



Universidade Federal de Campina Grande – UFCG
Centro de Ciências e Tecnologia – CCT
Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Engenharia de Materiais – PPG-CEMAT



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

RECICLAGEM DE RESÍDUO DE CAULIM E GRANITO PARA
PRODUÇÃO DE BLOCOS E TELHAS

ROSSANA RAMOS DE ALMEIDA

Campina Grande, PB

Março – 2006

**Reciclagem de Resíduo de Caulim e Granito para Produção de Blocos
e Telhas**

Rossana Ramos de Almeida

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Mestre.

Área de Concentração – Estrutura, Processamento e Propriedades de Materiais.

Linha de Pesquisa – Materiais Cerâmicos Tradicionais

Orientador: Prof. Dr. Gelmires de Araújo Neves

Co-Orientadora: Profa. Dra Lisiane Navarro de Lima Santana

Campina Grande, PB

Março – 2006



A447r Almeida, Rossana Ramos de
Reciclagem de residuo de caulim e granito para producao
de blocos e telhas / Rossana Ramos de Almeida. - Campina
Grande, 2006.
61 f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Ciencia e Engenharia de
Materiais) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro
de Ciencias e Tecnologia.

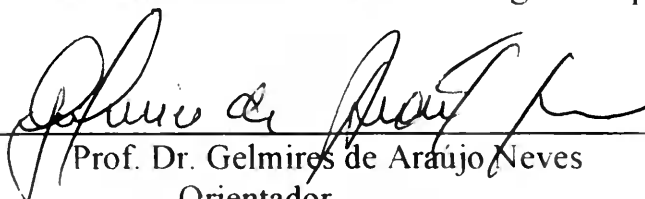
1. Residuo de Caulim 2. Residuo de Granito 3. Materias-
Primas Ceramicas 4. Dissertacao I. Neves, Gelmires de
Araujo, Dr. II. Santana, Lisiane Navarro de Lima, Dra. III.
Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande
(PB) IV. Título

CDU 666.321(043)

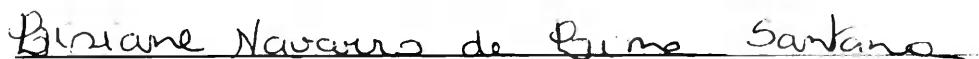
RECICLAGEM DE RESÍDUO DE CAULIM E GRANITO PARA A PRODUÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS E TELHAS

Rossana Ramos de Almeida

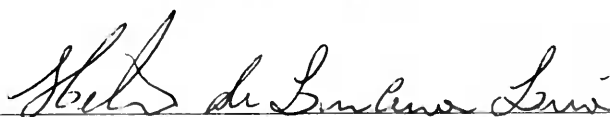
Dissertação defendida e aprovada em 31/03/2006, pela banca
examinadora constituída dos seguintes professores.



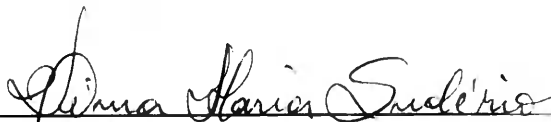
Prof. Dr. Gelmiros de Araújo Neves
Orientador
UAEMa – UFCG



Prof. Dr. Lisiane Navarro de Lima Santana
Orientadora
UAEMa – UFCG



Prof. Dr. Hélio de Lucena Lira
Examinador Interno
UAEMa - UFCG



Prof. Dr. Vilma Maria Sudério
Examinadora Externa
CENTEC

Campina Grande – PB
Março de 2006

DEDICATÓRIA

Dedico esta vitória aos meus pais, Israel e Sely; aos meus filhos, Rodolpho e Raiff; e irmãos, Roberto, Roberes, Romero, Rossino e Rossiano.

Dedico, ainda, aos Companheiros de Trabalho, aos colegas do Mestrado, e, em especial, aos professores Gelmires de Araújo Neves, Lisiane Navarro de Lima Santana e Heber Carlos Ferreira.

AGRADECIMENTOS

Nenhum trabalho é realizado sozinho! Particularmente este trabalho contou com a colaboração de um grande número de pessoas a quem devo muito reconhecimento.

A Deus, meu Pai, ser supremo, pai da sapiência, que sempre esteve comigo, iluminando e renovando minha fé com sua palavra;

Aos meus pais, irmãos e amigos, pelo carinho, força, confiança, estímulos e compreensão nos momentos mais difíceis dessa grande jornada.

Aos companheiros de trabalho – Gláucio, Socorro Pereira, Márcia, David, Carmem, Valdecira, Bonates, bem como os Professores Edilson, Prof. Thompson, Prof. Vicemario, pela força e paciência.

Aos Professores e Funcionários deste programa, e em especial aos Professores Gelmires e Lisiane, orientador e co-orientadora, pela dedicação e paciência, e pelos ensinamentos que tanto me ajudaram na elaboração deste trabalho.

Às empresas, **CAULISA Indústria S/A**, à **Cerâmica Espírito Santos** e a **FUGI S. A – Mármore e Granitos**, pelo fornecimento das matérias-primas utilizadas nesta pesquisa.

Agradeço a **FAPESQ – PB**, pelo auxílio financeiro ao desenvolvimento do Projeto de Pesquisa.

Enfim, agradeço a todos os que contribuíram de forma direta ou indireta para este momento.

Obrigada a todos.

“O amor incondicional é aquele amor que, como a palavra expressa, não coloca nenhuma condição para ser vivido. Nem condição de parentesco, de raça, de religião, de ideologia e de trabalho. Ama por amar.”

Leonardo Boff

Reciclagem de Resíduo de Caulim e Granito para Produção de Blocos e Telhas

RESUMO

Nos últimos anos, as indústrias de mineração, principalmente as de beneficiamento de caulim e granito, vêm sendo citadas como fontes de poluição e/ou contaminação do meio ambiente, devido à enorme quantidade de resíduos gerados e freqüentemente lançados diretamente nos ecossistemas, sem processos de tratamento prévio para eliminar ou reduzir os constituintes detectados. O presente projeto tem como objetivo principal avaliar a potencialidade do uso de resíduos oriundos do beneficiamento do caulim e granito das indústrias beneficiadoras da Paraíba e do Rio Grande do Norte, visando à sua aplicação em massas cerâmicas alternativas para a produção de blocos e telhas. Foram realizados ensaios de caracterização física e mineralógica tais como: análise granulométrica, análise química e difração de raios-X das matérias-primas alternativas, na forma de resíduos e das matérias-primas convencionais plásticas e não plásticas. Os ensaios tecnológicos para uso em cerâmica vermelha foram realizados de acordo com as metodologias de Souza Santos, e de Salge & Bazarghi, além das normas da ABNT.

Os resultados evidenciaram que os resíduos estudados apresentaram caracterização física e mineralógica adequados para uso como matéria-prima cerâmica alternativa para uso em cerâmica vermelha para fabricação de blocos maciços, blocos furados e telhas.

Palavras-chave: resíduo de caulim, resíduo de granito, matérias-primas cerâmicas.

Lime and Granite Residue Recycling to Produce Low Cost Conventional Ceramic Bricks

ABSTRACT

In the last few years the mining industries, especially those which process lime and granite, have been regarded as sources of pollution and/or environmental contamination due to the great quantities of residues produced and frequently thrown into the ecosystems without any previous treatment to obliterate or reduce its harming components. This project aims especially to evaluate the potential use of residues from lime and granite industrial process of plants in Paraíba and Rio Grande do Norte to produce alternative ceramic mortars to make bricks and tile.

Physical and mineralogical characterization experiments were carried out such as: grain analysis, chemical analysis, and raw material X-ray diffraction of the alternative raw materials in the form of residues and conventional plastic and non-plastic raw materials. The technical tests to the use in red clay were conducted according to the methods of SOUZA SANTOS, SLAGE & BAZARGHI and of ABNT rules.

The results indicated that the studied residues presented physical and mineralogical features adequate to be used as alternative raw material to make red clay to produce solid bricks, hollow bricks and tiles.

Key words: lime residue, granite residue, ceramic raw materials.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

1.1	Introdução	1
1.2	Objetivos	3

CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1	Resíduos industriais	4
2.2	Resíduos de caulim.....	6
2.3	Resíduos de granito.....	8
2.4	Reciclagem de resíduos para uso como matérias-prima cerâmicas.....	12
2.4.1	Resíduos redutores de plasticidades.....	15
2.4.2	Resíduos fundentes.....	15
2.4.3	Resíduos combustíveis.....	16
2.5	Indústria da cerâmica vermelha	16
2.5.1	Matérias-primas.....	18
2.5.2	Preparação das matérias-primas e da massa para cerâmica vermelha.....	20
2.6	Normatização de produtos cerâmicos.....	21

CAPÍTULO III – MATERIAIS E MÉTODOS

3.1	Materiais	24
3.2	Métodos.....	24
3.2.1	Ensaio de caracterização.....	24
3.2.2	Análise granulométrica.....	26
3.2.3	Limites de atterberg.....	26
3.2.4	Análise química.....	26
3.2.5	Análises térmicas.....	27
3.2.6	Difração de raios-X.....	27
3.3	Ensaio tecnológicos.....	28
3.3.1	Formulação das massas cerâmicas	28

3.3.2 Moldagem dos corpos de provas.....	29
3.3.3 Propriedades físico-mecânicas.....	30

CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização das matérias-primas.....	32
4.1.1 Análise granulométrica.....	32
4.1.2 Análise química.....	34
4.1.3 Análise térmica.....	35
4.1.4 Difração de raios-X.....	37
4.1.5 Limite plasticidade das massas incorporadas com resíduos de granito mais Caulim.....	38
4.2 Ensaio tecnológicos	39

CAPÍTULO V – CONCLUSÕES	55
--------------------------------------	-----------

REFERÊNCIAS	56
--------------------------	-----------

Lista de Tabelas

TABELA 2.1	Propriedades cerâmicas de corpos de prova incorporados com resíduos redutores de plasticidades (NEVES, 2003).	15
TABELA 2.2	Valores limites para tensão de ruptura e absorção de água	22
TABELA 2.3	Resistência mínima à compressão em relação à categoria (NBR 7170)	22
TABELA 2.4	Resistência à compressão de blocos de alvenaria por classe (NBR 7171, (1992)	23
TABELA 3.1	Massas cerâmicas incorporadas com resíduo de granito	28
TABELA 3.2	Massas cerâmicas incorporadas com resíduo de caulim	28
TABELA 3.3	Massas cerâmicas incorporadas com resíduo de granito e caulim.	29
TABELA 4.1	Distribuição de tamanho de partículas das matérias-primas estudadas	32
TABELA 4.2	Composição química das matérias-primas	35
TABELA 4.3	Limite de plasticidade das massas com resíduos de granito e caulim	38
TABELA 4.4	Propriedades físico-mecânicas dos corpos de prova, conformados por prensagem, das massas cerâmicas incorporadas com resíduos: granito, caulim e granito mais caulim, após secagem a 110°C	40
TABELA 4.5	Propriedades físico-mecânicas dos corpos de prova, obtidos com as massas cerâmicas conformadas por prensagem incorporada com resíduo de granitos, caulim e a mistura de granito mais caulim, na temperatura de queima de 800°C	42
TABELA 4.6	Propriedades físico-mecânicas dos corpos de prova, obtidos com as massas cerâmicas conformadas por prensagem, incorporadas com resíduo de granitos, caulim e a mistura de granito mais caulim, na temperatura de queima de 900°C	43
TABELA 4.7	Propriedades físico-mecânicas dos corpos de prova, obtidos com as massas cerâmicas conformadas por prensagem, incorporadas com resíduo de granitos, caulim e mistura de granito mais caulim, na temperatura de queima de 1000°C	44
TABELA 4.8	Propriedades físico-mecânicas dos corpos de prova, conformados por extrusão, das massas cerâmicas incorporadas com resíduos de granitos, caulim e a mistura, após secagem a 110°C	46

TABELA 4.9	Propriedades físico-mecânicas dos corpos de prova, obtidos com as massas cerâmicas conformadas por extrusão, incorporados com resíduo de granitos, caulim e a mistura de granito mais caulim, na temperatura de queima de 800°C	47
TABELA 4.10	Propriedades físico-mecânicas dos corpos de prova, obtidos com as massas cerâmicas conformadas por extrusão, incorporados com resíduo de granitos, caulim e a mistura de granito mais caulim, na temperatura de queima de 900°C	48
TABELA 4.11	Propriedades físico-mecânicas dos corpos de prova, obtidos com as massas cerâmicas conformadas por extrusão, incorporados com resíduo de granitos, caulim e a mistura de granito mais caulim, na temperatura de queima de 1000°C	49

Lista de Figuras

FIGURA 2.1	Resíduo de caulim no meio ambiente	08
FIGURA 2.2	Extração de blocos de rochas ornamentais	09
FIGURA 2.3	Lagoa onde são depositados resíduos gerados pela serragem e polimento de granito	11
FIGURA 2.4	Resíduo da serragem de granito na forma de polpa	12
FIGURA 3.1	Fluxograma das etapas da pesquisa	25
FIGURA 3.2	Aparelho de Análise térmica, modelo RB-3000 da BP Engenharia	27
FIGURA 3.3	Extrusora do laboratório de Cerâmica do DEMa/CCT/UFCG	30
FIGURA 4.1	Distribuição de tamanhos de partículas da argila	33
FIGURA 4.2	Distribuição de tamanho de partículas do resíduo de granito	33
FIGURA 4.3	Distribuição de tamanho de partículas do resíduo de caulim	34
FIGURA 4.4	Análises termodiferenciais das matérias-primas utilizadas	35
FIGURA 4.5	Análises termogravimétricas das matérias-primas estudadas	36
FIGURA 4.6	Difrações de raios-X dos resíduos estudados	37
FIGURA 4.7	Absorção de água dos corpos cerâmicos (A) prensagem (B) extrusão.	52
FIGURA 4.8	Tensão de ruptura à flexão dos corpos cerâmicos (A) prensagem (B) extrusão.	53

CAPÍTULO 1

1.1 Introdução

As indústrias de beneficiamento de granito e caulim vêm sendo citadas pelos ambientalistas como grandes fontes de contaminação e poluição do meio ambiente, devido à enorme quantidade de resíduos gerados e freqüentemente lançados diretamente nos ecossistemas, sem um processo de tratamento para eliminar ou reduzir os constituintes poluentes.

Os impactos ambientais causados pelas empresas mineradoras de granitos podem ser classificados em três tipos. No primeiro, o impacto é originado pela pesquisa mineral, na qual o grande problema deve-se ao desmatamento, causando grandes problemas hidrológicos. No segundo, o impacto ambiental é oriundo da exploração de lavras, na qual o grande problema deve-se as perdas originárias da retirada dos blocos de granitos, causando elevado volume de resíduos que, freqüentemente, são depositados em locais inadequados. No terceiro, o impacto é devido aos resíduos gerados pela serragem e polimento do granito na forma da polpa abrasiva chamada de “lama”, resultante da ação dos teares. Em relação ao beneficiamento dos caulins, são gerados dois tipos de resíduos, lançados em matas ciliares, margens de rios e lagoas: o primeiro desses resíduos são constituídos, basicamente, por quartzo e mica. O segundo resíduo, procedente das etapas de centrifugação e filtragem, mesmo que a quantidade não seja tão significativa – em torno de 8% –, ainda assim, causa sérios problemas ao meio ambiente.

Um dos grandes desafios para o século XXI é a eliminação dos resíduos industriais provenientes das empresas mineradoras. Pesquisas sobre reciclagem de resíduos vêm sendo desenvolvidas em todo o mundo. Em geral, as razões que motivam esses países são: esgotamento das matérias-primas não renováveis, redução do consumo de energia, menores emissões de poluentes, redução de custos, melhoria na saúde e segurança da população.

No Brasil, diversos pesquisadores intensificaram estudos sobre reciclagem de resíduos, para uso como matérias-primas cerâmicas, destacando, dentre eles: os resíduos combustíveis, os resíduos fundentes, as cinzas volantes e os resíduos de mineração. Os pesquisadores reconhecem que a reciclagem desses resíduos é uma das maneiras de diversificar a oferta de matérias-primas alternativas para a produção de componentes cerâmicos, viabilizando eventualmente reduções de preço.

A região nordeste do Brasil possui grande reserva de granito e caulim, com destaque para os estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte. A disposição dos resíduos da serragem de granitos e do beneficiamento de caulim nos municípios desses estados, atualmente, tem um volume bastante significativo, uma vez que, no processo de beneficiamento de caulim primário, o rendimento é de aproximadamente 30% do total extraído da jazida, ou seja, de cada tonelada bruta, menos de um terço é aproveitado. Para o beneficiamento de granito, estima-se, hoje, que o desperdício no processo de extração e beneficiamento pode chegar até a 40% dos blocos, na forma de costaneiras e lama abrasiva.

O uso dos referidos resíduos, como matéria-prima para a indústria de cerâmica vermelha, está baseado na substituição de parte dos materiais plásticos e não plásticos. Esses resíduos têm, em sua constituição mineralógica, um elevado percentual de quartzo e feldspato, e pequenas proporções de mica e calcário, dentre outros, e, provavelmente, poderão ser utilizados em composições para produtos de cerâmica vermelha com custos mais reduzidos. Portanto, o aproveitamento de resíduos, como matéria-prima cerâmica, juntamente com argilas, tem, na realidade, efeitos positivos nas propriedades dos produtos cerâmicos semi-acabados e acabados, influenciando em todas as fases do processo (moldagem, secagem e sinterização) e repercutindo nas propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos utilizados em cerâmica vermelha, tais como, blocos, lajotas e telhas.

O Departamento de Engenharia de Materiais, do Centro de Ciências e Tecnologia, da Universidade Federal de Campina Grande, por intermédio dos seus pesquisadores, vem desenvolvendo trabalhos em reciclagem, seja com os de entulhos da construção civil, para uso em argamassas e produção de blocos

com e sem função estrutural, seja com os resíduos da serragem de granitos para uso como matéria-prima cerâmica. Sendo assim, este trabalho de pesquisa visa ampliar o estudo no desenvolvimento de produtos com massas cerâmicas alternativas de baixo custo, com os propósitos relatados dos objetivos a seguir.

1.2 Objetivos

Gerais

O presente estudo tem, como objetivo principal, avaliar a potencialidade do uso de resíduos oriundos do beneficiamento do caulim e granito das indústrias beneficiadoras da Paraíba, visando à sua aplicação em massas cerâmicas vermelhas, para a produção de blocos cerâmicos e telhas de baixo custo.

Específicos

Para a realização da pesquisa, foram estabelecidos como objetivos específicos as seguintes etapas:

- caracterizar física, química e mineralogicamente as matérias primas convencionais e alternativas (resíduos de caulim e granito);
- formular massas a partir dos resultados provenientes das caracterizações citada acima;
- conformar corpos de prova cerâmicos e caracterizar tecnologicamente;
- analisar os resultados e verificar se as massas alternativas são adequadas para uso em cerâmica vermelha, na produção de blocos cerâmicos e telhas.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Resíduos industriais

No Brasil, as indústrias beneficiadoras de minérios, vêm preocupando proprietários, ambientalistas e governantes, pela quantidade sempre crescente de resíduos, que, sem nenhum tratamento para a eliminação ou redução de constituintes presentes, acumulam-se em pátios, reservatórios e córregos, comprometendo o meio ambiente. Um grande problema para os produtores de mineração reside na forma de como melhor aproveitar esses resíduos para fabricar novos produtos de baixo custo. A construção civil e a indústria cerâmica são os ramos de atividade tecnológica mais indicados para absorver estes rejeitos sólidos (NEVES et al., 2003).

Segundo Monfort (1996), tanto no processo de fabricação de produtos cerâmicos, como em muitos outros processos produtivos, resíduos industriais, com diferentes características, são obtidos em função das etapas do processo no qual são gerados, da tecnologia utilizada e dos produtos fabricados. Deste modo, os principais resíduos obtidos são:

- resíduos de matérias-primas, aditivos e peças cruas (resíduos crus);
- resíduos da depuração de gases;
- produtos acabados fora de especificações ou normas (resíduos queimados);
- lamas provenientes do tratamento da água, geradas nas operações de limpeza, nas etapas de preparação e aplicação dos esmaltes.

Os resíduos que se produzem nos processos de fabricação de revestimentos cerâmicos esmaltados são de aproximadamente 6% do peso

das matérias-primas utilizadas no processo. Não obstante, somente 10% desses resíduos das lamas do tratamento de água podem ser tóxicos e perigosos; o restante são resíduos inertes.

A natureza e a quantidade dessas lamas variam consideravelmente, já que podem ser originadas em diversos processos de produção. Uma mesma fábrica pode utilizar uma grande variedade de matérias-primas (diversos esmaltes, diversas fritas), que dão lugar a variações importantes nas características das lamas; por isso, não é possível definir características específicas de todas as lamas, ainda que se possa estabelecer intervalos de variação.

De acordo com estudos realizados pelo NITES – Núcleo Regional de Informação Tecnológica do Espírito Santo, estima-se hoje que o percentual de desperdício, no processo de mineração de pedras ornamentais, chega a 40 %. No processo de serragem, pode-se perder até 30% dos blocos. Outras perdas costumam ocorrer, causadas por quebra de placas, falhas de empilhamento, defeitos de corte, uso de polpa inadequada e lâminas de corte pouco tensionadas. Deve-se ressaltar que, durante a fabricação de ladrilhos, pode-se atingir perdas da ordem de 10%. E, finalmente, estima-se que, quando da aplicação de pedras ornamentais na construção civil, as perdas podem chegar a até 30%, sem mencionar os rejeitos do polimento. Devemos esclarecer que os percentuais não são acumulativos. O desperdício, nas indústrias brasileiras de beneficiamento de granitos, quando da serragem dos blocos, chega a 25% de sua massa. No tocante ao mármore, a realidade não é muito diferente: estima-se que, em Cachoeira do Itapemirim – ES, a quantidade de rejeitos gerados chegue a 400t/mês (FERREIRA, 2001).

Vieira (2004), mostra que, na atualidade, os problemas ligados à poluição e ao descarte de resíduos industriais são de grande importância e preocupam tanto o setor industrial quanto a sociedade como um todo. A indústria siderúrgica gera enormes quantidades de resíduos durante os seus processos produtivos. Alguns desses resíduos são pós de granulometria fina e ricos em óxidos de ferro. O manuseio desses pós facilita a formação de névoa e poeiras, dificultando a sua reutilização no processo produtivo.

O setor siderúrgico nacional tem grande importância econômica, principalmente no centro-sul do País, constituindo-se num dos mais importantes setores industriais, gerando riquezas e milhares de empregos. No entanto, essa atividade industrial gera, também, enormes quantidades de resíduos. Em geral, esses resíduos são ricos em óxidos de ferro e compostos por partículas finas.

O manuseio de pós-finos gera muita névoa e perda de material, dificultando sua reutilização diretamente no processo. O simples descarte desse resíduo, no meio ambiente, é uma prática que deve ser evitada. Assim, faz-se necessário o emprego de tecnologias limpas que permitam o seu reaproveitamento ou reciclagem de maneira econômica-ecológica.

Observa-se, assim, que há necessidade de se buscarem alternativas para o reaproveitamento desses resíduos, de forma a não agredir o meio ambiente. Neste contexto, um setor que apresenta enorme potencial para contribuir na solução de problemas ambientais originados nos mais diversos processos industriais é o da cerâmica vermelha. De fato, trabalhos reportados na literatura têm mostrado que é perfeitamente possível a reciclagem de resíduos industriais, como constituintes de massas cerâmicas na fabricação de produtos cerâmicos para a construção civil.

O pólo ceramista instalado no município de Campos dos Goytacazes – RJ, localizado na região norte do Estado do Rio de Janeiro, por exemplo, que congrega cerca de cento e dez unidades produtivas, tem capacidade para absorver grandes quantidades de resíduos (OLIVEIRA & HOLANDA, 2004).

2.2 Resíduos de caulim

Segundo Lima et al. (2001), o caulim é uma argila constituída principalmente por caulinita e/ou haloisita, e queima com cores branca ou clara, a 1250°C. Dois tipos de caulim são comumente considerados para aplicações tecnológicas: os residuais e os sedimentares. É de conhecimento geral que os caulins apresentam, juntamente com seu argilomineral constituinte, alguns minerais acessórios, tais como o quartzo, as micas e os minerais de ferro. O

caulim, como minério ou “mineral industrial”, tem muitos usos, devido à baixa granulometria natural, pouca abrasividade, estabilidade química, forma específica das partículas do argilomineral constituinte, além das propriedades reológicas específicas, adequadas a diferentes meios fluidos, e sua cor após a queima.

Os caulins são utilizados nas mais diversas aplicações. Dentre as principais, podemos citar: na produção de cerâmica branca, no reforço para borrachas, em tintas, na indústria de papel, além de muitos outros usos – em adesivos, inseticidas e pesticidas, produtos farmacêuticos e alimentares, rações alimentares, catalisadores, produtos absorventes e clarificantes, cimento, fertilizantes, gesso, auxiliares de filtração, cosméticos, produtos químicos, lápis, craions, detergentes e abrasivos, esmaltes cerâmicos, pós-dentifrícios, pigmentos, por exemplo (RAMALHO et al., 2004).

A indústria de beneficiamento de caulim produz resíduos que, dependendo da sua composição e quantidade, podem implicar em sérios danos ao meio ambiente. Quando do beneficiamento do caulim, o resíduo é constituído essencialmente da fração não plástica da massa (quartzo e fundentes), além de matéria orgânica, carbonatos e outras substâncias, cuja granulometria geralmente são mais grosseiras, quando comparadas ao restante da composição. Por meio da passagem da suspensão a ser atomizada por uma peneira com determinada abertura, é possível realizar a separação do resíduo do restante da massa (ALMEIDA et al. 2005).

O processo de beneficiamento de caulins primários, na planície pegmatítica da Borborema, tem um rendimento de apenas 30% do total extraído da jazida. Ou seja, de cada tonelada do material bruto, menos de um terço é aproveitado. Em uma dessas indústrias, no Estado da Paraíba, cuja situação é semelhante a muitas outras que lidam com o caulim, verificou-se, com o passar dos anos, um grande acúmulo de rejeito resultante desse beneficiamento, e que não está sendo aproveitado, provocando, então, danos ambientais às regiões fronteiriças. A Figura 2.1 apresenta o impacto ambiental causado pelo resíduo de caulim.



Figura 2.1 – Resíduo de Caulim no meio ambiente

Observando-se a Figura 2.1, pode-se verificar que o resíduo de caulim provocou impacto ambiental na vegetação, de tal modo que percebe-se claramente a redução do espaço ocupado pela flora local.

o processo industrial de beneficiamento, que proporciona características especiais ao caulim, para ser utilizado pela indústria de papel, acabou também acarretando ao resíduo, de forma involuntária, qualidades excelentes, tornando-o uma matéria-prima de primeira qualidade (RAMALHO et al., 2005).

2.3 Resíduos de granito

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. Com uma movimentação de US\$ 6 bilhões/ano, no mercado internacional, e cerca de US\$ 13 bilhões na cadeia produtiva dos países produtores. Todavia, esse setor industrial gera elevada quantidade de rejeitos na forma de uma "lama" com elevados teores

de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e CaO , que podem provocar grandes agressões ambientais, se não adequadamente descartados (MENEZES et al., 2002).

De acordo com Moreira (2003), o Brasil detém grandes reservas de pedras ornamentais de revestimento (granito e mármore) com os mais variados aspectos estéticos. As pedras naturais ornamentais são produtos que competem com os pisos e revestimentos cerâmicos. Essas pedras, em forma de placas polidas, além da beleza, apresentam algumas características importantes, tais como homogeneidade, resistências química e física das pedras e da superfície polida.

A Região Nordeste é uma área onde se concentra grande quantidade de indústrias de beneficiamento, sendo responsáveis pela liberação de centenas de toneladas de resíduo, por ano, no meio ambiente. Esse quadro de descaso é agravado ainda mais pelos indicativos de crescimento da produção, despertando a preocupação de ambientalistas e da comunidade em geral, em vista de um cenário ainda mais perigoso e danoso ao meio ambiente e à saúde da população (MENEZES, 2002). Na Figura 2.2, pode-se observar que a extração de blocos de rochas ornamentais gera elevado volume de resíduos que freqüentemente são depositados em locais inadequados, modificando a paisagem.



Figura 2.2 – Extração de blocos de rochas ornamentais Fonte: NEVES (2003)

O Estado do Espírito Santo é responsável por cerca de 80% da produção nacional de pedras ornamentais. O município de Cachoeiro do Itapemirim,

responde por cerca de 90% da produção capixaba, sendo esse setor mineral a principal atividade econômica da região, responsável pela geração de milhares de empregos diretos e indiretos. As pedras ornamentais de Cachoeiro do Itapemirim – ES não somente suprem o mercado nacional, como grande parte é exportada principalmente para os Estados Unidos e países europeus (MOREIRA et al., 2004).

O uso dessas rochas, na construção civil, exige o seu desdobramento, para a obtenção de blocos e chapas brutas. Em seguida, é feito um processo de polimento nas peças serradas, resultando em produtos acabados para o mercado. Esse processo de desdobramento e beneficiamento gera enormes quantidades de resíduos na forma de lama. No caso de Cachoeiro do Itapemirim, estima-se uma quantidade da ordem de 400 toneladas/mês de resíduos na forma de lama (NEVES et al., 2003).

Segundo os autores citados acima, a minimização na geração de resíduos vem sendo feita com o uso de fio diamantado, que corta a rocha com maior precisão. A lama obtida geralmente é constituída de pó de rochas, que corresponde a cerca de 20 a 25% do bloco beneficiado, além de outros acessórios como granalha metálica, cal e água.

A lama, quando seca, torna-se um resíduo sólido não biodegradável classificado como resíduo classe III – inerte. Entretanto, quando esse resíduo não é descartado de forma correta, pode alcançar rios, lagoas, córregos e até mesmo os reservatórios naturais de água, provocando problemas de assoreamento, causando danos ao meio ambiente. Além do mais, a lama quando seca, produz uma poeira que pode provocar danos à saúde humana, como, por exemplo, problemas respiratórios (Norma da ABNT NBR 1004, 1005 e 1006). Quando dispostos em depósitos a céu aberto, os resíduos de granito também afetam esteticamente a paisagem. A Figura 2.3 apresenta uma lagoa onde são depositados os resíduos de granitos.



Figura 2.3 – Lagoa onde são depositados resíduos gerados pela serragem e polimento de granito. Fonte: NEVES (2003)

Os resíduos de serragem de rochas ornamentais, aparentemente sem valor industrial, podem ser usados como componente importante de massas argilosas na fabricação de produtos cerâmicos, para uso na construção civil. As razões para isto estão relacionadas aos seguintes aspectos principais: i) a composição químico-mineralógica do resíduo; ii) a sua natureza não plástica; e iii) não causa poluição durante a fabricação e uso dos novos produtos cerâmicos (MOREIRA, 2004). A Figura 2.4 apresenta o resíduo da serragem de granito na forma de polpa, conhecida como lama abrasiva, depositada no ecossistema, sem nenhum tratamento prévio.

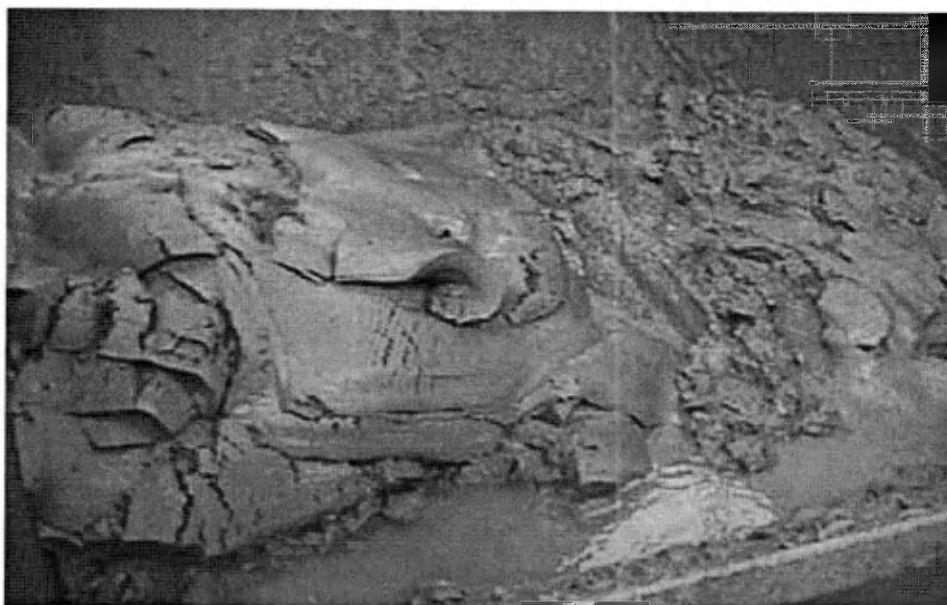


Figura 2.4 – Resíduo da serragem de granito na forma de polpa
Fonte: NEVES (2003)

2.4 Reciclagem de resíduos para uso como matérias-primas cerâmicas

A reciclagem de resíduos provenientes de diferentes processos industriais como novas matérias-primas cerâmicas tem sido objeto de pesquisas em diversas instituições. Tem-se buscado soluções que consideram vários aspectos: a proximidade com a fonte geradora de resíduos, o tipo e a quantidade de resíduo disponível, a tecnologia e tipos de produtos que poderão absorvê-lo, o custo de descarte e tratamento e, finalmente, o impacto econômico e ambiental da reciclagem do resíduo.

A indústria cerâmica é uma das que mais se destacam na reciclagem de resíduos industriais e urbanos, em virtude de possuir elevado volume de produção que possibilita o consumo de grandes quantidades de rejeitos, e que, aliado às características físico-químicas das matérias-primas cerâmicas, faz da indústria cerâmica uma das grandes opções para a reciclagem de resíduos sólidos (MENEZES et al., 2002).

O aproveitamento de resíduo como matéria-prima cerâmica tem, na realidade, efeitos positivos nas propriedades dos produtos cerâmicos semi-acabados e acabados. Os efeitos do resíduo influenciam em todas as fases do processo (moldagem, secagem e sinterização) e têm repercussão em

propriedades dos produtos acabados, tais como retração, porosidade, absorção de água e resistência mecânica (DONDI; FABBRI & MARSIGLI, 1998).

Menezes et al., (2002), estudaram o uso de rejeito de granito, oriundo da decantação do efluente industrial do processo de obtenção de agregados graúdos para uso na construção civil (etapa de lavagem), em composições de cerâmica vermelha, visando à produção de tijolos e telhas. Segundo aqueles autores, os resíduos graníticos oriundos da obtenção de brita, quando misturados com argilas, geram composições com características de plasticidade semelhantes às massas tradicionais, cuja formulação pode ser composta por elevadas porcentagens de rejeito, obtendo-se, ainda assim, blocos cerâmicos com características físico-mecânicas dentro das faixas reportadas na literatura.

Souto et al.,(2001) estudaram o aproveitamento de resíduos industriais provenientes da serragem de granitos, dos municípios de Fortaleza – CE, Recife – PE e Campina Grande – PB, para utilização na fabricação de tijolos e telhas cerâmicos. As amostras de resíduos apresentaram caracterização adequada para o uso como matéria-prima cerâmica, e, após queima nas temperaturas de 800°C, 900°C e 1000°C, apresentaram potencial de utilização para a produção de cerâmica vermelha, tijolos furados e telhas. Por sua vez, Mothé Filho et al. (2001) estudaram a adição de resíduo de mármore e granito proveniente do Estado do Espírito Santo, para uso em cerâmica vermelha. Os resultados evidenciaram que a adição de até 10% desse resíduo em matriz cerâmica poderá ser utilizada na confecção de tijolos estruturais.

Estudando alternativas de reaproveitamento de resíduos de caulim, com vistas ao uso industrial, Lima et al. (2001) mostraram que o uso desse resíduo na indústria de revestimento cerâmico é viável, e pode contribuir para reduzir a agressão ao meio ambiente.

Ferreira et al., (2001) estudaram o aproveitamento dos resíduos oriundos do beneficiamento de granitos das indústrias GRANEX e CAXAMBU, verificando sua aplicação na confecção de massas para uso em revestimentos cerâmicos. Os resultados de seu estudo mostraram que os resíduos apresentam granulometria adequada.

Em seu estudo, Ramalho et al., (2004) avaliaram as potencialidades do resíduo de caulim, provenientes do município de Juazeirinho – PB, quando incorporado como matéria-prima cerâmica para a produção de grés porcelanato. Nesse trabalho, foram confeccionados corpos de prova, por meio de prensagem uniaxial nas pressões, variando entre 40 e 50MPa, e sinterizados a temperaturas de 1180°C a 1240°C. Os resultados evidenciaram a adequação desse resíduo para a produção de grés porcelanato.

Vieira et al., (2004) avaliaram a influência da adição de granito, em massa cerâmica para telhas do município de Campos dos Goytacazes – RJ, objetivando uma melhoria de suas propriedades tecnológicas. Eles mostraram que a adição de granito à massa cerâmica vermelha contribuiu para a diminuição da plasticidade e aumento da densidade a seco, resultando em redução na retração linear de secagem e queima. O granito possibilitou também uma redução nos valores de absorção de água.

Moreira et al. (2005) estudaram a potencialidade do resíduo de rocha ornamental do noroeste fluminense como matéria-prima em cerâmica vermelha. Nesse estudo, foram incorporados até 20% em peso de resíduo e sinterizados em temperaturas variando entre 850° C e 1150° C. Os resultados experimentais evidenciaram que a adição de até 20% em peso poderá ser utilizado como matéria-prima na formulação de massa argilosa na fabricação de cerâmica vermelha. Além disso, o resíduo de rocha ornamental é rico em agentes fundentes (K_2O , Na_2O).

Alves & Holanda (2005) avaliaram a incorporação da borra oleosa em massa argilosa para fabricação de blocos de vedação utilizado na construção civil, em percentuais que variaram de 0 a 25% em peso. As propriedades avaliadas foram resistência mecânica, absorção de água, solubilização, lixiviação, eflorescência e teor de sais solúvel. Os resultados apresentados permitiram visualizar que o teor mais adequado para incorporação do resíduo da borra em matriz argilosa situa-se na faixa de 10% e 20% em peso.

2.4.1 Resíduos Redutores de Plasticidades

Os resíduos redutores de plasticidade caracterizam-se por serem materiais friáveis que, quando adicionados às massas cerâmicas, provocam a redução de sua plasticidade. Em geral, são provenientes das indústrias de mineração e beneficiamento mineral, apresentando composição química e granulométrica bastante variáveis, dependendo da origem dos materiais. Em destaque, encontram-se os resíduos da mineração e beneficiamento de rochas graníticas, já tendo sido verificada sua aplicabilidade na produção de tijolos e revestimentos, e na confecção de argamassas (MENEZES et al., 2001; Souto et al., 2001; Mothé Filho et al., 2001; Ferreira et al., 2001; Vieira et al., 2004; Menezes et al., 2005). A Tabela 2.1 apresenta os resultados de corpos cerâmicos incorporados com resíduos de mineração redutores de plasticidades.

TABELA 2.1 - Propriedades cerâmicas de corpos de prova incorporados com resíduos redutores de plasticidades (NEVES, 2003).

Propriedades	Tipo de Resíduo				
	Pó de Basalto	Chamota Lama	Pó de Granito	Dolomita	Chamota Refratária
Teor de resíduo(%)	10-30	20-60	10-60	10	10-50
Técnica de moldagem	Extrusão	Extrusão	Extrusão	Extrusão	Manual
Resistência á flexão após secagem(MPa)	ND	ND	2,4-5,4	4-6	ND
Retração de secagem (%)	8-10	9-12	0,4-1,5	6-8	7-8
Temperatura de queima (°C)	900 1000	900 1000	800 1000	980	950 1000
Absorção de água (%)	10-15	6-11	12-14	10-13	19-20
Retração linear após queima (%)	1-2	3-6	0,5-2,5	0-1	0-2
Resistência à flexão após queima(MPa)	3-10	4-20	5-22	7-10	4-9

ND-Não Determinado.

2.4.2 Resíduos Fundentes

A principal característica dos resíduos fundentes é reduzir a temperatura de sinterização do corpo cerâmico, possibilitando redução do consumo

energético. Esses resíduos são geralmente provenientes da lama de esmaltação das cerâmicas e dos rejeitos da indústria mecânica e metalúrgica, e têm composição sílico-aluminosa.

2.4.3 Resíduos Combustíveis

Em geral, os resíduos combustíveis são provenientes de processos industriais que contêm elevado teor de substâncias orgânicas e lhes conferem alto poder calorífico. Essa categoria inclui os resíduos das estações de tratamento de rejeitos urbanos, resíduos da exploração de carvão, resíduos da indústria têxtil e de curtume, resíduos derivados da extração e refino do petróleo e da indústria de papel e madeira. Esses resíduos podem ser utilizados na indústria cerâmica de duas maneiras: por incorporação à massa cerâmica, ou mistura com os combustíveis responsáveis pela queima do corpo cerâmico.

2.5 Indústria da Cerâmica Vermelha

A indústria de cerâmica vermelha é grande fornecedora de material para a construção civil. Logo, se um produto for desenvolvido neste setor, ele terá consumo imediato. Esse setor utiliza argila ou compósitos com argilas para produzirem a massa cerâmica que será formulada, conformada, seca e sinterizada, em função do produto que se deseja obter. Quando se faz a mistura, ela é constituída de uma argila plástica e de outro componente menos plástico, que pode ou não ser uma outra argila.

Segundo Verçosa (1975), a indústria cerâmica é uma das mais antigas do mundo, em virtude da facilidade de fabricação e abundância de matérias-primas – as argilas. Já no período neolítico, o homem pré-histórico calafetava as cestas de vime com argila. Mais tarde, verificou que podia dispensar o vime, e fez potes apenas de argila. Posteriormente, constatou-se que o calor

endurecia essa argila, e surgiu à cerâmica propriamente dita, que foi largamente empregada para os mais diversos fins.

Massola (1994) afirma que, por volta de 10.000 anos atrás, alguns grupos humanos que habitavam a terra já moldavam o barro. Durante milhares e milhares de anos, fizeram vasilhas e estatuetas simples que deixavam secar ao sol. Depois, descobriu-se que, quando a argila moldada era queimada a altas temperaturas, transformava-se em outro material: tornava-se dura, resistente ao fogo e à água. Isto é, o material natural, o barro, podia ser transformado em um material artificial, a cerâmica.

De acordo com Bustamante (2000), convencionou-se definir o setor cerâmico em segmentos que se diferenciam pelos produtos obtidos e, mais precisamente, pelos mercados em que estão inseridos. No Brasil, há enormes jazidas de argilas, com importância em diversas áreas, principalmente na indústria de cerâmica vermelha. Este tipo de indústria abrange a fabricação de produtos a base de argilas, como tijolos, blocos cerâmicos, lajotas e telhas, o segmento da cerâmica vermelha (estrutural) produz tijolos furados, tijolos maciços, lajes, blocos de vedação e estruturais, telhas, manilhas e pisos rústicos. destinados à indústria da construção civil, compreendendo hoje cerca de 13.000 pequenas e médias unidades produtivas, dispersas por todo o país (OLIVEIRA et al., 2004). É uma atividade de base para a construção civil, em geral, desde a mais simples à mais sofisticada. Distribui-se por todo o país, muito pulverizada, em micro e pequenas empresas, quase sempre de organização simples e familiar. Levantamentos mostram que existem 11.000 unidades produtivas, com uma média de 25 a 30 empregados, somando entre 250.000 a 300.000 empregos.

Segundo Vieira et al. (2004), em Campos dos Goytacazes, norte do Estado do Rio de Janeiro, já se chegou a fabricar 135 milhões de peças/mês. Atualmente, porém, a fabricação de cerâmica vermelha situa-se em torno de 70 milhões de peças/mês. A produção está voltada sobretudo para o fabrico de blocos de vedação, que se constituem em um tipo de produto de baixo valor agregado. Há ainda uma pequena produção de telhas, pisos extrudados, plaquetas para revestimento, bloco estrutural e tijolo aparente.

A indústria cerâmica brasileira tem grande importância para o país, tendo participação no PIB – Produto Interno Bruto – da ordem de 1,0%. O Brasil conta com uma população em torno de 180 milhões de habitantes que geograficamente estão mais concentrados nas regiões sul e sudeste. Essas regiões também têm maior número de habitantes nas zonas urbanas, fator importante na análise da distribuição das empresas do setor cerâmico e no estudo dos hábitos de consumo e necessidades básicas da população (BUSTAMANTE, 2000).

2.5.1 Matérias-primas

O termo argila, *lato sensu*, é empregado para designar um material inorgânico natural, de granulometria fina, com partículas de poucos micrômetros, que apresenta comportamento plástico, quando adicionada a uma determinada quantidade de água. Do ponto de vista sedimentológico e granulométrico, a fração argila corresponde ao conjunto de partículas inferiores a 2 μm ou 4 μm , segundo as escalas de Atterberg e Wentworth, citados por Motta et al. (2004).

Como as argilas plásticas para cerâmica vermelha possuem composição mineralógica complexa e mal definida, podendo também apresentar contaminação de esmectitas, há possibilidade de comportamentos diferenciados dos modelos teóricos apresentados, tornando-se necessário um estudo de cada caso, para que surpresas sejam evitadas (CAMPOS et al., 1999). A indústria oleira brasileira utiliza processos de moldagem manuais, por extrusão e por prensagem, que dependem da natureza da argila, do produto cerâmico e do forno utilizado (SOUZA SANTOS, 1992).

De acordo com Motta (2004), as argilas são classificadas em dois grupos principais, com base na cor de queima (principal característica) e na mineralogia (característica secundária). Contudo, estes dois subgrupos têm vínculo com setores de aplicação industrial, a saber:

a) argilas de queima avermelhada: matéria-prima para cerâmica vermelha e estrutural, placas cerâmicas de revestimentos (inclui principalmente os

produtos da via seca e, secundariamente, pisos extrudados avermelhados de via úmida), agregado leve, vasos, potes e outras peças utilitárias e de decoração, de corpo avermelhado;

b) argilas cauliníticas de queima clara (argilas plásticas e caulim para cerâmica branca): matérias-primas utilizadas em cerâmica sanitária, placas cerâmicas via úmida, porcelana técnica, porcelana e faiança utilitária e artística. Parte dessas argilas pode também ser utilizada na fabricação de refratários sílico-aluminosos e, eventualmente, mulita.

As argilas de queima avermelhada são usualmente denominadas de argilas comuns ou para cerâmica vermelha ou estrutural, sobretudo quando destinadas ao grupo de produtos desse segmento industrial. Uma das principais características dessas argilas, a cor de queima avermelhada, deve-se ao alto conteúdo de óxido de ferro total, geralmente superior a 4%.

Os blocos e as telhas são produzidos tanto em cerâmica vermelha norma, como em massa porosa, essa última com o objetivo de aumentar a capacidade de isolamento térmico e acústico. As massas de cerâmica vermelha porosa são obtidas misturando-se argila com materiais combustíveis finamente moídos que, durante o processo de sinterização, queimam completamente, deixando, no interior da massa, pequenos vazios ou poros, não comunicantes entre si (CHIARA; BARRONI; CHIARA, 2000).

As argilas utilizadas em cerâmica vermelha são argilas quaternárias recentes, de elevada plasticidade, adequadas à conformação por prensagem e extrusão. Quando conformadas, possuem resistência mecânica a seco suficiente para transporte antes da queima, e, quando queimadas à temperatura de 900° C, apresentam características físico-mecânicas dentro das especificações (MACÊDO, 2005).

2.5.2 Preparação das matérias-primas e da massa para cerâmica vermelha

Segundo Motta (1996), do ponto de vista da matéria-prima, o setor de cerâmica vermelha utiliza basicamente argila comum, em que a massa é do tipo monocomponente – só argila –, e pode ser denominada de simples ou natural.

De acordo com Motta et al. (2002), as matérias-primas utilizadas, podem ser classificadas de massas **simples** (ou natural) e **composta** (ou artificial), a saber:

- **Massa simples ou natural:** refere-se à massa formada por uma só matéria-prima, que encerra as necessárias proporções entre os minerais, permitindo, assim, a manufatura da peça cerâmica desejada. Podem ser relacionadas, por exemplo, as massas para o fabrico de telhas, tijolos e revestimentos por via-seca. Trata-se das massas formadas só de argila, podendo conter, às vezes, a mistura de mais de uma argila, ou de materiais argilo-arenosos.
- **Massa composta ou artificial:** é aquela em que ocorre mistura de diversas matérias-primas na massa. Trata-se, por exemplo, das massas triaxiais de porcelana e das massas de louça sanitária e de revestimentos via-úmida. As matérias-primas que compõem a massa, sobretudo a massa composta, podem ser agrupadas em **plásticas** e **não-plásticas**. As matérias-primas plásticas conferem importantes características na fase de conformação das peças cerâmicas, tais como trabalhabilidade e resistência mecânica a cru, e no processamento térmico, como estrutura e cor. As matérias-primas não-plásticas também atuam nas fases de conformação e secagem, diminuindo a retração das peças e favorecendo a secagem, bem como na fase do processamento térmico, quando desempenham o papel mais relevante, controlando as transformações, deformações e a sinterização. Devido principalmente ao seu papel na fase de queima, os materiais não plásticos são ainda qualificados de inertes, vitrificantes e fundentes.

As características funcionais dos componentes fundamentais derivam de propriedades intrínsecas dos minerais constituintes que, por sua vez, estão

associadas aos controles geológicos. Exemplo marcante refere-se à propriedade de plasticidade conferida aos argilominerais de natureza caulínica, que é altamente influenciada pela dinâmica superficial terrestre. O incremento dessa propriedade ocorre quando as jazidas localizam-se em ambientes tipicamente sedimentares, como as planícies aluviais (várzea de rios). O processo de sedimentação, nesses locais, fragmenta e expõe as partículas de caulinita à interação com matéria orgânica e soluções aquosas, que lhes confere grande plasticidade, formando as argilas plásticas. Por outro lado, os caulins, de mesma constituição mineralógica, que estão associados a ambientes de alteração intempérica *in situ* (sem transporte), não favorecendo, neste caso, as alterações benéficas à plasticidade, semelhante ao que ocorre com as argilas plásticas.

Os feldspatos, por sua vez, são comuns em rochas magmáticas e metamórficas e têm seu grau de pureza (química e mineralógica) relacionados a determinados ambientes geológicos geradores, como são os casos de rochas do tipo pegmatito e aplito. Outras rochas feldspáticas, como nefelina sienito, fonolito e granito, por suas formações geológicas, possuem minerais deletérios ao uso cerâmico (magnetita, biotita, titanita). Parte dessas heterogeneidades químicas e mineralógicas podem ser corrigidas através de processos de beneficiamento dos minérios.

2.6 Normatização de produtos cerâmicos

Segundo Souza Santos (1992), as massas cerâmicas moldadas pelo processo manual, prensagem e extrusão, para fabricação de blocos e telhas cerâmicas são classificadas de acordo com as cores no estado cru e após queima, e com as propriedades físico-mecânicas.

A Tabela 2.2 mostra os valores limites preconizados por Souza Santos (1992) e Salge & Barzaghi (1982), para que uma massa cerâmica possa ser utilizada para fabricação de blocos e telhas.

TABELA 2.2 – Valores limites para tensão de ruptura e absorção de água

Massa Cerâmica (manual, Extrudada e Prensada)	Blocos de Alvenaria (MPa)	Blocos Furados (MPa)	Telha (MPa)
Tensão de Ruptura da Massa Seca a 110°C (Mínima)	1,5	2,5	3,0
Tensão de Ruptura da Massa Após Queima (Mínima)	2,0	5,5	6,5
Tensão de Ruptura da Massa Após Queima (Máxima)	Não Especificado	25,0	20
Cor após Queima	Vermelha	Vermelha	Vermelha

As normas da ABNT NBR 7170 (1983) e NBR 7171 (1992), classificam os blocos cerâmicos para alvenaria de acordo com a resistência à compressão simples.

A Tabela 2.3 mostra uma classificação de blocos, de acordo com a norma NBR 7170.

TABELA 2.3 – Resistência mínima à compressão em relação à categoria (NBR 7170)

Categoria	Resistência à Compressão Simples (MPa)
A	1,5
B	2,5
C	4,0

A Tabela 2.4 mostra uma classificação de blocos de vedação ou estruturais, em relação à área bruta, de acordo com a NBR 7171 (1992).

TABELA 2.4 – Resistência à compressão de blocos de alvenaria por classe (NBR 7171, 1992).

Classe	Resistência à Compressão na área Bruta (MPa)
10	1,0
15	1,5
25	2,5
45	4,5
60	6,0
70	7,0
100	10,0

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo tem como finalidade a apresentação dos materiais e métodos utilizados no desenvolvimento da pesquisa. Os materiais serão identificados de acordo com as suas procedências e condições físicas. Os métodos de ensaios constantes de normas serão apenas citados, enquanto que os métodos não constantes na normalização serão descritos detalhadamente. A Figura 3.1 mostra o fluxograma de todas as etapas da pesquisa.

3.1 Materiais

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram:

- resíduos de caulim, resultantes do beneficiamento de caulins primários, extraídos da planície pegmatítica da Borborema, localizada no município de Juazeirinho-PB e cedidos pela CAULISA Indústria S/A;
- argila procedente da Cerâmica Espírito Santo, Município de Espírito Santo – PB;
- resíduos de granito, provenientes da Empresa FUGI S.A – Mármore e Granitos, Alça Sudoeste, S/N, Distrito Industrial do Ligeiro, Campina Grande-PB.

3.2 Métodos

3.2.1 Ensaios de Caracterização

Inicialmente as matérias-primas foram beneficiadas em peneira ABNT Nº 200 (0,074 mm). Em seguida foram realizadas as caracterizações física e mineralógica através dos ensaios de análise granulométrica, limites de Atterberg, análise química, análise térmica diferencial (ATD), análise termogravimétrica (ATG) e difração de raios-X (DRX).

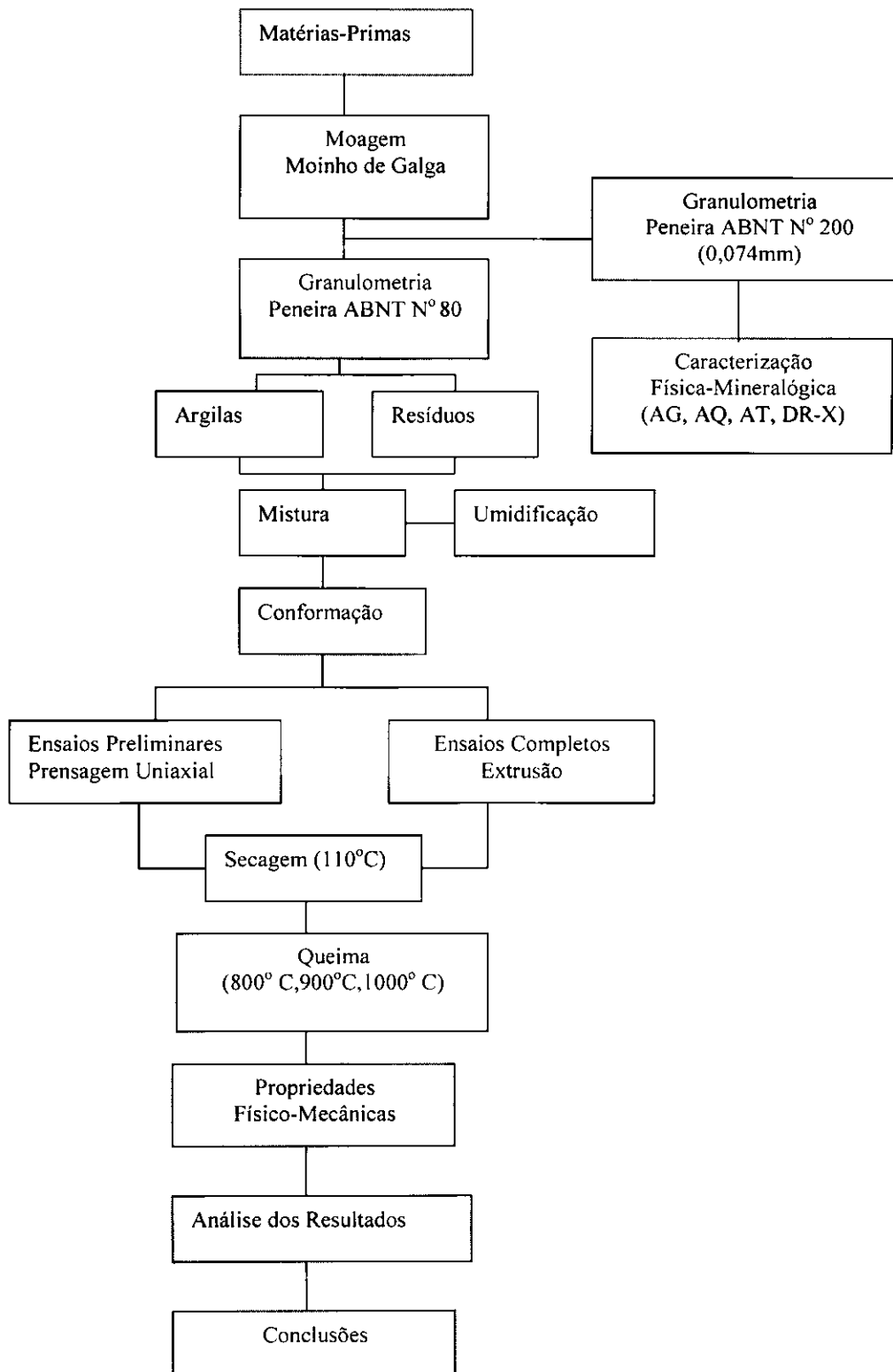


Figura 3.1 Fluxograma das etapas da pesquisa.

3.2.2 Análise Granulométrica

As análises granulométricas por tamanho de partículas foram determinadas por via úmida, com material passando 100% em peneira ABNT N° 50 (0,30mm), por meio de um sistema de análises de tamanho de partículas por difração a laser (granulômetro), marca Cilas 1064 LD, que possui faixa analítica de 0,04 a 500 microns, e emissores de laser secundários, para uma maior precisão na faixa de sub-micron. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais do Departamento de Engenharia de Materiais do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande.

3.2.3 Limites de Atterberg

As amostras foram passadas em peneira ABNT N° 50 (0,30mm), em seguida foram determinadas as características de plasticidades: Limites de Liquidez (LL), Limites de Plasticidades (LP), segundo o método da NBR 6459 (1984) e NBR 7180 (1984). Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais do Departamento de Engenharia de Materiais do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande.

3.2.4 Análise Química

As determinações usuais são: umidade, perda ao fogo, SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , FeO , CaO , MgO , Na_2O e K_2O .

Inicialmente as matérias-primas foram beneficiadas em peneira ABNT N° 200 (0,074 mm) e posteriormente caracterizadas quanto à composição química através do Equipamento EDX-900 da marca Shimadzu, pelo método de Espectrofotometria Fluorescente de Raio-X. Os ensaios foram realizados no Centro de Tecnologia em Materiais em Criciúma-SC.

3.2.5 Análises Térmicas

As análises termodiferencial (ATD) e termogravimétrica (ATG) são úteis em processos de produção cerâmica, para indicar as faixas de temperaturas em que ocorrem transformações endo e exotérmicas, e as temperaturas em que ocorrem as perdas de massas respectivamente. As curvas térmicas foram obtidas através de um sistema de Análises Térmicas Modelo RB-3000, da BP Engenharia (Fig. 3.2), com razão de aquecimento $12,0^{\circ}\text{C}/\text{min}$. A temperatura máxima para ATD e ATG foi de 1000°C e o padrão utilizado na ATD foi óxido de alumínio (Al_2O_3) calcinado. Os ensaios foram realizados no laboratório de cerâmica do DEMa/CCT/UFCG, segundo a metodologia proposta por Souza Santos (1992).

3.2.6 Difração de Raios X

As análises por difração de raios-X das amostras estudadas nesta pesquisa foram realizadas em um equipamento modelo XRD 6000 da Shimadzu, operando com

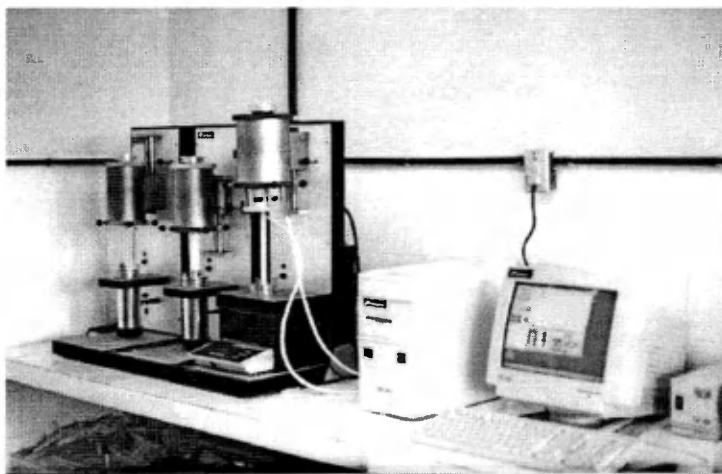


FIGURA 3.2 - Aparelho Análise Térmica Modelo RB-3000 da BP Engenharia.

radiação $\text{Cu } \kappa\alpha$ ($30\text{kV}/40\text{mA}$), com varredura entre $2\theta(3^{\circ})$ e $2\theta(60^{\circ})$ e com velocidade de varredura de $2^{\circ}/\text{min}$. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais do

Departamento de Engenharia de Materiais do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande.

3.3 Ensaios Tecnológicos

3.3.1 Formulação das massas cerâmicas

As massas cerâmicas incorporadas com resíduos de caulim e granito encontram-se nas Tabelas 3.1, 3.2 e 3.3. As massas foram misturadas em moinho de bolas, por 2 horas e em seguida, umedecida com um teor de umidade de 10%, para o ensaio realizado por prensagem, e em torno de 20%, para os ensaios realizados por extrusão.

Tabela 3.1 – Massas cerâmicas incorporada com resíduo de granito.

Matérias - Primas	Composição (% em peso)								
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Argila	100	95	90	85	80	75	70	60	50
Resíduo de granito	-	5	10	15	20	25	30	40	50

Tabela 3.2 – Massas cerâmicas incorporadas com resíduo de caulim .

Matérias - Primas	Composição (% em peso)								
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Argila	100	95	90	85	80	75	70	60	50
Resíduo de caulim	-	5	10	15	20	25	30	40	50

Tabela 3.3 – Massas cerâmicas incorporadas com resíduo de granito e caulim .

Matérias - Primas	Composição (% em peso)								
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Argila	100	95	90	85	80	75	70	60	50
Resíduo de granito	-	2,5	5	7,5	10	12,5	15	20	25
Resíduo de caulim		2,5	5	7,5	10	12,5	15	20	25

3.3.2 Moldagem dos corpos de provas

Os corpos-de-prova foram moldados de acordo com sistemática proposta por Souza Santos (1992). Para os ensaios preliminares (conformado por prensagem), utilizou-se molde na forma de lâminas prismáticas, com dimensões de 6,0 cm x 2,0 cm x 0,5 cm com pressão de 20MPa. Para os ensaios completos (conformado por extrusão), utilizou-se a sistemática proposta pela “American Ceramic Society” citada por Souza Santos (1992). Os corpos de prova foram confeccionados com dimensões de 10,0 cm x 2,0 cm x 1,0 cm, extrudados em uma maromba de laboratório Modelo 51 da Marca VERDÉS, como mostrado na figura 3.3. A Figura 3.3 mostra a extrusora de laboratório onde foram preparados os corpos de prova

Na etapa seguinte, todos os corpos de prova foram secos em estufa a 110° C por um período de 24 horas e posteriormente sinterizados nas temperaturas de queima de 800°C, 900°C e 1000°C, em forno de atmosfera oxidante, com velocidade constante para 800° de 1,67° C por minutos, para 900° de 1,87° C por minutos e para 1000° de 2.06° C por minutos, de elevação de temperatura e a temperatura máxima foi mantida em patamar por duas horas máxima, completando um ciclo de queima de 10 horas. O resfriamento foi realizado naturalmente durante a noite. Os ensaios completos foram realizados no Laboratório de Cerâmica do DEMa/CCT/UFPB, Campina Grande – PB.

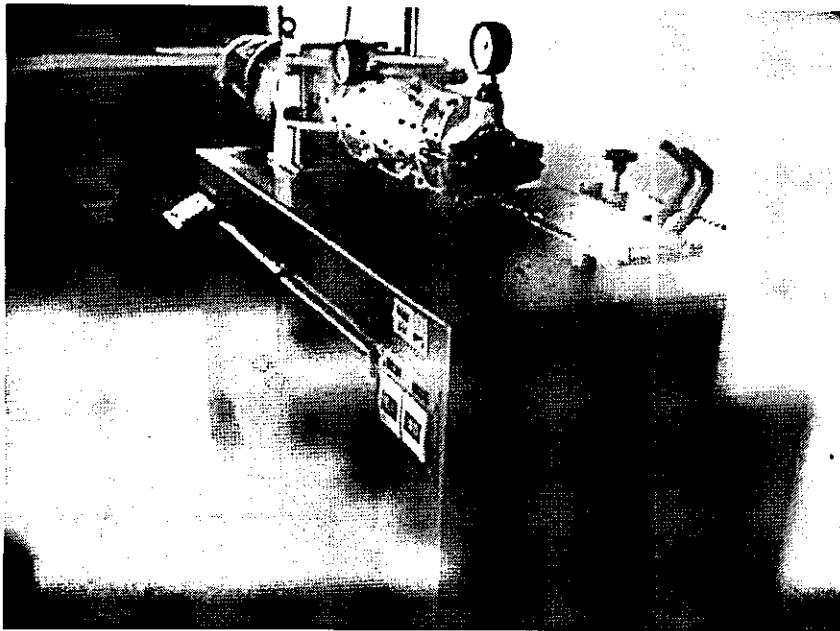


Figura 3.3 Extrusora do laboratório de Cerâmica do DEMa/CCT/UFCG.

3.3.3 Propriedades físico-mecânicas

Após secagem a 110°C e queima a 800°C, 900°C e 1000°C, os corpos de provas foram submetidos a determinação das propriedades físico-mecânicas tais como: retração linear (RL), absorção de água (AA), massa específica aparente (MEA), porosidade aparente (PA) e cor de queima. Os resultados são as médias aritméticas de dez determinações com os respectivos desvios padrões e com aproximação de duas casas decimais. Em seguida, os valores foram comparados com os resultados preconizados por Souza Santos (1992), Salge e Barzaghi (1982) e normas da ABNT. As propriedades cerâmicas foram determinadas no Laboratório de Cerâmica do DEMa/CCT/UFPB, Campina Grande-PB.

A seguir, serão apresentadas as equações para determinações das propriedades físico-mecânicas.

➤ Absorção de água,
$$AA = \frac{P_s - P_u}{P_s} \times 100\% \quad (3.1)$$

➤ Porosidade Aparente, $PA = \frac{P_u - P_s}{P_u - P_i} \times 100\%$ (3.2)

➤ Retração de Queima, $RQ = \frac{L_q - L_s}{L_s} \times 100\%$ (3.3)

➤ Módulo de tensão de ruptura, $TR = \frac{3 \times FR \times L}{2 \times b \times h^2}$ (3.4)

Onde: FR = a força de ruptura (Kgf); L = distância entre as barras de apoio, (mm);
b = largura do corpo de prova (mm); Ps = peso da peça seca; Pu = peso da peça úmida; Pi = peso da peça imersa na água; Lq = comprimento da peça queimada; Ls = comprimento da peça antes da queima; h = espessura do corpo de prova (mm).

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta e discute os resultados obtidos dos ensaios de caracterização física e mineralógica das matérias-primas utilizadas na pesquisa, como também os ensaios tecnológicos das massas cerâmicas incorporadas com resíduos de granito e caulim, visando sua utilização em cerâmica vermelha para a produção de blocos e telhas.

4.1 Caracterização das Matérias-Primas

4.1.1 Análise Granulométrica

A Tabela 4.1 apresenta os valores da distribuição de tamanho de partículas das matérias-primas estudadas.

Tabela 4.1 – Distribuição de tamanho de partículas das matérias-primas estudadas

Amostra	Fração Argila ($<2\mu\text{m}$)	Silte ($2\leq X < 60\mu\text{m}$)	Areia ($60\leq X < 2000\mu\text{m}$)	Diâmetro Médio (μm)
Argila	18,90	81,02	0,08	8,22
Resíduo Granito	11,68*	72,18	27,82	24,47
Resíduo Caulim	9,01	53,28	37,72	54,35

*Fração mineralógica presente no resíduo de granito

Analisando os valores contidos na Tabela 4.1, verifica-se que as matérias-primas estudadas apresentaram comportamento, do ponto vista granulométrico, completamente distinto. A distribuição granulométrica dos resíduos granito e caulim é mais grosseira do que a argila, apresentando na sua composição teores elevados de silte e areia ($> 90\%$). Em relação ao diâmetro médio de partícula verifica-se que o resíduo de caulim apresenta maior tamanho médio, enquanto a argila apresenta um menor diâmetro. Este fato pode estar relacionado ao maior teor do argilomineral caulinita presente na argila. Comparando os valores de distribuição granulométrica das matérias-

primas estudadas com os resultados obtidos por VIEIRA et al. (2000), NEVES (2002), RAMALHO (2004) e MOREIRA(2005) verifica-se que são similares.

As Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 apresentam a distribuição de tamanho de partículas dos resíduos e da argila estudada nesta pesquisa.

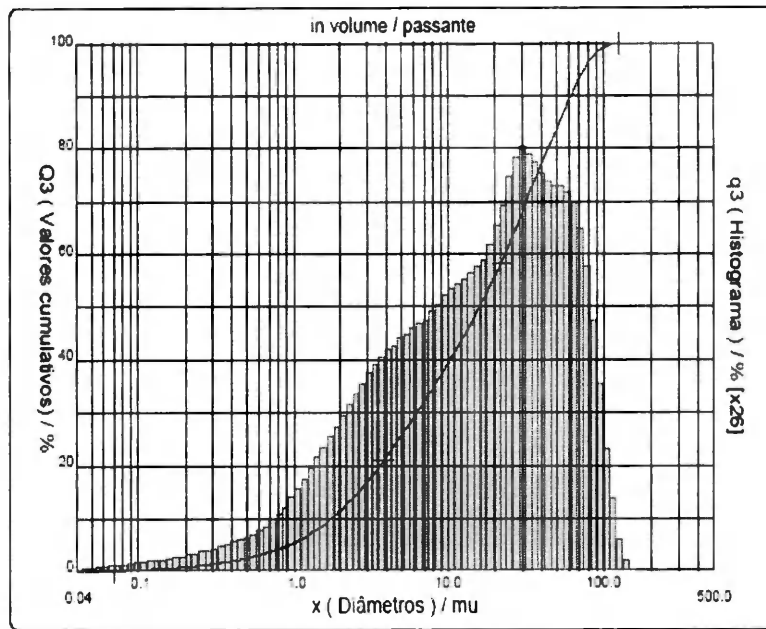


Figura 4.1 - Distribuição de tamanhos de partículas da argila

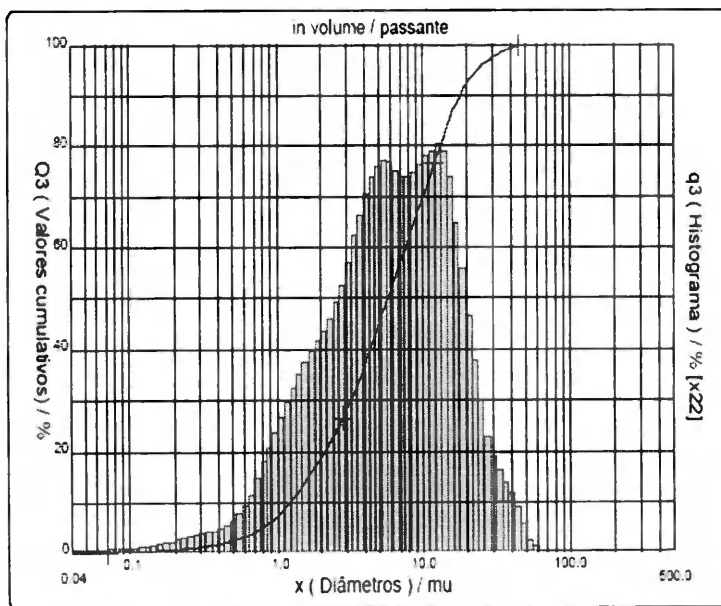


Figura 4.2 - Distribuição de tamanho de partículas do resíduo de granito

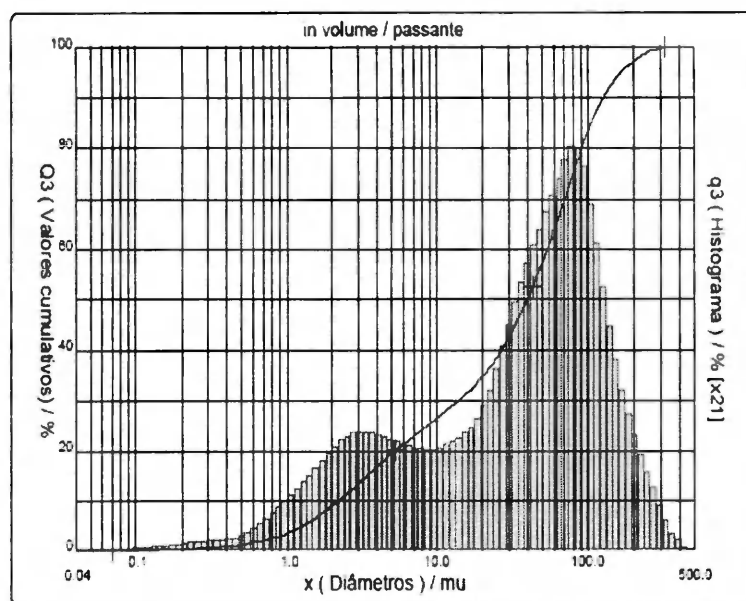


Figura 4.3 - Distribuição de tamanho de partículas do resíduo de caulim

Analisando as curvas de distribuição de tamanho de partículas contidas nas Figuras 4.1, 4.2 e 4.3, verifica-se que o resíduo de granito apresenta melhor distribuição de tamanho de partículas com concentração de diâmetro médio de partículas, equivalente entre 20 e 40 μm . A argila apresenta uma distribuição relativamente estreita, o que pode ser confirmado também pelos resultados apresentados na Tabela 4.1. Estes resultados são similares aos obtidos por Neves (2002) e Ramalho (2004).

4.1.2 Análise química

A Tabela 4.2 apresenta a composição química das matérias-primas estudadas.

Observando os valores da composição química, verifica-se que o resíduo de caulim é constituído basicamente de sílica ($\geq 55\%$), Al_2O_3 (36%), teor de ferro inferior a 1% e óxido fundente ($\text{K}_2\text{O}=6,0\%$) proveniente da mica. Esses óxidos são muito importantes na formulação cerâmica, pois atuam como agentes fundentes, ajudando a sinterização das peças cerâmicas. O resíduo de granito apresenta teor elevado de sílica superior a 60%. A presença de óxido de cálcio e óxido de ferro (CaO e Fe_2O_3) encontrados na amostra de granito é oriunda principalmente da granalha e da cal utilizados como abrasivo e

lubrificante no processo de beneficiamento de granito respectivamente. Os óxidos de ferro (Fe_2O_3), cálcio(CaO), sódio e potássio (Na_2O e K_2O) presentes são agentes fundentes, sendo que o sódio e o potássio são oriundos do feldspato e da mica do granito. Com relação ao uso cerâmico o teor de ferro (Fe_2O_3) superior a 6% presente no resíduo de granito, conduzirá, provavelmente após sinterização, a colorações avermelhadas. Em relação á argila, os teores de sílica, alumina e ferro são típicos de argila para cerâmica vermelha.

Tabela 4.2 – Composição química das matérias-primas.

Amostras	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	K_2O (%)	TiO_2 (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na_2O (%)
Resíduo de granito	62,77	14,38	6,56	3,78	traços	6,28	traços	3,52
Resíduo de caulim	56,5	36,0	1,00	6,14	0,13	traços	traços	traços
Argila	56,37	23,45	11,76	4,8	1,2	2,80	traços	traços

4.1.3 Análise térmica

A Figura 4.4 apresenta as curvas de análise térmica diferencial das matérias-primas estudadas.

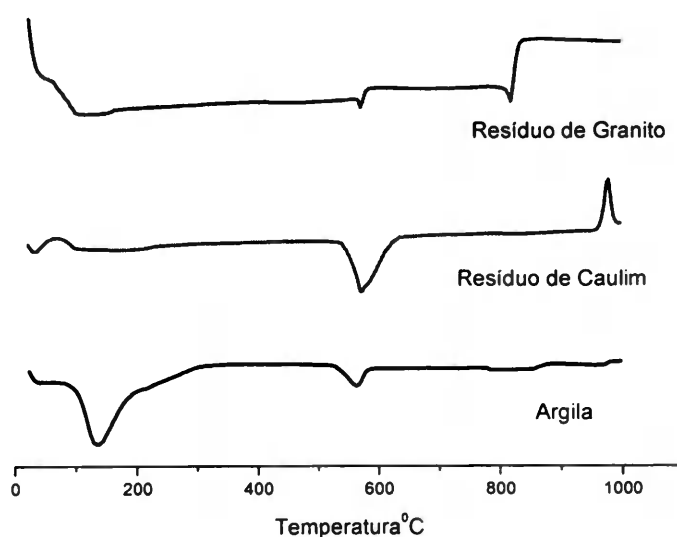


Figura 4.4 – Análises termodiferenciais das matérias-primas utilizadas.

Analisando as curvas de ATD presente na Figura 4.4, verifica-se que a argila apresentou pico endotérmico de pequena intensidade a aproximadamente 120°C, o que caracteriza a presença de água livre; pico endotérmico de pequena intensidade a aproximadamente 579°C, correspondente à presença de hidroxila e transformação do quartzo alfa em quartzo beta. O resíduo de caulim apresentou um pico endotérmico de média intensidade à aproximadamente 580°C, correspondente à presença de hidroxila, e um pico exotérmico de média intensidade, a aproximadamente 950°C, correspondente à nucleação da mulita. O resíduo de granito apresentou dois picos endotérmicos de pequena intensidade, entre 110°C e 160°C, correspondente à presença de água livre e adsorvida; pico endotérmico de pequena intensidade, a aproximadamente 579°C, correspondente à transformação do quartzo alfa em quartzo beta; pico endotérmico de pequena intensidade, a aproximadamente 800°C, correspondente à presença de carbonato.

A Figura 4.5 apresenta as análises térmicas gravimétricas das matérias-primas estudadas.

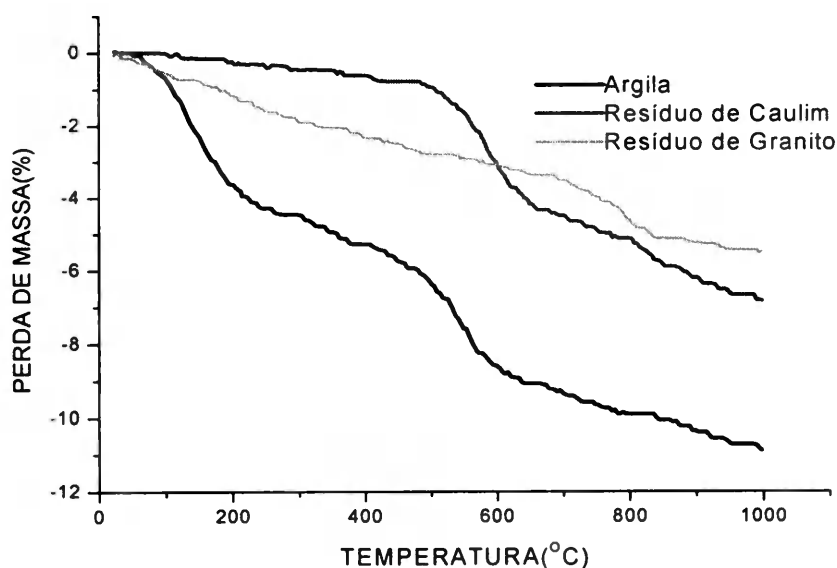


Figura 4.5 - Análises termogravimétricas das matérias-primas estudadas.

Analisando a Figura 4.5 verifica-se que a argila apresentou uma perda de massa total de aproximadamente 13%, referente à perda de água livre e perda de hidroxilas. O resíduo de caulim apresentou uma perda de massa total

de aproximadamente 6%, referente à perda de hidroxilas. O resíduo de granito apresentou uma perda de massa total de aproximadamente 4%, referente à perda de água livre, perda de hidroxilas da mica e perda do carbonato de cálcio.

4. 1.4. Difração de Raios-X (DRX)

A Figura 4.6 apresenta os difratogramas de raios-X das matérias-primas estudados.

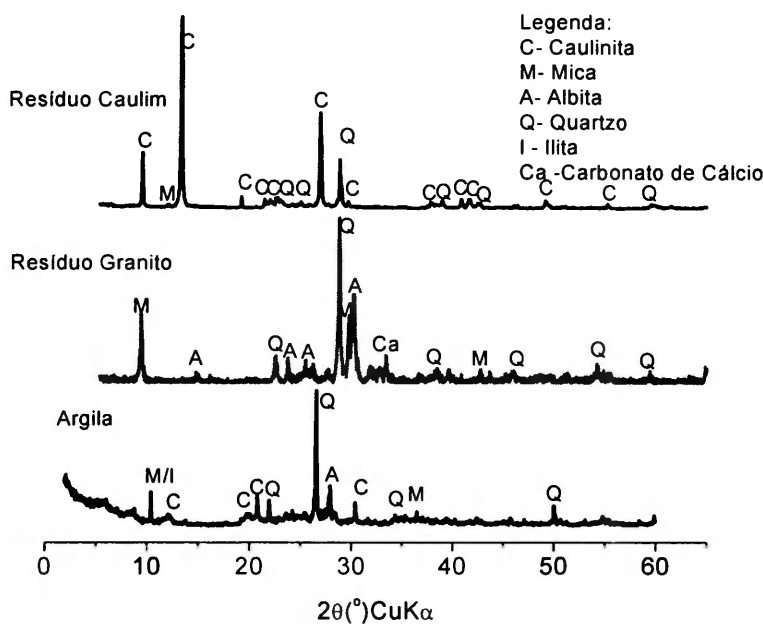


Figura 4.6 – Difrações de raios - X dos resíduos estudados

Observando o difratograma do resíduo de caulim, verifica-se a presença de mica, caracterizada pelas distâncias interplanares de $9,47\text{A}^{\circ}$; e de caulinita caracterizada pela distância interplanar de $7,32\text{A}^{\circ}$; de quartzo (SiO_2), caracterizada pela distância interplanar de $3,34\text{A}^{\circ}$; e de mica moscovita, caracterizada pela distância interplanar $10,04 \text{A}^{\circ}$. Para o resíduo de granito, observa-se a presença de quartzo (SiO_2), caracterizada pela distancia interplanar de $3,34\text{A}^{\circ}$; de albita (feldspato sódico- $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), caracterizada pela distância interplanar de $3,19\text{A}^{\circ}$, e, em menor quantidade de mica moscovita, caracterizada pela distância interplanar de $10,04 \text{A}^{\circ}$, e de calcita

(CaCO₃), caracterizada por 3,03 A°. Para a argila utilizada na pesquisa, observa-se a presença das seguintes fases: mica/ilita, caulinita, quartzo e feldspato do tipo albita.

4.1.5 Limite Plasticidade das Massas Incorporadas com Resíduos de Granito mais Caulim

A Tabela 4.3 apresenta os resultados do limite de plasticidade das massas incorporadas com resíduos de granito e caulim.

Observando os valores dos limites de plasticidade, verifica-se o efeito desplastificante dos resíduos, ou seja, quanto maior a quantidade de resíduo adicionada, menor é a plasticidade das massas cerâmicas. De fato, os experimentos determinados por Neves (2002), Ramalho (2004) e Morreira (2005) mostraram que os resíduos de rochas ornamentais e caulim, quando incorporados a uma massa cerâmica, atuam como um material não plástico. Além do mais, as massas cerâmicas moldadas pelo processo de extrusão, para utilização em cerâmica vermelha apresentam limites de plasticidade entre 18% e 23%, (MOREIRA, 2005).

Tabela 4.3 – Limite de plasticidade das massas com resíduos de granito mais caulim.

Amostras	LP (%)
M1=0%	23,9
M2=5%	23,7
M3=10%	22,7
M4=15%	21,7
M5=20%	21,3
M6=30%	20,8
M7=40%	20,2
M8=50%	19,9
Dados da Literatura: Souza Santos(1992), Macedo(1996), Campos et al. (1999) e Vieira et al. (2000)	18 – 30

Limite de Plasticidade para massas cerâmicas

4.2. Ensaio Tecnológicos

Os corpos cerâmicos, após secagem a 110°C apresentaram cores cinza, e após queima nas temperaturas de 800°C, 900°C e 1000°C de laranja à vermelha. A coloração vermelha nos corpos cerâmicos, após queima, deve-se ao teor de ferro (Fe_2O_3), superior a 5%. Comparando-se com os padrões de cores das argilas brasileiras (SOUZA SANTOS, 1992), podemos concluir que todas as amostras estudadas têm uso provavelmente em cerâmica vermelha.

A Tabela 4.4 apresenta o resultado das propriedades físico-mecânicas preliminares dos corpos de prova das massas cerâmicas incorporadas com resíduos: granito, caulim e granito mais caulim, após secagem a 110°C.

Analisando os resultados das propriedades físico-mecânicas dos corpos de prova, obtidos com as massas cerâmicas incorporadas com resíduos de granito, caulim e granito mais caulim, após secagem a 110°C, verifica-se que, para retração linear de secagem, o valor máximo obtido foi de 1,68%, estando dentro da faixa para fabricação de cerâmica vermelha (0,45-7,63%). Para tensão de ruptura à flexão observa-se um valor mínimo de 2,60 MPa, estando dentro do valor especificado para uso em cerâmica vermelha que é de 2,50 MPa, segundo SOUZA SANTOS (1992).

As Tabelas 4.5, 4.6 e 4.7 apresentam os resultados preliminares das propriedades físico-mecânicas obtidos dos corpos de prova das massas cerâmicas incorporadas com resíduos de granito, caulim e granito+caulim nas temperaturas de queima de 800°C, 900°C e 1000°C.

Observando os resultados das propriedades físico-mecânicas, verifica-se que os corpos de prova, obtidos com as massas cerâmicas alternativas (com adição de resíduo) apresentaram um aumento nos valores de absorção de água em relação aos corpos cerâmicos da massa cerâmica plástica (argila), sendo os valores máximos de 18,55% para absorção de água e de 33,75% para porosidade aparente (massa incorporada com 50% de resíduos de granito+caulim para temperatura de queima 800°C). Este aumento pode ser justificado pelo fato que adição de resíduo (não plástico) na massa, acarretará uma redução da fração argilosa e conseqüentemente um aumento na sua porosidade.

Tabela 4.4 – Propriedades físico-mecânicas preliminares dos corpos de prova das massas cerâmicas incorporadas com resíduos: granito, caulim e granito mais caulim, após secagem a 110°C.

Resíduo de Granito		
Amostras	RL (%)	TRF (MPa)
M1=0%	0,81 ± 0,08	4,90 ± 0,14
M2=5%	1,05 ± 0,38	4,80 ± 0,58
M3=10%	0,13 ± 0,06	4,77 ± 0,12
M4=15%	0,95 ± 0,07	4,29 ± 0,23
M5=20%	0,65 ± 0,11	4,26 ± 0,20
M6=25%	1,64 ± 0,42	3,90 ± 0,37
M7=30%	0,54 ± 0,19	3,80 ± 0,88
M8=40%	0,87± 0,18	3,76± 0,58
M9=50%	0,98± 0,18	3,70± 0,58
Resíduo de Caulim		
M1=0%	0,81 ± 0,09	4,01 ± 0,14
M2=5%	0,67 ± 0,20	4,00 ± 0,45
M3=10%	1,68 ± 0,61	3,98± 0,61
M4=15%	1,34 ± 0,58	3,90 ± 0,73
M5=20%	0,54 ± 0,05	3,88 ± 0,11
M6=25%	0,12 ± 0,20	3,80± 0,68
M7=30%	1,50 ± 0,40	3,75 ± 0,58
M8=40%	1,60± 0,58	3,60± 0,58
M9=50%	0,80± 0,28	3,50± 0,58
Resíduo de Granito mais Caulim		
M1=0%	0,81 ± 0,08	4,10 ± 0,14
M2=5%	0,60 ± 0,08	3,94 ± 0,22
M3=10%	0,39 ± 0,05	3,88 ± 0,15
M4=15%	0,47 ± 0,12	3,80 ± 0,24
M5=20%	0,31 ± 0,06	3,88 ± 0,09
M6=25%	0,54 ± 0,05	3,78 ± 0,11
M7=30%	0,65 ± 0,11	3,26 ± 0,21
M8=40%	0,81 ± 0,08	3,01 ± 0,14
M9=50%	0,60 ± 0,08	2,54 ± 0,22
Especificação (Souza Santos, (1992) (Moreira et al.,2005)	0,45-7,63	>2.5

Em relação as tensão de ruptura à flexão verifica-se um decréscimo nos seus valores, isto pode ser atribuído ao aumento nos valores de porosidade aparente que gera concentrações tensões. Os resultados obtidos estão de acordo com os estudos realizados por NEVES (2002) e DONDI et al., (1998), para cerâmica vermelha.

Comparando-se os resultados das propriedades físico-mecânicas dos corpos cerâmicos queimados nas temperaturas de 800°C, 900°C e 1000°C, com a faixa de valores especificados por SOUZA SANTOS (1992), para uso em cerâmica vermelha, após queima a 950°C, pode-se concluir que:

a) **Absorção de água** – todos os valores das amostras foram inferiores ao especificado (valor máximo de 25%), para que uma massa possa ser utilizada em cerâmica vermelha.

b) **Porosidade aparente** – Para porosidade aparente, todos os valores das amostras foram inferiores ao máximo especificado (valor máximo de 35%) para que uma massa possa ser utilizada em cerâmica vermelha.

c) **Massa específica aparente** – Para massa específica aparente, todos os valores das amostras foram superiores ao mínimo especificado (valor mínimo de 1,70 g/cm³) para que uma massa possa ser utilizada em cerâmica vermelha.

d) **Tensão de ruptura à flexão** – Para tensão de ruptura à flexão, todos os valores dos corpos de prova, incorporados com até 30% de resíduos, foram superiores ao mínimo especificado (valor mínimo de 5,00 (MPa) para que uma massa possa ser utilizada em cerâmica vermelha.

Analisando conjuntamente os resultados da composição mineralógica das matérias primas convencional e alternativa, como também os ensaios tecnológicos preliminares, através das propriedades físico-mecânicas das massas incorporadas com resíduos de granito, caulim e de granito+caulim, pode-se concluir que existe a possibilidade desses resíduos serem utilizados provavelmente em cerâmica vermelha na produção de blocos e telhas cerâmicas.

Tabela 4.5 - Propriedades físico-mecânicas preliminares dos corpos de prova das massas cerâmicas incorporada com resíduos de granito, caulim e Granito mais Caulim, na temperatura de queima de 800°C.

Massas	AA	PA	DA	RQ	TRF
	(%)	(%)	(g/cm ³)	(%)	(MPa)
Residuo de Granito					
M1=0%	12,82±0,19	25,69± 0,280	2,00 ± 0,008	0,15 ± 0,089	6,84 ± 0,14
M2=5%	14,44 ± 0,41	27,14 ± 0,03	1,88 ± 0,05	0,14 ± 0,06	5,95 ± 0,33
M3=10%	14,80 ± ,45	29,30 ± 0,69	1,98 ± 0,01	0,07 ± 0,09	5,18 ± 0,30
M4=15%	14,95 ± 0,52	30,64 ± 0,95	2,05 ± 0,01	0,12 ± 0,04	4,89 ± 0,03
M5=20%	15,77 ± 0,05	31,07 ± 0,01	1,97 ± 0,003	0,07 ± 0,02	4,21 ± 0,37
M6=25%	16,10 ± 0,39	33,01 ± 0,08	2,05 ± 0,12	0,02 ± 0,01	4,20 ± 0,02
M7=30%	16,47 ± 0,44	34,09± 0,04	2,07 ± 0,01	0,10 ± 0,07	4,14 ±0,69
M8=40%	16,50± 0,44	34,33± 0,06	2,08± 0,04	0,50± 0,08	4,10± 0,44
M9=50%	16,60± 0,42	34,53± 0,02	2,08± 0,06	0,55± 0,06	3,18± 0,64
Residuo de Caulim					
M1=0%	12,82±0,19	25,69±0,28	2,00±0,008	0,15±0,089	6,84±0,14
M2=5%	14,87±0,38	26,71±0,39	2,01±0,08	0,65±0,01	5,15±0,37
M3=10%	14,90±0,38	26,85±1,10	1,91±0,04	0,70±0,01	5,10±0,70
M4=15%	14,95±0,73	26,96±1,43	1,80±0,16	0,68±0,07	4,60±0,53
M5=20%	15,84±0,19	28,38±0,30	1,91±0,005	0,66±0,05	4,20±0,15
M6=25%	15,99±0,15	29,34±,30	1,83±0,24	0,92±0,06	3,80±0,43
M7=30%	16,34±0,12	30,23±0,34	1,85±0,04	0,74±0,01	3,70±0,32
M8=40%	16,54± 0,04	32,74± 0,04	1,98± 0,05	0,86± 0,44	3,65± 0,44
M9=50%	16,70± 0,44	33,56± 0,06	2,01± 0,44	0,87± 0,24	3,60± 0,44
Residuo de Granito mais Caulim					
M1=0%	12,82±0,191	25,09±0,280	1,95±0,008	0,15±0,089	6,84±0,14
M2=5%	12,87±0,12	25,24±0,17	1,96±0,01	1,02±0,09	5,52±0,57
M3=10%	13,03±0,11	25,84±0,17	1,98±0,07	0,48±0,17	5,09±0,44
M4=15%	13,97±0,08	25,95±0,11	1,96±0,06	0,21±0,10	4,21±0,22
M5=20%	15,15±0,26	27,37±0,34	1,80±0,01	0,148±0,05	4,13±0,36
M6=25%	15,21±0,09	27,55±0,15	1,94±0,00	0,42±0,08	3,47±0,33
M7=30%	16,60±0,77	31,14±1,17	1,87±0,02	0,259±0,05	3,42±0,18
M8=40%	17,15±0,03	31,52±0,06	1,83±0,00	0,187±0,05	2,66±0,19
M9=50%	18,55±0,22	33,75±0,34	1,78±0,003	0,4±0,14	2,17±0,24

AA – Absorção de Água; PA – Porosidade Aparente; DA – Densidade Aparente; RQ – Retração de Queima; TRF – Tensão de Ruptura à Flexão.

Tabela 4.6 - Propriedades físico-mecânicas preliminares dos corpos de prova das massas cerâmicas incorporadas com resíduos de granito, caulim e Granito mais Caulim, na temperatura de queima de 900°C.

Massas	AA	PA	DA	RQ	TRF
	(%)	(%)	(g/cm ³)	(%)	(MPa)
Resíduo de Granito					
M1=0%	12,11 ± 0,13	24,42 ± 0,25	2,01 ± 0,003	0,58 ± 0,092	7,52 ± 0,32
M2=5%	13,05 ± 0,60	25,18 ± 0,00	1,93 ± 0,05	0,13 ± 0,40	6,95 ± 0,18
M3=10%	13,32 ± 1,62	27,28 ± 2,19	1,96 ± 0,06	0,09 ± 0,05	5,98 ± 0,16
M4=15%	13,47 ± 0,52	27,38 ± 0,95	1,98 ± 0,01	0,07 ± 0,04	5,30 ± 0,41
M5=20%	13,85 ± 0,21	27,47 ± 0,41	1,97 ± 0,013	0,06 ± 0,02	5,17 ± 0,19
M6=25%	14,49 ± 1,91	28,40 ± 3,39	1,96 ± 0,04	0,11 ± 0,06	4,79 ± 1,41
M7=30%	15,16 ± 0,11	29,00 ± 0,17	1,91 ± 0,00	0,07 ± 0,60	4,49 ± 0,88
M8=40%	16,04 ± 0,44	30,79 ± 0,03	1,92 ± 0,04	0,70 ± 0,04	4,30 ± 0,14
M9=50%	16,10 ± 0,04	30,42 ± 0,04	1,89 ± 0,06	0,78 ± 0,74	4,20 ± 0,44
Resíduo de Caulim					
M1=0%	12,11 ± 0,13	24,42 ± 0,25	2,01 ± 0,003	0,58 ± 0,092	7,52 ± 0,32
M2=5%	14,04 ± 0,04	28,93 ± 0,17	1,97 ± 0,01	0,17 ± 0,02	6,38 ± 0,97
M3=10%	14,72 ± 0,96	28,93 ± 1,59	1,97 ± 0,16	0,24 ± 0,11	5,78 ± 0,52
M4=15%	14,85 ± 0,00	29,40 ± 0,00	1,98 ± 0,00	0,17 ± 0,02	5,05 ± 0,25
M5=20%	14,90 ± 0,27	29,60 ± 0,37	1,99 ± 0,01	0,10 ± 0,11	4,56 ± 0,06
M6=25%	15,70 ± 0,54	31,58 ± 0,87	1,98 ± 0,10	0,18 ± 0,03	4,40 ± 0,30
M7=30%	15,88 ± 0,18	31,60 ± 0,36	1,99 ± 0,04	0,77 ± 0,10	4,09 ± 0,39
M8=40%	16,10 ± 0,64	31,87 ± 0,44	1,98 ± 0,14	0,73 ± 0,24	4,07 ± 0,44
M9=50%	16,20 ± 0,44	31,91 ± 0,44	1,97 ± 0,44	0,78 ± 0,44	3,98 ± 0,44
Resíduo de Granito mais Caulim					
M1=0%	12,11 ± 0,13	24,42 ± 0,25	2,01 ± 0,003	0,58 ± 0,092	7,52 ± 0,32
M2=5%	12,66 ± 0,07	25,27 ± 0,12	2,00 ± 0,00	0,54 ± 0,51	5,80 ± 0,28
M3=10%	12,98 ± 0,01	26,57 ± 0,00	1,97 ± 0,00	0,03 ± 0,00	4,45 ± 0,19
M4=15%	13,73 ± 0,40	26,63 ± 0,66	1,95 ± 0,01	0,06 ± 0,03	4,35 ± 0,81
M5=20%	14,59 ± 0,29	28,07 ± 0,45	1,92 ± 0,01	0,13 ± 0,05	4,26 ± 1,27
M6=25%	14,75 ± 0,07	27,22 ± 0,23	1,92 ± 0,01	0,28 ± 0,03	3,35 ± 0,69
M7=30%	15,59 ± 0,19	29,53 ± 0,33	1,89 ± 0,01	0,041 ± 0,03	3,30 ± 0,11
M8=40%	17,05 ± 0,20	31,64 ± 0,23	1,83 ± 0,01	0,12 ± 0,04	2,66 ± 0,25
M9=50%	18,28 ± 0,23	32,8 ± 0,37	1,79 ± 0,005	0,25 ± 0,05	2,03 ± 0,17

AA – Absorção de Água; PA – Porosidade Aparente; DA – Densidade Aparente; RQ – Retração de Queima; TRF – Tensão de Ruptura à Flexão.

Tabela 4.7 - Propriedades físico-mecânicas preliminares dos corpos de prova das massas cerâmicas incorporadas com resíduos de granito, caulim e Granito mais Caulim, na temperatura de queima de 1000°C.

Massas	AA	PA	DA	RQ	TRF
	(%)	(%)	(g/cm ³)	(%)	(MPa)
Resíduo de Granito					
M1=0%	9,31±0,16	19,66± 0,29	2,11±0,01	1,89±0,15	7,52±0,23
M2=5%	11,93± 0,50	23,04 ± ,016	1,93 ± 0,07	0,76 ± 0,09	6,99 ± 0,32
M3=10%	12,04± 0,22	24,13± 0,39	2,02 ± 0,00	0,85± 0,06	6,19 ± 0,15
M4=15%	12,38± 0,32	24,46± 0,56	2,01 ± 0,02	0,59 ± 0,12	5,47 ± 0,27
M5=20%	12,96± 0,17	25,00± 0,28	1,92±0,006	0,91±0,08	5,36±0,53
M6=25%	13,16± 3,20	26,75± 5,19	2,03 ± 0,04	0,36 ± 0,09	4,96 ± 1,10
M7=30%	13,59± 0,15	27,04± 0,20	1,92 ± 0,01	0,10 ± 0,05	4,80 ± 0,14
M8=40%	14,05± 0,44	27,67± 0,54	1,97± 0,02	0,30± 0,64	4,75± 0,84
M9=50%	14,20± 0,44	28,54± 0,34	2,01± 0,03	0,60± 0,64	4,60± 0,94
Resíduo de Caulim					
M1=0%	9,31±0,16	19,66± 0,29	2,11±0,01	1,89±0,15	8,52±0,23
M2=5%	11,93±0,41	23,04±0,60	1,93±0,04	0,76±0,91	6,90±0,57
M3=10%	11,94±0,58	24,13±1,35	2,02±0,20	0,85±0,55	6,13±0,25
M4=15%	12,18±0,80	24,46±1,48	2,01±0,11	0,59±0,05	5,10±0,18
M5=20%	12,96±0,33	26,04±0,28	2,01±0,006	0,91±0,08	5,00±0,53±
M6=25%	13,16±0,22	27,65±0,44	2,10±0,01	0,36±0,22	4,86±0,12
M7=30%	14,10±0,55	28,31±0,27	2,10±0,03	0,40±0,009	4,77±1,61
M8=40%	15,02± 0,44	29,96± 0,34	1,99± 0,04	0,78± 0,24	4,65± 0,44
M9=50%	15,10± 0,44	30,50± 0,64	2,02± 0,44	0,80± 0,44	4,60± 0,44
Resíduo de Granito mais Caulim					
M1=0%	9,31±0,16	19,66± 0,29	2,11±0,01	1,89±0,15	8,01±0,23
M2=5%	10,95±0,13	22,40±0,24	2,05±0,00	0,06±0,04	7,41±1,27
M3=10%	11,38±0,07	23,02±0,14	2,02±0,00	0,70±0,08	5,98±0,35
M4=25%	11,71±0,25	23,75±0,12	2,03±0,04	0,67±0,11	5,72±0,09
M5=20%	12,93±0,33	25,51±0,51	1,97±0,01	0,78±0,22	5,29±0,41
M6=25%	13,40±0,95	27,59±1,25	1,84±0,03	0,14±0,01	4,88±0,05
M7=30%	13,88±0,06	27,87±0,16	1,93±0,01	0,68±0,05	4,46±0,14
M8=40%	15,45±0,04	29,06±0,11	1,88±0,00	0,6±0,15	4,36±0,31
M9=50%	17,26±0,30	31,48±0,46	1,82±0,01	0,39±0,12	2,980,58

AA – Absorção de Água; PA – Porosidade Aparente; DA – Densidade Aparente; RQ – Retração de Queima; TRF – Tensão de Ruptura à Flexão.

As Tabelas 4.8, 4.9, 4.10 e 4.11 apresentam os resultados dos ensaios completos das propriedades físico-mecânicas dos corpos de prova 20 cm x 2,0 cm x 1,0 cm, das massas cerâmicas incorporadas com resíduos de granito, caulim e granito+caulim, após secagem a 110°C, e queima nas temperaturas de 800° C, 900° C e 1000° C.

Os resultados contidos na Tabela 4.8, revelam que os corpos cerâmicos estudados apresentaram valores máximos de retração linear de 2,94% (massa incorporada com 5% de resíduo de granito), e tensão de ruptura à flexão mínima de 3,34MPa (massas incorporadas com 50% de resíduos de granito mais caulim).

Comparando esses resultados com valores recomendados por Salge & Barzaghi (1982) para que uma massa cerâmica possa ser utilizada na fabricação de blocos maciços, blocos furados e telhas, verifica-se que todas as amostras analisadas apresentaram comportamento mecânico superior ao valor mínimo fixado para blocos maciços (1,5MPa), blocos furados (2,5MPa) e telhas (3,0MPa).

As Tabelas 4.9, 4.10 e 4.11 apresentam os resultados obtidos dos corpos de prova conformados por extrusão das massas cerâmicas incorporadas com resíduos de granito, caulim e granito mais caulim, nas temperaturas de queima de 800°C, 900°C e 1000°C.

Analisando os valores contidos na Tabela 4.9 verifica-se que os corpos cerâmicos estudados apresentaram valores máximos de absorção de água de 16,80% (massa incorporada com 50% de resíduo de caulim); porosidade aparente de 33,20% (massa incorporada com 50% de resíduo de caulim); massa específica aparente de 2,00g/cm³ (massa incorporada com 15% de caulim mais granito); retração linear de 2,37% (massa incorporada com 30% de caulim) e tensão de ruptura à flexão mínima de 5,45 MPa (massa incorporada com 50% de resíduos de granito mais caulim), estando dentro da faixa de valores (Tabela 2.1) dos resíduos redutores de plasticidades para uso como matéria-prima cerâmica (3 a 20 MPa).

Tabela 4.8 – Propriedades físico-mecânicas completos dos corpos de prova, das massas cerâmicas incorporadas com resíduos de granito, caulim e Granito mais Caulim, após secagem a 110°C.

Resíduo de Granito		
Amostras	RL (%)	TRF (MPa)
M1=0%	0,94±0,32	5,91±0,69
M2=5%	0,22±0,18	4,94±0,59
M3=10%	0,85±0,34	4,88±0,35
M4=15%	0,79±0,13	4,86±0,38
M5=20%	0,72±0,26	4,80±0,50
M6=25%	0,51±0,34	4,78±0,28
M7=30%	0,15±0,11	4,48±0,52
M8=40%	0,40±0,12	4,46±0,61
M9=50%	0,60±0,11	4,36±0,14
Resíduo de Caulim		
Amostras	RL (%)	TRF (MPa)
M1=0%	0,94±0,32	4,96±0,69
M2=5%	2,94±0,35	4,94±0,22
M3=10%	2,07±0,24	4,87±0,45
M4=15%	0,55±0,13	4,51 ±1,49
M5=20%	0,81±0,09	4,39±1,15
M6=25%	2,83±0,20	4,07±0,07
M7=30%	1,28±0,19	4,03±0,23
M8=40%	1,50±0,31	4,01±0,11
M9=50%	1,40±0,31	3,98±0,51
Resíduo de Granito mais Caulim		
Amostras	RL (%)	TRF (MPa)
M1=0%	0,94±0,32	5,91±0,69
M2=5%	0,33±0,03	5,23±0,65
M3=10%	0,30±0,15	5,19±0,30
M4=15%	0,72±0,12	4,82±0,39
M5=20%	0,08±0,01	4,77±0,54
M6=25%	1,18±0,23	4,60±0,48
M7=30%	0,42±0,03	4,27±0,20
M8=40%	1,01±0,28	4,17±0,18
M9=50%	0,38±0,04	3,34±1,34
Especificação (Souza Santos, 1992)	NE	>2.5

Tabela 4.9 - Propriedades físico-mecânicas completas dos corpos de prova das massas cerâmicas incorporadas com resíduos de granito, caulim, e Granito mais Caulim, na temperatura de queima de 800°C.

Massas	AA	PA	DA	RQ	TRF
	(%)	(%)	(g/cm ³)	(%)	(MPa)
Resíduo de Granito					
M1=0%	11,62±0,03	23,45±0,04	1,99±0,02	0,94±0,67	13,75±0,09
M2=5%	12,78±0,03	23,77±0,83	1,96±0,02	0,27±0,08	12,99±1,14
M3=10%	12,87±0,08	23,93±0,38	1,86±0,08	0,39±0,47	12,44±0,76
M4=15%	12,96±0,07	24,36±0,31	1,88±0,02	0,77±0,38	11,14±0,31
M5=20%	13,53±0,33	26,54±0,83	1,93±0,01	0,38±0,15	11,06±0,75
M6=25%	13,79±0,07	26,92±0,33	1,88±0,01	1,86±1,20	10,96±1,11
M7=30%	13,89±0,33	27,22±0,08	1,96±0,06	0,54±0,24	10,27±0,68
M8=40%	15,10±0,11	28,89±0,12	1,98±0,11	0,50±0,11	9,93±0,71
M9=50%	16,70±0,14	31,73±0,17	1,90±0,11	0,70±0,14	8,85±0,81
Resíduo de Caulim					
M1=0%	11,62±0,03	23,45±0,04	1,99±0,02	0,94±0,67	13,75±0,09
M2=5%	14,26±0,05	26,88±0,94	1,86±0,04	0,47±0,22	6,90±0,40
M3=10%	14,54±0,08	27,80±0,35	1,80±0,04	0,96±1,07	6,84±0,39
M4=15%	14,61±0,03	27,96±0,51	1,88±0,02	0,27±0,17	6,76±0,65
M5=20%	14,70±0,34	28,81±0,90	1,96±0,02	1,16±0,81	6,62±0,35
M6=25%	14,80±0,09	28,96±1,96	1,93±0,08	1,00±0,88	6,55±0,26
M7=30%	14,90±0,13	29,02±0,70	1,94±0,03	2,37±1,59	6,24±0,66
M8=40%	16,00 ±0,16	31,84±0,13	1,99±0,01	1,22±0,13	6,20±0,13
M9=50%	16,80±0,13	33,26±0,13	1,98±0,03	1,40±0,13	5,98±0,23
Resíduo de Granito mais Caulim					
M1=0%	11,62±0,03	23,45±0,04	1,99±0,02	0,94±0,67	13,75±0,09
M2=5%	11,69±0,17	23,77±0,38	1,95±0,04	0,10±0,08	11,62±0,42
M3=10%	11,75±0,30	23,82±0,53	1,90±0,02	0,67±0,38	10,68±0,15
M4=15%	11,80±0,40	23,98±0,95	2,00±0,04	0,77±0,83	8,96±0,88
M5=20%	11,90±0,07	24,58±0,11	1,94±0,01	0,97±1,07	8,16±0,29
M6=25%	12,94±0,60	27,95±0,88	1,89±0,12	0,93±0,84	7,30±1,85
M7=30%	13,00±0,05	28,61±0,45	1,97±0,04	0,13±0,11	6,85±0,49
M8=40%	13,18±0,01	28,92±0,07	1,90±0,07	1,06±1,09	6,42±0,22
M9=50%	14,38±0,90	32,87±1,48	1,85±0,09	0,41±0,33	5,45±0,44

AA – Absorção de Água; PA – Porosidade Aparente; DA – Densidade Aparente; RQ – Retração de Queima; TRF – Tensão de Ruptura à Flexão.

Tabela 4.10 - Propriedades físico-mecânicas completas dos corpos de prova com as massas cerâmicas incorporadas com resíduos de granito, caulim e Granito mais Caulim, na temperatura de queima de 900°C.

Massas	AA	PA	DA	RQ	TRF
	(%)	(%)	(g/cm ³)	(%)	(MPa)
Resíduo de Granito					
M1=0%	11,20±0,04	22,17±0,65	1,98±0,02	0,44±0,70	14,40±0,78
M2=5%	12,16±0,03	22,73±0,03	1,82±0,05	0,48±0,15	13,34±0,16
M3=10%	12,30±0,12	24,32±0,13	1,83±0,00	0,34±0,05	12,64±0,05
M4=15%	12,44±0,08	24,79±0,73	1,83±0,00	1,13±0,45	11,90± 0,18
M5=20%	12,94±0,04	24,96±0,02	1,86±0,01	0,86±0,71	11,80±0,07
M6=25%	12,96±0,13	25,15±0,44	1,91±0,02	0,36±0,31	11,73±0,02
M7=30%	13,33±0,32	25,68±0,15	1,84±0,12	1,76±0,40	10,72±0,88
M8=40%	14,10±0,11	27,91±0,12	1,98±0,11	0,50±0,11	9,98±0,71
M9=50%	15,70±0,14	29,83±0,17	1,90±0,11	0,70±0,14	9,85±0,81
Resíduo de Caulim					
M1=0%	11,20±0,04	22,17±0,65	1,98±0,02	0,44±0,70	14,40±0,78
M2=5%	13,14±0,03	25,15±0,75	1,92±0,08	0,87±0,45	8,45±1,27
M3=10%	13,02±0,12	25,32±0,46	1,86±0,10	0,49±0,00	8,29±0,08
M4=15%	13,41±0,06	25,69±0,60	1,86±0,09	0,46±0,31	7,44±0,33
M5=20%	13,50±0,04	26,45±0,51	1,90±0,01	0,05±0,33	7,81±0,22
M6=25%	13,70±0,02	27,38±0,69	1,94±0,05	0,19±0,05	7,76±0,12
M7=30%	14,20±0,12	28,91±0,51	1,95±0,01	0,05±0,33	7,61±0,22
M8=40%	15,90 ±0,16	31,84±0,13	1,99±0,01	1,22±0,13	6,80±0,13
M9=50%	16,80±0,13	33,26±0,13	1,98±0,03	1,40±0,13	6,68±0,23
Resíduo de Granito mais Caulim					
M1=0%	11,20±0,04	22,17±0,65	1,98±0,02	0,44±0,70	14,40±0,78
M2=5%	11,59±0,17	22,77±0,38	1,95±0,04	0,10±0,08	11,72±0,42
M3=10%	11,70±0,30	22,92±0,53	1,90±0,02	0,67±0,38	10,88±0,15
M4=15%	11,75±0,40	23,48±0,95	1,99±0,04	0,77±0,83	9,98±0,88
M5=20%	11,80±0,07	23,88±0,11	1,94±0,01	0,97±1,07	8,23±0,29
M6=25%	12,64±0,60	24,95±0,88	1,89±0,12	0,93±0,84	7,80±1,85
M7=30%	12,98±0,05	25,61±0,45	1,97±0,04	0,13±0,11	6,90±0,49
M8=40%	13,05±0,01	28,92±0,07	1,90±0,07	1,06±1,09	6,52±0,22
M9=50%	14,01±0,60	32,87±1,48	1,85±0,09	0,41±0,33	6,45±0,44

AA – Absorção de Água; PA – Porosidade Aparente; DA – Densidade Aparente; RQ – Retração de Queima; TRF- Tensão de Ruptura à Flexão.

Tabela 4.11 - Propriedades físico-mecânicas completas dos corpos de prova com as massas cerâmicas incorporadas com resíduos de granito, caulim e Granito mais Caulim, na temperatura de queima de 1000°C.

Massas	AA	PA	DA	RQ	TRF
	(%)	(%)	(g/cm ³)	(%)	(MPa)
Resíduo de Granito					
M1=0%	10,79±0,46	21,47±0,58	1,99±0,03	0,32±0,78	15,30±0,90
M2=5%	12,90±0,03	22,83±1,57	1,89±0,02	0,89±0,32	14,88±0,02
M3=10%	12,00±0,04	23,53±0,22	1,81±0,01	1,28±0,66	13,89±0,14
M4=15%	12,20±0,01	23,78±0,08	1,81±0,01	1,89±0,69	12,89±0,30
M5=20%	12,30±0,09	23,87±0,37	1,85±0,01	0,91±0,00	12,79±0,21
M6=25%	12,31±0,50	23,96±0,95	1,91±0,01	0,79±0,50	12,49±0,60
M7=30%	12,36±0,23	24,02±0,11	1,85±0,02	1,02±0,44	11,15±0,62
M8=40%	13,10±0,11	25,93±0,12	1,98±0,11	0,80±0,11	10,98±0,71
M9=50%	13,70±0,14	26,03±0,17	1,90±0,11	0,90±0,14	10,85±0,81
Resíduo de Caulim					
M1=0%	10,79±0,46	21,47±0,58	1,99±0,03	0,32±0,78	15,30±0,90
M2=5%	12,91±0,06	23,36±0,88	1,81±0,04	1,52±0,45	8,74±0,78
M3=10%	12,98±0,12	23,38±0,51	1,82±0,01	1,48±1,29	8,62±0,39
M4=15%	13,35±0,22	23,99±0,44	1,94±0,01	0,50±0,02	8,44±0,17
M5=20%	13,46±0,04	26,76±0,45	1,98±0,01	1,19±0,41	8,18±0,05
M6=25%	13,60±0,60	26,92±0,40	1,98±0,01	0,67±0,19	8,05±0,36
M7=30%	14,05±0,04	27,49±0,31	1,92±0,00	0,21±0,07	7,88±0,41
M8=40%	14,50 ±0,16	31,84±0,13	1,99±0,01	1,22±0,13	7,80±0,13
M9=50%	15,80±0,13	31,96±0,13	1,98±0,03	1,40±0,13	7,68±0,23
Resíduo de Granito mais Caulim					
M1=0%	10,79±0,46	21,47±0,58	1,99±0,03	0,32±0,78	15,30±0,90
M2=5%	11,40±0,17	23,77±0,38	1,95±0,04	0,10±0,08	12,72±0,42
M3=10%	11,50±0,30	23,82±0,53	1,90±0,02	0,67±0,38	11,02±0,15
M4=15%	11,70±0,40	23,98±0,95	1,99±0,04	0,77±0,83	10,01±0,88
M5=20%	11,75±0,07	24,08±0,11	1,94±0,01	0,97±1,07	9,63±0,29
M6=25%	11,96±0,60	24,95±0,88	1,89±0,12	0,93±0,84	8,20±1,85
M7=30%	11,98±0,05	25,61±0,45	1,97±0,04	0,13±0,11	7,98±0,49
M8=40%	12,50±0,01	26,92±0,87	1,90±0,07	1,06±1,09	6,92±0,22
M9=50%	13,50±0,60	32,87±0,48	1,85±0,09	0,41±0,33	6,85±0,44

AA – Absorção de Água; PA – Porosidade Aparente; DA – Densidade Aparente; RQ – Retração de Queima; TRF- Tensão de Ruptura à Flexão.

Comparando os resultados contidos na Tabela 4.9 com os valores recomendados por Salge & Barzaghi (1982) para que uma massa cerâmica possa ser utilizada na fabricação de blocos e telhas, verifica-se que todos os corpos cerâmicos estudados apresentaram valores de absorção de água inferiores ao máximo especificado para blocos furados (máximo 25%) e telhas (máximo 20%).

Quanto a tensão de ruptura à flexão verifica-se que os resultados contidos na Tabela 4.9 apresentaram valores superiores ao mínimo especificado por Salge & Barzaghi (1982) para blocos maciços (mínima 2,0MPa), blocos furados (mínima 5,5MPa) e telhas (mínima 6,5MPa).

Observando os resultados após queima na temperatura de 900°C, contidos na Tabela 4.10, verifica-se que os corpos cerâmicos apresentaram valores máximos de absorção de água de 16,80% (massa incorporada com 50% de resíduo de granito mais caulim); porosidade aparente de 33,26% (massa incorporada com 50% de resíduo de granito mais caulim); massa específica aparente de 1,99 g/cm³ (massa incorporada com 35% de resíduo de caulim); retração linear de 1,86% (massa incorporada com 5% de granito) e tensão de ruptura à flexão mínima de 5,45 MPa (massa incorporada com 50% de resíduo de granito+caulim), estando dentro das faixas de valores dos resíduos redutores de plasticidades estudados por Dondi et al. (1987) para uso como matéria-prima cerâmica.

Comparando os resultados contidos na Tabela 4.10 com os valores preconizados por SALGE e BARZAGHI 1998 para que uma massa cerâmica possa ser utilizada na fabricação de blocos e telhas, verifica-se que todos os corpos cerâmicos estudados apresentaram resultados de absorção de água inferiores ao máximo especificado para blocos furados (máximo de 25%) e telhas (máximo de 20%).

Para a tensão de ruptura à flexão (Tabela 4.10), verifica-se que todos os corpos cerâmicos incorporados com resíduos apresentaram valores superiores ao mínimo especificado por SALGE e BARZAGHI (1982) para blocos maciços (mínima 2,0MPa), blocos furados (mínima 5,5MPa) e telhas (mínima 6,5MPa), com exceção dos corpos cerâmicos incorporados com 50% de resíduo de caulim mais granito para telhas, que apresentaram comportamento mecânico inferior ao mínimo especificado. Comparando os valores obtidos com as

especificações da ABNT NBR 7171(1993) para blocos cerâmicos de alvenaria, verifica-se que todas as amostras estudadas apresentaram valores de absorção de água dentro da faixa limite especificada (8% e 25%).

Observando os resultados após queima na temperatura de 1000°C, contido na Tabela 4.11, verifica-se que os corpos cerâmicos apresentaram valores máximos de absorção de água de 15,80% (massa incorporada com 50% de resíduo de caulim); porosidade aparente de 32,87% (massa incorporada com 50% de resíduo de granito mais caulim); massa específica aparente de 1,99 g/cm³ (massa incorporada com 40% de resíduo de caulim e 20% de granito mais caulim); retração linear de 1,89 % (massa incorporada com 15% de caulim) e tensão de ruptura à flexão mínima de 5,45 MPa (massa incorporada com 50% de resíduo de caulim mais granito), estando dentro das faixas de valores dos resíduos redutores de plasticidades estudados por Dondi et al. (1992), para uso como matéria-prima cerâmica.

Comparando os resultados contidos na Tabela (4.11), com os valores preconizados por Salge e Barzaghi (1982) para que uma massa cerâmica possa ser utilizada na fabricação de blocos e telhas, verifica-se que todos os corpos cerâmicos estudados apresentaram resultados de absorção de água inferiores ao máximo especificado para blocos furados (máximo de 25%) e telhas (máximo de 20%). Em relação às especificações da ABNT NBR 7171(1993) para blocos cerâmicos de alvenaria, verifica-se que todas as amostras estudadas apresentaram valores de absorção de água dentro da faixa limite especificada (8% e 25%).

Para a tensão de ruptura à flexão (Tabela 4.11), verifica-se que todos os corpos cerâmicos incorporados com resíduos apresentaram valores superiores ao mínimo especificado por Salge e Barzaghi (1992) para blocos maciços (mínima 2,0MPa), blocos furados (mínima 5,5MPa) e telhas (mínima 6,5MPa), com exceção dos corpos cerâmicos incorporados com 50% de resíduo de granito mais caulim para telha, que apresentaram comportamento mecânico inferior ao mínimo especificado.

As Figuras 4.7A e 4.7B apresentam os resultados da absorção de água das massas incorporadas com resíduos conformados pelo processo de prensagem e extrusão queimadas na temperatura usualmente utilizada em cerâmica vermelha, que é de 900°C.

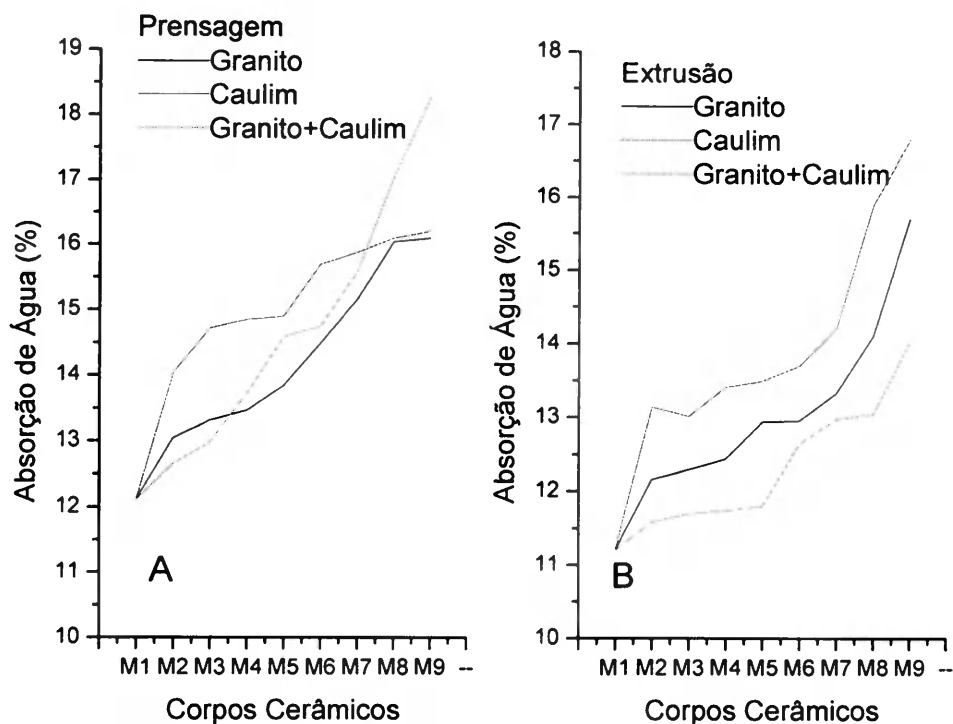


Figura 4.7 - Absorção de água dos corpos cerâmicos (A) prensagem (B) extrusão.

Analisando os resultados de absorção de água contido na Figura 4.9A e 4.7B, verifica-se que os valores foram aumentando, à medida que uma maior porcentagem de resíduos foi incorporada às massas. Esses acréscimos podem ser justificados pelo fato de que a adição de resíduo diminui a quantidade de material argiloso na formulação, e, por conseguinte, aumenta a quantidade de SiO_2 e Al_2O_3 (Tabela 4.2). Em relação às massas incorporadas com resíduo de granito, pode-se verificar que os corpos cerâmicos por prensagem apresentaram menor absorção de água. Esse comportamento pode estar relacionado com o maior teor de fundente (Tabela 4.2) e com a distribuição granulométrica (Figura 4.2) apresentada por este resíduo.

Para as massas contendo resíduos de caulim mais granito, o comportamento quanto à absorção de água, foi inferior ao comportamento ao resíduo de granito e caulim moldados pelo processo de extrusão. O comportamento diferenciado pode ser atribuído provavelmente à distribuição

granulométrica apresentada pelos resíduos de granito mais caulim (Figura 4.3) e a presença do baixo teor de fundente (Tabela 4.2).

As Figuras 4.8A e 4.8B apresentam os resultados de tensão de ruptura à flexão das massas incorporadas com resíduos conformados pelo processo de prensagem e extrusão queimadas na temperatura usualmente utilizada em cerâmica vermelha, que é de 900°C.

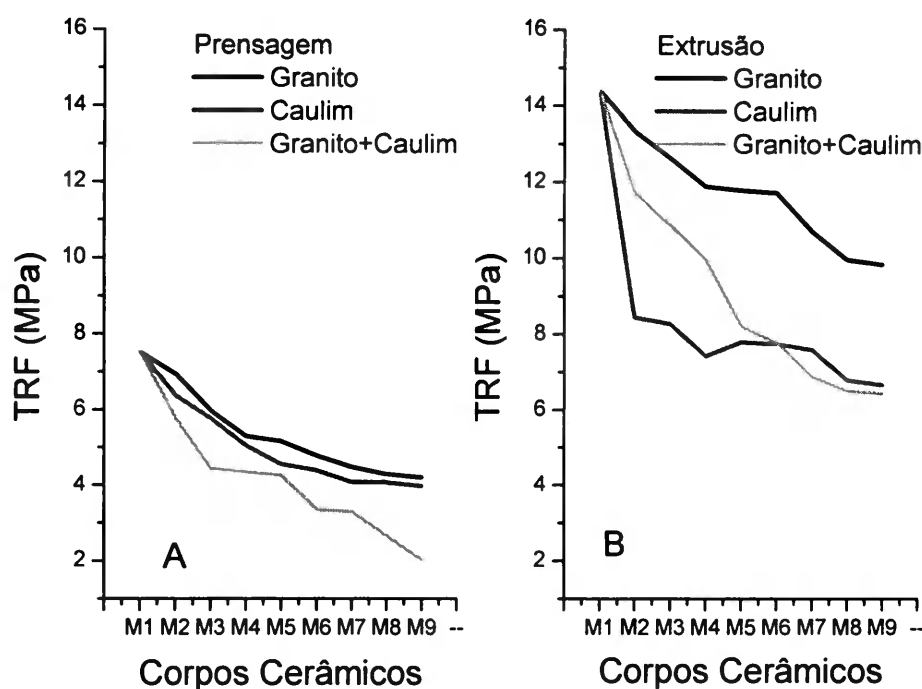


Figura 4.8 – Tensão de ruptura à flexão dos corpos cerâmicos (A) prensagem (B) extrusão.

Analisando os valores de tensão de ruptura à flexão (Figuras 4.8A e 4.8B), verifica-se que os resultados foram decrescendo, à medida que os teores de resíduos foram aumentando na massa, isto pode ser justificado pelo aumento na porosidade que gera concentrações de tensões e consequentemente diminuição no seu comportamento mecânico. Estes resultados estão de acordo com aqueles apresentados na absorção de água das massas incorporadas, com resíduos a temperatura de 900°C. Em relação ao processo de conformação por extrusão verifica-se que os valores de tensão

de ruptura à flexão foram superiores aos de prensagem, isto pode ser atribuído a orientação das partículas e ao fator de empacotamento.

Analisando conjuntamente os resultados dos ensaios tecnológicos completos através das propriedades físico-mecânicas das massas incorporadas com resíduos de granito, caulim, granito mais caulim, pode-se concluir que esses resíduos poderão ser utilizados em cerâmica vermelha, na produção de blocos e telhas cerâmicas. Entretanto, deve-se salientar que ensaios em escala piloto deverão ser realizados, para confirmar os resultados de laboratório.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos durante a realização deste trabalho, conclui-se que:

1. as matérias-primas estudadas apresentaram composição granulométrica adequada para uso em cerâmica vermelha.
2. A massa composta de resíduo de granito e argila apresentou na sua composição química, teor de ferro superior a 7%, indicando coloração vermelha após queima.
3. O resíduo de caulim apresentou baixo teor de ferro na sua composição, sendo indicativo de cores clara após queima.
4. Os resultados referentes às propriedades físico-mecânicas dos corpos de prova após secagem, conformados por prensagem e extrusão, mostraram que valores obtidos para tensão de ruptura à flexão e retração linear de secagem encontram-se superiores ao especificado por Souza Santos (1992), Salge e Barzaghi (1982) para que uma massa possa ser utilizada provavelmente em cerâmica vermelha.
5. Com relação à tensão de ruptura à flexão, verifica-se que os valores de resistência mecânica diminuem com aumento da porcentagem de resíduo.
6. Os resultados referentes às propriedades físico-mecânicas obtidas através dos resultados preliminares e completos, evidenciaram a potencialidade do uso de resíduos oriundos do beneficiamento do caulim e granito das indústrias beneficiadoras da Paraíba, para aplicação em massas cerâmicas para produção de blocos e telhas, alternativos.

CAPÍTULO 6

REFERÊNCIAS

ALVES, M.R.F.V., HOLANDA, F.S.R. Reciclagem de borra oleosa através de incorporação em blocos cerâmicos de vedação. Cerâmica Industrial, Vol. 10, N°3, 2005. pp41-46.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Blocos cerâmicos – NBR 7171. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Determinação do limite de liquidez: método de ensaio – NBR 6459. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Determinação do limite de plasticidade: método de ensaio – NBR 7180. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Determinação do limite de plasticidade: método de ensaio – NBR 7180. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Lixiviação – NBR 1007. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Resíduos sólidos: método de ensaio – NBR 1004. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solubilização de resíduos – NBR 1006. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Tijolo maciço cerâmico para alvenaria, especificações – NBR 7170. Rio de Janeiro, 1983.

BARATA, M.S., DAL MOLIN, D.C.C., Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Janeiro./Março, 2002, Porto Alegre, Vol. 2, Nº. 1, p. 69-70.

BARZAGHI, L.; SALGE, A Argila para materiais de construção. Cerâmica, V. 28, nº 151, 1982, 300p.

BUSTAMANTE, G. M., BRESSIANI, J. C. A indústria cerâmica brasileira. Cerâmica Industrial, 5 (3) Maio/Junho, 2000.

CAMPOS, L. F. A., FERREIRA, H. C., MACEDO, R. S. Características de plasticidade de argilas para uso em cerâmica vermelha ou estrutural, v.45, n.295, 1999. P. 140-145.

CAMPOS, L. F. A. Estudo da expansão por umidade (EPU) em blocos cerâmicos do Estado da Paraíba. 2002. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – CCT/UFPB, Campina Grande, 2002

CHIARA, G. D., BORRONI, G. M., CHIARA, A D. A tecnologia do processo de produção na indústria de cerâmica vermelha. Curso de formação para profissionais da indústria de cerâmica vermelha, apostila, ACIMAC/IEC, Florianópolis 2000.

DONDI, FABBRI & MARSIGLI, Resenha das experiências de reciclagem de resíduos industriais e urbanos na produção de tijolos. Cerâmica e informações. V.1, nº 11/12, p. 17-30, 1998.

FERREIRA, H.S., NEVES, G. de A., FERREIRA, H.C., SILVA, M.C. RECICLAGEM DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS PROVENIENTES DE SERRAGEM DE GRANITOS PARA USO NA

COMPOSIÇÃO DE MASSAS PARA CONFECÇÃO DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS. Anais do 45º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Florianópolis – SC, 2001, p. 204.

LIMA, F. T., GOMES, J., LIRA, H. L., NEVES, G. A. Utilização do resíduo industrial resultantes do beneficiamento de caulim para fabricação de revestimentos cerâmicos. Anais do 45º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Florianópolis – SC, 2001, p. 501.

MACEDO, R. S. Estudo das matérias-primas e tijolos cerâmicos furados produzidos no Estado da Paraíba. Campina Grande –PB, 1996, 200p. Dissertação de Mestrado, Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba.

MACEDO, R. S. Estudo comparativo entre massas cerâmicas industriais e aditivadas para uso em blocos cerâmicos. Campina Grande – PB. 124p. Tese de Doutorado, Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande. 2005.

MASSOLA, D. Cerâmica, uma história feita à mão. Ática, São Paulo. 1994

MENEZES, R. R., NEVES, G. A., PATRICIO, S. M. R., FERREIRA, H. C. Caracterização de argilas do estado da paraíba para uso cerâmico - parte III. Anais do 45º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Florianópolis – SC, 2001, p. 204-302.

MENEZES, R. R., FERREIRA, H. S., NEVES, G. de A. *et al.* Uso de rejeitos de granitos como matérias-primas cerâmicas. *Cerâmica*, abr./jun. 2002, vol.48, no.306, p.92-101. ISSN 0366-6913.

MENEZES, R. R., NEVES, G. de A, FERREIRA, H. C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. V. 6, n. 2, 2002, p. 303-313.

MENEZES, R. R., NEVES, G. de A, FERREIRA, H. C. Use of granite sawing wastes in the production of ceramic bricks and tiles. *Journal of the European Ceramic Society*, v.1, no 25, 2005, p.1149-1158.

MONFORTE, E; ENRIQUE, J. E. Economia energética e vantagem meio ambientais da utilização de resíduos. *Cerâmica Industrial*, V. 01, nº 4/5. p.14-20. 1996.

MOREIRA, J. M. S., FREIRE, M. N. e HOLANDA, J. N. F. Utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha. *Cerâmica*, vol.49, nº.312, (2004), p.262-267.

MOREIRA, J.M.S., MANHÃES, J.P.V.T., HOLANDA, J.N.F. Reaproveitamento de resíduo de rocha ornamental proveniente do noroeste fluminense em cerâmica vermelha. *Cerâmica*, vol. 51, nº319, (2005), pp.180-186.

MOTHÉ FILHO, H.F., POLIVANOV, H., MOTHE, C.G. Propriedades térmica e mecânica do corpo cerâmico obtido com rejeito da indústria do granito e do mármore. *Anais do 45º Congresso Brasileiro de Cerâmica*, Florianópolis – SC, 2001, p. 406-401.

MOTTA, J. F. M.; CABRAL Jr, M.; TANNO, L. C.; ZANARDO, A. As matérias-primas cerâmicas. Parte II: Os minerais industriais e as massas da cerâmica tradicional. *Cerâmica Industrial*, V. 9, nº 2, 2004, 33p.

MOTTA, J. F. M.; CABRAL Jr, M.; TANNO, L. C.; ZANARDO, A.; CUCHIERATO. As matérias-primas plásticas para a cerâmica tradicional: Argilas e caulins. *Cerâmica Industrial*, V. 7, nº 1, 2002, 33p.

NEVES, G. A; Reciclagem de resíduos da serragem de granitos para uso como matéria-prima cerâmica. Campina Grande – PB. 242p. Tese de Doutorado, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande.

OLIVEIRA, G. E. & HOLANDA, J. N. F. Reaproveitamento de resíduo sólido proveniente do setor siderúrgico em cerâmica vermelha. *Cerâmica*, abr./jun. 2004, vol.50, nº314,

OLIVEIRA, G. E. de & HOLANDA, J. N. F. de. Análise do impacto ambiental causado pela utilização de resíduo sólido do setor siderúrgico em cerâmica vermelha. *Cerâmica*, jul./set. 2004, vol.50, nº.315.

RAMALHO, M. A .F , FERREIRA, H. C., NEVES, G. DE A., SANTANA, L. N. de L. Incorporação do resíduo de caulim em massa cerâmica para fabricação de grés porcelanato – Parte II. Congresso Brasileiro de Cerâmica, 47, 2003, João Pessoa – PB, São Paulo, 2003..

RAMALHO, M. A.F., NEVES, G. A., SANTANA, L. N. L. Reaproveitamento de resíduos de caulim da produção de grés porcelanato. In: Anais do XVI Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, Porto Alegre – RS, 2004.

RAMALHO, M. A. F., FERREIRA, H. C., NEVES, G. DE A., L. N. L.SANTANA. Caracterização de resíduos de caulim e granito para uso em massas cerâmicas – Parte I. Anais do 49º Congresso Brasileiro de Cerâmica, São Pedro – SP, 2005.

SOUTO, K. M., NEVES, G. A., FERREIRA, H. C., SILVA, M. C. Aproveitamento de resíduos da serragem de granitos para confecção de tijolos e telhas cerâmicos.

Anais do 45º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Florianópolis – SC, 2001, p. 420-2701.

SOUZA SANTOS, P. Ciência e Tecnologia de argilas. 3ed. São Paulo. Volume I. Edgar Blucher LTDA, 1992.

VIEIRA, C. M.F., HOLANDA, J. N. F., PINATTI, D. G. Caracterização de massa cerâmica vermelha utilizada na fabricação de tijolos na região de Campos dos Goytacazes –RJ. *Cerâmica*, v.46, n. 297, 2000. p.15-18.

VIEIRA, C. M. F., SOUZA, E. T. A. de e MONTEIRO, S. N. Efeito da incorporação de chamote no processamento e microestrutura de cerâmica vermelha. *Cerâmica*, jul./set. 2004, vol.50, nº.315, p.254-260

VERÇOZA, E.J. Materiais de Construção. 2º ed. Porto Alegre: Sagra 1975

UFCG