



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE MARABÁ
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**INCORPORAÇÃO DE REJEITO DE MARMORARIA EM
FORMULAÇÕES DE CERÂMICAS ARGILOSAS**

Ana Cássia Galdino Queiroz

MARABÁ
2011

Ana Cássia Galdino Queiroz

**INCORPORAÇÃO DE REJEITO DE MARMORARIA EM
FORMULAÇÕES DE CERÂMICAS ARGILOSAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Elias Fagury Neto.

MARABÁ

2011

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca II da UFPA. CAMAR, Marabá, PA

Queiroz, Ana Cássia Galdino

Incorporação de rejeito de marmoraria em formulações de cerâmicas argilosas / Ana Cássia Galdino Queiroz ; orientador, Elias Fagury Neto. — 2011.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Marabá, Faculdade de Engenharia de Materiais, Marabá, 2011.

1. Cerâmica (Tecnologia). 2. Mármore - Indústria - Eliminação de resíduos. 3. Resíduos industriais - Reaproveitamento. I. Fagury Neto, Elias, orient. II. Título.

CDD: 22. ed.: 666.3.

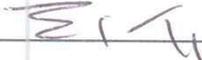
ANA CÁSSIA GALDINO QUEIRÓZ

**INCORPORAÇÃO DE REJEITO DE MARMORARIA EM FORMULAÇÕES DE
CERÂMICAS ARGILOSAS**

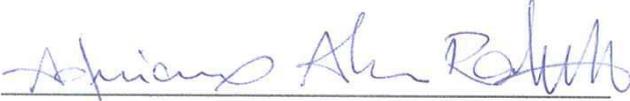
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao departamento de Engenharia de Materiais
da Universidade Federal do Pará como parte
dos requisitos para obtenção do título de
graduação em Engenharia de Materiais,
orientado pelo Prof. Dr. Elias Fagury Neto

Defendido e aprovado em: 09/12/2011

Banca examinadora:



Prof. Dr. Elias Fagury Neto – Orientador
Faculdade de Engenharia de Materiais



–
Prof. Dr. Adriano Alves Rabelo
Faculdade de Engenharia de Materiais



Prof. Dra. Rosane Maria Pessoa Betâncio Oliveira
Faculdade de Engenharia de Materiais

Aos meus amados pais e ao meu noivo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à DEUS, que foi meu maior porto seguro. Foi ele o responsável por toda coragem que eu precisava para ir além dos meus limites nestes cinco anos dedicados à Engenharia e não me deixou faltar forças para ir até o final e quebrar as barreiras.

Aos meus PAIS Raimundo e Lina Rosa. Ambos são responsáveis por cada sucesso obtido e cada degrau avançado para resto da minha vida. Durante todos esses anos eles foram para mim um grande exemplo de força, coragem, perseverança e energia infinita para nunca desistir diante do primeiro obstáculo encontrado. Obrigada por estarem sempre comigo. Obrigada simplesmente por participarem comigo durante essa caminhada, me ajudando a construir os alicerces de um futuro que começa agora.

Ao meu noivo Raylon Araújo pelo apoio incansável, paciência inesgotável e amor inacabável.

Ao professor Elias Fagury Neto por sua dedicação, pelos conhecimentos transmitidos ao longo da execução deste trabalho.

À minha tia Conceição pela amizade e ajuda durante este ano. Às minhas ilustres amigas Elaine Gonçalves (Keka), Elza Gouveia (Biscoito Fino), Beatriz e Gilda Moreira pelos momentos de tensão e de alegria que passamos juntas, meu sincero agradecimento. Sem vocês tudo seria mais difícil.

A todos aqueles que durante esta caminhada deixaram lembranças, incentivos e alegrias.

Simplemente obrigada.

"Aqui, no entanto, nós não olhamos para trás por muito tempo. Nós continuamos seguindo em frente, abrindo novas portas e fazendo coisas novas, porque somos curiosos e a curiosidade continua nos conduzindo por novos caminhos. Seguir em frente."

Walt Disney

RESUMO

A extração de rochas ornamentais vem aumentando significativamente a fim de atender a construção civil. A presença dos rejeitos dessas rochas no ambiente pode causar assoreamento dos rios, doenças respiratórias nos seres vivos entre outros problemas. Baseado nisso e com a preocupação constante da preservação do meio ambiente, a utilização de rejeitos industriais como aditivos na fabricação de produtos cerâmicos vem despertando um crescente interesse dos pesquisadores nos últimos anos e está se tornando uma prática comum. Este trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades das formulações de massas argilosas incorporadas com rejeito de marmoraria em diferentes porcentagens, destacando suas propriedades físicas e mecânicas. Os materiais utilizados foram: argila, caulim *in natura* e rejeito de marmoraria. Foram analisadas 4 (quatro) formulações diferentes, sendo que a primeira não teve adição de rejeito para efeito de comparações. A metodologia usada nas formulações consiste em adicionar à massa de cerâmicas argilosas frações de rejeito de marmoraria, resultando numa consistência adequada para confecção de corpos de prova por prensagem. Os resultados evidenciam vantagens da adição desse rejeito na formulação de produtos para revestimento, caracterizada por um significativo aumento das propriedades.

Palavras-chave: Rejeito de Marmoraria, Cerâmicas Argilosas, Propriedades Físicas e Mecânicas.

ABSTRACT

The extraction of ornamental stones has been increasing significantly to support construction industry. The presence of tailings in the environment of these rocks can cause siltation of rivers, respiratory diseases in living and among other problems. Based on this fact with the constant concern of environmental preservation, the use of industrial wastes as additives in the ceramic products production has been attracting a considerable interest from researchers in recent years and is becoming a common practice. This study aimed to evaluate the properties of ceramic bodies with marble quarrying tailings in different proportions, highlighting their physical and mechanical properties. The used materials were Clay, Kaolin and marble waste. It was analyzed 4 (four) different formulations, being the first one did not have waste addition for the comparison. The methodology used in the formulations is to add fractions of marble tailing into the clay, resulting in a consistency suitable for fabrication of specimens pressed. The results show the advantages of adding these wastes, characterized by a significant increasing in properties with the addition of the load.

Keywords: Marble Waste, Clay, Kaolin, Ceramics Properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Extração de rochas ornamentais no Brasil	17
Figura 2	Em (A) Extração do mármore; (B) Rocha de mármore; e (C) Mesa para decoração em mármore	18
Figura 3	Em (A) Extração de granito; (B) Rocha de granito; e (C) Pia para lavabo em granito	20
Figura 4	Em (A) sobras do corte das rochas e (B) lama de rejeito	24
Figura 5	Argilas em diferentes tonalidades	28
Figura 6	Caulim <i>in natura</i>	29
Figura 7	Fluxograma da metodologia experimental adotada	30
Figura 8	Corpos de prova a verde após prensagem	33
Figura 9	Corpos de prova após sinterização; (A) 900°C; (B) 1000°C; (C) 1100°C e (D) 1200°C.	34
Figura 10	Ensaio para determinação do módulo de ruptura à flexão	36
Figura 11	Retração Linear em função da temperatura de queima	37
Figura 12	Absorção de água em função da temperatura de queima	38
Figura 13	Densidade aparente em função da temperatura de queima	39
Figura 14	Porosidade aparente em função da temperatura de queima	40
Figura 15	Perda ao fogo em função da temperatura de queima	41
Figura 16	Módulo de Ruptura à Flexão dos corpos de prova sinterizados em função do teor de rejeito e da temperatura de sinterização	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Distribuição da produção de rochas por regiões e estados brasileiros	16
Tabela 2	Análise química das amostras de lamas residuais	25
Tabela 3	Impactos ambientais causados pela exploração de rochas ornamentais	26
Tabela 4	Formulações utilizadas na confecção dos corpos de prova	32

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	9
1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1. OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. REVISÃO DA LITERATURA	15
3.1. AS ROCHAS ORNAMENTAIS	15
3.1.1. Mármore	17
3.1.2. Granito	19
3.1.3. Outras rochas	20
3.2. BENEFICIAMENTO DAS ROCHAS	21
3.3. ORIGEM DOS REJEITOS	24
3.4. IMPACTOS AMBIENTAIS	25
3.5. ARGILA	27
3.6. CAULIM	28
4. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	30
4.1. MATÉRIAS PRIMAS	31
4.1.1. Rejeito de Marmoraria	31
4.1.2 Argila	31
4.1.3 Caulim	32
4.2. PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	32
4.3. CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	34

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
6. CONCLUSÃO	43
SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	45
REFERÊNCIAS	46

1. INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais abrangem os tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados através de esquadrejamento, polimento, lustro, etc. Seus principais campos de aplicação são os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas, soleiras, entre outros (CHIOD FILHO, 2004). São basicamente classificados em mármore e granitos, pois estas duas classes respondem por 90% da produção mundial do setor. Os demais tipos são as ardósias, quartzitos, pedra sabão, serpentinitos, basaltos e conglomerados naturais (SPINOLA, 2004).

As Marmorarias produzem enormes quantidades de resíduos em forma de lama, formada por finos a partir do processo de recorte, polimento e lustro de peças, confeccionadas a partir das chapas de mármore. Esta lama residual é um rejeito que se tornou um problema ambiental pela quantidade produzida. Em forma de lama é constituído principalmente de carbonato de cálcio, um mineral muito utilizado como carga em polímeros para aumentar a estabilidade térmica e dimensional, além de diminuir custo de matéria-prima para confecção de peças plásticas. De maneira específica, a norma brasileira NBR 10004 caracteriza como resíduos sólidos, todos os resíduos, no estado sólido e semi-sólido, que resultam de atividade da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviço e de varrição. Como consequência, gera uma enorme quantidade de efluentes, perfazendo toneladas de rejeito sólido por ano. Este material pode alcançar rios, lagos, córregos e até mesmo os reservatórios naturais de água, pois eles são lançados no ecossistema sem nenhum tratamento prévio. Além disso, a polpa afeta a paisagem esteticamente, necessita-se de grande espaço para a sua estocagem, e o alto custo do recolhimento e armazenamento. Ressalta-se, ainda, que este rejeito (lama) quando seco constitui-se num pó fino que provoca danos à saúde humana.

A construção civil é o ramo da atividade tecnológica que, pelo volume de recursos naturais consumidos, parece ser o mais indicado para absorver rejeitos sólidos, como os das rochas graníticas ornamentais. O reaproveitamento de resíduos, de maneira integral ou como coadjuvante em ramos industriais cerâmicos, que englobam em grande parte a construção civil, pode contribuir para diversificar a

oferta de matérias-primas para produção de componentes cerâmicos e reduzir os custos da construção civil, o que é de vital importância, principalmente em um país com elevado déficit habitacional como o Brasil.

Esta problemática ambiental tem despertado nos últimos anos grande interesse no Brasil. As leis de controle ambiental tornaram-se mais severas e os órgãos de fiscalização ambiental tornaram-se mais eficientes. Por outro lado, os custos de disposição de rejeitos de forma ecologicamente correta são elevados. Isto tem motivado a busca de alternativas tecnológicas viáveis para a disposição de rejeitos industriais.

As razões citadas acima motivam empresas e centros de pesquisas a encontrarem alternativas na eliminação desse material e/ou no seu aproveitamento em outros processos. Procura-se, desta forma, a obtenção de produtos de qualidade, transformando o conceito de “rejeito” em matéria-prima que agregue qualidade à cadeia produtiva. Além disso, preserva-se o meio ambiente, seja pela redução de disposição de rejeitos em depósitos ou pela redução de consumo de matérias primas não renováveis.

Numa tentativa de melhoria do ambiente onde são depositados os rejeitos e possíveis aplicações para os mesmos nos diversos setores de produção, foram desenvolvidas formulações cerâmicas com incorporação de rejeito de marmoraria, avaliando suas propriedades. Uma das possíveis aplicações para essa matéria-prima alternativa é seu uso como revestimento cerâmico.

Trabalhos reportados na literatura têm demonstrado o potencial da utilização de rejeitos de rochas ornamentais, particularmente de mármore e granito, no desenvolvimento de produtos cerâmicos para construção civil. Os termos mármore e granito são muito genéricos, e sendo assim, os rejeitos variam de empresa para empresa. Ressalta-se também que a reutilização contribui para a diminuição do consumo de matérias-primas naturais, resultando em ganhos ambientais e econômicos. Estudos dessa natureza são cada vez mais necessários, já que a quantidade desta lama vem aumentando significativamente no país.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar a viabilidade da incorporação de rejeito de rochas ornamentais em formulações de cerâmicas argilosas.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Estudar as vantagens da adição de rejeito de marmorarias nas formulações de cerâmicas argilosas;
- 2) Avaliar experimentalmente as propriedades físicas (porosidade aparente, absorção de água, densidade aparente, retração linear de queima, perda ao fogo) e mecânicas (módulo de resistência à flexão em três pontos);
- 3) Comparar os resultados das formulações com a norma NBR 13818;

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. AS ROCHAS ORNAMENTAIS

São diversos os tipos litológicos de rochas empregadas na construção civil. Quando observadas suas origens, tanto as rochas ígneas, como as sedimentares e as metamórficas com propriedades físicas que atendam às determinações contempladas nos ensaios de caracterização tecnológica, são comumente utilizadas como ornamentais.

No Brasil, conforme Tabela 1, existem dezessete estados produtores de rochas ornamentais. Observa-se que apesar das reduzidas proporções territoriais do Espírito Santo, este é responsável por 43% da produção de rochas ornamentais, sendo estas constituídas de mármore e granito. Em segundo lugar encontra-se o estado de Minas Gerais com 27% e a Bahia com 6%.

Tabela 1 - Distribuição da produção de rochas por regiões e estados brasileiros.

Região	Estado	Produção (mil t)	Tipo de Rocha
Sudeste	ES	3.000	Granito e Mármore
	MG	1.850	Granito,mármore e outras rochas ornamentais
	RJ	250	Granito,mármore e outras rochas ornamentais
	SP	50	Granito e outras rochas ornamentais
Nordeste	BA	400	Granito,mármore e outras rochas ornamentais
	CE	360	Granito e outras rochas ornamentais
	PB	120	Granito e outras rochas ornamentais
	PE	80	Granito
	AL	40	Granito
	RN	40	Granito e Mármore
Norte	PI	90	Outras rochas ornamentais
	RO	30	Granito
Sul	PA	10	Granito
	PR	200	Granito,mármore e outras rochas ornamentais
Centro-Oeste	RS	100	Granito e outras rochas ornamentais
	SC	110	Granito e outras rochas ornamentais
Total		6900	

Fonte: CHIODI FILHO (2005).

Conforme a classificação do mercado, os principais tipos de rochas ornamentais são os mármore e os granitos. No entanto, outras rochas estão presentes neste campo, como travertinos, quartzitos, arenitos, conglomerados,

ardósias, etc. Esta maior importância dos granitos e mármore e decorrente do volume de sua extração, como mostra a Figura 1:

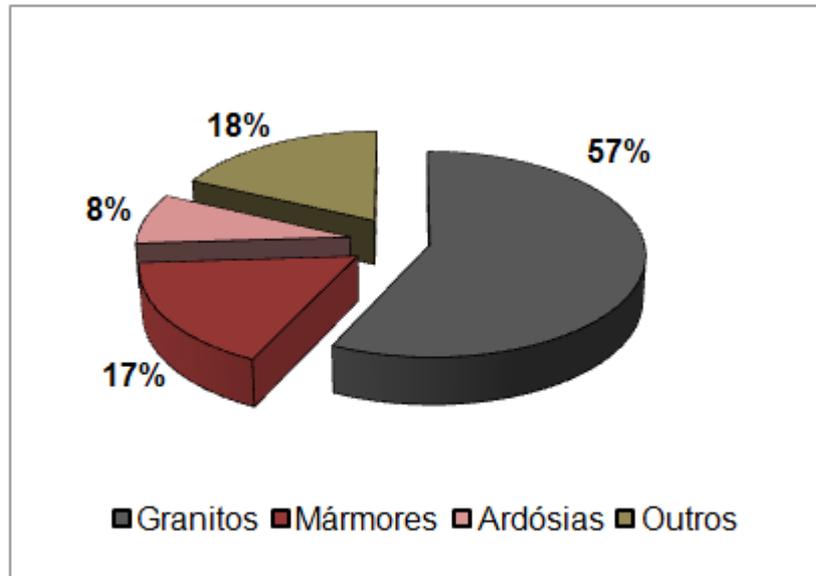


Figura 1: Extração de rochas ornamentais no Brasil (CHIODI FILHO, 2005).

3.1.1 Mármore

O mármore é uma rocha metamórfica proveniente do calcário e dependendo da composição de seus minérios pode apresentar variadas cores como rósea, branca, esverdeada ou preta. Sua composição mineralógica principal é a calcita, aragonita, dolomita e em menor quantidade, encontram-se quartzo, pirita, anfibólios, diopsídio, entre outros. Sua composição química é carbonática (calcítica à magnésiana) e tem textura granoblástica (DANA, 1970).

Recebe o nome de rocha metamórfica porque é formada a partir da transformação físico-química sofrida pelo calcário a altas temperaturas e pressão. Isto explica porque as maiores jazidas de mármore se encontram em regiões de atividade vulcânica e que possuem a rocha matriz calcária.

O grau metamórfico juntamente com a composição química do mineral é que moldam a rocha dando variadas cores e texturas, e fazem do mármore um material rentável na indústria de rochas ornamentais. Pode ser usado em decorações, na confecção de objetos ornamentais e esculturas. Pode ainda ser usado em

construções civis na fabricação de objetos para uso domiciliar como mesas, pias e pisos.

Em nosso país, as maiores concentrações de mármore estão no estado do Espírito Santo, sendo este também o maior produtor de rochas ornamentais do país. A história da mineração do Mármore, no Espírito Santo, surgiu com o início das atividades de fábricas de cimento, mas a utilização do calcário e sua mineração são desde 1878, quando era usado para a fabricação de cal, tijolos e telhas

No que diz respeito às suas propriedades físicas, vale dizer que este é um material “mole”, que apresenta uma dureza, ou seja, resistência ao risco, sensivelmente baixa, se comparado, por exemplo, aos granitos. Além disso, é um material que apresenta veios mais evidentes e grande porosidade, por isso suscetível a manchas e desgaste.

A Figura 2 ilustra a extração do mármore e um produto acabado:

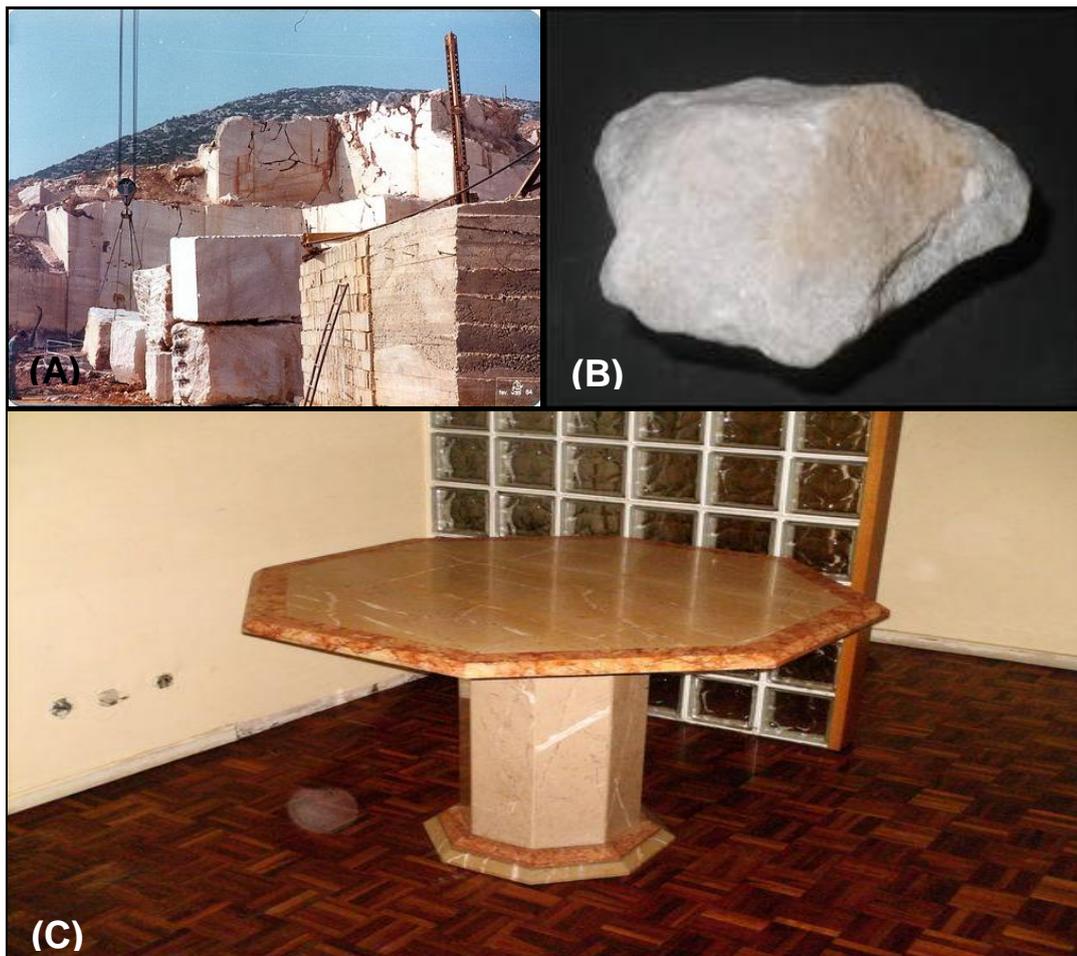


Figura 2: Em (A) Extração do mármore; (B) Rocha de mármore; e (C) Mesa para decoração em mármore.

(FONTE: <http://www.3dmarmoraria.com.br/trabalhos>)

3.1.2. Granito

O granito é uma rocha ígnea de grão fino, médio ou grosseiro, composta essencialmente por quartzo e feldspatos, tendo como minerais característicos freqüentes moscovita, biotita e/ou anfíbolas. A composição mineralógica dos granitos é definida por associações muito variadas de quartzo, feldspato, micas (biotita e/ou moscovita), anfíbolas (sobretudo hornblenda), piroxenas (augita e hiperstena) e olivina. Alguns desses constituintes podem estar ausentes em determinadas associações mineralógicas, anotando-se diversos outros minerais acessórios em proporções bem mais reduzidas. Quartzo, feldspatos, micas e anfíbolas são os minerais dominantes nas rochas graníticas e afins (MELLO, 2006).

Macroscopicamente, o quartzo é reconhecido como mineral incolor, geralmente translúcido, muito comum nos granitos. Os feldspatos (microclina, ortoclásio e plagióclasio), são os principais condicionantes do padrão cromático das rochas silicáticas, conferindo as colorações avermelhada, rosada e creme-acinzentada a estas rochas.

De acordo com PACHECO *et al.* (2009), as propriedades dos granitos são:

- Estrutura maciça;
- Granulometria com grãos consideravelmente grandes, se comparados aos das rochas vulcânicas;
- Elevada dureza por ser composto de quartzo e feldspato;
- Densidade de 2,56 g/cm³;
- Absorção de água/porosidade relativamente baixas (da ordem de 0,4%);
- Resistência à compressão em torno de 131MPa (mais resistente do que o mármore) e resistência à flexão em torno de 8MPa (um pouco maior que a do mármore).

Vale ressaltar que, comercialmente, é um grupo de várias rochas ígneas e metamórficas, com características similares à do granito, como o riolito, diorito, sienito, gabro, o quartzito. Entretanto, somente o granito propriamente dito é abordado neste item, já que todos os outros citados têm características similares.

O granito é utilizado como rocha ornamental e na construção civil. Para o setor de pedras ornamentais e de revestimento, o termo granito designa um amplo

conjunto de rochas silicatadas, abrangendo monzonitos, granodioritos, charnockitos, sienitos, dioritos, doleritos, basaltos e os próprios granitos. A Figura 3 mostra desde a extração desta rocha até um determinado produto final:



Figura 3: Em (A) Extração de granito; (B) Rocha de granito; e (C) Pia para lavabo em granito.

(FONTE: <http://www.3dmarmoraria.com.br/trabalhos>)

3.1.3. Outras rochas

Além das rochas comercialmente conhecidas como as duas rochas descritas nos itens anteriores, há uma gama de outras rochas que, mesmo com menor valor agregado, fazem parte das conhecidas “rochas ornamentais”, com destaque para os quartzitos, arenitos, ardósias e conglomerados.

Os quartzitos e arenitos são rochas compostas essencialmente por quartzo, tendo assim alta resistência ao risco (dureza Mohs 7) e ao desgaste abrasivo. Em razão de sua gênese (sedimentar), os arenitos são normalmente mais porosos e menos resistentes do que os quartzitos (metamórficos).

As ardósias são rochas metamórficas compostas essencialmente de mica (muscovita-sericita), quartzo e clorita. Devido à sua orientação planar preferida de minerais placóides, estas rochas partem-se segundo superfícies notavelmente planas. Podem ser encontradas nas cores cinza, verde, preta, roxa e ferrugem.

Os conglomerados são também rochas sedimentares que se diferem dos arenitos por apresentar constituintes de maior diâmetro (superior a 2 mm). Tais constituintes, referidos como seixos e grânulos, compõem-se basicamente de fragmentos de quartzo e tipos variados de rocha. Os conglomerados utilizados como rocha ornamental geralmente se acham afetados por metamorfismo, o que lhes confere maior coesão entre os grãos e maior resistência mecânica (ROBERTA, 2006).

3.2. BENEFICIAMENTO DAS ROCHAS

O processo de industrialização de rochas ornamentais é dividido em duas etapas: o beneficiamento primário, que consiste nas serragens ou desdobramento de blocos, que são os cortes feitos nos blocos e o beneficiamento secundário, que abrange todos os processos de caracterização dimensional, de conformação e especificação do produto final. Nessa etapa da produção as placas, que já foram cortadas, passam pela seguinte ordem de acabamento: inicialmente é feito o levigamento das chapas (1º polimento), em seguida a placa vai ao forno para secagem, e é imediatamente seguido pela resinagem a vácuo, passa novamente pelo forno para secagem da resina, e depois a placa é polida, só então é feito o recorte nas bordas da chapa para aparar as pontas, e o processo é finalizado com a enceragem. Esse acabamento superficial é o que ressalta a coloração, a textura e a aparência do material (MENEZES *at al.*, 2002).

As operações do processo de polimento e lustro das placas de rochas reduzem a rugosidade da superfície serrada para intensificar e ressaltar o brilho.

Isso é feito por meio de elementos abrasivos que, conduzidos em movimentos de fricção sobre o material vão desgastando o mesmo até que o polimento atinja a aparência desejada.

Esta atividade produz o fechamento dos grãos minerais ou cristais que formam as rochas criando uma superfície lisa, brilhosa, opaca e mais impermeável, comparado a uma face natural da mesma rocha. O processo é todo realizado em meio úmido, utilizando água como elemento de refrigeração. A vazão desta água é importante, pois esta determina o consumo de abrasivos e pode minimizar, e até evitar, a perda da qualidade do polimento. As politrizes manuais (um cabeçote), politrizes de ponte (um a dois cabeçotes) e politrizes multicabeçotes (cinco a vinte cabeçotes), são os equipamentos mais utilizados no polimento, por serem linhas de politrizes mais modernas e eficientes, que possibilitam o processamento de chapas de até 10 a 15 cm de espessura e 2 m de largura (PACHECO *et al*, 2009).

O lustro é aplicado no sentido de se imprimir brilho à superfície da chapa, produzido pelo espelhamento das faces dos cristais constituintes da rocha. Outros dois tipos de acabamento superficial são o apicoamento e flameamento. Essa técnica produz um efeito estético diferente do polimento buscando explorar as várias características das rochas ornamentais através de diferentes tratamentos.

O apicoamento é o processo que submete a chapa ao impacto de um martelo pneumático de percussão, com uma ferramenta específica na sua extremidade que, dependendo do seu desenho, confere um tipo de rugosidade e, conseqüentemente, uma aparência diferente à superfície trabalhada. Já o flameamento é obtido através de um processo de choque térmico a que o material é submetido, mediante uma chama de alta temperatura (cerca de 3000 °C) dirigida a sua superfície por um maçarico a gás, com chamas simples ou múltiplas, seguida, instantaneamente, de um resfriamento com água. Este choque térmico provoca uma espécie de descamação e vitrificação da superfície, conferindo-lhe um aspecto muito particular. Observa-se que, para muitos tipos de materiais, os resultados do flameamento não são satisfatórios e que esta técnica é mais indicada para granitos. O flameamento não é recomendável em chapas com menos de 3 cm de espessura, a não ser que a aplicação de água seja efetuada na face oposta à da chama (PACHECO *et al*, 2009).

Esses acabamentos são fundamentais na exploração das características de coloração, beleza e aplicação do material como rocha ornamental.

Em resumo, os acabamentos finais podem ser destacados assim:

- Polido - Liso e brilhante, feito a partir de lustração tanto em mármore como granito. É escorregadio em contato com a água;
- Bruto - Sem nenhum tipo de acabamento, se apresenta com as características naturais. É serrado nas dimensões e espessuras usuais ou sob encomenda;
- Flamejado - Feito a base de fogo, dá um aspecto rugoso e ondulado. É indicado somente para granitos com espessura igual ou superior a 2,0 cm. Por isso, é indicado para áreas externas devido às propriedades antiderrapantes;
- Apicoado - Feito a partir de impactos, dá um aspecto poroso e uniforme às pedras. É indicado somente para granitos com espessura igual ou superior a 2,0 cm e para áreas externas devido às propriedades antiderrapantes;
- Jateado - É feito a partir de jatos de areia, que dão aspecto opaco às pedras. Usado tanto em mármore e granito e indicado para áreas externas;
- Levigado - Usado tanto em mármore como em granito, trata-se de um acabamento semi-polido, adequado a áreas internas e externas.

Após o beneficiamento, as placas podem ter destinos variados. Algumas são exportadas e outras são compradas pelo mercado interno. O principal destino das placas no mercado interno são as marmorarias que transformam as placas no produto final solicitado pelo cliente. Nessas marmorarias o cliente especifica o projeto e solicita o tipo de mármore ou granito e seu destino.

Normalmente, apresentam uma máquina que faz o corte inicial e outra de acabamento reto. Já o acabamento arredondado é moldado manualmente com o uso de uma máquina. Quando necessário, placas são coladas com cola plástica ou resina pigmentadas com a cor do granito ou mármore (PACHECO *et al.*, 2009).

3.3. ORIGEM DOS REJEITOS

O processo de extração e beneficiamento de mármore e granitos segue o mesmo princípio de todas as demais rochas ornamentais. Há uma extração dos blocos das pedreiras, onde se verifica uma grande quantidade de perdas que são os rejeitos grossos, sem condições de serem comercializados. Os blocos são então cortados a úmido e beneficiados em serrarias de rochas ornamentais, onde se observa a formação de uma lama de granulometria fina, composta essencialmente de água, granalha (ferro) e rocha moída e que, geralmente, é depositada em rios ou córregos próximos às serrarias, causando um grande impacto ambiental, como assoreamento dos rios, gerando a mortandade de peixes, afetando o gado que consome desta água e, indiretamente, a população que depende da pesca e do gado (PINHEIRO, 1996). Na Figura 4 são ilustradas as sobras do corte das rochas e a lama de rejeito, ambos obtidos após o beneficiamento das rochas:



Figura 4 – Em (A) sobras do corte das rochas e (B) lama de rejeito (FONTE: <http://www.ufjf.br/ambienteconstruido>).

No entanto, a composição dessa lama é de extrema riqueza mineral, uma vez que, após a secagem da água e a separação da granalha, obtém-se um pó de rocha, composto geralmente por carbonatos de magnésio e/ou cálcio que pode ser utilizado em alguns setores da indústria e não ser descartada na natureza (CARRISSO *et al.*, 2005).

Em geral, resíduos de mármore e granito apresentam um comportamento não plástico e, tal como a maioria dos materiais cerâmicos tradicionais, seus

constituintes químicos majoritários, expressos na forma de óxidos, são a sílica (SiO_2) e a alumina (Al_2O_3), seguidos pelo CaO e os óxidos alcalinos (Na_2O , K_2O). A Tabela 2 representa melhor a composição química desse material:

Tabela 2 – Análise química das amostras de lamas residuais.

(%)	P.F.	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Na_2O	K_2O
LAMA	41,44	5,78	0,31	0,21	0,06	41,31	9,37	0,01	0,17

Fonte: MELLO (2005).

O Brasil, grande detentor de reservas de mármore e granitos, necessita definir metas para que sirvam como exemplos e inovações internacionais. É de fundamental importância a implantação de uma política que concilie o aproveitamento racional dos recursos naturais e a utilização de novas tecnologias.

3.4. IMPACTOS AMBIENTAIS

Apesar de trazer conforto, requinte e sofisticação aos ambientes onde são empregadas as rochas ornamentais, muitos aspectos negativos também envolvem este tipo de material. Isto se deve ao fato de sua extração causar imenso impacto ao meio ambiente, destruindo reservas florestais, deteriorando o solo, destruindo nascentes, entre outros.

A Tabela 3 a seguir mostra claramente os prejuízos ambientais que a exploração de rochas ornamentais provoca:

Tabela 3 - Impactos ambientais causados pela exploração de rochas ornamentais.

Impacto	Descrição
Degradação paisagística	A remoção da vegetação bem como as cavas altera a paisagem criando imagens não agradáveis. Também podendo causar prejuízo econômico para a sociedade, quando são modificados ambientes antes considerados como atrativos turísticos naturais
Ruídos e vibração	O desmonte do material consolidado é promovido com o uso de explosivos, que resultam em ondas de choque capazes de gerar níveis de pressão sonora muito elevados e capazes de causar danos tanto a populações humanas em torno quanto à fauna local. Além dos ruídos das explosões, o próprio manejo e beneficiamento do material geram ruídos constantes também com valores elevados
Dispersão de particulados	Seja no momento das explosões ou durante o beneficiamento do material é grande a quantidade de particulados (na forma de poeira) que são lançados na atmosfera.
Poluição hídrica	A contaminação ocorre principalmente pelo carreamento de lamas oriundas do processo de manejo e beneficiamento, que quando carreados até um curso d'água, podem causar diversos danos, tais como: elevação do volume de sólidos em suspensão pode prejudicar a reprodução das espécies da fauna através da destruição de seus ovos e larvas via atrito. Além da mais grave que seria a contaminação química pelo carreamento de substâncias solúveis oriundas do material mineral em si ou usada no beneficiamento do mesmo.

FONTE: adaptado de SILVA (2007).

3.5. ARGILA

Uma das matérias primas cerâmicas mais largamente empregadas é a argila. Este ingrediente barato, encontrado na natureza em grande abundância, às vezes é usado na forma como foi encontrado, sem nenhuma melhoria de qualidade. Outra razão para sua popularidade reside na facilidade com que produtos de argila podem ser conformados. Quando misturados nas apropriadas proporções, argila e água formam uma massa plástica que é muito suscetível à conformação. A peça formada é seca para remover alguma umidade, depois é queimada numa temperatura elevada para melhorar sua resistência mecânica.

As argilas são materiais terrosos naturais que quando misturados com água apresentam alta plasticidade. São constituídas de partículas extremamente pequenas formadas por um número restrito de substâncias denominadas argilominerais. De acordo com a ABNT NBR 7181 as argilas são compostas de partículas coloidais de diâmetro inferior a 0,002 mm, com alta plasticidade quando úmidas e que, quando secas formam torrões dificilmente desagregáveis pela pressão dos dedos.

Os argilominerais são responsáveis por propriedades muito importantes nas argilas, tais como, plasticidade, viscosidade, tixotropia e resistência mecânica, que lhes permite um grande campo de aplicações tecnológicas. Os argilominerais representam os minerais dispersos nos sistemas argilosos. São compostos lamelares, onde o silício ocupa o centro de um tetraedro em cujos vértices estão átomos de oxigênio e compostos bidimensionais do alumínio – ou magnésio - oxigênio–hidroxila formando octaedros.

Os principais argilominerais presentes nas argilas são a caulinita, a montmorilonita, a illita, a clorita e a vermiculita. A presença dos diversos argilominerais e impurezas nas argilas influenciam na plasticidade, na água de moldagem e no comportamento durante a secagem e queima.

Além desses componentes mais freqüentes, as argilas podem apresentar diferentes teores de matéria orgânica, que é encontrada sob diversas formas e em pequenas proporções aumenta a plasticidades, facilita a moldagem, aumentando a resistência do produto a seco. Entretanto, quando em excesso, poderá causar, devido a grande contração, trincas na secagem e na queima. Um defeito muito

comum nas argilas que contém matéria orgânica é a formação de núcleos pretos, devido a difícil oxidação total durante a queima. A Figura 5 ilustra algumas argilas em diferentes tonalidades.

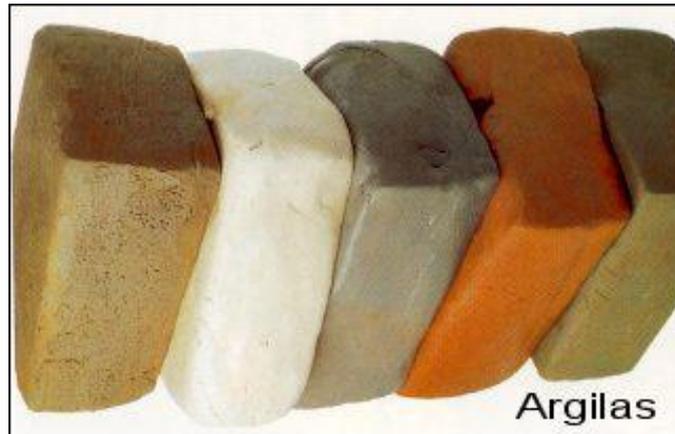


Figura 5: Argilas em diferentes tonalidades.
(FONTE: <http://www.eb23gervide.rcts.pt/evt/argilas.htm>)

3.6. CAULIM

O termo caulim é utilizado para denominar a rocha que contém a caulinita e também o produto resultante de seu beneficiamento. O nome caulim deriva da palavra chinesa *kauling*, que significa cume alto.

O caulim tem muitas aplicações industriais e novos usos estão constantemente sendo pesquisado e desenvolvido. É um mineral industrial de características especiais, porque é quimicamente inerte dentro de uma ampla faixa de pH; apresenta ótimo poder de cobertura quando usado como pigmento ou como extensor em aplicações de cobertura e carga; é macio e pouco abrasivo; possui baixas condutividades de calor e eletricidade; e seu custo é mais baixo que a maioria dos materiais concorrentes

De acordo com suas características, o caulim pode ser utilizado como pigmento, carga e cobertura na indústria de papel, matéria-prima para a indústria cerâmica (porcelana, azulejo, esmalte), matriz para catalisadores (craqueamento de

petróleo e dispositivo para exaustão de gases em automóveis), isolante elétrico, agente fortalecedor de borrachas e concretos, cobertura digestiva de remédios (fármacos). Além disso, o caulim pode ser usado na fabricação de cimento branco, pesticidas, vidros, adesivos, cosméticos, plásticos (LUZ, 1998). O uso desse mineral nos diferentes ramos industriais está relacionado às suas propriedades ópticas, mineralógicas e químicas. A ilustração do caulim *in natura* está representada na Figura 6:



Figura 6: Caulim *in natura*
(FONTE: <http://pt.wikipedia.org/wiki/caulinita>)

4. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Neste capítulo são apresentados os materiais e a metodologia utilizada, bem como os equipamentos e técnicas de caracterização. O fluxograma mostrado na Figura 7 ilustra o procedimento e a metodologia do trabalho.

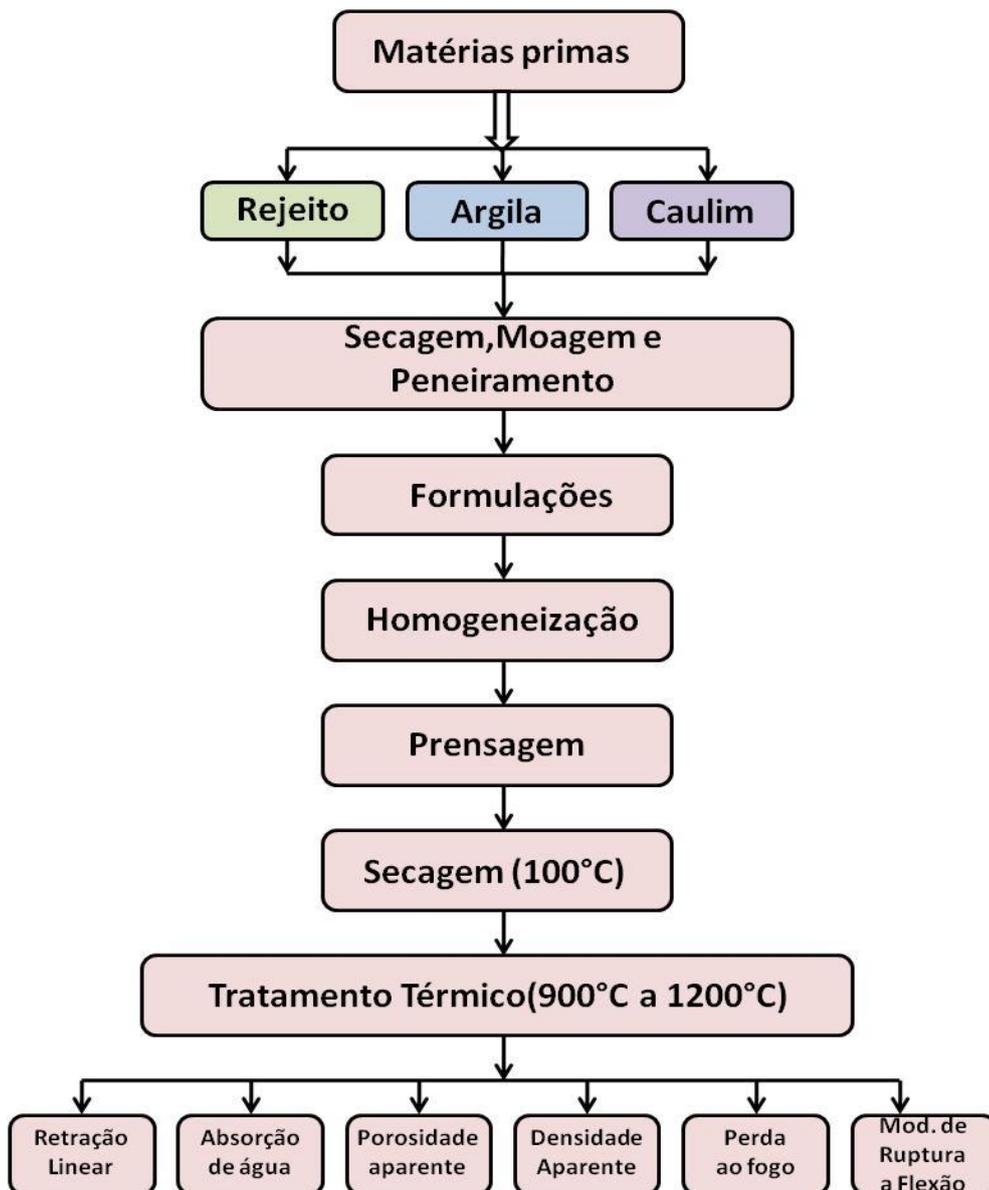


Figura 7: Fluxograma da metodologia experimental adotada

4.1. MATÉRIAS PRIMAS

Os materiais utilizados neste estudo foram os seguintes:

- Rejeito de marmoraria;
- Argila caulinitica;
- Caulim *in natura*.

4.1.1. Rejeito de Marmoraria

O rejeito de marmoraria utilizada neste trabalho foi fornecido pela empresa de pedras ornamentais Pedrasa Ltda, localizada no município de Marabá. A empresa comercializa produtos acabados e semi-acabados para várias regiões do Pará e destaca-se nesse ramo.

O resíduo foi coletado via úmido, seco ao ar livre por uma semana, desintegrado e peneirado.

4.1.2 Argila

A argila utilizada é proveniente do município de Itupiranga, região com enorme diversidade de argilas. A mesma foi coletada na forma de torrões e submetida a um processo de secagem em estufa a 100°C. Sua desintegração foi feita simplesmente em almofariz. Em seguida, foi peneirada em peneira 100 ABNT.

4.1.3 Caulim *in natura*

Essa matéria prima foi doada pela Empresa Rio Capim Caulim S.A. (RCC) de Barcarena-PA na forma de torrões médios. Foi submetido ao processo de desintegração e secagem em estufa a 100°C por 24 horas. Após esse período, foi novamente desintegrado em almofariz e peneirado. O peneiramento ocorreu manualmente por se tratar de um pó muito fino.

4.2. PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Inicialmente, foram elaboradas 4 (quatro) formulações diferentes denominadas F1, F2, F3 e F4, as quais estão representadas na Tabela 4. As respectivas misturas foram homogeneizadas por 1 hora em moinho de bolas (sem adição de água). Após esta etapa não foi necessário peneirá-las novamente.

Tabela 4 – Formulações utilizadas na confecção dos corpos de prova.

Formulação	Matérias primas (% em massa)		
	Argila	Caulim “in natura”	Rejeito (RM)
F1	60	40	0
F2	55	35	10
F3	50	30	20
F4	45	25	30

Os corpos de provas foram fabricados em molde de aço 60mmx20mm e prensados em uma prensa Marcon-H15, sob pressão de 4MPa para a compactação dos aglomerados, conferindo-lhes além da resistência mecânica a verde, a forma geométrica desejada. Após esta etapa pôde-se constatar que as amostras

apresentaram resistência a verde satisfatória, não apresentando nenhuma quebra ou fissura (Figura 8).



Figura 8 – Corpos de prova a verde após prensagem

A secagem foi realizada a 100°C em estufa de laboratório para remoção total da umidade da superfície das peças, onde, de acordo com VICENZI (1999), no caso de massas cerâmicas, a etapa de secagem é de fundamental importância, pois se as peças cerâmicas forem introduzidas excessivamente úmidas no forno, ao elevar-se a temperatura, rapidamente se produz uma evaporação brusca, a qual gera uma série de tensões na peça, o que leva a uma deterioração da resistência por meio de fissuras, trincas e em alguns casos explosões.

A sinterização foi feita em forno elétrico INTI-FE 1500 com razão de aquecimento de 10°C/min em temperaturas de 900°C, 1000°C, 1100°C e 1200°C. O tempo de permanência foi de 1 hora. O resfriamento ocorreu de forma natural, com as amostras dentro do forno desligado até alcançar a temperatura ambiente. Foram sinterizados 80 corpos de prova, sendo 20 para cada temperatura, como mostra a Figura 9.



Figura 9 – Corpos de prova após sinterização; (A) 900°C; (B) 1000°C; (C) 1100°C e (D) 1200°C.

4.3. CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Após a etapa de sinterização, os corpos de prova foram pesados em balança analítica e medidos com paquímetro digital com resolução de 0,01mm. Com isso foi possível determinar as seguintes características: retração linear (RL), absorção de água (AA), densidade aparente (DA), porosidade aparente (PA) e perda ao fogo (PF).

- **Retração Linear de queima (RT_q):** variação das dimensões lineares após queima em cada uma das temperaturas. A partir da Equação 1, pode-se calcular a retração linear de queima:

$$RLq(\%) = \frac{L_0 - L_f}{L_0} \times 100 \quad (1)$$

Onde: L_0 = comprimento inicial e L_f = comprimento final.

- **Absorção de Água (AA):** é o ganho em peso, expresso em porcentagem, que a peça apresenta quando introduzidas em água durante um período de tempo determinado. Essa propriedade é obtida a partir da Equação 2:

$$AA(\%) = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100 \quad (2)$$

Onde: P_u = peso úmido e P_s = Peso seco após queima

- **Porosidade Aparente (PA):** Volume aparente de poros em relação ao volume total do corpo. Conforme a Equação 3 o volume de poros em porcentagem pode ser calculada:

$$PA(\%) = \frac{P_u - P_s}{P_u - P_i} \times 100 \quad (3)$$

Onde: P_u = peso úmido; P_s = peso seco e P_i = peso imerso

- **Densidade Aparente (DA):** é dada pela razão entre a massa e o volume do mesmo, e a massa permanece constante durante a compactação e pode ser calculada pela Equação 4:

$$DA(g/cm^3) = \frac{PA}{AA} = \frac{P_s}{P_u - P_i} \quad (4)$$

Onde: P_s = peso seco após a queima ; P_u = peso úmido e P_i = peso imerso

- **Perda ao fogo (PF):** expressa a perda de massa na queima em relação à massa do corpo seco antes da queima. Através da Equação 5 pode-se determinar esta propriedade:

$$PF(\%) = \frac{P_{so} - P_{st}}{P_{so}} \times 100 \quad (5)$$

Onde: P_{so} = peso seco antes da queima e P_{st} = peso seco após queima.

Para obtenção do módulo de ruptura à flexão, as peças de cada queima foram submetidas ao ensaio de flexão em 3 pontos, utilizando o equipamento EMIC DL-100, numa velocidade de 0,5 mm/mim e distância entre os apoios de 50 mm, e usando o software de aquisição Tesc v.3.04, foi possível obter o gráfico com os dados referentes ao módulo de ruptura à flexão, módulo de elasticidade e força máxima que foi necessária para romper os corpos de prova. A Figura 10 representa o ensaio realizado.



Figura 10: Ensaio para determinação do Módulo de Ruptura à Flexão
(FONTE: <http://www.ceramicanorio.com.br>)

Para realizar o cálculo, utilizou-se a Equação 6:

$$MOR = \frac{3 \times F \times L}{2 \times b \times h} \quad (6)$$

Sendo:

MOR = Módulo de ruptura à flexão; (N/mm²);

F = força de ruptura (N);

L = distância entre as duas barras de apoio (mm);

b = largura do corpo-de-prova ao longo da ruptura após ensaio (mm);

h = altura do corpo de prova (mm)

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para avaliar as propriedades finais de cada formulação, foram realizados cálculos para determinação das propriedades tecnológicas as quais estão representadas nas Figuras 11, 12, 13, 14, 15 e 16.

A Figura 11 mostra o percentual da retração nas temperaturas pré-estabelecidas de 900°C a 1200°C. Os resultados referentes às curvas de RL_q obtidas por medidas de paquímetro apresentaram boa concordância entre si até a temperatura de 1000°C, apesar de algumas pequenas diferenças. A Formulação 1 (sem adição e rejeito) apresentou um percentual de 7,2% na retração linear da peça quando submetido a maior temperatura (1200°C). Em comparação a esta, a Formulação 4 (com 30% de rejeito de marmoraria) sofreu apenas 3,2% na retração na mesma temperatura, demonstrando que a quanto maior o percentual de rejeito na formulação, menor será a retração de queima

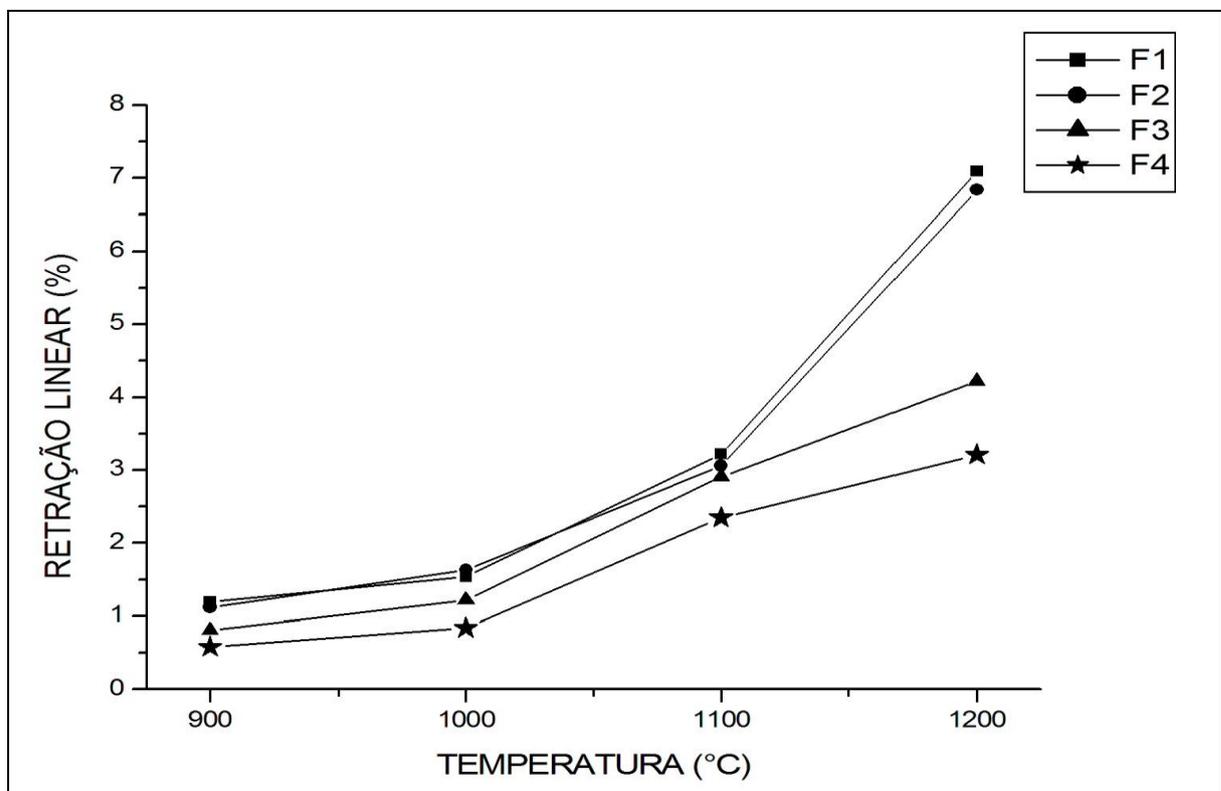


Figura 11 – Retração Linear em função da temperatura de queima.

A Figura 12 apresenta as curvas de absorção de água dos corpos de prova cerâmicos das quatro formulações nas temperaturas de sinterização estudadas. Todas as formulações não tiveram comportamento muito diferenciado entre si e apresentaram resultados satisfatórios para as temperaturas de 900°C a 1100°C, com variação da absorção de água entre 11,6% e 15,5%. No entanto, pode-se observar que os corpos de prova das três formulações com rejeito submetidos à temperatura de 1200°C ficaram entre 2,4 e 3,7% de AA, enquanto que a Formulação 1 apresentou 4,2%, demonstrando pouca variação. Todavia, nota-se que a adição de rejeito pouco interfere nos valores da absorção de água, visto que todas as curvas estão decrescentes com o aumento da temperatura.

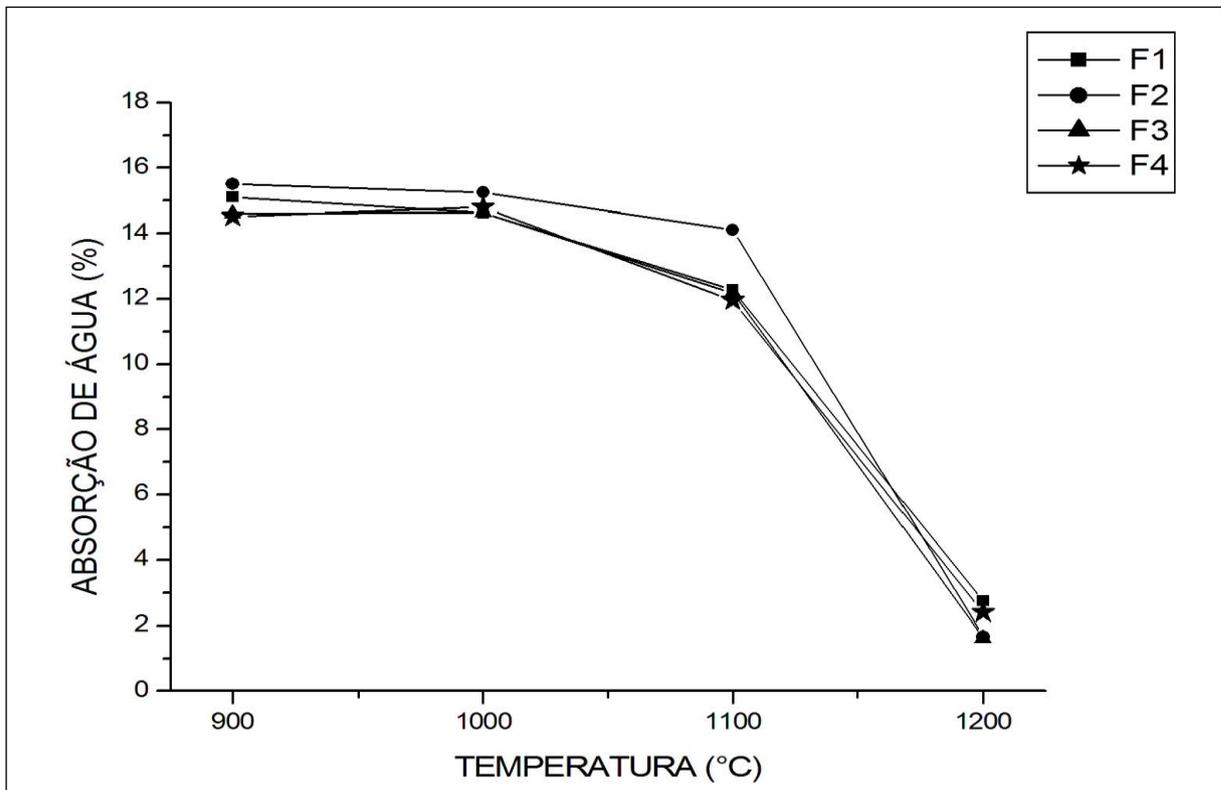


Figura 12 – Absorção de água em função da temperatura de queima.

As curvas de densidade das formulações estão representadas na Figura 13. Nota-se que todas apresentam densidade menor que $2,05 \text{ g/cm}^3$ nas primeiras temperaturas. Somente quando submetidas à temperatura de 1200°C é que se pode perceber uma pequena alteração. Para as Formulações 1 e 2, os resultados foram praticamente iguais ($2,38$ e $2,4 \text{ g/cm}^3$, respectivamente). A Formulação 3 permanece quase que inalterada em todas as temperaturas, com variação de apenas $0,11 \text{ g/cm}^3$ de 900°C a 1200°C . Com o aumento na adição de rejeito na Formulação 4, a densidade pouco diminuiu, apresentado valor de $1,8 \text{ g/cm}^3$ na maior temperatura. Os resultados demonstram a adição de rejeito nas formulações pouco influencia nesta propriedade.

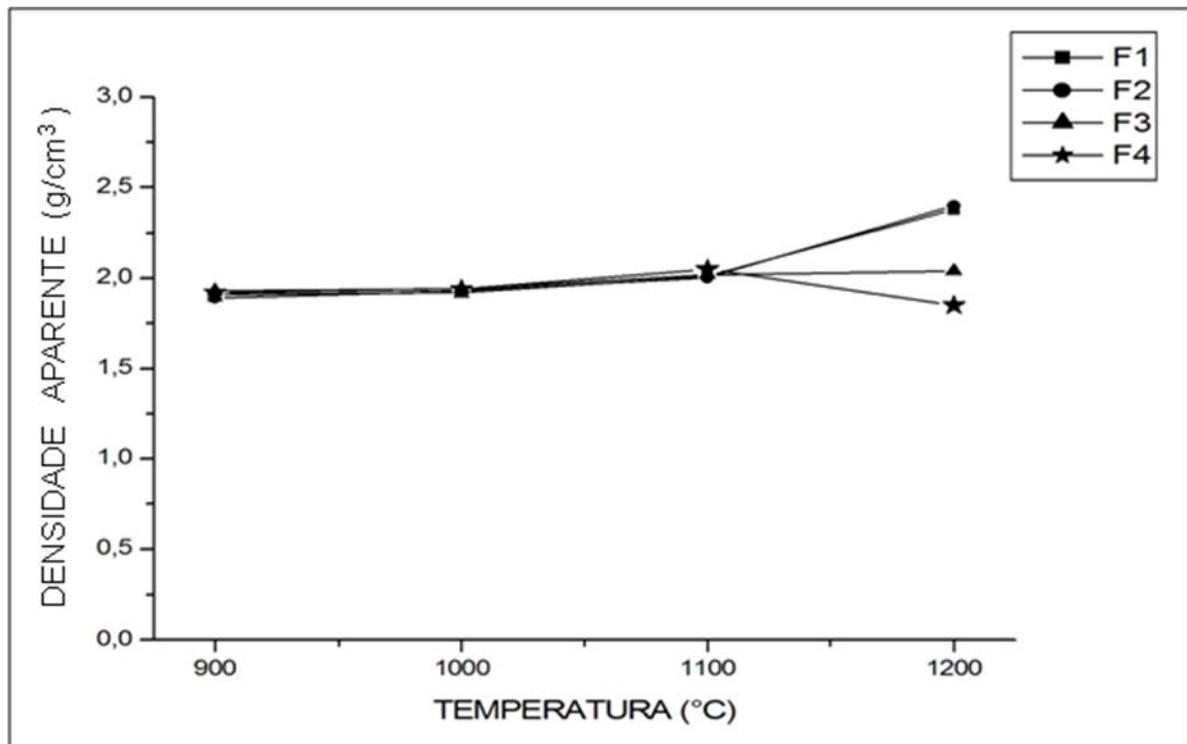


Figura 13 – Densidade aparente em função da temperatura de queima.

Os resultados de porosidade aparente dos corpos de prova cerâmicos estão apresentados na Figura 14. Pode-se notar que os valores de porosidade diminuem com o aumento tanto da temperatura como da concentração de rejeito. Esse comportamento pode ser atribuído a dois fatores: o primeiro diz respeito à melhor densificação do material, causada pelo aumento da temperatura de sinterização e o outro efeito é causado pela adição de caulim *in natura* nas formulações, pois este material forma uma fase vítrea que, devido à presença de fundentes, que atuam como esqueleto para os produtos, diminuindo bastante a porosidade. Durante a queima, as mudanças são devidas principalmente a alterações da temperatura de formação de fase líquida e da quantidade de fase líquida formada.

Como resultado, observa-se que a porosidade aparente diminuiu em todas as formulações com a elevação da temperatura de queima. As formulações com adição do rejeito apresentam menor porosidade.

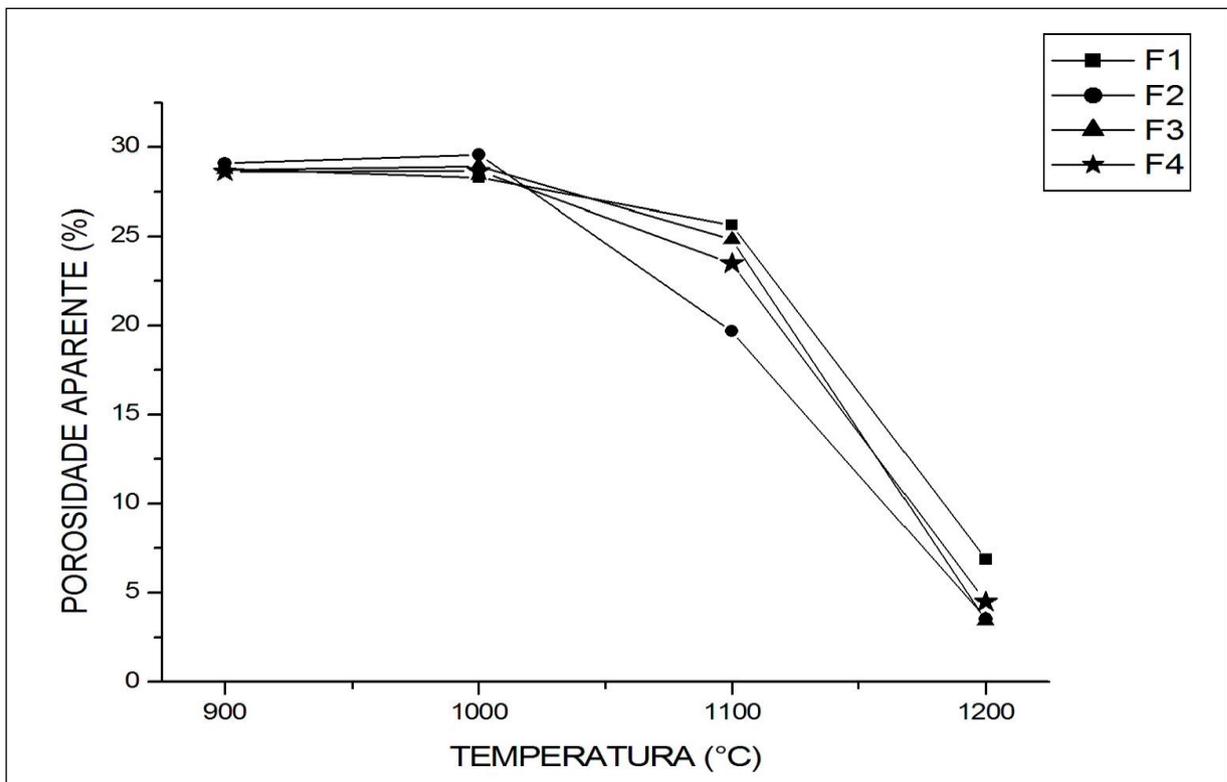


Figura 14 – Porosidade aparente em função da temperatura de queima.

Em relação à perda ao fogo, representada pela Figura 15, a Formulação 1 apresentou percentual menor que a Formulação 2 que já é incorporado com rejeito aos 1000°C. Com o aumento da temperatura e da adição de rejeito, os valores de perda da massa vão diminuindo. Esta se deve provavelmente à decomposição de minerais argilosos, assim como combustão da matéria orgânica. Já nas formulações com maior concentração de resíduo de marmoraria, a perda ao fogo é menor por conter menos massa argilosa.

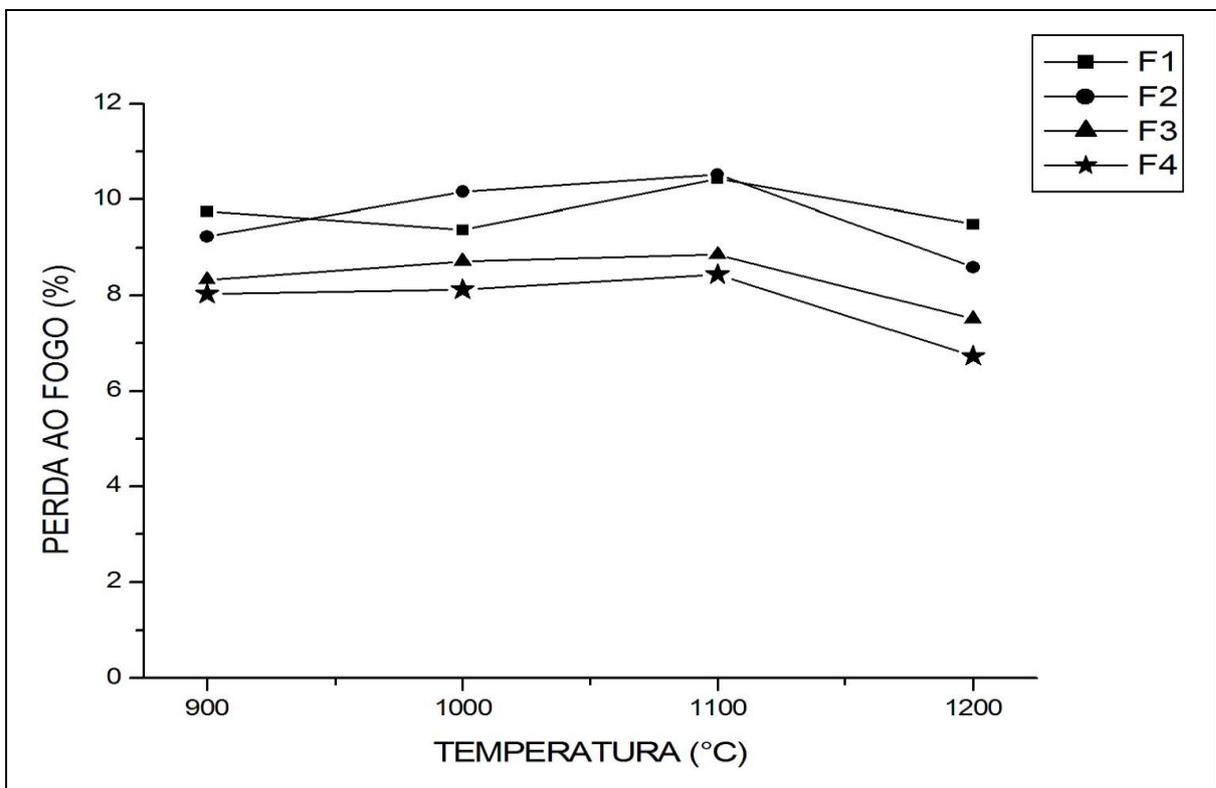


Figura 15 – Perda ao fogo em função da temperatura de queima.

A Figura 16 mostra a variação da tensão de ruptura à flexão dos corpos de prova em função da temperatura de sinterização e da concentração do rejeito de mármore e granito. Observa-se que a essa propriedade é fortemente influenciada pelo aumento da temperatura de queima, como resultado da diminuição da porosidade nas peças cerâmicas. Verifica-se, também, que a tensão de ruptura apresentou maior aumento nas formulações com maior teor de adição do resíduo, similar ao observado para os demais resultados das propriedades estudadas.

Com base na Figura acima é notado que conforme se aumentou a temperatura de queima ocorreu um aumento do módulo de ruptura à flexão. Observa-se também, que de acordo com a norma NBR 13818, os corpos cerâmicos com formulações com rejeito até 20% após queima a 1100 °C possuem valores de absorção (absorção de água entre 10% e 20%) e de módulo de ruptura (módulo de ruptura < 20MPa) que os enquadram no grupo BIII (poroso) enquanto que após queima a 1200 °C, estes podem ser enquadrados no grupo BIIa (absorção de água entre 3% e 6% e módulo de ruptura menor que 30 MPa). Somente a Formulação 4 com 30% de rejeito possui valor de absorção e módulo de ruptura que se enquadra no grupo BIb (grês, 0,5% < absorção de água < 3% e módulo de ruptura > 30 MPa).

Para a temperatura de queima de 1200°C, a tensão de ruptura tende a ser máxima em torno 30% de rejeito. Segundo Sousa Santos (1989) o efeito do fundente do CaO presente neste tipo de rejeito corresponde aproximadamente à composição que forma a quantidade de líquido máxima no início da fusão (e, simultaneamente, contém a quantidade mínima de mulita). Será então a presença de fase líquida mais abundante nas composições contendo 30% de rejeito (fase vítrea à temperatura ambiente) que melhora a correspondente resistência mecânica.

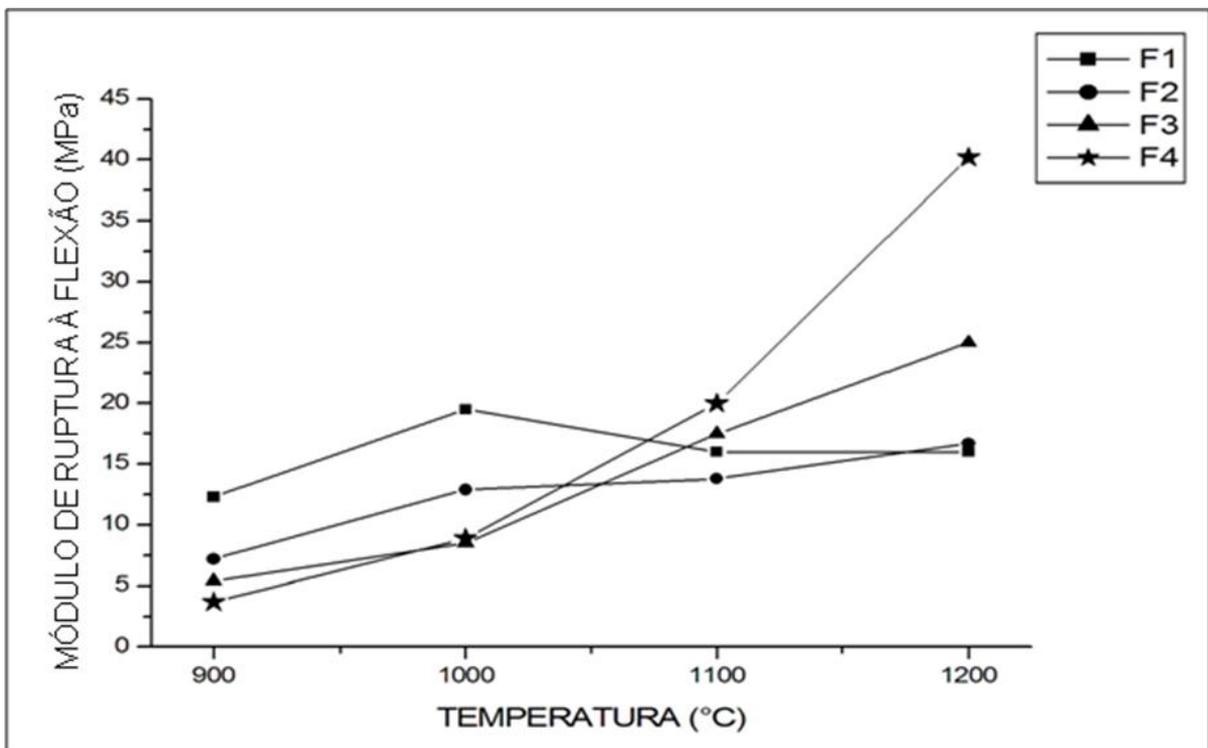


Figura 16 – Tensão de ruptura à flexão dos corpos de prova sinterizados em função do teor de rejeito e da temperatura de sinterização.

6. CONCLUSÃO

O rejeito de marmoraria, assim como a maioria dos rejeitos ou resíduos industriais que apresentam baixa granulometria, possui características desejadas pela indústria cerâmica. Isto porque a granulometria das matérias primas interfere em diversas propriedades, como por exemplo, plasticidade, taxas de sinterização, porosidade final, densidade.

Os resultados apresentados neste trabalho demonstraram que é possível adicionar concentrações elevadas de rejeito de marmoraria a massas argilosas, sem prejudicar a qualidade e propriedades do produto final.

A introdução desse material atenuou o problema de sinterização, quando da utilização da argila e caulim isoladamente. A adição de rejeito de marmoraria às cerâmicas argilosas propiciou uma diminuição bastante significativa nos valores da retração linear e perda ao fogo principalmente na temperatura de 1200°C. A Formulação 4 (com 30% de rejeito incorporado) na mesma temperatura apresentou o menor percentual de perda de massa e retração linear durante a queima.

No entanto, foi observado que para as propriedades físicas como porosidade aparente e densidade aparente os valores não se diferenciaram da formulação sem adição de rejeito, apenas seguindo a lógica do aumento de temperatura.

A resistência mecânica do produto é tanto maior, quanto mais baixa for a sua absorção de água. Os resultados mostraram que as formulações incorporadas com até 20% de rejeito e temperatura de 1100°C possuem absorção entre 10% e 20%, com resistência menor que 20 MPa, caracterizando-os como produtos do grupo BIII (poroso). As cerâmicas classificadas como BIII, com absorção de água acima de 10%, são recomendadas para serem utilizadas como revestimento de parede (azulejo), justamente por possuírem alta absorção e, portanto, resistência mecânica reduzida.

Em 1200°C, a mesma composição passa ser considerada como um produto do grupo BIIa (semi-grês), com 3% a 6% de absorção de água módulo de ruptura até 28,6 MPa.

Os valores de resistência mecânica acima de 30 MPa e com absorção de água menor que 3%, caracterizam a Formulação 4 (com 30% de rejeito de

marmoraria) como um produto cerâmico do grupo Blb (grês), o qual pode ser aplicado para a fabricação de pisos e revestimentos.

A presença do caulim nas formulações, além de conferir coloração mais clara à massa cerâmica, é um suporte fundamental de óxido de alumínio (Al_2O_3), o qual, durante a fase de vitrificação da peça, regula a reação de equilíbrio. Na verdade, durante a queima a temperaturas superiores a 1000 °C, o caulim se converte para mulita ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), contribuindo para o aumento da resistência mecânica e redução da deformação piropelástica durante o processo de queima.

SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Os resultados obtidos no presente trabalho permitem sugerir os seguintes trabalhos futuros versando sobre a incorporação de rejeito de marmoraria em massas cerâmicas argilosas:

- Estudo microestrutural das formulações empregadas neste trabalho;
- Estudo do comportamento de formulações com rejeito de marmoraria com outras argilas, visando potencializar recursos em outras regiões.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR/2004. Resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004. 71p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12766/92. Rochas para revestimento - determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente, 1992. 1p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181/84. Solo - Análise Granulométrica - Procedimento. Rio de Janeiro, 1984. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13818/97. Placas cerâmicas para revestimento. 1997.

CARRISSO, R. C. C., CARVALHO, M. R. C. e VIDAL, F. W. H., **Avaliação de granitos ornamentais do sudeste através de suas características tecnológicas**, V Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Recife – PE, 2005.

CATEP Arquitetura e Publicidade S/C Ltda. Disponível em: <<http://www.catep.com.br/dicas/MARMORES%20E%20GRANITOS.htm>>. Acesso em 30 set. 2011.

CHIOD FILHO, C., **Conheça as Rochas Ornamentais**, Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais, 2004.

CHIODI FILHO,C. **Balanço das exportações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento em 2004** – Novo recorde histórico de crescimento. In: 2005, Espírito Santo, Anais...Espírito Santo, 2005.

DANA, J. D. **Manual de Mineralogia**, vols. 1 e 2, EDUSP, São Paulo, 1970.

DANTAS, A. de P. A., ACCHAR, W., LEITE, J. Y. P., DANTAS ARAUJO, F. S. **Utilização de resíduos de rochas ornamentais na produção de cerâmica branca. 2010. 17f.** Universidade Federal do RN, 2010.

DEPARTAMENTO DE RECURSO MINERAIS DO RIO DE JANEIRO (DRM-RJ). **Mercado de rochas ornamentais.** Disponível em: <<http://www.drm.rj.gov.br>>. Acesso em: 12 out. 2011.

JOHN, V. M., **Reciclagem de resíduos sólidos na construção civil: Contribuição de pesquisa e desenvolvimento.** São Paulo. Tese (Livre Docência) – EPUSP 2000. 102f.

LEITE, J, Y. P. e ARAÚJO, R, C.,. **Reciclagem de rochas ornamentais e sua utilização na indústria cerâmica.** Anais do XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2002. Natal-RN-Brasil. Technomedia-tecnologia multimedia, 2002. CD-ROM.

LUZ, A. B.; DAMASCENO, E. C., **Caulim um mineral industrial importante.** CETM/CNPq, Série Tecnologia Mineral no 65, Rio de Janeiro, 1993.

LUZ, A. B., **Estudos de reoxidação e redução de Ferro contido em caulins,** Tese de Doutorado em Engenharia Mineral, Tese de D. Sc., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, SP, Brasil, 1998.

MELLO, R. M. **Utilização do resíduo proveniente do acabamento e manufatura de mármore e granitos como matéria prima em cerâmica vermelha.** Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Ciências na área de Tecnologia Nuclear – Aplicações Materiais – IPEN. 2006. 69p.

MENEZES R. R.; FERREIRA H. S.; NEVES G. de A.; FERREIRA H. C., **Uso de rejeitos de granitos como matéria prima cerâmica,** Cerâmica 48 (306) Abr/Mai/Jun, 2002.

MINERCAUL - Minérios do Nordeste. Disponível em: <<http://www.minercaul.com.br>>
Acesso em: 14 mai. 2011.

PACHECO, C. P, GONÇALVES, L. P. N., LORENZONI, R., GÓIS, T. S., Siqueira, W. L., **Mármore e Granito**, 2009. 28f. Monografia – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Civil, Vitória, 2009.

PEREIRA, A. F. R., & ALMEIDA, S. L. M. **Obtenção de areia artificial da pedraira vigné**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2004.

PINHEIRO, A. L. **Metodologia de especificação e aplicação das rochas ornamentais**. Monografia de fim de curso, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, 1996.

REVISTA DE GEOLOGIA, Vol. 22, nº 2, 205-216, 2009. Disponível em: <<http://www.revistadegeologia.ufc.br>>. Acesso em: 20 jul. 2011.

R. R. MENEZES, H. S. FERREIRA, G. de A. NEVES, H. C. FERREIRA, **Uso de rejeitos de granitos como matérias-primas cerâmicas**, Departamento de Engenharia de Materiais, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Abr/Mai/Jun 2002.

SILVA, F. E., **Avaliação dos Impactos Ambientais das Minerações de Rochas Ornamental do Centro Sul do Estado de Minas Gerais**, Petrogênese - Depósitos Minerais – Gemologia, 2007.

SOARES, L.; MENDES, K. da S. (1999) **Aproveitamento de finos de pedreiras**. Rev. Brasil Mineral, n. 179, p.38-45.

SOUSA SANTOS, P. **Tecnologia de argilas, aplicada às argilas brasileiras**. 2a ed. vol. 1. São Paulo: Edgard Blücher, Universidade de São Paulo. 1975, 340 p.

SOUSA SANTOS P., **Ciência e Tecnologia das argilas**. 2 ad., Vol. 01. Edgar Blucher, São Paulo, 1989.

SPÍNOLA, V. GUERREIRO, L. F.; BAZAN, R. **A Indústria de Rochas ornamentais. Estudo de Mercado 02/04.** Bahia, set. 2004.

VAN VLACK, L. H. **Princípios de ciência dos materiais.** Tradução: Luiz Paulo Camargo Ferrão. São Paulo: Edgard Blucher, 1970.

VICENZI, J. **Efeito da adição de chamote em uma massa cerâmica de argila vermelha.** Dissertação de Mestrado em Engenharia – PPGEM, UFRS. Porto Alegre, 1999.

XAVIER, G.C. **Utilização de Resíduos de Mármore e Granito na Massa de Conformação de Cerâmica Vermelha.** Dissertação de Mestrado em Ciências de Engenharia – Campos dos Goytacazes – RJ. Universidade Estadual do Norte Fluminense – EENF. 2001.