



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE MARABÁ
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

LÉO CRISTIANO DA COSTA SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE CERÂMICA VERMELHA COM INCORPORAÇÃO
DE CINZAS DE CARVÃO E FILITO**

MARABÁ
2013

LÉO CRISTIANO DA COSTA SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE CERÂMICA VERMELHA COM INCORPORAÇÃO
DE CINZAS DE CARVÃO E FILITO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais. Orientador: Prof. Dr. Elias Fagury Neto.

Marabá
2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Universitária Josineide da Silva Tavares, Marabá-PA)

Santos, Leo Cristiano da Costa.

Desenvolvimento de cerâmica vermelha com incorporação de cinzas de carvão de olarias e filito / Leo Cristiano da Costa Santos ; orientador, Elias Fagury Neto. – 2013.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)
Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia de
Materiais, 2013.

1. Cerâmica - Indústria. I. Título.

CDD. 22 :628.4458

LÉO CRISTIANO DA COSTA SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE CERÂMICA VERMELHA COM INCORPORAÇÃO
DE CINZAS DE CARVÃO E FILITO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais. Orientador: Prof. Dr. Elias Fagury Neto.

Data de aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

Bancada Examinadora:

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

Prof. Dr. Edemarino Araújo Hildebrando - Membro
Faculdade de Engenharia de Materiais - UFPA

Prof. Esp. Márcio Paulo de Araújo Mafra – Membro
Faculdade de Engenharia de Materiais - UFPA

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus e a minha família!

AGRADECIMENTOS

À Deus, por todas as oportunidades!

À minha família, em especial a minha mãe e a minha avó, pelo enorme incentivo, apoio e carinho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Elias Fagury Neto, pelo incentivo, atenção e paciência.

Ao Prof. Esp. Márcio Paulo de Araújo Mafra, pela ajuda, amizade e por participar da banca.

Ao Prof. Dr. Edemarino Araújo Hildebrando, pela atenção e por fazer parte da banca.

À todos que me ajudaram direta ou indiretamente!

RESUMO

O presente trabalho investigou os efeitos da incorporação de filito e de cinza de carvão como matéria-prima para a obtenção de uma cerâmica vermelha. O resíduo industrial utilizado foi a cinza de fornos das olarias da região. A argila utilizada como matriz cerâmica foi cedida pela cerâmica oliveira, já o filito foi extraído das localidades vizinhas de Marabá. A cinza, o filito e a argila utilizados neste estudo foram caracterizados quanto a sua composição química e mineralógica. Foram elaboradas amostras com teores de 5, 15 e 25% de cinza, 35, 40 e 45% de filito e 40, 45 e 50% de argila para a obtenção de corpos de prova, os quais foram submetidos a temperaturas de queima de 1050 °C, 1100 °C e 1150 °C com uma taxa de aquecimento de 10 °C/min e patamar de queima de 2 horas. Após a etapa de queima os corpos cerâmicos foram caracterizados quanto ao seu desempenho tecnológico, tendo sido avaliadas suas propriedades físicas (retração linear, absorção de água, densidade aparente e porosidade aparente) e mecânicas (resistência à flexão em três pontos). Do ponto de vista tecnológico, as amostras elaboradas comportaram-se tipicamente como materiais cerâmicos tradicionais, sendo que com a elevação da temperatura de queima, até certo ponto, ocorreu uma redução da absorção de água e da porosidade aparente e os valores da densidade aparente ficaram dentro dos permitidos; houve também um aumento da retração linear e a resistência à flexão obteve bons resultados. De acordo com os resultados atingidos nesse trabalho, a experiência de agregar cinza e filito em material cerâmico mostrou-se viável do ponto de vista tecnológico.

PALAVRAS-CHAVE: Cerâmica vermelha, cinza, filito, argila, propriedades tecnológicas.

ABSTRACT

This study investigated the effects of incorporation of phyllite and coal ash as a raw material for the production of a red ceramic. The waste used was fly ash produced at the ceramic industries of the region. The clay and the phyllite used as ceramic matrix was extracted from the neighboring of Marabá – PA - Brazil. The raw materials were characterized by their chemical and mineralogical composition. Samples were prepared with amounts of 5, 15 and 25% fly ash, 35, 40 and 45% phyllite and 40, 45 and 50% clay, to obtain specimens. The specimens were sintered at the temperatures of 1050 °C, 1100 °C and 1150 °C with heating rate of 10 °C / min with 2 hours of soaking time. After the step of firing, the ceramic samples were characterized according to their technological performance, which evaluated their physical (linear shrinkage, water absorption, bulk density and porosity) and mechanical properties (three point bending strength). From the technological point of view the samples of all formulations behaved like typical traditional ceramic materials, and as the sintering temperature was increased, to a certain extent, a reduction in water absorption, apparent porosity and an increase of bulk density were observed, as well as an increase in linear shrinkage and bending strength were achieved. According to the results obtained in this work, the addition of fly ash, in association to phyllite and clay to produce ceramics was feasible from a technological standpoint.

KEYWORDS: Red ceramics, fly ash, phyllite, clay, technological properties.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Principais setores cerâmicos, matérias-primas e processo de fabricação.....	18
Figura 2 - Processo de Fabricação da Cerâmica Vermelha.....	24
Figura 3 - Fluxograma da metodologia experimental.....	28
Figura 4 - Esquema de ensaio de flexão em três pontos.....	34
Figura 5 - Difratoograma de raios-X da argila.....	36
Figura 6 - Difratoograma de raios-X do filito.....	36
Figura 7 - Curvas termodiferencial/termogravimétricas (ATD/TG) da argila.....	38
Figura 8 - Curvas termodiferencial/termogravimétricas (ATD/TG) do filito.....	39
Figura 9 - Curvas termodiferencial/termogravimétricas (ATD/TG) da cinza.....	40
Figura 10 - Absorção de água em função da temperatura de sinterização.....	41
Figura 11 - Densidade aparente em função temperatura de sinterização.....	43
Figura 12 - Porosidade aparente em função da temperatura de sinterização.....	44
Figura 13 - Retração linear de queima em função da temperatura de sinterização.....	45
Figura 14 - Módulo de ruptura à flexão.....	46
Figura 15 - Diagrama de gresificação da formulação 1.....	47
Figura 16 - Diagrama de gresificação da formulação 2.....	48
Figura 17 - Diagrama de gresificação da formulação 3.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Formulações propostas neste trabalho	29
Tabela 2 - Composições químicas das matérias primas utilizadas	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. Objetivos Gerais.....	16
1.2. Objetivos Específicos.....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1. Materiais Cerâmicos.....	17
2.2. Matérias-primas para cerâmica estrutural.....	19
2.2.1. Argila.....	19
2.2.1.1. Propriedades das Argilas	19
2.2.1.1.1. Granulometria.....	19
2.2.1.1.2. Troca de íons.....	20
2.2.1.1.3. Viscosidade.....	20
2.2.1.1.4. Plasticidade.....	20
2.2.2. Filito.....	21
2.2.3. Cinza.....	22
2.3. Processamento cerâmico.....	23
2.3.1. Matéria-Prima – Argila.....	25
2.3.2. Britagem.....	25
2.3.3. Moagem.....	25
2.3.4. Dosagem e alimentação.....	25
2.3.5. Desintegrador.....	25
2.3.6. Misturador.....	25
2.3.7. Laminador.....	26
2.3.8. Extrusora ou Maromba.....	26
2.3.9. Corte e acabamento.....	26
2.3.10. Secagem.....	26
2.3.11. Queima ou Sinterização.....	27

2.3.12. Inspeção e Armazenamento.....	27
2.3.13. Expedição.....	27
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
3.1. Matérias-primas.....	28
3.1.1. Argila.....	28
3.1.2. Cinza.....	29
3.1.3. Filito.....	29
3.2. Formulações das matérias – primas.....	29
3.3. Caracterização das matérias-primas.....	30
3.3.1. Difratomia de raios-X (DRX).....	30
3.3.2. Espectroscopia de fluorescência de raios-X (FRX).....	30
3.3.3. Análise térmica diferencial/termogravimétrica (ATD/TG).....	31
3.4. Caracterização das Amostras.....	31
3.4.1. Absorção de Água (NBR 13818/1997).....	31
3.4.2. Densidade Aparente (ISO 10545).....	32
3.4.3. Porosidade Aparente (ISO 10545).....	33
3.4.4. Retração Linear de queima.....	33
3.4.5. Módulo de ruptura a Flexão (MRF).....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1. Caracterização das matérias-primas.....	35
4.2. Difratomia de raios-X (DRX).....	35
4.3. Espectroscopia de fluorescência de raios-X (FRX).....	37
4.4. Análise térmica diferencial/termogravimétrica (ATD/TG).....	38
4.5. Caracterização tecnológica das Amostras.....	40
4.5.1. Absorção de Água.....	41
4.5.2. Densidade Aparente.....	42
4.5.3. Porosidade Aparente.....	43
4.5.4. Retração Linear de queima.....	44
4.5.5. Módulo de ruptura a Flexão.....	45
4.6. Curvas de Gresificação.....	46
4.6.1. Formulação 1.....	47

4.6.2. Formulação 2.....	48
4.6.3. Formulação 3.....	49
5. CONCLUSÕES.....	50
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	51
7. REFERÊNCIAS.....	52

1. INTRODUÇÃO

A indústria de cerâmica tradicional é um dos segmentos mais importante para a economia do país. Esse setor é composto por cimento, cerâmica vermelha, cerâmica de revestimento, vidro e cal, que juntos, correspondem a mais de 90% da produção, do consumo, do faturamento e do emprego total do setor; louças sanitárias, louças de mesa, refratários, coloríficos e gesso, que correspondem ao restante (menos de 10%). A ANICER (Associação Nacional da Indústria Cerâmica) aponta que o mercado conta com cerca de 5.500 empresas entre cerâmicas e olarias, sendo responsável por mais de 400 mil empregos diretos, 1,25 milhões indiretos e gerando um faturamento anual de R\$ 6 bilhões (4,8% do faturamento da indústria da construção civil). Por outro lado, a ABC (Associação Brasileira de Cerâmica) contabiliza, especificamente para a cerâmica vermelha, a existência de 11.000 empresas de pequeno porte distribuídas pelo País, empregando cerca de 300 mil pessoas, e gerando um faturamento da ordem de R\$ 2,8 bilhões [1].

A cerâmica vermelha ou tradicional, como é conhecida, compreende os seguintes materiais: tijolos, telhas, lajotas, manilhas, pisos rústicos e materiais ornamentais. Sua fabricação é feita em torno dos centros consumidores, usando-se matérias-primas como argilas e siltes argilosos, com certo teor de impurezas, entre eles óxido de ferro, o qual fornece a cor vermelha dos produtos [1]. O segmento da indústria de cerâmica vermelha no município de Marabá e região apresentou um crescimento significativo na última década. As empresas instaladas atualmente na região vêm aumentando seu volume de produção no sentido de suprir as demandas locais, que são cada vez maiores, o que reflete diretamente na geração de empregos. Apesar deste expressivo crescimento, a indústria de cerâmica vermelha ainda apresenta problemas relacionados com a sua produtividade, qualidade dos produtos, valor tecnológico agregado e com seus resíduos. Os principais resíduos de cerâmicas são as cinzas de fornos, provenientes da queima de madeira (ou pó de madeira) [2].

As argilas empregadas na indústria de cerâmica tradicional caracterizam-se por ser um material natural composto por partículas extremamente pequenas de um ou mais argilominerais. Os argilominerais são minerais constituídos por silicatos hidratados de alumínio e ferro, podendo conter elementos alcalinos: sódio, potássio, e alcalinos terrosos: cálcio, magnésio [3].

Na natureza, além dos argilominerais as argilas estão geralmente associadas com outros materiais e minerais, como matéria orgânica, sais solúveis e partículas de quartzo, pirita, mica, calcita, dolomita e outros minerais residuais [3]. De acordo com Ministério de Minas e Energia (Balanço Energético nacional, 2005) a matriz energética para a produção de cerâmica (todos os tipos) estava assim distribuída: 48% de lenha, 26% de gás natural, 7,9% de eletricidade e 10,3% de outras fontes. Esta alta percentagem se dá pelo o uso de lenha na indústria de cerâmica tradicional, uma vez que a maioria das indústrias cerâmicas ainda utiliza este combustível para a queima de seus produtos [4].

Hoje em dia, há uma grande preocupação com o meio ambiente por parte de resíduos oriundos das indústrias em geral, mas a incorporação de resíduos em produtos cerâmicos é uma alternativa para reduzir o impacto ambiental causado por sua deposição indiscriminada [5]. Essa grande preocupação com o desenvolvimento, tornou-se um critério importante para as estratégias de desenvolvimento empresarial e melhoria de vida do planeta, em vista do aquecimento global.

Os resíduos industriais são um problema ao meio ambiente, já que seus depósitos são em lugares inadequados, por isso há necessidade de um tratamento para sua reutilização ou deposição adequada.

A reutilização dos resíduos, permite que estes retornem ao ciclo do processamento, otimizando assim a relação energia/meio ambiente/materiais, o que propiciará melhor aproveitamento dos recursos, sendo estes materiais ou energéticos. Portanto, essa prática não é tão fácil de ser implementada, pois é necessário um alto grau de tecnologia e desenvolvimento de materiais, para que os materiais alternativos possam competir com os materiais convencionais.

A utilização de resíduos industriais em cerâmicas tem sido estudada por diversos pesquisadores, e várias alternativas têm sido desenvolvidas no emprego de resíduos em vidros, vitrocerâmicos, porcelanas, grês, e cerâmica vermelha entre outros.

1.1. Objetivos Gerais:

O presente trabalho teve como objetivo geral estudar a viabilidade técnica de adição de cinza de madeira e serragem, em associação ao filito e argila provenientes da região de Marabá-Pa, em formulações de massa para cerâmica tradicional.

1.2. Objetivos Específicos:

- Avaliar as propriedades tecnológicas das composições em estudo através de ensaios tecnológicos.
- Avaliar quais das composições estudadas apresentaram melhor desempenho tecnológico para as temperaturas de queima.
- Avaliar a composição entre argila, cinza e filito com maior viabilidade técnica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Materiais Cerâmicos

Materiais cerâmicos são materiais inorgânicos não-metálicos para os quais as ligações interatômicas são predominantemente iônicas com alguma natureza covalente, submetidos a temperatura elevadas durante a produção. São compostos por no mínimo dois elementos e freqüentemente sua estrutura cristalina é mais complexa do que em metais

O termo “cerâmico” vem da palavra *keramikos*, que significa “matéria-prima queimada”, obtida geralmente após tratamento térmico em temperaturas elevadas [6].

Os materiais cerâmicos podem ser divididos em três categorias: os materiais cristalinos, que incluem silicatos tradicionais, e muitos compostos óxidos e não óxidos largamente utilizados tanto na indústria tradicional quanto em tecnologias avançadas; os vidros, que são sólidos não cristalinos com composições comparáveis aos cerâmicos cristalinos sendo que a ausência de cristalinidade é resultado de técnicas de processamento específicas o que proporciona propriedades óticas e mecânicas únicas; e os vitrocerâmicos, que são cerâmicos cristalinos inicialmente formados por vidros e cristalizados por métodos controlados [7].

As cerâmicas podem ser classificadas em vermelhas, brancas e de revestimento, entre outras, como mostra o quadro da Figura 1.

Figura 1 - Principais setores cerâmicos, matérias-primas e processo de fabricação.

Classificação		Produto	Matéria-prima							Moagem via úmida	Moagem via seca	Processo de				Temperatura de Queima (C)						
Tipo de	Grupo**/ Setor		Argila	Argila	Caulim	Não -Plástica						Extrusão	Tornearia	Prensagem	Colagem	800	900	1.000	1.100	1.200	> 1.200	
						Feldspato	Filito	Talco	Calcário													Quartzo
Cerâmica silicática de base argilosa (ou tradicional)	1	Cerâmica Vermelha	Blocos, lages	P									P									
			Telha	P				O						P	P							
			Agregado leve	P								O			P							
	2	Cerâmica Branca	Grês Sanitário		P	S	P	O		S	O	P										
			Porcelana Mesa		P	P				P		P		S	S	O						
			Porcelana Eletr.		P	P				P		P		S	S	O						
			Faiança		P	O	S	S	S	P	S		P				P					
	3	Revestimentos	Pisos Rústicos	P								O		P								
			Pisos via Seca	P										P		P						
			Azulejo		P	P			O	S	S		P			P						
			Piso Gresificado	O	P	S	S	P	O		S		P		O	P						
			Grês Porcelânico		P	S	P		O		S	O	P			P						
	Outros	4	Refratários			O				O	P											
		5	Isolantes				O			O	P											
		6	Especiais							O	P											
7		Cimento	S					P	S	O		P										
8		Vidro						S	P	P												
P = Processo ou composição principal (> 20 %)			S = Processo ou composição secundária (< 10%)							O = Processo ou composição ocasional												

Fonte: Sebrae, 2008 [1]

2.2. Matérias-primas para cerâmica estrutural

2.2.1. Argila

A argila, normalmente, possui baixo teor de matéria prima orgânica, além de outras impurezas como fundentes, e minerais de ferro. Estes fundentes conferem à massa cerâmica a possibilidade de densificar: adquirir resistência mecânica a baixas temperaturas de queima (entre 900 °C e 1100 °C).

A argila é um material natural, terroso de granulação fina, que geralmente, adquire certa plasticidade quando umedecido com água; quimicamente, são as argilas formadas essencialmente por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio. Designa ainda o nome “argila” um grupo de partículas do solo cujas dimensões se encontram entre uma faixa específica de valores inferiores a 2µm [8].

Do ponto de vista mineralógico, as argilas se caracterizam por se constituírem em grande parte de minerais específicos, denominados minerais de argila ou argilominerais, ocorrendo, normalmente, em caráter subordinado, outros materiais e minerais associados, tais como quartzo, feldspatos, micas e hidróxidos de ferro, carbonatos, matéria orgânica, dentre outros [9].

As principais razões para utilização da argila com matéria-prima na fabricação de produtos cerâmicos são: a) plasticidade; b) resistência mecânica após queima adequada, para uma série de aplicações; c) aplicação de técnicas de processamento simples; e d) disponibilidade em grandes quantidades [3].

A argila é o principal componente da matéria-prima da cerâmica estrutural, participando da composição da massa cerâmica como matéria-prima específica, acessória ou alternativa. Formada por grande quantidade de material amorfo, predominando o cristalizado, a argila não é um mineral, mas sim um agregado de minerais e substâncias coloidais [10].

2.2.1.1. Propriedades das Argilas

2.2.1.1.1. Granulometria: é uma das características mais importantes dos minerais argilosos e que domina muita das suas propriedades no processamento de cerâmica vermelha, devido à sua relação direta com a composição mineralógica. A chamada “fração-argila”, associada a

partículas com tamanho inferior a 2 μm , é geralmente constituída de argilominerais. Estes minerais, de origem secundária, são os principais responsáveis pelo desenvolvimento da plasticidade do sistema argila-água [11].

2.2.1.1.2. Troca de íons: os minerais argilosos têm a propriedade de trocar íons fixados na superfície exterior dos seus cristais, nos espaços intercamadas estruturais ou em outros espaços existentes. Essa capacidade de adsorver ou trocar íons resulta num desequilíbrio de cargas elétricas. Esse desequilíbrio influencia fortemente determinadas propriedades físico-químicas e tecnológicas [11].

2.2.1.1.3. Viscosidade: no sistema argila-água, o comportamento reológico assemelha-se ao de um fluido constituído por um número infinito de moléculas lamelares, que quando em movimento, deslizam umas sobre as outras [11].

2.2.1.1.4. Plasticidade: propriedade que se manifesta na mudança de forma sem ruptura, de uma massa composta de argila e água, pela aplicação de uma força exterior e pela retenção da forma quando a força é removida. Os principais fatores que afetam a plasticidade são a mineralogia, granulometria, forma dos cristais, carga elétrica dos cristais e o estado de defloculação da argila [11].

A argila, devido a sua disponibilidade em grandes quantidades e suas características de plasticidade, resistência a verde e após a queima, e possibilidade de conformação por diferentes técnicas de processamento, é a matéria-prima utilizada na fabricação de uma série de artefatos cerâmicos. É possível fabricar peças cerâmicas com diferentes argilas, utilizando-se diversas técnicas de processamento. Entretanto, cada massa cerâmica e cada processamento dão origem a produtos com diferentes propriedades. A cor vermelha é resultado dos teores de óxidos de ferro, e é uma das características típicas dos produtos cerâmicos estruturais.

2.2.2. Filito

O filito é utilizado na indústria cerâmica como fundente na sinterização da massa cerâmica, aumentando a resistência mecânica dos revestimentos cerâmicos e também em alguns casos, é responsável pela cor de queima [12].

O filito apresenta um aspecto argiloso e é um material fácil de pulverizar, fornecendo um pó finíssimo, e seus componentes essenciais são filossilicatos de pequeno tamanho de grão, como a mica muscovita finamente dividida ou sericita e caulinita, e quartzo [9]. Trata-se de uma rocha que apresenta superfícies de clivagem brilhosas e sedosas, além de possuir xistosidade acentuada (existência de planos paralelos) ou foliação, resultantes de recristalização. A rocha apresenta aparência de finas lâminas paralelas. A coloração é variável, de branco-prateada, esverdeada, amarelada, avermelhada, e até mesmo negra [13].

Estes materiais são empregados em massas cerâmicas de grês sanitário, indústrias de argamassa, plastificante, ração animal, pigmentos, aglutinantes, concretos especiais, e materiais à prova de água devido à baixa permeabilidade. Os filitos são utilizados ainda como substitutos parciais da fração argilosa e do feldspato da fração fundente das cerâmicas. As características fundentes surgem devido ao alto conteúdo de álcalis, da ordem de até 7%. Seu emprego em diversos teores aumenta a velocidade de sinterização de massas cerâmicas. Devido à diversidade da natureza química e mineralógica, suas propriedades são tanto de materiais plásticos como de não plásticos [14].

Além das inúmeras aplicações citadas, sua utilização apresenta grande vantagem pelo fato de ser um material com valor agregado bastante inferior ao de outras cargas minerais que substitui, e de ser uma rocha abundante na crosta terrestre [15].

O filito geralmente possui alta plasticidade, boa resistência mecânica e cores clareadas após a queima. O material de coloração branca apresenta amostras de cor creme ou creme esverdeado, e este é o produto que possui

maior valor comercial. Apresenta cor mais clara após a queima à temperatura de 1000 °C, e é comercializado como um substituto parcial das argilas brancas por ser um produto mais barato e por agir como fundente durante a queima das cerâmicas. A porção rósea com tonalidades mais claras tem encontrado espaço no mercado das argamassas e outros ramos, como na produção de ração animal e cargas minerais nas indústrias de tintas e selantes [16].

2.2.3. Cinza

As cinzas são geradas pela pirólise de madeira, carvão mineral ou vegetal, coques (carvão, petróleo). Geralmente a madeira tem na sua composição: 49% de C; 6% de H; 0,2% de N, além de componentes inorgânicos de cálcio, potássio, magnésio, fosfato, sulfato e silicato, e um poder calorífico de 3.300 kcal/kg, de modo que 1m³ de madeira produz 2.800 kWh [17].

A formação das cinzas se dá pela combustão direta do carvão fóssil, que é uma matéria-prima sólida, constituída por duas frações intimamente misturadas, uma orgânica (matéria volátil e carbono fixo) e uma fração mineral (argilas, quartzo, piritas, carbonatos, etc.). Pela ação do calor, a fração orgânica gera voláteis e coque, enquanto a fração mineral se transforma em cinza com uma mineralogia modificada, tendo em vista, a perda de água das argilas, decomposição dos carbonatos, oxidação dos sulfetos, etc. [18].

As cinzas são formadas a partir de componentes não combustíveis do carvão e também de partículas não queimadas devido à combustão incompleta do carvão pulverizado na câmara de combustão, em temperatura variável entre 1200 °C e 1600 °C [19]. O carvão mineral produzido e utilizado no Brasil como combustível contém altos teores de matéria mineral (até 60%) responsável pela geração dos resíduos em grande quantidade [20].

Na queima do carvão mineral são gerados os seguintes tipos de cinzas [18]:

- Cinza leve (cinza volante ou cinza seca) – constituída por partículas extremamente finas (100% com dimensão inferior a 0,15mm), transportada pelo fluxo dos gases da combustão,coletada nos ciclones mecânicos ou precipitadores eletrostáticos, ou ainda lançada na atmosfera;
- Cinza pesada (cinza úmida) – é mais pesada e de granulometria mais grossa que a cinza leve, caindo no fundo das fornalhas e gaseificadores, sendo freqüentemente retirada por um fluxo de água;
- Escória (cinza grossa) – é a cinza originada na queima ou gaseificação do carvão granulado em grelhas móveis. Retirada pelo fundo da fornalha após ser resfriada com água, freqüentemente, apresenta granulometria grosseira e blocos sinterizados, tendo teores de carbono não queimado entre 10 e 20%.

No Brasil, em torno de 40% da lenha é transformada em carvão vegetal. Tem sua maior utilização no setor residencial com 29%, para o cozimento de alimentos em regiões rurais. Depois vem o setor industrial em torno de 23% de consumo nas indústrias alimentícias, de bebidas, cerâmicas, papel e celulose [21].

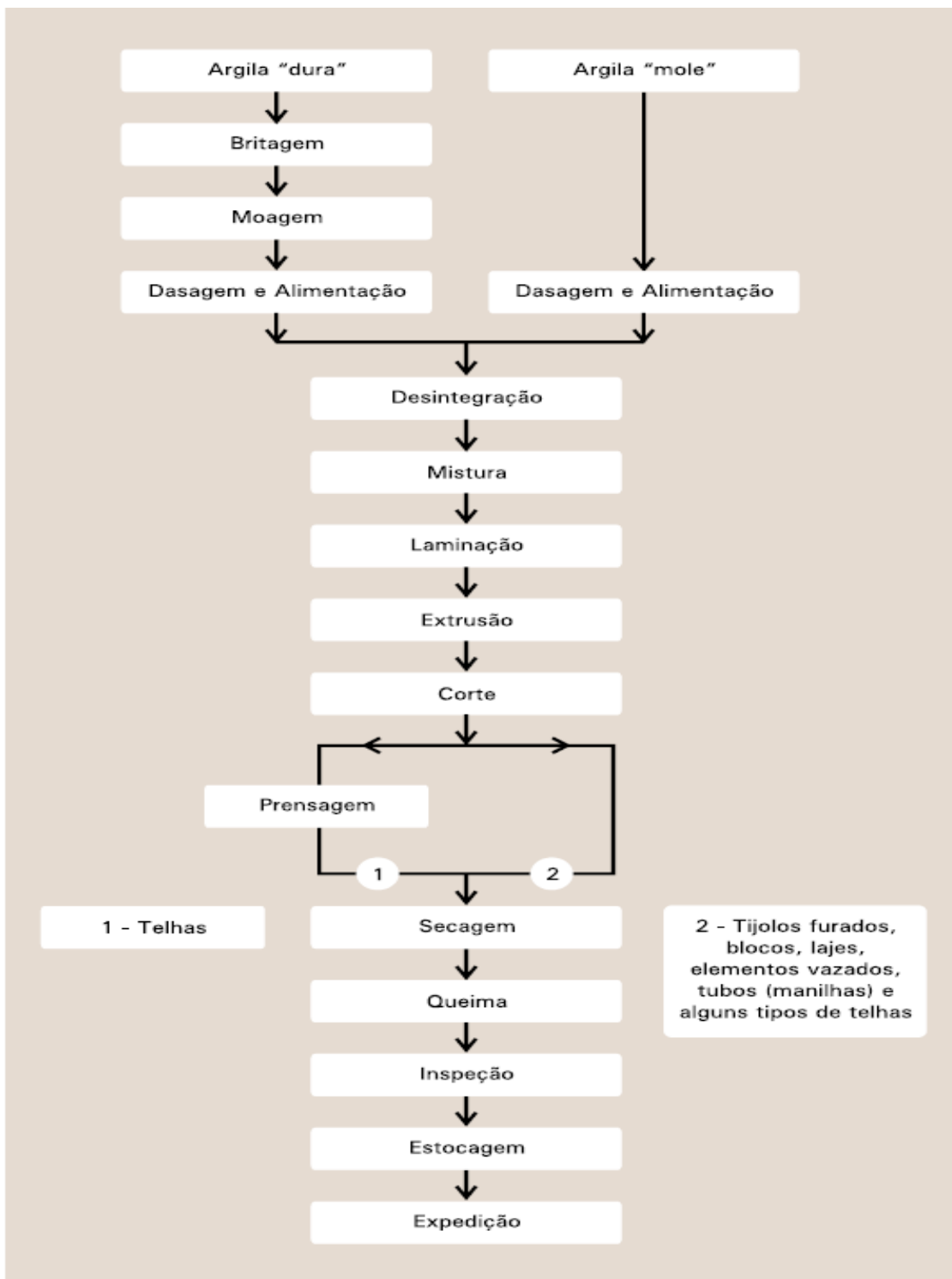
As cinzas são resíduos da combustão de um combustível sólido. As cinzas produzidas pela indústria cerâmica são descartadas a céu aberto provocando a poluição de rios, solos, até mesmo o ar, prejudicando dessa forma o meio ambiente.

2.3. Processamento cerâmico

A Figura 2 apresenta de forma genérica, o processo de fabricação de produtos derivados da cerâmica vermelha. Este processo é comum a todas as empresas de cerâmica vermelha em geral, havendo pequenas variações, de

acordo com características particulares de cada matéria-prima ou produto final. Porém, algumas empresas utilizam equipamentos rudimentares e outros equipamentos mais modernos.

Figura 2 - Processo de Fabricação da Cerâmica Vermelha.



Fonte: Sebrae, 2008 [1].

2.3.1. Matéria-Prima – Argila

A matéria-prima utilizada é basicamente a argila comum; a massa resultante pode ser denominada simples ou natural, sendo composta por matéria orgânica, impurezas e minerais de ferro.

2.3.2. Britagem

Usada quando a argila encontra-se seca e dura. Sua função é quebrar a argila em grãos menores, preparando-a para fases posteriores.

2.3.3. Moagem

Reduz o tamanho dos grânulos de argila, de forma a homogeneizar a granulometria das partículas.

2.3.4. Dosagem e alimentação

Etapa realizada por um caixão alimentador. Sua função é controlar a quantidade de matéria-prima necessária à produção, que será processada pelos maquinários subsequentes.

2.3.5. Desintegrador

Reduz as partículas em frações ainda menores, destruindo possíveis torrões que possam ter se formado em fases anteriores. A umidade deverá variar entre 16% e 25%, para evitar perda de eficiência.

2.3.6. Misturador

Tem por função misturar a matéria-prima, homogeneizando-a. É uma etapa importante, uma vez que permite atribuir à argila características semelhantes, o que evitará deformações ou variações – textura, cor, resistência, etc., no corpo cerâmico.

2.3.7. Laminador

Após ser misturada, a argila é laminada. O laminador é uma prensa que compacta a argila, tornando-a menos porosa em formato de lâminas. Isso é importante uma vez que garante maior densidade aos agregados formados, facilitando o processo posterior.

2.3.8. Extrusora ou Maromba

No processo de extrusão, a massa é introduzida na extrusora e através da aplicação de uma pressão adequada é forçada por meio de uma abertura devidamente modelada, chamada boquilha, (de maneira a reproduzir a seção transversal do revestimento). A extrusora é dotada de uma câmara a vácuo para facilitar a desaeração da massa; desta, sai uma fita contínua, a qual é cortada em função do tamanho especificado para cada tipo de peça.

2.3.9. Corte e acabamento

Assim que sai da maromba, o corpo cerâmico apresenta-se unido, em forma de uma fita contínua. Através do corte é que se produzem peças cerâmicas de diferentes tamanhos. O corte é automatizado, podendo ser realizado por arames, moinhos, etc. Quando da fabricação de telhas, os elementos são extrudados e cortados em um formato favorável a operação de prensagem para obtenção de sua forma final.

2.3.10. Secagem

O objetivo principal do processo de secagem é a remoção da água do produto moldado considerado “verde”, assegurando a integridade e regularidade dimensional do produto (prevenindo quebras e distorções). Pode ser realizada ao natural, com ou sem cobertura, dependendo muito das condições climáticas de cada região. Pode ser feita também via ventiladores ou

ainda por secadores, que normalmente possuem fornalha própria, ou ainda podem reaproveitar calor dos fornos, sendo contínuos ou intermitentes.

2.3.11. Queima ou Sinterização

A queima dos produtos cerâmicos é realizada nos fornos, e é uma das etapas mais importantes do processo de fabricação, já que desta depende grande parte das características do produto cerâmico.

Vários são os tipos de fornos utilizados na indústria da cerâmica vermelha:

- Fornos de chama direta, tipo caipira ou caieira (rural);
- Fornos de chama reversível tipo paulista, abóboda e corujinha;
- Fornos contínuos do tipo Hoffmann;
- Fornos contínuos do tipo túnel;
- Forno de chama direta:caipira ou caieira

2.3.12. Inspeção e Armazenamento

É feita na saída do forno, pelos desenformadores (colaboradores responsáveis pela retirada do produto cerâmico dos fornos), rejeitando materiais que apresentem defeitos. O material pode então ser armazenado em área coberta ou descoberta, dependendo das condições climáticas de cada região, permanecendo aí até a retirada dos produtos via expedição.

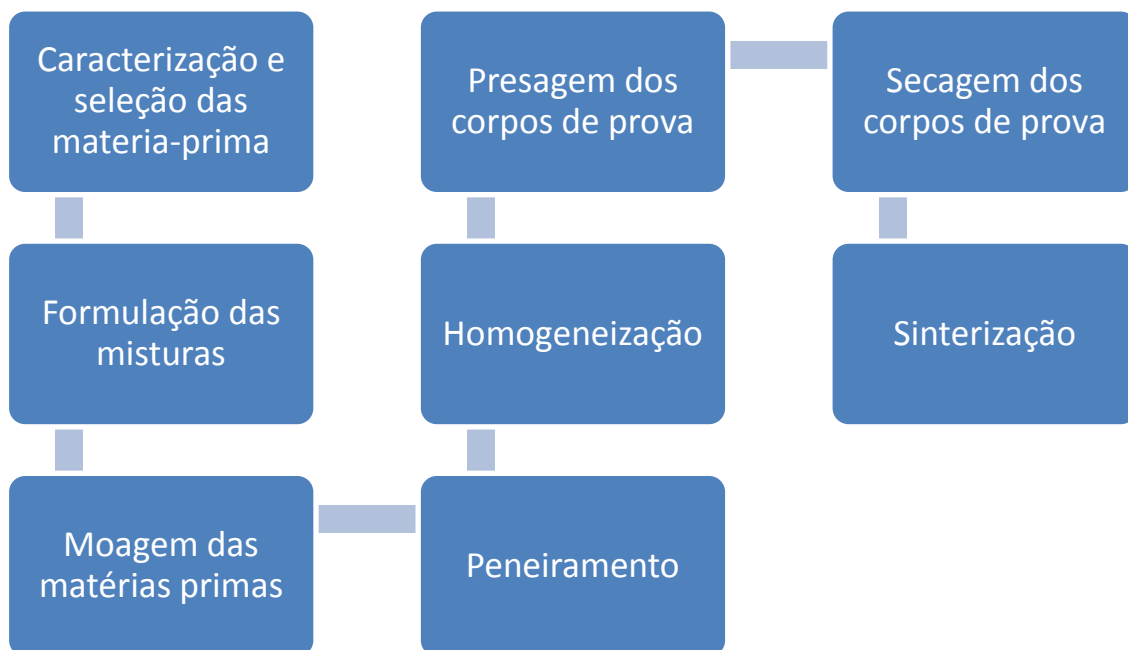
2.3.13. Expedição

Efetuada através de caminhões por via rodoviária, utilizando equipamentos próprios ou frentistas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho experimental, adotou-se um planejamento conforme o fluxograma mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma da metodologia experimental.



Fonte: autor, 2013.

3.1. Matérias-primas

3.1.1. Argila

A amostra de argila utilizada para a composição do produto final foi coletada na Cerâmica Oliveira Ltda., em Marabá – PA, e é proveniente das margens dos rios Itacaiúnas e Tocantins.

3.1.2. Cinza

Proveniente de fornos de olarias, que usam lenha e serragem no processo de queima da cerâmica vermelha. Coletada na Cerâmica Oliveira Ltda.

3.1.3. Filito

O filito foi extraído das proximidades do Município de Marabá – PA e é ocorrente da Formação Couto Magalhães.

3.2. Formulações das matérias – primas

Foram processados 30 corpos de prova para cada formulação, de acordo com os teores apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Formulações propostas neste trabalho.

Formulação	Argila (%)	Cinza (%)	Filito (%)
FI	50	5	45
FII	45	15	40
FIII	40	25	35

Fonte: Autor, 2013.

As amostras foram prensadas e sinterizadas em temperaturas de 1050 °C, 1100 °C, 1150 °C. Para cada temperatura foram confeccionadas 10 corpos de prova.

3.3. Caracterização das matérias-primas

As matérias-primas utilizadas foram caracterizadas pelas seguintes técnicas: difratometria de raios-X (DRX), espectroscopia de fluorescência de raios-X (FRX), análise térmica diferencial/termogravimétrica (ATD/TG).

3.3.1. Difractometria de raios-X (DRX)

A difratometria de raios-X (DRX) é uma técnica de caracterização mineralógica de materiais muito utilizada para identificação das espécies de minerais presentes e também permite estudar as características cristalográficas destes minerais e, com o uso de software, quantificar cada espécie mineral. Além disto, é possível analisar a microestrutura dos materiais por meio de informação sobre orientação e tamanho dos cristais, parâmetros de rede, tensões internas, identificação de fases, entre outras possibilidades [22]. A identificação dos componentes mineralógicos foi realizada através de um difratômetro de raios-X, modelo X'PERT PRO MPD (PW 3040/60), da PANalytical, com goniômetro PW3050/60 (θ / θ), tubo de Raios-X cerâmico e anodo de Cu ($K\alpha_1 = 1,540598 \text{ \AA}$).

3.3.2. Espectroscopia de fluorescência de raios-X (FRX)

A espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX) é uma técnica analítica não destrutiva usada para identificar e determinar as concentrações dos elementos presentes nos sólidos, nos pós e nos líquidos. A FRX é capaz de medir qualitativamente, quantitativamente e semi quantitativamente todos os elementos. A análise química é útil para o conhecimento da composição de uma determinada matéria-prima. A análise da composição química foi realizada utilizando-se um espectrômetro WDS seqüencial, modelo Axios Minerals da marca PANalytical com tubo de raios-X cerâmico, anodo de ródio (Rh) e máximo nível de potência 2,4 KW.

3.3.3. Análise térmica diferencial/termogravimétrica (ATD/TG)

A técnica consiste em medir a diferença de temperatura entre uma amostra e uma referência inerte quando são simultaneamente submetidas a uma mesma condição de aquecimento ou resfriamento. As transformações experimentadas pela amostra podem ocorrer com liberação ou consumo de calor, enquanto que a referência permanece inalterada. Em conseqüência, a temperatura da amostra em relação à referência pode apresentar-se maior ou menor, o que caracteriza respectivamente, um fenômeno endotérmico ou exotérmico, e que gera picos DTA das transformações respectivas. As análises foram realizadas empregando-se um equipamento Shimadzu modelo DTG 60H.

3.4. Caracterização das Amostras

Para avaliar as propriedades das amostras, foram realizados ensaios de avaliação tecnológica tais como os de absorção de água (AA), densidade aparente (Dap), porosidade aparente (PA), retração linear de queima (RLq) e módulo de ruptura da flexão (MRF).

3.4.1. Absorção de Água (NBR 13818/1997)

A adsorção de água (AA) é a porcentagem em peso do valor de água absorvida pelo corpo-de-prova queimado. Para determiná-la, utiliza-se a norma da ABNT, NBR 13818/1997 [23].

Os corpos de prova sinterizados, depois de secos em estufa a temperatura de 100 °C durante 24 horas, foram pesados e submersos em água quente durante 2 horas, conforme os procedimentos das normas NBR 13818/1997 e ISO 10545 / parte 3 (1995). Decorrido este tempo, os corpos de prova foram novamente pesados e a absorção de água (AA) foi determinada pela razão entre a diferença dos pesos final e inicial pelo peso inicial dos

corpos de prova, conforme Equação 1 de acordo com a norma ISO 10545 / parte 3 (1995).

$$AA = \frac{Mu - Ms}{Ms} (x100) \quad (1)$$

Onde:

Ms= massa a seco

Mu= massa a úmido

3.4.2. Densidade Aparente (ISO 10545)

Este ensaio foi utilizado para determinar a razão entre massa e volume da amostra, e adicionalmente é uma das formas de se determinar a porosidade. Foi realizado seguindo a regulamentação descrita na parte 3 da norma citada no ítem anterior.

As amostras foram fervidas em água por 2 horas e deixadas imersas, em temperatura ambiente por 24 h. Em seguida, as amostras foram retiradas da água e o líquido em excesso foi absorvido por um guardanapo, sendo pesadas para determinação do peso úmido. Em seguida, efetuou-se a pesagem das amostras imersas em água, a fim de se medir seu peso imerso. A ultima etapa consistiu em aplicar a equação 2:

$$Dap = \frac{Ms}{Mu - Mi} L(x100) \quad (2)$$

Onde:

Ms= massa a seco

Mu= massa a úmido

Mi= massa a imersa

L = densidade do líquido usado

3.4.3. Porosidade Aparente (ISO 10545)

Este procedimento regulamentado pela norma ISO 10545 parte 3 – 1995 foi usado para se determinar a quantidade de poros no produto sinterizado. Este é a relação entre o volume de poros abertos do corpo de prova e o volume aparente do mesmo. O procedimento é similar ao descrito anteriormente no ensaio de densidade, porém, como mostra a equação 3, é feita a diferença entre massa a úmido e massa a seco, onde o resultado obtido é dividido pela diferença entre o massa a úmido e a massa a imerso.

$$PA = \frac{Mu - Ms}{Mu - Mi} (x100) \quad (3)$$

Onde:

Ms= massa a seco

Mu= massa a úmido

Mi= massa a imerso

3.4.4. Retração Linear de queima

Retração linear de queima (RLq) é a variação da dimensão linear do corpo-de-prova, em porcentagem, depois de submetido as condições específicas de temperatura. Os corpos-de-prova foram medidos com paquímetro digital (precisão $\pm 0,01$) determinando-se os valores dos seus comprimentos a verde, a seco (secagem a 100°C, por 24 horas) e após a queima, calculou-se a RLq, utilizando-se a seguinte equação 4:

$$\%RLq = \frac{Li - Lf}{Li} (x100) \quad (4)$$

Onde:

RLq = retração térmica linear de queima (%)

Li = comprimento inicial (mm)

Lf= comprimento final (mm)

3.4.5. Módulo de ruptura a Flexão (MRF)

A determinação do MRF é importante para determinar as propriedades mecânicas das amostras. É um dado de suma importância para avaliar a qualidade das composições. Os corpos-de-prova foram submetidos a ensaios de flexão a três pontos (Figura 4), em uma máquina de ensaios universal (EMIC) de acordo com os procedimentos da norma ISO 10545/ parte 4 (1994). Os valores da especificação são dados pela norma ISO 13006.

$$\text{MRF} = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (5)$$

Onde:

MRF = módulo de resistência à flexão (MPa)

L = distância entre os apoios (mm)

h = mínima espessura do corpo-de-prova, ao longo da seção de ruptura (mm)

P = força de ruptura (N)

b = largura da peça (mm)

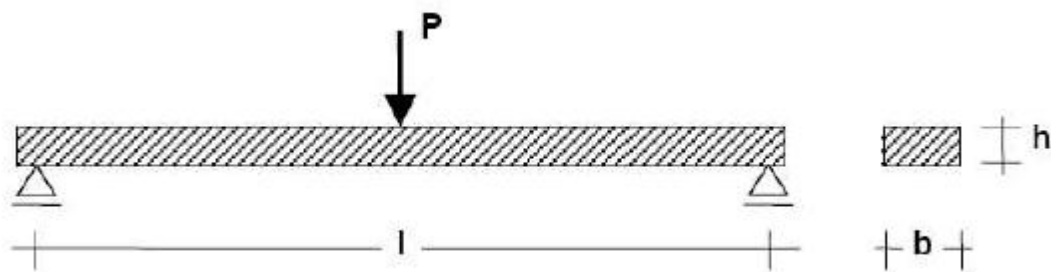


Figura 4 - Esquema de ensaio de flexão em três pontos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados obtidos em relação aos objetivos propostos, referentes à caracterização química das matérias-primas utilizadas no trabalho, bem com à caracterização tecnológica dos corpos de prova considerando as propriedades físicas e mecânicas.

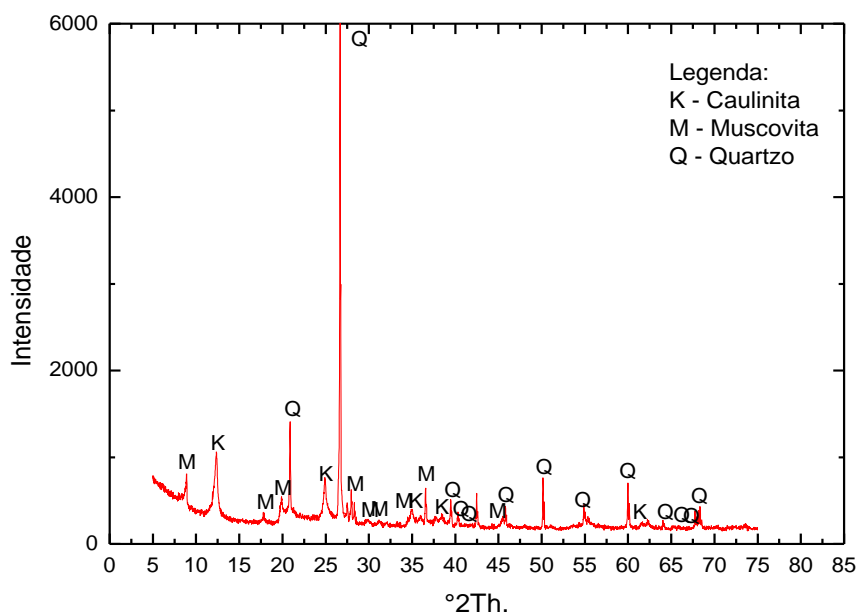
4.1. Caracterização das matérias-primas

A caracterização das matérias-primas iniciou-se com a análise química de cada uma delas para a determinação da porcentagem dos elementos químicos que a compõem.

4.2. Difractometria de raios-X (DRX)

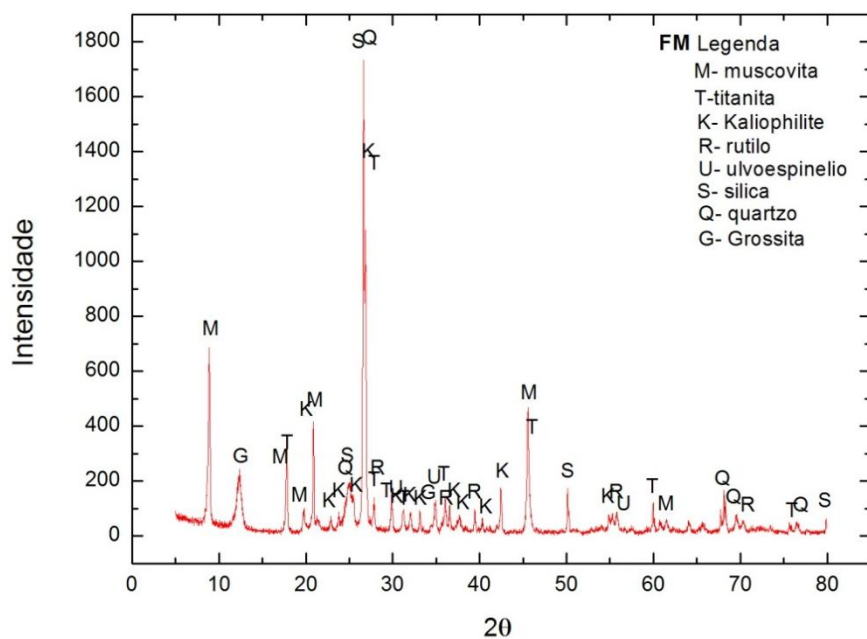
A Figura 5 apresenta o difratograma de raios-X da argila utilizada. Observou-se que o argilomineral predominante, para a amostra estudada, é a caulinita $[Al_2Si_2O_5(OH)_4]$, sendo seus picos apresentados de forma bem característica. Além da caulinita, é possível detectar picos característicos dos minerais quartzo (SiO_2) e muscovita ($KAl_3Si_3O_{11}$), o que vem justamente confirmar a característica mineralógica comum das argilas da região.

Figura 5 - Difratoograma de raios-X da argila.



Conforme se observa na Figura 6, o difratograma referente ao filito revela a presença de picos característicos, de muscovita e quartzo. Verificaram-se também picos de bastante intensidade de minerais tais como titanita (CaTiSiO_5), kaliofilito [$\text{KAl}(\text{SiO}_4)$], rutilo (TiO_2), ulvoespinélio (Fe_2TiO_4) e grossita (CaAl_4O_7).

Figura 6 - Difratoograma de raios-X do filito.



4.3. Espectroscopia de fluorescência de raios-X (FRX)

A Tabela 2 apresenta as composições químicas de cada componente utilizado no trabalho, determinadas pela espectroscopia de fluorescência de raios X.

Tabela 2 – Composições químicas das matérias primas utilizadas.

Óxidos/MP	Argila	Cinza	Filito
Al ₂ O ₃	20,17	6,47	25,00
Fe ₃ O ₂	5,96	1,72	9,40
K ₂ O	1,62	4,17	6,05
MgO	0,53	6,90	1,51
MnO ₂	-	0,47	-
Na ₂ O	0,34	0,75	-
P ₂ O ₅	0,13	0,69	-
SiO ₂	61,64	40,39	51,13
TiO ₂	0,84	0,37	1,07
ZrO ₂	0,04		-
CaO	-	24,22	-
SO ₃	-	0,12	-
P.F.	8,73	13,73	5,84

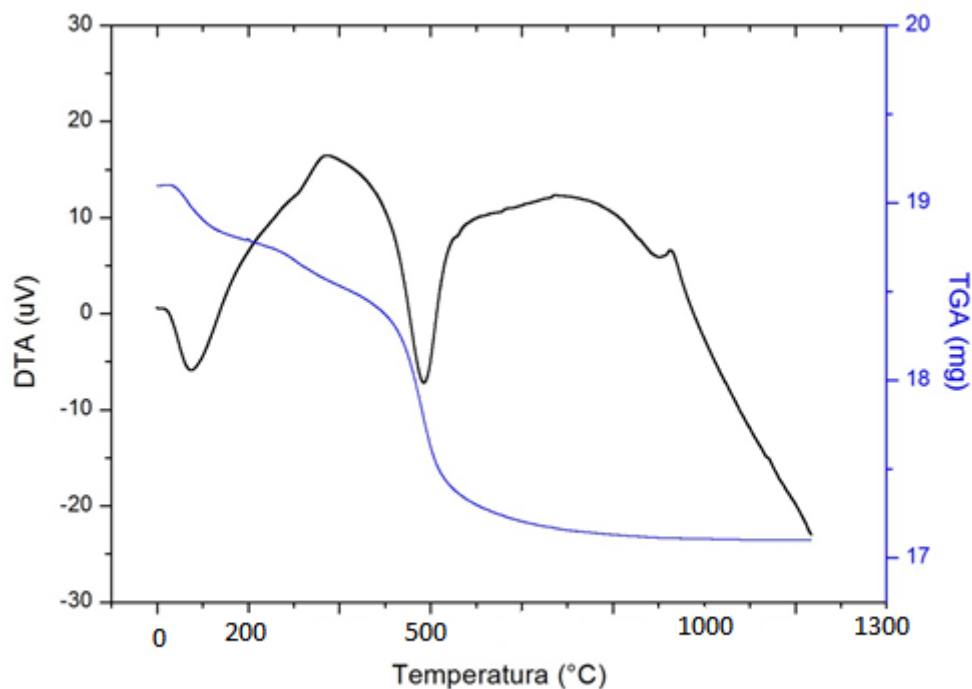
Fonte:Autor, 2013.

De acordo com os resultados da composição química, nota-se que a argila apresenta como constituintes básicos, os óxidos de SiO₂ e Al₂O₃; esses óxidos juntos são responsáveis pela refratariedade das argilas. O filito também apresentou composição semelhante à argila, discordando apenas com a porcentagem de K₂O, em torno de 6% em massa, devido à presença do mineral kaliofilito. A cinza é composta majoritariamente de SiO₂ e CaO, com presença de MgO, Al₂O₃ e K₂O. Segundo a literatura, Ca e Mg presentes na cinza estão provavelmente na forma de carbonatos [24].

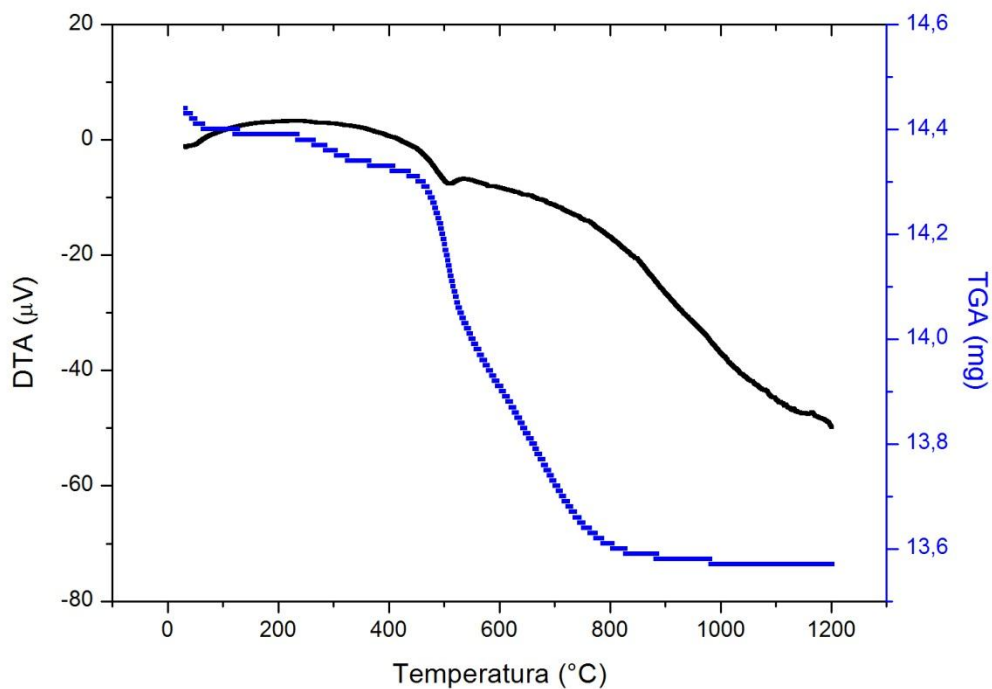
4.4. Análise térmica diferencial/termogravimétrica (ATD/TG)

A figura 7 apresenta os resultados da análise térmica diferencial/termogravimétrica (ATD/TG) da argila.

Figura 7 - Curvas termodiferencial/termogravimétricas (ATD/TG) da argila.

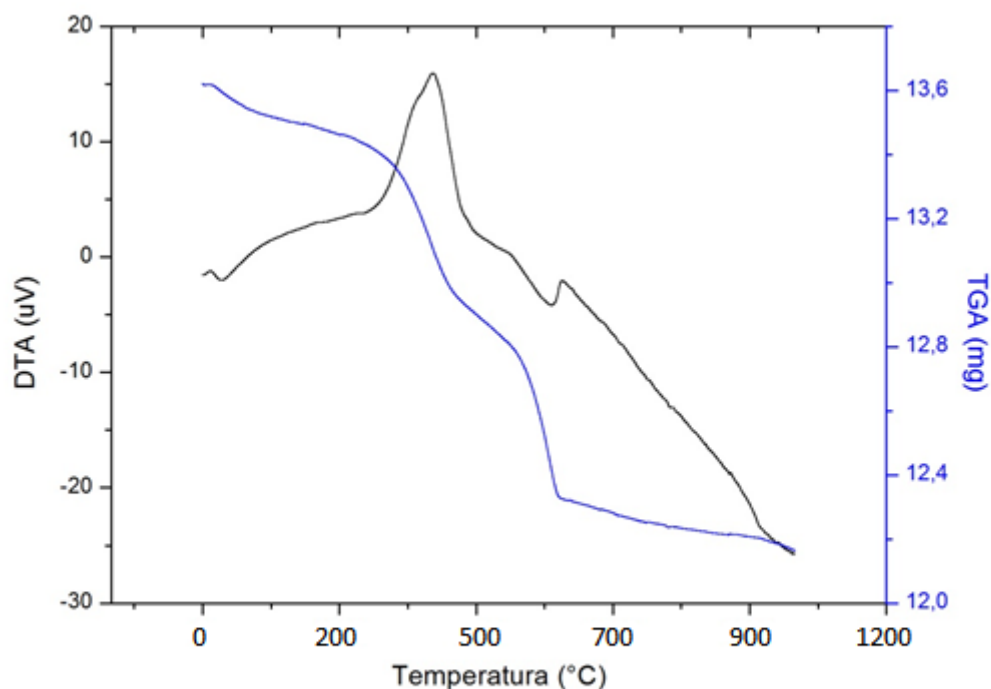


Primeiramente apresenta-se a curva de ATD/TG da argila estudada. Pode-se observar a presença de pico endotérmico em torno de 90°C associados à perda de água de umidade; outro pico endotérmico em torno de 500°C associado com a formação de metacaulinita e pico exotérmico por volta de 980°C, associados a nucleação de mulita.

Figura 8 - Curvas termodiferencial/termogravimétricas (ATD/TG) do filito.

Através dos resultados apresentados na Figura 8, pode-se observar que a análise térmica do filito foi caracterizada pela presença de pico endotérmico em torno de 509°C, associado a formação de metacaulinita. Um pico exotérmico bem discreto próximo a 1200 °C evidencia a nucleação da mulita a partir da metacaulinita formada anteriormente. A perda de massa total no processo foi de 6,7%.

Figura 9 - Curvas termodiferencial/termogravimétricas (ATD/TG) da cinza.



Pode-se observar que a ATD da cinza, apresenta os seguintes eventos térmicos: pico endotérmico à 85°C associado à perda de água de umidade; pico exotérmico à 447°C associado a provável decomposição da matéria orgânica e pico endotérmico à 667°C referente à decomposição de carbonatos (Ca e Mg). Conforme se pode observar na Figura 9, há uma perda de massa total equivalente a 10,67%.

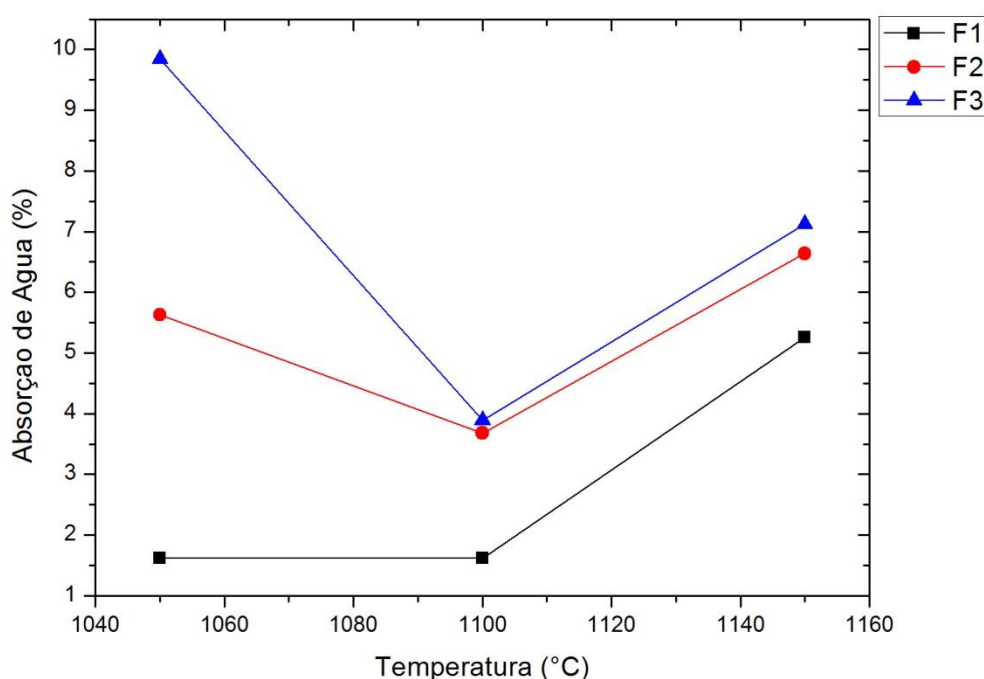
4.5. Caracterização tecnológica das Amostras

A seguir são mostrados os resultados da caracterização tecnológicas das amostras sinterizadas a partir das formulações propostas neste trabalho. Cada valor corresponde à média de 10 corpos-de-prova para cada temperatura e formulação.

4.5.1. Absorção de Água

A Figura 10 mostra a evolução da absorção de água em função da temperatura de sinterização.

Figura 10 - Absorção de água em função da temperatura de sinterização.



Fonte: Autor, 2013.

A absorção de água em blocos cerâmicos deve ser suficiente para absorver capilarmente parte da água da argamassa de assentamento, aumentando a aderência “argamassa/bloco”, e não muito elevada a fim de evitar a retirada excessiva da água da argamassa que prejudica a hidratação dos compostos de cimento e reduz a resistência da mesma. Em telhas cerâmicas, uma baixa absorção de água é fundamental para aumentar a impermeabilidade da mesma [25].

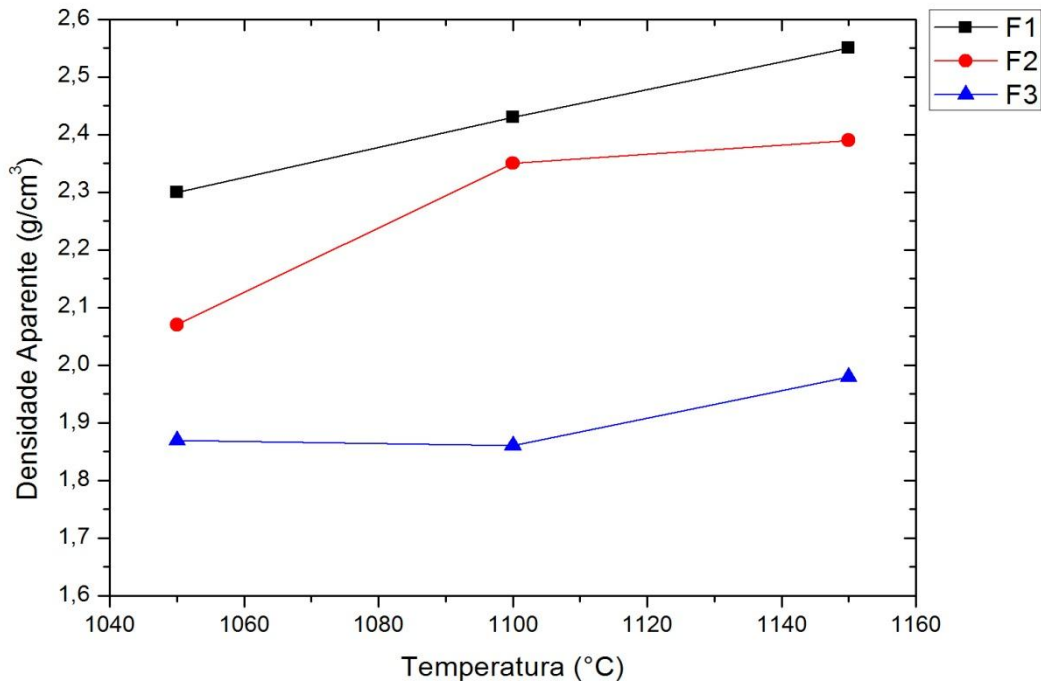
Os valores de absorção de água indicam que as formulações 2 e 3 até a temperatura de 1100 °C sofreram redução com o aumento de temperatura. Este fato está ligado ao grau de densificação do material, onde há coalescência de partículas de um agregado pulverizado por difusão, realizada por cozimento a uma temperatura elevada, ou seja, os poros diminuem com a elevação da temperatura [6]. A partir desta temperatura todas as formulações apresentaram aumento na absorção de água provavelmente devido ao início de sobrequeima que acarreta a formação de maior quantidade de poros no interior das peças. Segundo SOUZA SANTOS, 1989, os materiais aptos para aplicação em cerâmica estrutural devem possuir valores para a absorção de água $\leq 25\%$ [8]. De acordo com os resultados, todas as três formulações são adequadas para a fabricação deste tipo de material.

4.5.2. Densidade Aparente

A Figura 11 mostra o comportamento da densidade em função do aumento da temperatura de sinterização.

Os valores de densidade aparente apresentados para as formulações variaram de 1,85% a 2,3%, na temperatura de 1050 °C, enquanto que a 1100 °C a variação da densidade ocorreu entre 1,86% e 2,4%; já na temperatura de 1150 °C a variação foi de 2,0 a 2,55. De acordo com Souza Santos, 1989 [8], a densidade aparente para cerâmica vermelha, deve apresentar limite máximo de 2,7%, o que evidencia desta forma que as amostras obtidas deste no trabalho estão dentro da faixa permitida.

Figura 11 - Densidade aparente em função temperatura de sinterização.



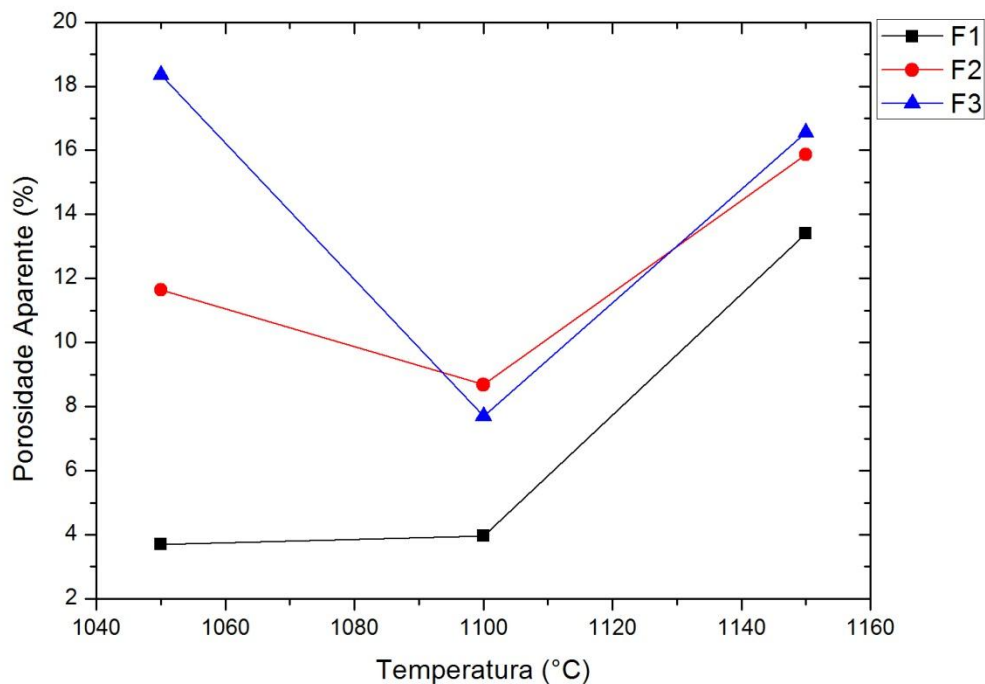
Fonte: Autor, 2013

4.5.3. Porosidade Aparente

A Figura 12 mostra o comportamento da porosidade aparente em função do aumento da temperatura de sinterização.

Os valores de porosidade aparente demonstram que os corpos cerâmicos obtidos das formulações 1 e 2 sofreram redução de PA até 1100 °C e depois houve um aumento de porosidade. O comportamento apresentado das formulações é semelhante ao da absorção de água. A porosidade para materiais cerâmicos deve se encontrar na faixa entre 17 a 35%. Esses valores são os mesmos, tanto para a fabricação de tijolos maciços e furados, quanto para telhas. De acordo com os resultados, apenas a formulação 3 na temperatura de 1050 atente as faixas, mas no entanto as outras formulações também são adequadas para a fabricação de cerâmica vermelha [8].

Figura 12 - Porosidade aparente em função da temperatura de sinterização.



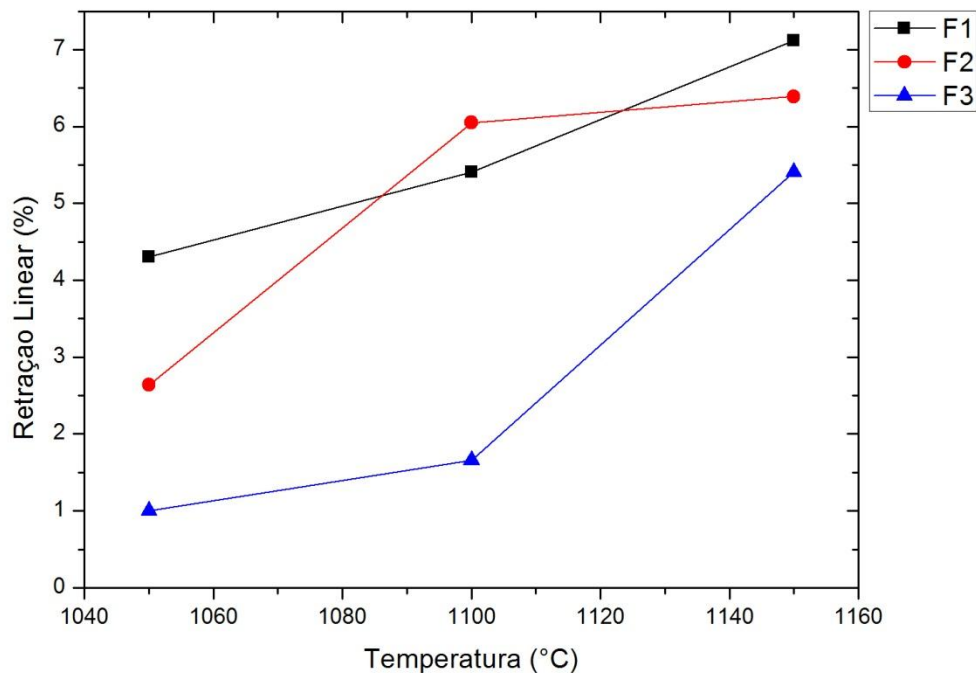
Fonte: Autor, 2013.

4.5.4. Retração Linear de queima

A Figura 13 mostra o efeito da temperatura sobre a retração linear nos corpos de prova produzidos a partir das formulações cerâmicas propostas.

A retração linear aumentou com o aumento da temperatura de sinterização conforme esperado, ou seja, na medida em que a temperatura de sinterização aumentou houve a diminuição das dimensões dos corpos de prova. Para cerâmicas estruturais, os valores de retração linear de queima não podem exceder 6%. Todas as formulações atenderam aos valores especificados pela literatura, com exceção da formulação 2 nas temperaturas de 1100 °C e 1150 °C e a formulação 1 a 1150 °C [8].

Figura 13 - Retração linear de queima em função da temperatura de sinterização.



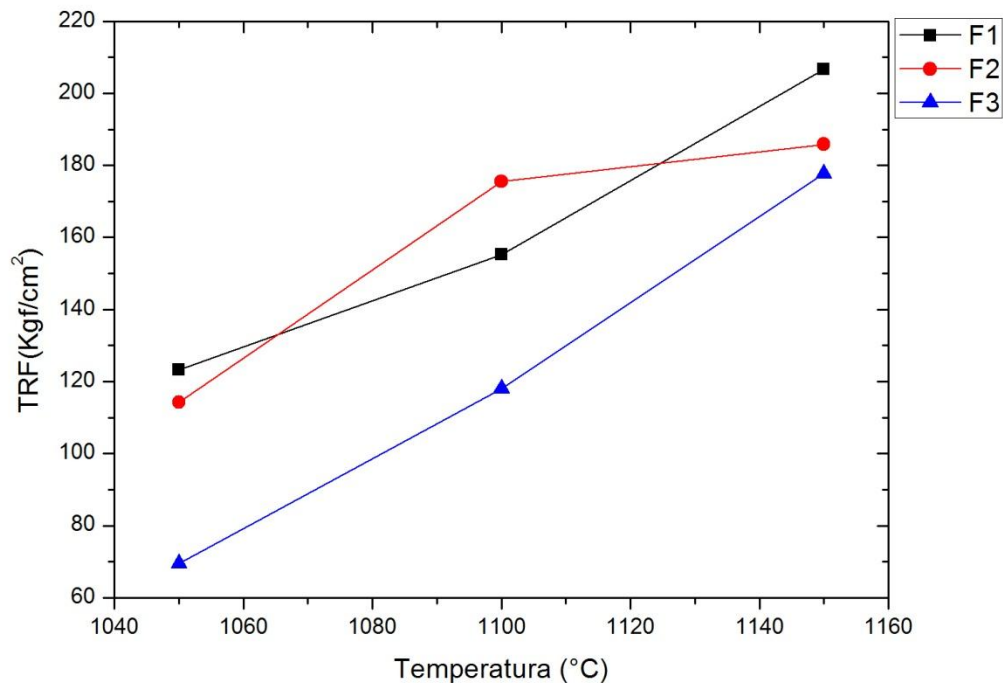
Fonte: Autor, 2013.

4.5.5. Módulo de ruptura a Flexão

A Figura 14 mostra o comportamento da resistência à flexão das amostras, em função do aumento da temperatura de sinterização.

A resistência à flexão do material aumentou gradativamente com o aumento da temperatura entre as faixas de 1050 °C e 1150 °C; este fato se deu devido à densificação dos corpos-de-prova. Conforme houve aumento da temperatura houve também um aumento da resistência mecânica das peças observada nas três temperaturas. De uma forma geral, todas as formulações atenderam aos valores mínimos previstos na literatura [26], que estabelece para a resistência mecânica das cerâmicas estruturais após a queima, módulos entre 20 e 65 Kgf/cm².

Figura 14 - Módulo de ruptura à flexão.



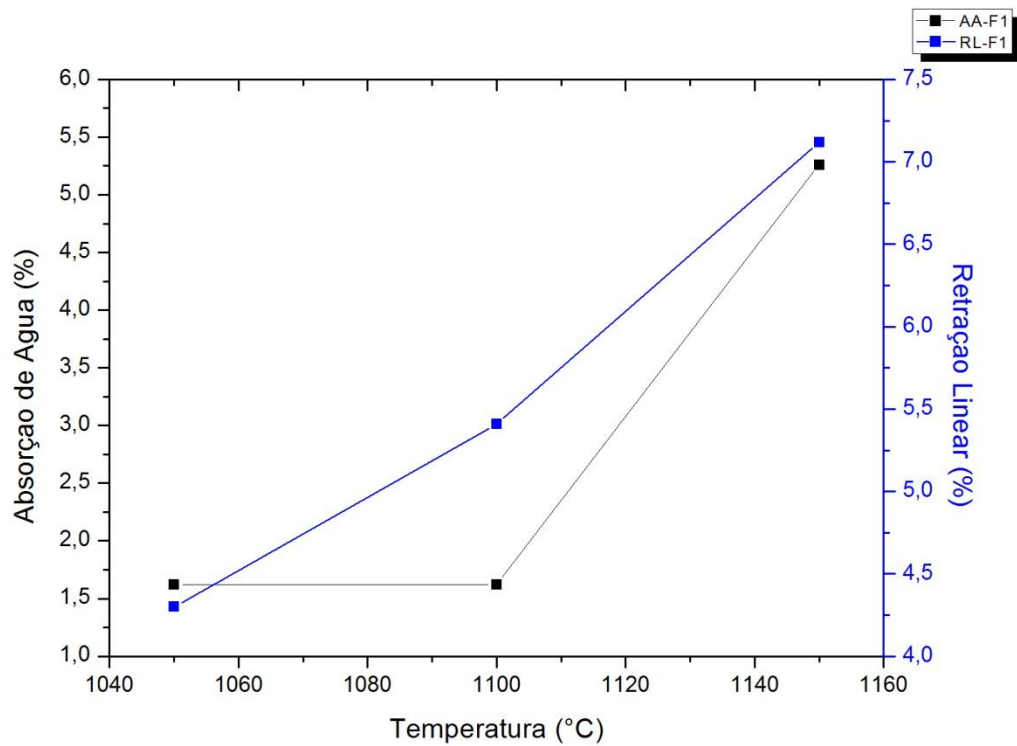
Fonte: Autor, 2013.

4.6. Curvas de Gresificação

A curva de gresificação é traçada a partir de dados de absorção de água e retração linear de queima, após o processo de sinterização, simultaneamente em um mesmo gráfico. Pode-se usar a curva de gresificação para determinar a tolerância da massa cerâmica a variações de temperaturas e condições de processamento. O ponto em que as duas curvas se cruzam é chamado de ponto ótimo, ou seja, a melhor temperatura de sinterização para essa formulação. A seguir são mostradas as curvas de gresificação desenvolvidas para cada formulação.

4.6.1. Formulação 1

Figura 15 - Diagrama de gresificação da formulação 1.

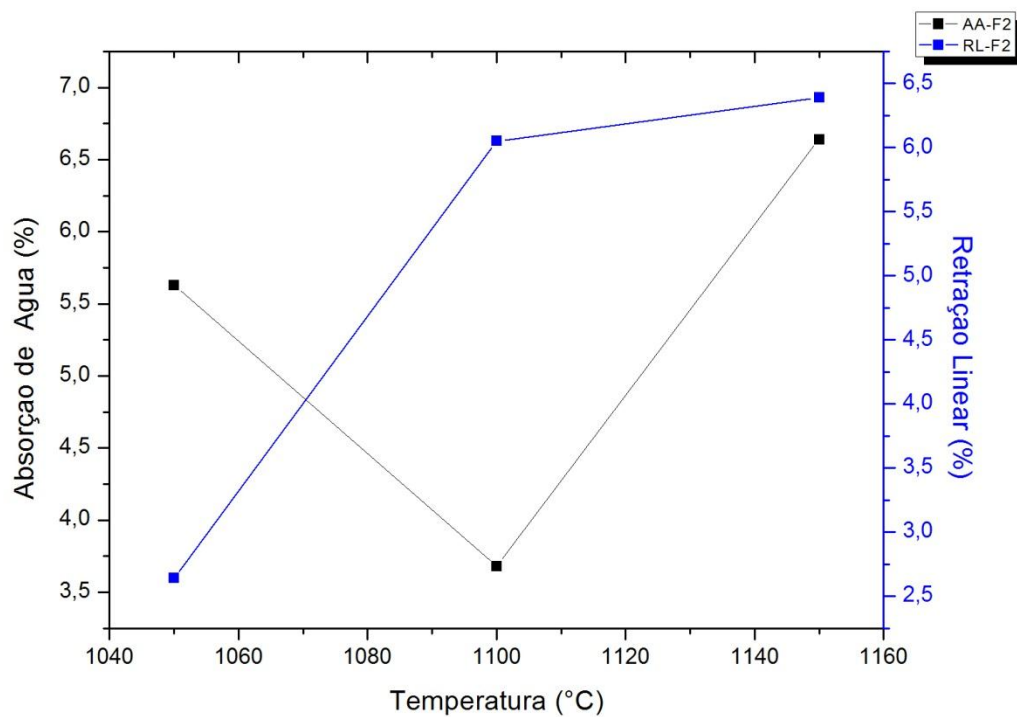


Fonte: Autor, 2013.

Neste gráfico da formulação 1 verifica-se que o ponto ótimo se localiza aproximadamente na temperatura de 1055 °C, ou seja a melhor temperatura para se trabalhar com essa formulação.

4.6.2. Formulação 2

Figura 16 - Diagrama de gresificação da formulação 2.

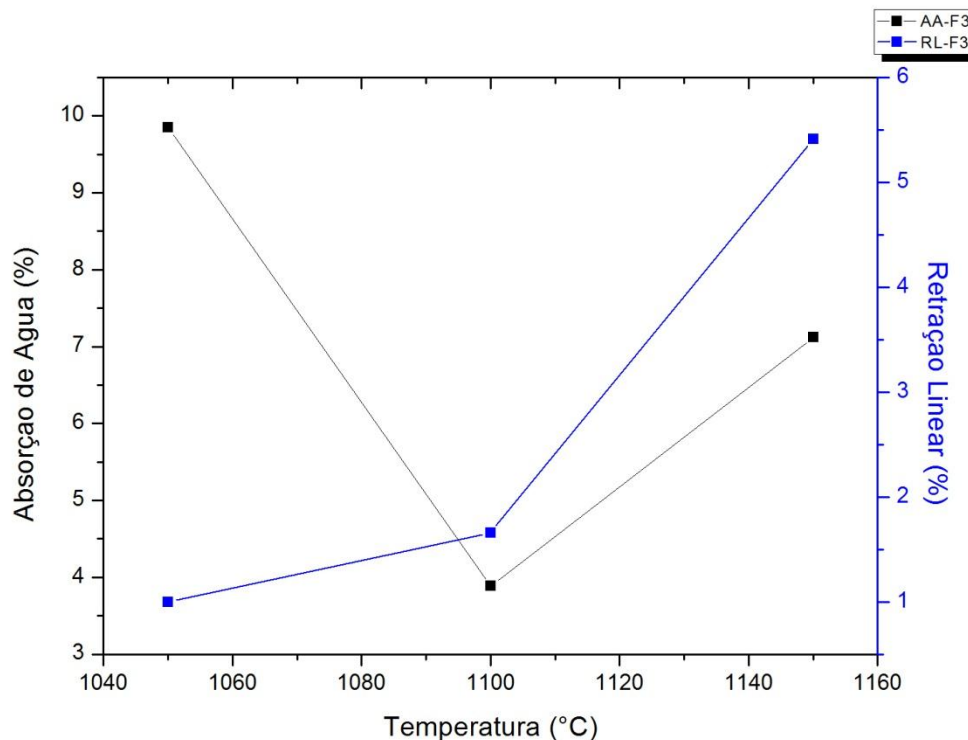


Fonte: Autor, 2013.

No diagrama referente à gresificação da formulação 2, o ponto de cruzamento das curvas se localiza aproximadamente na temperatura de 1070 °C.

4.6.3. Formulação 3

Figura 17 - Diagrama de gresificação da formulação 3.



Fonte: Autor, 3013.

No diagrama da formulação 3, o ponto de cruzamento ocorreu numa temperatura ainda mais elevada que nos casos anteriores, em torno de 1095 °C.

Os resultados mostrados anteriormente evidenciam um comportamento bem previsível quando se incorpora cinzas em massas cerâmicas: aumento da refratariedade. Nota-se que todos os resultados referentes à formulação 3, com maior teor de cinzas (25%) apresentaram-se menos expressivos que aqueles cujas massas continham menos cinza. O elevado teor de quartzo presente na cinza aparentemente foi o responsável pelo aumento de refratariedade desta formulação. Entretanto, a incorporação deste rejeito em teores desta ordem de magnitude não inviabiliza a fabricação de materiais cerâmicos a partir dessas formulações; pelo contrário, o elevado teor de cinza auxiliou no controle dimensional, caracterizado pela retração linear de queima, cujo efeito é de grande influência, principalmente em blocos cerâmicos e telhas.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho teve por objetivo relacionar a incorporação de rejeito proveniente dos fornos de olarias (cinza), em substituição parcial da argila pelo filito na fabricação de cerâmicas vermelha com a mesma resistência mecânica das cerâmicas vermelhas comuns. Deste estudo resultaram as seguintes conclusões:

- As composições químicas das matérias-primas e do rejeito se mostraram satisfatórias para a fabricação de cerâmica vermelha.
- De acordo com os resultados apresentados pode-se afirmar que houve uma diminuição significativa na absorção de água e porosidade nas formulações 2 e 3 até 1100 °C; no entanto houve aumento a 1150 °C. A formulação 1, apresentou aumento tanto na AA como na PA de acordo com o aumento da temperatura, mas no geral, estão dentro das especificações para aplicação em cerâmicas vermelhas.
- Quanto à retração linear de queima, todas as formulações apresentaram um aumento de retração com o aumento de temperatura, contudo a formulação 3 mostrou uma menor retração linear em relação às outras formulações, devido ao elevado teor de cinzas na formulação, que favoreceu o aumento de refratariade desta formulação.
- A resistência mecânica e propriedades tecnológicas, no geral para as três formulações, apresentaram melhoras. Isso indicou que é viável a utilização de cinza de lenha, em associação ao filito e argilas, na composição de formulações de cerâmicas tradicionais, de acordo com teores estudados neste trabalho.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os seguintes temas de trabalhos são sugeridos para continuidade e aperfeiçoamento deste trabalho:

- Aumentar os teores de cinza e filito nas massas cerâmicas, objetivando utilizar ao máximo esses componentes e observar suas influências no produto final.

- Diminuir as temperaturas de sinterização para as três formulações, para buscar uma economia de energia.

7. REFERÊNCIAS

- [1] Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas Cerâmica. Cerâmica vermelha para Construção: Telhas, Tijolos e Tubos. Sumário Executivo. SEBRAE, 2008.
- [2] IBIAPINA, N. N.; HILDEBRANDO, E. A. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de produtos cerâmicos fabricados no município de Marabá. 59ª Reunião Anual da SBPC. Belém, 2007.
- [3] <http://www.mineropar.pr.gov.br>. Acesso em 04 de abril de 2013.
- [4] BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, Ministério de Minas e Energia, Ano base 2004, Rio de Janeiro, 2005.
- [5] DEFÉCHE, J. Os resíduos urbanos um combustível – como queima – lo e recuperar a sua energia, revista “fontes alternativas”.
- [6] CALLISTER, W. D. J., Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC. 2002.
- [7] SHACKELFORD, J. F., Ciências dos materiais. 6. ed. São Paulo: Prentice Hall. 2008.
- [8] SANTOS, P. S. Ciência e tecnologia das argilas, v. 1, 2. ed., São Paulo: Edgard Blücher, 1989.
- [9] ABREU, S. F. Recursos minerais do Brasil. v. 1, Edgard Blücher, 1973.
- [10] GOMES, C. F. Argilas: o que são e para que servem. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1988.
- [11] MEIRA, J.M.L. Argilas: o que são, suas propriedades e classificações. Comunicações técnicas. Visa consultores. 2001.
- [12] <http://pt.wikipedia.org/wiki/Filito>. Acesso em 20 de abril de 2013.
- [13] COSTA, BOTELHO. Estudo e classificação das rochas por exame macroscópico. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1969.
- [14] MOTTA, J. F. M., CABRAL JUNIOR, M., TANNO, L. C. 1998. Panorama das Matérias-Primas Utilizadas na Indústria de Revestimentos Cerâmicos: Desafios ao Setor Produtivo. Cerâmica Industrial, v. 3, jul./dez. 1998.
- [15] VALERA, T.S., *et.al.* The effect of phyllite as a filler for PVC plastisols. In: Annual Technical Conference. Society of Plastics Engineers. 2002.

- [16] MORETO, A.L.R. Características química, mineralógica e tecnológica dos filitos da região de Itapeva-SP empregados na indústria de cerâmica. 2006. Dissertação (Mestrado em Geologia Exploratória) - Universidade Federal do Paraná, 2006.
- [17] CASTRO, M. Energia e meio ambiente – energias renováveis. 2001.
- [18] ROHDE, G. M.; ZWONOK, O.; CHIES, F.; SILVA, N. I. W. Cinzas de carvão fóssil no Brasil. Aspectos técnicos e ambientais. V. I. CIENTEC, Porto Alegre. 2006.
- [19] POZZOBON, C. E. Aplicações tecnológicas para a cinza do carvão mineral produzido no complexo termelétrico Jorge Lacerda. 1989. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
- [20] SILVA, N. I. W. J. R.; CHIES, F., ZWONOK, O. Uso de cinzas de carvão na construção civil. I ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, Anais. Canela – RS, 1997.
- [21] FIERN SINDUSCON – RN, SENAI – RN: Perfil industrial da cerâmica vermelha no Rio Grande do Norte 2002. FUNCERN.
- [22] BARBA, A., FELIU, C. et al., Materiais primas para La fabricación de soportes de baldosas cerâmicas, 1 ed. Castellón: Instituto de Tecnológico Cerâmica – AICE, 1997.
- [23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 13818: Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 1997.
- [24] ESTEVES, T. C. B. Uso de cinzas volantes da queima de biomassa na mitigação da RAS. Dissertação (mestrado em Engenharia de Materiais). Universidade de Aveiro. Aveiro-Portugal, 2010.
- [25] TAVARES, S. T. de P.; CASTAÑEDA, C.; SOARES, A. C. P. A Importância da Caracterização Química e Mineralógica do Feldspato para a sua Utilização na Indústria Cerâmica e Vidreira. Cerâmica Industrial. Vol. 10, no. 04. Jul/Ago 2005.
- [26] RIKER, S.R.L. Argilas da Região de Boa Vista-Roraima: Mineralogia, Geoquímica e Aplicação Tecnológica. Manaus: UFAM, 2005.