



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA
FACULDADE DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

MISHEILA DOS SANTOS SOUZA

**ESTUDO MICROESTRUTURAL DA CERÂMICA UTILITÁRIA COM A ADIÇÃO DE
CHAMOTE PRODUZIDA EM ICOARACI (BELÉM-PA)**

ANANINDEUA – PA

2019

MISHEILA DOS SANTOS SOUZA

**ESTUDO MICROESTRUTURAL DA CERÂMICA UTILITÁRIA COM A ADIÇÃO DE
CHAMOTE PRODUZIDA EM ICOARACI (BELÉM-PA)**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia com ênfase em tecnologia mineral, pela Universidade Federal do Pará.

Orientador: Prof. Dr. Daniel José Lima de Sousa
Coorientadora: Prof^a. Dr^a Raimunda Figueiredo da Silva Maia

ANANINDEUA – PA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)

- S719e Souza, Misheila dos Santos
Estudo Microestrutural da Cerâmica Utilitária Com a
Adição de Chamote Produzida em Icoaraci (Belém-PA) /
Misheila dos Santos Souza. — 2019.
56 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Daniel José Lima de Sousa
Coorientação: Profª. Dra. Raimunda Figueiredo da Silva
Maia
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de
Ciência e Tecnologia, Campus Universitário de Ananindeua,
Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2019.
1. Cerâmica Utilitária. 2. Chamote. 3. Microestrutura.
I. Título.

CDD 620.14

MISHEILA DOS SANTOS SOUZA

**ESTUDO MICROESTRUTURAL DA CERÂMICA UTILITÁRIA COM A ADIÇÃO DE
CHAMOTE PRODUZIDA EM ICOARACI (BELÉM-PA)**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia com ênfase em tecnologia mineral, pela Universidade Federal do Pará.

Aprovada em: ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Daniel José Lima de Sousa
UFPA – Orientador

Prof^a. Dr^a Raimunda Figueiredo da Silva Maia
UFPA – Coorientador

Prof. Dr. Silvio Bispo do Vale
UFPA – Membro Interno

Prof. MSc. Alacid do Socorro Siqueira Neves
UFPA – Membro Externo

ANANINDEUA – PA

2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar forças e conseguir seguir em frente com os meus objetivos.

Aos meus pais por me darem apoio e incentivo para a realização dos meus projetos.

Às minhas irmãs pelas palavras amigas e apoio para seguir em frente.

Ao meu amigo, e namorado Ronilson, pela atenção e paciência nos meus momentos mais difíceis.

Ao meu professor e orientador Prof. Dr. Daniel José Lima de Sousa pela confiança, paciência e orientação.

À minha coorientadora Prof^a. Dr^a. Raimunda Figueiredo da Silva Maia pelos ensinamentos e orientação.

Ao técnico do PRODENA-UFPA, Inaldo Silva, pela prestatividade e atenção.

A todos que tiveram participação direta ou indiretamente para a conclusão do trabalho.

Agradeço a todos.

“Fazer cerâmica é falar com as mãos.
É sonhar de dia e respeitar cada minuto.
É tratar a terra com carinho.
E mesclar tradição e design em
Incansáveis tentativas de acertos e erros.
Esperar... Dar tempo... Queimar...
Esmaltar procurando harmonia, leveza,
beleza!
Transformar o barro em cerâmica é deixar a
mágica acontecer.”

(Darly Pellegrini)

RESUMO

Devido à grande quantidade de resíduo cerâmico que é descartado por motivos de defeitos nas peças após a queima, utiliza-se a técnica de inserção dessa cerâmica moída, conhecida por chamote à massa cerâmica *in natura* a fim de melhorar as propriedades das peças cerâmicas. Observou-se em trabalhos prévios que a inserção de chamote em proporções adequadas na massa cerâmica facilita a secagem proporcionando a redução da retração linear. Icoaraci, Distrito localizado no município de Belém-PA, é reconhecido nacionalmente e até fora do país pela produção de artesanato cerâmico, suas produções variam desde elementos decorativos à elementos utilitários. Os principais utilitários são copos, pratos, panelas, tigelas, vasos, entre outros. No entanto, observou-se que em especial as panelas produzidas não podem utilizadas para o cozimento de alimentos, por não possuírem propriedades refratárias. De modo a solucionar essa questão, observou-se que no município de Bragança, localizado no nordeste do estado do Pará, são produzidas panelas refratárias usando chamote na massa cerâmica. Desta forma, no presente trabalho utilizou-se o chamote misturado na argila com o intuito de observar como as cerâmicas se apresentam com a incorporação do chamote. Os corpos de prova foram confeccionados com adição de chamote em porcentagens de 5%, 10%, 15% e 20% à massa cerâmica *in natura*. Após a queima, foram determinadas as propriedades físicas dos materiais através de ensaios de absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente e para o estudo da microestrutura foi realizado ensaios por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com auxílio do EDS (Energy Dispersive X-ray Detector). A partir do resultado dos ensaios físicos, foi constatado que a proporção com 10% de chamote, obteve os melhores resultados após a queima o que corrobora com a morfologia dessa proporção.

Palavras-chave: Cerâmica utilitária. Microestrutura. Chamote. Icoaraci.

ABSTRACT

Due to the large amount of ceramic residue that is discarded because of defects in the parts after the firing, the technique of insertion of this crushed ceramic, known as chamote, to the ceramic mass *in natura*, is used in order to improve the properties of ceramic pieces. It has been observed in previous works that the insertion of chamote in suitable proportions in the mass facilitates the drying providing the reduction of the linear retraction. Icoaraci, District located in the municipality of Belém-PA, is recognized nationally and even outside the country by the production of ceramic handicrafts, its productions range from decorative elements to utilitarian elements. The main utilities are glasses, dishes, pots, bowls, vases, etc. However, it has been observed that in particular the produced pans can not be carried to the fire, because they do not have refractory properties. In order to solve this question, it was observed that in the municipality of Bragança, located in the northeast of the state Pará, refractory pans are produced using chamote in the ceramic mass. Thus, in the present work the chamote mixed in the clay was used in order to observe how the ceramics present themselves with the incorporation of the chamote. The specimens were made with addition of chamotte in percentages of 5%, 10%, 15% and 20% to the ceramic mass *in natura*. After the firing, the physical properties of the materials were determined by water absorption, apparent porosity, apparent specific mass, and for the study of the microstructure, the tests were performed by Scanning Electron Microscopy (SEM) with the aid of EDS (Energy Dispersive X -ray Detector). From the results of the physical tests, it was verified that the proportion with 10% of chamote, obtained the best results after the firing, which corroborates with the morphology of this proportion.

Keywords: Utility ceramics. Microstructure. Chamote. Icoaraci.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do rio Paracuri	15
Figura 2 – Cerâmica de Icoaraci.....	16
Figura 3 – Processo da fabricação da cerâmica.....	23
Figura 4 – Secagem natural dos blocos cerâmicos	24
Figura 5 - Secagem artificial de blocos cerâmicos. a) secagem através de gases quentes e b) uso de ventilação para remover o ar saturado.	25
Figura 6 - Argila de Icoaraci.....	29
Figura 7 - a) peça cerâmica descartada. b) chamote	30
Figura 8 - Difratoograma da argila de Icoaraci.	32
Figura 9 - Difratoograma do chamote	32
Figura 10 - Molde utilizado para a confecção dos corpos-de-prova	33
Figura 11 – Corpos-de-prova moldados	34
Figura 12 - Corpos-de-prova após a secagem.	34
Figura 13 - Corpos-de-prova após a queima	35
Figura 14 - Micrografias em função do aumento de chamote. Aumento 50x. cerâmica Icoaraci (chamote) (a); b) 0%CH; c) 5%CH; d) 10%CH; e) 15%CH e f) 20%CH.....	41
Figura 15 - Micrografias das cerâmicas em função do aumento de chamote Aumento 500x. cerâmica Icoaraci (chamote) (a); b) 0%CH; c) 5%CH; d) 10%CH; e) 15%CH e f) 20%CH.....	42
Figura 16 -- Micrografias das cerâmicas em função do aumento de chamote Aumento 1500x. cerâmica Icoaraci (chamote) (a); b) 0%CH; c) 5%CH; d) 10%CH; e) 15%CH e f) 20%CH.....	43
Figura 17 – Micrografia obtida por MEV da cerâmica de Icoaraci e seu EDS.	44
Figura 18 - Micrografia obtida por MEV da cerâmica 0%CH e seu EDS.	45
Figura 19 - Micrografia obtida por MEV da cerâmica 5%CH e seu EDS.	46
Figura 20 - Micrografia obtida por MEV da cerâmica 10%CH e seu EDS.	46
Figura 21 - Micrografia obtida por MEV da cerâmica 15%CH e seu EDS.	48
Figura 22 - Micrografia obtida por MEV da cerâmica 20%CH e seu EDS.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Refratariedade de alguns materiais	22
Tabela 2 - classificação de resíduos sólidos.....	27
Tabela 3 - Composição química da argila.....	31
Tabela 4 - Composição química do chamote	31
Tabela 5 - Composições Analisadas.....	33
Tabela 8 - Resultados dos ensaios físicos.....	38
Tabela 9 - Porcentagem em peso dos elementos encontrados na cerâmica de Icoaraci.....	44
Tabela 10 - Porcentagem em peso dos elementos encontrados na cerâmica 0%CH.	45
Tabela 11 - Porcentagem em peso dos elementos encontrados na cerâmica 5%CH.	46
Tabela 12 - Porcentagem em peso dos elementos encontrados na cerâmica 10%CH.....	47
Tabela 13 - Porcentagem em peso dos elementos encontrados na cerâmica 15%CH.....	48
Tabela 14 - Porcentagem em peso dos elementos encontrados na cerâmica 20%CH.....	49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos específicos.....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 A cerâmica icoaraciense.....	15
2.2 Materiais cerâmicos	16
2.2.1 Cerâmica tradicional.....	17
2.4 Matéria-prima para fabricação da cerâmica	18
2.5 Cerâmica vermelha.....	19
2.6 Materiais cerâmicos refratários	20
2.7 Propriedades dos materiais cerâmicos refratários	21
2.7.1 Propriedades Físicas.....	21
2.7.2 Propriedades térmicas.....	22
2.8 Processo de fabricação da cerâmica.....	23
2.8.1 Preparação da massa	23
2.8.2 Conformação da peça	24
2.8.3 Secagem	24
2.8.4 Queima.....	25
2.9 Matérias-primas alternativas usadas na cerâmica	26
2.9.1 Resíduos sólidos	26
2.10 Chamote	27
2.11 Estudos sobre a incorporação de chamote na massa cerâmica	27
3 MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1 Materiais utilizados	29

3.1.1 Argila	29
3.1.2 Chamote	29
3.2 Caracterização das matérias-primas.....	30
3.2.1 Fluorescência de raios-X (FRX)	30
3.2.2 Difração de raios-X (DRX).....	31
3.3 Produção dos corpos de prova.....	32
3.2.2 Conformação dos corpos-de-prova	33
3.2.3 Secagem e Queima.....	34
3.3 Caracterização das Cerâmicas.....	35
3.3.1 Análise física	35
3.3.1.1 Massa específica aparente.....	36
3.3.1.2 Porosidade Aparente.....	36
3.3.1.3 Absorção de Água	36
3.4 Análise microestrutural	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.3 Ensaio físico	38
4.4 Análise microestrutural	40
4.5 Análise química (MEV/EDS).....	44
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	50
5.1 Conclusões	50
5.2 Recomendações	50
REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a industrialização vem crescendo significativamente nas grandes cidades do país, com isso, ocorre uma grande concentração de indústrias nesses locais. Com o surgimento dessas indústrias há a geração de grandes quantidades de resíduos e se houver destinação inadequada, causarão grandes danos ao meio ambiente. Dessa forma, vários pesquisadores já vêm estudando formas para dar um destino adequado para esses resíduos.

Uma alternativa bastante interessante encontrado pelos pesquisadores é o reaproveitamento desses resíduos na matéria-prima da cerâmica, desde que não altere as propriedades finais do produto. Portanto, esse reaproveitamento pode trazer benefícios ambientais e econômicos, pois reduzirá a disposição inadequada desses resíduos no meio ambiente além de poder reduzir custos com matérias-primas para a fabricação do produto.

Na indústria cerâmica há a ocorrência de grande quantidade de materiais com defeito, sendo destinados ao descarte. Em materiais cerâmicos é possível incorporar resíduos cerâmicos, o chamote, na matriz cerâmica, a fim de melhorar suas propriedades mecânicas.

Devido a cerâmica ser um material frágil, a incorporação do chamote tornou-se bastante viável para a produção de peças mais resistentes. Dessa forma, a cerâmica tornou-se objeto de estudo para vários pesquisadores a fim de descobrir formas para melhorar as propriedades desse material. O chamote é obtido após a fragmentação de peças cerâmicas descartadas, o seu uso melhora o grau de empacotamento, facilita a etapa de secagem e a morfologia das partículas (VIEIRA, 2004 apud GOUVEIA, 2008).

O estudo das propriedades dos materiais cerâmicos empregados na indústria tem como finalidade a busca de informações que possam auxiliar no desenvolvimento e no processo de fabricação dos produtos. Através dos resultados obtidos será possível melhorar a qualidade da cerâmica, seja por modificação em sua mistura ou por melhorias no processo de fabricação, através do controle de suas propriedades físicas e químicas (ANDRADE, 2009).

Este estudo é feito através da microestrutura do material cerâmico e é de grande importância, pois possibilita explicar diferentes propriedades e,

consequentemente, novas aplicações para os materiais. Dessa forma, pode-se observar o tamanho do grão, quantidade de fase vítrea, forma do poro, entre outros (BRAGANÇA; BERGMANN, 2004).

Este trabalho tem como foco a pesquisa da cerâmica utilitária produzida em Icoaraci, localizado no município de Belém-PA. A cerâmica produzida nessa localidade é voltada para a produção elementos utilitários e decorativos, ou seja, no processo de confecção de objetos cerâmicos como potes, frigideiras, jarras, pratos, copos, entre outros. Nesse contexto, o presente trabalho tem por objetivo fazer um estudo microestrutural na cerâmica com a incorporação de chamote, a fim de observar a sua morfologia e como a cerâmica se comporta com a adição de chamote. Os teores de incorporação nesse estudo foram de 5%, 10%, 15% e 20% de chamote. Os ensaios físicos foram realizados segundo a norma NBR ISO 5017 (ABNT, 2015), a fim de avaliar a massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água. A caracterização das peças cerâmicas foi realizada através do MEV/EDS.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

- Avaliar a microestrutura da cerâmica produzida após a incorporação do chamote.

1.1.2 Objetivos específicos

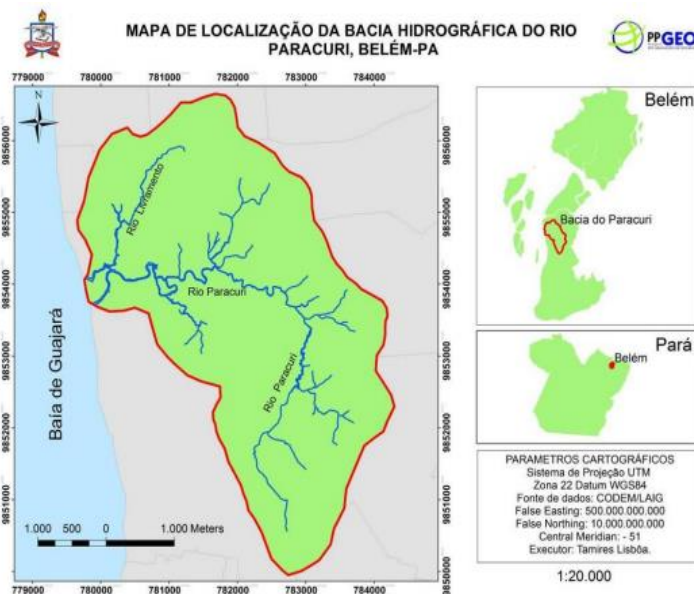
- Avaliar os efeitos da incorporação de chamote na cerâmica com as proporções de 5%, 10%, 15% e 20%;
- Avaliar a morfologia das peças cerâmicas produzidas;
- Encontrar a proporção de incorporação de chamote que permita a peça adquirir as melhores propriedades através dos ensaios físicos;
- Contribuir com os artesãos de Icoaraci para que consigam produzir peças cerâmicas com maior qualidade e assim agregar mais valor à peça.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cerâmica icoaraciense

O Distrito de Icoaraci, também conhecido como Vila Sorriso, localiza-se a 20 km da cidade de Belém, possui em média 300 mil habitantes. Atualmente, a cultura local está voltada predominantemente para a atividade ceramista. O Distrito localiza-se entre a Baía do Guajará e o Rio Paracuri, o que facilita a extração de argila, conforme a figura 1.

Figura 1 - Localização do rio Paracuri



Fonte - Lisboa, (2013)

O bairro do Paracuri, onde se concentra os produtores de artesanato, possui cerca de 80 (oitenta) olarias e envolve diretamente cerca de 220 (duzentos e vinte) ceramistas na produção de artesanato em cerâmica, com predominância no grafismo marajoara (SOUZA, 2010).

A cerâmica icoaraciense possui traços bastante marcante, na parte externa das peças são reproduzidos elementos do contexto amazônico (ribeirinhos, fauna e flora) e formas geométricas da cerâmica marajoara (MORAIS, 2015). Na figura 2 são apresentados alguns utilitários cerâmicos produzidos em Icoaraci.

Figura 2 – Cerâmica de Icoaraci



Fonte - <https://viagemeturismo.abril.com.br>.

A cerâmica de Icoaraci foi uma fusão da cerâmica local e da cerâmica marajoara. Na década de 60 o serigrafista Antônio Farias Vieira, mais conhecido como mestre “Cabeludo” foi o precursor na mudança da cerâmica de Icoaraci. Mestre “Cabeludo” maravilhado com os traços e grafismos vistos no livro “Na Planície Amazônica” de Raymundo Moraes, começou a reproduzir os traços marajoaras na fabricação de suas peças cerâmicas, dando assim, um toque artístico nas peças (CERÂMICA 2000/2005 apud MARTINS 2010).

O artesão Mestre Raimundo Cardoso também teve papel importante na cerâmica icoaraciense. Suas peças reproduziam cópias perfeitas da cerâmica marajoara. Dessa forma, suas peças ganharam destaque no mercado nacional pelo seu belo trabalho. A partir daí todos os artesãos de Icoaraci adotaram o trabalho artístico em suas peças devido ao retorno financeiro que lhes trazia (MARTINS, 2010).

E assim, com a adoção da arte marajoara, o artesanato de Icoaraci ganhou novas técnicas na sua finalização trazendo peças mais sofisticadas como forma de aquecer a venda no distrito.

2.2 Materiais cerâmicos

Conforme Callister (2002), a palavra cerâmica vem do vocábulo grego “keramikos”, que significa “matéria-prima queimada”.

De acordo com a ANFACER (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA) os materiais cerâmicos se destacam devido à

grande quantidade de matéria-prima que se encontra na Terra e também pela sua durabilidade. Os materiais cerâmicos são considerados os mais antigos, pois estudos comprovam que sua existência vem desde a pré-história. Com o advento da cerâmica, começou-se a substituir os objetos feitos com outros materiais como a pedra trabalhada, madeira, vasilhas, entre outros. Na Antiguidade, a cerâmica com característica industrial só surgiu nos grandes centros comerciais

Ainda segundo a ANFACER, no Brasil, a cerâmica teve início na ilha do Marajó. Estudos afirmam a presença de uma cerâmica simples e compreendia técnicas como: raspagem, incisão, excisão e pintura altamente elaboradas. Com a chegada dos portugueses começaram a ser instaladas as olarias, organizaram a mão-de-obra, introduziram o uso do torno e das rodadeiras. Dessa forma, a cerâmica passou a ser aperfeiçoada, dando-lhes peças com simetria na forma, melhor acabamento, além de reduzir o tempo de fabricação das peças.

O processo de fabricação da cerâmica compreende basicamente: preparação da matéria-prima, preparação da massa, formação das peças, tratamento térmico e acabamento (ABCERAM, 2016).

Os materiais cerâmicos consistem em compostos que são formados entre elementos metálicos e não-metálicos, para os quais as ligações interatômicas ou são totalmente iônicas ou são predominantemente iônicas com alguma natureza covalente. A cerâmica adquire propriedades desejáveis após tratamento térmico a altas temperaturas (CALLISTER, 2002).

Bogas (2013) caracteriza os cerâmicos como sendo materiais que apresentam alta dureza, comportamento frágil, baixa tenacidade e ductilidade, características isolantes, resistência ao desgaste, resistência química e grande resistência mecânica a altas temperaturas, e isso deve-se a estabilidade de suas fortes ligações químicas.

Os materiais cerâmicos são divididos em dois grupos: cerâmicas tradicionais e os materiais cerâmicos de engenharia (SMITH, 2012).

2.2.1 Cerâmica tradicional

As cerâmicas tradicionais compreendem três componentes básicos: argila, sílica e feldspato. São usados nas indústrias de construção civil e elétrica. A argila contém silicatos de alumínio hidratados ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) com pequenas

quantidades de outros óxidos como TiO_2 , FeO_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O (SMITH, 2012).

Ainda segundo Smith (2012), a argila constitui a maior parte do material que compõe o corpo cerâmico e é responsável por conferir propriedades que facilitam sua moldagem antes do cozimento de endurecimento.

2.4 Matéria-prima para fabricação da cerâmica

A argila é o principal constituinte da cerâmica. Dependendo da área de atuação a palavra argila pode ter diversos significados. Mais especificamente em mecânica dos solos e engenharia, é classificada como um material formado pelo grupo dos silicatos e composto por argilominerais e outros minerais associados como quartzo, feldspato, mica, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, carbonatos, matéria orgânica, sais solúveis, calcita, dolomita e outros minerais residuais, amorfos e não cristalinos (ANDRADE, 2009).

Quando em presença de água a argila adquire propriedades tais como: plasticidade, resistência mecânica a úmido, retração linear de secagem, compactação, tixotropia e viscosidade de suspensões aquosas (OLIVEIRA, 2011).

Quanto a classificação das matérias-primas que constitui a massa cerâmica são agrupados em plásticas e não plásticas. As plásticas atribuem à peça cerâmica trabalhabilidade e resistência mecânica a cru, e no processamento térmico, como estrutura e cor (MOTTA *et al.*, 2002).

As matérias-primas não plásticas atuam na fase de conformação e secagem da cerâmica, onde contribuem na diminuição de retração das peças, favorecendo a secagem. Na fase de processamento térmico, contribuem no controle de transformações, deformações e sinterização da peça cerâmica, devido a isso os materiais não plásticos são qualificados como inertes, vitrificantes e fundentes (MOTTA *et al.*, 2002).

Quanto a classificação das argilas, Motta *et. al* (2004), classificam as argilas em dois grupos, no qual, se baseiam pela coloração da cerâmica após a queima, na mineralogia e na aplicação industrial. São eles:

- Argilas de queima avermelhada: são usadas para a cerâmica estrutural, que são tijolos e placas cerâmicas de revestimentos,

agregados leves, vasos, potes, peças utilitárias e de decoração de corpo avermelhado.

- Argilas caulínicas: após a queima apresentam coloração clara e são matérias-primas para cerâmica sanitária, placas cerâmicas, porcelana e refratários.

2.5 Cerâmica vermelha

A cerâmica vermelha ou estrutural se concentra na produção de produtos voltados para a construção civil onde produz, tijolos maciços e furados, blocos de vedação e estruturais, telhas, manilhas, pisos rústicos e cerâmica utilitária (PRADO e BRESSIANI, 2012). Sua coloração avermelhada deve-se a quantidade de óxido de ferro presente na argila, além da presença de outros minerais presentes no processamento térmico (MAIA, 2012). Segundo a ANICER (Associação Nacional da Indústria Cerâmica), esse segmento é composto por 6.903 empresas, e geram um faturamento de R\$ 18 bilhões ao ano.

Esse setor se distribui por todo o país, envolvendo micro e pequenas empresas, quase sempre de organização simples e familiar. Dados mostram uma estimativa de empregos entre 250 a 300 mil (BUSTAMANTE; BRESSIANI, 2000).

Ainda segundo Bustamante e Bressiani (2000), esse setor movimentava cerca de 60 milhões de toneladas de matérias-primas ao ano. Para o valor da produção anual o valor fica ao redor de US\$ 2500 milhões. Essa renda fica nos locais de produção, onde propicia na geração de empregos na construção civil.

O setor ceramista ainda possui pouca competitividade entre as indústrias, devido a simplicidade da maioria das empresas e isso não gera desenvolvimento de tecnologia nas unidades produtoras. Em contrapartida, o mercado consumidor não exige produtos com especificações definidas, comprometendo a qualidade dos produtos (MAFRA, 1999).

O setor cerâmico no Brasil possui uma contribuição de 1% no PIB (Produto Interno Bruto) na economia do país, com a participação de micro, pequenas, médias e grandes empresas, estando localizadas em praticamente todos os estados se distribuindo tanto no interior como nas regiões metropolitanas do país (ETENE, 2010).

Dados de 2008, revelou que a cerâmica vermelha obteve um PIB correspondente por cerca de 0,4%, valor equivalente a R\$ 6,8 bilhões/ano. Essa produção envolve cerca de 5.500 fabricas registradas e 2.500 unidades de produção, incluindo olarias e microempresas de operação informal, não automatizadas, com processos rústicos, manuais e sem extrusão mecânica (ETENE, 2010).

2.6 Materiais cerâmicos refratários

As cerâmicas refratárias possuem como características a capacidade de resistirem a temperaturas elevadas sem fundirem ou decomporem, e a capacidade de permanecerem não reativo e inertes quando expostas a ambientes severos (CALLISTER, 2002).

Segundo Smith (2012), a maioria dos refratários industriais é feito de misturas de componentes cerâmicos. Suas propriedades são resistência a altas e baixas temperaturas, densidade a granel e porosidade. Os refratários densos que apresentam baixa porosidade possuem maior resistência a corrosão, erosão e penetração por líquidos e gases.

Santos (1989) destaca outras características que as cerâmicas refratárias devem apresentar que são: baixo coeficiente de dilatação térmica, alta resistência à compressão, impactos, saltos térmicos, e não devem reagir com substancias que tenha contato.

Os refratários são divididos em acídicos e básicos. Os refratários acídicos são compostos basicamente por minerais a base de sílica e alumina. Os refratários básicos, por sua vez, são compostos por minerais a base de magnésio e cálcio (SMITH, 2012).

Os refratários acídicos por resistirem à altas temperaturas são utilizados como revestimentos de fornos para a fabricação de aço e vidro, onde resistem a temperaturas aproximadas a 1700°C. Os refratários básicos por possuírem um alto teor de magnésia (92% a 95%), são utilizados em fornos para a produção de aço (SOBROSA, 2014).

Em relação ao processo de fabricação a norma NBR 10237 (2001) os materiais refratários são classificados em: materiais conformados e não

conformados. Os materiais conformados envolvem os tijolos, telhas, blocos, entre outros. E os não conformados são os concretos e argamassas refratárias, etc.

2.7 Propriedades dos materiais cerâmicos refratários

2.7.1 Propriedades Físicas

- Densidade de massa aparente

A densidade aparente é calculada através da relação entre a massa e o volume de um material sendo expressa por kg/m^3 . A densidade está diretamente relacionada com resistência mecânica, resistência à corrosão e condutividade térmica, pois quanto maior a densidade, maiores serão essas propriedades (DUARTE, 2005).

- Porosidade

Segundo Akiyoshi (2004) a porosidade se caracteriza em um material capaz de armazenar fluidos em seus espaços vazios. Segundo a IUPAC, União Internacional de Química Pura e Aplicada, a porosidade é classificada como porosidade aberta, onde os poros se comunicam entre si e porosidade fechada, em que os vazios são isolados uns dos outros.

A porosidade tem influência nas propriedades dos materiais refratários como a condutibilidade térmica, a resistência mecânica e a resistência à abrasão (RAAD, 2008).

A porosidade deve ser controlada para se obter características desejadas para um determinado material. A redução da porosidade confere ao material o aumento das características como resistência, capacidade de suportar carga e resistência ao ataque por materiais corrosivos (CALLISTER, 2002).

- Distribuição granulométrica

A distribuição granulométrica prevê o grau de empacotamento do material através do tamanho das partículas. Essa distribuição é muito importante pois possibilita a obtenção de características como densidade, permeabilidade, dispersão de suspensões, entre outros (DUARTE, 2005).

É através do empacotamento de partículas que o material cerâmico adquire propriedades refratárias, devido ao arranjo das partículas de diferentes tamanhos, sendo assim, com o menor volume de vazios é possível obter maior resistência mecânica (SOBROSA, 2014).

2.7.2 Propriedades térmicas

- Refratariedade

A refratariedade consiste na capacidade do material resistir a altas temperatura sem atingir seu ponto de fusão (RAAD, 2008).

A tabela 1 indica a refratariedade de alguns materiais.

Tabela 1 - Refratariedade de alguns materiais

Material Refratário	Refratariedade (°C)
Quartzito	1730-1750
Produtos de alta alumina	1780-2000
Produtos de magnesita	Acima de 2300
Argila Refratária	1580-1750
Caulim	1740-1770
Produtos semiácidos	1610-1710
Produtos de cromo-magnesita	Acima de 2000
Produtos de dolomita	Acima de 2000
Produtos de chamote	1610-1750

Fonte - Budnikov (1964 apud Sobrosa 2014)

Segundo Sobrosa (2014) a refratariedade do material está diretamente ligada a composição química do mesmo, onde esses compostos apresentam um alto ponto de fusão.

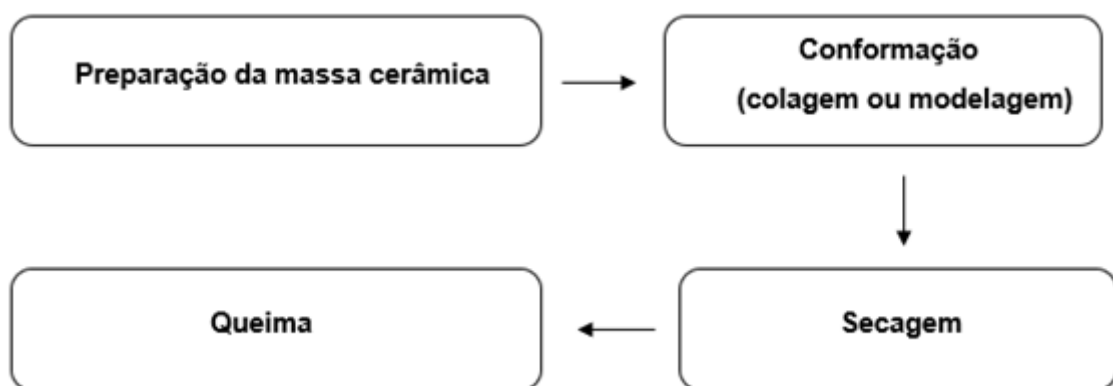
- Resistência ao choque térmico

A resistência ao choque térmico é a capacidade que os materiais refratários possuem de acumular ou conduzir calor sem que ocorram fissuras quando sujeitos a variações bruscas de temperatura (SEGADÃES, 1997).

2.8 Processo de fabricação da cerâmica

O processo de fabricação envolve basicamente 4 etapas: preparação da massa, conformação das peças, secagem e queima. A figura 3 apresenta as etapas para fabricação da cerâmica.

Figura 3 – Processo da fabricação da cerâmica



Fonte - Autoria Própria (2019)

2.8.1 Preparação da massa

O preparo da massa cerâmica consiste basicamente na mistura das matérias-primas, onde se busca características ideais para se obter uma boa moldagem, secagem e queima, dando melhor qualidade ao produto final. A melhor composição para a massa cerâmica requer plasticidade e fusibilidade, onde será possível obter boa trabalhabilidade e resistência mecânica de queima (CALDAS, 2012).

2.8.2 Conformação da peça

Essa etapa é responsável por dar forma à peça cerâmica. Nas indústrias, esse processo é feito por extrusão, onde uma massa na forma de uma pasta plástica e rígida é atravessada através de um molde, onde é cortada em tamanhos pré-determinados (CALDAS, 2012).

Antes desse processo as matérias-primas precisam estar dosadas em plásticas e não-plástica, isso ajuda a ajustar a plasticidade da mistura às condições adequadas de processamento (MEIRA, 2001 apud CALDAS 2012).

2.8.3 Secagem

A secagem é a etapa mais importante do processo de produção da cerâmica, pois a água precisa ser eliminada para que no processo de queima das peças não ocorram fissuras indesejáveis. Para evitar o aparecimento de alguns defeitos por presença de água deve-se realizar uma secagem controlada (GOUVEIA, 2014). Essa secagem é feita das seguintes formas:

- Secagem natural

Consiste na utilização dos agentes atmosféricos como o ar e a luz solar, sem o uso de qualquer equipamento mecânico (GOUVEIA, 2008).

Figura 4 – Secagem natural dos blocos cerâmicos



Fonte - Gouveia, (2008)

Essa secagem é de suma importância, pois se o bloco cerâmico for levado ainda úmido para a etapa seguinte, estufa (secagem artificial) ou ao forno (queima), a água contida no interior do bloco causará tensões internas, causando defeitos e até a perda do produto (CARDOSO, 1995).

- Secagem artificial

Para essa secagem são utilizados mecanismos que promovem a evaporação da água, tais como: utilização de gases quentes e o uso de ventiladores para a remoção do ar saturado (GOUVEIA, 2008).

Figura 5 - Secagem artificial de blocos cerâmicos. a) secagem através de gases quentes e b) uso de ventilação para remover o ar saturado.



Fonte: Gouveia, 2008.

2.8.4 Queima

Segundo a ABCERAM, é nesta etapa que os produtos cerâmicos adquirem suas propriedades finais, através das transformações físicas, químicas e mecânicas causadas pela ação do fogo. Durante esse processo a cerâmica sofre uma série de transformações como: perda de massa, desenvolvimento de novas fases cristalinas, formação de fase vítrea e soldagem dos grãos.

Segundo Caldas (2012), o processo de queima há quatro fases presentes, que são:

- Pré-aquecimento: é retirada toda a água residual através do aquecimento gradual. Esse processo dura de 8 a 13 horas, chegando até 650°C;

- Caldeamento: nessa fase o corpo cerâmico adquire as características de dureza, estabilidade, resistência aos agentes físicos e químicos e a coloração.
- Patamar: é mantida a temperatura máxima por um determinado período de tempo.
- Resfriamento: para evitar o aparecimento de trincas, o resfriamento é feito de forma gradual.

2.9 Matérias-primas alternativas usadas na cerâmica

2.9.1 Resíduos sólidos

Atualmente a geração de resíduos sólidos urbanos tem se tornado um grave problema ambiental urbano, social e de saúde pública. Tendo em vista o crescimento populacional, o desenvolvimento tecnológico, a produção e o consumo, há uma maior produção de resíduos sólidos e conseqüentemente os problemas relacionados a esses resíduos serão agravados, pois são descartados de forma irregular, causando danos ao meio ambiente como: contaminação da água, do solo e até mesmo na saúde da população através de alimentos contaminados (SISSINO, 2003).

De acordo com a lei nacional de resíduos sólidos (Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010), no capítulo dois, artigo terceiro, é de responsabilidade do poder público, fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes pelo ciclo de vida do produto, ou seja, serão responsáveis por todo o processo do produto até sua disposição final.

Para que os resíduos sólidos tenham um destino adequado é preciso que seja classificado de acordo com as normas brasileiras. A norma responsável por essa classificação é a NBR 10.004 (ABNT,2004) onde define que os resíduos sólidos são os que se encontram nos estados sólidos e semi-sólidos, resultados de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, de serviços e de varrição. Nesta norma os resíduos são classificados em perigosos e não perigosos de acordo com a tabela 2.

Tabela 2 - classificação de resíduos sólidos

Classificação dos resíduos sólidos	
Classe I	Classe II
Perigosos	Não perigosos
	Tipo A
	Tipo B
	Não-inertes
	Inertes

Fonte - Adaptado da norma ABNT 10.004 (2004)

Os resíduos que são gerados por empresas podem ter destinações adequadas, ou seja, podem ser transformados como fonte energética ou como matéria-prima. No caso da matéria-prima, podem ser reciclados ou introduzidos no processo produtivo que o gerou (CAMPREGHER, 2005).

2.10 Chamote

O chamote é um material obtido através de peças cerâmicas descartadas. Para se chegar ao chamote essas peças são moídas até chegar na granulometria desejada.

Esse material a priori por não possuir utilidade são descartados de forma irregular. Recorrentemente esse material é depositado a céu aberto nas ruas ou em beiras de rios causando graves problemas ao meio ambiente.

Uma forma de reduzir esses impactos é reutilizar essas peças maceradas (chamote) na massa cerâmica. Segundo Vieira *et al.* (2004) devido ao chamote apresentar granulometria mais grosseira do que a argila poderá melhorar significativamente o grau de empacotamento das partículas, além de facilitar a etapa de secagem. O chamote age como um material inerte até sua temperatura de obtenção, em valores maiores do obtido haverá o desenvolvimento de reações de sinterização.

2.11 Estudos sobre a incorporação de chamote na massa cerâmica

A incorporação de resíduos na massa cerâmica vem sendo bastante estudado em busca de matérias-primas alternativas, pois o seu uso, além de favorecer a redução da temperatura de sinterização, fornece melhor qualidade no

produto final, contribui na plasticidade da argila, facilita a secagem, reduz a retração das peças, contribui também com o meio ambiente, pois assim será dado um destino adequado para esses resíduos (CRUZ, 2016).

Santos (2007) mostrou em seu estudo que é possível adicionar chamote (resíduos cerâmicos) na argila, gerando produtos de qualidade. Sua adição facilitou a etapa de secagem, que gerou uma redução na retração linear e absorção de água.

Ripoli Filho (1997) também estudou sobre a incorporação de chamote na argila, e chegou às seguintes conclusões: para se obter cerâmicas com propriedades desejáveis é necessário que a quantidade de chamote e a temperatura de queima estejam adequados, as tensões de ruptura e absorção de água obedeceram as normas brasileiras, a retração é controlada com a adição do chamote, o resíduo contribui potencialmente na qualidade dos produtos.

Gouveia e Sposto (2009) estudando as propriedades físico-mecânicas da cerâmica vermelha com a incorporação de chamote, verificaram que o chamote pode ser usado na cerâmica, pois em seus resultados, constataram que houve diminuição na retração linear e de queima o que possibilita na diminuição de trincas por retração.

Até sua temperatura de obtenção, o chamote age como um material inerte, e a partir daí, começa a reagir com a base do corpo cerâmico. O chamote pode ser adicionado à massa cerâmica como um componente não plástico (GOUVEIA, 2008).

De acordo com Santos (2007) ao adicionar o chamote na massa cerâmica serão observados que a retração de secagem e de queima terá valores menores; haverá aumento da resistência mecânica das peças queimadas e a refratariedade das peças serão maiores.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais utilizados

As matérias-primas utilizadas neste trabalho foram: argila e chamote. Essas matérias-primas foram adquiridas na olaria C&K, localizado no bairro do Paracuri, em Icoaraci-Belém-Pa.

3.1.1 Argila

Foi utilizada a argila originada da várzea do rio Paracuri, localizado em Icoaraci. A figura 6 apresenta a argila obtida em Icoaraci e foi utilizada para a confecção dos corpos de prova.

A argila passou por um processo de limpeza, a fim de retirar impurezas, como raízes de plantas ou qualquer outro material que possa comprometer a qualidade da peça.

Figura 6 - Argila de Icoaraci

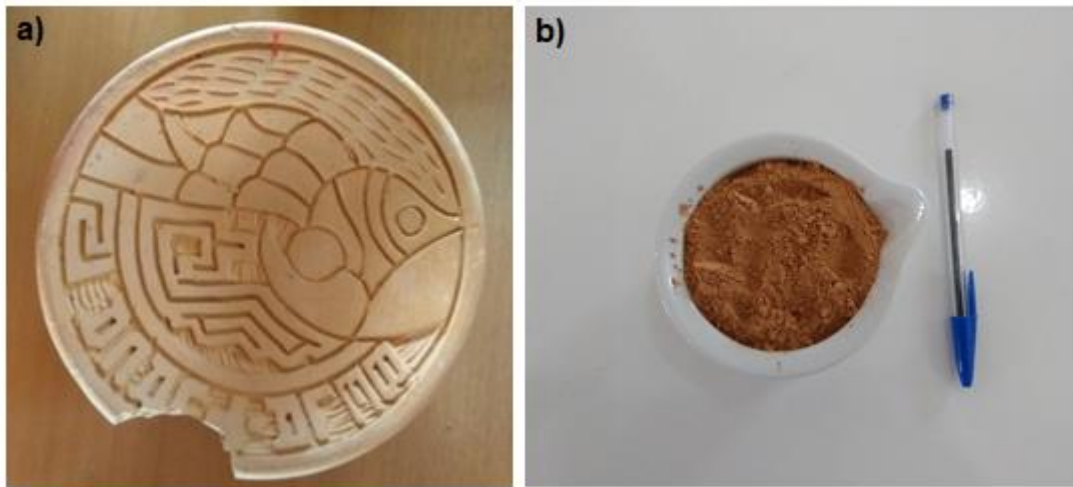


Fonte - Autoria Própria (2019)

3.1.2 Chamote

O chamote foi preparado com o resíduo de produção, isto é, utilizando as peças que apresentam defeitos, figura 7 (a). Após a maceração foi utilizada peneira de 80# e o passante foi utilizado para a obtenção do chamote, figura(b).

Figura 7 - a) peça cerâmica descartada. b) chamote



Fonte: Autoria Própria (2019)

3.2 Caracterização das matérias-primas.

As matérias primas foram caracterizadas quanto a sua composição química por Fluorescência de Raios-X (FRX) e sua mineralogia realizado por ensaios de Difração de Raios-x.

3.2.1 Fluorescência de raios-X (FRX)

As tabelas 3 e 4 apresentam a composição química da argila e do chamote obtida por Gomes (2018), considerando que as matérias primas são da mesma localidade.

Nas tabelas, observa-se que a argila e o chamote apresentam em maior porcentagem os óxidos de silício (SiO_2) e alumínio (Al_2O_3) e Segundo Santos (1989) a relação $(\text{SiO}_2) / (\text{Al}_2\text{O}_3)$ superiores a 1,17 indicam a presença dos minerais caulinita e quartzo em elevadas quantidades. Fazendo essa relação com a argila e o chamote obteve-se valores de 2,59 e 3,17 respectivamente.

Tabela 3 - Composição química da argila

Componente	Porcentagem em massa (%)
SiO ₂	55,70
Al ₂ O ₃	21,50
Fe ₂ O ₃	6,21
K ₂ O	2,47
TiO ₂	1,34
MgO	3,23
CaO	0,14
MnO	0,13
PF	8,43

Fonte: Gomes (2018)

Tabela 4 - Composição química do chamote

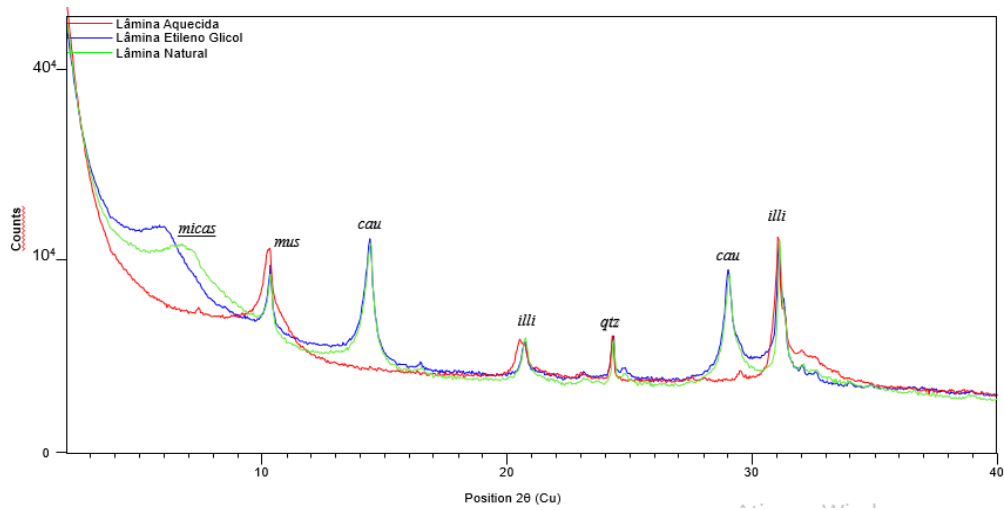
Componente	Porcentagem em massa (%)
SiO ₂	62,20
Al ₂ O ₃	19,60
Fe ₂ O ₃	6,85
K ₂ O	2,11
TiO ₂	1,30
MgO	1,21
CaO	0,13
MnO	0,24
PF	5,79

Fonte: Gomes (2018)

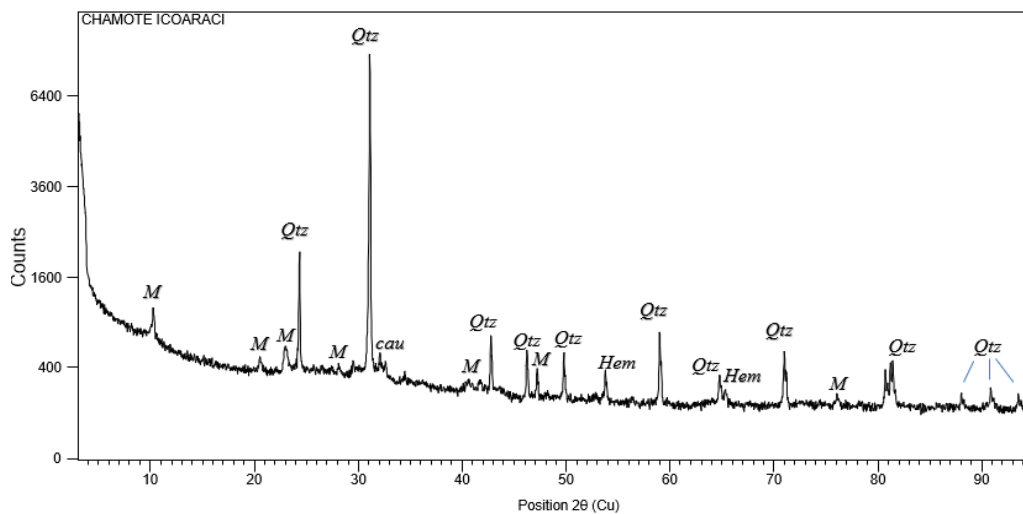
3.2.2 Difração de raios-X (DRX)

O método de DRX foi empregado por Gomes (2018) para a análise da mineralogia da argila e do chamote destacando que no presente trabalho a argila e os resíduos cerâmicos são provenientes da mesma localidade.

Na figura 8 é apresentado o difratograma da argila de Icoaraci. As fases cristalinas encontradas foram caulinita, quartzo, illita e muscovita. Na figura 9 é apresentado o difratograma do chamote e as fases cristalinas encontradas foram a caulinita, quartzo, micas e hematita.

Figura 8 - Difratoograma da argila de Icoaraci.

Nota: mus= muscovita; cau= caulinita; illi= illita; qtz= quartzo; micas = micas não definidas.
Fonte: Gomes (2018)

Figura 9 - Difratoograma do chamote

Nota: Qtz= quartzo; M= minerais micáceos não definidos; Hem= hematita; cau= caulinita.
Fonte: Gomes (2018)

3.3 Produção dos corpos de prova

Os procedimentos adotados para o desenvolvimento deste trabalho foram: formulação das massas cerâmicas; conformação; secagem e queima dos corpos-de-prova e caracterização das cerâmicas.

Foram produzidas composições de argila e chamote, sendo uma composição com apenas argila. As proporções estão apresentadas na tabela 5.

Tabela 5 - Composições Analisadas

Composição	Chamote (%)	Argila (%)
Mistura I	0	100
Mistura II	5	95
Mistura III	10	90
Mistura IV	15	85
Mistura V	20	80

Fonte - Autoria Própria (2019)

As matérias-primas, argila e chamote, foram pesadas a fim de misturar nas proporções acima citadas.

3.2.2 Conformação dos corpos-de-prova

O chamote foi adicionado à argila nas proporções de 5%, 10%, 15% e 20% em peso. Os corpos de prova foram confeccionados manualmente em um molde de alumínio (figura 10) possuindo as seguintes dimensões 10 cm de comprimento, 5 cm de largura e 1 cm de espessura. A figura 11 apresenta os corpos de prova após a moldagem.

Figura 10 - Molde utilizado para a confecção dos corpos-de-prova



Fonte - Autoria Própria (2019)

Figura 11 – Corpos-de-prova moldados



Fonte - Autoria Própria (2019)

3.2.3 Secagem e Queima

Após a conformação os corpos de prova foram colocados em um tabuleiro de alumínio (figura 10) para que fosse realizado a secagem, durante duas semanas, a fim de eliminar a água restante. Após a secagem, os corpos de prova foram submetidos a queima em temperatura de 600°C durante 5 horas. Essa é a temperatura que os artesãos de Icoaraci queimam suas peças.

Figura 12 - Corpos-de-prova após a secagem.



Fonte - Autoria Própria (2019)

Os corpos de prova foram queimados na olaria C&K localizada no bairro do Paracuri em Icoaraci-PA. A figura 11 é a foto dos corpos de prova após o processo de queima. A temperatura de queima utilizada foi de 600°C.

Figura 13 - Corpos-de-prova após a queima



Fonte - Autoria Própria (2019)

3.3 Caracterização das Cerâmicas

Os corpos de provas já queimados passaram por análises de massa específica aparente (MEA), porosidade aparente (PA), absorção de água (AA) e análise microestrutural por microscopia eletrônica de varredura (MEV) acoplado ao EDS (Energy Dispersive X-ray Detector).

3.3.1 Análise física

Os ensaios físicos foram realizados no laboratório de química da UFPA, campus Ananindeua. Para os ensaios de massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água foi usada balança analítica com precisão de 0,01g, da marca Chyo, modelo JK-200.

Para a determinação da massa do corpo de prova saturados, as amostras ficaram em um recipiente com água, com duração de 24 horas. Após as 24 horas foram determinados a massa dos corpos de prova imerso e posteriormente foram determinados a massa dos corpos de prova saturados.

3.3.1.1 Massa específica aparente

A massa específica aparente é a razão entre a massa do corpo e seu volume, que quantifica o volume total dos poros fechados com o seu grau de leveza (SANTOS, 1989).

A análise será de acordo com a equação (1).

$$MEA = \frac{P_s}{P_u - P_i} \quad (1)$$

Onde:

MEA= é a massa específica aparente (em g/cm³);

P_s = é a massa da amostra seca (g);

P_u = é a massa da amostra saturada (g);

P_i = massa da amostra imersa (g).

3.3.1.2 Porosidade Aparente

A porosidade aparente é calculada através do volume de poros abertos em relação ao seu volume total. O ensaio será de acordo com a NBR ISO 5017 (2015), representada na equação (2).

$$PA (\%) = \frac{ME - MS}{ME - MI} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

PA: porosidade aparente (em %);

ME: peso do corpo de prova saturado (g);

MS: peso do corpo de prova seco (g);

MI: peso do corpo de prova imerso em água (g).

3.3.1.3 Absorção de Água

Está relacionada com a quantidade de água em porcentagem que o corpo absorve após a queima, de acordo com a equação (3).

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

Onde:

AA: absorção de água (em %);

P_u: peso do corpo saturado (g);

P_s: peso do corpo de prova seco após a queima (g).

3.4 Análise microestrutural

As análises dos corpos de prova foram realizadas no Laboratório PRODENA da UFPA, Campus Guamá, com o auxílio do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). Esse equipamento foi utilizado para fazer a análise microestrutural do material e a análise da composição do material com o auxílio da Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS).

O microscópio eletrônico de varredura utiliza um feixe de elétrons de pequeno diâmetro a fim de explorar a superfície da amostra, ponto a ponto, por linhas sucessivas e assim, transmitir o sinal do detector a uma tela catódica cuja a varredura está perfeitamente sincronizada com aquela do feixe incidente (DEDAVID *et al*, 2007).

Ao MEV pode ser acoplado outro sistema, o EDS (Espectrometria por Energia Dispersiva). Esse sistema consiste na emissão de raios X, onde é possível determinar a composição do material tanto qualitativa quanto semiquantitativa em regiões que possuem em até 1µm de diâmetro (DUARTE *et al.*, 2003).

Para a realização da análise do MEV/EDS as amostras foram colocadas em um suporte metálico através de um adesivo condutor dupla face e em seguida foram colocadas no equipamento Hitachi, modelo TM3000 operando a 5 kV. As imagens obtidas foram da fratura das amostras.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.3 Ensaio físicos

A partir da realização dos ensaios chegou-se aos seguintes resultados, conforme a tabela 8.

Tabela 6 - Resultados dos ensaios físicos.

Composição	AA (%)	PA (%)	MEA (g/cm³)
0%	18,35	29,17	1,58
5%	18,05	27,99	1,57
10%	17,54	27,17	1,62
15%	19,67	30,76	1,55
20%	19,75	30,79	1,56
Ref	≤25,00	≤35,00	1,50 a 2,00

Nota: AA=Absorção de água; PA=Porosidade aparente; MEA=Massa específica aparente; Ref = referência trabalho de Souza Santos (1975).

Fonte: Autoria Própria (2019)

Para a obtenção de cerâmica refratária a absorção de água (AA), a porosidade aparente (PA) e a massa específica aparente (MEA) exercem um papel muito importante para a resistência do material.

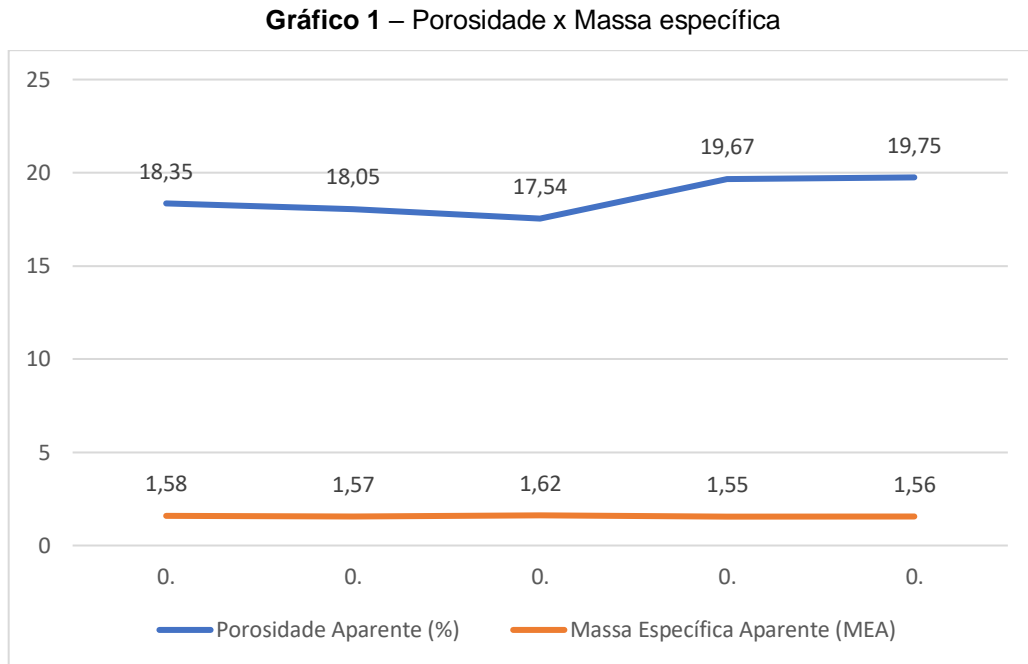
A quantidade de água que o corpo absorve está relacionado com a quantidade de poros abertos que ele possui, estando diretamente ligado à porosidade do material.

Segundo Pedroti (2011) o aumento da porosidade em materiais refratários está relacionado à diminuição da resistência mecânica do material, portanto torna-se necessário que esse parâmetro seja reduzido ao máximo. Ainda segundo o autor, o efeito negativo da porosidade sobre a resistência mecânica está relacionado a dois motivos: a) os poros reduzem a área de seção reta (ocupada pela fase sólida) na qual a carga é aplicada, b) os poros agem como concentradores de tensões, influenciando diretamente tanto no módulo de elasticidade como na resistência e tenacidade à fratura das cerâmicas.

A massa específica aparente (MEA) quantifica o volume dos poros fechados que o corpo possui, portanto quanto maior MEA, maior a resistência mecânica do material.

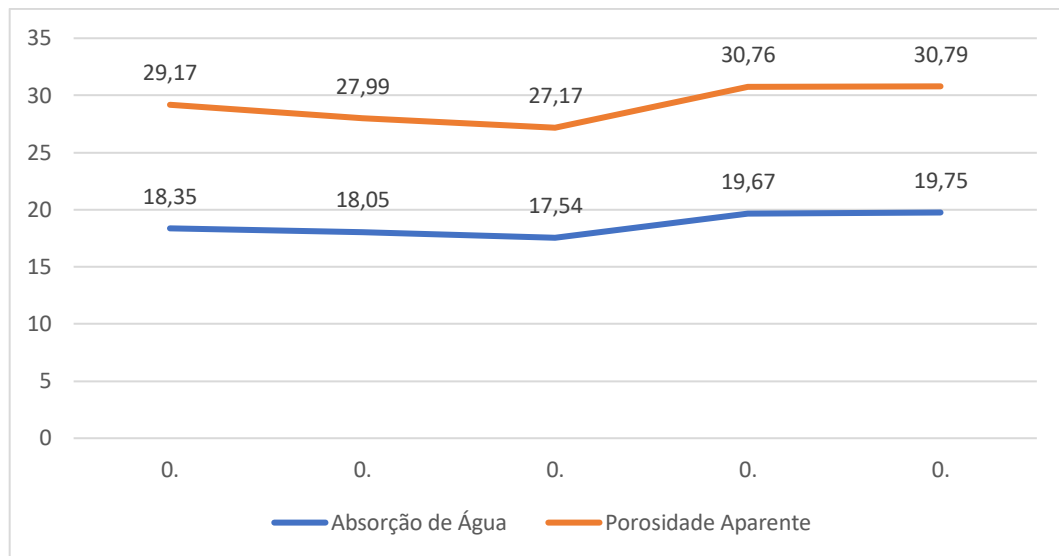
A partir dos resultados das análises físicas observou-se que a proporção que obteve melhores resultados foi a substituição com 10% de chamote na massa cerâmica.

O aumento da massa específica pode ser associado com a diminuição da porosidade, conforme mostrado no gráfico 1.



Fonte - Autoria Própria (2019)

O gráfico 2 mostra a proporção das amostras sobre a porosidade e absorção de água, a partir dos resultados obtidos pôde-se notar que são diretamente proporcionais.

Gráfico 2 – Porosidade x Absorção de Água

Fonte - Autoria Própria (2019)

4.4 Análise microestrutural

A análise microestrutural foi feita com o auxílio do microscópio eletrônico de varredura (MEV). As imagens foram realizadas com magnificação de 50x, 180x, 500x e 1500x com uma voltagem de aceleração de 5 kV.

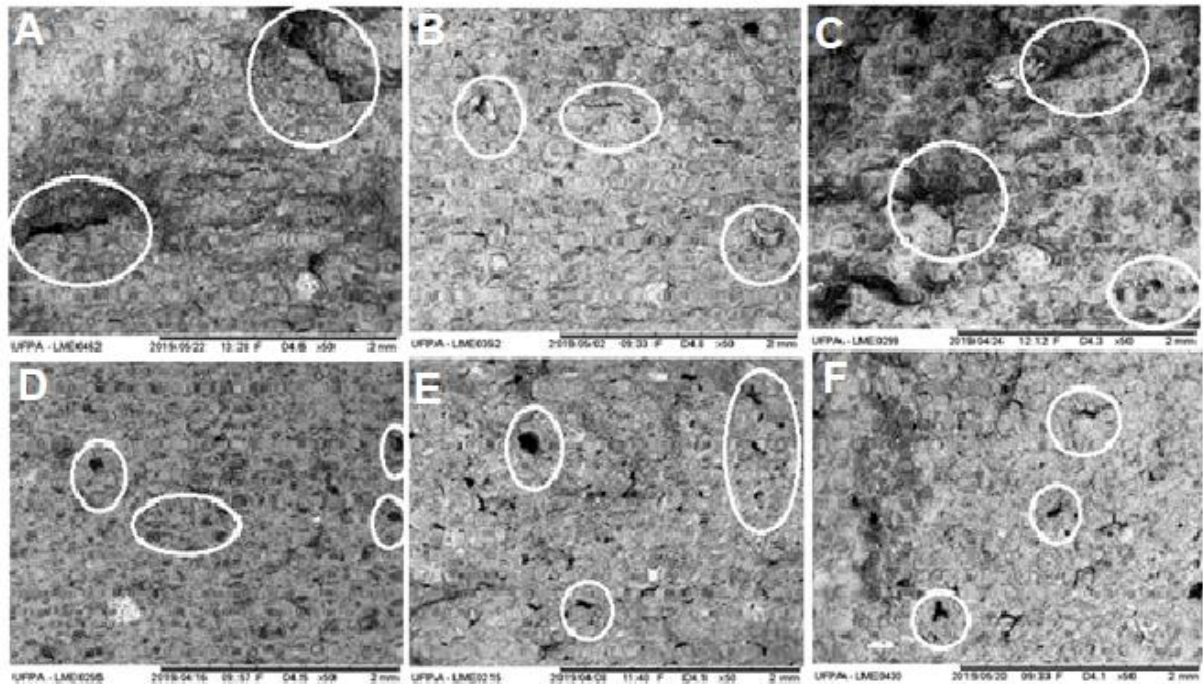
A análise foi feita a fim de comparar a morfologia das amostras em função do aumento da quantidade de resíduo cerâmico (chamote) na argila. A temperatura de queima dos corpos de prova foi de 600°C. Para a análise morfológica foram discutidos a presença dos grãos e poros presentes na massa cerâmica.

Nas figuras 14, 15 e 16 são apresentadas as morfologias da superfície de fratura das cerâmicas em função do aumento da quantidade de chamote na massa cerâmica. Nas figuras as cerâmicas são comparadas nos aumentos de 50x, 500x e 1500x respectivamente.

Na figura 14 são apresentadas as micrografias com o aumento de 50x e pode-se observar a presença de falhas e poros na superfície das cerâmicas. A figura 14(a) é da cerâmica resíduo da produção de Icoaraci, que foi utilizada para a produção de chamote. A figura 14(b) composição 0%CH que é produzida em Icoaraci, apresenta a superfície com textura bastante rugosa, apresentando falhas e poros e também algumas estruturas incorporadas na massa cerâmica. Nas figuras 14(c) composição 5%CH e figura 14(d) composição 10%CH a quantidade de poros se reduz em comparação com as composições sem chamote, figura 14(a e b) é

observado também sua superfície com rugosidade. Nas figuras 14(e) composição 15%CH e 14(f) composição 20%CH, a quantidade de poros aumentam, podendo observar a presença de poros em maior diâmetro.

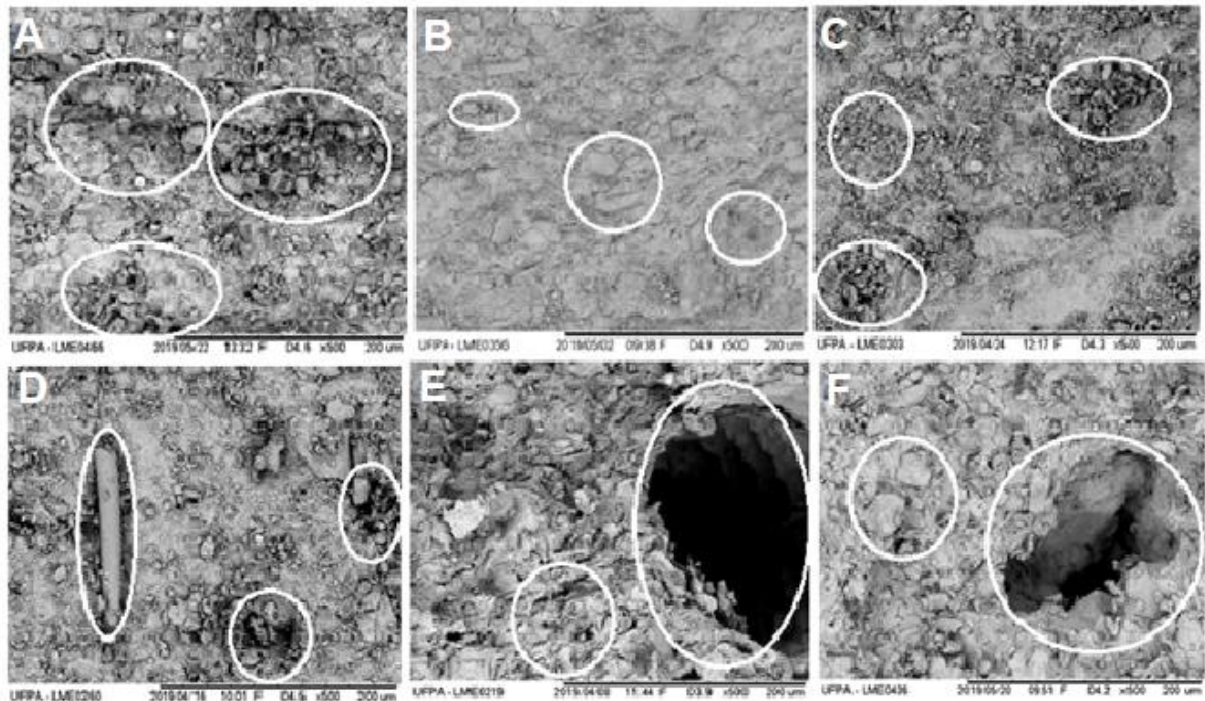
Figura 14 - Micrografias em função do aumento de chamote. Aumento 50x. cerâmica Icoaraci (chamote) (a); b) 0%CH; c) 5%CH; d) 10%CH; e) 15%CH e f) 20%CH.



Fonte: Autoria Própria (2019)

Na figura 15 são apresentadas as micrografias com aumento de 500x, com essa magnificação já são observados mais detalhes na superfície das cerâmicas. A figura 15(a) é a cerâmica resíduo da produção de Icoaraci, que foi utilizada para a produção de chamote e figura 15(b) composição 0%CH, são observados a presença de falhas e poros. Nas figuras 15(c) composição de 5%CH e 15(d) composição de 10%CH já são observados a presença de vários grãos em suas superfícies, se apresentando com granulometria variada e estruturas com formatos alongados na composição de 10%CH. Na figura 15(e) composições de 15%CH e figura 15(f) composição 20%CH já são observados a presença de falhas e poros na superfície das cerâmicas e uma textura bastante rugosa

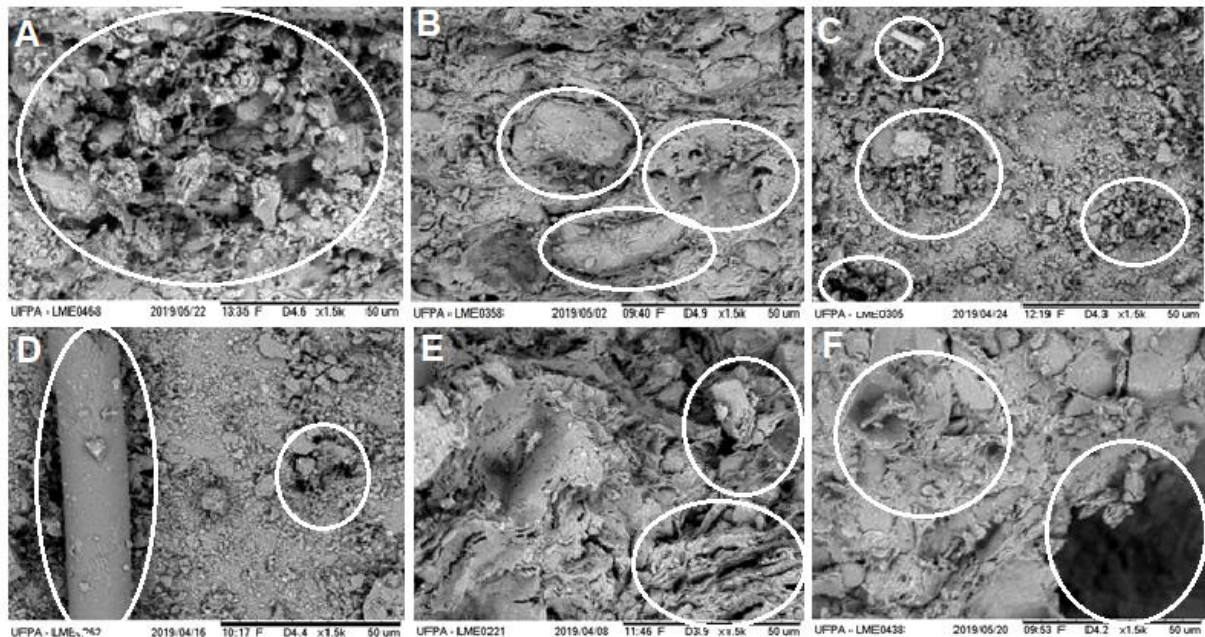
Figura 15 - Micrografias das cerâmicas em função do aumento de chamote Aumento 500x. cerâmica Icoaraci (chamote) (a); b) 0%CH; c) 5%CH; d) 10%CH; e) 15%CH e f) 20%CH.



Fonte: Autoria Própria (2019)

Na figura 16 são apresentadas as micrografias com magnificação com 1500x. Nesse aumento as superfícies das cerâmicas se apresentam com mais detalhes, como na figura 16(a), pode-se observar que as falhas que se apresentavam nos aumentos anteriores, na verdade são um alinhamento de poros presentes na cerâmica produzida em Icoaraci. Na figura 16(b) composição de 0%CH, vê-se a superfície da cerâmica com algumas inclusões na sua estrutura e uma textura rugosa. Nas figuras 16(c) e 16(d) composição de 5%CH e 10%CH vê-se a presença de vários grãos na superfície da cerâmica além de estruturas com formatos alongados. Nas figuras 16(e) e 16(f) composições 15%CH e 20%CH vê-se uma superfície com textura bastante rugosa com falhas e poros, há também algumas inclusões na estrutura da cerâmica com 20%CH.

Figura 16 – Micrografias das cerâmicas em função do aumento de chamote Aumento 1500x. cerâmica Icoaraci (chamote) (a); b) 0%CH; c) 5%CH; d) 10%CH; e) 15%CH e f) 20%CH.



Fonte: Autoria Própria (2019)

Diante das micrografias analisadas, observa-se que conforme se aumenta a quantidade de chamote, há um aumento da presença de grãos e estruturas com formatos alongados presentes nas composições de 5%CH e 10%CH, bem como o aumento da quantidade de porosidade aberta presentes nas composições de 15%CH e 20%CH, se apresentando com maior diâmetro dos poros e ausência de grãos em sua superfície.

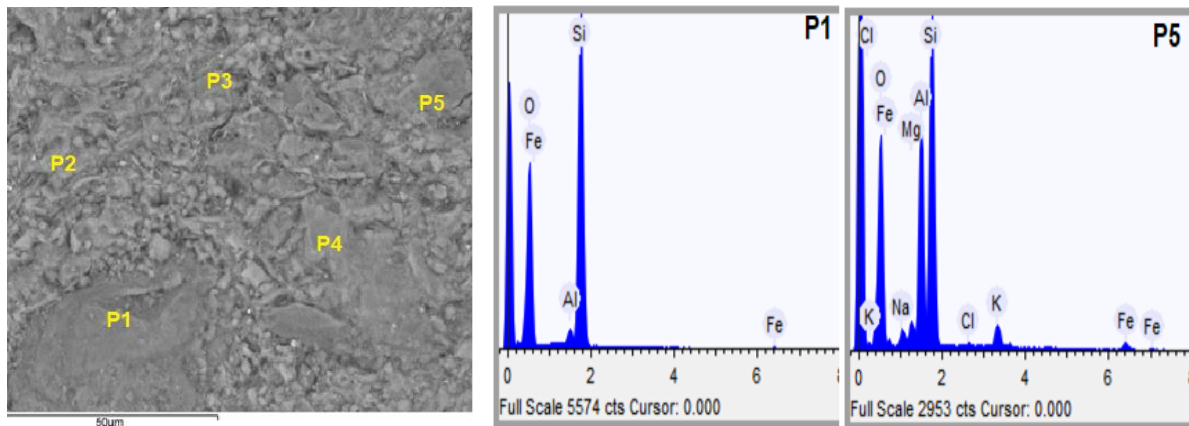
Os corpos de prova foram sinterizados em temperaturas em torno de 600°C, temperatura comparada aos processos de queima na região, sendo assim, o aumento da porosidade pode ser explicado devido a temperatura de queima utilizada, uma vez que, em temperaturas inferiores a 970°C não há uma consolidação eficiente na estrutura (VIEIRA: MONTEIRO, 2007). Essa temperatura também é possível alcançar a fase líquida.

Todas as formulações apresentam uma microestrutura com uma textura mais rugosa, e ainda, nas composições de 15%CH e 20%CH, observa-se que as cerâmicas apresentam falhas, isso deve-se ao processo de compactação ou associada à sinterização ineficiente durante o processo de queima.

4.5 Análise química (MEV/EDS)

Com o auxílio do EDS foi possível fazer a identificação qualitativa e semiquantitativa dos elementos químicos presentes nas amostras. Para a análise MEV/EDS foram escolhidos 5 pontos em cada amostra, dando uma totalidade de 30 regiões analisadas. As análises foram realizadas na cerâmica produzida em Icoaraci e nas composições 0%CH, 5%CH, 10%CH, 15%CH e 20%CH de chamote. As figuras 17 a 22 apresentam as imagens obtidas por MEV e os espectros em EDS de pontos que apresentam maior variação em relação aos elementos encontrados e a porcentagem de cada elemento, seguidos de tabelas indicando suas porcentagens.

Figura 17 – Micrografia obtida por MEV da cerâmica de Icoaraci e seu EDS.



Fonte - Autoria Própria (2019)

Tabela 7 - Porcentagem em peso dos elementos encontrados na cerâmica de Icoaraci.

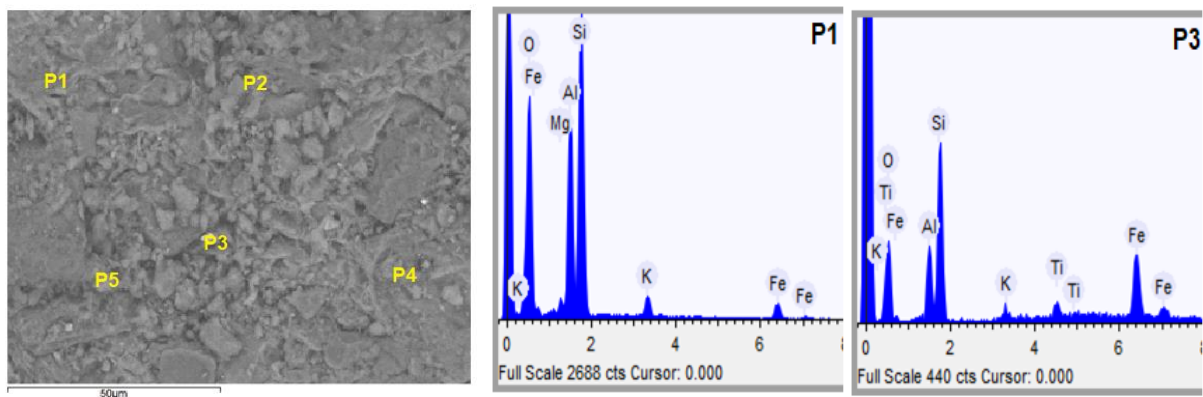
	(P1) %peso	(P2) % peso	(P3) % peso	(P4) % peso	(P5) % peso	(Média) %
Oxigênio	60,296	52,980	57,718	58,013	49,611	55,724
Silício	37,338	29,948	31,064	25,384	26,959	30,139
Alumínio	1,441	10,251	6,698	8,395	14,345	8,226
Ferro	0,925	5,110	3,430	0,510	3,207	2,636
Potássio	-	1,331	0,567	6,657	2,671	2,245
Magnésio	-	0,834	0,521	-	1,380	0,547

Nota: (P1, P2, P3, P4, P5) referentes aos pontos analisados no EDS.

Fonte: Autoria Própria, (2019)

Na figura 17 é apresentado a micrografia obtida por MEV/EDS da cerâmica produzida em Icoaraci, indicando os 5 pontos analisados na amostra e os espectros em EDS dos pontos P1 e P5. Em P1 foram encontrados O, Fe, Si e Al, corroborando a presença da caulinita no DRX. Em P5 os elementos encontrados foram Si, Al, Mg, Na, Cl, Fe, O e K indicando a presença da montmorilonita, pois apresenta o sódio em sua composição, onde sua estrutura química é $Mx(Al_{4-x}Mg_x) Si_8O_{20}(OH)_4.nH_2O$, sendo que M indica os íons monovalentes trocáveis e x indica o grau de substituição isomórfica (entre 0,5 e 1,3) (ALEXANDRE & DUBOIS, 2000 apud ROMANZINI, 2016 p. 9) Na tabela 9 são apresentados os pontos analisados indicando os elementos encontrados e as porcentagens em peso de cada elemento

Figura 18 - Micrografia obtida por MEV da cerâmica 0%CH e seu EDS.



Fonte - Autoria Própria, (2019)

Tabela 8 - Porcentagem em peso dos elementos encontrados na cerâmica 0%CH.

	(P1) % peso	(P2) % peso	(P3) % peso	(P4) % peso	(P5) % peso	(Média) %
Oxigênio	50,621	52,274	27,916	38,118	42,586	42,303
Silício	25,693	26,363	20,996	30,509	26,630	26,038
Alumínio	13,451	14,772	7,973	16,109	14,571	13,375
Ferro	6,907	4,227	38,284	11,267	11,836	14,503
Potássio	2,561	1,716	1,366	2,968	2,845	2,291
Magnésio	0,768	0,649	-	1,028	0,916	0,672

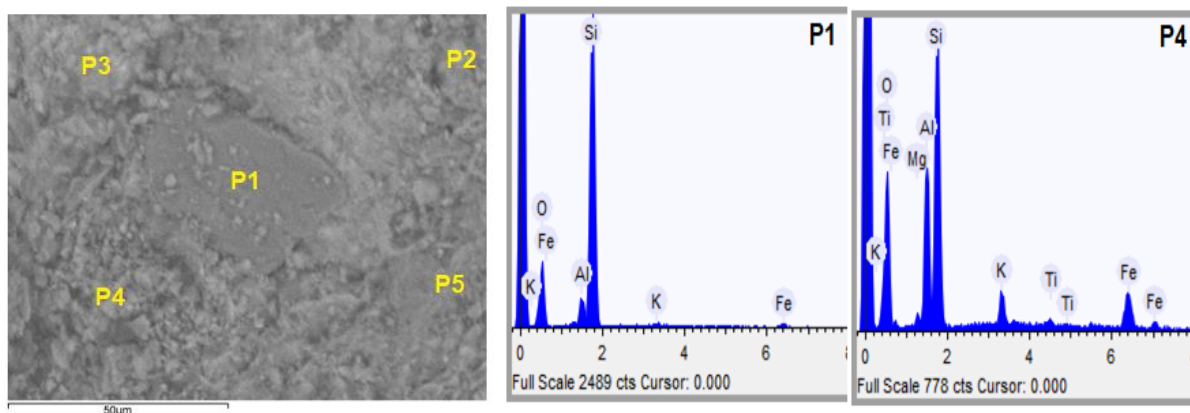
Nota: (P1, P2, P3, P4, P5) referentes aos pontos analisados no EDS.

Fonte - Autoria Própria, (2019)

Na figura 18 é apresentado a micrografia obtida por MEV/EDS da composição 0%CH, indicando os 5 pontos analisados na amostra e os espectros em EDS dos

pontos P1 e P3. Em P1 foram encontrados O, Fe, Si, Al, Mg, K e em P3 O, Fe, Si, Al, K, Ti. No ponto P3 foram encontrados os mesmos elemento em P1, no entanto, em maior porcentagem a presença do Fe e a ausência do Mg. O ferro encontrado forma um óxido e é responsável pela coloração avermelhada da cerâmica após a queima. No ponto P1 é encontrada a ilita e no ponto P3, a caulinita e a hematita corroborando com a presença desses minerais no DRX. Na tabela 10 são mostradas as porcentagens em peso dos elementos.

Figura 19- Micrografia obtida por MEV da cerâmica 5%CH e seu EDS.



Fonte - Autoria Própria, (2019)

Tabela 9 - Porcentagem em peso dos elementos encontrados na cerâmica 5%CH.

	(P1) % peso	(P2) % peso	(P3) % peso	(P4) % peso	(P5) % peso	(Média) %
Oxigênio	40,803	55,601	42,261	41,803	57,880	47,470
Silício	51,597	28,973	19,383	24,615	37,116	32,336
Alumínio	3,497	7,730	12,846	11,782	2,933	7,757
Ferro	3,142	5,622	13,863	15,959	1,703	8,058
Potássio	0,960	-	1,283	4,113	-	1,271
Magnésio	-	0,508	0,783	0,652	0,368	0,462

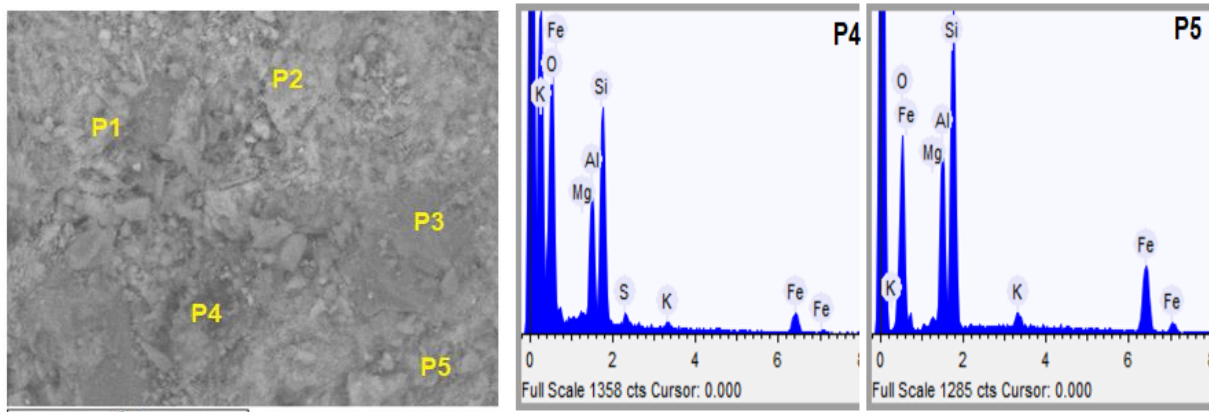
Nota: (P1, P2, P3, P4, P5) referentes aos pontos analisados no EDS.

Fonte - Autoria Própria, (2019))

Na figura 19 é apresentado a micrografia obtida por MEV/EDS da composição 5%CH, indicando os 5 pontos analisados na amostra e os espectros em EDS dos pontos P1 e P4. Em P1, os elementos encontrados são O, Si, Al, Fe, K, indicando a presença da caulinita e hematita e em P4 O, Si, Al, Fe, K, Mg e Ti, indicando a

presença da ilita. Na tabela 11 são apresentadas as porcentagens em peso dos elementos encontrados nos pontos analisados.

Figura 20 - Micrografia obtida por MEV da cerâmica 10%CH e seu EDS.



Fonte: Autoria Própria, (2019)

Tabela 10 - Porcentagem em peso dos elementos encontrados na cerâmica 10%CH.

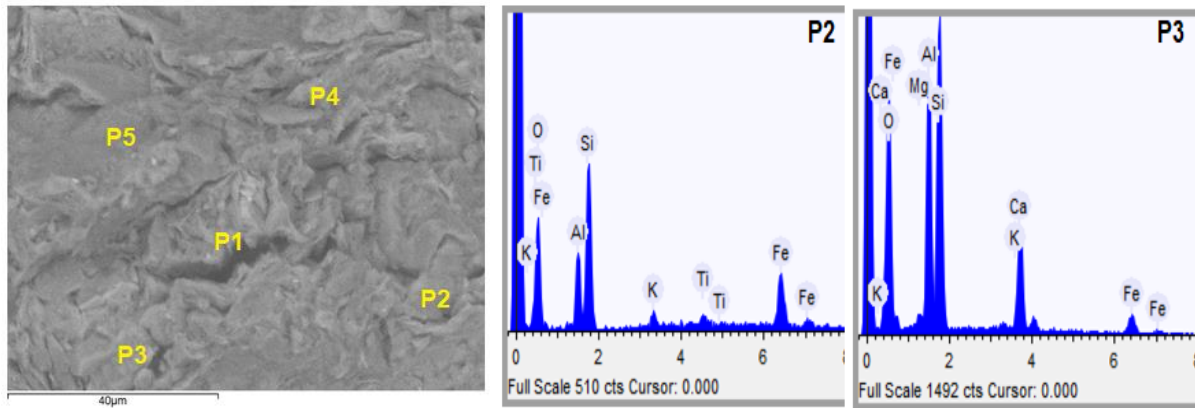
	(P1) % peso	(P2) % peso	(P3) % peso	(P4) % peso	(P5) % peso	(Média) %
Oxigênio	39,388	36,851	36,969	56,788	36,259	41,251
Silício	15,822	19,383	26,062	19,882	23,928	21,015
Alumínio	8,782	4,838	8,148	10,183	11,577	8.706
Ferro	34,442	38,177	26,645	10,172	26,097	27,107
Potássio	0,884	0,752	1,364	0,939	1,458	1,079
Magnésio	0,683	-	0,811	0,800	0,681	0,595

Nota: (P1, P2, P3, P4, P5) referentes aos pontos analisados no EDS.

Fonte: Autoria Própria, (2019)

Na figura 20 é apresentado a micrografia obtida por MEV/EDS da composição 10%CH, indicando os 5 pontos analisados na amostra e os espectros em EDS dos pontos P4 e P5. No ponto P4 foram encontrados os mesmos elemento em P5, no entanto, com o silício em maior porcentagem. No ponto P5 apresenta um maior percentual de ferro, indicando a presença da hematita corroborando com o DRX. Na tabela 12 são apresentadas as porcentagens em peso dos elementos encontrados nos pontos analisados.

Figura 21 - Micrografia obtida por MEV da cerâmica 15%CH e seu EDS.



Fonte: Autoria Própria, (2019)

Tabela 11 - Porcentagem em peso dos elementos encontrados na cerâmica 15%CH.

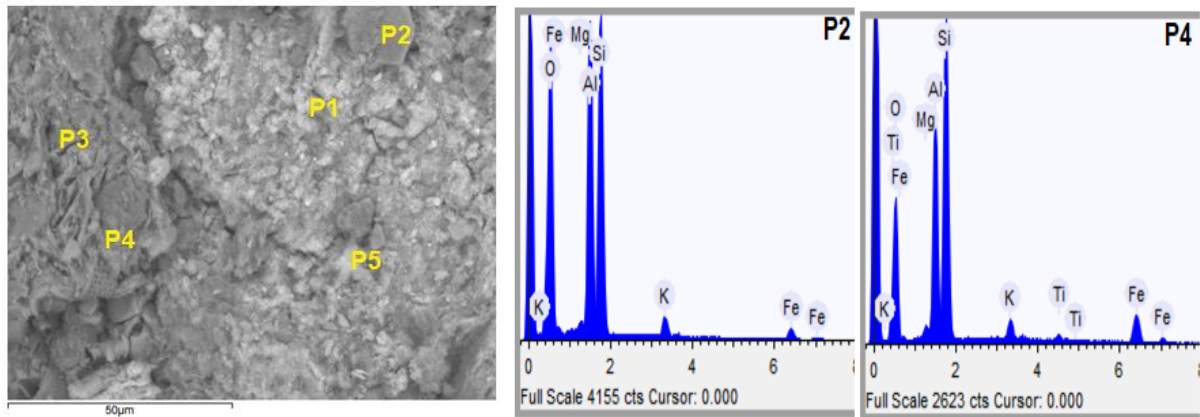
	(P1) % peso	(P2) % peso	(P3) % peso	(P4) % peso	(P5) % peso	(Média) %
Oxigênio	44,918	36,522	50,317	47,190	49,574	45,704
Silício	26,952	19,467	18,928	22,699	24,261	22,461
Alumínio	14,643	7,963	12,857	13,307	13,598	12,473
Ferro	8,648	31,852	6,352	12,362	9,864	13,815
Potássio	3,903	2,322	0,439	2,976	1,887	2,305
Magnésio	0,936	-	0,596	0,679	0,817	0,605

Nota: (P1, P2, P3, P4, P5) referentes aos pontos analisados no EDS.

Fonte: Autoria Própria, (2019)

Na figura 21 é apresentado a micrografia obtida por MEV/EDS da composição 15%CH, indicando os 5 pontos analisados na amostra e os espectros em EDS dos pontos P2 e P3. No ponto P2 é encontrada a caulinita e em P3, a montmorilonita, pela presença de Ca. O ponto P2 apresenta um maior percentual de ferro, indicando a presença da hematita. Na tabela 13 são apresentadas as porcentagens em peso dos elementos encontrados nos pontos analisados.

Figura 22 - Micrografia obtida por MEV da cerâmica 20%CH e seu EDS.



Fonte: Autoria Própria, (2019)

Tabela 12 - Porcentagem em peso dos elementos encontrados na cerâmica 20%CH.

	(P1) % peso	(P2) % peso	(P3) % peso	(P4) % peso	(P5) % peso	(Média) %
Oxigênio	50,576	53,287	43,615	40,249	48,445	47,234
Silício	10,925	22,537	51,712	27,644	13,868	24,737
Alumínio	6,293	17,581	2,823	15,263	8,450	10,082
Ferro	30,478	4,033	1,850	12,719	27,565	15,329
Potássio	0,401	2,012	-	2,389	0,772	1,115
Magnésio	0,443	0,551	-	0,847	0,612	0,491

Nota: (P1, P2, P3, P4, P5) referentes aos pontos analisados no EDS.

Fonte: Autoria Própria, (2019)

Na figura 21 é apresentado a micrografia obtida por MEV/EDS da composição 20%CH, indicando os 5 pontos analisados na amostra e os espectros em EDS dos pontos P2 e P4. No ponto P2 é encontrada a caulinita e em P4, a ilita. O ponto P4 apresenta um maior percentual de ferro, indicando a presença da hematita. Na tabela 14 são apresentadas as porcentagens em peso dos elementos encontrados nos pontos analisados.

A partir dos resultados obtidos por EDS foram identificados em todas as amostras a presença dos mesmos elementos. Os elementos em maior porcentagem são o silício e o oxigênio, indicando a presença do quartzo (SiO_2) seguidos de alumínio, ferro, potássio e magnésio, indicando a presença da ilita e da caulinita, esses minerais foram identificados nos ensaios de DRX. Foi encontrado também a presença de sódio na cerâmica de Icoaraci e de cálcio na composição de 15%CH,

indicando a possível presença da montmorilonita. O ferro encontrado forma um óxido e é responsável pela coloração avermelhada na cerâmica.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusões

Neste trabalho o foco recai sobre as investigações da microestrutura da cerâmica com a incorporação de chamote, às quais pode-se concluir:

Na análise microestrutural realizada com o auxílio do MEV, observou-se que o chamote confere à cerâmica um aumento na quantidade de grãos nas composições de 5%CH e 10%CH. Nas composições de 15%CH e 20%CH de chamote as cerâmicas se apresentaram mais porosas.

Com o auxílio do EDS os principais minerais encontrados foram quartzo, caulinita e illita e em algumas composições foi encontrado a montmorilonita que é justificado pela presença de sódio.

Houve uma redução gradativa nos valores de absorção de água e porosidade aparente das proporções de 5% CH e 10%CH em relação a cerâmica sem chamote (0%CH). Nas composições de 15%CH e 20%CH esses valores aumentaram, no entanto, não supera os valores determinados por Souza Santos (1975).

Para os resultados de massa específica aparente, não houve uma melhora significativa para os corpos cerâmicos com a adição de chamote em relação a cerâmica pura, no entanto, esses valores estão dentro do padrão entre 1,5 g/cm³ e 2 g/cm³.

Por fim, a utilização do chamote tornou-se satisfatório, pois o seu uso não afeta na constituição mineralógica da cerâmica e ainda, a proporção que apresentou os melhores resultados foi a composição com 10% de chamote onde houve uma redução nos teores de absorção de água e porosidade aparente possibilitando em uma possível melhora para a resistência térmica. Este resultado preliminar mostra que a inserção de chamote possibilita a melhora da qualidade refrataria da cerâmica, assim como traz benefícios para o meio ambiente, uma vez que o resíduo gerado deixa de ser um passivo ambiental, tornando-se matéria prima.

5.2 Recomendações

- Realizar ensaios de resistência térmica com as diferentes porcentagens de chamote com o intuito de avaliar se as peças podem ser usadas como material refratário;
- Estudar a viabilidade da preparação de utilitários cerâmicos (painelas) com adição de chamote com queima superior a 1000°C a fim de avaliar a sua microestrutura e as fases formadas;
- Realizar ensaios mecânicos de resistência à flexão nas melhores formulações dos resultados para a resistência térmica.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Informações técnicas:** definição e classificação. Disponível em: <http://www.abceram.org.br/definicao-e-classificacao/>. Acesso em: 9 mai. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.004:** resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.237:** materiais refratários – classificação. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5017:** Produtos Refratários Conformados Densos - Determinação da Densidade de Massa, Porosidade Aparente e Porosidade Real. Rio de Janeiro, 2015.
- ANICER: Associação Nacional da Indústria Cerâmica. Disponível em: www.anicer.com.br. Acesso em: 29 nov. 2018.
- ANFACER (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA): **História da Cerâmica.** Disponível em: <http://www.anfacer.org.br/historiadaceramica>. Acesso em: 9 mai. 2018.
- AKIYOSHI, M. M. et. Al. **Propriedades relevantes para a otimização da secagem de concretos refratários.** Cerâmica, São Paulo, v. 50, n. 314, p. 89-93, 2004.
- ANDRADE, Felipe Lira Formiga. **Estudo da Formulação de Massas Cerâmicas Provenientes da Região do Seridó-RN para Fabricação de Telhas.** 2009. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.
- BOGAS, José Alexandre. **Materiais Cerâmicos:** Estrutura e comportamento dos materiais. Técnico Lisboa. 2013.
- BUSTAMANTE, G. CM; BRESSIANI, J. C. **A indústria cerâmica brasileira.** Cerâmica Industrial, Brasil, v. 5, n. 3, p. 31-36, 2000.
- BRAGANÇA, S. R.; BERGMANN, C. P. **Microestrutura e propriedades de porcelanas.** Cerâmica, Porto Alegre, p.291-299, 2004.
- CALDAS, Thais Cristina da Costa. **Reciclagem de resíduo de vidro plano em cerâmica vermelha.** 2012. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2012.
- CALLISTER, William. **Ciência e Engenharia de Materiais:** uma introdução. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2002.

CAMPREGHER, N. **Estudo da viabilidade da incorporação do lodo da estação de tratamento de efluentes da indústria de papel, celulose e aparas em material cerâmico.** 73 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

CARDOSO, A.P. **Tecnologia da Cerâmica Vermelha do Norte do Paraná Aplicada na Produção de Componente Para Alvenaria Estrutural.** 1995.140 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

CERÂMICA MARAJOARA. Disponível em:
<https://viagemeturismo.abril.com.br/atracao/ceramica-marajoara/>. Acesso em:28 mar.2019.

CRUZ, Alison Alves da. **Análise de viabilidade econômica para reutilização de resíduo de cerâmica vermelha por meio de moagem.** 2016. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. **Microscopia Eletrônica de Varredura: Aplicações e Preparação de Amostras - Materiais Poliméricos, Metálicos e Semicondutores.** Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007. 60 p.

DUARTE, L. C.; JUCHEM, P. L.; PULZ, G. M.; BRUM, T. M. M.; CHODUR, N.; LICCARDO, A.; FISHER, A. C.; ACAUAN, R. B. Aplicações de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e sistema de energia dispersiva (EDS) no estudo de gemas: exemplos brasileiros. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 30, n. 2, p. 3-15, 2003.

DUARTE, Alamar Kasan. **Encapsulamento Cerâmico de Resíduos de Materiais Refratários.** 2005. 222 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

ETENE. **Informe Setorial Cerâmica Vermelha.** 2010. Banco do Nordeste do Brasil S/A.

GOMES, Gabriel da Silva. **Efeito da incorporação de chamote em argilas para a produção de cerâmicas utilitárias no Distrito de Icoaraci, Belém-Pa.** 2018. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2018.

GOUVEIA, Fernanda Pereira. **Efeito da incorporação de chamote (resíduo cerâmico queimado) em massas cerâmicas para a fabricação de blocos de vedação para o Distrito Federal-DF. Um estudo experimental.** 2008. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

GOUVEIA, Elza Rodrigues. **Análise da viabilidade da produção de cerâmica vermelha à base de chamote.** 2014. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, 2014.

GOUVEIA, F. P.; SPOSTO R. M.; **Incorporação de Chamote em Massa Cerâmica Para a produção de blocos. Um estudo das Propriedades Físico-Mecânicas.** Cerâmica 55, Brasília, p.415-419, 2009.

LISBÔA, T. F. P. **Vulnerabilidade e capacidade de resposta à ameaça de inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Paracuri,** Belém-PA. 2013. 111p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Belém, 2013. Programa de Pós-Graduação em Geografia.

MAFRA, Antero Tadeu. **Proposta de Indicadores de Desempenho para a indústria cerâmica vermelha.** 1999. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

MAIA, Fernanda dos Santos. **Avaliação de massas cerâmicas, processamento e propriedades dos produtos de cerâmica vermelha do pólo cerâmico de campos dos goytacazes.** 2012. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciências dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campo dos Goytacazes, 2012.

MARTINS, Marcelo Souza. **A Realidade dos Incentivos Culturais no Polo Cerâmico de Icoaraci.** 2010. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Centro de Estudos Sociais, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2010.

MORAIS, Elizabeth Conde de. **Termos da Cerâmica Icoaraciense: UMA ABORDAGEM SOCIOTERMINOLÓGICA.** 2015. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Linguagem e Saberes na Amazônia, Universidade Federal do Pará, Bragança, 2015.

MOTTA, J. F. M.; CABRAL JUNIOR, M.; TANNOM L. C.; ZANARDO, A. As matérias-primas cerâmicas. Parte II: os minerais industriais e as massas da cerâmica tradicional. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 33-40, 2002.

MOTTA J. F.M; ZANARDO A.; CABRAL Jr. M.; TANNOM L.C.; CUCHIERATO G. As Matérias-Primas Plásticas Para a Cerâmica Tradicional: Argilas e Caulins. **Cerâmica Industrial**, v. 9 n. 2, São Paulo, mar./abr. 2004, p 33-46.

OLIVEIRA, Fabson Emerson Marrocos de. **Acompanhamento da Produção Industrial em Cerâmica da Microrregião do Vale do Assu: Estudo de Caso.** 2011. 66 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciência e Tecnologia, Ufersa, Angicos, 2011.

PEDROTI, Leonardo Gonçalves. **Desenvolvimento de massa cerâmica com o uso de resíduo de granito para obtenção de blocos cerâmicos prensados de encaixe de matriz argilosa.** 2011. 174 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campo dos Goytacazes, 2011.

PRADO, Ulisses Soares; BRESSIANI, José Carlos. **Panorama da Indústria Brasileira na última década.** In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 56., 2012, Curitiba. **Simpósio.** Curitiba: C, 2012. p. 3035 - 3047.

RAAD, H.J. **Influência das Condições de Mistura e Moldagem na Permeabilidade de Concretos Refratários Aluminosos.** Pós-Graduação em Construção Civil. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

RIPOLI FILHO, F. R. **A utilização do Rejeito Industrial Cerâmico – Chamote - Como Fator de Qualidade na Fabricação de Elementos Cerâmicos: Um Estudo Experimental.** Cerâmica, 1997.

ROMANZINI, Daiane. **Efeito da Organossilanização de Argilas Montmorilonita (Mt) nas Propriedades de Nanocompósitos Mt/Poliéster/Fibra de Vidro Moldados por RTM.** 2016. 110 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

SANTOS, P. S. **Ciência e tecnologia de argilas.** São Paulo: Edgard Blücher, 1989. 408 p.

SANTOS, Osvaldo Cruz. **Influência da Adição de Rejeitos Cerâmicos nas Propriedades de Cerâmica Vermelha da Região do Recôncavo Baiano.** 2007. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

SANTOS, Paula Roberta dos. **Investigação das Propriedades Mecânicas e Termomecânicas de Materiais Cerâmicos Refratários Produzidos com Sílica Residual da Casca de Arroz e Fibra de Aço.** 2017. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia de Materiais, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2017.

SEGADÃES, A. M. **Refratários.** 1. ed. Aveiro: Universidade de Aveiro, 1997.

SISSINO, C. L. **Disposição em Aterros Controlados de Resíduos Sólidos Industriais Não-Inertes: Avaliação dos Componentes Tóxicos e Implicações Para o Ambiente e Para a Saúde Humana.** Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 19, n. 2, p. 369-374, 2003.

SOBROSA, Fabiano Zanini. **Desenvolvimento de materiais cerâmicos refratários com adição da sílica residual proveniente da queima da casca de arroz.** 2014. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2014.

SOUZA, Doraci Moraes de. **O Trabalho dos Artesãos Ceramistas em Icoaraci, Belém/PA: contribuições aos estudos sobre a dinâmica da Amazônia brasileira.** 2010. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Serviço Social, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

SMITH, William F. **Fundamentos de engenharia e ciência dos materiais.** 5. ed. São Paulo: Bookman, 2012. 707 p.

VIEIRA, C. M. F.; SOUZA, E. T. A.; MONTEIRO, S. N. (2004). Efeito da incorporação de chamote no processamento e microestrutura de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, n. 297, p. 254-260.

VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S. N. **Effect of grog addition on the properties and microstructure of a red ceramic body for brick production. Construction and Building Materials**, v. 21, p. 1754–1759. 2007.