



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DE MATERIAIS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ESTUDO DA POTENCIALIDADE DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE
GRANITO E DA QUEIMA DA CASCA DO CAFÉ EM CERÂMICA VERMELHA**

KEITE ANNY ROCHA AVELINO

**Orientador:
Prof. Dr Wilson Acchar**

Dissertação n.º 139/PPGCEM

**Natal-RN
2013**

KEITE ANNY ROCHA AVELINO

**ESTUDO DA POTENCIALIDADE DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE
GRANITO E DA QUEIMA DA CASCA DO CAFÉ EM CERÂMICA VERMELHA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Wilson Acchar

Natal-RN
2013



Portal do
Coordenador Stricto

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
SISTEMA INTEGRADO DE GESTÃO DE ATIVIDADES ACADÊMICAS

EMITIDO EM 29/11/2013 08:08



DECLARAÇÃO

Declaramos, para os devidos fins, que o aluno **KEITE ANNY ROCHA AVELINO** foi aprovado(a) na DEFESA de DISSERTAÇÃO em MESTRADO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS/PPGCEM/CCET - NATAL do Curso de MESTRADO, no dia 29 de Novembro de 2013 às 09:00, no(a) Auditório do Centro de Tecnologia (CT), UFRN, cuja banca examinadora fora constituída pelos professores:

Doutor (a) WILSON ACCHAR

(Presidente)

Doutor (a) JAQUELIGIA BRITO DA SILVA

(Externo ao Programa)

Doutor (a) FRANCISCO CANINDE CAMILO DA COSTA

(Externo à Instituição)


Doutor (a) ROSANE MARIA PESSOA BETANIO OLIVEIRA

(Externo à Instituição)


A sua DISSERTAÇÃO intitulou-se:

Estudo da potencialidade da incorporação de residuo de granito e da queima da casca do café em cerâmica vermelha.

Esta declaração não exclui o aluno de efetuar as mudanças sugeridas pela banca nem vale como outorga de grau de MESTRADO, de acordo com o definido na Resolução 072/2004-CONSEPE.


Dismiel Aquilino R. e Silva
Secret. do PPGCEM
Mat. 1669292

Natal, 29 de Novembro de 2013.


RUBENS MARIBONDO DO NASCIMENTO
COORDENADOR(A) PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS
PROFESSOR

*À Deus, que me abençoou com o dom da vida.
Aos meus pais, Sebastião Avelino e Maria Marlucia da
Rocha Avelino; aos meus irmãos Mário Anderson, Karla
Cristiane e Karlos Henrique e ao meu noivo João Paulo
pelo apoio que sempre me deram.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, que desde o ventre da minha mãe me separou e concedeu vida a mim.

Aos meus pais que sempre se esforçaram para proporcionar uma qualidade de vida melhor a mim e aos meus irmãos, e a educação, o apoio, o amor e o carinho que me deram.

A minha família, que sempre esteve comigo nos momentos de alegria e também nos difíceis, especialmente aos meus irmãos, cunhados e sobrinhos.

Ao meu noivo, que sempre esteve presente mesmo estando distante atualmente, pelo incentivo que me deu nos momentos difíceis e pela compreensão.

Ao Prof. Dr. Wilson Acchar, pelas orientações e ensinamentos.

À CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nivel Superior – pela concessão da bolsa e ao PPGCEM-UFRN pela oportunidade para realizar este trabalho.

Aos colegas dos laboratórios do Departamento de Física Teórica e Experimental, do Departamento de Engenharia de Materiais e do Departamento de Engenharia Química da UFRN, e do Departamento de Engenharia de Materiais e Cerâmica da Universidade de Aveiro (Portugal) pela realização de análises e pela ajuda durante a execução deste trabalho.

"Nenhum trabalho de qualidade pode ser feito sem concentração e auto-sacrifício, esforço e dúvida."

Max Beerbohm

RESUMO

A produção industrial de rochas ornamentais e a queima da casca do café geram resíduos que são descartados no meio ambiente. Porém, com o estudo da incorporação destes resíduos em produtos cerâmicos, poderá ser encontrada uma alternativa para a redução dos impactos ambientais e efeitos danosos à saúde humana causados pelo seu descarte indiscriminado na natureza. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo estudar a adição de cinzas da casca do café e resíduo de granito na argila usada para a produção de cerâmica vermelha. As matérias-primas foram moídas a seco e peneiradas na malha 100 mesh. Para caracterizar as matérias-primas foram realizadas as análises de difração de raios X (DRX), fluorescência de raios X (FRX), análise granulométrica (AG), análise térmica diferencial (DTA) e análise termogravimétrica (TG). Foram preparadas seis formulações onde o teor de argila foi mantido constante (70% em peso) e os teores de cinzas e de resíduo de granito variaram de 10, 15, 20 e 30%. Foram realizadas análises dilatométricas em quatro formulações selecionadas, contendo elas: 100% argila (A100); 70% argila e 30% cinza (A70C30); 70% argila e 30% resíduo de granito (A70G30); e 70% argila, 15% resíduo de granito e 15% cinza (A70G15C15). As amostras foram confeccionadas por compactação uniaxial com pressão de 25 MPa, e queimadas às temperaturas de 800°C, 850°C, 900°C, 950°C, 1000°C e 1100°C. Foram realizados ensaios para determinar a retração linear de queima (RL_q), absorção de água (AA), porosidade aparente (PA), massa específica aparente (MEA) e tensão de ruptura à flexão (TRF). Foram realizadas também análises de difração de raios X (DRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV) das amostras queimadas. As formulações com incorporação de resíduo de granito e/ou cinza alcançaram os limites exigidos de absorção de água segundo as normas NBR 15270-1 e 15310 e de tensão de ruptura à flexão segundo a literatura clássica (SANTOS, 1989), necessários para a produção de telhas e blocos cerâmicos para alvenaria de vedação.

Palavras-chave: Resíduo de granito. Cinza da casca do café. Cerâmica vermelha. Propriedades tecnológicas.

ABSTRACT

The industrial production of ornamental rocks and the burning of coffee husk generate waste that is discarded into the environment. However, with the study of the incorporation of these residues in ceramic products, may be found an alternative to reducing environmental impacts and detrimental effects on human health caused by its indiscriminate disposal of waste in nature. Thus, this work aimed to study the addition of ashes of the coffee husk and granite residue in matrix of red ceramic. The raw materials were dry milled and sieved to mesh 100. To characterize the raw materials were carried out analyzes of X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence (XRF), particle size analysis (PSA), differential thermal analysis (DTA) and thermogravimetric analysis (TG). Six formulations were prepared where the clay content was kept constant (70%wt) and ashes contents and granite residue varied from 10, 15, 20 and 30%. Dilatometrics analyzes were performed at four selected formulations, containing them: 100% clay (A100); 70% clay and 30% ashes (A70C30); 70% clay and 30% granite residue (A70G30); and 70% clay, 15% granite residue and 15% ashes (A70G15C15). The samples were prepared by uniaxial compaction with pressure of 25 MPa, and fired at temperatures of 800°C, 850°C, 900°C, 950°C, 1000°C and 1100°C. Assays were performed to determine the linear shrinkage of burning (LSB), water absorption (WA), apparent porosity (AP), density (D) and tensile bending. Also were performed analyzes of X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) of the samples fired. The formulations incorporating granite residue and/or ashes reached the required limits of water absorption according to NBR 15270-1 and NBR 15310 and tensile bending according to classical literature (SANTOS, 1989) necessary for the production of tiles and ceramic block for masonry sealing.

Keywords: Granite residue. Ashes of coffee husk. Red ceramic. Technological properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Principais APLs mínero-cerâmicos brasileiros.	25
Figura 2.2 – Fluxograma dos processos de fabricação de blocos e telhas.	29
Figura 2.3 – Esquema da produção do resíduo gerado no beneficiamento do granito.	33
Figura 3.1 – Fluxograma da metodologia do trabalho.	39
Figura 4.1 – Análise granulométrica da argila.	50
Figura 4.2 – Análise granulométrica do resíduo de granito.	51
Figura 4.3 – Análise granulométrica da cinza.	52
Figura 4.4 – Difratoograma de raios X da argila.	54
Figura 4.5 – Difratoograma de raios X do resíduo de granito.	54
Figura 4.6 – Difratoograma de raios X da cinza da casca do café.	55
Figura 4.7 – Análise termogravimétrica da argila.	56
Figura 4.8 – Análise termogravimétrica do resíduo de granito.	56
Figura 4.9 – Análise termogravimétrica da cinza.	57
Figura 4.10 – Análise térmica diferencial da argila.	58
Figura 4.11 – Análise térmica diferencial do resíduo de granito.	58
Figura 4.12 – Análise térmica diferencial da cinza.	59
Figura 4.13 - Análises dilatométricas das formulações A70G30, A70C30, A70G15C15 e A100.	60
Figura 4.14 - Análise mineralógica da formulação A100 queimada a 1100°C.	61
Figura 4.15 - Análise mineralógica da formulação A70G30 queimada a 1100°C.	61
Figura 4.16 - Análise mineralógica da formulação A70C30 queimada a 1100°C.	62
Figura 4.17 - Retração linear de queima das amostras queimadas à 800°C, 850°C e 900°C. ..	63
Figura 4.18 - Retração linear de queima das amostras queimadas à 950°C, 1000°C e 1100°C.	64
Figura 4.19 - Absorção de água das amostras queimadas à 800°C, 850°C e 900°C.	65
Figura 4.20 - Absorção de água das amostras queimadas à 950°C, 1000°C e 1100°C.	65
Figura 4.21 - Porosidade aparente das amostras queimadas à 800°C, 850°C e 900°C.	66
Figura 4.22 - Porosidade aparente das amostras queimadas à 950°C, 1000°C e 1100°C.	67
Figura 4.23 - Massa específica aparente das amostras queimadas à 800°C, 850°C e 900°C. ..	68
Figura 4.24 - Massa específica aparente das amostras queimadas à 950°C, 1000°C e 1100°C.	69

Figura 4.25 - Tensão de ruptura à flexão das amostras queimadas à 800°C, 850°C e 900°C...	70
Figura 4.26 - Tensão de ruptura à flexão das amostras queimadas à 950°C, 1000°C e 1100°C.	72
Figura 4.27 - Micrografia da formulação A100 com aumento de 450 x.	73
Figura 4.28 - Micrografia da formulação A70C30 com aumento de 450x.	73
Figura 4.29 - Micrografia da formulação A70G30 com aumento de 450x.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Classificação, contexto geológico e terminologia das matérias-primas argilosas para cerâmica vermelha.....	27
Tabela 3.1 – Formulações utilizadas no trabalho.	41
Tabela 4.1 – Análise química das matérias-primas.	53

LISTA DE ABREVIATURAS

AA	- absorção de água (%)
Abic	- Associação Brasileira da Indústria de Café
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
AG	- análise granulométrica
Anicer	- Associação Nacional da Indústria Cerâmica
APLs	- Arranjos Produtivos Locais
CSD	- Cambridge Structural Database
CTGÁS-ER	- Centro de Tecnologia do Gás e Energias Renováveis
DRX	- difração de raios X
DTA	- análise térmica diferencial
FRX	- fluorescência de raios X
ISO	- International Organization for Standardization
Labemat	- Laboratório de Ensaios de Materiais
MEA	- massa específica aparente (g/cm^3)
MEV	- microscopia eletrônica de varredura
NBR	- Norma Brasileira Registrada
PA	- porosidade aparente (%)
PF	- perda ao fogo (%)
Sisnama	- Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNVS	- Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
Suasa	- Sistema Único de Atenção à Sanidade Agropecuária
TG	- análise termogravimétrica
TRF	- tensão de ruptura à flexão
UNI	- Ente Nazionale Italiano di Unificazione
UFRN	- Universidade Federal do Rio Grande do Norte

LISTA DE SÍMBOLOS

A100	- formulação com 100% de argila
A70C30	- formulação com 70% de argila e 30% de cinza
A70G10C20	- formulação com 70% de argila, 10% de resíduo de granito e 20% de cinza
A70G15C15	- formulação com 70% de argila, 15% de resíduo de granito e 15% de cinza
A70G20C10	- formulação com 70% de argila, 20% de resíduo de granito e 10% de cinza
A70G30	- formulação com 70% de argila e 30% de resíduo de granito
$D_{\text{médio}}$	- diâmetro médio (μm)
D_{10}	- diâmetro a 10% (μm)
D_{50}	- diâmetro a 50% (μm)
D_{90}	- diâmetro a 90% (μm)
M_u	- massa da amostra úmida (g)
M_s	- massa da amostra seca (g)
RL_q	- retração linear de queima (%)
L_0	- comprimento da amostra após secagem (mm)
L_f	- comprimento da amostra após queima (mm)
M_i	- massa da amostra imersa (g)
F	- força aplicada (N)
L	- distância entre os apoios (mm)
b	- medida da base da amostra (mm)
h	- espessura da amostra (mm)
L_i	- comprimento na temperatura de início do ensaio (mm)
ΔL	- variação do comprimento da amostra (%)
L_T	- comprimento da amostra na temperatura T (mm)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	OBJETIVO GERAL.....	20
1.1.1	Objetivos específicos	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	CERÂMICA VERMELHA	23
2.2	ARGILA	26
2.3	GRANITO	29
2.4	RESÍDUOS	30
2.5	RESÍDUOS DO BENEFICIAMENTO DO GRANITO	33
2.6	RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO DO CAFÉ	35
3	METODOLOGIA	39
3.1	MATÉRIAS-PRIMAS	40
3.1.1	Argila vermelha	40
3.1.2	Resíduo de granito	40
3.1.3	Cinzas da casca de café	40
3.1.4	Formulações utilizadas	40
3.2	MOAGEM	41
3.3	CARACTERIZAÇÃO.....	41
3.3.1	Análise granulométrica (AG)	41
3.3.2	Análise química (FRX)	41
3.3.3	Análise mineralógica	42
3.3.4	Análises térmicas	42
3.4	PREPARAÇÃO DAS MASSAS CERÂMICAS	43
3.4.1	Mistura das matérias-primas	43
3.4.2	Prensagem	43
3.4.3	Queima	44

3.5	CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS	44
3.5.1	Absorção de água (AA)	44
3.5.2	Retração linear de queima (RL _q)	44
3.5.3	Porosidade aparente (PA)	45
3.5.4	Massa específica aparente (MEA)	45
3.5.5	Tensão de ruptura à flexão (TRF)	46
3.5.6	Análise dilatométrica	46
3.5.7	Difração de raios X (DRX)	47
3.5.8	Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
4.1	CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS	50
4.1.1	Análise granulométrica (AG)	50
4.1.2	Análise química (FRX)	52
4.1.3	Análise mineralógica (DRX)	53
4.1.4	Análise termogravimétrica (TG)	55
4.1.5	Análise térmica diferencial (DTA)	57
4.1.6	Análise dilatométrica	59
4.2	CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS APÓS QUEIMA	60
4.2.1	Análise mineralógica	60
4.2.2	Retração linear de queima (RL _q)	62
4.2.3	Absorção de água (AA)	64
4.2.4	Porosidade aparente (PA)	66
4.2.5	Massa específica aparente (MEA)	67
4.2.6	Tensão de ruptura à flexão (TRF)	69
4.2.7	Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	72
5	CONCLUSÕES	75
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	78

REFERÊNCIAS 79

CAPÍTULO 1
INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

A partir de meados da década de 1960, o desenvolvimento do setor de cerâmica vermelha no Brasil foi potencialmente incentivado pela implementação de políticas públicas habitacionais, por meio da criação do Sistema Financeiro da Habitação e do Banco Nacional da Habitação. Durante a década de 1970, sustentada por uma demanda continuada, a construção civil teve um crescimento, provocando a modernização e expansão da indústria cerâmica no país (CABRAL JUNIOR et al, 2005 apud ARAÚJO, 2008).

Segundo a Anicer apud Anuário Estatístico (2011) o número de cerâmicas e olarias no Brasil é de aproximadamente 7.400 empresas, havendo uma tendência de aumento da participação dos empreendimentos de maior porte na produção nacional, registrando 293 mil empregos diretos, estimando-se em 2011 uma produtividade de 25,0 mil peças/operário/mês e faturamento de R\$18,5 bilhões.

De acordo com o Anuário Estatístico (2011) estimou-se a produção de cerâmica vermelha em aproximadamente 88 milhões de peças em 2011, baseado no crescimento de 3,6% da construção civil, onde os blocos e tijolos representaram 70% do segmento e as telhas 30%.

A produção de cerâmica vermelha no Nordeste representa 21,25% da produção nacional, sendo o terceiro maior produtor do Brasil. Quanto ao consumo brasileiro por região e per capita, o Nordeste representa 22%, sendo um pequeno importador de produtos de cerâmica vermelha (Informe Setorial Cerâmica Vermelha, 2010).

O Rio Grande do Norte é o terceiro maior produtor do Nordeste, representando 0,032% da produção nacional e 15,25% da produção do Nordeste (Informe Setorial Cerâmica Vermelha, 2010).

Um estudo feito pelo SEBRAE/RN, relacionado ao setor de cerâmica vermelha, realizou um levantamento que foi divulgado no primeiro semestre de 2012, onde foram cadastrados 186 cerâmicas em atividade no estado do Rio Grande do Norte, com um faturamento anual de R\$ 208,16 milhões, gerando mais de 6.300 empregos diretos. As indústrias de cerâmica vermelha estão concentradas na região Seridó (53%), na região da grande Natal (20%), na região do Vale do Assú (18%) e na região Oeste (9%) (SEBRAE/RN, 2013).

Quando se trata de consumir ou reutilizar outros resíduos industriais, a indústria cerâmica, em particular, o setor dedicado à fabricação de materiais de construção, fica no topo da lista. Matérias primas naturais, utilizadas na fabricação de produtos cerâmicos à base de argilas, mostram uma ampla faixa de variação da composição e os produtos resultantes são muito heterogêneos. Por esta razão, estes produtos podem tolerar uma flutuação maior de sua composição e mudança nas matérias primas, e a indústria cerâmica é capaz de incorporar uma variedade de resíduos. Mesmo que isto seja feito em pequenas quantidades, as altas taxas de produção serão traduzidas em um consumo significativo de resíduos. Além disso, dada a temperatura de queima razoavelmente alta geralmente usada (1000°C), uma incorporação eficaz de materiais dentro de uma matriz cerâmica é obtida, na qual é particularmente interessante quando se trata da inertização de resíduos tóxicos (SEGADÃES et al, 2005).

Segundo Inocente e Nandi (2013) a indústria de cerâmica vermelha absorve grandes quantidades de resíduos sólidos provenientes de diversos setores, principalmente devido aos grandes volumes envolvidos, permitindo uma maior tolerância na composição da sua massa.

No período de janeiro a setembro de 2013 as exportações brasileiras de rochas ornamentais somaram US\$ 979,24 milhões e 2.013.383,11 t. Pode-se assim, de fato, projetar exportações de rochas ornamentais que totalizarão pelo menos US\$ 1,3 bilhão e 2,7 milhões t em 2013. As importações brasileiras de materiais rochosos naturais, para ornamentação e revestimento, somaram US\$ 50,4 milhões e 79.357,55 t no período de janeiro a setembro. As importações de materiais rochosos artificiais/aglomerados, no mesmo período, somaram US\$ 36,5 milhões e 36,6 mil t (ABIROCHAS, 2013).

De acordo com Castro et al (2011) nas frentes de lavra das pedreiras enormes volumes de rejeitos grossos são gerados pois a taxa de aproveitamento média é estimada em 30%. Já na serragem, 25% do volume da rocha são transformados em resíduo fino. Cattabriga (2010) apud Castro et al (2011) afirmam que a estimativa do Brasil para a produção de resíduos por ano são de mais de 5 milhões de toneladas de resíduos grossos nas pedreiras e mais de 300.000 toneladas de finos no beneficiamento.

O uso de resíduos industriais em produtos cerâmicos constitui uma solução importante, do ponto de vista ambiental e econômico, pois, a utilização de resíduos acarreta em redução do consumo de recursos naturais, a não ocupação de áreas ambientais para aterros e diminuição dos custos com transporte (JUNKES, 2011).

No Brasil, assim como o setor cerâmico, a indústria cafeeira tem grande importância. De acordo com o Ministério da Agricultura (2013) o Brasil apresenta atualmente um parque cafeeiro estimado em 2,3 milhões de hectares possuindo cerca de 287 mil produtores, sendo o maior produtor e exportador mundial de café, e segundo maior consumidor do produto.

O café representou 6,7% de todas as exportações brasileiras do agronegócio, que chegaram a aproximadamente 28,7 milhões de sacas de 60 kg, com faturamento de US\$ 6,5 bilhões em 2012. Nesse mesmo ano, a produção de café no Brasil atingiu o montante de 50,8 milhões de sacas de 60 kg. Quanto ao consumo interno, o levantamento realizado pela Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC), no período compreendido entre nov/11 a out/12, registrou o consumo de 20,33 milhões de sacas. (Ministério da Agricultura, 2013).

A casca de café consiste em resíduo do processamento agroindustrial gerada a partir da transformação do café. Os usos mais viáveis das cascas de café são como: combustível, carvão e adubo orgânico (VEGRO e CARVALHO, 1993). A queima da casca do café gera como resíduo as cinzas.

Segundo Dutra (2010) em muitos casos, as cinzas da casca de café são descartadas em áreas próximas as fazendas produtoras, as margens de estradas ou próximas a rios e riachos, e sem tratamento, podendo contaminar o solo ou água.

Cincotto (1988) apud Lima (2008) afirmam que a possível utilização de resíduos agroindustriais na obtenção de novos materiais para a construção civil é devido basicamente aos seguintes fatores: necessidade de redução do custo da construção, elevada quantidade de matéria prima de recursos naturais que é consumida, e preocupação com o esgotamento dessas reservas naturais.

1.1 OBJETIVO GERAL

Estudar a incorporação do resíduo de granito e da queima da casca do café (cinza) em massas cerâmicas para a produção de cerâmica vermelha.

1.1.1 Objetivos específicos

- Caracterização das matérias-primas através das técnicas de análise granulométrica, fluorescência de raios X, difração de raios X, análise termogravimétrica e análise térmica diferencial;
- Avaliação das propriedades tecnológicas das amostras: absorção de água, retração linear de queima, porosidade aparente, massa específica aparente e tensão de ruptura à flexão;
- Caracterização mineralógica (DRX) e microestrutural (MEV) das amostras queimadas à 1100°C das formulações A100, A70C30 e A70G30.

CAPÍTULO 2
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CERÂMICA VERMELHA

A cerâmica envolve todos os materiais inorgânicos, não metálicos, obtidos após tratamento térmico em temperaturas elevadas. O setor cerâmico é amplo e heterogêneo, o que induz a dividi-lo em sub-setores ou segmentos em função de diversos fatores como matérias-primas, propriedades e área de utilização (Associação Brasileira de Cerâmica, 2013).

A cerâmica vermelha é classificada pela Associação Brasileira de Cerâmica (2013) como sendo todos os materiais com coloração avermelhada empregados na construção civil (tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, lajes, tubos cerâmicos e argilas expandidas) e também utensílios de uso doméstico e de adorno. A principal matéria-prima utilizada na indústria de cerâmica vermelha são as argilas.

O Anuário Estatístico (2010) afirma que a localização geográfica das fábricas de cerâmica vermelha é determinada principalmente por dois fatores: a localização da jazida (devido à grande quantidade de matéria-prima processada) e a proximidade dos centros consumidores (em função dos custos de transporte); e a mineração de argila tem a predominância de minas de pequeno porte, de 1.000 a 20.000 t/mês. Segundo o Anuário Estatístico (2011) no Brasil a argila destaca-se como a 3ª maior produção da mineração, posicionando-se abaixo da produção de agregados (542 Mt) e minério de ferro (380 Mt). A partir da produção estimada de 88 bilhões de peças cerâmicas, em 2011, considerando a massa média de 2,0 kg/peça, pode-se estimar a utilização de aproximadamente 180 Mt de argila.

A partir de meados da década de 1960, o desenvolvimento do setor de cerâmica vermelha no Brasil foi potencialmente incentivado pela implementação de políticas públicas habitacionais, por meio da criação do Sistema Financeiro da Habitação e do Banco Nacional da Habitação. Durante a década de 1970, sustentada por uma demanda continuada, a construção civil teve um crescimento, provocando a modernização e expansão da indústria cerâmica no país (CABRAL JUNIOR et al, 2005 apud ARAÚJO, 2008).

Segundo a Anicer apud Anuário Estatístico (2011) o número de cerâmicas e olarias no Brasil é de aproximadamente 7.400 empresas, havendo uma tendência de aumento da

participação dos empreendimentos de maior porte na produção nacional, registrando 293 mil empregos diretos, estimando-se em 2011 uma produtividade de 25,0 mil peças/operário/mês e faturamento de R\$18,5 bilhões.

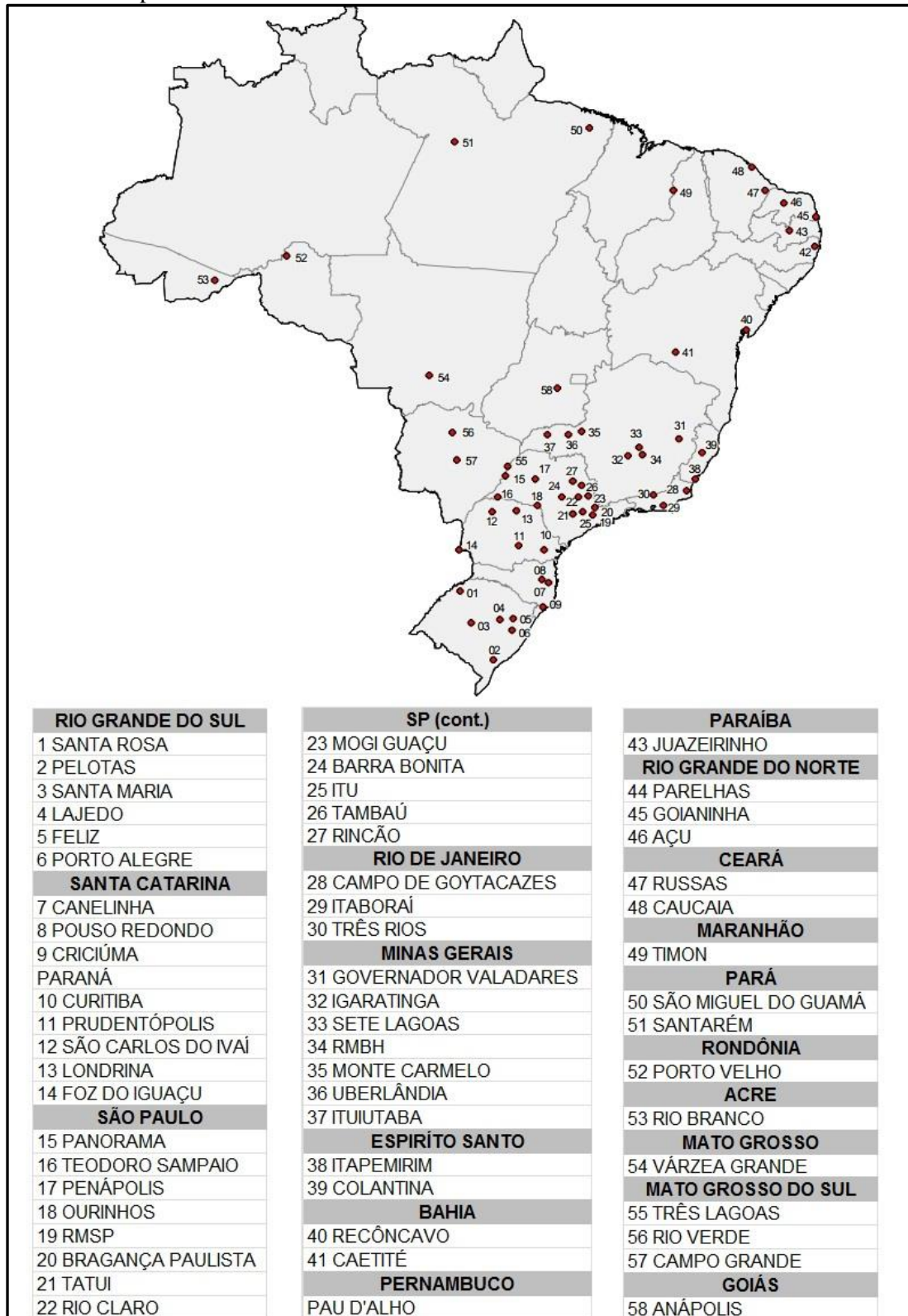
De acordo com o Anuário Estatístico (2011) estimou-se a produção de cerâmica vermelha em aproximadamente 88 milhões de peças em 2011, baseado no crescimento de 3,6% da construção civil, onde os blocos e tijolos representaram 70% do segmento e as telhas 30%.

O setor de cerâmica vermelha trata-se de um setor com estrutura empresarial bastante diversificada, onde convivem pequenos empreendimentos familiares artesanais (olarias), cerâmicas de pequeno e médio-porte, com deficiências de mecanização e gestão, e empreendimentos de médio à grande porte (em escala de produção) de tecnologia mais moderna, estes últimos sob ameaças de processo de internacionalização de seus capitais. A grande maioria das empresas tem sua competitividade baseada em custos. No entanto, mais recentemente, parcela do setor empresarial vem tomando iniciativas para aprimoramento tecnológico e competitivo, como a adesão em programas de qualidade, implantação de laboratórios de caracterização tecnológica de matérias-primas e produtos, qualificação de mão-de-obra, desenvolvimento do uso de novos combustíveis, em especial do gás natural, estudos de incorporação de resíduos na massa cerâmica e diversificação da produção (CABRAL JUNIOR et al, 2005 apud ARAÚJO, 2008).

Em determinadas regiões, essas aglomerações de empresas chegam a constituir o que se vem conceituando como arranjos produtivos locais (APLs) de base mineral. Nesses casos, as concentrações de empresas podem, no mesmo território, agregar outros segmentos da cadeia produtiva, como fornecedores de insumos (equipamentos e embalagens) e serviços, apresentando graus variados de interação entre os agentes empresariais e com organismos externos, como governo, associações empresariais, instituições de crédito, ensino e inovação. Esse adensamento da cadeia produtiva de base mineral, associada à interação, cooperação e aprendizado entre seus diversos elos e agentes externos, favorece o incremento da competitividade de todos os negócios associados localmente, com significativos ganhos, em especial ao pequeno e médio empreendedor (CABRAL JUNIOR et al, 2005 apud ARAÚJO, 2008).

A Figura 2.1 apresenta os principais APLs mínero-cerâmicos brasileiros.

Figura 2.1 – Principais APLs mínero-cerâmicos brasileiros.



Fonte: Adaptado de Cabral Junior et al (2005) apud Araújo (2008).

2.2 ARGILA

A argila é um material natural, terroso, de granulação fina, que adquire, quando umedecido com água, certa plasticidade; designa ainda o nome “argila” um grupo de partículas do solo cujo diâmetro é inferior a 2 μm . Todas as argilas são constituídas essencialmente por partículas cristalinas extremamente pequenas de um número restrito de minerais conhecidos como “argilominerais”. Uma argila qualquer pode ser composta por partículas de um argilomineral ou por uma mistura de diversos argilominerais. Quimicamente, os argilominerais, são compostos por silicatos hidratados de alumínio e ferro, contendo ainda, certo teor de elementos alcalinos e alcalino-terrosos. Além dos argilominerais contêm as argilas, outros materiais e minerais, tais como “matéria-orgânica”, sais solúveis e partículas de quartzo, pirita, mica, calcita, dolomita e outros minerais residuais, e podem conter também minerais não-cristalinos ou amorfos (SANTOS, 1989).

De acordo com Santos (1989) as argilas para produção de cerâmica vermelha são classificadas conforme os produtos cerâmicos a serem obtidos; portanto, ele classificou em: argilas para fabricação de tijolos, argilas para fabricação de telhas, argilas para fabricação de ladrilhos de piso, argilas para fabricação de manilhas vidradas e agregados leves.

Segundo Santos (1989) as argilas para terem emprego na fabricação de tijolos e telhas, devem possuir plasticidade adequada para a moldagem, ter valor médio ou elevado para a tensão de ruptura à flexão antes e após queimar, e costumam apresentar cor vermelha após a queima a cerca de 950°C. As argilas para fabricação de tijolos devem apresentar o mínimo de trincas e empenamentos após a queima; e as argilas para fabricação de telhas devem possuir porosidade aparente e absorção de água baixas para não permitir a permeação de água e não devem apresentar trincas e empenamentos após a secagem e a queima.

Santos (1989) afirma que as argilas utilizadas para tijolos e telhas são argilas recentes (quaternárias) e às vezes, terciárias, de margem de rios, lagos ou várzeas, ricas em ferro e álcalis, de granulometria fina e contendo teor apreciável de matérias orgânica, fatores responsáveis pela elevada plasticidade das argilas.

Os depósitos de argilas para fins cerâmicos possuem ampla distribuição geográfica em todo território nacional, em decorrência da constituição do substrato geológico brasileiro, que dispõe de extensas coberturas sedimentares – bacias fanerozóicas e depósitos cenozóicos –, aliado à evolução geomorfológica, que propiciou a geração de expressivas coberturas

residuais intempéricas. Segundo o contexto geológico, são distinguidos dois tipos principais de depósitos de argila: argilas quaternárias e argilas de bacias sedimentares (CABRAL JUNIOR et al, 2005).

A Tabela 2.1 apresenta a classificação, o contexto geológico e a terminologia das matérias-primas argilosas para cerâmica vermelha.

Tabela 2.1 – Classificação, contexto geológico e terminologia das matérias-primas argilosas para cerâmica vermelha.

	CLASSIFICAÇÃO	CONTEXTO GEOLÓGICO E TERMINOLOGIA
Argilas quaternárias	Planície aluvionar	Argila de queima avermelhada que ocorre no fundo dos vales atuais: Argilas comuns ou para cerâmica vermelha; argilas caulínicas ou composição mista, vermelhas; argila turfosa; argila ferruginosas; argilas de várzea, argilas transportadas ou secundárias; argilas de baixo ou de baixo; argila plástica; argila semi-plástica; argila gorda; argila magra; argila, argila síltica, argila arenosa; tabatinga; torba.
	Planície costeira	Argila de queima avermelhada que ocorre nas planícies costeiras atuais: Argilas comuns ou para cerâmica vermelha; argilas caulínicas ou de composição mista, vermelha; argila turfosa; argila de queima vermelha; argilas ferruginosas; argilas transportadas ou secundárias; argilas deltáicas, de estuário argila mista; argila de baixo ou de baixo; argila plástica; argila semi-plástica; argila gorda; argila magra; argila, argila síltica, argila arenosa.
Argilas de bacias sedimentares		Argilas de queima avermelhada em bacias sedimentares antigas: Taguá (taguá mole, taguá duro); argilas comuns ou para cerâmica vermelha; argilas ílíticas; argilas caulínicas; argilas de composição mista; argilas calcíticas; folhelo; argilito; siltito; ritmito; varvito; argilas alcalinas; argilas ferruginosas; argilas fundentes; argilas de alteração ou alteritas; argilas residuais; argilas transportadas ou secundárias; argila coluvial; argilas sedimentares; argilas terciárias, argilas fanerozóicas, argilas gondwânicas; argilas marinhas, lacustre, glacial.

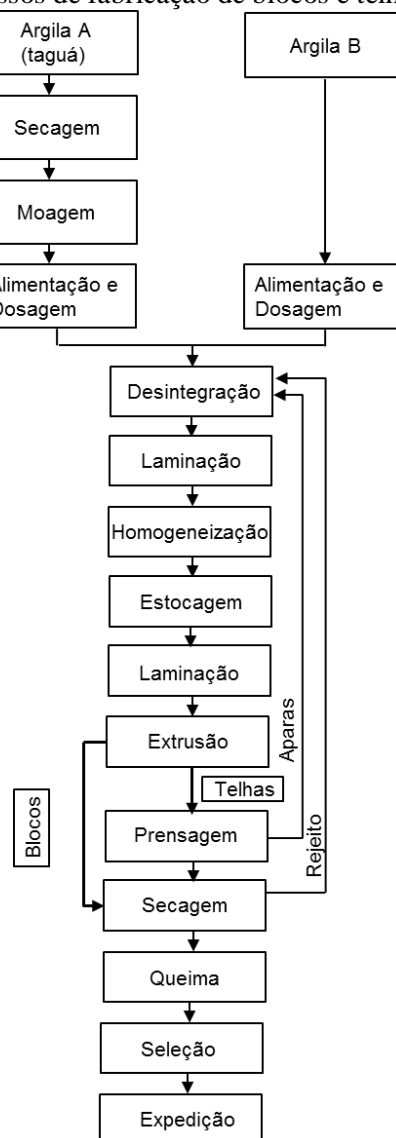
Fonte: Adaptado de Cabral Junior et al (2005) apud Araújo (2008).

Do ponto de vista da matéria-prima, o setor de cerâmica vermelha utiliza basicamente argila comum, em que a massa é tipo monocomponente - só argila. Essa formulação de massa busca, em geral de forma empírica, uma composição ideal de plasticidade e fusibilidade, para propiciar trabalhabilidade e resistência mecânica na queima. A preparação da massa é feita geralmente através da mistura de uma argila “gorda“, que é caracterizada pela alta plasticidade, granulometria fina, e composição essencialmente de argilominerais; com uma argila “magra“, esta rica em quartzo e menos plástica, podendo ser caracterizada também como material redutor de plasticidade. A composição granulométrica das massas e seus respectivos campos de aplicação são previstos no diagrama de Winkler. Observa-se que, na prática ceramista, a utilização da classificação granulométrica da massa é empírica, baseada na experiência do cerâmico prático, o que dificulta a padronização e a transferência do saber cerâmico (MOTTA et al, 2001).

Na seqüência do processo de fabricação, a massa é umidificada acima do limite de plasticidade (geralmente acima de 20%), e processada em misturadores e homogeneizadores rústicos, sendo conformadas a seguir em extrusoras (marombas), quando adquirem as suas formas finais (blocos, lajes, lajotas, tubos) ou seguem para prensagem (telhas) ou tornearia (vasos) (MOTTA et al, 2001).

A Figura 2.2 mostra o processo de fabricação de blocos e telhas através do fluxograma.

Figura 2.2 – Fluxograma dos processos de fabricação de blocos e telhas.



Fonte: Adaptado de Motta et al (2001).

2.3 GRANITO

O granito é originado das rochas ígneas ou magmáticas, que são as rochas que se formaram pelo resfriamento e conseqüente solidificação de massa anteriormente fluida e quente de material rochoso, conhecida por magma. Um magma é uma solução contendo os constituintes químicos que, quando suficientemente resfriados cristalizam para dar origem aos vários minerais que formam a rocha resultante. Os elementos formadores dos constituintes principais dos magmas das rochas ígneas, enumerados na ordem de sua abundância, são: o oxigênio, o silício, o alumínio, o ferro, o cálcio, o magnésio, o sódio e o potássio (DANA, 1971).

O granito é uma rocha granular, de cor clara e textura uniforme, consistindo, principalmente em feldspato e quartzo. Usualmente, estão presentes tanto o feldspato potássico como o oligoclásio; o feldspato potássico pode ser da cor da carne, ou vermelho; enquanto o oligoclásio é comumente branco, sendo possível seu reconhecimento pela presença das estriações decorrentes da geminação da albita. Reconhece-se o quartzo por seu brilho vítreo e ausência de clivagem. Os granitos, usualmente, contêm uma pequena quantidade (cerca de 10%) de mica ou hornblenda. A mica é, comumente, a biotita, mas pode estar presente também a moscovita (DANA, 1971).

As rochas ornamentais são materiais rochosos aproveitados pela sua aparência estética (de onde vem seu valor agregado) e utilizados como elemento decorativo em trabalhos artísticos e como material para construção (FRASCÁ, 2003 apud MELLO, 2006). O granito juntamente com o mármore são os principais tipos de rochas ornamentais, porém existem também outras rochas que compõem as rochas ornamentais, sendo elas: travertinos, quartzitos, arenitos, conglomerados, ardósias, dentre outras (MELLO, 2006).

No período de janeiro a setembro de 2013 as exportações brasileiras de rochas ornamentais somaram US\$ 979,24 milhões e 2.013.383,11 t. Pode-se assim, de fato, projetar exportações de rochas ornamentais que totalizarão pelo menos US\$ 1,3 bilhão e 2,7 milhões t em 2013. As importações brasileiras de materiais rochosos naturais, para ornamentação e revestimento, somaram US\$ 50,4 milhões e 79.357,55 t no período de janeiro a setembro. As importações de materiais rochosos artificiais/aglomerados, no mesmo período, somaram US\$ 36,5 milhões e 36,6 mil t (ABIROCHAS, 2013).

2.4 RESÍDUOS

A Lei nº 12.305 (Legislação, 2010) define resíduos sólidos como sendo material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólidos ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. A destinação final ambientalmente adequada dos resíduos inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação, e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, SNVS e do Suasa, entre

elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

Rejeitos são os resíduos sólidos que depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada. A disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos se dá a distribuição ordenada dos mesmos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (Legislação, 2010).

A reutilização é o processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química; e reciclagem é o processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos; ambas observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa (Legislação, 2010).

O artigo 13 da Lei nº 12.305 (Legislação, 2010) classifica os resíduos sólidos quanto à origem e quanto à periculosidade. Quanto à origem os resíduos sólidos são classificados em resíduos: domiciliares, de limpeza urbana, sólidos urbanos, de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, dos serviços públicos de saneamento básico, industriais, de serviços de saúde, da construção civil, agrossilvopastoris, de serviços de transportes, de mineração. E quanto à periculosidade são classificados em resíduos perigosos e resíduos não perigosos. Os resíduos perigosos são aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica; e os resíduos não perigosos são aqueles que não se enquadram nos resíduos perigosos.

Quando se trata de consumir ou reutilizar outros resíduos industriais, a indústria cerâmica, em particular, o setor dedicado à fabricação de materiais de construção, fica no topo da lista. Matérias-primas naturais, utilizadas na fabricação de produtos cerâmicos à base de argilas, mostram uma ampla faixa de variação da composição e os produtos resultantes são muito heterogêneos. Por esta razão, estes produtos podem tolerar uma flutuação maior de sua composição e mudança nas matérias-primas, e a indústria cerâmica é capaz de incorporar uma

variedade de resíduos. Mesmo que isto seja feito em pequenas quantidades, as altas taxas de produção serão traduzidas em um consumo significativo de resíduos. Além disso, dada a temperatura de queima razoavelmente alta geralmente usada (1000°C), uma incorporação eficaz de materiais dentro de uma matriz cerâmica é obtida, na qual é particularmente interessante quando se trata da inertização de resíduos tóxicos (SEGADÃES et al, 2005).

A utilização de resíduos industriais em produtos cerâmicos, ou outro tipo de materiais pode constituir uma solução interessante, seja do ponto de vista ambiental ou econômico, pois, a utilização de resíduos acarreta em redução do uso de recursos naturais, a não utilização de aterros e redução dos custos com transporte (JUNKES, 2011).

Lima (2008) analisou a viabilidade do uso de cinzas agroindustriais em matrizes cimentícias fazendo um estudo de caso da cinza da casca da castanha de caju. A cinza da casca da castanha de caju não apresentou viabilidade técnica para uso em matrizes cimentícias devido aos seguintes fatores: não apresentar potencial pozolânico; favorecer a incorporação de ar em matrizes cimentícias; ocasionar solubilidade de metais pesados e Fenol quando no estado in natura; contribuir para o aumento da retração por secagem e da carbonatação em argamassas; liberar cromo e sódio mesmo quando estabilizada/solidificada em pastas em teores de até 10% de substituição.

Medeiros et al (2010) estudaram a incorporação de cinza de lenha, lodo de estação de tratamento de água e cinza de casca de arroz em massa cerâmica utilizando a técnica de planejamento. De acordo com os resultados, constatou-se a viabilidade da utilização das formulações com incorporação de até 25% de resíduo queimadas nas temperaturas de 800, 900 e 1000°C.

Paranhos (2010) estudou o aproveitamento de resíduos de cinza da cana de açúcar em massas cerâmicas. Os corpos de prova com adição de 10% e 20% do resíduo da cinza do bagaço de cana de açúcar calcinada e não calcinada apresentaram resultados de absorção de água, retração linear e resistência à flexão em três pontos que atendem as normas para produção de massa cerâmica.

Carreiro e Almeida (2011) estudaram a geração de novos produtos cerâmicos com a incorporação de resíduo de lama de alto forno. Os resultados das análises realizadas mostraram que as amostras com a incorporação de 5 e 10% de resíduo obtiveram resultados

favoráveis para a fabricação industrial, permanecendo ou melhorando os resultados em relação às amostras sem incorporação de resíduos.

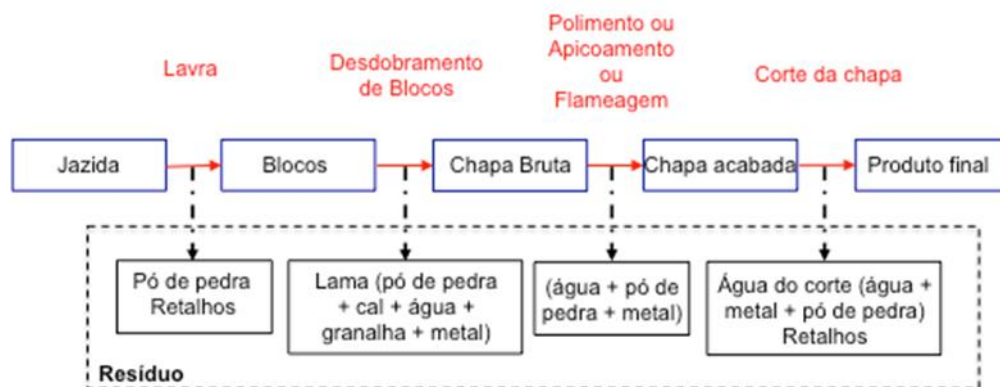
Inocente e Nandi (2013) estudaram a viabilização de resíduo vítreo na formulação de massa de cerâmica vermelha. O resíduo vítreo estudado apresentou potencial como redutor da retração linear de queima da massa cerâmica não afetando diretamente a retração linear de secagem, trazendo benefícios principalmente para a diminuição do percentual de absorção de água. Os melhores resultados tanto para resistência mecânica como absorção de água em relação à massa padrão foram as formulações com 15 e 20% de adição de resíduo (queimadas a $870 \pm 15^\circ\text{C}$).

2.5 RESÍDUOS DO BENEFICIAMENTO DO GRANITO

As atividades de extração e beneficiamento das rochas ornamentais se iniciam nas lavras, onde há a extração dos blocos, sendo estes encaminhados para o beneficiamento nas serrarias que incluem a serragem dos blocos em chapas, o polimento das chapas e o corte em ladrilhos com dimensões comerciais (REIS e ALVAREZ, 2007).

A Figura 2.3 mostra o fluxograma do processo de beneficiamento do granito.

Figura 2.3 – Esquema da produção do resíduo gerado no beneficiamento do granito.



Fonte: Adaptado de Reis e Alvarez (2007).

A atividade de extração (lavra) tem o objetivo de remover o material útil ou economicamente aproveitável dos maciços ou dos matacões. Na etapa do beneficiamento, o corte dos blocos pode ser feito por equipamentos chamados teares, sendo de dois tipos: de fios diamantados e de lâminas metálicas (tear convencional). No corte do bloco, usa-se uma lama (polpa abrasiva) constituída de rocha moída e água para o tear de fios diamantados. Já no caso

do tear convencional, esta lama é acrescida de cal e granalha de aço (REIS e ALVAREZ, 2007).

A lama re-circula no tear por meio de uma bomba submersa de eixo vertical, situada num poço (reservatório) de recolhimento que fica sob o tear, onde a lama é bombeada para cima do bloco através de um sistema de chuveiros em movimentação. Durante a serragem, a lama retorna ao poço e fica mantida em circulação até o término da serrada. Ela deve ter sua viscosidade controlada durante o processo, para isso, é feito o acréscimo de seus componentes: água, granalha e cal. A parte da lama que se torna muito viscosa é descartada e torna-se o resíduo, que em geral, é depositado em lagoas de sedimentação diretamente no solo, nos pátios das empresas. Em algumas empresas, o resíduo passa por um equipamento chamado filtro prensa, que diminui o teor de umidade, podendo-se nesse caso, reaproveitar parte da água, ficando o resíduo também condicionado nos pátios. Após a secagem do material na lagoa de decantação, o transporte e disposição do resíduo nos aterros industriais geram despesas consideráveis para as empresas (REIS e ALVAREZ, 2007).

A eliminação ou o reaproveitamento dos resíduos industriais gerados por empresas de beneficiamento é um dos grandes desafios para mitigar os impactos ambientais, o que leva pesquisadores ligados ao setor a estudarem o uso deste resíduo em aplicações, principalmente na indústria da construção civil. Nesse sentido, para alavancar o avanço das pesquisas baseado em dados confiáveis de produção, torna-se necessário inicialmente quantificar esses resíduos (REIS e ALVAREZ, 2007).

De acordo com Castro et al (2011) nas frentes de lavra das pedreiras enormes volumes de rejeitos grossos são gerados pois a taxa de aproveitamento média é estimada em 30%. Já na serragem, 25% do volume da rocha são transformados em resíduo fino.

Cattabriga (2010) apud Castro et al (2011) afirmam que a estimativa do Brasil para a produção de resíduos por ano são de mais de 5 milhões de toneladas de resíduos grossos nas pedreiras e mais de 300.000 toneladas de finos no beneficiamento.

Moreira, Manhães e Holanda (2008) estudaram o processamento de cerâmica vermelha usando resíduo em pó de rochas ornamentais. As amostras contendo resíduo em pó de rochas ornamentais apresentaram boas propriedades tecnológicas no que diz respeito à absorção de água, retração linear e resistência mecânica. O resíduo pode ser utilizado como

um recurso apropriado de matéria-prima para produzir cerâmica vermelha para a construção civil.

Cabral (2009) estudou o uso de rejeitos do granito rain forest para a produção de revestimentos cerâmicos com baixa absorção de água. Os resultados mostraram que o resíduo estudado pode ser considerado como matéria-prima de grande potencial para a indústria de pisos e revestimentos do tipo porcelanato.

Dantas et al (2010) estudaram a utilização de resíduos de rochas ornamentais na produção de cerâmica branca. Com a incorporação do resíduo de granito à argila houve um aumento da resistência à flexão dos corpos de prova queimados nas temperaturas de 1100 a 1200°C.

Santos e Pimentel (2012) estudaram a viabilidade de aproveitamento de resíduo graúdo (cacos) de empresa beneficiadora de rochas ornamentais. Para o reaproveitamento do resíduo graúdo é necessário processá-lo por britagem. Foi observado também que os resíduos tanto de mármore quanto de granito não atingiram a resistência compatível com as respectivas rochas sãs, porém após a britagem o agregado gerado pode ser utilizado na produção de argamassa, sendo que o resíduo de mármore apresentou melhores resultados que o resíduo de granito.

2.6 RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO DO CAFÉ

Segundo o Ministério da Agricultura (2013) o Brasil, maior produtor e exportador mundial de café, e segundo maior consumidor do produto, apresenta, atualmente, um parque cafeeiro estimado em 2,3 milhões de hectares, possuindo cerca de 287 mil produtores.

Em 2012, a produção de café no Brasil atingiu o montante de 50,8 milhões de sacas de 60 kg. Além disso, o produto representou 6,7% de todas as exportações brasileiras do agronegócio, que chegaram a aproximadamente 28,7 milhões de sacas de 60 kg, com faturamento de US\$ 6,5 bilhões. Quanto ao consumo interno, o levantamento realizado pela Associação Brasileira da Indústria de Café (Abic), no período compreendido entre nov/11 a out/12, registrou o consumo de 20,33 milhões de sacas (Ministério da Agricultura, 2013).

A partir da transformação do café resíduos do processamento agroindustrial são originados. A cadeia industrial pode ser dividida em duas etapas de industrialização, onde os

resíduos são classificados segundo a fase do processamento (primeiro e segundo processamento). O primeiro processamento consiste na transformação do café coco em café verde, abrangendo as atividades de beneficiamento e rebeneficiamento. O segundo processamento envolve a torrefação e moagem e solubilização do café (VEGRO e CARVALHO, 1993).

As cascas de café juntamente com o pergaminho consistem em resíduos do primeiro processamento. O rendimento da casca pode atingir 50% do peso colhido. A produção de cascas de café ocorre, no Brasil, de julho a dezembro, sendo sua maior concentração (75%) nos quatro primeiros meses do processamento (VEGRO e CARVALHO, 1993).

Segundo Vegro e Carvalho (1993) os usos mais viáveis das cascas de café são como: combustível, carvão e adubo orgânico. Como combustível as cascas constituem utilização economicamente interessante, com poder calorífico de cerca de 3.500 kcal/kg, permitindo autonomia energética a uma instalação de secagem e acondicionamento (CLAUDE, 1979 apud VEGRO e CARVALHO, 1993).

A queima da casca do café gera como resíduo as cinzas. Segundo Vale et al (2007) o teor de cinzas está relacionado com a presença de quantidades e de qualidades diferentes de minerais presentes na biomassa, assim minerais como cálcio, potássio, fósforo, magnésio, ferro, sódio, entre outros fazem aumentar o teor de cinzas.

De acordo com Dultra (2010) em muitos casos, as cinzas da casca de café são descartadas em áreas próximas às fazendas produtoras de café, as margens de estradas ou próximas a rios e riachos, e sem tratamento, podendo contaminar o solo ou a água. Uma alternativa para reduzir o impacto ambiental causado pela liberação indiscriminada de resíduos, particularmente as cinzas, seria a incorporação em produtos cerâmicos argilosos.

Dultra (2010) estudou a incorporação de cinzas de casca de café na produção de placas para revestimento realizando dez formulações mantendo os teores de argila e caulim em proporções iguais e variando de 5% a 30% o teor de cinzas, sendo sinterizadas entre 1100°C e 1200°C.

Baseado no resultado da análise química por fluorescência de raios X Dultra (2010) afirma que a cinza tem óxidos de potássio, cálcio, magnésio e fósforo como principais constituintes e que os óxidos alcalinos (K_2O) e alcalinos terrosos (CaO e MgO) possuem

efeito fundente. Portanto, os componentes químicos da cinza e suas respectivas quantidades possibilitam estimar a fusibilidade da cinza.

O difratograma de raios X da cinza apresentado por Dultra (2010) indica a presença de potássio, óxido de potássio, carbonato de cálcio e silicato de cálcio. Dultra (2010) afirma que a presença do carbonato de potássio pode trazer efeito nocivo, pois durante a queima da amostra (acima dos 1100°C) o carbonato de cálcio presente certamente irá se decompor eliminando gases e formando poros no interior da peça.

As amostras com adição de 10% de cinzas sinterizadas a 1200°C obtiveram resultados de absorção de água e de resistência à flexão compatíveis com os valores determinados pelas normas ABNT, UNI e ISO necessários para a produção de grês porcelanato (DULTRA, 2010).

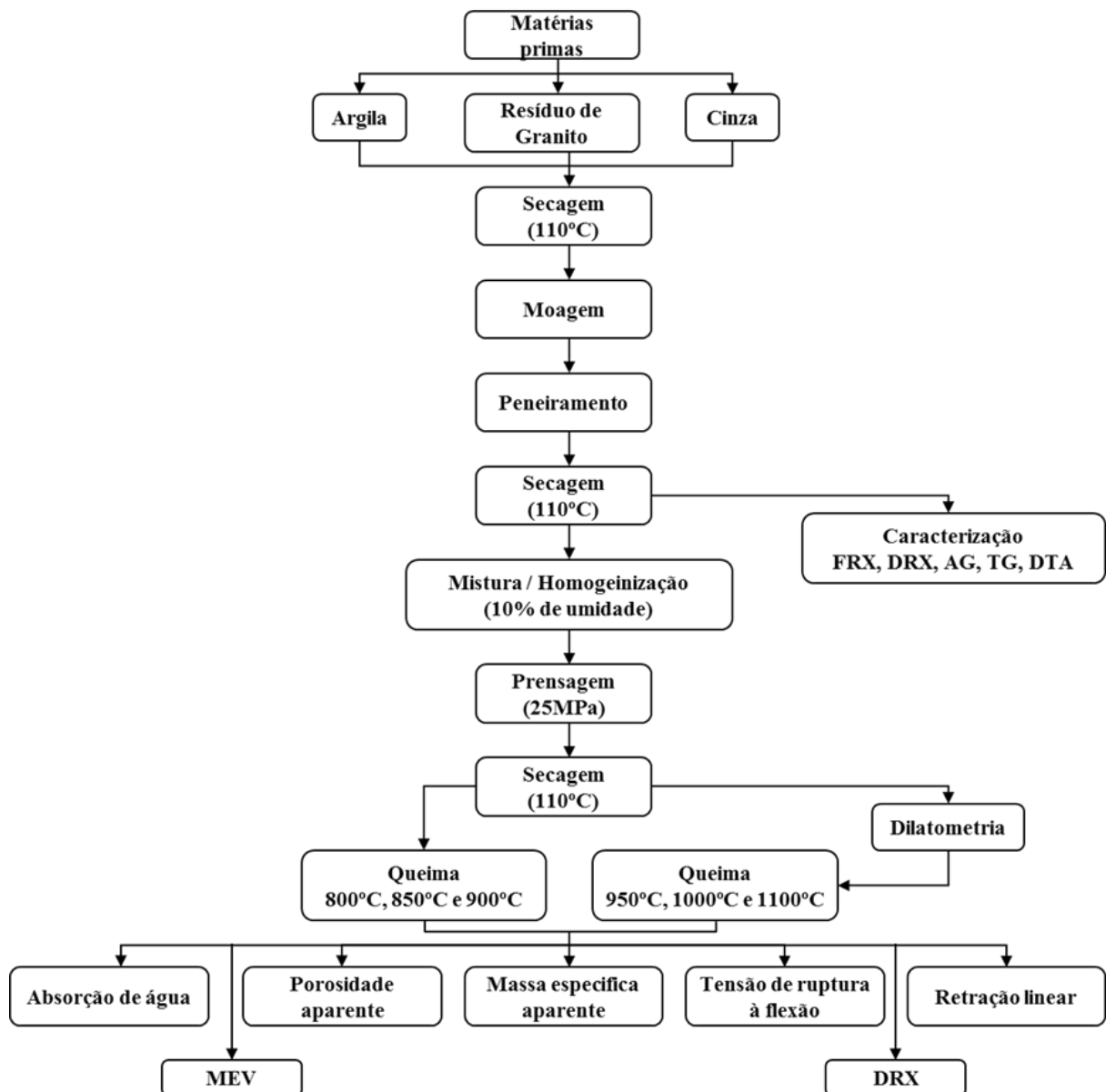
CAPÍTULO 3
METODOLOGIA

3 METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os materiais, a metodologia, os equipamentos e as técnicas de caracterização utilizadas no trabalho.

O fluxograma mostrado na Figura 3.1 apresenta os procedimentos utilizados na metodologia.

Figura 3.1 – Fluxograma da metodologia do trabalho.



3.1 MATÉRIAS-PRIMAS

Foram utilizadas três matérias-primas: argila vermelha, resíduo de granito e cinzas da casca de café.

3.1.1 Argila vermelha

A argila utilizada neste estudo é uma amostra usada na linha de produção da indústria cerâmica do município de Goianinha/RN, para a fabricação de produtos cerâmicos como: telhas e tijolos para alvenaria. Esta argila é proveniente da mistura de uma argila plástica e outra não plástica.

3.1.2 Resíduo de granito

O resíduo de granito utilizado neste estudo foi coletado diretamente da indústria de corte de granito do RN e não foi beneficiado. O resíduo de granito é proveniente da região do Seridó/RN.

3.1.3 Cinzas da casca de café

A fazenda produtora de café, de espécie robusta, onde as cinzas da casca de café foram coletadas, está situada na cidade de Eunápolis no extremo sul da Bahia. Nesta propriedade são utilizadas exclusivamente cascas de café como combustível para produção de calor nos fornos de secagem e beneficiamento do café.

3.1.4 Formulações utilizadas

Na Tabela 3.1 são mostradas as formulações utilizadas no trabalho.

Tabela 3.1 – Formulações utilizadas no trabalho.

Formulações	Argila (%)	Resíduo de Granito (%)	Cinza (%)
A100	100	-	-
A70C30	70	-	30
A70G10C20	70	10	20
A70G15C15	70	15	15
A70G20C10	70	20	10
A70G30	70	30	-

3.2 MOAGEM

Para utilização nas formulações das misturas, as matérias-primas foram previamente moídas e peneiradas em 100 mesh. A moagem foi feita em moinho de bolas durante 2 horas, e em seguida os materiais foram peneirados. O peneiramento foi realizado via seco.

3.3 CARACTERIZAÇÃO

3.3.1 Análise granulométrica (AG)

A análise granulométrica (AG) foi feita através da classificação de partículas por difração a laser utilizando um granulômetro a laser modelo 1180 CILAS acoplado a um sistema de ultra-som, do Laboratório de Tecnologia dos Materiais da UFRN. A dispersão ocorreu em 60 segundos e não houve a adição de agente dispersante.

O software Particle Expert forneceu o resultado da análise. Os diâmetros correspondentes das partículas do fluxo retido nas frações de interesse, o diâmetro médio ($D_{\text{médio}}$), o diâmetro a 10% (D_{10}), o diâmetro a 50% (D_{50}) o diâmetro a 90% (D_{90}) e as curvas de distribuição granulométrica das partículas foram fornecidas pelo equipamento.

3.3.2 Análise química (FRX)

A composição química das matérias-primas foi determinada por fluorescência de raios X (FRX). Neste sentido, foi utilizado o equipamento EDX 720 da Shimadzu, do Laboratório de Difração e Fluorescência de raios X da UFRN, em uma atmosfera à vácuo,

empregando o método semiquantitativo para determinação dos elementos presentes na amostra. As análises foram feitas em amostras com granulometria inferior a 200 mesh (74 μ m) e secas em estufa a 110°C durante 24 horas.

Para determinação da perda ao fogo (PF) das matérias-primas foi utilizado um forno do tipo mufla EDG 3P-S da marca EDG Equipamentos e a balança digital, marca Mettler Toledo, modelo AL204, com precisão 0,0001g, do Laboratório de Propriedades Físicas dos Materiais Cerâmicos da UFRN. Este ensaio foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR NM 18, onde foi pesado 1,000g de amostra e colocado em um cadinho de massa conhecida, sendo estes posteriormente aquecidos em uma mufla até 1000°C, ficando nesta temperatura por um período de 60 minutos.

3.3.3 Análise mineralógica

As amostras foram analisadas por difração de raios X (DRX) após terem sido reduzidas a uma granulometria menor que 200 mesh (74 μ m) e secas em estufa a 110°C durante 24 horas. As análises foram realizadas em um difratômetro XRD 7000 da Shimadzu, do Laboratório de Difração e Fluorescência de Raios X da UFRN, através da radiação α do elemento cobre (Cu), com radiação $\text{Cu}\alpha$ ($\lambda=0,1542\text{nm}$), operando com tensão de aceleração de 40kV, corrente de 30mA, ângulo de varredura de 5 a 80° para 2θ , velocidade de 5°/min e passo de 0,02°. A identificação das fases cristalinas foi realizada por comparação entre os picos gerados pelo difratograma com cartas padrões utilizando o software Philips X'pert cadastradas no CSD (Cambridge Structural Database).

3.3.4 Análises térmicas

As análises termogravimétrica (TG) e térmica diferencial (DTA) foram realizadas utilizando um analisador térmico, DTG-60H da Shimadzu, do Laboratório de Propriedades Físicas dos Materiais Cerâmicos da UFRN. Foram utilizadas aproximadamente 6mg para a análise da argila e do resíduo de granito, e 13mg para da cinza, sob fluxo de argônio com vazão de 50ml/min. A taxa de aquecimento foi de 5°C/min, atingindo a temperatura final de 1100°C para a argila e o resíduo de granito, e 900°C para a cinza. A análise dos resultados foi feita utilizando o software TA-60WS fornecido pela Shimadzu.

3.4 PREPARAÇÃO DAS MASSAS CERÂMICAS

A preparação das massas cerâmicas foi realizada em duas etapas. A primeira etapa foi realizada antes da análise dilatométrica, onde as amostras foram queimadas a 800°C, 850°C e 900°C, que são as temperaturas usuais de queima utilizadas na indústria de cerâmica vermelha. A segunda etapa foi realizada após a análise dilatométrica (Figura 4.13), que indicou o início da sinterização das formulações em temperaturas próximas a 1000°C, portanto foi realizada a queima a 950°C, 1000°C e 1100°C. Todos os resultados foram apresentados separadamente nestas duas etapas.

As matérias-primas foram anteriormente secadas em estufa a 110°C por 24 horas. Em seguida, foram pesadas as quantidades especificadas para as formulações utilizadas. Para as pesagens foi utilizada uma balança digital da marca Tecnal, modelo B-Tec 4100, com resolução de 0,01g do Laboratório de Cerâmica da UFRN.

3.4.1 Mistura das matérias-primas

Após as pesagens das partes constituintes das massas cerâmicas, foi realizada a mistura e a homogeneização no moinho excêntrico, modelo CB2-T da BP Engenharia do Laboratório de Cerâmica da UFRN, em quantidade de cerâmica com esferas de alumina por um período de aproximadamente 5 minutos.

3.4.2 Prensagem

As amostras foram confeccionadas por compactação uniaxial em prensa hidráulica, marca Bovenau, do Laboratório de Cerâmica da UFRN, com capacidade de 15 toneladas utilizando uma matriz de aço com medidas internas 60 x 20 mm. Para a compactação foi utilizada uma quantidade de 12g de cada mistura dosada anteriormente com uma umidade de 10% em massa. A carga aplicada foi de 3,0 toneladas, durante um intervalo de 30 segundos para acomodação das partículas, resultando em pressão de compactação de 25 MPa. Após a prensagem as amostras foram secados em uma estufa a 110°C por um período de 24 horas e em seguida suas dimensões foram medidas utilizando um paquímetro digital da marca Mitutoyo com resolução de 0,01mm.

3.4.3 Queima

A queima das amostras foi realizada num forno mufla com resistência, marca Fortelab, da Sala de Fornos do Departamento de Engenharia de Materiais da UFRN, nas temperaturas de 800°C, 850°C, 900°C, 950°C, 1000°C e 1100°C, com taxa de aquecimento de 5°C/min com permanência de 60 minutos no patamar.

3.5 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

3.5.1 Absorção de água (AA)

A absorção de água mede a percentagem em peso de água absorvida pela amostra seca. Este parâmetro foi obtido de acordo com a norma NBR 15845. O procedimento consiste na secagem das amostras em estufa a 110°C até obtenção de massa constante. Após a obtenção da massa constante, as amostras foram imersas em água destilada durante 24 horas em um recipiente. Em seguida, as amostras foram removidas e com um pano umedecido foi retirado o excesso de água superficial, e pesados em balança com resolução de 0,01g. Os valores de absorção foram calculados de acordo com a equação 3.1.

$$AA(\%) = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad (3.1)$$

Sendo: AA = absorção de água, (%), M_u = massa da amostra úmida, (g), M_s = massa da amostra seca, (g).

3.5.2 Retração linear de queima (RL_q)

As amostras tiveram os seus comprimentos medidos com paquímetro digital após a secagem em estufa a 110°C por 24 horas e após a queima. A RL_q foi determinada utilizando-se a equação 3.2.

$$RLq(\%) = \frac{L_0 - L_f}{L_0} \times 100 \quad (3.2)$$

Sendo: RL_q = retração linear de queima, (%), L_0 = comprimento da amostra após secagem, (mm), L_f = comprimento da amostra após queima, (mm).

3.5.3 Porosidade aparente (PA)

O método de Arquimedes foi o procedimento utilizado, onde as amostras foram imersas em água destilada. Este ensaio é realizado simultaneamente ao ensaio de absorção de água. Após o período de imersão em água destilada para o ensaio de absorção de água, as amostras queimadas e ainda úmidas foram pesadas imersas em água pelo método da balança hidrostática, ou método de Arquimedes, e determinada a porosidade aparente conforme a equação 3.3. (NBR 15845)

$$PA(\%) = \frac{M_u - M_s}{M_u - M_i} \times 100 \quad (3.3)$$

Sendo: PA = porosidade aparente, (%), M_u = massa da amostra úmida, (g), M_s = massa da amostra seca, (g), M_i = massa da amostra imersa, (g).

3.5.4 Massa específica aparente (MEA)

A massa específica aparente foi calculada de acordo com a equação 3.4. (NBR 15845)

$$MEA(g/cm^3) = \frac{PA}{AA} = \frac{M_s}{M_u - M_i} \quad (3.4)$$

Sendo: MEA = massa específica aparente, (g/cm³), M_s = massa da amostra seca, (g), M_u = massa da amostra úmida, (g), M_i = massa da amostra imersa, (g).

3.5.5 Tensão de ruptura à flexão (TRF)

O comportamento mecânico das amostras foi analisado pelo ensaio de flexão em três pontos, onde foi obtida a tensão de ruptura à flexão, que é a resistência do material à flexão simples pelo método de três pontos, segundo a norma NBR ISO 5014.

O equipamento utilizado foi uma máquina de ensaios mecânicos da marca Zick/Roell, modelo BZ 2.5/TS1T, com célula de carga com capacidade de 2,5kN, operando a uma velocidade de 0,5mm/min e 50 mm de distância entre apoios, do Laboratório de Propriedades Físicas dos Materiais Cerâmicos da UFRN.

Os resultados foram calculados pela equação 3.5.

$$TRF(MPa) = \frac{3FxL}{2bxh^2} \quad (3.5)$$

Sendo: TRF = tensão de ruptura à flexão, (MPa), F = força aplicada, (N), L = distância entre os apoios, (mm), b = medida da base da amostra, (mm), h = espessura da amostra, (mm).

3.5.6 Análise dilatométrica

As análises dilatométricas foram realizadas utilizando um dilatômetro modelo DIL801L da BÄRH Thermoanalyse GmbH, do Departamento de Engenharia de Materiais e Cerâmica da Universidade de Aveiro (Portugal), com taxa de aquecimento de 10°C/min até a temperatura de 1200°C utilizando atmosfera de ar. Foram utilizadas amostras das formulações A70G30, A70C30 e A70G15C15 que possuem o teor de argila constante (70%) e A100 que contém somente argila, contendo respectivamente, 30% de resíduo, 30% de cinzas, 15% de resíduo + 15% de cinzas, e 100% argila.

Como se fez necessário a escolha de apenas quatro formulações para serem analisadas através de dilatometria, as quais foram supracitadas, os requisitos para escolha foram os seguintes:

- A formulação A100 é a formulação referência, pois não possui incorporação de resíduos;
- As formulações A70C30 e A70G30, são as formulações que contém o máximo teor de cada resíduo;

- A formulação A70G15C15 é a formulação intermediária entre as formulações A70G30 e A70C30.

A variação do comprimento (ΔL) da amostra é calculada conforme a equação 3.6.

$$\Delta L(\%) = \frac{L_T - L_I}{L_I} \times 100 \quad (3.6)$$

Sendo: ΔL = variação do comprimento da amostra, (%), L_T = comprimento a temperatura T, (mm), L_I = comprimento na temperatura de início do ensaio, (mm).

3.5.7 Difração de raios X (DRX)

A análise das amostras queimadas foi realizada utilizando um difratômetro XRD-6000 da Shimadzu, do Laboratório de Ensaio de Materiais (Labemat) do Centro de Tecnologia do Gás e Energias Renováveis (CTGÁS-ER), através da radiação $K\alpha$ do elemento cobre (Cu), com radiação $CuK\alpha$ ($\lambda=0,1542\text{nm}$), operando com tensão de aceleração de 40kV, corrente de 30mA, ângulo de varredura de 5 a 80° para 2θ , velocidade de 2°/min e passo de 0,02°. As amostras foram analisadas após terem sido reduzidas a uma granulometria menor que 200 mesh (74 μm) e secas em estufa a 110°C durante 24 horas. A identificação das fases cristalinas foi realizada por comparação entre os picos gerados pelo difratograma com cartas padrões utilizando o software Philips X'pert cadastradas no CSD (Cambridge Structural Database).

3.5.8 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A superfície de fratura das formulações A100, A70G30 e A70C30 após a queima em 1100°C foram analisadas em um microscópio eletrônico de varredura SSX-550 da Shimadzu Hitachi, do Labemat do CTGÁS-ER, utilizando-se uma voltagem de aceleração de elétrons de 20kV.

As amostras foram submetidas à metalização com uma fina camada condutora de ouro no metalizador IC-50 da Shimadzu. Em seguida, as amostras foram colocadas no porta

amostras aderidas a uma fita de carbono dupla face. As amostras foram analisadas empregando-se um detector de elétrons secundário.

CAPÍTULO 4
RESULTADOS E DISCUSSÕES

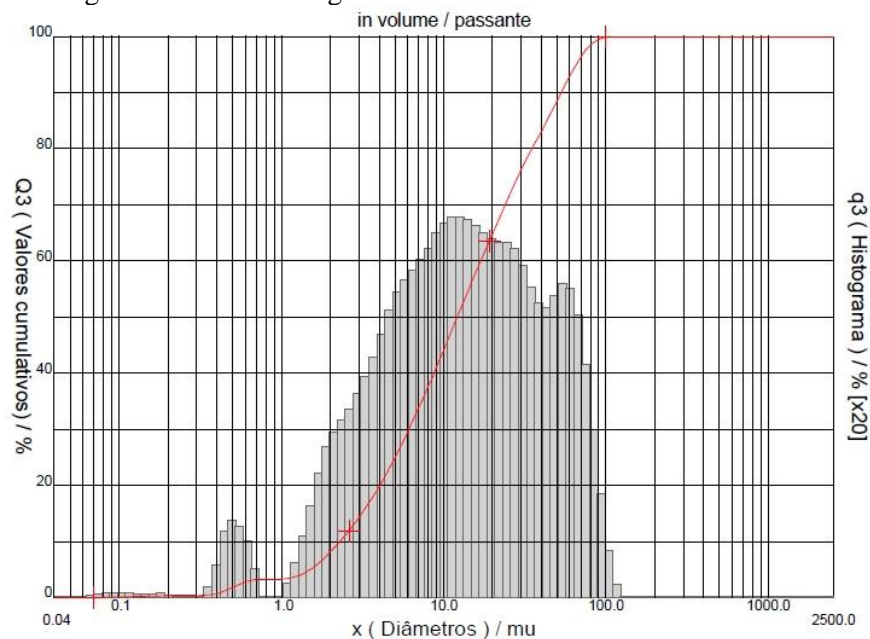
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

4.1.1 Análise granulométrica (AG)

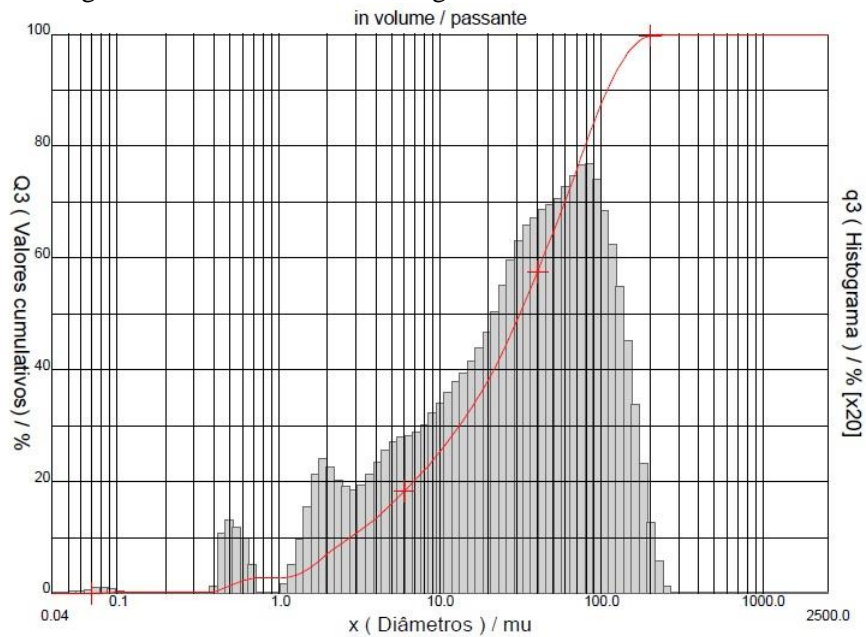
A Figura 4.1 apresenta a análise granulométrica da argila após a moagem e peneiramento em 100 mesh. Observa-se que todo o material possui granulometria entre $0,07\mu\text{m}$ e $112\mu\text{m}$. Verifica-se que 8,12% do material está abaixo de $2\mu\text{m}$, classificando-se como argila, 84,74% está entre $2\mu\text{m}$ e abaixo de $60\mu\text{m}$, sendo classificado como silte, e 7,14% entre $60\mu\text{m}$ e $112\mu\text{m}$, classificando-se como areia fina (NBR 6502). O material possui $D_{\text{médio}}=20,25\mu\text{m}$, $D_{10}=2,29\mu\text{m}$, $D_{50}=12,11\mu\text{m}$ e $D_{90}=52,94\mu\text{m}$.

Figura 4.1 – Análise granulométrica da argila.



Na Figura 4.2 é mostrada a análise granulométrica do resíduo de granito após a moagem e peneiramento em 100 mesh. A norma NBR 6502 classifica a matéria-prima conforme a sua distribuição granulométrica, portanto baseado na mesma e na análise granulométrica do resíduo de granito é possível notar que 7,05% do material está abaixo de $2\mu\text{m}$, classificando-se como argila, 62,95% está entre $2\mu\text{m}$ e abaixo de $60\mu\text{m}$, classificando-se como silte, 29,71% entre $60\mu\text{m}$ e $200\mu\text{m}$, classificando-se como areia fina, e 0,29% entre $200\mu\text{m}$ e $242\mu\text{m}$, classificando-se como areia média. O tamanho das partículas está entre $0,07\mu\text{m}$ e $242\mu\text{m}$ e apresenta $D_{\text{médio}}=44,87\mu\text{m}$, $D_{10}=2,78\mu\text{m}$, $D_{50}=31,25\mu\text{m}$ e $D_{90}=108,63\mu\text{m}$.

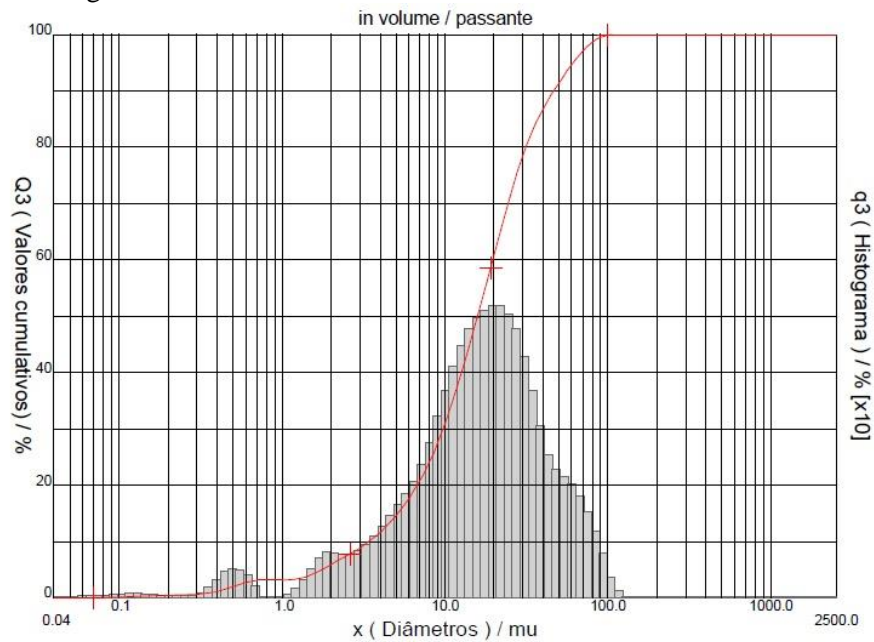
Figura 4.2 – Análise granulométrica do resíduo de granito.



Na Figura 4.3 é mostrada a análise granulométrica da cinza após a moagem e peneiramento em 100 mesh. O tamanho das partículas da cinza de acordo com os dados da análise granulométrica está entre $0,07\mu\text{m}$ e $112\mu\text{m}$ e apresenta $D_{\text{médio}} = 20,96\mu\text{m}$, $D_{10} = 3,38\mu\text{m}$, $D_{50} = 15,83\mu\text{m}$ e $D_{90} = 46,57\mu\text{m}$.

A redução em área específica após a ativação pelo aquecimento em temperaturas mais elevadas é sinterização; a força ou a energia que comanda o processo de sinterização é a energia livre superficial das partículas (SANTOS, 1989). Portanto, quanto menor for o tamanho da partícula, maior será a área específica, e maior será a energia livre disponível para ser liberada para provocar uma redução de área específica pela fusão total ou parcial da superfície das partículas.

Figura 4.3 – Análise granulométrica da cinza.



4.1.2 Análise química (FRX)

O resultado da análise química por fluorescência de raios X da argila, do resíduo de granito e da cinza é mostrado na Tabela 4.1.

Os óxidos quantificados para a argila e para o resíduo de granito que ocorrem em maior concentração são SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e K_2O . O SiO_2 obtido é devido aos silicatos (argilominerais, micas, feldspatos) e à sílica livre (quartzo e ácidos silícicos amorfos) (SANTOS, 1989). O alto teor de Al_2O_3 (28,91%) presente na argila tende a aumentar a sua refratariedade (VIEIRA et al, 2001). A alta concentração de Fe_2O_3 (9,68%) faz com que esse tipo de argila seja utilizada em cerâmica vermelha ou estrutural (tijolos, telhas, ladrilhos de pisos, agregados leves para concreto) (SANTOS, 1989).

Argila com teor de óxido de ferro a 1% possui a cor amarela e à medida que esta porcentagem aumenta a cor tende a se intensificar, porém nem sempre há proporcionalidade entre a cor e a quantidade de óxidos de ferro indicados na análise química, como nas argilas ricas em ilita em que o ferro faz parte do reticulado cristalino formando vidros com mais facilidade e dando origem a cores vermelhas de tonalidades vivas ou brilhantes (SANTOS, 1989).

A cinza tem os óxidos de potássio (56,23%) e cálcio (13,14%) como principais constituintes. O óxido de potássio (K_2O) tem um efeito fundente intenso abaixo de 1100°C

(LUCENA, 2007) e os óxidos alcalinos terrosos (CaO e MgO) agem como fundentes de elevada energia em temperaturas próximas a 1100°C (VIEIRA et al, 2001).

A perda ao fogo da argila (5,57%), do resíduo de granito (1,58%) e da cinza (20,21%) é devido à água líquida, água de hidroxilas dos argilominerais, componentes de matéria orgânica e carbonatos.

Tabela 4.1 – Análise química das matérias-primas.

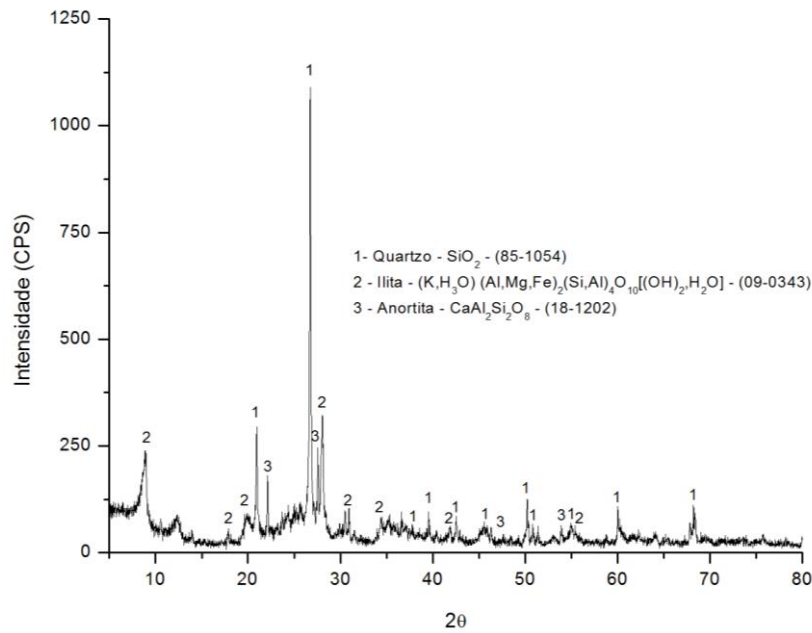
Óxidos	Concentração (%)		
	Argila	Cinza	Resíduo de granito
SiO ₂	42,95	2,03	40,00
Al ₂ O ₃	28,91	-	11,12
Fe ₂ O ₃	9,68	1,95	18,14
K ₂ O	5,79	56,23	12,79
MgO	3,07	-	-
CaO	2,37	13,14	3,82
TiO ₂	1,41	0,18	0,31
MnO	0,14	0,10	0,20
ZrO ₂	0,04	0,41	3,25
SrO	0,03	1,40	-
ZnO	0,02	0,13	0,23
Rb ₂ O	0,02	0,41	3,43
SO ₃	-	1,80	0,62
P ₂ O ₅	-	1,69	-
CuO	-	0,32	0,16
Y ₂ O ₃	-	0,02	3,84
Ir ₂ O ₃	-	-	0,41
Cr ₂ O ₃	-	-	0,13
PF	5,57	20,21	1,58

4.1.3 Análise mineralógica (DRX)

Na Figura 4.4 é mostrado o difratograma de raios X da argila onde é possível constatar a presença de quartzo (SiO₂), ilita ((K,H₃O)(Al,Mg,Fe)₂(Si,Al)₄O₁₀[(OH)₂,(H₂O)]) e anortita (CaAl₂Si₂O₈) como fases cristalinas.

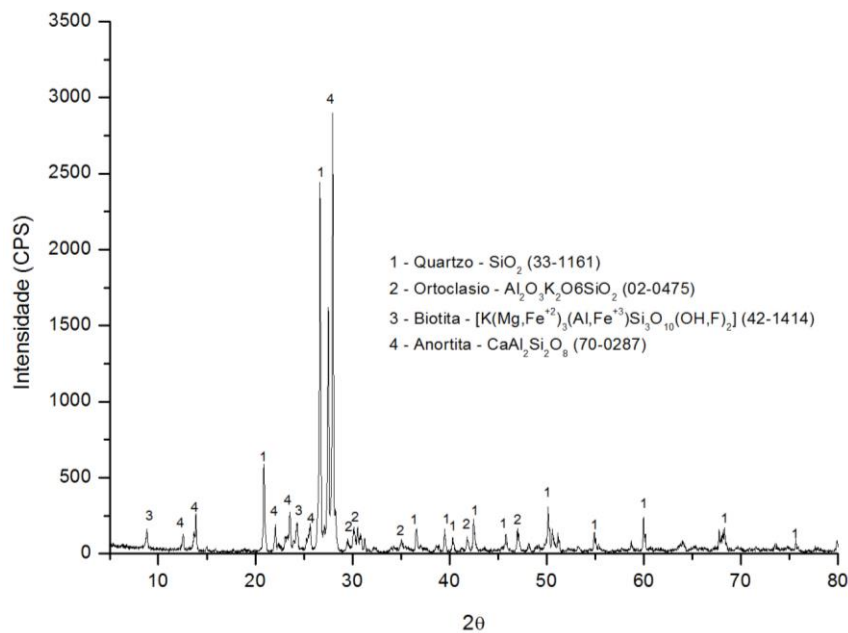
A fase cristalina hematita (Fe₂O₃) não foi identificada no difratograma, esta ausência indica que o ferro presente esteja em solução com outras fases, como na ilita, ou esteja presente em fase amorfa (ARAÚJO, 2008).

Figura 4.4 – Difratoograma de raios X da argila.



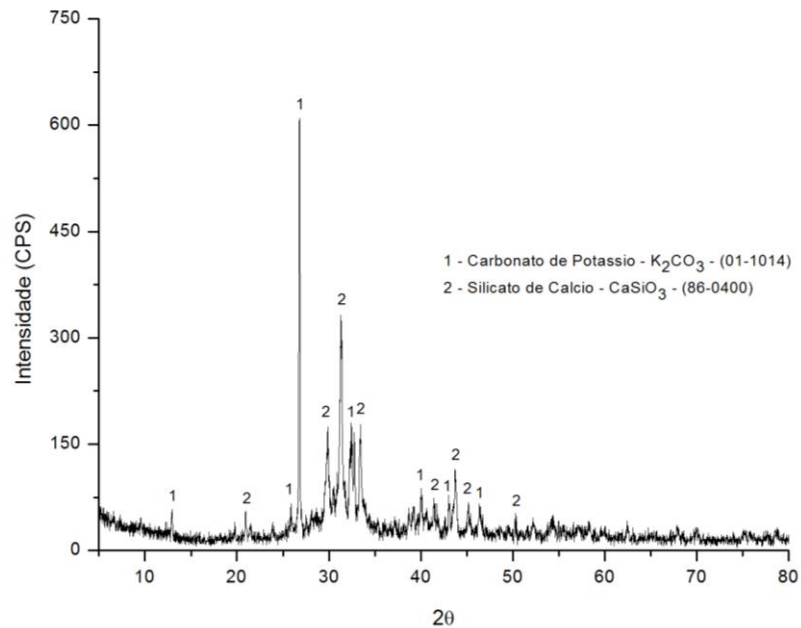
O difratograma de raios X do resíduo de granito apresentado na Figura 4.5 indica a presença das seguintes fases cristalinas: quartzo (SiO_2), ortoclásio (KAlSi_3O_8), biotita ($[\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}^{++})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{O},\text{F})_2]$) e anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). Os minerais ortoclásio e anortita são feldspatos, sendo eles pertencentes aos seguintes tipos, respectivamente, potássico e plagioclásio; e a biotita é pertencente ao grupo das micas.

Figura 4.5 – Difratoograma de raios X do resíduo de granito.



A Figura 4.6 apresenta o difratograma de raios X da cinza da casca de café, indicando a presença de carbonato de potássio (K_2CO_3) e silicato de cálcio (CaSiO_3).

Figura 4.6 – Difratoograma de raios X da cinza da casca do café.

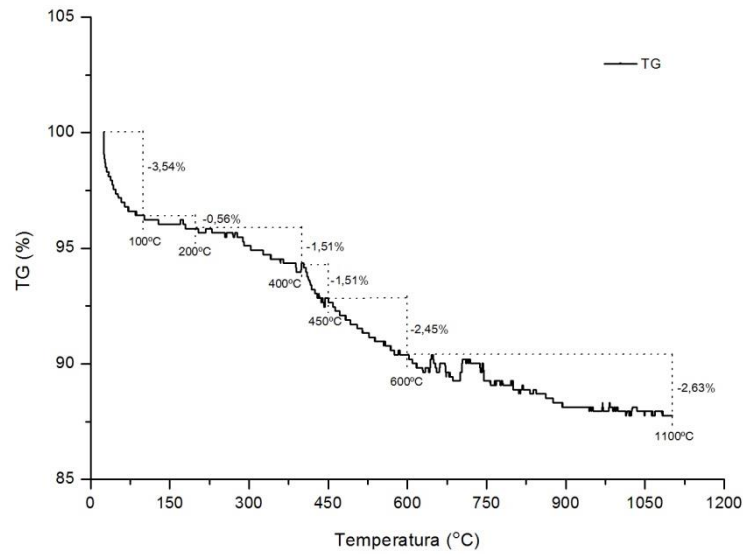


4.1.4 Análise termogravimétrica (TG)

Avaliando resultados de análise térmica, Santos (1989) indicou que a água líquida que preenche os capilares na argila apresenta um pico endotérmico com o máximo a 110°C; a água adsorvida na superfície externa dos argilominerais produz um pico endotérmico entre 100°C e 200°C; a combustão da matéria orgânica produz pico exotérmico entre 200°C e 400°C; e que a perda de água das hidroxilas produz pico endotérmico entre 450°C e 600°C.

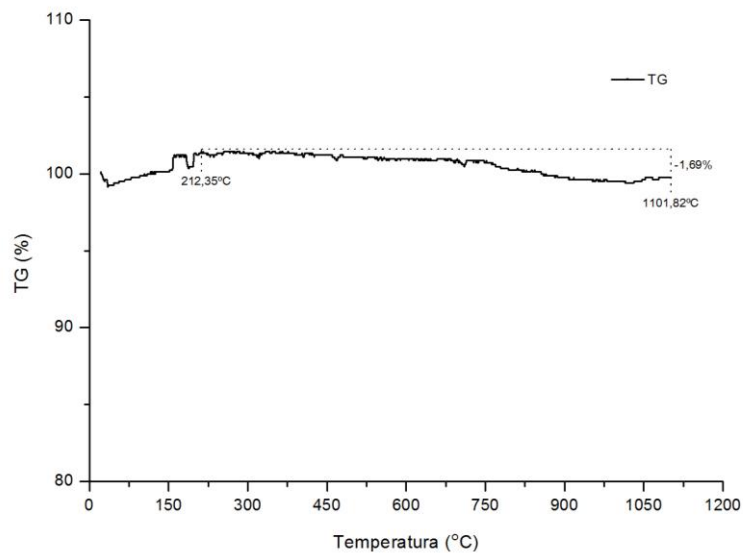
A Figura 4.7 mostra a curva obtida com a análise termogravimétrica (TG) para a argila estudada. Observando-se a curva TG, nota-se uma perda de massa de 3,54% a 24,78°C até 100°C decorrente da perda de água livre. Em seguida, uma redução contínua de massa correspondente a perda da água adsorvida (0,56%) entre 100°C e 200°C, a combustão da matéria orgânica (1,51%) entre 200°C e 400°C, e a perda de água de hidroxilas (2,45%) entre 450°C e 600°C. A perda total de massa durante o aquecimento até 1100°C foi de aproximadamente 12,24%.

Figura 4.7 – Análise termogravimétrica da argila.



A Figura 4.8 mostra a curva obtida com a análise termogravimétrica (TG) do resíduo de granito, indicando uma perda de massa de 1,69% entre 212,35°C e 1101,82°C. Esta perda pode estar relacionada à volatilização da matéria orgânica, perda de água das hidroxilas e decomposição do carbonato de cálcio.

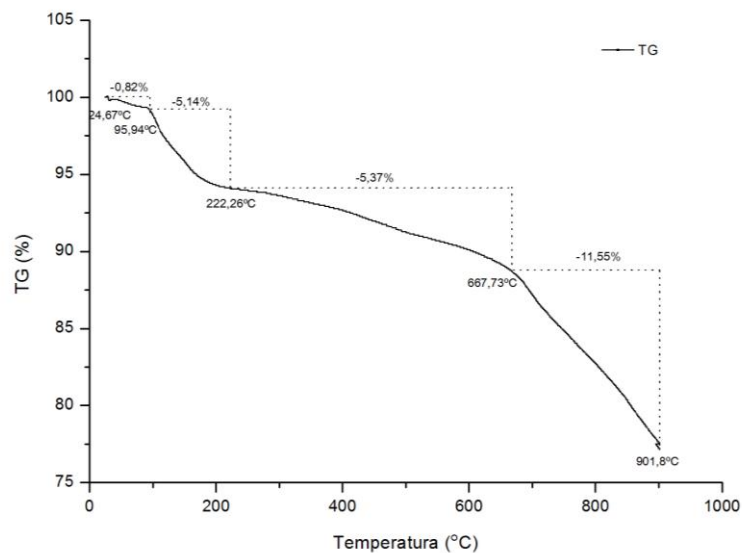
Figura 4.8 – Análise termogravimétrica do resíduo de granito.



A Figura 4.9 mostra a curva obtida com a análise termogravimétrica (TG) para a cinza. Verifica-se que na cinza ocorrem perdas de massas correspondentes a: perda da água líquida (0,82%), entre 24,67°C e 95,94°C; combustão da matéria orgânica (5,37%), entre 222,26°C e

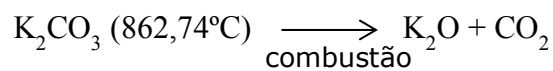
667,73°C; decomposição do carbonato de potássio (11,55%), entre 667,73°C e 901,8°C, confirmando o resultado da difração de raios X, no qual indicou a presença de carbonato de potássio (Figura 4.6). A cinza apresentou 22,88% de perda total de massa.

Figura 4.9 – Análise termogravimétrica da cinza.



O carbonato de potássio ao passar pelo processo de combustão (conforme a equação da reação abaixo), aproximadamente a 862,74°C (Figura 4.12) formará óxido de potássio (K₂O) e dióxido de carbono (CO₂), este último decompondo-se elimina gases, ocasionando a formação de poros no interior da peça.

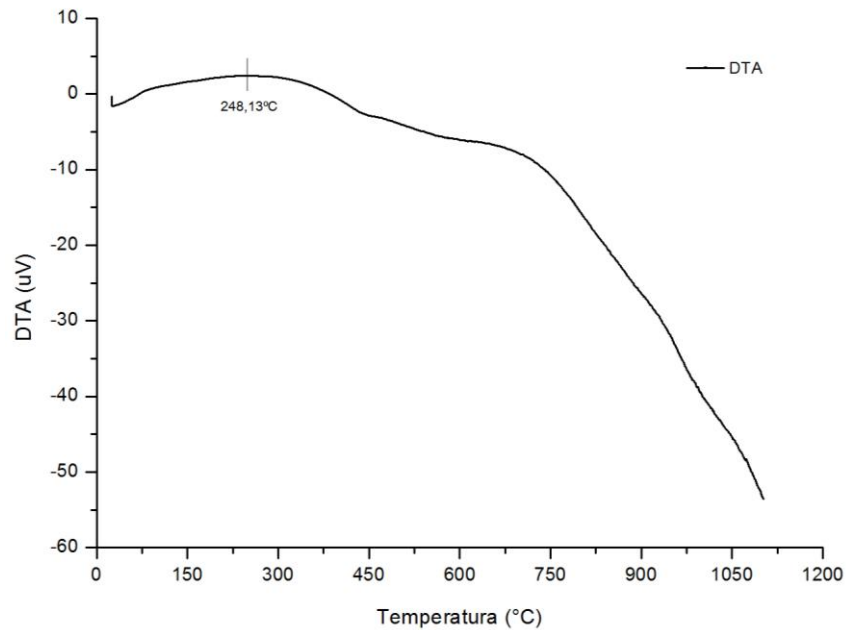
Equação da reação de decomposição do carbonato de potássio:



4.1.5 Análise térmica diferencial (DTA)

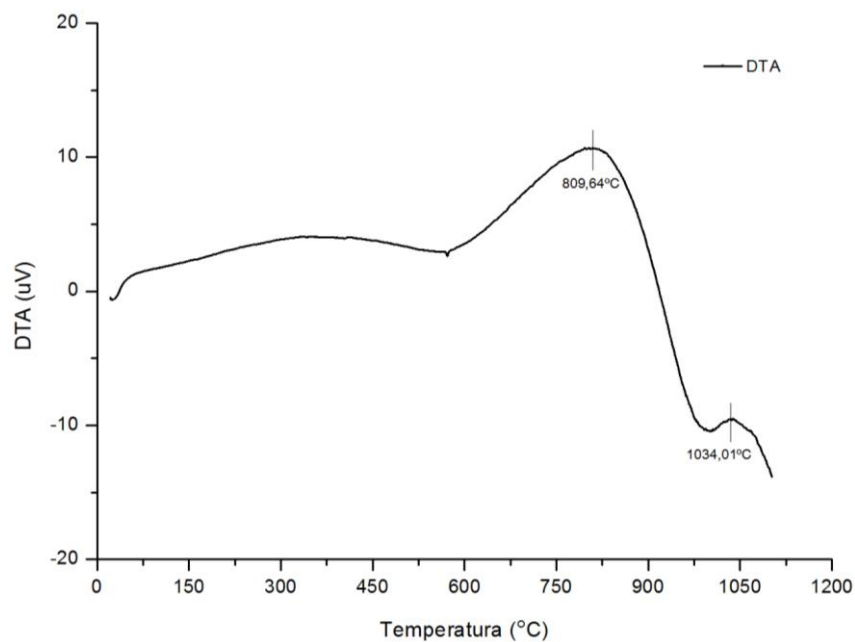
A curva obtida com a análise térmica diferencial (DTA) para a argila estudada é apresentada na Figura 4.10. Nota-se um pico exotérmico em 248,13°C, que corresponde à combustão da matéria orgânica, confirmando o resultado obtido na análise termogravimétrica, que registra a combustão da matéria orgânica entre 200°C e 400°C (Figura 4.7).

Figura 4.10 – Análise térmica diferencial da argila.



A curva resultante da análise térmica diferencial (DTA) do resíduo de granito é mostrada na Figura 4.11. Observa-se em 809,64°C pico exotérmico correspondente a decomposição do carbonato de cálcio e, outro pico exotérmico em 1034,01°C sugerindo a formação de fases cristalinas (anortita).

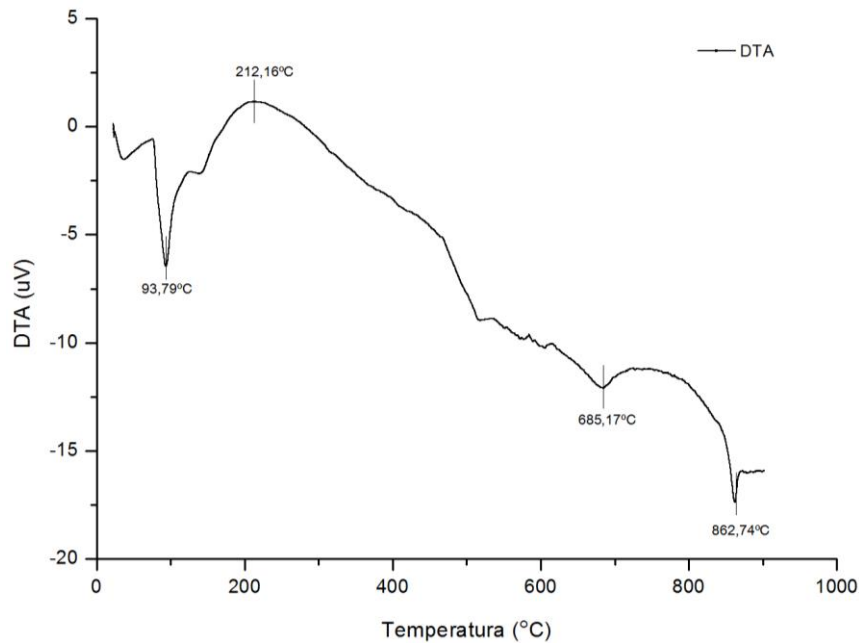
Figura 4.11 – Análise térmica diferencial do resíduo de granito.



A curva obtida com a análise térmica diferencial (DTA) para a cinza é apresentada na Figura 4.12. Observa-se um pico endotérmico em 93,79°C, correspondente a perda de água

líquida adsorvida, em 212,16°C pico exotérmico correspondente a combustão da matéria orgânica, e um pico endotérmico em 862,74°C correspondente a decomposição do carbonato de potássio, confirmando os resultados da curva termogravimétrica, que registra a decomposição do carbonato de potássio (11,55%) entre 667,73°C e 901,8°C (Figura 4.9).

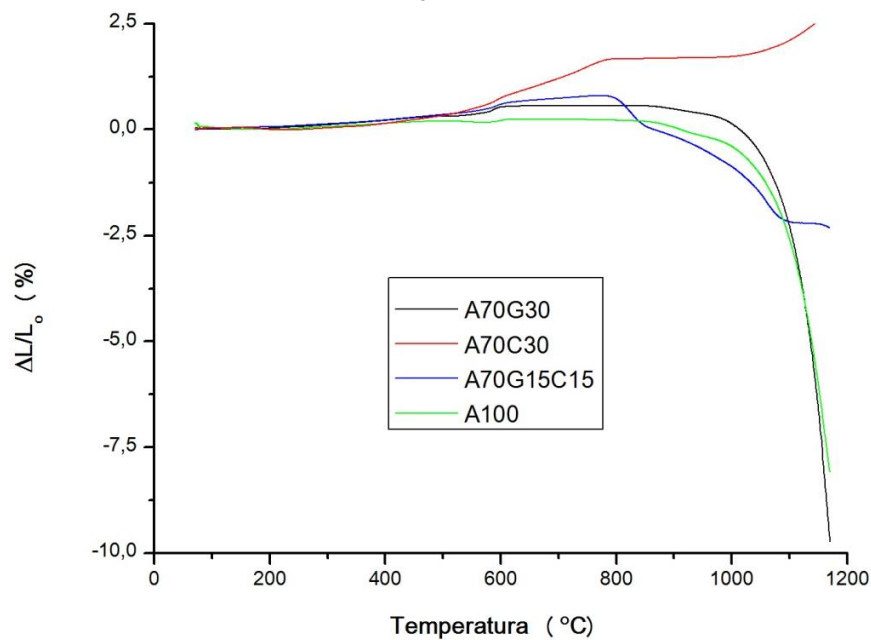
Figura 4.12 – Análise térmica diferencial da cinza.



4.1.6 Análise dilatométrica

Na Figura 4.13 são mostradas as curvas das análises dilatométricas das formulações A70G30, A70C30, A70G15C15 e A100. É possível observar que a formulação A70C30 se expande com o aumento da temperatura diferentemente das demais formulações, que se contraem. Esta expansão está relacionada com a alta perda ao fogo da cinza em relação aos outros materiais como mostra a Tabela 4.1 e/ou a formação de uma nova fase cristalina (Figura 4.16). As formulações A70G30 e A100 começam a contrair em temperaturas próximas a 1000°C, indicando o início da sinterização.

Figura 4.13 - Análises dilatométricas das formulações A70G30, A70C30, A70G15C15 e A100.



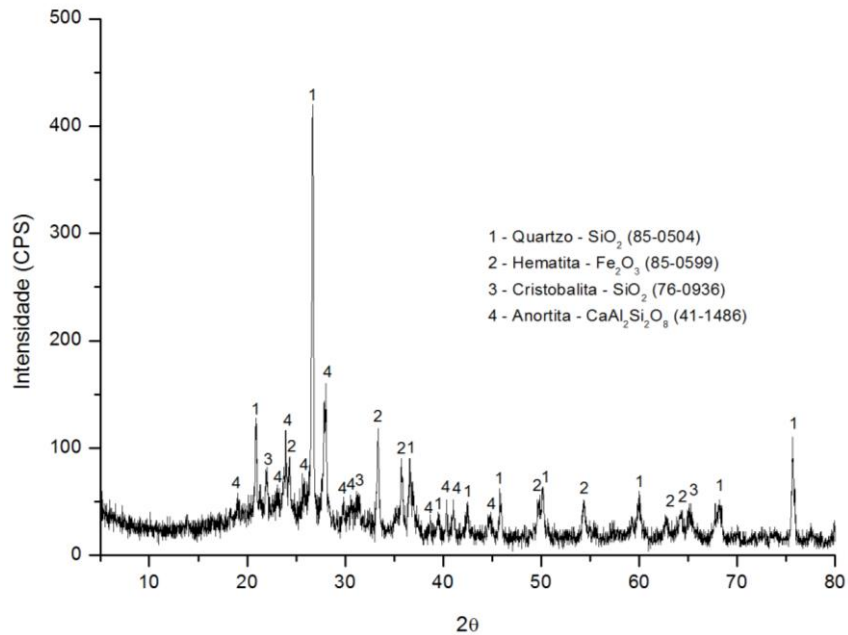
4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS APÓS QUEIMA

4.2.1 Análise mineralógica

A Figura 4.14 apresenta o difratograma da amostra obtida somente com a argila (formulação A100) após a queima a 1100°C. Verificou-se o aparecimento das seguintes fases: quartzo (SiO_2), hematita (Fe_2O_3), cristobalita (SiO_2) e anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$).

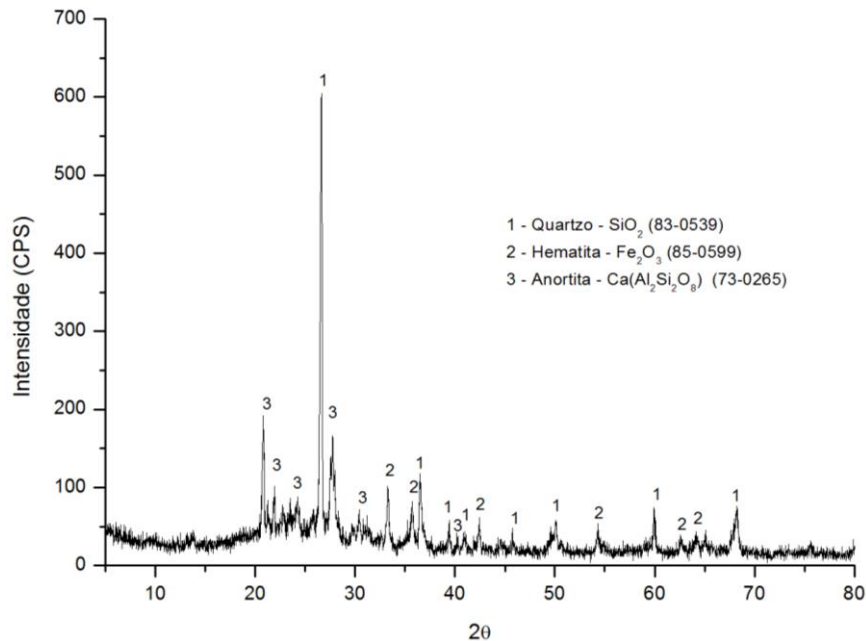
Comparando-se o resultado da difração de raios X da argila antes e após queima em 1100°C (Figuras 4.4 e 4.14), verificou-se o aparecimento de duas novas fases: a hematita, proveniente da fase ilita; e a cristobalita, fase alotrópica do quartzo, que formou-se devido à dissolução do quartzo e posterior recristalização. Moreira et al (2003) afirma que pode-se constatar também a formação da cristobalita, principalmente acima de 1050°C.

Figura 4.14 - Análise mineralógica da formulação A100 queimada a 1100°C.



Na Figura 4.15 é mostrado o difratograma da amostra da formulação A70G30, após a queima a 1100°C, onde aparecem as fases quartzo (SiO_2), hematita (Fe_2O_3) e anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). Baseando-se nos difratogramas após queima em 1100°C das formulações A100 (Figura 4.14) e A70G30 (Figura 4.15), com a adição do resíduo de granito à argila, não houve o surgimento de novas fases.

Figura 4.15 - Análise mineralógica da formulação A70G30 queimada a 1100°C.

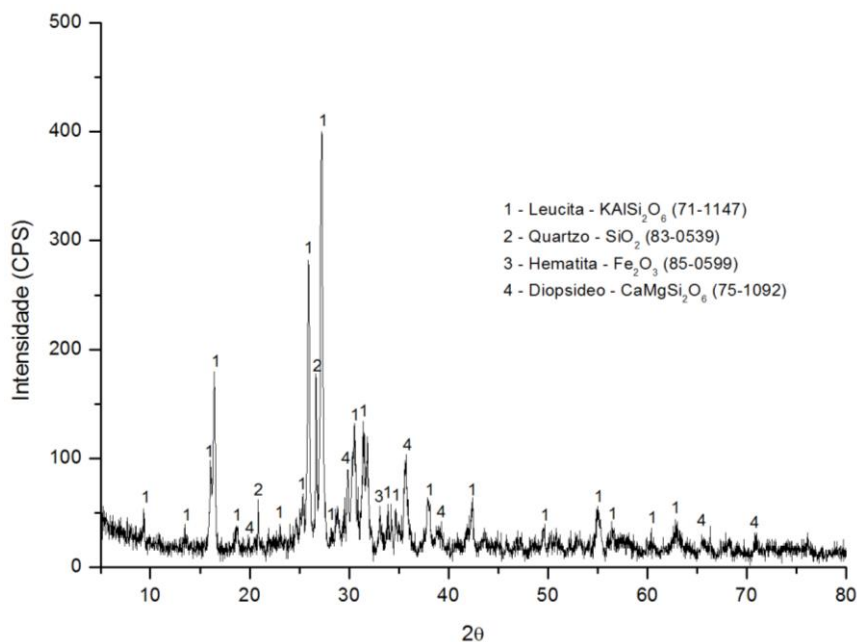


A Figura 4.16 apresenta o difratograma da amostra da formulação A70C30 após queima a 1100°C. Foi observado o aparecimento das seguintes fases: leucita (KAlSi_2O_6),

quartzo (SiO_2), hematita (Fe_2O_3), e diopsídio ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$). Comparando-se o difratograma da formulação A100 (Figura 4.14) com o difratograma da formulação A70C30 (Figura 4.16), ambas queimadas a 1100°C , com a adição da cinza à argila, houve o aparecimento de duas novas fases, a leucita e o diopsídio.

Segundo Souza, Nascimento e Martinelli (2007) a leucita tem o papel principal de aumentar o coeficiente de expansão térmica da cerâmica e também melhorar as propriedades mecânicas do material. Portanto, pode-se relacionar a expansão da formulação A70C30 vista na análise dilatométrica (Figura 4.13) com a formação da fase cristalina leucita apresentada no difratograma de raios X (Figura 4.16).

Figura 4.16 - Análise mineralógica da formulação A70C30 queimada a 1100°C .

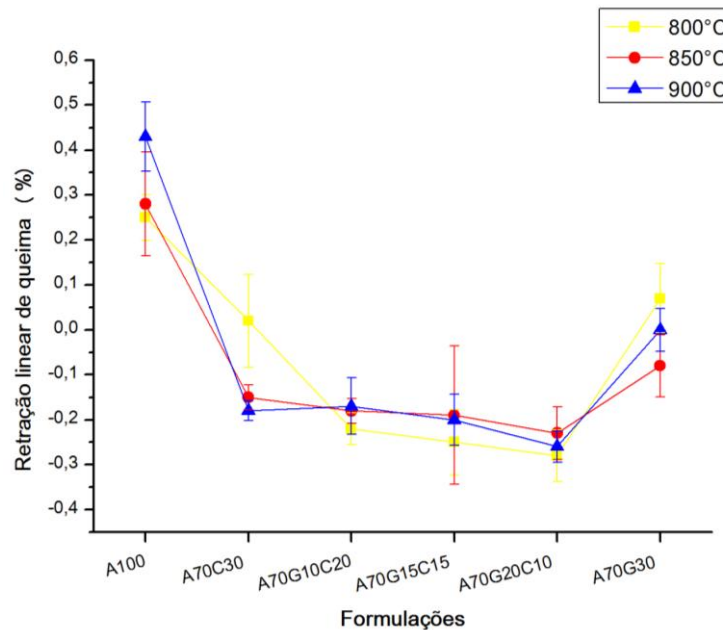


4.2.2 Retração linear de queima (RL_q)

No gráfico da Figura 4.17 é mostrada a curva da retração linear de queima das amostras queimadas em função das formulações e das temperaturas. Pode-se observar, tomando a formulação A100 como referência e as curvas a 800°C e 850°C , que ao adicionar o máximo percentual de cinza à argila (formulação A70C30) a retração linear diminui, bem como acrescentando resíduo de granito e diminuindo o teor de cinza. Porém, quando é adicionado o máximo de resíduo de granito (formulação A70G30) a retração é menor do que a apresentada na formulação A100, no entanto é maior do que nas demais formulações.

A curva em 900°C possui basicamente o mesmo comportamento das curvas a 800°C e 850°C, porém a formulação A70G10C20 ao invés de diminuir a retração, ela tem um pequeno aumento. Observa-se, ainda, que para todas as formulações, exceto a A100, houve expansão linear em no mínimo uma temperatura. A maior retração linear foi alcançada pela formulação A100 com 100% de argila queimada à 900°C, e a maior expansão linear pela A70G15C15 com 15% de resíduo de granito e 15% de cinza adicionada queimada à 850°C.

Figura 4.17 - Retração linear de queima das amostras queimadas à 800°C, 850°C e 900°C.

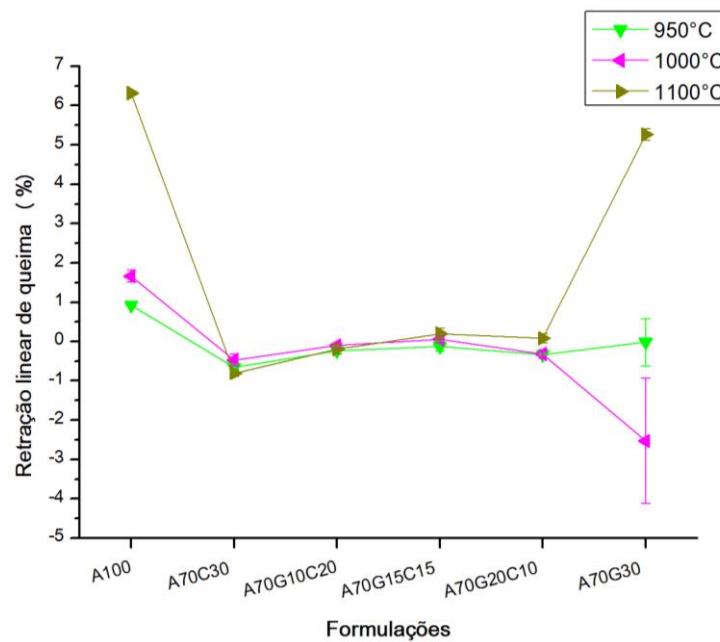


É apresentada a curva da retração linear de queima das amostras queimadas em função das formulações e das temperaturas no gráfico da Figura 4.18. Pode-se observar, tomando a formulação A100 como referência e as curvas a 950°C e 1100°C, que ao adicionar o máximo teor de cinza à argila (formulação A70C30) a retração linear diminui, e ao acrescentar o resíduo de granito e diminuir o teor de cinza a retração começa a aumentar. Porém a formulação A70G20C10 diminui a retração e quando é adicionado o máximo de resíduo de granito (formulação A70G30) a retração é menor do que a apresentada na formulação A100, no entanto é maior do que nas demais formulações.

A curva a 1000°C possui basicamente o mesmo comportamento das curvas a 950°C e 1100°C, porém a formulação A70G30 ao invés de aumentar a retração, ela tem uma pequena diminuição. Observa-se, ainda, que para todas as formulações, exceto em A100, houve expansão linear em no mínimo uma temperatura.

A maior retração linear foi alcançada pela formulação A100 com 100% de argila queimada à 1100°C, e a maior expansão linear pela A70G30 com 30% de resíduo de granito adicionada queimada à 1000°C.

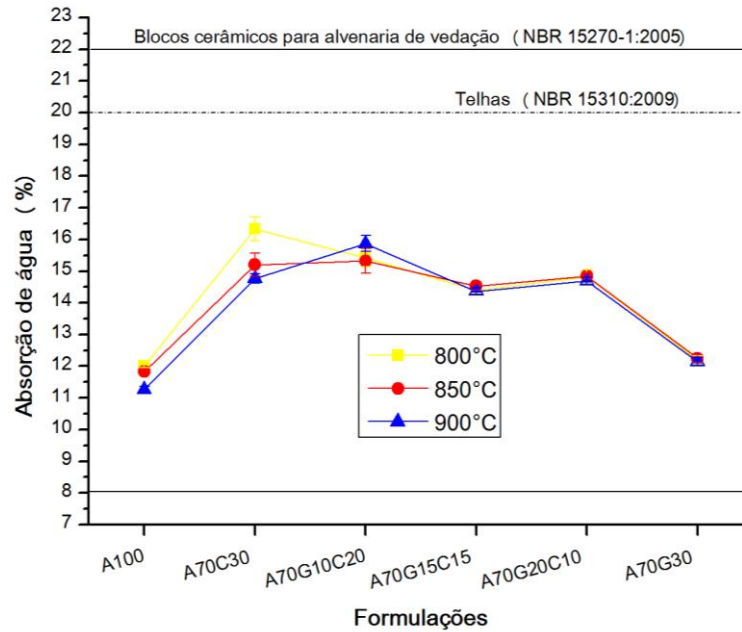
Figura 4.18 - Retração linear de queima das amostras queimadas à 950°C, 1000°C e 1100°C.



4.2.3 Absorção de água (AA)

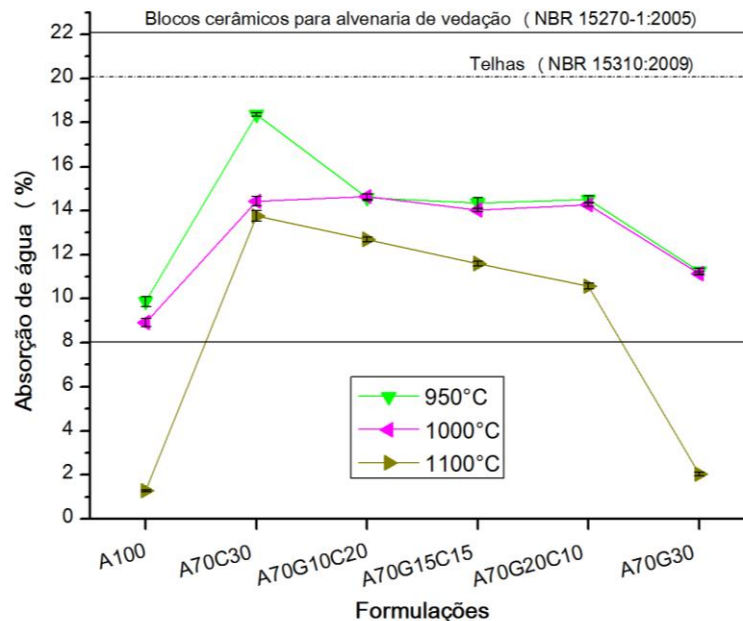
O gráfico apresentado na Figura 4.19 mostra o resultado da absorção de água das amostras queimadas em função das formulações e das temperaturas. Em todas as formulações estudadas, os valores ficaram na faixa de 11,26% a 16,33% e, portanto, ficando dentro dos limites sugeridos pelas normas NBR 15310 para a produção de telhas ($\leq 20\%$) e NBR 15270-1 para a produção de blocos cerâmicos para alvenaria de vedação ($\geq 8\%$ e $\leq 22\%$).

Figura 4.19 - Absorção de água das amostras queimadas à 800°C, 850°C e 900°C.



É mostrado o resultado da absorção de água das amostras queimadas em função das formulações e das temperaturas no gráfico da Figura 4.20. Verifica-se que em todas as formulações os valores de absorção de água ficaram na faixa de 1,28% e 18,36%, ficando dentro dos limites sugeridos pela norma NBR 15310 ($\leq 20\%$); e com a exceção das formulações A100 e A70G30 queimadas a 1100°C, as demais formulações atenderam aos limites exigidos pela norma NBR 15270-1 ($\geq 8\%$ e $\leq 22\%$).

Figura 4.20 - Absorção de água das amostras queimadas à 950°C, 1000°C e 1100°C.



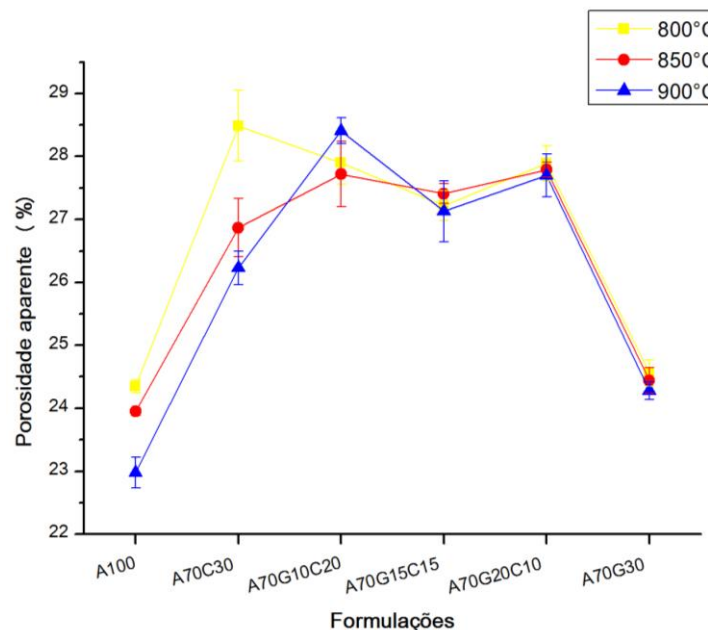
4.2.4 Porosidade aparente (PA)

A absorção de água fornece uma medida da porosidade: quanto mais baixa a absorção de água menor é a porosidade e, portanto, maior é a compactação. Sendo este um dado fundamental, uma vez que a porosidade influencia de modo marcante as características técnicas das placas cerâmicas (BIFFI, 2002 apud DULTRA, 2010).

Assim, os resultados da porosidade aparente das amostras queimadas apresentaram analogia em relação aos resultados da absorção de água (Figuras 4.19 e 4.20). Nos gráficos mostrados nas Figuras 4.21 e 4.22 percebe-se essa analogia, pois as mesmas formulações que apresentaram baixa absorção de água também apresentaram baixa porosidade aparente.

O gráfico apresentado na Figura 4.21 mostra o resultado da porosidade aparente das amostras queimadas em função das formulações e das temperaturas. Para todas as formulações os valores de porosidade aparente ficaram na faixa de 22,98% a 28,49%, onde a formulação A100 queimada à 900°C apresentou a menor porosidade e A70C30 queimada a 800°C a maior porosidade, semelhante ao ocorrido com a absorção de água (Figura 4.19).

Figura 4.21 - Porosidade aparente das amostras queimadas à 800°C, 850°C e 900°C.



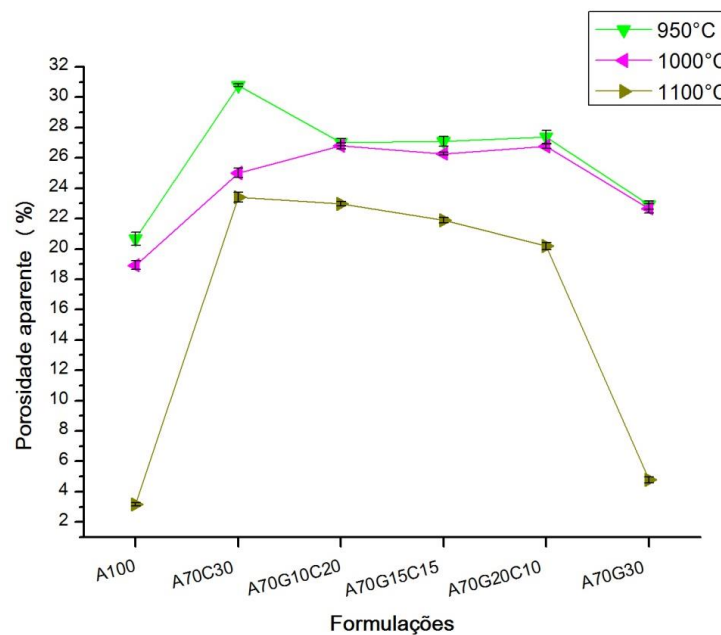
É mostrado o resultado da porosidade aparente das amostras queimadas em função das formulações e das temperaturas no gráfico da Figura 4.22. Verifica-se que para todas as formulações os valores de porosidade aparente ficaram na faixa de 3,16% a 30,70%, onde a

formulação A100 queimada à 1100°C apresentou a menor porosidade e a A70C30 queimada à 950°C a maior porosidade, semelhante ao ocorrido com a absorção de água (Figura 4.20).

Observando os gráficos das Figuras 4.19 e 4.20 verifica-se, para a formulação A70C30, um aumento da absorção de água e conseqüentemente da porosidade aparente (Figuras 4.21 e 4.22), na temperatura de 950°C em relação à temperatura de 900°C. Esse aumento é devido à decomposição do carbonato de potássio, que pode ser vista nos resultados da TG (Figura 4.9) e DTA (Figura 4.12), que está relacionada também à alta perda ao fogo da cinza (20,21% - Tabela 4.1).

Com o aumento da temperatura, se tem dois efeitos simultâneos, perda ao fogo e sinterização. Durante o processo de sinterização ocorre a densificação do material acarretando uma diminuição dos valores da absorção de água e porosidade aparente. Esse comportamento da formulação A70C30 pode ser visto na análise dilatométrica (Figura 4.13).

Figura 4.22 - Porosidade aparente das amostras queimadas à 950°C, 1000°C e 1100°C.



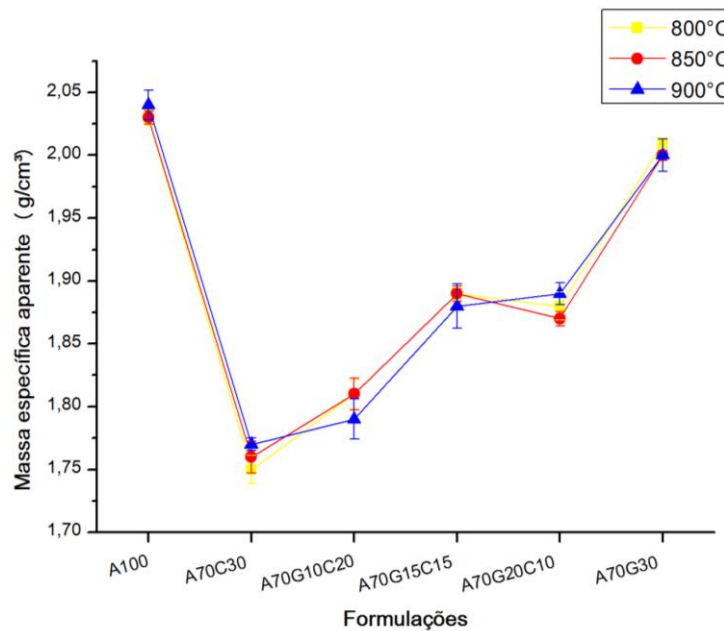
4.2.5 Massa específica aparente (MEA)

O gráfico apresentado na Figura 4.23 mostra uma variação da massa específica aparente em função das formulações e das temperaturas, variando entre 1,75 g/cm³ e 2,04 g/cm³. Observando o comportamento das curvas a 800°C e 850°C e tomando a formulação

A100 como referência, verifica-se que ao adicionar o máximo percentual de cinza à argila (formulação A70C30) a massa específica aparente diminui. Ao acrescentar o resíduo de granito e diminuir o teor de cinza a massa específica aparente aumenta, porém atingindo a formulação A70G20C10 a massa específica aparente diminui novamente. Quando é adicionado o máximo de resíduo de granito (formulação A70G30) a massa específica aparente é menor do que a apresentada na formulação A100, no entanto é maior do que nas demais formulações.

A curva a 900°C possui basicamente o mesmo comportamento das curvas a 800°C e 850°C, porém na formulação A70G20C10 a massa específica aparente ao invés de diminuir, apresenta um pequeno aumento em relação à formulação A70G15C15.

Figura 4.23 - Massa específica aparente das amostras queimadas à 800°C, 850°C e 900°C.

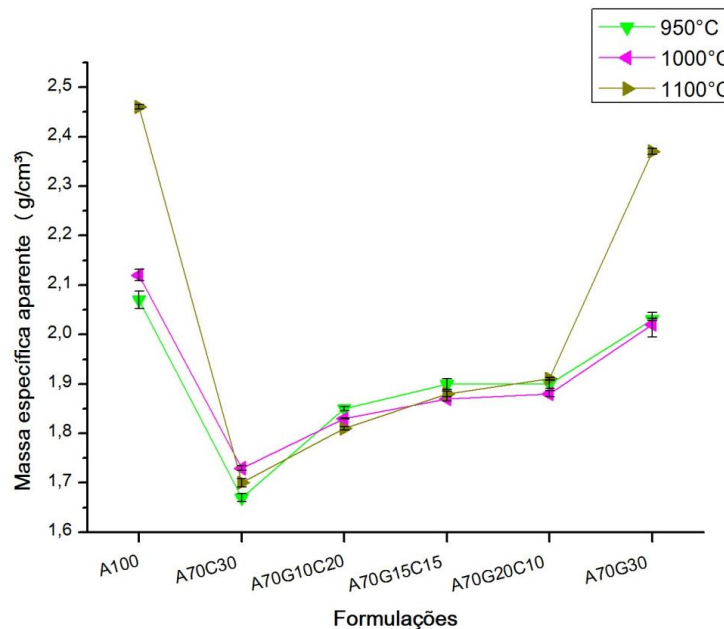


O gráfico apresentado na Figura 4.24 mostra uma variação da massa específica aparente em função das formulações e das temperaturas, variando entre 1,67 g/cm³ e 2,46 g/cm³. Observando o comportamento das curvas a 1000°C e 1100°C e tomando a formulação A100 como referência, verifica-se que ao adicionar o máximo percentual de cinza à argila (formulação A70C30) a massa específica aparente diminui, e acrescentando o resíduo de granito e diminuindo o teor de cinza ocorre o aumento da massa específica aparente até adicionar o máximo de resíduo de granito (formulação A70G30).

A massa específica aparente da formulação A70G30 é menor do que a apresentada na formulação A100, porém é maior do que nas demais formulações.

A curva a 950°C possui basicamente o mesmo comportamento das curvas a 1000°C e 1100°C, porém na formulação A70G20C10 a massa específica aparente ao invés de aumentar, manteve-se igual à formulação A70G15C15.

Figura 4.24 - Massa específica aparente das amostras queimadas à 950°C, 1000°C e 1100°C.



4.2.6 Tensão de ruptura à flexão (TRF)

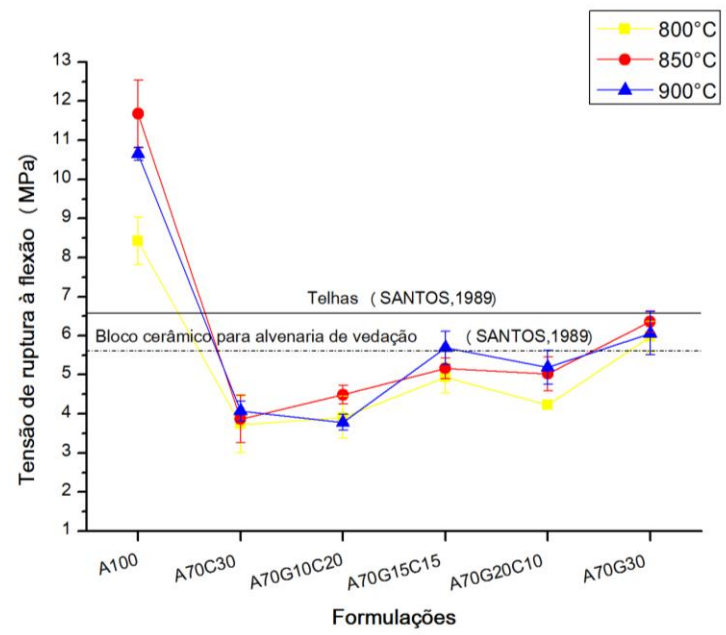
O gráfico apresentado na Figura 4.25 mostra o resultado da tensão de ruptura à flexão das amostras queimadas em função das formulações e das temperaturas. Em todas as formulações estudadas, os valores ficaram na faixa de 3,73 MPa a 11,67 MPa. As formulações A100 queimadas em todas as temperaturas; A70G15C15 queimada a 900°C; A70G20C10 queimada a 900°C; e A70G30 queimada em todas as temperaturas, se enquadraram para a produção de bloco cerâmico para alvenaria de vedação conforme o limite mínimo (55 kgf/cm² ou 5,61 MPa) sugerido por Santos (1989). As formulações A100 queimadas em todas as temperaturas e a A70G30 queimada a 900°C atenderam ao limite mínimo (65 kgf/cm² ou 6,63 MPa) sugerido por Santos (1989) para a produção de telhas.

Observando o comportamento das curvas a 800°C e 850°C (Figura 4.25) e tomando a formulação A100 como referência, verifica-se que ao adicionar o máximo percentual de cinza à argila (formulação A70C30) a tensão de ruptura à flexão diminui, e acrescentando o resíduo de granito e diminuindo o teor de cinza ocorre o aumento da tensão de ruptura à flexão, porém alcançando a formulação A70G20C10 a tensão de ruptura à flexão diminui novamente.

Quando é adicionado o máximo de resíduo de granito (formulação A70G30) a tensão de ruptura à flexão é menor do que a apresentada na formulação A100, porém é maior do que nas demais formulações.

A curva a 900°C possui basicamente o mesmo comportamento das curvas a 800°C e 850°C, porém na formulação A70G10C20 a tensão de ruptura à flexão ao invés de aumentar, tem uma pequena diminuição em relação à formulação A70C30.

Figura 4.25 - Tensão de ruptura à flexão das amostras queimadas à 800°C, 850°C e 900°C.



É mostrado o resultado da tensão de ruptura à flexão das amostras queimadas em função das formulações e das temperaturas no gráfico da Figura 4.26. Em todas as formulações estudadas, os valores ficaram na faixa de 3,88 MPa a 22,63 MPa. As formulações atenderam o limite mínimo (55 kgf/cm² ou 5,61 MPa), sugerido por Santos (1989), para a produção de bloco cerâmico para alvenaria de vedação, com exceção das seguintes formulações: A70C30 queimada a 950°C, A70G10C20 queimada a 950°C e 1000°C, A70G15C15 queimada a 950°C e A70G20C10 queimada a 950°C e 1000°C.

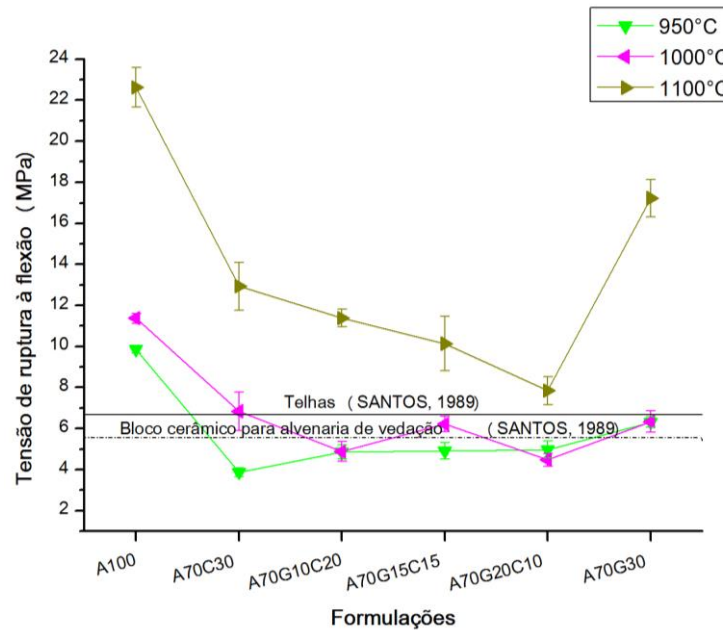
As formulações, A100 queimada em todas as temperaturas; A70C30 queimada a 1000°C e 1100°C; AG10C20 queimada a 1100°C; A70G15C15 queimada a 1100°C; A70G20C10 queimada a 1100°C; e A70G30 queimada a 1000°C e 1100°C se enquadraram para a produção de telhas conforme o limite mínimo (65 kgf/cm² ou 6,63 MPa) sugerido por Santos (1989).

Observando o comportamento da curva a 950°C (Figura 4.26) e tomando a formulação A100 como referência, verifica-se que ao adicionar o máximo percentual de cinza à argila (formulação A70C30) a tensão de ruptura à flexão diminui, e acrescentando o resíduo de granito e diminuindo o teor de cinza a tensão de ruptura à flexão aumenta até adicionar o máximo de resíduo de granito (formulação A70G30). A tensão de ruptura à flexão da formulação A70G30 é menor do que a apresentada na formulação A100, porém é maior do que nas demais formulações.

O comportamento da curva a 1000°C (Figura 4.26), tomando a formulação A100 como referência, mostra que ao adicionar o máximo percentual de cinza à argila (formulação A70C30) a tensão de ruptura à flexão diminui, bem como acrescentando resíduo de granito e diminuindo o teor de cinza. Ao atingir a formulação A70G15C15 a tensão de ruptura à flexão aumenta em relação à formulação A70G10C20, porém a tensão de ruptura à flexão da formulação A70G20C10 diminui quando comparada a formulação A70G15C15. Quando é adicionado o máximo de resíduo de granito (formulação A70G30) a tensão de ruptura à flexão diminui, sendo menor do que a apresentada na formulação A100, porém maior do que nas demais formulações.

Observando o comportamento da curva a 1100°C (Figura 4.26) e tomando a formulação A100 como referência, verifica-se que ao adicionar o máximo percentual de cinza à argila (formulação A70C30) a tensão de ruptura à flexão diminui, bem como acrescentando resíduo de granito e diminuindo o teor de cinza. Porém quando é adicionado o máximo teor de resíduo de granito (formulação A70G30) a tensão de ruptura aumenta, sendo menor do que a apresentada na formulação A100, no entanto maior do que nas demais formulações.

Figura 4.26 - Tensão de ruptura à flexão das amostras queimadas à 950°C, 1000°C e 1100°C.



4.2.7 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As Figuras 4.27, 4.28 e 4.29 mostram a microscopia eletrônica de varredura (MEV) da superfície de fratura das amostras das formulações A100, A70C30 e A70G30, respectivamente, após a queima a 1100°C.

Observando as Figuras 4.27 e 4.29 é possível verificar que as formulações A100 e A70G30, respectivamente, apresentam uma estrutura mais densa, ao contrário do que mostra a Figura 4.28, onde é vista uma estrutura esponjosa da formulação A70C30.

As imagens confirmam os resultados de: absorção de água (Figura 4.20) e porosidade aparente (Figura 4.22) onde, pela ordem crescente, a formulação A100 obteve o menor valor, seguida da formulação A70G30 e A70C30, respectivamente; massa específica aparente (Figura 4.24) e tensão de ruptura à flexão (Figura 4.26) no qual, pela ordem decrescente, a formulação A100 obteve o maior valor, seguida da formulação A70G30 e A70C30, respectivamente.

Figura 4.27 - Micrografia da formulação A100 com aumento de 450 x.

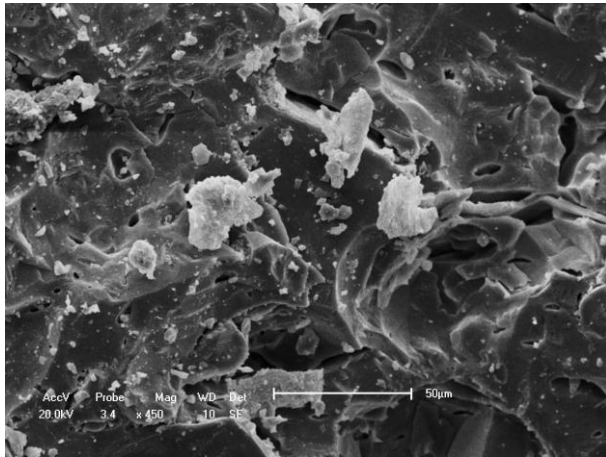


Figura 4.28 - Micrografia da formulação A70C30 com aumento de 450x.

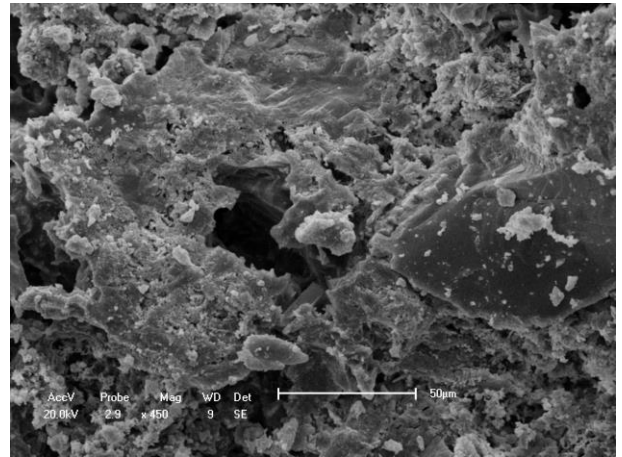
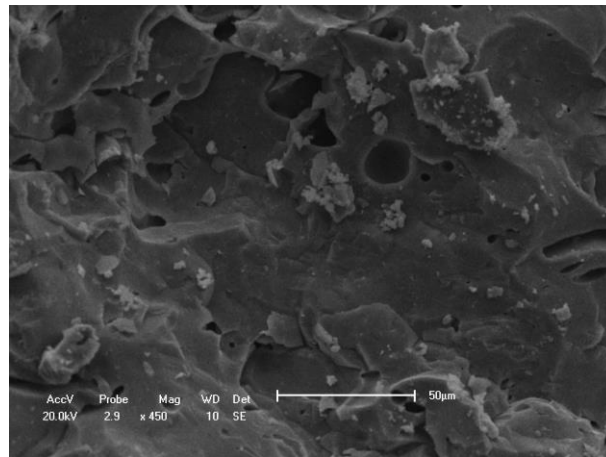


Figura 4.29 - Micrografia da formulação A70G30 com aumento de 450x.



CAPÍTULO 5
CONCLUSÕES

5 CONCLUSÕES

- A análise química por fluorescência de raios X (FRX) da argila e do resíduo de granito mostrou que os seus principais constituintes são SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e K_2O .
- O resultado da FRX da cinza apresentou K_2O e CaO como principais constituintes, sendo eles também os principais responsáveis pelo efeito fundente que a cinza teve nas formulações.
- O difratograma de raios X (DRX) da argila mostrou a presença de quartzo, ilita e anortita (feldspato plagioclásio). De acordo com a FRX e o DRX da argila podemos observar que o SiO_2 é proveniente do quartzo, ilita e anortita enquanto o Al_2O_3 é proveniente da ilita e anortita.
- O DRX do resíduo de granito indicou a presença das fases quartzo, ortoclásio (feldspato potássico), biotita (mica) e anortita.
- O DRX da cinza apresentou a presença de silicato de cálcio e carbonato de potássio.
- A análise termogravimétrica (TG) da argila indicou perdas de massa que corresponderam à perda da água adsorvida, combustão da matéria orgânica (também visto na DTA) e perda de água de hidroxilas, totalizando em 12,24% de perda.
- A TG do resíduo de granito apresentou 1,69% de perda de massa, correspondente a volatilização da matéria orgânica, perda de água de hidroxilas e decomposição do carbonato de cálcio. A DTA apresentou picos exotérmicos correspondentes à decomposição do carbonato de cálcio e a formação de fases cristalinas.
- A TG e a DTA da cinza mostraram, respectivamente, perdas de massas (total de 22,88%) e picos, correspondentes à perda da água líquida, combustão da matéria orgânica e decomposição do carbonato de potássio. A decomposição do carbonato de potássio, forma óxido de potássio e dióxido de carbono, onde este último ao se decompor libera gases formando poros no interior nas amostras.
- A análise dilatométrica mostrou que a formulação A70C30 se expande com o aumento da temperatura diferentemente das demais formulações analisadas, onde as formulações A70G30 e A100 começam a contrair em temperaturas próximas a 1000°C . Essa expansão está diretamente ligada à formação de leucita (observada no DRX da formulação A70C30 e que possui um elevado coeficiente de expansão térmica) e a alta perda ao fogo da cinza.

- A utilização da cinza da casca do café e do resíduo de granito em massas cerâmicas permite um desenvolvimento sustentável, bem como uma melhor preservação do meio ambiente.
- As amostras queimadas em 1100°C alcançaram melhores propriedades técnicas, tais como absorção de água, porosidade aparente e tensão de ruptura à flexão.
- Todas as formulações queimadas em 1100°C atenderam os limites mínimos de tensão de ruptura à flexão indicados para telhas e blocos cerâmicos, sugerido por Santos (1989).
- A incorporação do resíduo de granito e da cinza mostrou ser possível produzir telhas, atendendo os limites mínimos, de absorção de água e tensão de ruptura à flexão, sugeridos, respectivamente, pela norma NBR 15310 e por Santos (1989).
- As formulações AG10C20, A70G15C15 e A70G20C10 queimadas em 1100°C; A70C30 queimada em 1000°C e 1100°C; e A70G30 queimada em 900°C, 1000°C e 1100°C atenderam ambos os limites citados acima.
- As formulações, A70G10C20 (1100°C); A70C30 (1000°C e 1100°C); A70G15C15 (900°C, 1000°C e 1100°C); A70G20C10 (900°C e 1100°C) e A70G30 (800°C, 850°C, 900°C, 950°C e 1000°C) apresentaram limites mínimos (de tensão de ruptura à flexão e absorção de água) conforme exigido na norma NBR 15270-1 e apontado por Santos (1989), mostraram-se adequadas na produção de bloco cerâmico para alvenaria de vedação.

CAPÍTULO 6
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Utilizar a mesma metodologia deste trabalho para novas formulações contendo a cinza, o resíduo de granito e a argila.
- Estudar a incorporação de resíduo de granito em conjunto com cinza à argila branca para a produção de cerâmica branca usando temperaturas superiores de sinterização.
- Estudar temperaturas de queima, entre 1000°C e 1100°C, com intuito de verificar a temperatura ideal para as propriedades analisadas.
- Utilizar patamares de queima (isotermas) diferenciados.

REFERÊNCIAS

- ABIROCHAS. Balanço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento no período janeiro a setembro de 2013. Informe 15/2013. São Paulo, 2013.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6502: Rochas e solos – Terminologia. Rio de Janeiro, 1995.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15270-1: Componentes cerâmicos – Parte 1 – Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15310: Componentes cerâmicos – Telhas – Terminologia, requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15845: Rochas para revestimento – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2010.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 18: Cimento portland – análise química – determinação de perda ao fogo. Rio de Janeiro, 2012.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 5014: Produtos refratários conformados densos e isolantes – Determinação do módulo de ruptura à temperatura ambiente. Rio de Janeiro, 2012.
- Anuário Estatístico: Setor de Transformação de Não Metálicos / Secretária de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. – 2006 – Brasília: SGM 2010.
- Anuário Estatístico: Setor de Transformação de Não Metálicos / Secretária de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. – 2006 – Brasília: SGM 2011.
- ARAÚJO, Franciulli da Silva Dantas de. Influência do lodo de ETE na massa para fabricação de cerâmica vermelha. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2008.
- Associação Brasileira de Cerâmica (Documento eletrônico). Acesso em Junho de 2013. <http://www.abceram.org.br/site/index.php?area=4&submenu=46>
- CABRAL, Daniel Henrique Pires. Uso de rejeitos do granito rain forest para a produção de revestimentos cerâmicos com baixa absorção de água. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Ceará, 2009.
- CABRAL JUNIOR, M.; MOTTA, J. F. M.; ALMEIDA, A. S.; TANNO, L. C. Argilas para cerâmica vermelha. Rochas e minerais industriais: Usos e especificações. Editores: Adão Benvindo Luz e Fernando Antonio Freitas Lins. Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 2005.
- CARREIRO, R. S.; ALMEIDA, L. L. P. Geração de novos produtos cerâmicos com a incorporação de resíduo de lama de alto forno. Revista da ANICER, edição 72, ano XIV, 2011.

CASTRO, N.F.; MARCON, D. B.; CATTABRIGA, L.; LIMA, E. F.; ALMEIDA, P. F. Impacto de APL de rochas ornamentais do Espírito Santo nas comunidades. Recursos Minerais e Sustentabilidade Territorial. 1ed. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2011, v. 2, p. 139-176.

DANA, J. D. Manual de mineralogia. 3ª edição. Vol. 2. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 1971.

DANTAS, A. P. A.; ACCHAR, W.; LEITE, J. Y. P.; ARAÚJO, F. S. D. Utilização de resíduos de rochas ornamentais na produção de cerâmica branca. Revista Holos, ano 26, Vol. 1, 2010.

DULTRA, Eduardo Jorge Vidal. Incorporação de cinzas da casca de café na produção de placas cerâmicas para revestimento. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2010.

Informe Setorial Cerâmica Vermelha. Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste (ETENE), Banco do Nordeste. Outubro, 2010.

INOCENTE, J. M.; NANDI, V. S. Estudo da viabilização de resíduo vítreo na formulação de massa de cerâmica vermelha. Revista da ANICER, edição 84, ano XVI. 2013

JUNKES, Janaína Accordi. Formulação de produtos cerâmicos a partir de resíduos minerais usando o diagrama de fases do sistema $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O}$. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2011.

Legislação – Presidência da República: Casa Civil – Subchefia para Assuntos Jurídicos (Documento eletrônico). Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Acesso em Junho de 2013. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm

LIMA, Sofia Araújo. Análise da viabilidade do uso de cinzas agroindustriais em matrizes cimentícias: estudo de caso da cinza da casca da castanha de caju. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008.

LUCENA, Murílio de Medeiros. Efeito da introdução de resíduo de cinza de forno cerâmico em massa para cerâmica estrutural. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2007.

MEDEIROS, E. N. M.; SPOSTO, R. M.; NEVES, G. A.; MENEZES, R.R. Incorporação de cinza de lenha, lodo de estação de tratamento de água e cinza de casca de arroz em massa cerâmica – Utilização da técnica de planejamento. Cerâmica 56, 2010.

MELLO, Roberta Monteiro. Utilização do resíduo proveniente do acabamento e manufatura de mármore e granitos como matéria-prima em cerâmica vermelha. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo-SP, 2006.

Ministério da Agricultura (Documento eletrônico). Acesso em Junho de 2013. <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cafe/saiba-mais>

MOREIRA, J. M. S.; FREIRE, M. N.; HOLANDA, J. N. F. Utilização de resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha. *Cerâmica* 49, 2003.

MOREIRA, J. M. S.; MANHÃES, J. P. V. T.; HOLANDA, J. N. F. Processing of red ceramic using ornamental rock powder waste. *Journal of materials processing technology*, 2008.

MOTTA, J. F. M.; ZANARDO, A.; CABRAL JUNIOR, M. As matérias primas cerâmicas. Parte I: O perfil das Principais Indústrias Cerâmicas e seus Produtos. *Cerâmica Industrial*, 6 (2), Março/Abril, 2001.

PARANHOS, Raimundo Jorge Santos. Aproveitamento de resíduos de cinza da cana de açúcar em massas cerâmicas. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2010.

REIS, A. S.; ALVAREZ, C. E. A sustentabilidade e o resíduo gerado no beneficiamento das rochas ornamentais. IV Encontro Nacional e II Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades sustentáveis, 2007.

SANTOS, P. S. Ciência e tecnologia de argilas. 2ª edição. Vol 1. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 1989.

SANTOS, A.; PIMENTEL, L. L. Viabilidade de aproveitamento de resíduo graúdo (cacos) de empresa beneficiadora de rochas ornamentais. XVIII Encontro de Iniciação Científica e III Encontro de Iniciação e Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. PUC Campinas, 2012.

SEBRAE/RN (Documento eletrônico). Acesso em Novembro de 2013. <http://portal.rn.sebrae.com.br/pagina.php?id=156>

SEGADÃES, A.M.; CARVALHO, M. A.; ACCHAR, W. Using marble and granite rejects to enhance the processing of clay products. *Applied Clay Science*, v. 30, 42-52, 2005.

VALE, A. T.; GENTIL, L. V.; GONÇALEZ, J. C.; COSTA, A. F. Caracterização energética e rendimento da carbonização de resíduos de grãos de café (*Coffea arábica*, L) e de madeira (*Cedrelinga catenaeformis*), DUKE. *Cerne*, Lavras, v. 13, n. 4, p. 416-420, out/dez, 2007.

VEGRO, C. L. R.; CARVALHO, F. C. C. Disponibilidade e utilização de resíduos gerados no processamento agroindustrial do café. XXXI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural – SOBER, Ilhéus-Ba, 1993.

VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S. N.; DUALIBI FILHO, J. Formulação de massa de revestimento cerâmico com argilas plásticas de Campos dos Goytacazes (RJ) e Taguá (SP). *Revista Cerâmica Industrial*, n. 6 (Novembro/Dezembro): p-43-49. 2001.