



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

ALTAIR COSTA CARDOSO

**AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DO REJEITO DE MINÉRIO DE
COBRE EM MASSAS ARGILOSAS PARA A PRODUÇÃO DE
CERÂMICA VERMELHA**

Ananindeua
2018

ALTAIR COSTA CARDOSO

**AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DO REJEITO DE MINÉRIO DE
COBRE EM MASSAS ARGILOSAS PARA A PRODUÇÃO DE
CERÂMICA VERMELHA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Materiais, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Edemarino Araújo Hildebrando

Ananindeua
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistemas de Biblioteca da UFPA

Cardoso, Altair costa.

Avaliação da Incorporação do Rejeito de Minério de Cobre em Massas Argilosas para a produção de cerâmica vermelha / Altair costa Cardoso. — 2018.

Orientador: Edemarino Araújo Hildebrando

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - 3 Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

1. Argila. 2. Rejeito de Cobre. 3. Cerâmica Vermelha. I. Título.

CDD 620.11 ed.268a

AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DO REJEITO DE MINÉRIO DE COBRE EM MASSAS ARGILOSAS PARA A PRODUÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA

Altair Costa Cardoso

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO REQUISITO PARCIAL NECESSÁRIO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA DE MATERIAIS.

Examinado por:

Prof. Dr. Edemarino Araújo Hildebrando
(FEMAT/UFPA) Orientador

Prof^a. Dr^a. Verônica Scarpini Cândido
(FEMAT/UFPA) Membro Interno

Ms. Eng^a. Lêda de Azevedo Racanelli
(FEQ/UFPA) Membro externo

Aos meus pais Teodas e Doralice, pelo carinho, amor, confiança, compreensão e incentivo, que me fizeram chegar aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que em sua imensa bondade não me deixou desistir dos meus sonhos, me dando forças para seguir.

Aos meus pais e irmãos, que apesar de todas as dificuldades, sempre estiveram ao meu lado me apoiando e me incentivando para que meus sonhos se realizassem.

Ao Profº Dr. Edemarino Araújo Hildebrando, pela atenção, paciência e motivação durante a orientação deste trabalho.

Aos meus amigos Lilian e José Edi, que me acolheram em seu lar e se tornaram minha segunda família, sem vocês eu não conseguiria chegar aqui. Muito obrigada!

À minha prima Ozeneide, que muito contribuiu na fase inicial dessa história.

Ao Profº Dr. Deibson Silva da Costa, pelo incentivo, apoio e disponibilidade em me ajudar.

Aos colegas de graduação, pelo incentivo e apoio.

A todos que fazem o LACIN/ UFPA, que sempre estiveram dispostos a me ajudar em tudo.

Ao IFPA campus Belém, pela disponibilidade do equipamento, para fazer os ensaios mecânicos.

Ao LEQ/UFPA, por permitir a realização da fase experimental desse trabalho em suas instalações.

Ao LCAM/UFPA pela disponibilidade em me ajudar na realização dos ensaios de Microscopia Ótica.

A todas as pessoas que não foram citadas, mas que contribuíram positivamente em minha vida e para a execução desse trabalho.

“A tragédia da vida é o que morre dentro do homem enquanto ele vive”.

Albert Schweitzer

RESUMO

Atualmente, as matérias-primas estão se tornando cada vez mais escassas e os rejeitos gerados se transformaram em graves problemas ao meio ambiente com gerenciamento complexo. Sabe-se que rejeitos industriais são problemas no mundo todo, e que a reutilização destes pode garantir um menor impacto ambiental. Em vista destes problemas, este trabalho tem por objetivo avaliar o efeito da incorporação do rejeito proveniente da mineração de cobre em massas argilosas, em diferentes percentuais, visando à produção de cerâmica vermelha. A argila e o rejeito utilizado foram caracterizados através de difração de raios X (DRX) e as formulações foram elaboradas nas seguintes proporções de rejeito de cobre: 10%, 20%, 30% e 40% em peso. Os corpos cerâmicos foram conformados por prensagem uniaxial e sinterizados a 850 °C, 950 °C e 1050 °C com um patamar de queima de 2 horas. As propriedades tecnológicas analisadas foram retração linear, massa específica aparente, porosidade aparente, absorção de água e resistência mecânica, essa última obtida pela tensão de ruptura à flexão em três pontos. A análise microestrutural do material produzido foi avaliada utilizando-se a técnica de microscopia óptica. Foram obtidos resultados satisfatórios nas composições contendo 20 e 30% de rejeito de cobre, sem grandes perdas na resistência mecânica. A partir deste estudo verificou-se que a adição do rejeito de cobre em massas argilosas pode vir a torna-se algo atrativo para a fabricação de produtos da indústria de cerâmica vermelha.

Palavras-chave: Argila. Resíduo de Cobre. Cerâmica Vermelha.

ABSTRACT

Currently, raw materials are becoming scarce and the tailings generated have become serious environmental problems with complex management. It is known that industrial wastes are problems worldwide, and that reuse of these can guarantee a lower environmental impact. In view of these problems, this work has the objective of evaluating the effect of the incorporation of the waste from the copper mining in clay masses, in different percentages, aiming at the production of red ceramics. The clay and the tailings used were characterized by X-ray diffraction (XRD) and the formulations were prepared in the following proportions of copper waste: 10%, 20%, 30% and 40% by weight. The ceramic bodies were formed by uniaxial pressing and sintered at 850 ° C, 950 ° C and 1050 ° C with a firing stage of 2 hours. The technological properties analyzed were linear retraction, apparent specific mass, apparent porosity, water absorption and mechanical strength, the latter obtained by the flexural stress at three points. Microstructural analysis was evaluated by optical microscopy. Satisfactory results were obtained in the compositions containing 20 and 30% of copper waste, without great losses in mechanical resistance. From this study it was found that the addition of copper waste into clayey masses may prove to be attractive for the manufacture of products from the red ceramic industry.

Keywords: Clay. Copper Residue. Red Ceramics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Cerâmica vermelha na classificação do setor cerâmico.....	12
Figura 2 – Estrutura cristalina da caulinita.....	17
Figura 3 – a) Imagem de satélite da bacia de rejeito da mina de sossego.....	19
b) Rejeito da atividade de mineração de cobre.....	20
Figura 4 – Etapas do procedimento experimental do trabalho.....	23
Figura 5 – Imagem da prensa utilizada para a moldagem dos corpos de prova...	24
Figura 6 – Disposição dos corpos de prova para sinterização.....	25
Figura 7– Máquina universal utilizada para ensaios de resistência à flexão.....	27
Figura 8 – Disposição dos corpos de prova para avaliação microestrutural.....	28
Figura 9 – Difratoograma de raios x da argila.....	30
Figura 10 – Difratoograma de raios x do rejeito de cobre.....	31
Figura 11 – Resultados para absorção de água dos corpos de prova sinterizados a 850 °, 950 ° e 1050 °C/2 horas.....	33
Figura 12 – Resultados para porosidade aparente.....	34
Figura 13 – Massa específica aparente dos corpos de prova sinterizados a 850 °, 950 ° e 1050 °C/2 horas.....	36
Figura 14 – Resultados da tensão de ruptura a flexão para as composições sinterizados a 850 °, 950 ° e 1050 °C/2 horas.....	37
Figura 15– Micrografias Ópticas das amostras sinterizadas a 1050 °C.....	38
Figura 16 - Curva de aquecimento dos corpos de prova.....	39
Figura 17 – Cor de queima dos corpos de prova nas diferentes temperaturas.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição do parque industrial de cerâmica vermelha no Pará....	13
Tabela 2 – Propriedades e aplicações dos argilominerais.....	15
Tabela 3 – Composições a serem investigadas.....	24
Tabela 4 – Resultados de retração linear.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AA.....	Absorção de Água.
ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABNT.....	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ABCERAM.....	Associação Brasileira de Cerâmica.
ANICER.....	Associação Nacional Da Indústria Cerâmica.
ANFACER.....	Associação Nacional Dos Fabricantes De Cerâmica Para Revestimento.
DNPM.....	Departamento Nacional de Produção Mineral
DRX.....	Difração de Raios x
IBRAM.....	Instituto Brasileiro de Mineração.
IPEA.....	Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicada.
MEA.....	Massa Específica Aparente
MO.....	Microscopia Ótica.
PA.....	Porosidade Aparente.
RL	Retração Linear
RC.....	Rejeito de Cobre
TRF	Tensão de Ruptura a Flexão
%.....	Percentual
°C	Graus Celsius
#	Peneira
KN	Quilo-Newton
min.....	Minuto
L ₀	Comprimento Inicial
L _f	Comprimento Final
mm	Milímetro
M _s	Massa Seca
M _u	Massa Úmida
M _i	Massa Imersa
P	Força
L	Distância entre os apoios dos corpos de prova
MPa	Mega Pascal
cm	Centímetro
b	Largura dos corpos de prova
h.....	Altura dos corpos de prova
Kgf.....	Quilograma força
g.....	Grama
Å	Angstrom
µm.....	Micrômetro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	6
1.1 Objetivo Geral.....	8
1.1.1 Objetivos Específicos.....	8
2 JUSTIFICATIVA.....	9
3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	10
3.1 Histórico da Cerâmica.....	10
3.2 Cerâmica vermelha.....	11
3.3 Pólo Cerâmico no estado do Pará.....	13
3.4 Argila.....	14
3.5 Argilominerais.....	15
3.5.1 Ilita.....	16
3.5.2 Montmorilonita.....	16
3.5.3 Caulinita.....	16
3.6 Rejeito de Cobre.....	17
3.7 Incorporação de Rejeitos <i>Minerais em Cerâmica Vermelha</i>.....	20
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
4.1 Materias – Primas.....	23
4.2 Metodologias usada no Trabalho.....	23
4.3 Formulações.....	24
4.4 Conformação.....	24
4.5 Secagem.....	25
4.6 Queima dos Corpos de Prova.....	25
4.7 Determinação das Propriedades Físicas Tecnológicas dos Corpos de Prova...	25
4.7.1 Retração Linear (RL).....	26
4.7.2 Massa Específica Aparente (MEA).....	26
4.7.3 Absorção de Água (AA)	26
4.7.4 Porosidade Aparente (PA).....	27
4.7.5 Ensaios Mecânicos dos Corpos de Prova (TRF).....	27
4.8 Caracterização das Materias-primas.....	28
4.8.1 Composição Mineralógica.....	28
4.9 Avaliação Micoestrutural.....	28
4.10 Cor de Queima.....	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
5.1 Caracterização das Materias-Primas.....	29
5.1.1 Composição Mineralógica.....	29
5.2 Determinação das Propriedades Físicas e Tecnológicas.....	31
5.2.1 Absorção de Água.....	31

5.2.2 PorosidadeAparente.....	33
5.2.3 Retração Linear.....	34
5.2.4 Massa Específica Aparente.....	35
5.2.5 Resistência á Flexão.....	36
5.3 Avaliação Microestrutural.....	37
5.4 Determinação da Curva de Queima.....	38
5.5 Cor de Queima.....	39
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
SUGESTÕES	43
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

O setor industrial da cerâmica apresenta grande variedade de produtos e processos produtivos em níveis distintos de produção, de qualidade dos produtos e grau de mecanização. As fábricas brasileiras de cerâmica vermelha localizam-se em regiões específicas devido à combinação de diversos fatores como, matéria-prima, disponibilidade de energia, transporte e mercado consumidor (ANICER, 2005).

Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica (2004), a abundância de matérias-primas naturais fez com que as empresas brasileiras de cerâmica evoluíssem rapidamente. Pode-se citar que as fontes alternativas de energia e a disponibilidade de tecnologias contribuíram para esse crescimento.

As argilas utilizadas na indústria de cerâmica vermelha ou, como também conhecidas na literatura técnica, argilas comuns (*common clays*) abrangem uma grande variedade de substâncias minerais de natureza argilosa. Compreendem, basicamente, sedimentos pelíticos consolidados e inconsolidados, como argilas aluvionares quaternárias, argilitos, siltitos, folhelhos e ritmitos, que queimam em cores avermelhadas, a temperaturas variáveis entre 800 e 1250 °C. Essas argilas possuem geralmente granulometria muito fina, característica que lhes conferem, com a matéria orgânica incorporada, diferentes graus de plasticidade, quando adicionada de determinadas porcentagens de água; além da trabalhabilidade e resistência a verde, a seco e após o processo de queima, aspectos importantes para fabricação de uma grande variedade de produtos cerâmicos (LUCENA, 2007).

Na indústria de cerâmica vermelha ou estrutural as argilas são empregadas como matéria-prima na fabricação de blocos de vedação e estruturais, telhas, tijolos maciços, tubos e ladrilhos.

Em um contexto mais regional e/ou local a produção industrial do setor cerâmico no estado do Pará encontra-se ainda restrita a fabricação de produtos estruturais (telhas e tijolos, maciços e vazados), em tal escala que não supre por completo o mercado interno, necessitando importar produtos cerâmicos das regiões Nordeste e Centro-Oeste (SOUZA et al., 1995).

Atualmente, com a industrialização atuando em grande escala, o uso de novas tecnologias, aumento da população e diversificação do consumo de bens e serviços, as matérias-primas estão se tornando escassas e os resíduos gerados se transformaram em graves problemas urbanos com gerenciamento complexo.

Os resíduos gerados pelas atividades industriais crescem em importância no cenário ambiental, uma vez que são produzidos por vários tipos de indústrias, tais como a metalúrgica, a química, a petroquímica, a papelreira, a alimentícia, etc. Tais resíduos são bastante variados, podendo ser representados por cinza, lodo, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plástico, papel, madeira, fibras, borracha, metais, escórias, vidro, cerâmica e outros (LUCAS; BENATTI, 2008).

O uso de novas técnicas construtivas vem ao encontro com a conscientização do ser humano da importância da preservação da natureza. Sabe-se que rejeitos industriais são problemas no mundo todo, e que a reutilização destes pode garantir um menor impacto ambiental (ACCHAR et al., 2009).

Desta forma, a preocupação com a preservação do meio-ambiente, combinada com a falta de algumas matérias-primas naturais, está impulsionando as pesquisas para reutilização ou adição dos rejeitos em processos industriais. Assim, o reaproveitamento de rejeitos na indústria de cerâmica vermelha vem sendo cada vez mais abordado com o intuito de substituir, mesmo que parcialmente na etapa de formulação o material argiloso, objetivando-se obter produtos com maior qualidade e custo reduzido contribuindo também para uma diminuição da degradação ambiental causada durante o processo de extração da argila (BASEGIO et al., 2001).

Embora ainda existam poucos estudos sobre rejeitos provenientes da mineração de cobre sendo utilizados em materiais cerâmicos, no que dizem respeito a este material, os principais impactos que ele causa ao meio ambiente são a erosão, a devastação de extensas áreas de vegetação, perda de biodiversidade e contaminação de aquíferos e cursos de água (REMACRE, 2013).

Além disso, estes rejeitos podem ser agregados à cerâmica gerando produtos que podem ser destinados a comunidades carentes para serem utilizados em suas obras, reduzindo o custo (BASEGIO et al, 2001).

Portanto, o presente trabalho tem por objetivo desenvolver formulações de argila e rejeito do processamento do minério de cobre, visando à produção de cerâmica vermelha com propriedades tecnológicas satisfatórias.

1.1 Objetivo Geral

Avaliar o efeito da incorporação do rejeito proveniente da mineração de cobre em massas argilosas, visando à produção de blocos e telhas.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Desenvolver formulações para se estimar o máximo percentual de rejeito que pode ser adicionado a massas cerâmicas, sem comprometer as propriedades do material fabricado.
- Determinar as propriedades físicas dos produtos sinterizados para verificar se estão dentro das normas técnicas para cerâmica vermelha.
- Realizar ensaios mecânicos e análises microestrutural dos materiais produzidos a fim de se avaliar a qualidade destes.

2 JUSTIFICATIVA

No estado do Pará há um elevado número de indústrias de cerâmica vermelha e a maioria delas utiliza de métodos empíricos para a produção das peças, tanto telhas e tijolos, quanto blocos estruturais, produtos que na maioria das vezes apresentam-se com uma qualidade inferior. Portanto, buscando melhorias na produção cerâmica associada à preocupação com a preservação do meio ambiente, combinada com a falta de algumas matérias-primas, pesquisas vêm sendo desenvolvidas para a reutilização ou adição dos rejeitos nos processos de produção cerâmicos.

A atividade de mineração no estado do Pará é muito intensa, o que gera uma grande quantidade de rejeitos, tornando-se um ponto preocupante no setor de cobre, pois a poluição causada pela indústria pode ser registrada em diversos ramos da cadeia produtiva, os danos são na maioria das vezes causados pelos agentes químicos utilizados durante o processo de beneficiamento, os mesmos são expelidos nos rejeitos, sendo estes descartados no meio ambiente. Assim, observa-se que existe uma necessidade de valorização dos rejeitos provenientes de processos de extração mineral, e dar a eles uma destinação final ambientalmente correta. O presente trabalho visa contribuir no sentido de buscar por melhorias na produção de peças cerâmicas, adicionando-se rejeitos provenientes das etapas do processamento do minério de cobre.

3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

3.1 Histórico da Cerâmica

A palavra cerâmica é derivada do grego “*kerameikos*”, que quer dizer “feito de terra” ou “terroso” (PADILHA, 1997). A cerâmica vermelha é assim chamada, porque possui coloração avermelhada no produto final, em função do tipo de matéria-prima utilizada.

A cerâmica vermelha teve seu desenvolvimento no seio de todos os povos, cuja falta de pedra para as construções era constante. Porém, foram os romanos que implementaram novas técnicas e aprimoraram a fabricação da cerâmica como atividade industrial, através do crescimento das grandes construções dessa época. Basicamente a Europa toda herdou as práticas trazidas pelos povos antigos, tais como romanos, bizantinos, árabes, entre outros, que influenciaram fortemente no estilo das construções nesses continentes (STEIL, 2000).

A identificação de objetos cerâmicos e os processos de fabricação, usados atualmente, surpreendem pela antiguidade, especialmente as contribuições do começo da Era Cristã, em Roma e na China. Nota-se também o grande desenvolvimento na Europa no século XVIII e, finalmente, o grande desenvolvimento no fim do século XIX e começo do século XX, quando a ciência e engenharia foram aplicadas a essa arte antiga (NORTON, 1975).

Segundo Kingery (1976) define-se que cerâmica é a arte, ciência e tecnologia de fabricar e usar peças sólidas, as quais têm como componente essencial, e são constituídas em grande parte, por materiais inorgânicos não metálicos, denominados materiais cerâmicos.

No Brasil, há mais de 2000 anos, antes mesmo da sua “descoberta” pelos portugueses, já existia a atividade de fabricação de cerâmicas, representada por potes, baixelas e outros artefatos cerâmicos. O setor ceramista é um dos mais antigos em atividade industrial no país e no mundo, tendo uma participação no PIB (Produto Interno Bruto) estimado em cerca de 1% (ABC, 2009). No entanto, o setor cerâmico brasileiro apresenta uma grande carência de informações de dados estatísticos e apontadores de desempenho, que são ferramentas indispensáveis para o acompanhamento do desenvolvimento e para auxiliar na melhoria da competitividade, entre outros. Por isso, existem dificuldades de se ter uma visão

mais ampla dessa importante área industrial, com diferentes segmentos altamente geradores de empregos e com intenso apelo social.

A cerâmica mais elaborada foi encontrada no estado do Pará, na Ilha de Marajó; do tipo marajoara, tem sua origem na avançada cultura indígena da Ilha. Entretanto, estudos arqueológicos indicam que a presença de uma cerâmica mais simples ocorreu na região amazônica, há muitos anos atrás. (SEBRAE, 2011).

Geralmente a cerâmica era feita de forma artesanal utilizando técnicas de raspagem, incisão, remoção e pintura. Mesmo desconhecendo o torno e operando com instrumentos rudimentares, o índio conseguiu criar uma cerâmica de valor, que dá a impressão de superação dos estágios primitivos da Idade da Pedra e do Bronze (ANFACER, 2010).

O desenvolvimento do setor de cerâmica vermelha no Brasil foi vigorosamente impulsionado, a partir de meados da década de 1960, pela implementação de políticas públicas habitacionais, por meio da criação do Sistema Financeiro da Habitação e do Banco Nacional da Habitação. Durante a década de 1970, sustentada por uma demanda continuada, ocorre o *boom* da construção civil no País, provocando a modernização e expansão da indústria cerâmica nacional (CABRAL et al., 2002).

3.2 Cerâmica vermelha

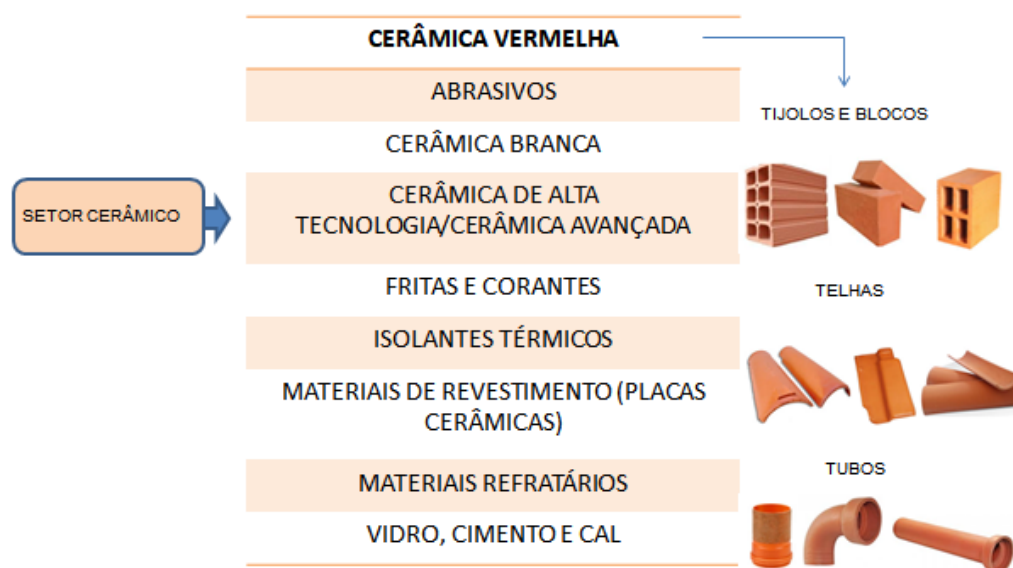
A cerâmica vermelha é caracterizada por produtos oriundos da argila ou misturas contendo argila, através de moldagem, secagem e queima da mesma, de onde vem à cor avermelhada que dá seu nome (VERÇOZA, 1987). A cor vermelha que caracteriza esses produtos está relacionada à presença de compostos de ferro presentes na argila (JORDÃO; ZANDONADI, 2002).

Segundo Souza Santos (1992), a indústria da cerâmica vermelha é uma das mais difundidas e um dos poucos campos da cerâmica em que se utiliza a argila como única matéria-prima. Esta é moldada na forma final de utilização e queimada sem adição de outro minério. Utiliza processos manuais ou mecânicos de moldagem que podem ser por prensagem ou extrusão. As temperaturas de queima oscilam entre 950 °C e 1250 °C, conforme a natureza da argila, do produto cerâmico, do forno utilizado e das condições econômicas do local (SOUZA SANTOS, 1989).

O segmento de cerâmica vermelha destaca-se dentro do setor cerâmico, sendo de grande importância em toda a cadeia da construção civil. São milhares de empresas espalhadas em todo país, produzindo principalmente tijolos maciços, blocos de vedação, telhas, manilhas e pisos (ANICER, 2005).

O setor cerâmico compreende todos os materiais inorgânicos, não metálicos, obtidos geralmente após tratamento térmico em temperaturas elevadas. É amplo e heterogêneo, o que induz a dividi-lo em subsetores ou segmentos em razão de diversos fatores, como matérias-primas, propriedades e áreas de utilização. Dessa forma, em geral, é adotada a classificação apresentada na Figura 1, onde um dos segmentos do setor é o de cerâmica vermelha, que compreende os materiais com coloração avermelhada empregados na construção civil (tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, lajes, tubos cerâmicos e argilas expandidas) e também utensílios de uso doméstico e de adorno (ABDI, 2010).

Figura 1 - Cerâmica vermelha na classificação do Setor Cerâmico.



Fonte: adaptado de ABDI, 2010.

Segundo a Anicer (2018), no Brasil há aproximadamente 6.903 unidades produtoras, acarretando uma produção de 4.000.000.000 peças/ano de blocos cerâmicos e 1.300.000.000 peças/ano de telhas. São gerados 293 mil empregos diretos e 900 mil empregos indiretos, movimenta um faturamento anual de R\$ 18 bilhões e uma representatividade em torno de 4,8% da construção civil. Podem-se destacar como principais produtores nacionais, os estados de São Paulo, Minas

Gerais, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Paraná, Santa Catarina e Bahia (ANICER, 2007).

3.3 Pólo Cerâmico no estado do Pará

A produção industrial no estado do Pará encontra-se ainda restrita a fabricação de produtos estruturais (telhas e tijolos, maciços e vazados), em tal escala que não supre por completo o mercado interno, necessitando suprir com produtos cerâmicos das regiões Nordeste e Centro-Oeste. Um forte condicionante dessa situação é o escasso processo de modernização das indústrias, o que dificulta a introdução de produtos e processos produtivos competitivos, em termos de preço e qualidade, com aqueles oriundos dos estados do Nordeste e Centro-Oeste. Este cenário é resultado, em parte, do desconhecimento, por parcela do setor produtivo, das características implícitas dos materiais cerâmicos, da evolução do setor e da ausência de investimentos em tecnologia de processo (SOUZA et al., 1995).

Segundo Betini (2011), o estado possui o maior número de empresas do setor de cerâmica vermelha da Região Norte, distribuídas em aproximadamente 07 Micro Regiões e que são significativas do ponto de vista econômico para o Estado, que até o ano de 1996 contava com aproximadamente 800 empresas nesse setor, muitas informais, gerando mais de 6000 empregos diretos. Cadastradas pelo SEBRAE/PA registra-se um total de 744 empresas, Tabela 1.

Tabela 1 - Distribuição do Parque Industrial de Cerâmica Vermelha no Pará.

MICRO REGIÕES	EMPRESAS	PRODUÇÃO 10 ³ (PEÇAS/MÊS)	EMPREGOS DI RETOS
São Miguel do Guamá	49	50.000.000	3000
Proximidades de Belém (Castanhal, S. Izabel e Benevides).	13	5000	500
Abaetetuba (todas micro empresas)	500	6000	3000
Santarém	30	2500	300
Bragança	14	2000	350
São Sebastião de Boa Vista	120	1500	1100
Empresa Informal			
Marabá	18	500	150
TOTAL DO ESTADO	744	24500	6000

Fonte: adaptado de BETINI, 2011.

3.4 Argila

A argila é um material natural, terroso, de granulação fina, que adquire, quando umedecido com água, certa plasticidade. Todas as argilas são constituídas por argilominerais, que são compostos quimicamente por silicatos hidratados de alumínio e ferro, contendo ainda certo teor de elementos alcalinos terrosos. Além dos argilominerais, as argilas, geralmente contem matéria orgânica, sais solúveis e partículas de quartzo, pirita, mica, calcita, dolomita e outros minerais residuais (SOUZA SANTOS, 1989).

Segundo Vicenzi (1999) argila é o produto da alteração intempérica das rochas ígneas, sedimentares e metamórficas. Em seu estado natural, as argilas são constituídas de minerais primários (que se encontram presentes nas rochas e apenas se alteraram na sua composição) e/ou secundários (produzidas pela ação de agentes químicos sobre os minerais primários). Pela sua formação e localização, as argilas podem ser consideradas residuais, formadas *in situ* (que sofreram pouco ou nenhum transporte e contêm uma proporção de minerais primários maiores que as argilas sedimentares) e/ou sedimentares (que foram transportadas e depositadas, encontrando-se poucos minerais associados às rochas, com exceção de quartzo e alguma muscovita).

O conceito mais aceito pelos ceramistas, sob o ponto de vista de tecnologia cerâmica, é o de Souza Santos (1989) que define a argila como um sedimento com tamanho de partícula inferior a 4 µm constituída em grande parte por argilominerais, podendo conter impurezas; desenvolve plasticidade com a adição de uma quantidade conveniente de água, perdendo-a após a secagem (água de conformação) e, após a queima (água de estrutura) a uma temperatura superior a 1000 °C, adquire alta resistência.

A argila se constitui na principal matéria-prima utilizada na indústria de cerâmica vermelha. Suas propriedades tecnológicas como granulometria, plasticidade e composição mineralógica, dentre outros fatores, determinam a qualidade das peças a serem fabricadas (SPOSTO, 2006).

Embora as argilas se encontrem em quase toda a superfície terrestre, as suas propriedades variam de forma significativa consoante a zona onde são encontradas. Algumas podem ser utilizadas tal como são extraídas, enquanto outras devem ser purificadas e misturadas para se tornarem moldáveis (CHRISPIM et al, 2010).

3.5 Argilominerais

Os argilominerais são filossilicatos hidratados que se apresentam na forma de cristais muito pequenos ($< 4 - 8 \mu\text{m}$) como laminas hexagonais ou fibras. A estrutura cristalina desses minerais, com poucas exceções, consiste de um arranjo de folhas, formando as camadas, o que justifica a denominação de silicatos em folhas ou filossilicato. As camadas individuais são compostas de duas, três ou quatro folhas com estruturas tetraédricas de SiO_2 e estruturas octaédricas de brucita $[\text{Mg}(\text{OH})_2]$.

Nas folhas de tetraedros, o cátion predominante é o silício (Si^{4+}), podendo ser substituído por alumínio (Al^{3+}) e ocasionalmente por ferro (Fe^{3+}). Porém, as folhas octaédricas são formadas pelo compartilhamento das arestas dos octaedros geralmente pelos cátions Al^{3+} por Mg^{2+} , Fe^{2+} ou Fe^{3+} , mas todos os outros elementos de transição e o lítio também podem estar presentes (MOORE; REYNOLDS, 1989). As dimensões e simetrias dos tetraedros e octaedros permitem o compartilhamento de átomos de oxigênio entre as folhas, podendo uma folha octaédrica compartilhar átomos de oxigênio com uma ou duas folhas tetraédricas (ARANHA, 2007)

Formam-se diferentes argilominerais dependendo do tipo de combinação destas estruturas. Graças aos argilominerais, as argilas na presença de água desenvolvem uma série de propriedades, como: plasticidade, resistência mecânica, retração linear de secagem e compactação, a Tabela 2, explica a grande variedade de aplicações tecnológicas (GRUN, 2007).

Tabela 2 – Propriedades e aplicações dos argilominerais.

Propriedades	Aplicações
Resistência mecânica a seco	Prensagem a seco/manuseio durante o processo de fabricação
Tixotropia	Perfuração de poços de petróleo
Plasticidade	Extrusão

Fonte: ABCERAM, 2000.

Os principais grupos de argilominerais são illita, montmorilonita e caulinita, e o que diferencia esses argilominerais é basicamente o tipo de estrutura e as substituições que podem ocorrer, do alumínio por magnésio ou ferro e do silício por alumínio ou ferro, principalmente, e consequente neutralização das cargas residuais geradas pelas diferenças de cargas elétricas dos íons por alguns cátions (ABCERAM, 2000).

3.5.1 Ilita

A ilita é um argilomineral muito utilizado em blocos, tijolos, telhas e lajota, sendo responsável pela coloração avermelhada dos produtos. É muito plástica, de fácil moldagem e apresenta bom desempenho de secagem (SOUZA SANTOS, 1989). É constituída de duas folhas, uma interna tetragonal de sílica e outra central octaédrica. Tem uma estrutura cristalina semelhante à da montmorilonita, porém a diferença é que há uma substituição maior de alumínio por silício. A composição química da unidade estrutural pode ter a expressão $k(\text{Al}, \text{Mg})_4(\text{Si}, \text{Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, com $x < 1$ e sua distancia interplanar basal fixa de $10,1\text{\AA}$ (SOUZA SANTOS, 1975).

3.5.2 Montmorilonita

A montmorilonita, em pequenas proporções, é benéfica nas argilas para cerâmica vermelha, porque favorece a plasticidade, a fusibilidade e a sinterização, é dita expansiva por absorver grande quantidade de água. Pode ocasionar, por ser muito plástica, problemas na moldagem e trincas na secagem e queima (SOUZA SANTOS, 1989). Tem forte presença de ligas, é caracterizada pela alta plasticidade e consequentemente tem uma tendência em causar trincas de secagem (MAS, 2002). Ao ser umidificada, expande-se, ocorrendo um inchamento (afastamento das camadas), e ao sofrer aquecimento, se contrai, podendo observar seu trincamento. A fórmula teórica do grupo da montmorilonita é $\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (n =água interlamelar), porém os argilominerais naturais sempre diferem dessa composição devido a substituições isomórficas no reticulada cristalino e nos cátions trocáveis (SOUZA SANTOS, 1975).

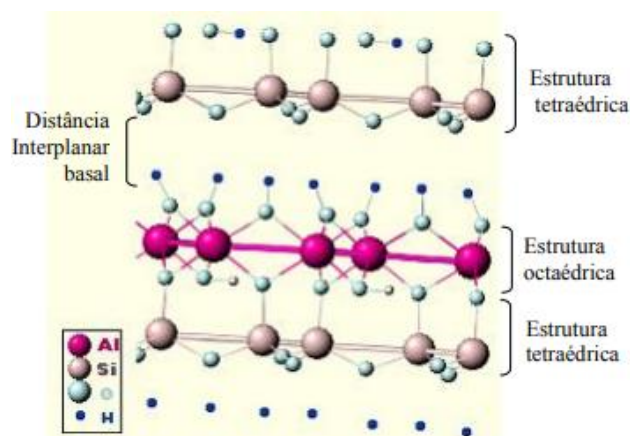
3.5.3 Caulinita

A caulinita é um componente muito importante nas argilas conferindo as mesmas uma característica refratária, também é o argilomineral mais comumente encontrado nas matérias-primas argilosas. A estrutura cristalina da caulinita é 1:1, ou seja, a unidade estrutural primária é composta por uma folha octaédrica de alumina ligada a uma folha tetraédrica de sílica formando a lamela 1:1. A caulinita é caracterizada pela distância interplanar basal em torno de $7\text{\AA}$ (SANTOS, 2007).

A unidade estrutural básica corresponde à composição química $4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ou $4\text{SiO}_2 \cdot 6\text{MgO} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ou $\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ (GOMES, 1988). A formula química da caulinita pode ser descrita como resultante da deposição de dois moles de gibbsita (variedade polimórfica do $\text{Al}(\text{OH})_3$) sobre dois moles de sílica,

mantendo-se as estruturas dos dois compostos (tipo 1:1) (GARDOLINSKI, J. E; FILHO, H. P. M; WYPYCH, F., 2003). Apresenta a seguinte composição percentual mássica de referência: 46,54% SiO_2 ; 39,5% Al_2O_3 e 13,96% de H_2O (WEBMINERAL, 2012). A Figura 2 apresenta a estrutura cristalina da caulinita.

Figura 2 – Estrutura cristalina da caulinita.



Fonte: WEBMINERAL, 2012.

A caulinita pura não serve para a produção de cerâmica vermelha, devido a algumas características, tais como constituição, cor branca pós-queima, propriedade de perda de massa e contração linear elevada, mas geralmente, ela se apresenta misturada com grãos de areia, óxidos de ferro e outros elementos, em quantidades tão pequenas que não influenciam negativamente no produto final, Chaves (2009). Contudo, a caulinita é o principal componente das argilas, responsável pela elevada resistência mecânica dos produtos cerâmicos. Quando pura, é pouco utilizada por necessitar de elevadas temperaturas para adquirir melhor resistência, necessitando ser misturadas a outros tipos de argila (SOUZA SANTOS, 1989).

3.6 Rejeito de Cobre

O cobre é um dos metais mais antigos a serem utilizados pela humanidade, relatos apontam para seu uso há cerca de 8000 anos a.c. chamada de idade do bronze (cobre + estanho). Nesta época chegou a representar riqueza e poder na idade média, principalmente pelas suas características de baixo ponto de fusão, onde era propício para moldagem de pontos de lança e flechas, sendo moeda de troca entre nações com intuito de armar seus exércitos (RIBEIRO, 2001).

Derivado do grego “*aes cyprium*”, sendo posteriormente conhecido como “*cuprum*”, o elemento químico cobre é um metal de cor avermelhada de número

atômico 29, peso atômico 63,54, dureza 2,5 a 3,0, ponto de fusão 1023 °C, onde o que o torna valioso para a indústria é o fato de ser um ótimo condutor de calor e eletricidade. Outras propriedades importantes são sua elevada resistência à tensão física e à corrosão, além de propriedades não magnéticas e a facilidade na formação de ligas com outros metais. Considera-se como cobre o metal que possua 99,85% ou mais do elemento cobre, ou no mínimo 97,5% em massa de cobre.

O cobre em estado puro, denominado cobre nativo, raramente é encontrado na natureza e normalmente está associado a outros elementos químicos em várias formas estruturais, com proporções estequiométricas e combinações químicas, formando diversos minerais. Existem dois grupos de minerais: os primários ou sulfetados, ocorrentes em zonas mais profundas da crosta terrestre, com mais alto teor em cobre, e os oxidados ou secundários, de origem mais superficial, de menor teor em cobre. Entre esses grupos são conhecidos cerca de 170 espécies minerais, das quais apenas algumas apresentam importância econômica. No rol dos sulfetados, os mais importantes são a calcopirita (CuFeS_2 , com 34,6 % de Cu), a calcocita (Cu_2S , com 79,9 % de Cu), a bornita (Cu_5FeS_4 , com 63,3 % de Cu), a covellita (CuS , com 66,4% de Cu) e a enargita (Cu_3AsS_4 , com 48,3% de Cu). Entre os secundários, incluem-se os oxidados cuprita (Cu_2O , com 88,8% de Cu), e a tenorita (CuO , 79,8%Cu); os carbonatados malaquita ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, 57,5%Cu), e a azurita ($2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, 55,3% Cu) e os silicatados crisocola ($\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 36 % Cu) (RIBEIRO, 2001).

A produção mundial de Cobre foi estimada em 16,1 mil toneladas (2011), sendo o Chile o maior produtor mundial, com 33,66% do total, seguido pelo Peru, com 7,58%, China com 7,5%% e EUA com 6,96%. O Brasil é o décimo quinto maior produtor de Minério de Cobre, com produção em 2011 de 400 mil toneladas. Em 2012, o IBRAM estimou que o País atingisse 450 mil toneladas. Um crescimento mais significativo na produção até 2015 atingiu uma produção de 600 mil toneladas de cobre, com o início das operações de novos projetos (DNPM – 2012). As reservas brasileiras representam cerca de 2,0% do total mundial. No Brasil o estado do Pará tem destaque na obtenção deste metal, sendo o município de Marabá com reservas medidas da ordem de 618.108.992 toneladas, com teor médio de 0,93% de cobre, correspondente a 5.767.411t de cobre contido (RIBEIRO, 2001).

Os principais depósitos no Pará são os de: Salobo, Cristalino, Sossego e Alemão, sendo a maioria sulfetada, contendo ouro, prata e molibdênio. Em Salobo a mineralização está relacionada a xistos em ambiente Vulcano-sedimentar e constituem as reservas de cobre mais significativas e promissoras do Brasil, de nível internacional (KATO, 2016).

Nas indústrias é cada vez maior a busca por alternativas ecológicas para evitar qualquer tipo de agressão ao meio ambiente por conta da sua produção, e com alguma finalidade lucrativa, embora nem sempre se obtenham bons resultados.

Nesse meio encontram-se as minas e os rejeitos que são liberados na exploração das mesmas. Embora ainda existam poucos estudos, partindo de rejeito de cobre como matéria-prima na fabricação de peças cerâmicas, um fator que deve ser levado em consideração quando se estuda esse tipo de rejeito, são os impactos que os mesmos causam ao meio ambiente. A Figura 3 mostra a bacia de rejeitos da Mina de Sossego e o rejeito de beneficiamento de cobre a céu aberto, respectivamente.

Figura 3 – (a) imagem de satélite da bacia de rejeitos da mina do sossego.



Fonte: CORAL; LAFON, 2015.

(b) rejeito da atividade de mineração de cobre.



Fonte: RIBEIRO, 2011.

As empresas mineradoras produzem anualmente toneladas de rejeito de minério que é lançado em barragens e em pilhas, com milhares de toneladas em volume e de rochas trituradas, respectivamente. Ademais, a extração do minério de cobre acarreta impactos negativos, dentre os quais se destacam o impacto visual, em virtude da extração e da disposição de estéril, a poluição da água e solo, decorrente de dejetos orgânicos, metais pesados, entre outros, e o impacto pela poluição do ar devido à emissão de material particularizado produzido em virtude da detonação das rochas (LEITE, 2013).

Os principais impactos que os rejeitos de cobre causam ao meio ambiente são a erosão, abandono de resíduos perigosos, a devastação de extensas áreas de vegetação, perda de biodiversidade e contaminação de aquíferos e cursos de água. Além dos impactos causados pela mina em funcionamento também é preciso levar em consideração quanto esta é abandonada sem um plano de desativação (REMACRE, 2013).

3.7 Incorporação de Rejeitos Minerais em Cerâmica Vermelha

Na atividade de mineração, grandes volumes e massas de materiais são extraídos e movimentados. A quantidade de resíduos gerada pela atividade depende do processo utilizado para extração do minério, da concentração da substância mineral estocada na rocha matriz e da localização da jazida em relação à superfície. Existem dois tipos principais de resíduos sólidos: os estéreis e os rejeitos. Os estéreis são os materiais escavados, gerados pelas atividades de extração (ou lavra) no decapeamento da mina, não têm valor econômico e ficam geralmente dispostos

em pilhas. Os rejeitos são resíduos resultantes dos processos de beneficiamento a que são submetidas às substâncias minerais (IPEA, 2012).

A grande produção de rejeitos provenientes dos diversos segmentos da cadeia produtiva tem induzido uma busca constante na sua reciclagem, como carga, agregado, e também como elemento gerador de propriedades adicionais quando incorporados às mais diversas matrizes.

Estudos foram realizados para diversos tipos de rejeitos incorporados a massas argilosas buscando produzir materiais cerâmicos, cuja relevância é destacada com o objetivo de reduzir os impactos ambientais causados pelos mesmos, bem como melhorar as propriedades funcionais e estruturais das cerâmicas vermelhas:

Barbosa (2017) realizou um estudo sobre o aproveitamento de rejeito da concentração de minério de ferro na produção de cerâmica vermelha. A autora verificou que os parâmetros analisados mostraram que a composição está dentro das especificações para produção de alguns tipos de materiais cerâmicos.

Carvalho et al. (2014) verificou a Influência da incorporação do rejeito do minério de manganês de Carajás - Pa e filito de Marabá - PA em cerâmicas vermelhas. Os resultados mostraram que, com o aumento do teor de rejeito de manganês incorporado, houve um aumento na resistência mecânica, sem comprometer sua densidade aparente. Tais melhoras são devido ao rejeito se apresentar como um ótimo fundente.

Candido (2012) realizou um estudo sobre a utilização de argilito e chamote de blocos de vedação na composição de intertravado cerâmico – Adoquim. Os resultados indicaram que o argilito e o chamote possuem características favoráveis a incorporação em cerâmica vermelha para a produção do adoquim.

Nociti (2011) estudou o aproveitamento de rejeitos oriundos da extração de minério de ferro na fabricação de cerâmicas vermelhas. E observou que os resultados, após trabalho estatístico por meio do método de Weibull, demonstraram que a agregação de rejeitos nas quantidades especificadas permite a fabricação de blocos cerâmicos para vedação, isto é, sem função estrutural.

Hildebrando (1998) estudou a aplicação do rejeito do processo Bayer (lama vermelha) como matéria-prima na indústria de cerâmica vermelha. As análises dos resultados indicaram que, a lama vermelha em mistura com argila, oferece uma

grande alternativa quanto à utilização desta para a fabricação de produtos da indústria de cerâmica industrial.

A indústria de cerâmica vermelha tem uma grande capacidade de absorção de rejeitos, sejam de origem industrial ou urbana. Isto se deve ao grande volume de produção desta classe de materiais e à variabilidade natural das características das argilas, que se constituem na principal matéria-prima utilizada para a fabricação de produtos cerâmicos (VIEIRA et al., 2006).

A produção dos rejeitos torna-se preocupante em dois aspectos básicos. O primeiro, social, traduz-se no fato de algumas indústrias lançarem estes resíduos nos recursos hídricos ou dispô-los, ilegalmente, em aterros ou em locais inapropriados. O segundo, inerente ao setor industrial, manifesta-se o comprometimento de espaços úteis, pois esses resíduos são acumulados, na maioria dos casos, nos pátios das próprias fábricas (SILVA, 2000).

Dessa forma, os estudos sobre a incorporação de rejeitos em matrizes de cerâmica vermelha têm se tornado cada vez mais frequentes e alvo de pesquisas científica. Além disso, a incorporação de rejeitos em cerâmica vermelha pode minimizar os prováveis impactos causados ao ambiente.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Matérias-Primas

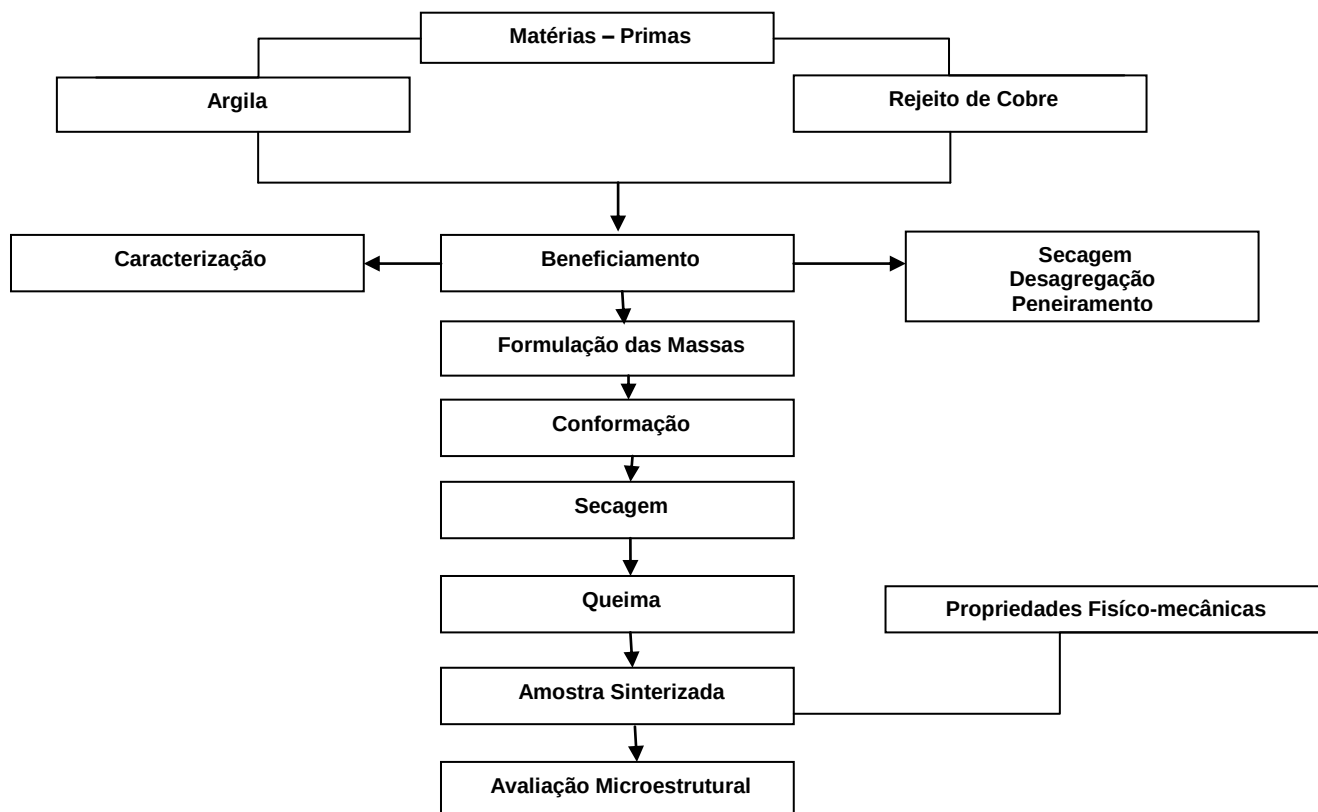
As matérias primas utilizadas na execução deste trabalho foram rejeito de minério de cobre e argila. A argila foi obtida *in natura*, extraída na região metropolitana de Belém, distrito de Icoaraci no estado do Pará. O rejeito de flotação oriundo do processo de beneficiamento do minério de cobre foi cedido por uma indústria de Extração e Beneficiamento de Minérios, localizada na serra do Sossego situada no município de Canaã dos Carajás/PA.

A argila foi seca a 110 °C por 24 horas e desagregada em moinho de bolas, em seguida o material passou por peneira automática de agitação mecânica de marca Produtest com abertura de malha #100, por um tempo de 5 minutos a fim de se obter a faixa granulométrica desejável. O rejeito foi passado em peneira com abertura de malha #100.

4.2 Metodologias usadas no trabalho

A figura 4 apresenta o fluxograma das etapas do procedimento experimental do trabalho. As etapas serão descritas posteriormente, adotando-se a metodologia usada por Hildebrando (1998).

Figura 4 – Etapas do Procedimento Experimental do Trabalho.



4.3 Formulações

Foram elaboradas cinco composições com misturas de argila e rejeito de cobre (RC), conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Composições a serem Investigadas.

Matéria	Composição (%)				
	0 RC	10 RC	20 RC	30 RC	40 RC
Prima					
Argila	100	90	80	70	60
Rejeito de Cobre	0	10	20	30	40

Fonte: autoria própria, 2018.

A homogeneização das matérias primas foi realizada a seco utilizando moinho de bolas durante 20 minutos, posteriormente, as massas preparadas foram umedecidas com água, até atingir umidade em aproximadamente 9% em peso, de modo a possibilitar a conformação dos corpos de prova.

4.4 Conformação

A conformação foi realizada por prensagem uniaxial, sob uma carga de 100 KN, em uma prensa hidráulica manual Karl Kolb D-6072, Figura 5, utilizando uma matriz de aço nas dimensões 10,0 x 5,0 x 1,0 cm. Foram fabricados oito (8) corpos de prova para cada composição argila-rejeito de cobre/temperatura.

Figura 5 - Imagem da prensa utilizada para a moldagem dos corpos de prova.



Fonte: autoria própria, 2018.

4.5 Secagem

Os corpos de prova (cp's) foram levados à secagem natural por 48 horas seguido de secagem em estufa a 105 °C por 24 horas. Os cp's foram medidos nessa etapa com paquímetro manual, para posteriormente realizar o ensaio de retração linear de sinterização.

4.6 Queima dos Corpos de Prova

Os corpos de prova foram sinterizados, Figura 6, em forno de laboratório tipo mufla da Zezimaq (faixa de trabalho de 800 a 1200 °C), nas temperaturas de 850 °, 950 ° e 1050 °C.

A escolha destas temperaturas em estudo está embasada nas literaturas que se referem a testes mecânicos realizados em cerâmica vermelha. Utilizou-se uma taxa de aquecimento constante de 1,23 °C/min e mantidos na temperatura patamar por 2 horas, posteriormente, resfriados por convecção natural desligando-se o forno.

Figura 6 - Disposição dos corpos de prova para a sinterização.



Fonte: autoria própria, 2018.

4.7 Determinação das Propriedades Físicas e Tecnológicas dos Corpos de Prova

Após a etapa de queima foram determinadas as propriedades tecnológicas tais como: Retração Linear (RL), Massa Específica Aparente (MEA), Porosidade

Aparente (PA), Absorção de Água (AA) e Resistência à Flexão (TRF), descritas a seguir.

4.7.1 Retração Linear

Os corpos de prova foram medidos após a moldagem e secagem em estufa, para a temperatura estabelecida, seguindo a norma ABNT NBR 15270-2 (2017). A Equação 1 foi utilizada para a determinação da retração linear.

$$RL = \frac{Lo - Li}{Lo} = 100\% \quad (1)$$

Onde: RL é retração linear do corpo de prova; Lo é o comprimento inicial (mm) e Li comprimento final do corpo de prova (mm), respectivamente.

4.7.2 Massa Específica Aparente

A massa específica aparente das peças queimadas foi obtida a partir da razão entre a massa do corpo-de-prova seco e sua diferença das massas imersa e massa saturada, foi calculada seguindo a norma ABNT NBR 15270-2 (2017), empregando-se a Equação 2.

$$MEA = \frac{Ms}{Ms - Mi} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (2)$$

Sendo: MEA Massa Específica Aparente dos corpos de prova; M_s Massa Seca (g); M_u Massa úmida (g); M_i Massa Imersa dos corpos de prova (g).

4.7.3 Absorção de Água (AA)

Os procedimentos para a determinação da absorção de água e porosidade aparente seguiram a norma ABNT NBR 15270-2 (2017) e NBR 15.310 (2017).

Os corpos de prova foram pesados e posteriormente colocados em um recipiente com água fervente por 2 horas e resfriados submersos em água. Em seguida, foi retirada a água superficial e os corpos de prova foram novamente pesados para que se pudesse obter o valor de absorção de água. Para a determinação da absorção de água utilizou-se a Equação 3.

$$AA = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100\% \quad (3)$$

Onde: AA = Absorção de Água; M_u = Massa úmida (g) e M_s = Massa Seca (g).

4.7.4 Porosidade Aparente (PA)

A medida da porosidade aparente foi determinada seguindo a Equação 4.

$$PA = \frac{M_u - M_s}{M_s - M_i} \times 100\% \quad (4)$$

Onde: PA = Massa Específica Aparente; M_u = Massa úmida (g), M_s = Massa Seca (g) e M_i = Massa lmersa (g).

4.7.5 Ensaios Mecânicos dos Corpos de Prova (TRF)

A resistência mecânica dos corpos de prova foram avaliadas através da tensão de ruptura a flexão em três pontos, com base na norma NBR 15270-2/2017 e NBR 15.310/2017 (ABNT), com a utilização de uma máquina de ensaio universal do laboratório do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), da marca Arotec, modelo WDW 100E, conforme a Figura 7. A distância entre os apoios ficou pré-estabelecida em 47,5 mm.

Figura 7 - Máquina universal utilizada para ensaios de resistência à flexão.



Fonte: autoria própria, 2018.

Para a determinação dos ensaios mecânicos utilizou-se a Equação 5.

$$TRF = \frac{3P \cdot L}{2b \cdot h^2} \times 100\% \quad (5)$$

Em que: TRF Tensão de Ruptura a Flexão (kgf/cm^2); P Carga Aplicada (N); L Distância entre os Apoios (cm); b Largura (cm) e h Altura (cm).

4.8 Caracterização das Matérias-primas

A caracterização das matérias-primas consistiu na determinação da composição mineralógica, realizada por meio de ensaios de difração de raios X (DRX).

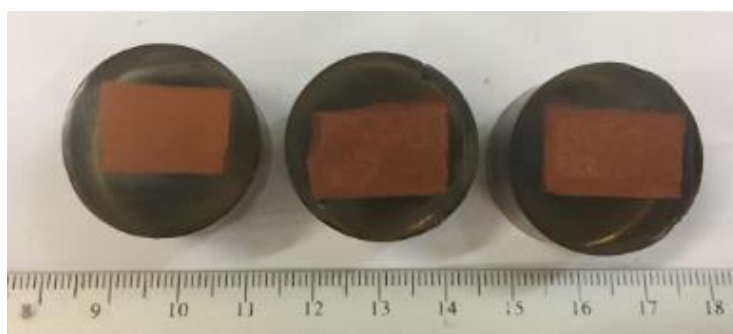
4.8.1 Composição Mineralógica

A análise mineralógica das matérias-primas foram realizadas por difração de raios X em Difratorômetro de Raios-X (DXR), modelo Empyrean da Panalytical, no laboratório de Caracterização Mineral (LCM/UFPA). Operando com radiação de Cobalto ($K_{\alpha 1} = 1,789010 \text{ \AA}$) e varredura de 2θ variando de $3,0072^\circ$ a $94,9979^\circ$. A preparação das amostras foi através do carregamento no porta amostra por *backload*.

4.9 Avaliação Microestrutural/Morfológica

A análise microestrutural das amostras Figura 8, foram realizadas por microscopia Óptica em microscópio confocal olympus, modelo CGA, no laboratório de Caracterização de Materiais Metálicos (LCAM/UFPA). A preparação das amostras seguiu os métodos adotados por Magalhães et al. (2009), que consistiu de lixamento e ataque químico com uma solução composta por $\text{HF}/\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}$ na proporção 2:1:10.

Figura 8 – Disposição dos corpos de prova para avaliação microestrutural.



Fonte: autoria própria, 2018.

4.10 Cor de Queima

Os corpos de prova foram dispostos sobre bancada para analisar sua coloração de acordo com o grau de sinterização. Com o auxílio de uma câmera manual os cp's foram fotografados para então identificar visualmente se os mesmos estavam dentro dos padrões de cores para materiais cerâmicos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização das Matérias-primas

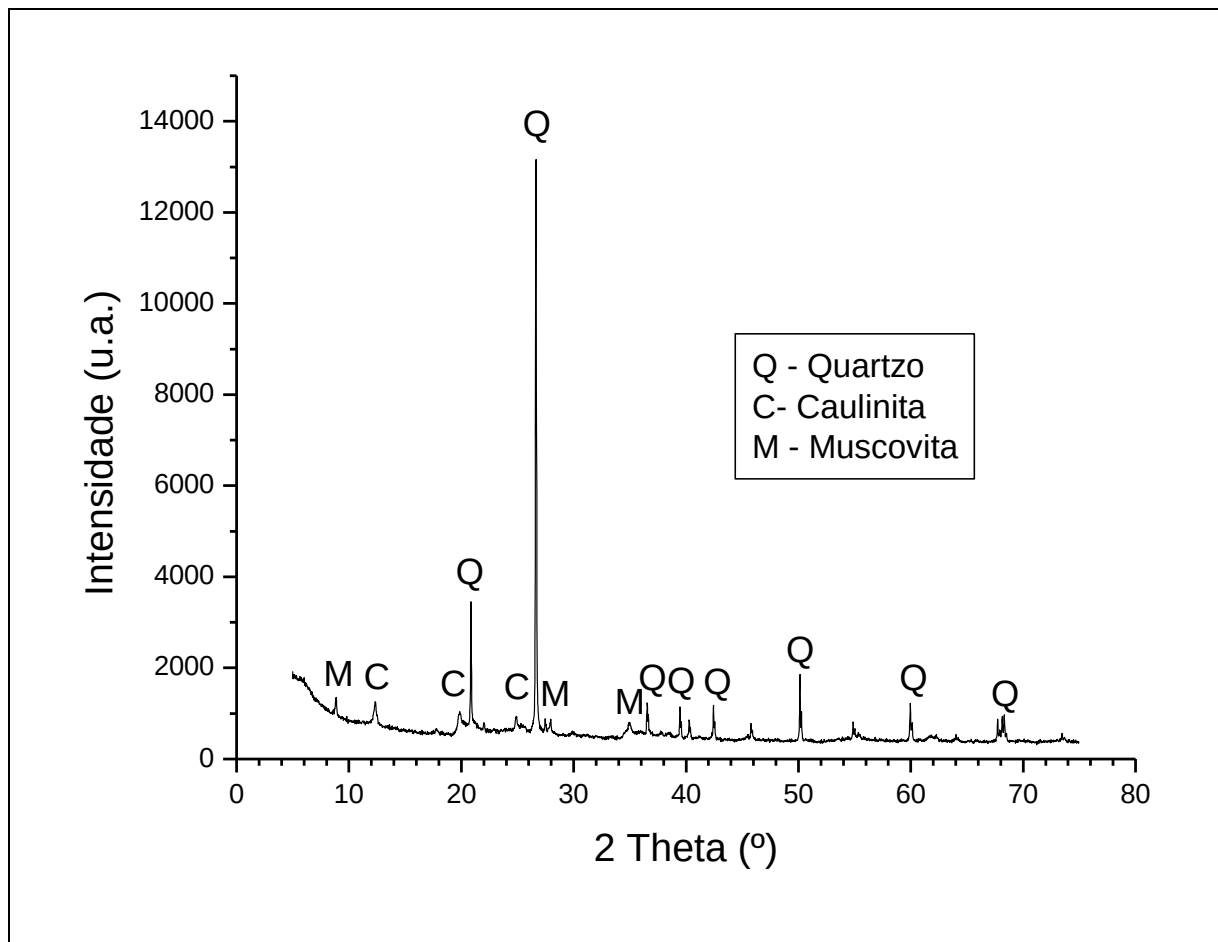
5.1.1 Composição Mineralógica

As Figuras 9 e 10 apresentam os difratogramas de raios X da argila e do rejeito de cobre, respectivamente. Com base nos picos característicos de difração da argila, pode-se observar que tais materiais são constituídos essencialmente por quartzo - (SiO_2) , caulinita - $(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ e muscovita - $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$. Podendo ser observado predominantemente uma maior presença de quartzo em relação aos demais constituintes.

O quartzo presente na argila, é atuante como matéria-prima não-plástica e inerte durante a sinterização. A caulinita é o argilomineral responsável pelo desenvolvimento da plasticidade da argila em mistura com a água (SOUZA SANTOS, 1989). Possuindo uma textura lamelar, a mica muscovita pode atuar como fundente já que em sua estrutura existe a presença de óxidos alcalinos (RIBEIRO, 2010).

Estudos realizados por Silva et al.(2013) para argila proveniente da mesma região de Belém, mostraram os aspectos qualitativos dos elementos constituintes da argila, sendo observado a maior presença de quartzo em detrimento a caulinita, vermiculita, muscovita e demais constituintes.

Figura 9 - Difratoograma de raios X da Argila.



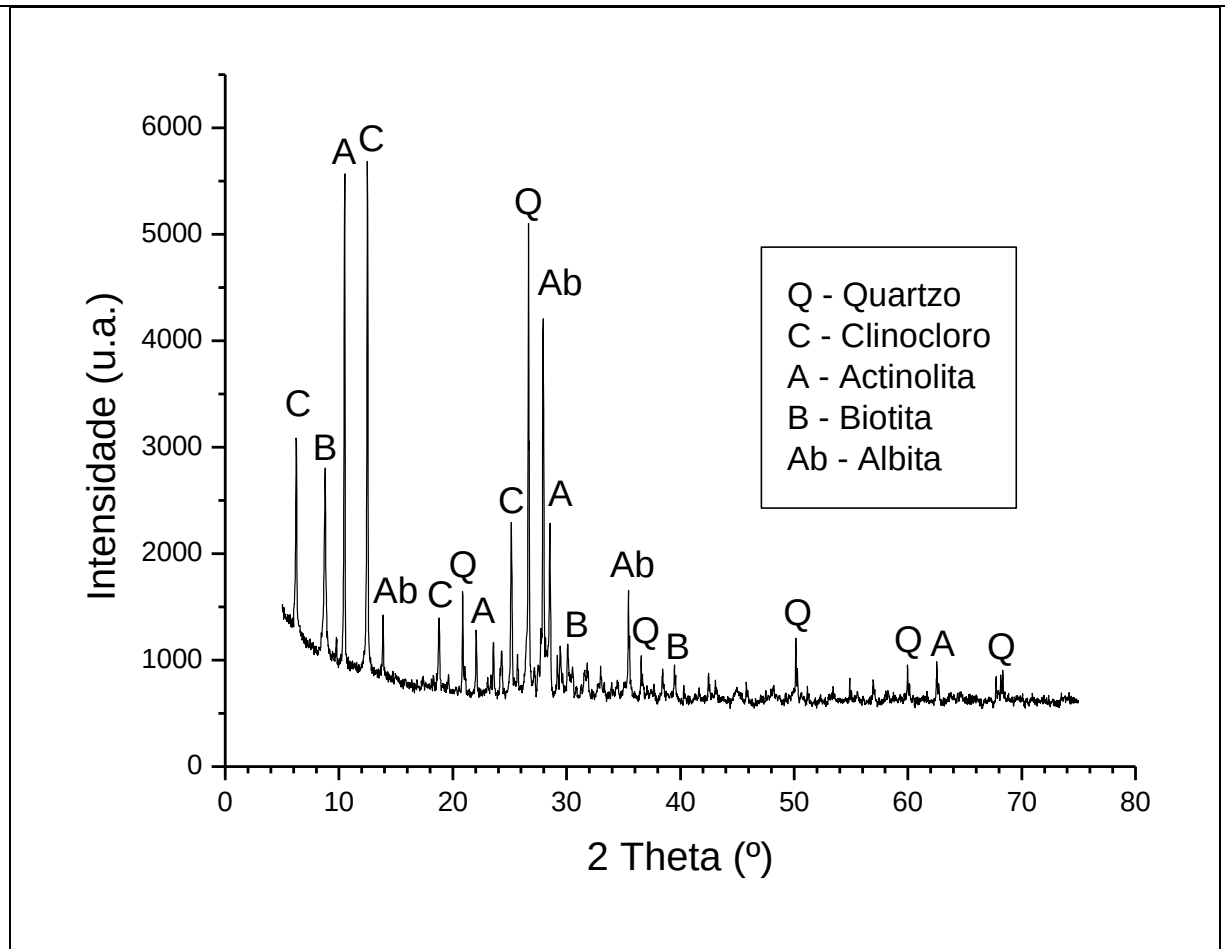
Fonte: autoria própria, 2018.

A amostra do rejeito indicou a presença predominante de quartzo - SiO_2 , biotita - $\text{KFeMg}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$, albita - $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$, actinolita - $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})$ e clinoclóro - $(\text{Mg,Fe})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$. Estudos realizados por Coral e Lafon et al (2015) para rejeito de cobre proveniente da mesma região do utilizado neste trabalho, apresentaram mineralogia semelhante, tendo como fases principais minerais de quartzo, feldspatos e micas.

O quartzo presente no rejeito de cobre vai facilitar o controle da dilatação e o ajuste da viscosidade da fase líquida formada durante a queima, além de facilitar a secagem e a liberação dos gases durante a queima (SOUZA SANTOS, 1989). As micas (clinoclóro, actinolita e biotita) vão melhorar a flexibilidade do material, proporcionando baixa condutividade térmica e elétrica, além de permitir uma maior resistência ao material diante das mudanças de temperatura. Já o feldspato (albita), atua como fundente, seu ponto de fusão é menor que a maioria dos outros componentes, e serve como cimento para as partículas das várias substâncias

cristalinas, além de proporcionar outros aspectos, como as reações físico-químicas (CORAL; LAFON, 2015).

Figura 10 - Difratoograma de raios x do rejeito de cobre.



Fonte: autoria própria, 2018.

5.2 Determinação das Propriedades Físicas e Tecnológicas

5.2.1 Absorção de Água

A Figura 11 apresenta o comportamento da absorção de água para os corpos de prova sinterizados em diferentes temperaturas. Na temperatura de 850 °C observa-se, que a adição de 30% em peso de rejeito de cobre, houve uma queda na absorção de água em relação à massa argilosa. Quando se adicionou 40% de rejeito à absorção de água aumentou, não ultrapassando, entretanto, o valor correspondente a composição contendo somente massa argilosa, as demais composições também tiveram uma discreta redução nesse parâmetro. Estudos realizados por Vieira et al (2009), diz, que as transformações de fases começam a

ocorrer à 850 °C, isso pode acarretar no aumento da porosidade e, conseqüentemente, da absorção de água.

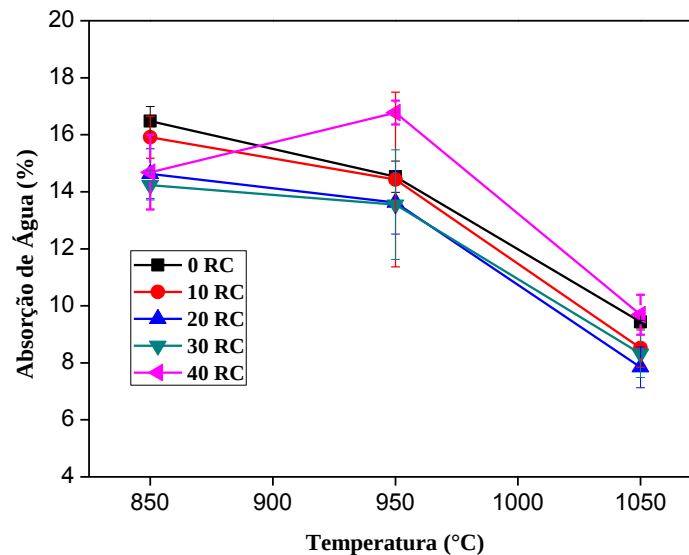
A 950 °C também foi observado que a absorção de água apresentou uma leve queda em relação à massa argilosa, porém, não foi tão expressiva. Quando se adicionou 40% de rejeito de cobre, houve um aumento significativo nesse parâmetro. Os resultados de absorção de água são condizentes com os resultados encontrados para a porosidade aparente, ou seja, quanto maior o teor de rejeito de cobre, maior é a sua porosidade e também maior é a absorção. Este resultado também já era esperado, uma vez que a porosidade aparente está diretamente ligada à capacidade de absorção do líquido pelo sólido.

Na temperatura de 1050 °C nota-se uma redução na absorção de água. Quando se adicionou 40% de rejeito de cobre, houve um leve aumento desse parâmetro, sem, entretanto, alcançar o valor correspondente à composição sem adição de rejeito, isso pode estar relacionado a falta da presença de óxidos, o que favorece essa propriedade.

Estudos realizados por Souza Santos (1989), diz que, para a utilização da argila na indústria de cerâmica vermelha deve estar entre 0% e 25% para a absorção de água. No entanto, a NBR 15.270/2 (2017), determina que para o uso em blocos cerâmicos o valor de absorção de água varia de 8 a 22%. Portanto, todas as amostras atenderam os valores sugeridos.

Os melhores resultados para absorção de água foram obtidos na temperatura de 1050 °C. Segundo Vieira *et al* (2009), tal resultado está associado às reações de sinterização que nesta temperatura estão em estágio avançado.

Figura 11 - Resultados para absorção de água dos corpos de prova sinterizados a 850°, 950 ° e 1050 °C/2horas.



Fonte: autoria própria, 2018.

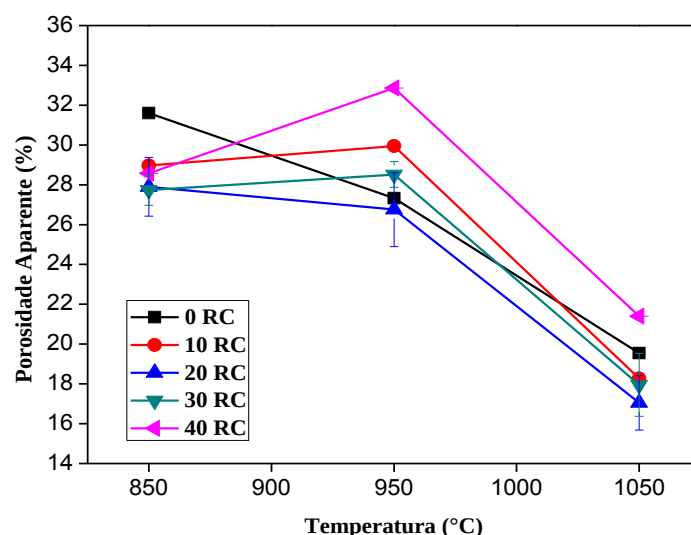
5.2.2 Porosidade Aparente

A figura 12 apresenta os resultados do ensaio de porosidade aparente, que tem a finalidade de mostrar o valor percentual de poros abertos presentes. É possível observar que com o aumento da temperatura ocorreu uma redução da porosidade.

Segundo Souza Santos (1989), para porosidade aparente os valores máximos são de 35% para uma temperatura de 950°C e 30% para uma temperatura de 1250°C, valores considerados aceitáveis para cerâmica vermelha. Os maiores percentuais foram observados para a composição 40RC, com o máximo de 33,569%. A composição 30RC apresentou os menores percentuais para as temperaturas de 850 °C e 950 °C, com o mínimo de 27,067 %, já para a temperatura de 1050 °C o menor valor encontrado foi para a composição 20 RC, com o mínimo de 15,705 °C. As demais composições contendo rejeito de cobre ficaram no intervalo de máximo e mínimo dos valores citados.

A redução da absorção de água e consequentemente, da porosidade aparente, pode está relacionado à proximidade no tamanho das partículas dos materiais, contribuindo significativamente para a ausência de vazios.

Figura 12 – Resultados para a porosidade aparente.



Fonte: autoria própria, 2018.

5.2.3 Retração Linear

Os valores de retração variam de 0,96 a 4,43%, o que satisfaz o valor máximo recomendado pela NBR 15.270/2 (2017), que é de 6 %.

Os resultados de retração linear para a temperatura de 850 °C apresentou valor mínimo de 1,19 para a composição contendo somente massa argilosa e máximo de 1,43% para as demais composições. Para a temperatura de 950 °C apresentou valor mínimo de 0,96 e valor máximo de 1,21 para as composições.

Já para a temperatura de 1050 °C houve uma pequena variação nos valores de retração para todas as composições, houve um aumento dessa propriedade, isso pode está relacionado ao aumento do grau de sinterização, provocando mudanças físicas e, consequentemente, redução do volume dos corpos de prova. Vale ressaltar que a água de conformação utilizada foi bem próxima para cada composição, o que não influenciaria essa propriedade. Os resultados encontrados para cada composição nas diferentes temperaturas de queima estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4- Resultados da retração linear.

Retração Linear (%)						
Composição (%)	850 (°C)	Desvio Padrão	950 (°C)	Desvio Padrão	1050 (°C)	Desvio Padrão
0 RC	1,19	0,48	1,21	0,48	4,43	0,56
10 RC	1,43	0,55	0,96	0,48	4,41	0,61
20 RC	1,43	0,55	1,21	0,48	3,93	1,19
30 RC	1,25	0,63	1,21	0,49	3,78	0,57
40 RC	1,43	0,55	1,21	0,49	2,96	1,64

Fonte: autoria própria, 2018.

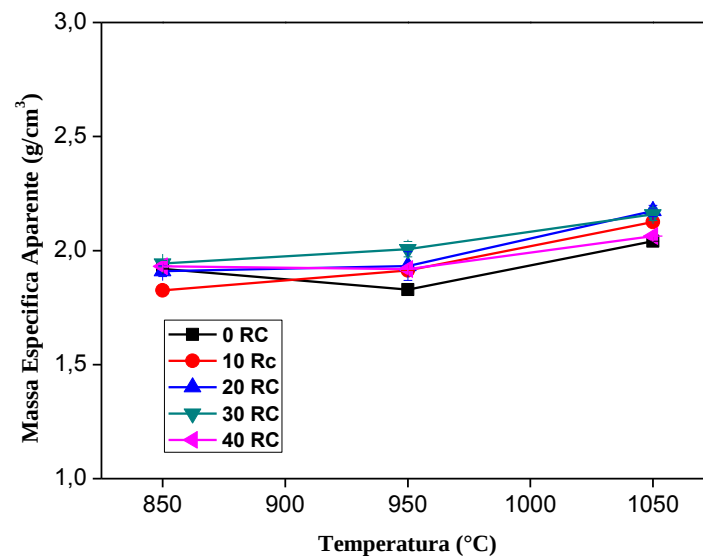
Os valores encontrados demonstram que a adição de rejeito de cobre favoreceu essa propriedade, uma vez que, quando se eleva o patamar de queima do material cerâmico, percebe-se que há um aumento na retração, porém, permanecendo dentro dos limites sugeridos pela norma.

5.2.4 Massa Específica Aparente

A Figura 13 apresenta os resultados obtidos para massa específica aparente. A faixa de variação para os corpos de prova sinterizados a 850 °C para massa específica foi de 1,45 a 1,99 g/cm³, para 950 °C a faixa de variação foi de 1,82 a 2,00 g/cm³ e para a massa específica a 1050 °C foi de 2,04 a 2,17g/cm³. Observa-se que houve um leve aumento na massa específica à medida que ocorreu o aumento da temperatura. A adição de 30% de rejeito de cobre provocou um leve decréscimo na massa específica dos corpos de prova sinterizados a 850 °C, entretanto, para as demais composições contendo rejeito de cobre foi observado que houve uma variação para esse parâmetro. Esse ligeiro aumento na massa específica pode estar associado a um melhor empacotamento das partículas durante a etapa de sinterização. Esse melhor empacotamento pode ser benéfico, pois pode contribuir para uma melhoria das propriedades mecânicas. Estudos realizados por Souza Santos (1989), diz que os valores de massa específica aparente das argilas devem estar entre 1,7 e 2,1g/cm³ para sua utilização em cerâmica vermelha. Logo, todas as

composições obtiveram valores neste intervalo, estando entre os valores de mínimo e máximo recomendado pela literatura.

Figura 13 - Massa específica aparente dos corpos de prova sinterizados a 850 °, 950 ° e 1050 °C/2horas.



Fonte: autoria própria, 2018.

5.2.5 Resistência à Flexão

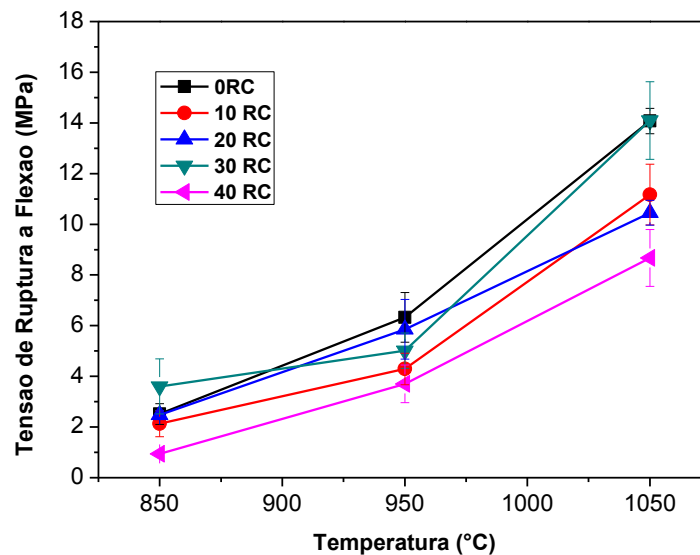
A Figura 14 mostra a resistência a flexão das cerâmicas em função da temperatura de sinterização. Nas três temperaturas estudadas, a adição do rejeito promoveu um aumento na resistência dos corpos de prova. A adição de 40% de rejeito para as diferentes temperaturas investigadas, observou-se uma leve redução na resistência em relação à massa argilosa. Já para as formulações contendo 10, 20 e 30% de rejeito favoreceu essa propriedade, uma vez que houve um aumento na resistência para as diferentes temperaturas.

Estudos realizados por Nocitti (2011), com cerâmica vermelha, diz que para a resistência a flexão os valores especificados nas normas para a fabricação de tijolos maciços e blocos cerâmicos, são de 2,0 MPa e 5,5 MPa, respectivamente. Para a obtenção de telhas, o valor especificado foi de 6,5 MPa. Já para a obtenção de revestimento cerâmico de parede, a resistência mecânica mínima exigida é de 12 MPa para produtos com espessura menor que 7,5 mm. Para aplicação como pavimento, a resistência mecânica mínima é de 18 MPa.

Segundo a NBR 15.270/2 (2017) o valor de resistência mecânica para utilização das amostras como bloco cerâmico está dividida em classes, sendo o valor mínimo de 1MPa. Para telhas o valor varia de 6,8 a 9,8 MPa e, no máximo, 12,7 MPa dependendo do tipo de telha.

Partindo dessas condições, observa-se que ao agregar rejeito de cobre com argila, tem-se sua utilização para blocos cerâmicos, uma vez que as composições ficaram dentro dos limites sugeridos pela literatura.

Figura 14– Resultados das tensões de ruptura a flexão para as composições sinterizados a 850°, 950° e 1050 °C/2horas.

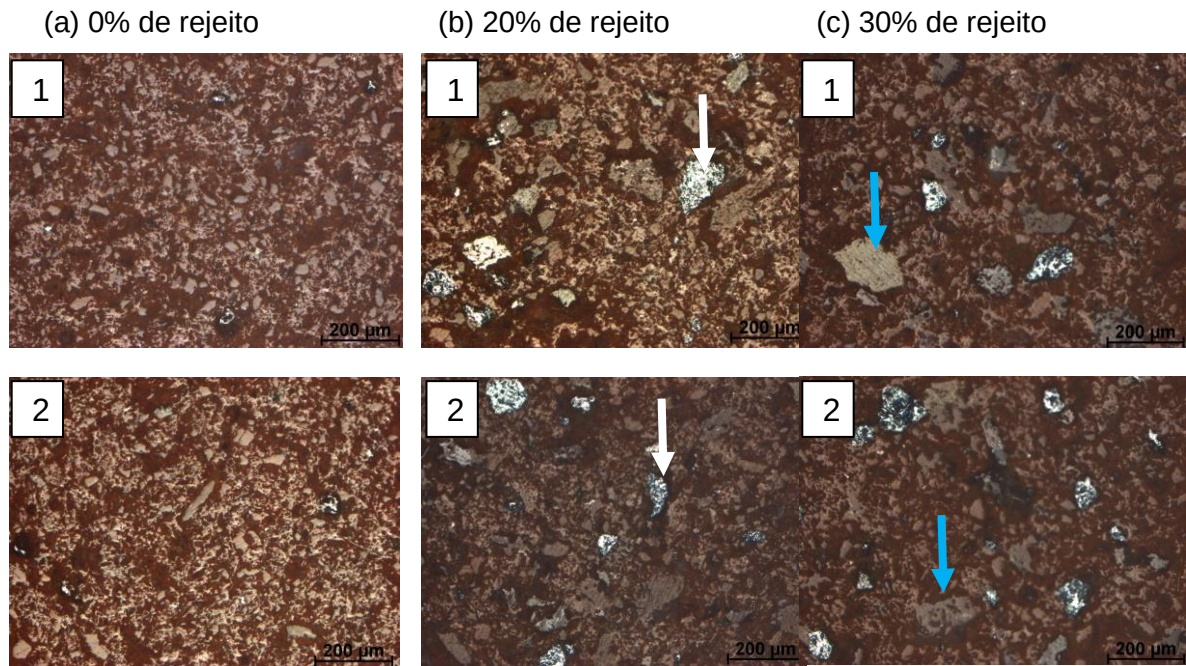


Fonte: autoria própria, 2018.

5.3 Avaliação Microestrutural

A Figura 15 apresenta as micrografias obtidas por microscopia óptica das amostras sinterizadas a 1050 °C. As micrografias 1 correspondem as amostras sem ataque. Já as micrografias 2 correspondem as amostras com ataque químico. Nestas imagens pode-se observar uma provável formação de fase vítrea e baixa porosidade. Observa-se também, a presença de mineral micáceo nas amostras 1 e 2 indicado pela seta branca e alguns aglomerados de partículas em ambas as amostras, indicados pela seta azul.

Figura 15 – Micrografias Ópticas das amostras sinterizadas a 1050 °C.

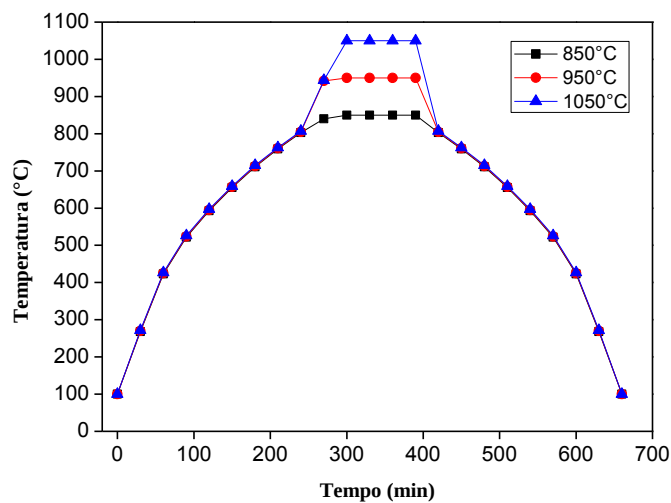


Fonte: autoria própria, 2018.

5.4 Determinação da Curva de Queima

A Figura 16 mostra a curva de aquecimento dos corpos de prova sinterizados a 850, 950 e 1050 °C.

Segundo Gouveia (2008), diz que normalmente uma curva de queima envolve uma constante taxa de aquecimento até a temperatura máxima e o tempo de permanência neste estágio, para que todas as reações necessárias se processem a fim de se obter as propriedades desejadas no produto cerâmico.

Figura 16 - Curva de aquecimento dos corpos de prova.

Fonte: autoria própria, 2018.

5.5 Cor de Queima

Na Figura 17 são apresentadas as cores de queima dos corpos de prova formulados com argila e rejeito de cobre, em suas respectivas temperaturas.

Observa-se que para as composições sinterizadas a 850 e 950 °C houve uma leve variação na coloração, entretanto, na temperatura de 1050 °C todos os corpos cerâmicos obtiveram coloração mais escura.

As cores variaram basicamente nos tons de marrom escuro, marrom claro e tom avermelhado. A mudança de coloração nos corpos de prova pode estar relacionada à presença de ferro nas composições dos minerais estudados, por volta de 1050 °C conferiu-lhes uma coloração mais avermelhada. Assim, a influência do ferro é verificada acima desta temperatura. O que estão de acordo com os padrões de cores para materiais produzidos na linha de cerâmica vermelha.

Figura 17 - Cor de Queima dos Corpos de Prova nas diferentes temperaturas.

	850 °C	950 °C	1050 °C
0 RC			
10 RC			
20 RC			
30 RC			
40 RC			

Fonte: autoria própria, 2018.

Diante dos resultados pode-se observar que o estudo dessas formulações permitiram um conhecimento com um panorama mais geral sobre as características da argila e do rejeito, bem como cada composição estudada se comporta mediante as exigências das normas regulamentadoras.

Sucintamente pôde-se provar que a massa cerâmica sem mistura é tecnicamente viável quando se trata da resistência do material. No entanto, provou-se que a mistura do rejeito de cobre com argila da região permite um melhor comportamento do material em todos os quesitos exigidos pela norma.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise e a interpretação dos resultados dos ensaios, das diferentes misturas estudadas neste trabalho, possibilitam destacar as seguintes conclusões:

Os resultados demonstraram que as matérias-primas em estudo são adequadas para a utilização em cerâmica vermelha.

A absorção de água e a porosidade aparente diminuíram gradativamente para todos os corpos de prova com adição de rejeito de cobre, entretanto, ficaram no intervalo de máximo e mínimo dos valores citados, não superando os intervalos determinados por Souza Santos (1989).

Os valores encontrados demonstram que para a retração linear a adição de rejeito de cobre favoreceu essa propriedade, uma vez que, quando se eleva o patamar de queima do material cerâmico, percebe-se que há um aumento na retração, porém, permanecendo dentro dos limites sugeridos pela norma.

Os valores da massa específica aparente das composições de rejeito de cobre não apresentaram grande variação, estando dentro dos limites sugeridos.

A resistência mecânica dos corpos de prova com adição de rejeito apresentaram resultados acima do limite mínimo que determina a literatura.

A avaliação microestrutural demonstrou a presença de materiais micáceos e uma boa distribuição das partículas.

Diante dos resultados encontrados, percebeu-se que todas as composições apresentaram-se, de certa forma, dentro dos parâmetros exigidos pela NBR. Porém o melhor comportamento mecânico ficou com composição 30 RC, o que a torna a formulação mais indicada para fabricação de blocos de vedação.

7 SUGESTÕES

- Analisar as matérias-primas por Fluorescência de raios X (FRX), para confirmar a composição química dos minerais presentes.
- Realizar a análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) nas amostras, para analisar a microestrutura dos corpos de prova e a interação entre as matérias primas nas diferentes temperaturas.
- Realizar a avaliação da granulometria das matérias-primas em estudo, buscando um modelo para um melhor empacotamento das partículas.
- Aplicar a estatística de Weibull para os resultados de Módulo de Ruptura a Flexão.
- Testar as formulações na indústria cerâmica para produção de blocos, tijolos e telhas.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR. 15.270-2.** Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação, 2017.
- ABNT. ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR. 15.310.** Componentes cerâmicos — Telhas — Terminologia, requisitos e métodos de ensaio, 2017.
- ABCERAM. Associação Brasileira de Cerâmica. **Panoramas Setoriais:** matérias-primas naturais, 2000/ 2009. Disponível em: http://www.abceram.org.br/asp/abc_2614.asp. Acesso em: 17 ago. 2018.
- ABCERAM. Associação Brasileira De Cerâmica. **Anuário Brasileiro de Cerâmica.** São Paulo: ABC, 2004.
- ABDI. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Estudo Técnico Setorial da Cerâmica Vermelha,** 2010.
- ACCHAR, W.; RULFF, B.; SEDAGADAES, A. **Effect of the incorporation of a spent catalyst reject from the petroleum industry in clay products.** Applied Clay Science, V. 42, p. 657–660, 2009.
- ANFACER. Associação Nacional Dos Fabricantes De Cerâmica Para Revestimento. 2010. Disponível em: <http://www.anfacer.org.br>. Acesso em: 12 dez 2017.
- ANICER. Associação Nacional Da Indústria Cerâmica, 2007, 2011, 2018.
- ARANHA, I.B. **Preparação, caracterização e propriedades de argilas organofílicas.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.
- BASEGIO, T. M.; BERUTTI, F. A. BERGMANN, C.P.; **Aspectos Ambientais nouso de lodo de curtume como matéria-prima para cerâmica vermelha.** 45º Congresso Brasileiro de Cerâmica Florianópolis S.C. – Anais. 2001
- BETINI, Daniele Gioppo. **Inovação na tecnologia de produtos de cerâmica vermelha com uso de chamote em São Miguel do Guamá.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará - Belém, 2007.
- CANDIDO, S. V. **utilização de argilito e chamote de blocos de vedação na composição de intertravado cerâmico – Adoquim.** Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF- Campos dos Goytacazes – RJ, 2012.
- CARVALHO, T.U.S, DOS SANTOS, E.A.; BORBA, S. C.; ARANHA, R. C.; FAGURY NETO, E. **Influência da incorporação do rejeito do minério de manganês de carajás-pa e filito de marabá-pa em cerâmicas vermelhas.** 21º CBECIMAT. Cuiabá, 2014.

CHAVES, L. F. M. **Estudo da adição de resíduo proveniente da extração de minério de ferro em argilas do Rio Grande do Norte**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, 2009.

CORAL, Natasha & LAFON, Jean Michel, et al;. **Caracterização Mineralógica dos Rejeitos do Beneficiamento do Minério de Cobre da Mina do Sossego (Canaã dos Carajas/PA)**. CBGQ, 2015.

CHRISPIM, Z.M.P., Almeida, L.L.P., Alves, M.G., Ramos, I.S. Silva, A.L. C **Caracterização de solos residuais da região de Campos dos Goytacazes/ RJ para uso de engobes em cerâmica artística**. 54º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Foz do Iguaçu- PR, 2010.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral . Disponível em <<http://www.dnpm.gov.br>>. Acesso em: 10 out. 2018.

GARDOLINSKI, J. E; FILHO, H. P. M; WYPYCH, F. **Comportamento térmico da caulinita hidratada**. Química Nova, v.26, n. 1, p. 30-35, 2003.

GOMES, C.F. **Argilas: o que são e para que servem**. Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1998.

GOUVEIA, F. P.; **Efeito da Incorporação de Chamote (Resíduo Cerâmico Queimado) em massa cerâmicas para a fabricação de blocos cerâmicos para o Distrito Federal**. Um estudo experimental. DF- 2008.

GRUN, E. **Caracterização de Argilas Provenientes de Canelinha/SC e Estudo de Formulações de Massas Cerâmicas**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Centro de Ciências Tecnológicas da UDESC. Universidade do Estado de Santa Catarina, 2007.

HILDEBRANDO, E.A. **Aplicação do rejeito do processo Bayer (lama vermelha) como matéria-prima na indústria de cerâmica estrutural**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Pará, Belém, 1998.

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. **Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração**. 1º ed. – Brasília: IBRAM, 2016.

IPEA – Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicada. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração de Substâncias Não Energéticas**. Brasília: IPEA, 2012.

JORDÃO, M.A.P., ZANDONADI, A.R. Informações Técnicas: **Anuário brasileiro de cerâmica**. Associação Brasileira de Cerâmica, São Paulo. 26-64, 2002.

KATO, R. B. **Estudo da influencia do resíduo de beneficiamento de cobre sulfetado nas propriedades do concreto asfáltico**. Belém, 2016. 147p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, 2016.

KINGENY, W. D.; BOWEN, H. K.; UHLMANN, D. R. **Introduction to Ceramics**. 2a ed. New York: John Wiley & Sons, 1976. P. 3, 66, 787-788, 2002.

LEITE, P.LC. **Processamento e avaliação das propriedades tecnológicas de porcelanato obtido com adição de rejeito de minério sulfetado de cobre** [trabalho de conclusão de curso]. Marabá: Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará; 2013.

LUCENA, M.M.: **Efeito da Introdução de Resíduo de Cinza de Forno Cerâmico em Massa para Cerâmica Estrutural** – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2007.

LUCAS, D.; BENATTI, C.T. **Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil**. Revista em Agronegócios e Meio Ambiente, Vol. 1, n.3, p. 405-418, 2008.

MAS, E. **Qualidade e Tecnologia em Cerâmica Vermelha**. Editora Pólo Produções LTDA., São Paulo, 191p., 2002.

MAGALHÃES, J.P.V.T; MOREIRA, J.M.S.; HOLANDA, J.N.F. **Variação microestrutural de cerâmica vermelha incorporada com resíduo de rocha ornamental**. Revista Cerâmica. V. 55, p.371 – 378, 2009.

MOORE, D.M; REYNOLDS JUNIOR, R.C. **X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals**. Oxford University Press, New York. 332p. 1989.

NORTON, F. H. **Ceramica Fina** – Tecnologia Y Aplicaciones. 1a ed. Barcelona: Ediciones Omega S. A., 1975. p. 1-18, 2009.

NOCITI, Denyse Meirelles. **Aproveitamento de rejeitos oriundos da extração de minério de ferro na fabricação de cerâmicas vermelhas** / Denyse Meirelles Nociti – Guaratinguetá: [s.n], 2011.

PADILHA, A. F. **Materiais e Engenharia. Microestrutura e Propriedades**, Editora Hemus, 1nd ed., São Paulo, 1997, pp. 16-18, 23, 259 e 260.

RIBEIRO, J. A. S. **Balanço Mineral Brasileiro**. Brasília, 2001, 2010, 2011.

REMACRE, Armando Zaupa. **Cobre-Disciplina GE902** . Apostila Online. Disponível em: <<http://ge902cobre.wordpress.com/meio-ambiente/>>. Acesso dia 28/11/2017.

SANTOS, O.C., **Influência da adição de rejeitos cerâmicos nas propriedades de cerâmica vermelha da região do Recôncavo Baiano**, Natal-RN, 2001. 80p. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SEBRAE: Disponível em:
[http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/BDS.nsf/947CE75D32DE1BCB832574C1004E1EC5/\\$File/NT00038DA6.pdf](http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/BDS.nsf/947CE75D32DE1BCB832574C1004E1EC5/$File/NT00038DA6.pdf). Acesso em: 12 dez. 2017.

SILVA, A.L.M.F., SOUZA, J.A.S., FELIPE, A.M.P.F., **Estudo do comportamento reológico da polpa de argila da região de Icoaraci distrito de Belém-Pará.** 57º Congresso Brasileiro de Cerâmica & 5º Congresso Ibero-Americano de Cerâmica, 2013.

SOUZA, J. A. S.; LYAN, R. C. D.; VALENTE, A. R.; NEVES, R. F.. **Caracterização dos Depósitos de Sedimentares Sílico Aluminosos Cauliníticos Utilizados como Matéria Prima para a Indústria de Cerâmica Vermelha das Proximidades de Belém.** In: Congresso Brasileiro de Química; Associação Brasileira de Química, 35, Anais. Salvador – Bahia, 1995.

SOUZA SANTOS, P. **Ciência e Tecnologia de argilas.** São Paulo: Edgard Blücher, 1992, 1975, 1989.

SPOSTO, R.M., Moraes, D.M., Pereira, C.H.A.F. **Melhoria da qualidade de blocos cerâmicos e implantação de sistemas de gestão da qualidade em empresas que abastecem o mercado de Brasília.** Universidade de Brasília, Brasília, FUB/CDT, SINDUSCON-DF, 2006.

STEIL, O. S. **Energia do Gás Natural em Fornos de Cerâmica Estrutural.** Florianópolis: SCGÁS, jul. 2000.

VERÇOZA, E. J. **Materiais de construção.** v. I e II. 3a ed. Porto Alegre: Sagra, 1987.

VIEIRA, C.M.F. **Efeito da incorporação de resíduo de minério de ferro nas propriedades de queima de cerâmica argilosa.** 17º CBECIMAT. Paraná, 2006.

VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S. N. **Effect of the particle size of the grog on the properties of bricks.** In: TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), 249–254, 2009

VICENZI, J. **Efeito da adição de chamota em uma massa cerâmica de argila vermelha.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 153 p., 1999.

WEBMINERAL. **Mineralogy Database.** Disponível em: <http://www.webmineral.com>. Acesso em: 17 ago. 2018.