil de saída. (SCHLAFHORST, 2004).

A figura 12 mostra um funil de saída e o processo de formação do fio a rotor respectivamente.



**Figura 12** - à esquerda foto do funil de saída KN4 da Belcoro; à direita. Ilustração do processo de formação do fio na fiação a rotor. Fonte: (SCHLAFHORST, 2004)

A superfície do funil de saída oferece, devido à estrutura em espiral, uma superfície de contato muito reduzida ao fio. Conseqüentemente, a estrutura do fio é lisa, tem uma superfície fechada e uma maior tendência à formação de enlaces. (SCHLAFHORST, 2004).

A aparência do fio é parte determinante na qualidade assim como a sua uniformidade e quantificação de pilosidade. “Todas essas características podem ser medidas através de um equipamento chamado Uster Quantum, disponível em indústrias no Ceará”. (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2003)

## 2.4 COMPÓSITOS

### 2.4.1 Características e Classificação dos compósitos

Uma grande quantidade de aplicações no campo da engenharia é satisfeita por características próprias do material utilizado. Entretanto o desenvolvimento de novas tecnologias e a extrema necessidade de materiais mais sofisticados para atender determinadas exigências de aplicação levou ao desenvolvimento de uma classe especial de materiais: os compósitos.

Para Callister (2006), um material compósito é qualquer material multifásico que exibe uma significativa proporção de propriedades de ambas as fases constituintes de tal maneira que uma melhor combinação de propriedades é realizada. De acordo com este princípio de ação combinada, melhores combinações de propriedades são melhores amoldadas pela judiciosa combinação de 2 ou mais distintos materiais.

Existem compósitos encontrados na natureza como a madeira (Fibras de celulose revertidas por lignina) e o osso (Composto por uma combinação de colágeno e apatita), porém um compósito, no presente contexto, é um material multifásico que é artificialmente fabricado, em oposição a um que ocorre ou se forma naturalmente. Em adição, as fases constituintes devem ser quimicamente dissimilares e separadas por uma distinta interface. (CALLISTER, 2006)

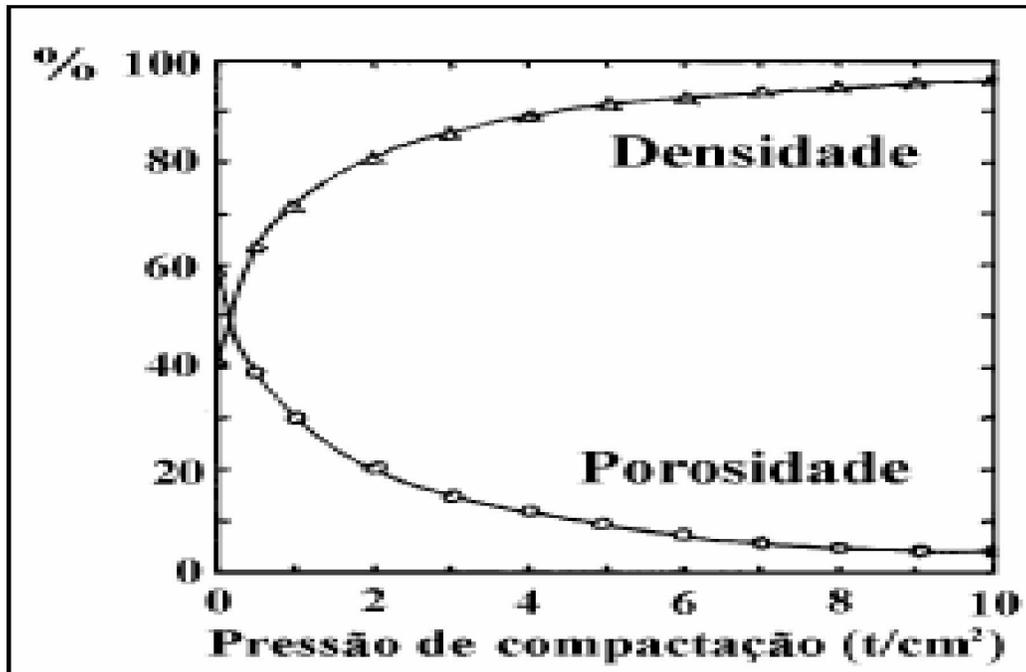
Segundo Cazotti et al (2006) um material compósito pode ser definido como uma combinação de materiais com propriedades dissimilares, com o objetivo de se obter propriedades particulares e superiores às dos componentes isolados.

Muitos materiais compósitos são compostos por apenas duas fases: uma é chamada de matriz, que é contínua e envolve a outra fase, chamada

freqüentemente de fase dispersa. As propriedades dos compósitos são funções das propriedades das fases constituintes, das suas quantidades relativas e da geometria da fase dispersa.

Existem várias formas de se produzir peças de materiais compósitos, porém a compactação uniaxial é a mais simples e nos proporciona resultados mais previsíveis através do controle de carga e forma do molde. A rota de processo que inclui a sinterização de pós pré-compactados a frio (*press and sintering*) é, dentre as várias técnicas da metalurgia do pó, a que traz melhor relação custo / benefício. (FERREIRA, 2002).

Cazotti et al (2006), descreve a compactação como sendo a moldagem de um material em forma de pó em um molde e sob aplicação de uma pressão de compressão. Por meio da aplicação de pressão às partículas do pó, estas se deformam, aumentando o contato entre elas e preenchendo vazios, propiciando deformação por cisalhamento entre duas superfícies. A aplicação de pressão sobre as partículas resulta em aumento da área de contato e da adesão entre elas, seu encruamento e redução da porosidade do material. A Figura 14 nos mostra uma relação entre a porosidade e a densidade relativa de pós compactados com a pressão de compactação.



**Figura 13** – Porosidade e a densidade relativa de pós compactados com a pressão de compactação. Fonte: CAZOTTI, OLIVEIRA, FOGAGNOLO (2006).

Compósitos com reforço de partículas cerâmicas são chamados de compósitos particulados e sua vantagem é a obtenção de propriedades isotrópicas, sendo adequados para aplicações onde o carregamento é tridimensional (MENDONÇA; PIRATELLI-FILHO; LEVY-NETO, 2003).

Panelli e Ambrózio Filho (1998 apud Cazotti; Oliveira; Fogagnolo, 2006), propuseram uma relação entre como a densidade relativa, volume relativo ou porosidade com a pressão aplicada ao material em pó. A equação abaixo nos mostra essa relação:

$$\ln\left(\frac{1}{1-D}\right) = AP^{1/2} + B \quad \text{Equação 1}$$

onde,  $D$  é a densidade relativa,  $P$  é a pressão aplicada,  $A$  e  $B$  são os coeficientes angulares e lineares, respectivamente, da reta obtida quando se plota  $\ln(1/(1-D))$  em função de  $P$ .

Existem algumas propriedades que relacionam as características dos compósitos as de seus constituintes (Matriz e Reforço)- A Lei das Misturas está baseada no princípio da Aditividade, que estabelece que as propriedades do compósito serão intermediárias entre as propriedades dos componentes constituintes, segundo Casaril (2004) et al:

$$P_c = P_f v_f + P_m v_m$$

Onde  $P_c$  representa a propriedade mecânica em questão do compósito, da mesma forma que  $P_f$  representa a propriedade mecânica em questão da fibra,  $P_m$  é a propriedade mecânica em questão da matriz e  $P_p$  é a propriedade em questão da fase partícula,  $v_f$ ,  $v_m$  e  $v_p$  são as frações volumétricas das fases fibra, matriz e partícula, respectivamente.

Para determinação de uma temperatura adequada de sinterização faz-se necessária a visualização de um diagrama de fase para a mistura. A determinação dessa temperatura é importantíssima para um material mais compacto e assim mais reforçado mecanicamente, tendo em vista as diferenças entre os pontos de fusão dos componentes. A figura 14 ilustra o diagrama de fases da mistura  $Al_2O_3$  e  $SiO_2$ , o que nos dará uma idéia de cada fase presente determinada pela composição percentual e temperatura atingidas.

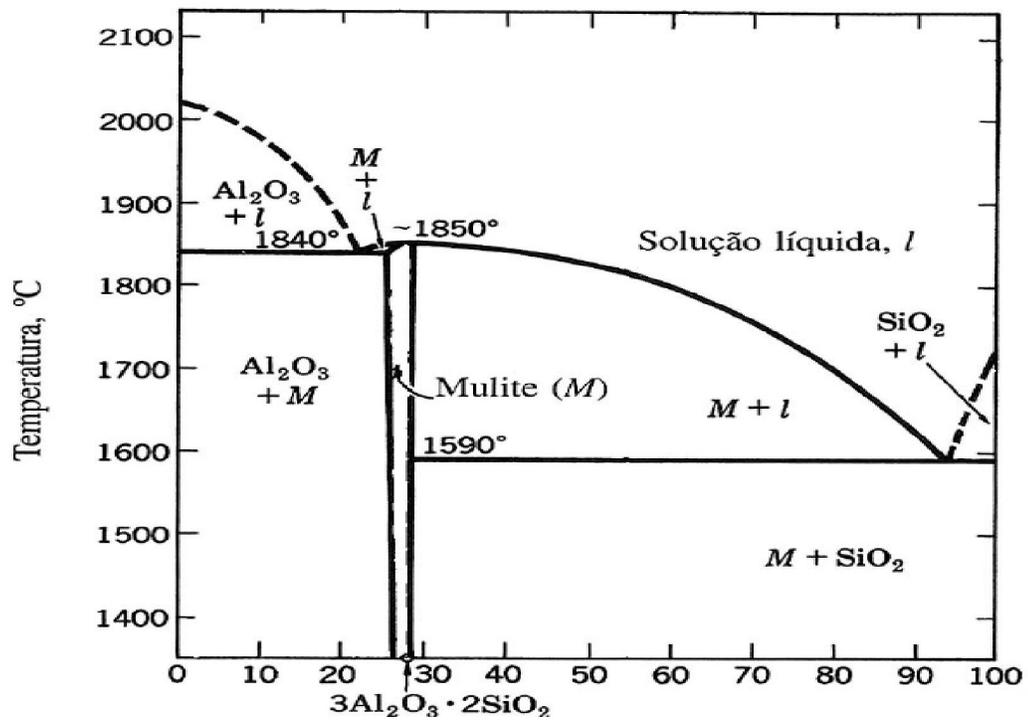


Figura 14 – Diagrama de fase da mistura  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{SiO}_2$

## **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1 MATERIAIS UTILIZADOS**

O material que serviu de base para esse estudo é proveniente da serragem de blocos de granito, uma das etapas do processo produtivo na indústria de Rochas Ornamentais. O pó do granito foi extraído de uma pedreira localizada na serra do Barriga, Ceará, conhecido comercialmente como Granito Rosa Iracema.

Buscando uma melhoria nas propriedades do material, utilizamos como reforço a alumina RC HTP DBM da fabricante Reynolds. Esse material tem granulometria submicrométrica.

Além do material proposto acima utilizamos dois funis comercializados e utilizados na Têxtil Bezerra de Menezes, indústria localizada em Fortaleza, capital do Ceará. Os funis são do tipo KN4 e KS K4-A, da Schlafhorst e foram utilizados como referência para comparação de resultados.

### **3.2 MÉTODOS**

#### **3.2.1 Obtenção dos corpos de prova**

##### **3.2.1.1 Mistura ao Ligante para prensagem uniaxial**

O ligante é um fluido usado, geralmente, para homogeneizar o pó cerâmico. O ligante tem uma grande influência no empacotamento das partículas, na aglomeração e na mistura, concedendo características ideais a mistura para que a mesma seja prensada e levada à sinterização.

Neste trabalho foi utilizado como ligante a água na seguinte proporção: 10 mL de água para cada 60g de mistura Granito - Alumina . Após a adição do ligante, a pasta foi misturada manualmente até que se adquira uma homogeneização, procurando obter um compósito livre de aglomerados.

Essa proporção foi obtida experimentalmente com o objetivo de facilitar a moldagem sem que o material escoasse pelas paredes do molde.

### 3.2.1.2 Compactação dos corpos de prova

Após a adição do ligante, foram preparados pequenos corpos-de-prova por prensagem uniaxial utilizando um molde cilíndrico de 15 mm de diâmetro para obter as pastilhas, conforme a figura 15.



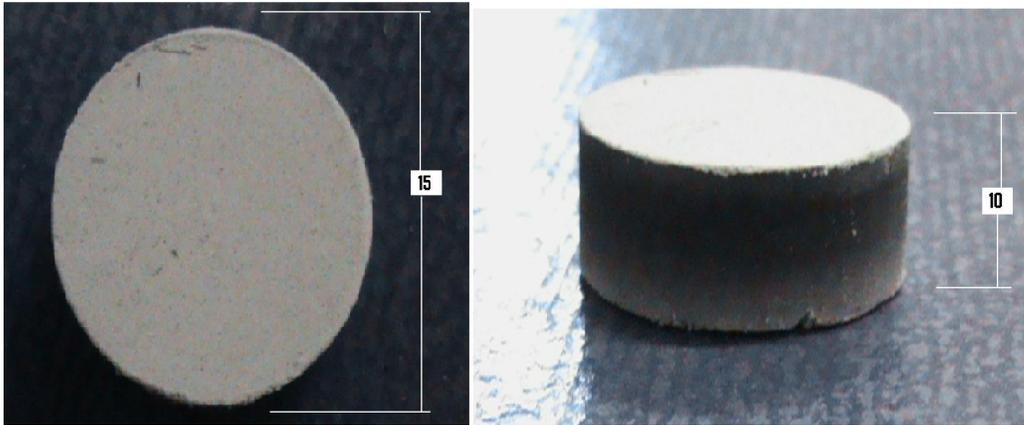
**Figura 15** - Molde Cilíndrico para obter amostras.

A carga foi exercida por meio de uma prensa manual com capacidade máxima de até 15 toneladas. A carga utilizada foi de, aproximadamente, 6 toneladas o que nos dá uma pressão de aproximadamente 2994 kgf/cm<sup>2</sup>. Foram compactados pastilhas de diferentes proporções de matriz e reforço conforme tabela 5.

**Tabela 5** – Composição em peso das pastilhas compactadas.

<b>Mistura</b>	<b>Granito (%p)</b>	<b>Alumina (%p)</b>	<b>Quantidade de Amostras</b>
1	100	0	4
2	95	5	4
3	90	10	4
4	80	20	4
5	70	30	6
6	60	40	6
7	50	50	4
8	40	60	4
9	30	70	4
10	20	80	4
11	10	90	4

As amostras compactadas foram prensadas em forma de cilindros com altura média de 10mm. O pó do rejeito granítico já moído e peneirado apresenta granulometria média de 45 µm enquanto o pó da alumina possui granulometria média de 0,7µm. Devido ao tamanho médio da alumina ser submicrométrico, as composições acima de 60% em 'p de alumina foram compactadas com dificuldade, pois o molde utilizado possui folgas superiores a esse valor. A Figura 16 apresenta algumas peças moldadas por compressão uniaxial.



**Figura 16** - Peças compactadas a verde (escala em milímetros).

### 3.2.1.3 Sinterização dos corpos de prova

O que se deseja é conseguir uma estrutura densa num ciclo ótimo de sinterização. Várias técnicas podem aumentar a capacidade de sinterização satisfatória dos pós trabalhados. Esses mecanismos são classificados ou pelos seus parâmetros como reações, pressão de compactação, líquidos aditivos, controle de microestruturas, ou por aditivos de sinterização. Uma combinação desses fatores é aplicada para se obter a máxima densificação.

A sinterização foi realizada primeiramente às temperaturas de 1200°C e 1500°C respectivamente, para avaliação dos extremos de temperaturas de sinterização dos componentes isoladamente ( granito sem adição de alumina e alumina) , baseado em trabalhos realizados no Laboratório de Desenvolvidos de Materiais da Universidade Federal do Ceará, como os de Cordeiro (2004) que determinou a temperatura de sinterização do granito e de Santiago Junior (2008), com resultados da alumina. Em ambos os trabalhos, a determinação da melhor temperatura de sinterização foi baseada nos resultados obtidos para as propriedades mecânicas das peças sinterizadas.

A determinação da temperatura de sinterização é essencial para a aplicação proposta, visto que o funil da indústria têxtil fica em contato direto com o fio, afetando a pilosidade do produto, o que pode alterar o valor comercial do fio. A sinterização a temperaturas suficientes para a vitrificação do granito é interessante, porque esta vitrificação, aparentemente, acarretaria uma baixa rugosidade e conseqüentemente um contato menos agressivo com o fio.

Como são poucas as informações tecnológicas sobre a fabricação dos funis comerciais, a determinação da temperatura de sinterização se baseia no resultado final das análises de características físicas e mecânicas do compósito.

As pastilhas foram sinterizadas nas seguintes temperaturas: as quatro amostras das misturas um, dois, três e quatro foram sinterizadas a temperatura de 1200°C com uma taxa de aquecimento de 5°C/min, assim como duas amostras das misturas cinco, seis, sete, oito, nove, dez e onze, todas com a permanência na temperatura de sinterização citada por duas horas. Duas amostras das misturas cinco, seis, sete, oito, nove, dez e onze foram sinterizadas a temperatura de 1500°C com a taxa de aquecimento de 5°C/min, com permanência no patamar de sinterização por duas horas. Após a realização de testes sinterizamos outras duas amostras das misturas cinco e seis, uma a 1300°C e outra a 1400°C, conservando-se a taxa de aquecimento e o tempo de permanência a temperatura de sinterização. As amostras foram resfriadas naturalmente dentro do próprio forno até a temperatura ambiente.

### 3.2.2 Caracterização do material

A amostra do granito em pó, recebida dos fornecedores, foi caracterizada através da difração de raios X, da fluorescência de raios X, BET e Análise Termogravimétrica. Os funis comerciais foram caracterizados através da difração de raio X e Fluorescência de raios X .

#### 3.2.2.1 Fluorescência de Raios - X

O equipamento utilizado para obter os dados de Fluorescência de Raios X foi um modelo ZSX Mini II da Rigaku.

#### 3.2.2.2 Difração de Raios - X

Os dados de Difração de Raios-X foram obtidos à temperatura ambiente usando um difratômetro do tipo Rigaku tendo como fonte de radiação K do elemento Cobre (Cu),  $\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$  a 40 KV e 30 mA. A escala de varredura (em  $2\theta$ ) utilizada foi de  $10^\circ$  a  $60^\circ$ , com uma velocidade de varredura de  $0,02^\circ$  e tempo de medida de cada ponto de 1s.

#### 3.2.2.3 Determinação da área BET

Foi realizado um ensaio para determinação da área de superfície específica por adsorção de  $N_2$  utilizando método BET (Brunauer-Emmett-Teller) em um equipamento Micromeritics ASAP 2020 após tratamento a  $300^\circ\text{C}$  sob vácuo por 5 horas.

#### 3.2.2.4 Análise Termogravimétrica (TG)

Foi realizada análise termogravimétrica utilizando um equipamento TGA – 50 Shimadzu, para avaliar a perda de massa do material com o aumento da temperatura. A taxa de aquecimento foi de 10°C/min. Foi utilizada amostra do pó com tamanho de partícula média de 75 Micrometro.

#### 3.2.2.5 Microscopia Eletrônica de varredura (MEV)

As amostras foram avaliadas com um aparelho philips XL-30 equipado com micro sonda (EDS).

### 3.2.3 Determinação das propriedades físicas

#### 3.2.3.1 Dureza

O ensaio de Microdureza Vickers foi realizado utilizando as amostras com as diversas composições citadas, e os funis disponíveis. As medidas dos ensaios foram feitas utilizando um microdurômetro SHIMADZU HMV.

Em cada amostra foram feitas cerca de cinco indentações. A Microdureza Vickers (HV) das amostras foi calculada utilizando o comprimento médio da diagonal das indentações de acordo com a seguinte expressão:

$$H_V = \frac{L}{2d^2}$$

onde:  $L$  é a carga da indentação em Newton e  $2d$  é o comprimento médio da diagonal em metros.

### 3.2.3.2 Compressão diametral

O ensaio brasileiro de compressão diametral foi realizado de acordo com a seguinte expressão:

$$\sigma_{xx} = \frac{2P}{\pi D} = \frac{P}{\pi R}$$

Onde:  $\sigma_{xx}$  tensão de tração uniforme na direção-x (positiva);

$P$ : força aplicada por unidade de espessura do cilindro;

$R$ : raio do cilindro; e

$D$ : diâmetro do cilindro.

### 3.2.3.3 Análise de Rugosidade

Foram feitas análises de rugosidade nas amostras sinterizadas de maior dureza e controle dimensional dentre as sinterizadas nas diversas temperaturas além de análises nos funis comercializados. O Equipamento utilizado foi o Starret Nº 3800 / EDP 67182, gentilmente cedido pela companhia Metalic Nordeste, empresa do grupo CSN com suas instalações na cidade de Maracanaú, região metropolitana de Fortaleza.

### 3.2.3.4 Determinação da curva de gresificação

A curva de gresificação é ilustrada pela junção de dados de retração linear e absorção de água conforme metodologia descrita abaixo.

#### Retração linear

O ensaio de retração térmica linear está fundamentado na variação da peça quando submetida à sinterização. Essa contração, embora se manifeste de uma forma tridimensional, é medida linearmente e expressa na forma de um coeficiente. A contração linear das peças foi determinada pela equação abaixo,

$$\Delta L\% = \frac{L_s - L_o}{L_o} \times 100$$

onde:  $L_o$  é o comprimento da peça a verde e  $L_s$  o comprimento da peça após o processo de sinterização. A contração foi determinada baseando-se na norma ABNT NBR 9623 MB 2382.

#### Absorção de água

O ensaio foi conduzido de acordo com a Norma: ABNT NBR 15270-3:2005.

O índice de Absorção de água (AA) é determinado pela expressão:

$$AA (\%) = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100$$

Onde,  $M_u$  (Massa úmida) e  $M_s$  (Massa a seco).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL

Para a caracterização dos materiais, inicialmente foram coletados fragmentos de dois funis utilizados na indústria têxtil. A partir desses fragmentos foram preparadas, por maceração, amostras para análises de difração de raios X e fluorescência. Também foi analisada uma amostra em pó do rejeito do granito, com granulometria de 45  $\mu\text{m}$ .

#### 4.1.1 Análise de Fluorescência.

A Tabela 6 apresenta os resultados da análise de Fluorescência de Raios X para o Funil KN4 e KS K4-A além do resultado do granito Rosa Iracema.

**Tabela 6** – Análise de Fluorescência dos funis KN4, KS K4-A e do Granito Rosa Iracema.

Elementos	Massa (%)		
	Funil KN4	Funil KS K4-A	Granito Rosa Iracema
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	81.8190	94.7361	9.4027
<b>SiO<sub>2</sub></b>	18.1544	5.1615	80.125
<b>K<sub>2</sub>O</b>			7.2270
<b>CaO</b>	0.0268	0.1028	2.1894
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>			0.9741
<b>Rb<sub>2</sub>O</b>			0.0362
<b>ZrO<sub>2</sub></b>			0.0453

De acordo com a análise da Tabela 6, observa-se que basicamente os funis são compostos por alumina em sua maior parte e sílica. Em contrapartida a amostra de granito Rosa Iracema é composta por SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O e CaO, perfazendo 98%. Os altos teores de SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> obtidos são típicos de rochas ígneas graníticas. As presenças de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e CaO estão provavelmente

relacionadas aos constituintes desse tipo de granito. Os óxidos alcalinos ( $K_2O$ ), que atuam como agentes fundentes são provenientes principalmente da mica e feldspatos.

Mattos (2005), revelou em seus estudos a composição mineralógica essencial desse granito, formada por microclínio, quartzo, plagioclásio (albita), biotita e mais raramente anfibólio reliquiar. Os minerais acessórios são representados por titanita, allanita, apatita, zircão e opacos, além da presença de fluorita, bem como respectivos produtos de alterações deutéricas dos minerais.

A tabela 7 nos mostra o percentual de cada fase presente na rocha estudada (Mattos, 2005).

Tabela 7 - Características Mineralógicas do Granito Rosa Iracema.

CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS		ROSA IRACEMA
Mineralogia (%)	Quartzo	30,0
	Feldspato potásico	43,0
	Albita	4,5
	Oligoclásio	13,0
	Biotita	6,0
	Hornblenda	0,5
	Titanita, apatita, zircão, opacos, allanita	1,0
	Fluorita	Tr
	Clonita, muscovita, sericita, argilominerais, epidoto, carbonatos, óxido/hidr. ferro	2,0

Fonte: Mattos (2005), p- 70.

#### 4.1.2 Análise de Difração de Raios-X

As figuras de 17 à 19 apresentam os difratogramas obtidos nas análises de raios – x realizados com os três pós.

Pode-se observar pelos resultados da Figura 17 que os picos presentes na amostra confirmam os resultados obtidos na análise de fluorescência. Basicamente os funis são compostos por Alumina e Sílica e após refinamento constata-se um percentual aproximado de 88% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  12% de  $\text{SiO}_2$  para o funil KN4.

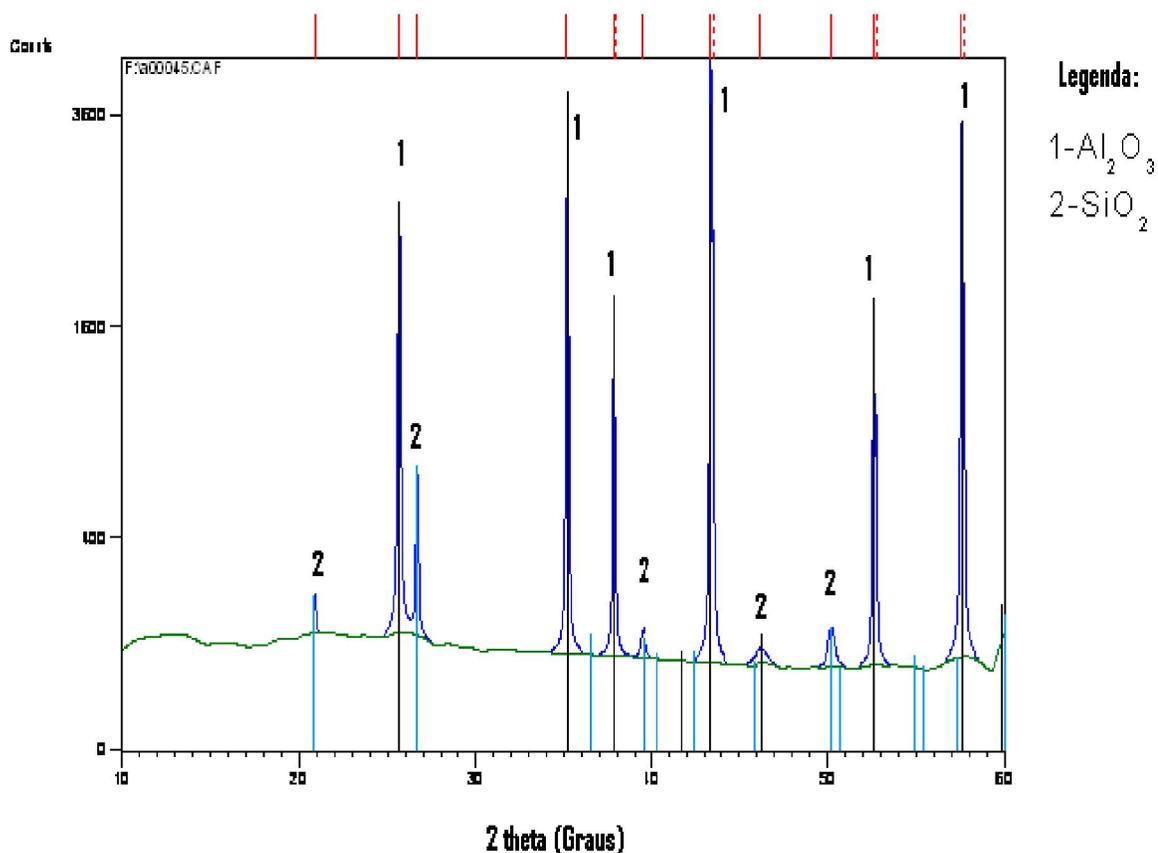
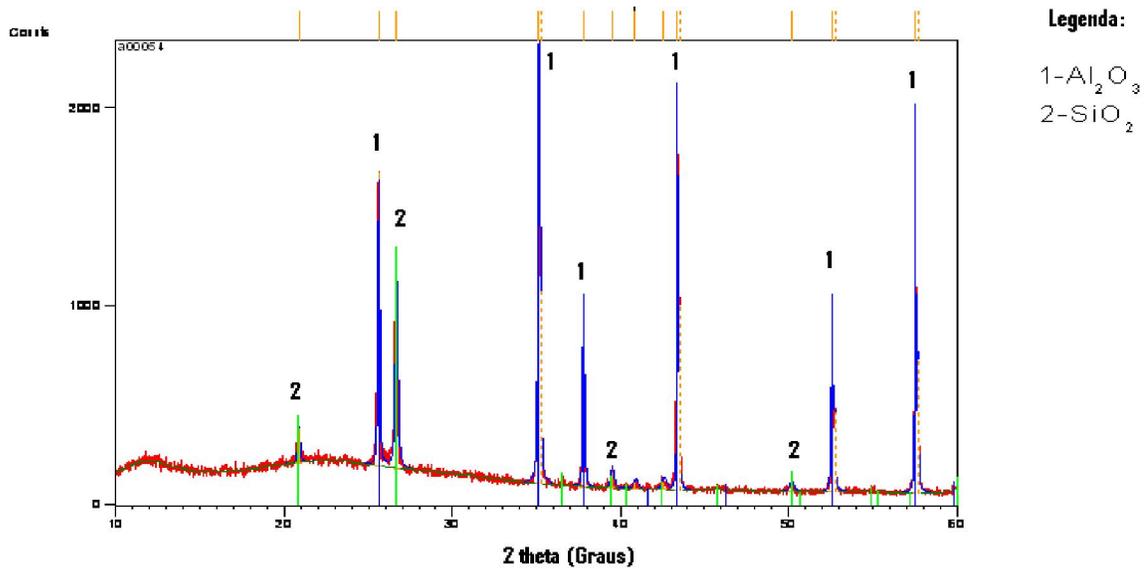


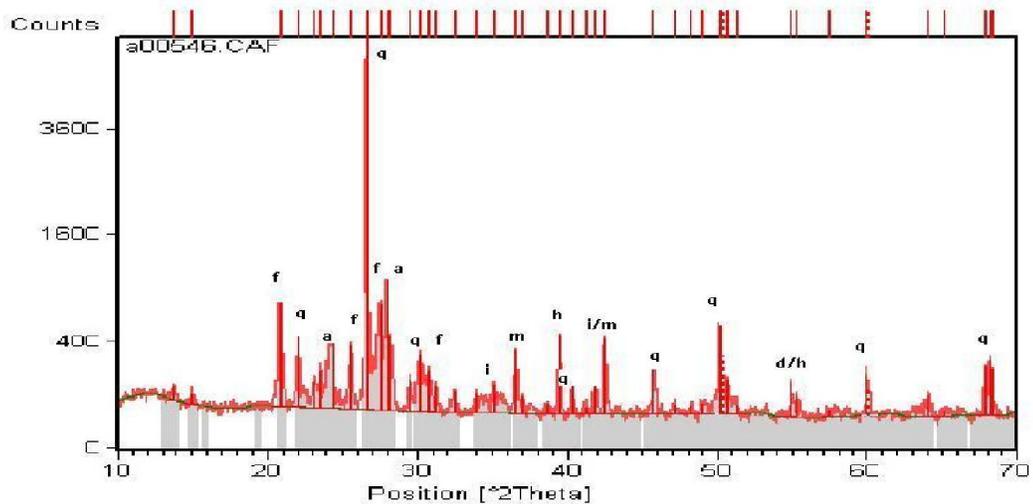
Figura 17 - Difratograma de raios X para a o funil KS K4-A.

A figura 18 apresenta os resultados de difração para o funil KN4, caracterizando-se pela presença de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{SiO}_2$  com resultados de refinamento de 95% para Alumina e 5% para a sílica aproximadamente.



**Figura 18-** Difratoograma de Raios X para o funil KN4.

O difratograma de raios X da amostra de resíduo de granito estudado é mostrado na Figura 19. Verifica-se picos de difração característicos das fases cristalinas referentes ao quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), microclina (feldspato potássico- $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), albita (feldspato sódico -  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ), ilita/mica e calcita ( $\text{CaCO}_3$ ). Ainda, há indícios da presença de dolomita e hematita no resíduo.



**Figura 19** - Difratoograma de raios X do resíduo: f - microclínio; a - albita; i/m – illita/mica; q – quartzo; h – hematita; e d – dolomita.

Através das análises de difração pode-se constatar a diferença entre os materiais dos funis utilizados na indústria e o material que se pretendia utilizar para a confecção dos mesmos (pó de granito), visto que os níveis máximos de alumina presente no resíduo de granito não chegam a 10%. Sabendo-se que a alumina apresenta dureza e resistência mecânica em geral bastante superiores às da sílica, verificou-se a necessidade de se adicionar um reforço ao granito, para que o desempenho dos funis fabricados a partir desses resíduos fosse comparável ao dos funis convencionais. Optou-se, portanto, pela adição de um reforço em forma de partículas de uma alumina submicrométrica ( RC HPT DBM, da empresa Reynolds). A figura 20, a seguir, apresenta as principais características desse material.

TYPICAL PROPERTIES DBM FORM		RC-HPT
<b>PHYSICAL</b>		
<b>BET Surface Area, m<sup>2</sup>/g</b>	<b>49</b>	
<b>Median Particle Diameter, μm</b>	<b>0.70</b>	
<i>by Sedigraph 5100</i>		
<b>CERAMIC</b>		
<b>Density, g/cm<sup>3</sup></b>		
<i>Green <sup>(1)</sup></i>	<b>2.24</b>	
<i>Fired <sup>(2)</sup></i>	<b>3.83</b>	
<b>Linear Shrinkage, %</b>	<b>16.4</b>	

**Figura 20** – Propriedades da alumina RC-HPT-DBM.

#### 4.1.3 Área Brunauer-Emmett-Teller (BET)

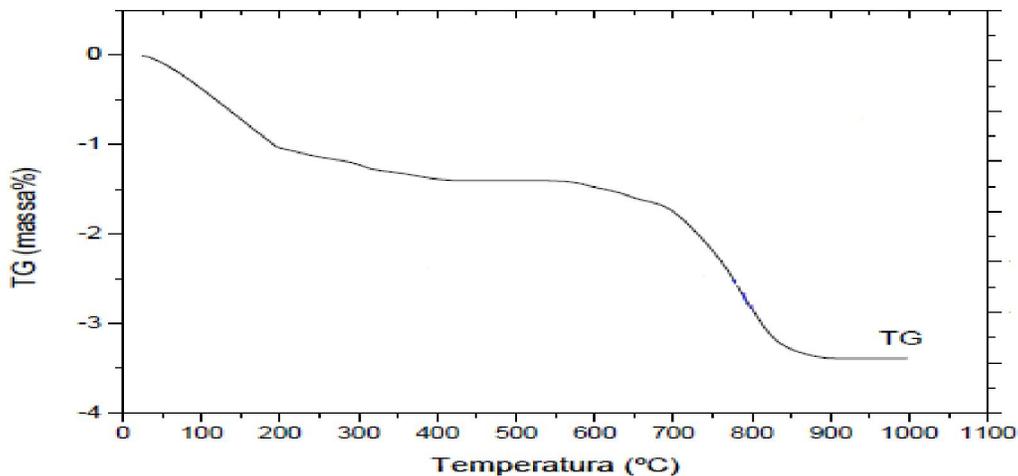
Os dados obtidos através dos testes para a área de superfície específica e tamanhos de poros estão dispostos na tabela 8.

	<b>Resíduo Rosa Iracema</b>	<b>Alumina</b>
<b>Área BET (m<sup>2</sup>/g)</b>	0,9517	49,85

**Tabela 8** - Área BET para o Resíduo Rosa Iracema e Alumina.

Pelos resultados obtidos pode-se verificar que a área do resíduo do granito é muito menor que a área da alumina. Um valor de área superficial específica mais elevado demonstra que as partículas de alumina são bem menores e mais irregulares. Portanto, apresentam maior sinterabilidade, porém maior dificuldade de se dispersarem de maneira homogênea, resultando assim no aparecimento de clusters (aglomerados/ agregados). Esse comportamento foi observado nos resultados de micrografia.

#### 4.1.4 Análise Termogravimétrica (TG)



**Gráfico 2-** Análise Termogravimétrica do Rejeito do Granito.

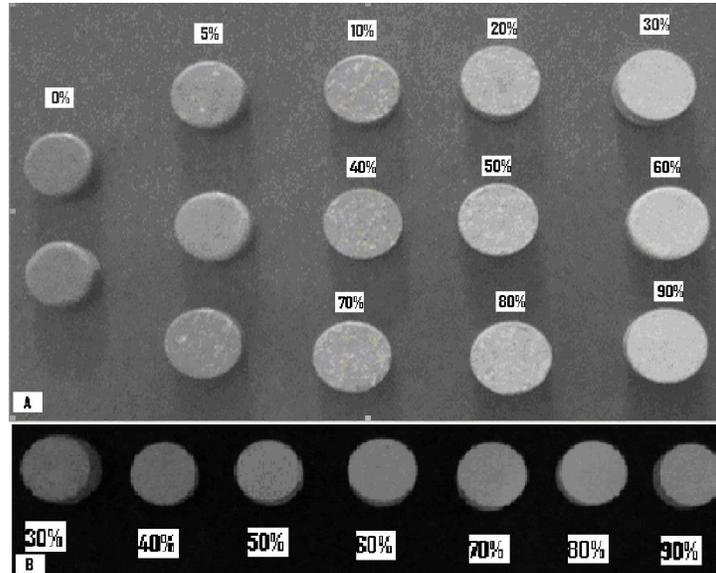
A curva de perda e massa com a temperatura apresenta 3 eventos descritos a seguir : 1- Entre a temperatura ambiente e 240°C observa-se perda de 1 % referente a perda de água livre; 2- Entre 560°C e 650°C uma perda de 0,40% refere-se provavelmente a transformação de quartzo alfa em beta; 3- uma grande perda (em torno de 2%) entre as faixas de 700°C a 900°C provavelmente devido a decomposição do carbonato de cálcio. (TODOR, 1976 *apud* MOTHÉ FILHO, POLIVANOV, MOTHÉ, 2005).

Foram realizados ensaios termogravimétricos com a mistura de pós (granito e alumina), mas os resultados são praticamente idênticos aos apresentados para o granito puro, já que a alumina permanece praticamente estável na faixa de temperaturas do ensaio.

### Sinterização

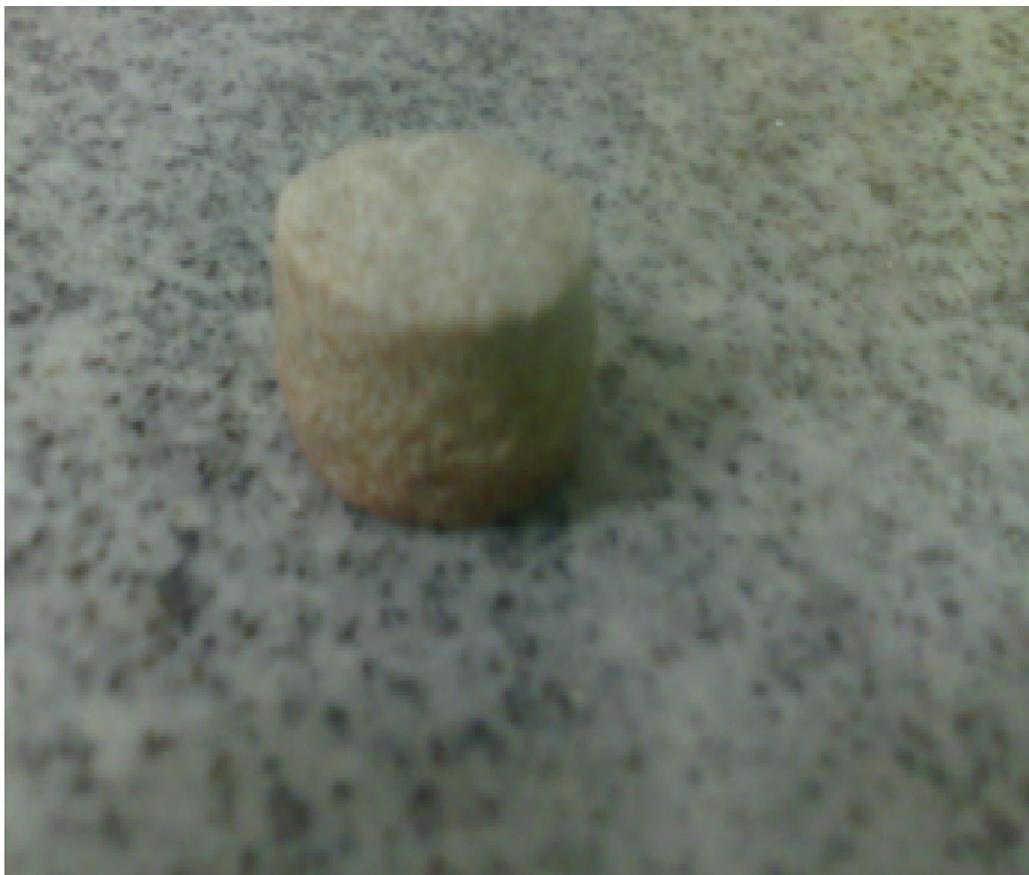
A figura 21 apresenta amostras das diversas composições compactadas e sinterizadas a 1200°C e 1500°C. Sinterizando a 1200°C verifica-se que a baixas concentrações de alumina ocorre uma melhor vitrificação, o que poderia ser

justificado pela alta temperatura de sinterização da alumina (em torno de 1500°C). Processando a sinterização a 1500°C verifica-se uma perda de controle dimensional provavelmente a grande concentração de rejeito de granito.



**Figura 21** - Amostras Sinterizadas: A) 1200°C B) 1500°C (% em p Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

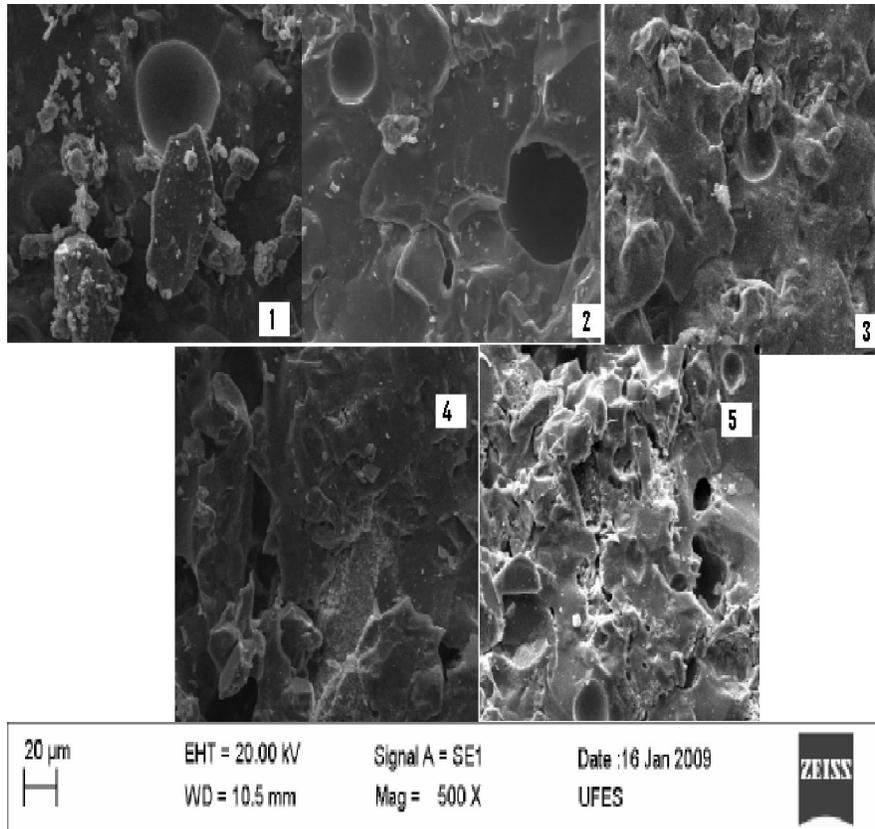
Foram sinterizadas amostras com maior percentual de matriz granítica a temperatura de 1500°C, porém perdeu-se o controle dimensional provavelmente por conter gases o que deixou a amostra com superfície de fratura visível a olho nu, prejudicando as propriedades do material, conforme a figura 22.



**Figura 22** – Amostra 70% p Granito – 30% p Alumina, sinterizada a 1500°C.

#### **4.1.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)**

A microscopia (Figura 23) nos revela que, à medida que se acrescenta alumina a matriz de rejeito granítico, mais porosa fica a amostra. Esse comportamento se justifica devido a má sinterização da alumina a 1200°C que fica mais evidente nas amostras de maior percentual em peso do componente.



**Figura 23** – Amostras classificadas % p de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . 1 - 0%; 2 - 10%; 3 - 20%; 4- 30%; 5 - 40%.

De acordo com Argonz et al (2007), o comportamento dos granitos durante a sinterização corresponde ao tipo clássico de sinterização com fase líquida, onde há solubilidade baixa do líquido (Microclínio e Albita) no sólido (Quartzo), com uma solubilidade alta do sólido no líquido, o que produz densificação.

Analisando a estrutura através do MEV, verificou-se certa dificuldade em encontrar o reforço da alumina nas diversas composições analisadas (0%, 5%, 10%, 20% e 30% p  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), porém com a ampliação em 20000x é possível encontrar a formação da alumina com as características da figura 24.

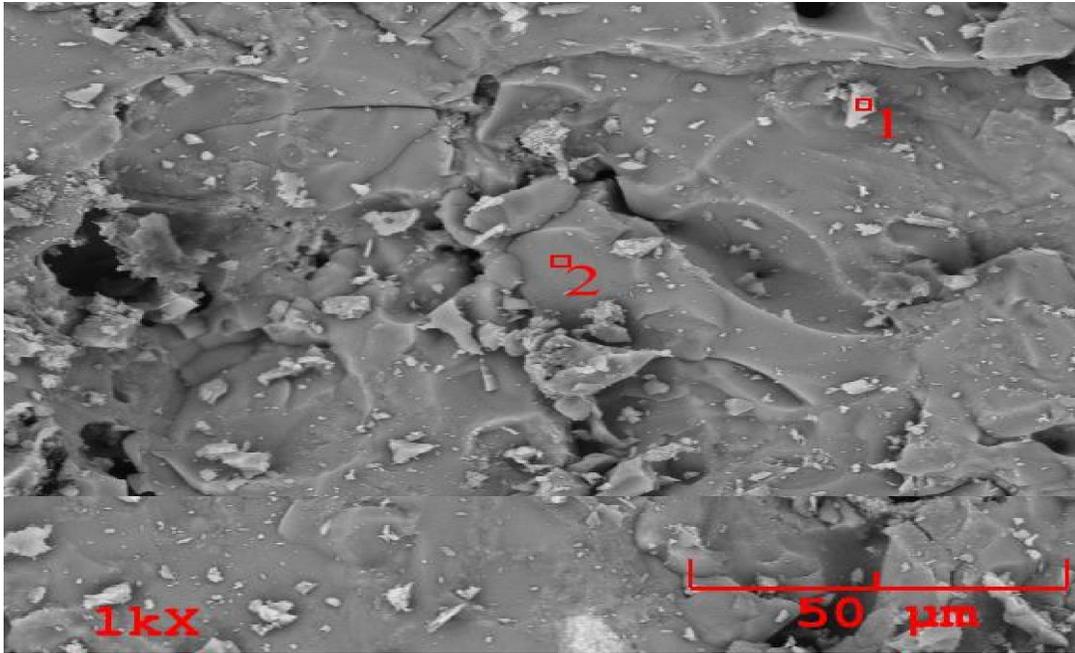


Figura 24 - Amostra 4 - Feixe de elétrons com EDS nos pontos 1 e 2.

Sobre a amostra 4 foi realizada análise através de **ESPECTROMETRIA DE ENERGIA DISPERSIVA DE RAIOS-X - EDS** para determinar a composição química das fases presentes, nos pontos 1 e 2, cujos resultados são mostrados na figura 25:

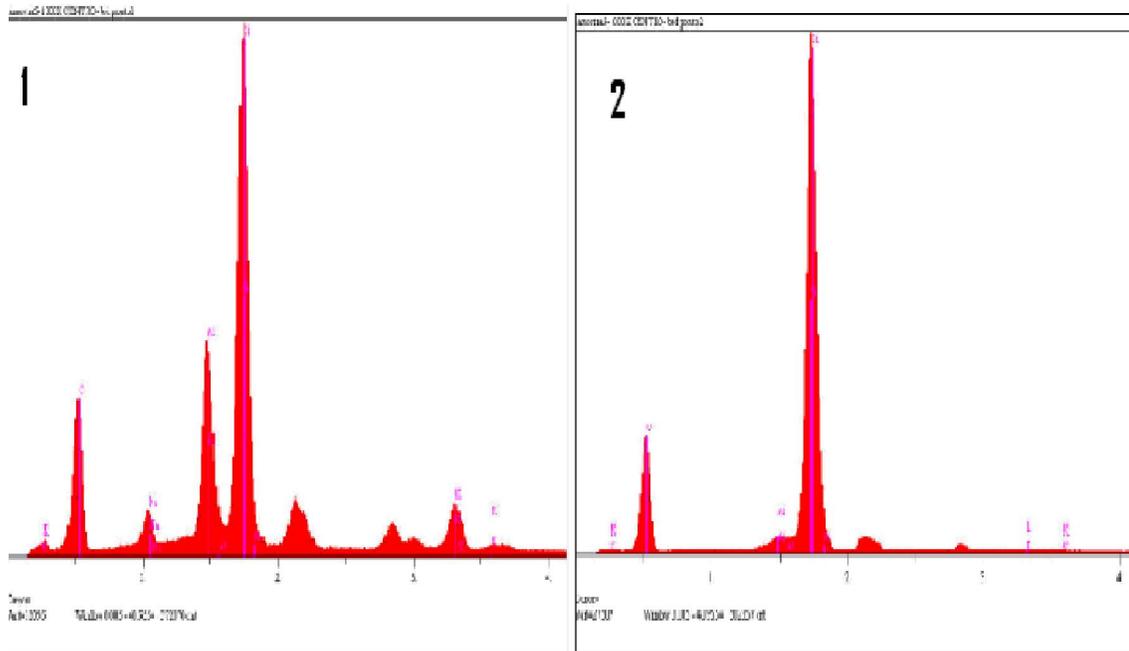


Figura 25 - Difratoograma dos pontos 1 e 2.

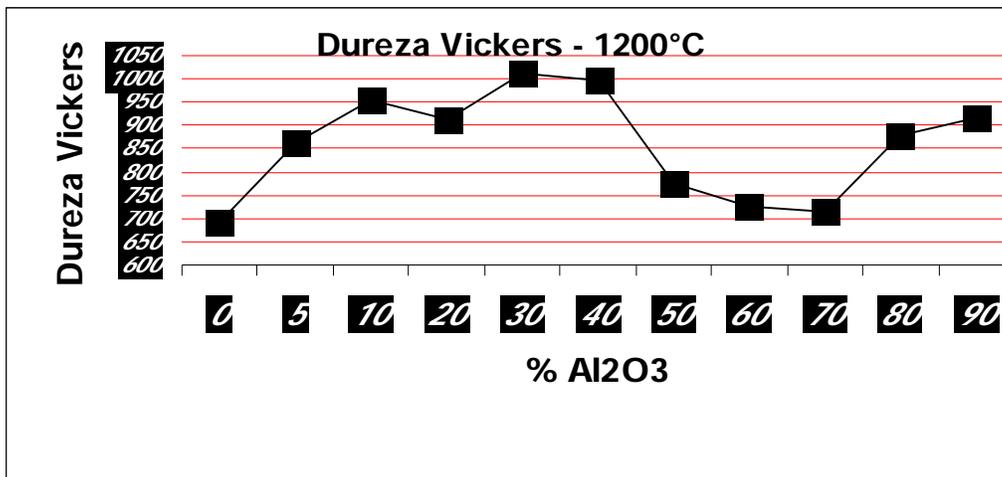
Os pontos analisados e as micrografias confirmam que a alumina utilizada forma aglomerados (Clusters) e que é de difícil homogeneização com a matriz granítica. Verifica-se que no ponto 1 apresenta picos de alumina enquanto que no ponto 2 verifica-se a presença porém em menor quantidade e oriunda dos Feldspatos.

## **4.2 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS**

### **4.2.1 Dureza**

A análise dos resultados do ensaio de microdureza foi decisiva para a determinação da quantidade de alumina utilizada para reforçar o rejeito do granito. A idéia inicial era trabalhar com o granito puro para atingir as características da peça comercializada, porém após estudos preliminares foi verificada a necessidade de reforçar a matriz para obtenção dessas características.

Para a temperatura de sinterização de 1200°C verifica-se que os maiores valores de dureza foram obtidos para as amostras contendo 30% e 40% em peso de  $Al_2O_3$ , o que sugere que a adição de alumina até esses valores não prejudica a sinterização das peças, e ainda contribui para o aumento da resistência mecânica. A adição da alumina acima desses teores provoca uma queda na dureza, porque a alumina assume o papel de matriz, e a sinterização da mesma só ocorre para temperaturas em torno de 1500°C. O Gráfico 3 lustra os resultados para essa temperatura:



**Gráfico 3** - Dureza Vickers para temperatura de sinterização a 1200°C

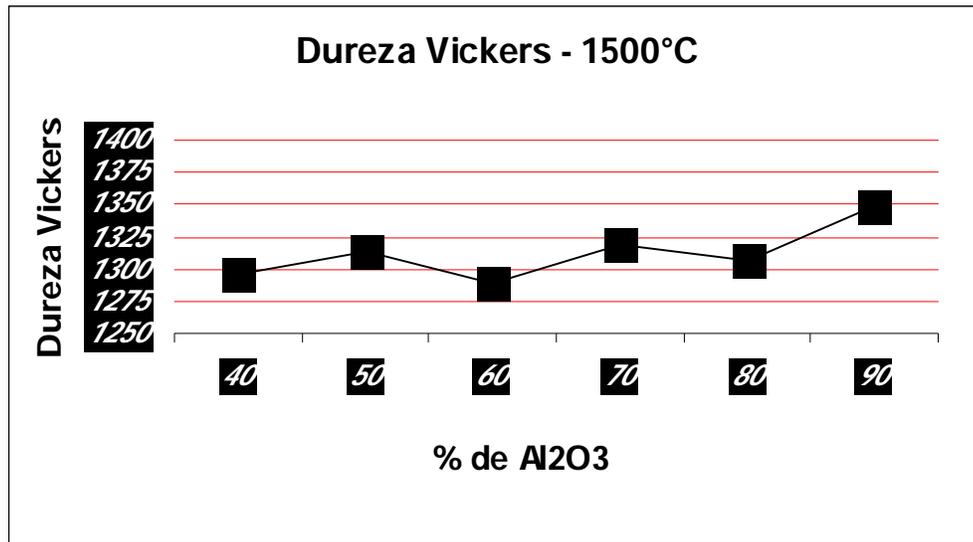
Os valores de dureza mais elevada obtidos para as amostras com teores de alumina acima de 80%, aparentemente contrariam essa tendência. No entanto, esses valores devem ser analisados com reserva, pois as amostras não estavam bem sinterizadas (o que pode ser confirmado pelas curvas de gresificação) e suas superfícies eram bastante irregulares, o que dificultou a realização dos ensaios de dureza e aumentou a imprecisão dos resultados.

É importante salientar que o objetivo deste trabalho é utilizar a maior quantidade de granito possível que permita se chegar a uma solução de compromisso entre custo e qualidade da peça acabada, quando comparada aos funis disponíveis no mercado. A ênfase é na fabricação de um material composto de matriz granítica (ou de sílica),

Para a temperatura de 1500°C., a sinterização do pó de granito puro fica prejudicada, pois as fases constituintes do material começam a fundir e as peças se deformam consideravelmente, tornando-se bastante irregulares e porosas. Esse fato se repetiu para baixos teores de adição de alumina até se atingir o valor de 40%. A partir desse ponto, verifica-se o aumento da dureza do composto, provavelmente devido ao início da sinterização da alumina. Para a composição de

40% em peso de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  obtiveram-se valores de dureza em níveis próximos aos obtidos com o funil comercial (1296 Vickers).

O Gráfico 4 demonstra os resultados de dureza para a temperatura de sinterização de  $1500^\circ\text{C}$ .



**Gráfico 4** - Dureza Vickers para temperatura de sinterização a  $1500^\circ\text{C}$ .

A partir desses resultados foram realizadas investigações de dureza em peças sinterizadas a temperaturas intermediárias, utilizando um corpo-de-prova de cada composição (30% e 40% em peso de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). A tabela 9 mostra os resultados obtidos.

**Tabela 9** – Dureza das amostras em Vickers.

Temperatura de Sinterização	30% em p $\text{Al}_2\text{O}_3$	40% em p $\text{Al}_2\text{O}_3$
1300°C	1108	1123
1400°C	1149	1182

O comportamento das amostras às temperaturas intermediárias demonstra que a dureza aumenta com a temperatura. Isso se deve, provavelmente, a uma

maior densificação das amostras, proporcionada pela evolução gradual da segunda fase líquida.

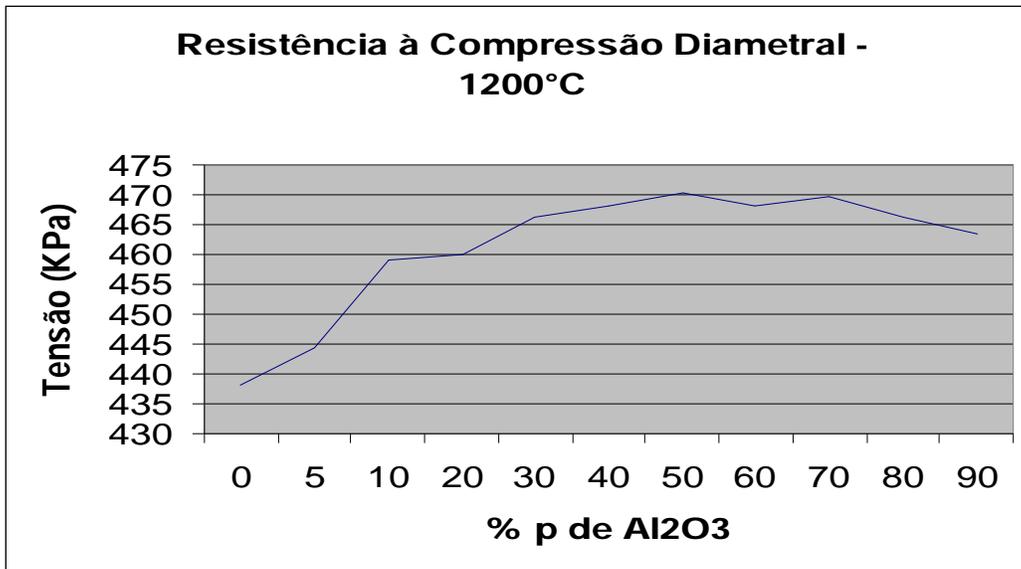
#### 4.2.2 Compressão diametral

O ensaio de compressão diametral do grupo de amostras demonstrou um comportamento esperado de fratura descrito por Castro-Montero *et al*, (1995). De acordo com aquele estudo a propagação da trinca se daria ao longo do seu diâmetro no sentido longitudinal, obtendo um formato de duas semicircunferências, como mostra a figura 26.



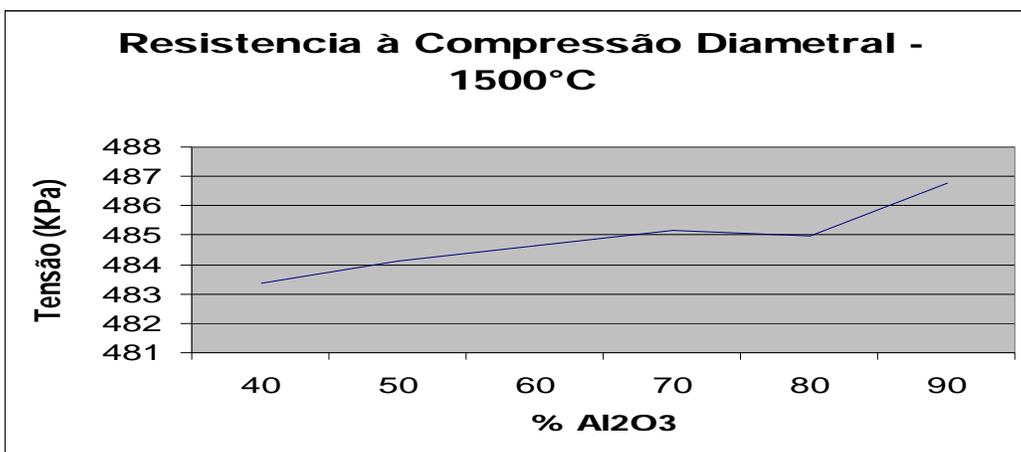
**Figura 26** – Amostra fraturada após ensaio de compressão diametral.

A curva para os resultados de resistência a compressão diametral de peças sinterizadas a 1200°C apresentaram comportamento crescente com o percentual de alumina e temperatura de sinterização, porém a mesma temperatura verificam-se pequenas variações (menor que 1%) a partir de 30% em p de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. O gráfico 5 ilustra os resultados à temperatura de 1200°C:



**Gráfico 5** – Resistência à Compressão diametral – 1200°C.

O gráfico 5 mostra que os maiores valores de resistência ocorreram a partir da composição de 30% em p de alumina e se manteve praticamente constante após esse valor, em torno de 465 KPa. A sinterização das amostras a 1500°C revela um comportamento também crescente levando-se em consideração o crescimento do percentual de alumina, conforme exposto no gráfico 6.



**Gráfico 6** – Resistência à compressão diametral – 1500°C.

Para essa temperatura de sinterização as variações foram muito menores considerando o aumento do percentual de alumina, provavelmente devido a matriz

e o reforço sofrerem sinterização e com isso minimizar os vazios (poros) no interior do material dificultando a propagação das trincas.

A Tabela 10 mostra os resultados de resistência para as temperaturas intermediárias (1300°C e 1400°C) para as composições de 30% e 40% em p de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

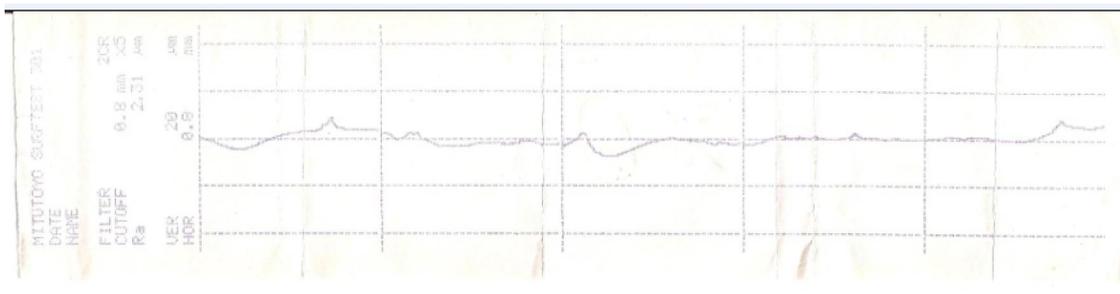
**Tabela 10** – Compressão diametral em (1300°C e 1400°C) em KPa.

Temperatura de Sinterização	30% em p de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40% em p de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1300°C	476	478
1400°C	478	480

Esses resultados revelam um comportamento idêntico ao da dureza, pois a temperaturas intermediárias (1300°C e 1400°C) obtiveram-se valores de resistência também intermediários.

#### 4.2.3 Análise de Rugosidade

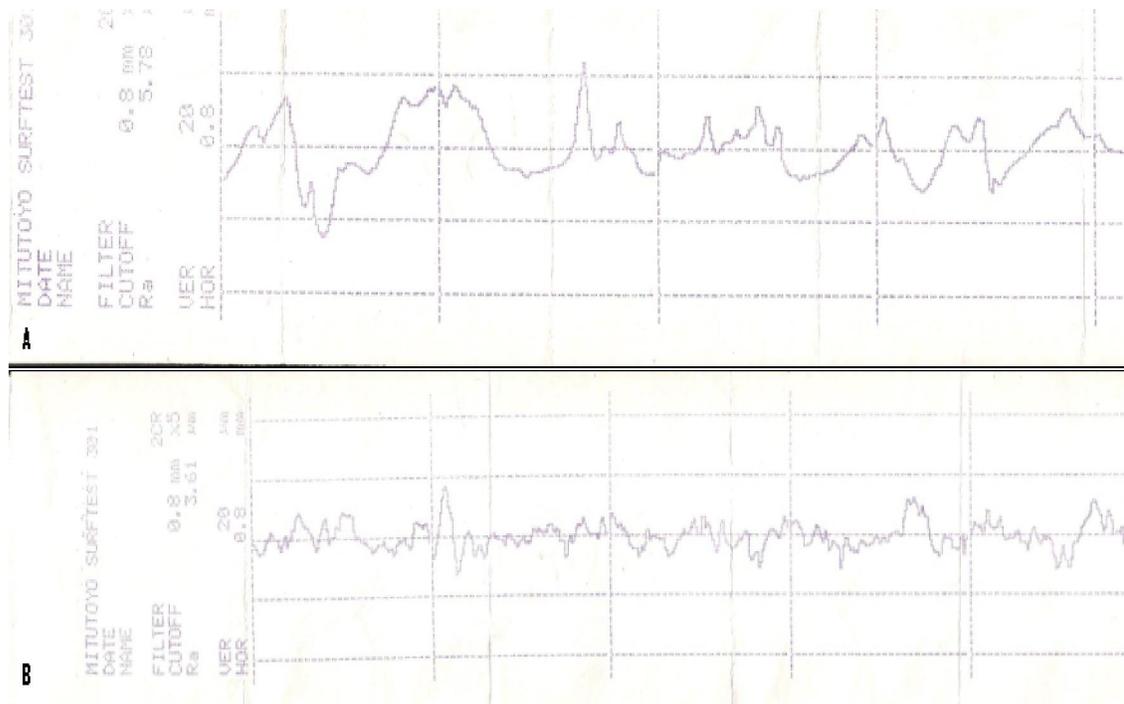
A rugosidade foi analisada através do gráfico com perfil de superfície e valores de rugosidade média Ra. A figura 27 mostra o resultado para o funil KN4.



**Figura 27** - Rugosidade para funil KN4 – Ra= 2,31.

A figura 27 demonstra uma superfície sem grandes ondulações, com picos suaves e bem próximos a linha média. O funil KSK4A possui ranhuras projetadas para aumentar a estabilidade do fio e, por esse motivo, não foi possível realizar a medição da rugosidade superficial.

Para os corpos-de-prova produzidos nesta pesquisa, os menores valores de rugosidade foram obtidos para as composições de 30% e 40% em p de  $Al_2O_3$ , sinterizadas a  $1500^\circ C$  conforme se pode verificar na figura 28.



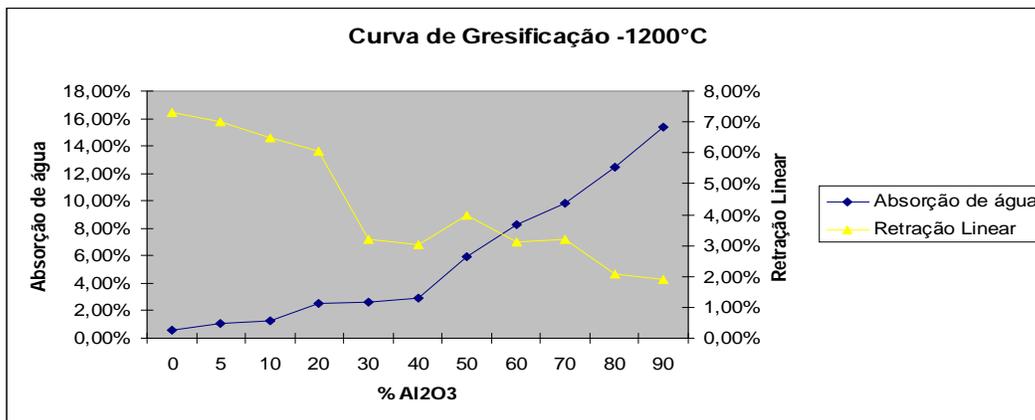
**Figura 28** – Gráfico de rugosidade: A) 30% p de  $Al_2O_3$  –  $R_a= 5,78$  B) 40% p de  $Al_2O_3$  –  $R_a= 3,61$ .

A  $1500^\circ C$  obteve-se menor rugosidade superficial a amostra com maior quantidade de  $Al_2O_3$ , provavelmente pela temperatura ser mais próxima da temperatura ótima de sinterização para o reforço além do tamanho de partícula da alumina ser muito menor que a do rejeito, ocasionando assim uma maior compactação e uma superfície mais homogênea.

### 5.3.4 Curva de Gresificação

Após a queima das amostras a 1200°C, 1500°C e posteriormente a 1300°C e 1400°C para as composições de 30% e 40% em p de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, foram determinadas as curvas de gresificação das respectivas amostras.

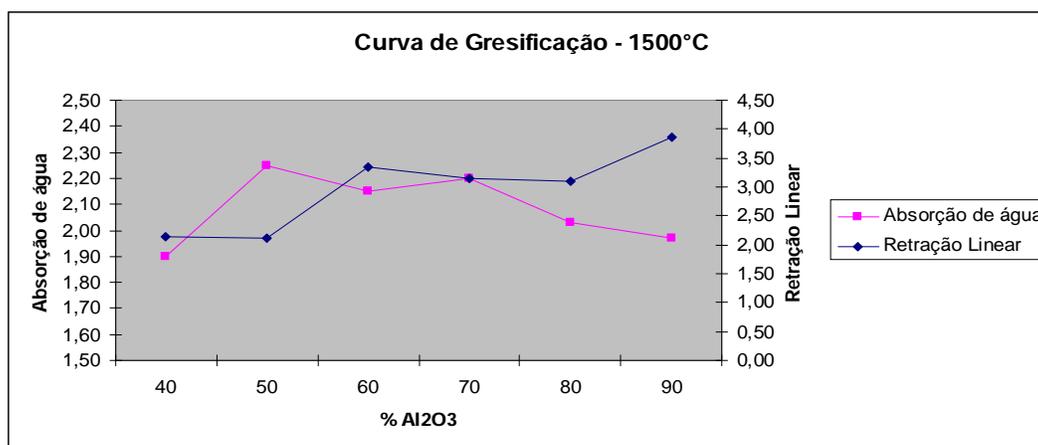
Para a temperatura de 1200°C, A partir da curva de gresificação (gráfico 7) encontramos um comportamento típico de peças com grau maior de sinterização a medida que se diminui o percentual em peso de partículas de reforço (Alumina). Parte da massa de granito se transforma em líquido viscoso que preenche as lacunas (poros) e após o resfriamento forma uma camada maciça, o que dá a aparência vítrea. Quanto maior o grau de sinterização, maior é a retração linear e menor a absorção de água.



**Gráfico 7** - Curva de gresificação do compósito à temperatura de 1200°C.

Nota-se que as maiores retrações lineares ocorrem nas respectivas composições de 0% , 5%, 10% p de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Os resultados mais significativos ocorreram nas composições de 30% e 40% p de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, onde se obteve uma retração linear relativamente aceitável (em torno de 3%) paralelo a uma baixa absorção de água (em torno de 6%). Esse comportamento deve-se ao aumento de partículas de alumínio que são de tamanhos submicrométricos, formando menos poros na compactação a verde tornando um corpo mais denso e sem retrações.

Para os corpos de prova sinterizados a 1500°C, verifica-se valores mais baixos tanto de absorção de água como de retração linear, o que se deve, provavelmente, a uma influência maior da sinterização da alumina. Acredita-se que ocorra uma maior compactação das amostras quanto se aumenta a quantidade de reforço, já que os níveis de contração linear e absorção de água são bem menores, o que reforça a idéia de um material mais denso. O Gráfico 8 mostra os resultados obtidos a temperatura de sinterização de 1500°C.



**Gráfico 8** - Curva de gresificação a 1500°C.

A Tabela 11 mostra resultados de absorção de água e retração linear para a amostra de 30% e 40% em p de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, sinterizada a 1300°C e 1400°C.

**Tabela 11** – Tabela de Absorção de água e retração linear para amostra com 30% em de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> às temperaturas de sinterização de 1300°C e 1400°C.

Temperatura de Sinterização	Absorção de água (%)		Retração Linear (%)	
	30%	40%	30%	40%
Percentual de reforço	30%	40%	30%	40%
1300°C	2,26	2,16	2,89	2,96
1400°C	2,12	2,08	3,10	3,09

Para a sinterização nas temperaturas intermediárias da tabela 11, não houve grandes variações nos resultados demonstrando que a variação da temperatura no intervalo estudado não tem uma influência significativa sobre a absorção de água.

## CONCLUSÕES

O presente trabalho foi motivado pela necessidade de minimizar impactos ambientais causados pela extração de granito, dando aplicabilidade aos rejeitos da indústria de rochas ornamentais. Trabalhos anteriores mostraram a viabilidade de se utilizar esses rejeitos na produção de componentes cerâmicos (guia-fios) para a Indústria Têxtil. Nesta pesquisa, intentou-se estudar a viabilidade da utilização do pó residual do granito Rosa Iracema para a fabricação de outro componente importado e de alto custo, bastante utilizado na Indústria Têxtil: o funil de saída da fiação a rotor.

A caracterização dos materiais de que são feitos os funis constatou que eles são compostos majoritariamente por alumina (cerca de 90% em peso) e sílica. Em contrapartida, a amostra de granito Rosa Iracema é composta por  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{CaO}$ , perfazendo 98%. Os altos teores de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  obtidos são típicos de rochas ígneas graníticas. As presenças de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{CaO}$  estão provavelmente relacionadas aos constituintes desse tipo de granito. Os óxidos alcalinos ( $\text{K}_2\text{O}$ ), que atuam como agentes fundentes, são provenientes principalmente da mica e feldspatos.

As análises de raios X das amostras de resíduo do granito estudado indicaram picos de difração característicos das fases cristalinas referentes ao quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), microclina (feldspato potássico- $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), albita (feldspato sódico –  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ), illita/mica e calcita ( $\text{CaCO}_3$ ). Há, ainda, indícios da presença de dolomita e hematita no resíduo.

Através das análises de difração pode-se constatar a diferença entre os materiais dos funis utilizados na indústria e o material que se pretendia utilizar para a confecção dos mesmos ( pó de granito), visto que os níveis máximos de alumina

presente no resíduo de granito não chegam a 10%. Sabendo-se que a alumina apresenta dureza e resistência mecânica em geral bastante superiores às da sílica, verificou-se a necessidade de se adicionar um reforço ao granito, para que o desempenho dos funis fabricados a partir desses resíduos fosse comparável ao dos funis convencionais. Optou-se, portanto, pela adição de um reforço em forma de partículas de uma alumina sub-micrométrica ( RC HPT DBM, da empresa Reynolds, com tamanho médio de partícula de  $0,7\mu\text{m}$ ). O pó de granito utilizado, moído e peneirado, apresenta tamanho médio de partícula inferior a  $45\mu\text{m}$ .

Partindo desses resultados preliminares, e considerando a importância de se utilizar a maior quantidade de resíduo de granito possível, tentou-se encontrar uma solução de compromisso entre custo e qualidade da peça acabada, quando comparada aos funis disponíveis no mercado. A ênfase da pesquisa recaiu sobre a fabricação de um material compósito de matriz granítica (ou de sílica), que apresentasse características as mais próximas dos funis disponíveis do mercado.

Os resultados obtidos pela técnica BET permitiram verificar que a área superficial específica do resíduo do granito é muito menor que a área da alumina. Um valor de área superficial específica mais elevado demonstra que as partículas de alumina são bem menores e mais irregulares. Portanto, apresentam maior sinterabilidade, porém maior dificuldade de se dispersarem de maneira homogênea, resultando assim no aparecimento de clusters (aglomerados/agregados). Esse comportamento foi observado nos resultados de micrografia. Analisando a estrutura através do MEV, verificou-se certa dificuldade em encontrar o reforço da alumina nas diversas composições analisadas (0%, 5%, 10%, 20% e 30% p  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ),

Para a temperatura de sinterização de 1200°C verificou-se que os maiores valores de dureza foram obtidos para as amostras contendo 30% e 40% em peso de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, o que sugere que a adição de alumina até esses valores não prejudica a sinterização das peças, e ainda contribui para o aumento da resistência mecânica.

Para a composição de 40% em peso de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> obtiveram-se valores de dureza em níveis próximos aos obtidos com o funil comercial (1296 VHN).

A curva para os resultados de resistência a compressão diametral de peças sinterizadas a 1200°C apresentou comportamento crescente com o percentual de alumina e temperatura de sinterização. Porém, para a mesma temperatura verificam-se pequenas variações (menores que 1%) a partir de 30% em peso de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Para essa temperatura de sinterização as variações foram muito menores se considerado o aumento do percentual de alumina,

A amostra com maior quantidade de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> obteve menor rugosidade superficial a 1500°C, provavelmente pela temperatura ser mais próxima da temperatura ótima de sinterização para o reforço, além do tamanho de partícula da alumina ser muito menor que a do rejeito, ocasionando assim uma maior compactação e a formação de uma superfície mais homogênea.

Para a temperatura de 1200°C, A partir da curva de gresificação, observa-se um comportamento típico de peças com grau maior de sinterização à medida que diminui o percentual em peso de partículas de reforço (alumina). Nota-se que as maiores retrações lineares ocorrem para as composições de 0% , 5%, 10% p de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Os resultados mais significativos ocorreram nas composições de 30% e 40% p de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, onde se obteve uma retração linear relativamente baixa (em torno de 3%) e uma baixa absorção de água (em torno de 6%). Esse comportamento deve-se, provavelmente, ao aumento da quantidade de partículas de alumina, que

são de tamanhos submicrométricos, formando menos poros na compactação a verde, tornando um corpo mais denso e sem grandes retrações.

Concluindo, pode-se dizer que as amostras de matriz de granito Rosa Iracema contendo teores de 30 e 40% de alumina sub-micrométrica em peso e sinterizadas a 1500°C, apresentaram resultados próximos dos obtidos com os funis importados fabricados a partir de materiais mais nobres. Esses resultados evidenciam, por um lado, a viabilidade de se utilizar os materiais estudados e, por outro, a necessidade de se aprofundarem os estudos aqui relatados.

## SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Investigar outros reforços e/ou outras granulometrias para os reforços de alumina;
- Aprofundar os estudos de sinterização, visando otimizar a combinação de propriedades.
- Estudar a viabilidade de se fabricar compósitos sílica-alumina por outros processos de fabricação cerâmicos.
- Realizar estudos de viabilidade econômica para fabricação do funil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARGONZ, R. ; NOGUEIRA, R. E. F. Q. ; SASAKI, J. M. ; Mattos, I. C. ; SANTOS, F. F. P. ; Araújo, C. M. **Caracterização de resíduos de granito Rain Forest proveniente da Serra de Meruoca (CE) visando seu aproveitamento como matéria prima cerâmica.** In: 51 Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2007, Salvador (BA). Anais do 51 Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2007. v. V 1. p. 1-11. Disponível em: <[www.metallum.com.br/17cbecimat/resumos/17cbecimat-112-034.pdf](http://www.metallum.com.br/17cbecimat/resumos/17cbecimat-112-034.pdf)> Acesso em: 21 abr 2009.

BRAGA, F. S. ; PREZOTTI, Julio César Simões ; COUTO, Maria Claudia Lima ; BATISTA, Tereza Rosana Orrico . **Proposta de Gerenciamento para Resíduos Gerados no Beneficiamento de Rochas Ornamentais.** In: I Congresso Internacional de rochas Ornamentais, 2005, Guarapari, 2005.

CALLISTER, William D. **Fundamentos da ciência e engenharia de materiais: uma abordagem integrada.** 2ª. Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

CARVALHO, Magno Rodrigues da Silva; CARISSO, Regina Coeli Casseres; RIBEIRO, Roberto Carlos da C. **Aplicação de Feldspatos extraídos de resíduos de Pedreiras de Granito nas Indústrias de Cerâmica e Vidro, buscando-se tecnologias limpas.** 2004. Disponível em: <[http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie\\_anais\\_XII\\_jic\\_2004/24Artigo%20JIC%202004%20Magno%20e%20Regina%20Carrisso.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie_anais_XII_jic_2004/24Artigo%20JIC%202004%20Magno%20e%20Regina%20Carrisso.pdf)> Acesso em: 20 abr 2009.

CASARIL, Alexandre. et al. **Análise micromecânica dos compósitos com fibras curtas e partículas.** Revista Matéria, v.12, n. 2, p. 408-419, 2007. Disponível em: <<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10815>.> Acesso em: 21 abr 2009.

CASTRO-MONTEIRO, A., Jia, Z., Shah, S. P. (1995); **Evaluation of Damage in Brazilian Test Using Holographic Interferometry.** ACI Materials Journal. Title No. 92-M29.

CAZOTTI, Cícero; OLIVEIRA, José Leandro Alves de; FOGAGNOLO, João Batista. **Efeito da adição de partículas de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sobre a compressibilidade de pós de ligas de alumínio.** 17º CBECIMat- Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, 2006, Foz do Iguaçu, PR. Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/17cbecimat/resumos/17Cbecimat-311-053.pdf>> Acesso em: 21 abr 2009.

CORDEIRO, Erlon Rabelo. **Moldagem por Injeção a baixas pressões de pó residual proveniente da extração do Granito Branco Savana**. Fortaleza, CE, 2004. Dissertação de mestrado. Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará.

FÉLIX, Paulo César Galdino. **Estudo da viabilidade técnica da moldagem por injeção a baixas pressões de pó residual de granito**. Fortaleza, CE, 2001. Dissertação de mestrado em Engenharia e Ciência dos materiais. Departamento de engenharia metalúrgica e de materiais, Universidade Federal do Ceará.

FERREIRA, José M. G. de Carvalho. **Tecnologia da Pulverometalurgia**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2002.

GORINI, Ana Paula Fontenelle; SIQUEIRA, Sandra Helena Gomes de. **O segmento de Fiação no Brasil**. BNDES Setorial, 1997. Disponível em <<http://www.redetec.org.br/publique/media/T%C3%80XTIL%20ESTUDO%20SETORIAL%20BNDES%201997%20FIA%C3%87%C3%83O%20NO%20BRASIL.pdf>> Acesso em 21 abr 2009.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Dados Técnicos para a Indústria Têxtil**. São Paulo: Editora Páginas & Letras, 2003. Volume único.

KÖCHE, J. C. . **Fundamentos de metodologia científica**. Teoria da ciência e prática da pesquisa. 19 ed. Petrópolis : Vozes, 2001.

KONDO, Julio Isao; SABINO, Nelson Paulieri; FUZATTO, Milton Geraldo and CAMPANATTI, Gilberto. **Qualidade do fio "open-end" obtido com matérias-primas produzidas por variedades paulistas de algodoeiro e suas misturas com poliéster**. *Bragantia* [online]. 1984, vol.43, n.1, pp. 167-190. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0006-87051984000100014&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87051984000100014&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 21 abr 2009.

MATTOS, Irani Clezar. **Geologia, Petrografia, Geoquímica, comportamento físico-mecânico e alterabilidade das rochas ornamentais do Stock Granítico Serra do Barriga, Sobral (Ce)**. Rio Claro, SP, 2005. Tese de doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2005.

MENEZES, R. R. et al. **Uso de rejeitos de granitos como matérias-primas cerâmicas.** *Cerâmica* [online]. 2002, vol.48, n.306, pp. 92-101. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0366-69132002000200008&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132002000200008&lng=en&nrm=iso)> Acesso em: 21 abr 2009.

MENDONÇA, Renata de lima; PIRATELLI-FILHO, Antônio; LEVY-NETO, Flávio. **Compósitos particulados para aplicações em Engenharia de Precisão: obtenção e propriedades mecânicas.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação-COBEF, 18 a 21 de maio, 2003, Uberlândia. Disponível em: <[http://www.unb.br/ft/enm/metro/papers/cobef1\\_03.pdf](http://www.unb.br/ft/enm/metro/papers/cobef1_03.pdf)> Acesso em 21 abr 2009.

MOREIRA, J. M. S.; FREIRE, M. N. HOLANDA, J. N. F. **Utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha.** *Cerâmica* [online]. 2003, vol.49, n.312, pp. 262-267. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0366-69132003000400012&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132003000400012&lng=en&nrm=iso)> Acesso em: 29 abr 2009.

MOTHÉ FILHO, Heitor Fernandes; POILIVANOV, Helena.; MOTHÉ Cheila Gonçalves. **Reciclagem dos Resíduos Sólidos Ornamentais.** Anuário do Instituto de Geociências- UFRJ. V-28-2, P.139-151, 2005. Disponível em: <[http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario\\_2005/Anuario\\_2005\\_139\\_151.pdf](http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario_2005/Anuario_2005_139_151.pdf)> Acesso em 21 abr 2009.

NAMEN, Fátima Maria. **Elaboração de Teses e Dissertações.** Rio de Janeiro: Rubio, 2006. 75 p.

NEVES, Gelmires de Araújo. **Reciclagem de resíduos da Serragem de Granitos para uso como matéria-prima cerâmica.** Campina Grande, PB, 2002. Tese de Doutorado. Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, 2002.

NOGUEIRA, R.E.F.Q. et al. **Caracterização de resíduos provenientes da extração de granitos da Serra da Meruoca (CE) visando seu aproveitamento como matéria-prima cerâmica.** In: 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15 a 19 de Novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/17cbecimat/resumos/17cbecimat-112-034.pdf>> Acesso em: 20 abr 2009.

PEYNEAU, Glauco Ogioni Rodrigues. **Tratamento dos resíduos provenientes das serragens de granito através da implantação do filtro-prensa.** In: XXIV ENEGEP Florianópolis, SC, Brasil, 03 a 05 de novembro de 2004. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEgEP2004\\_Enegep1004\\_0259.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEgEP2004_Enegep1004_0259.pdf)> Acesso em: 21 abr 2009.

RIBEIRO, Luiz Gonzaga. **Introdução a Tecnologia Têxtil**. Rio de Janeiro: SENAI/CETIQT, 1984. Volume II.

ROMANO, Luiz Paulo Camargo Vieira. **Evolução Tecnológica da Fiação**. ITMA Preview Fiação, 2003. Disponível em: [www.icetiqt.senai.br/dcb/novox/port/informacao/iptm/ITMA2003\\_Fiacao.PDF](http://www.icetiqt.senai.br/dcb/novox/port/informacao/iptm/ITMA2003_Fiacao.PDF)  
Acesso em: 20 abr, 2009.

SANTIAGO JUNIOR, Gilberto Rocha. **Estudo sobre a utilização de resíduos do beneficiamento do alumínio como matéria-prima cerâmica**. Fortaleza, Ce, 2008. Dissertação de mestrado. Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará.

SCHLAFHORST, Saurer. **Funis de saída Belcoro- Advanced Edition**. Customer Support. Setembro, 2004.