

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

HÉLVERTON EMÍLIO RIBAS

**NOVOS COMPÓSITOS CERÂMICOS COM BASE EM CAULIM,
BORRA DE TINTA, AREIA DE FUNDIÇÃO E VIDROS RESIDUAIS**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2017

HÉLVERTON EMÍLIO RIBAS

**NOVOS COMPÓSITOS CERÂMICOS COM BASE EM CAULIM,
BORRA DE TINTA, AREIA DE FUNDIÇÃO E VIDROS RESIDUAIS**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre. Área de concentração: Materiais de construção civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof^o Dr.Vsevolod Mymrine

CURITIBA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

R482n Ribas, Hélyerton Emílio
2017 Novos compósitos cerâmicos com base em caulim, borra de tinta, areia de fundição e vidros residuais / Hélyerton Emílio Ribas.-- 2017.
87 f.: il.; 30 cm.

Texto em português, com resumo em inglês.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Curitiba, 2017.

Bibliografia: p. 79-86.

1. Engenharia civil - Dissertações. 2. Cerâmica. 3. Areia de fundição. 4. Vidros. 5. Tintas. 6. Caulim. I. Mymrine, Vsévolod. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDD: Ed. 22 -- 624

Biblioteca Ecoville da UTFPR, Câmpus Curitiba



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação

TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº _____

A Dissertação de Mestrado intitulada NOVOS COMPÓSITOS CERÂMICOS COM BASE EM CAULIM, BORRA DE TINTA, AREIA DE FUNDIÇÃO E VIDRO RESIDUAIS, defendida em sessão pública pelo(a) candidato(a) Héilverton Emílio Ribas, no dia 10 de maio de 2017, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração Construção Civil, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA:

Prof(a). Dr(a). Vsevolod Mymrine - Presidente - UTFPR

Prof(a). Dr(a) Julio César Rodrigues de Azevedo – UTFPR

Prof(a). Dr(a). Silvana Leonita Weber – UTFPR

Prof(a). Dr(a). Vanessa Ishikawa Rasoto – UTFPR

Prof(a). Dr(a). Urivald Pawlowsky – UFPR

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

Curitiba, 10 de maio de 2017.

Carimbo e Assinatura do(a) Coordenador(a) do Programa

DEDICATÓRIA

Este trabalho é inteiramente dedicado ao meu filho Matias G. Ribas.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador; Dr. Vsevolod Mymrine, obrigado por ter acreditado em mim, por todo apoio e por estar sempre pronto a ajudar e esclarecer as dúvidas. Aos meus pais Odenilson Emílio Ribas e Maria Terezinha Rodrigues Ribas. Ao meu irmão Hélderson Jair Rodrigues Ribas. À professora Karina Querne de carvalho, por ajudar de todas as formas possíveis através do laboratório de saneamento. Pelas incríveis e admiráveis professoras do Departamento Acadêmico de Química e Biologia (DAQBI) da UTFPR: Lucila Adriani Coral, Fátima de Jesus Bassetti, Maiara Soares de Carvalho, Claudia Regina Xavier, Lúcia Regina Rocha Martins e Olga Regina Gauza. Ao Laboratório de Análise de Minerais e Rochas (LAMIR), e aos funcionários pela colaboração nas análises química, mineralógica e químicas dos materiais. Ao Centro Multiusuário de caracterização de Materiais (CMCM) da UTFPR. A toda equipe do Departamento Acadêmico de Construção Civil (DACOC) da UTFPR. Ao meu querido amigo Prof^o. Walderson Klitzke do Laboratório de Cerâmica da UFPR por ter disponibilizado seu tempo em prol da ciência. Para o casal de amigos Marília Alarcon Guidolin e Reinaldo Hidalgo Alarcon Guidolin, Pérola Motter, Ana Claudia Rodrigues e a todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para a concretização desse trabalho.

EPÍGRAFE

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

(Arthur Schopenhauer)

RESUMO

Resíduos industriais têm sido um dos grandes problemas ambientais discutido na atualidade. Muitos trazem em suas composições metais pesados de diversos teores, sendo necessária uma análise de cada resíduo, a fim de que se busquem soluções práticas apropriadas da destinação, e se torne um benefício ao meio ambiente. Foram elaboradas diversas composições com borra de tinta, areia de fundição, vidro e caulim, em moldes de 60mmx20mm, prensados uniaxialmente em prensa hidráulica a 10 MPa e sinterizados em forno elétrico nas temperaturas 1100°C, 1150°C, 1200°C, 1250°C e 1275°C. Os compósitos passaram por ensaios de resistências a flexão, absorção de água, densidade aparente, retração linear, FRX, DRX, MEV, EDS, lixiviação e análise de materiais particulados. Posteriormente no material sinterizados, verificaram-se novas propriedades físicas e mecânicas, mostrando a fundição de seus materiais e resistência à flexão que chegou a 12,29 Mpa, 10,85% de absorção de água. 6,04% de retração linear e 1,39% de densidade aparente, na composição que se utilizou de 7% de resíduos e incinerados a 1275°C. Identificou a presença dos minerais montmorillonita, illita, caulinita, gibbsita, rutila e cristobalita e suas influências na cerâmica. Essa pesquisa apresentou uma solução cabível aos resíduos de tinta, areia de fundição e vidro, utilizando-os como matéria-prima para cerâmica branca.

Palavras-Chave: Cerâmicas, Borra de Tinta, Areia de Fundição, Caulim, Vidro.

ABSTRACT

Industrial waste has been one of the major environmental problems discussed today. Many contain in their compositions heavy metals of various contents, and an analysis of each residue is necessary in order to find appropriate practical solutions of the destination, and become a benefit to the environment. Several compositions were made with paint sludge, cast sand, glass and kaolin, in 60mmx20mm molds, uniaxially pressed in a hydraulic press at 10 MPa and sintered in an electric oven at temperatures of 1100 ° C, 1150 ° C ° C, 1200 ° C, 1250 ° C and 1275 ° C. The composites underwent tests of resistance to bending, water absorption, apparent density, linear retraction, FRX, DRX, SEM, EDS, leaching and analysis of particulate materials. Subsequently, in the sintered material, new physical and mechanical properties were found, showing the casting of its materials and flexural strength of 12.29 Mpa, 10.85% of water absorption. 6.04% linear retraction and 1.39% apparent densities, in the composition that was used of 7% of residues and incinerated at 1275 ° C. It identified the presence of the minerals montmorillonite, illite, kaolinite, gibbsite, rutila and cristobalite and their influences on ceramics. This research presented a suitable solution for waste ink, sand casting and glass, using them as raw material for white ceramics.

Keywords: Ceramics, Ink Boring, Casting Sand, Kaolin, Glass.

LISTAS DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANFACER	Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento
ATD	Análise Térmica Diferencial
BRT	Borra Residual da Tinta
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
CP	Corpo de Prova
XRD	Difração de raios-X
EDS	Espectrometria de Energia Dispersiva
XRF	Fluorescência de Raios-X
LACTEC	Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento
LAMIR	Laboratório de Análises de Minerais e Rochas
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
NBR	Normas Brasileiras
pH	Potencial Hidrogeniônico
PR	Paraná
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
TGA	Análise Termogravimétrica
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UV	Ultravioleta
P.F.	Perda ao Fogo
REEEs	Resíduos de Equipamentos Eléto-Eletrônico

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
g	Gramas
°C	Graus Celsius
mm	Milímetro
m/m	Relação Massa – Massa
RL	Retração Linear
Li	Comprimento Inicial do Corpo de Prova
Lf	Comprimento Final do Corpo de Prova após Queima
AA	Absorção de Água
Mh	Massa Do Corpo De Prova Saturado De Água
Ms	Massa do Material Queimado e Seco
DA	Densidade Aparente
Mi	Massa hidráulica do Corpo De Prova Imerso em Água
RMF	Resistência Mecânica à Flexão
P	Carga Máxima Suportada Pelo Corpo de Prova
L	Distância entre os Apoios do Corpo de Prova
b	Largura do Corpo de Prova
h	Altura do Corpo de Prova
MPa	Mega Pascal
N/mm ²	Newton Por Milímetro Quadrado
A	Área do Corpo de Prova
g/cm ³	Gramas Por Centímetro Cúbico
Θ	Teta
ppm	Partes Por Milhão

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composições dos experimentos	33
Tabela 2 - Caracterização química do caulim por FRX.....	43
Tabela 3 - Caracterização química da BTR por FRX	45
Tabela 4 - Caracterização química do vidro por FRX	46
Tabela 5 - Caracterização química da areia de fundição por FRX.....	46
Tabela 6 - Caracterização química do caulim por EDS.....	49
Tabela 7 - Caracterização química da borra de tinta por EDS.....	51
Tabela 8 - Caracterização química da areia de fundição por eds	53
Tabela 9 - Caracterização química do vidro por EDS	55
Tabela 10 - Retração linear dos corpos de provas	57
Tabela 11 - Absorção de água dos corpos de provas.....	59
Tabela 12 - Densidade aparente dos corpos de provas	60
Tabela 13 - Resistência mecânica à flexão dos corpos de provas em MPa	62
Tabela 14 - Microanálise química dos pontos da composição 8 - 1275°C..	67
Tabela 15 - Lixiviação dos corpos de prova 1275°C.....	70
Tabela 16 - Taxas de emissões de particulados dos corpos cerâmicos das formulações a queimadas a 1275°C	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matérias-primas para execução dos corpos de provas	27
Figura 2 - Borra de tinta residual seca	28
Figura 3 – Fluxograma do processo de fabricação ferrosa	29
Figura 4 - Execução dos corpos de provas.....	34
Figura 5 – Filtro após lixiviação.....	40
Figura 6 - Forno elétrico com filtro de particulados	42
Figura 7 - Estrutura morfológica do caulim	48
Figura 8 - Microanálise química dos pontos 1, 2 e 3 do caulim	48
Figura 9 - Estrutura morfológica da borra de tinta.....	50
Figura 10 - Microanálise química dos pontos 1 – 8 da tinta	50
Figura 11 - Estrutura morfológica da areia de fundição	52
Figura 12 - Microanálise química do ponto 1 da areia de fundição	53
Figura 13 - Vidro residual.....	54
Figura 14 - EDS pó de vidro residual	55
Figura 15 - Gráfico retração linear dos corpos de provas	58
Figura 16 - Gráfico de absorção de água dos corpos de provas	59
Figura 17 - Gráfico da densidade aparente dos corpos de provas	61
Figura 18 - Gráfico da resistência à flexão em MPa	63
Figura 19 - Estrutura morfológica da composição 8 - 1100°C.....	64
Figura 20 - Estrutura morfológica da composição 8 - 1275°C.....	66
Figura 22 - Análise de minerais da composição 8	69

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	IMPORTÂNCIA DA PESQUISA	16
1.2	JUSTIFICATIVA	16
1.3	OBJETIVOS	17
1.3.1	Objetivo geral	17
1.3.2	Objetivos específicos.....	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1	CERÂMICA BRANCA.....	18
2.2	A BORRA DE TINTA RESIDUAL	18
2.2.1	Utilização de resíduos de tintas na construção civil	19
2.3	AREIA DE FUNDIÇÃO RESIDUAL	20
2.3.1	Utilização da areia de fundição em materiais de construção.....	21
2.4	VIDRO	22
2.4.1	Utilização do vidro na cerâmica.....	22
2.5	CAULIM.....	23
2.5.1	Utilização do caulim para cerâmica	24
2.6	LOGÍSTICAS REVERSAS	24
3	MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1	MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS - NA PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS	27
3.1.1	Descrição dos ensaios laboratoriais.....	30
3.1.2	Fluorescência de raios-X.....	30
3.1.3	Difratometria de raios-X.....	31
3.1.4	Análise química e morfológica dos corpos de provas	31
3.2	Corpos de Prova	32
3.3	PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	35
3.3.1	Retração linear	36
3.3.2	Absorção de água	37
3.3.3	Densidade aparente	38
3.3.4	Resistência mecânica à flexão	38
3.3.5	Lixiviação	39

3.4 ANÁLISE DE PARTICULADOS ORIUNDOS DO INCENERAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS	41
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	43
4.1.1 Análise química do caulim.....	43
4.1.2 Análise química da borra de tinta residual.....	45
4.1.3 Análise química do Vidro.....	46
4.2 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E MICROANÁLISE QUÍMICA DAS MATÉRIAS-PRIMAS	47
4.2.1 Caracterização morfológica e microanálise química do caulim	47
4.2.1 Caracterização morfológica e microanálise química da tinta.....	49
4.2.2 Caracterização morfológica e microanálise química da areia de fundição	52
4.2.3 Caracterização morfológica e microanálise química do vidro Residual...	54
4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DOS CORPOS DE PROVA CERÂMICOS	56
4.3.1 Retração Linear	56
4.3.2 Absorção de água	58
4.3.3 Densidade aparente	60
4.3.4 Resistência mecânica à flexão	62
4.4 CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA MORFOLÓGICA E MICROANÁLISE QUÍMICA DOS CORPOS DE PROVAS.....	64
4.5 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DOS CORPOS DE PROVA	67
4.6 LIXIVIAÇÃO DE METAIS DE CERÂMICAS E DE PARTICULADOS EMITIDOS.....	70
4.6.1 Lixiviação dos corpos de provas cerâmicos	70
4.6.2 Análise de emissões de particulados durante a queima dos corpos de provas	71
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
5.1 CONCLUSÕES	72
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

1 INTRODUÇÃO

Historicamente a humanidade contemplou a revolução industrial e o desenvolvimento no século XVIII, focando em geração de riquezas e utilizando os recursos naturais que o planeta continha em abundância, o mundo cresceu econômica e socialmente. No entanto a preocupação com a destinação dos resíduos sólidos industriais gerados no processo produtivo era desconhecido. Diversos outros problemas como o aumento do volume de resíduos é decorrente da revolução industrial (JOVANE 2008). Considerando que o tratamento e a eliminação de resíduos configuram um problema caro e ambientalmente sensível (HUSILLOS RODRÍGUES et al., 2012), seu uso como material incorporado à cerâmica, considera-se uma alternativa interessante tanto à indústria, quanto para o meio ambiente (DEVANT et al., 2011). Solyon (2009) afirma que após a redução na produção de resíduos, a reciclagem, o reaproveitamento e reutilização, são as maneiras mais economicamente viáveis de lidar com o passivo gerado. A Norma Brasileira Regulamentadora NBR 10.004/2004 define Resíduos Sólidos Industriais como qualquer resíduo que se apresente nos estado sólido e semissólido resultantes de atividade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de Estação de Tratamento de Água (ETA's), aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água ou exijam para isso, soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

A borra de tinta e a areia de fundição possuem concentrações de metais pesados e são classificados como resíduos de Classe I, considerados perigosos, de acordo com a norma, sendo assim descartados, em sua maioria, em aterros industriais. Pouco utilizado com a finalidade de contribuir como matéria-prima, ou pouco estudado para esse fim, esses dois componentes, se não aproveitados, podem prejudicar ainda mais o meio ambiente. A antiga visão de que a questão ambiental se concentrava nos recursos hídricos e atmosféricos foi ampliada quando a disposição adequada de resíduos passou a

ser primordial para a preservação ambiental. Por esse motivo, a necessidade de se desenvolverem mecanismos para promover a conscientização e a busca de soluções para a implantação de tecnologias capazes de, a um só tempo, minimizar os impactos decorrentes da disposição destes resíduos no meio ambiente e reduzir os custos envolvidos nesta atividade (GIFFONI *e. al.*, 2005).

De acordo com Gouvinhas (2008) e Campos (2011) o setor de pintura representa um forte potencial de impacto, devido ao emprego de produtos químicos nos processos e uma geração significativa de resíduos, tanto sólidos como líquidos e gasosos. Adegas (2007) aponta que há um potencial de utilização de resíduos de areia de fundição, na cerâmica e que quando as empresas dão uma destinação adequada, são por exigências de órgãos ambientais. Diante disso, o presente trabalho estuda a adição de borra de tinta, vidro residual, areia de fundição e caulim a novas composições cerâmicas.

1.1 IMPORTÂNCIA DA PESQUISA

A pesquisa sobre resíduos industriais é importante para solucionar um grande problema ocasionado por indústrias, que se não dão uma destinação adequada a esses rejeitos, prejudicam o ser humano, o solo, o ar, as paisagens e a água. Preocupação que fez no século XXI aumentar a busca por soluções que podem melhorar o drama da contaminação por resíduos industriais (ZULAUF, 2000). No entanto, além de proporcionar uma destinação mais adequada aos resíduos, é dado um valor a esse material, que se torna uma matéria-prima, e que ao invés de custos, trará recurso a quem produziu e o utilizou.

1.2 JUSTIFICATIVA

A utilização de resíduos industriais como compósitos cerâmicos é uma alternativa econômica, social e ambiental, para não ser destinados a aterros ou inseridos diretamente ao meio ambiente de forma ilegal. Em razão da presença

de metais pesados encontrados na areia de fundição e na borra de tinta, a argila como ligante e pó de vidro residual como fator de diminuição da temperatura de fundição, fornece o encapsulamento de elementos passíveis de lixiviação e uma obtenção de ligações químicas. O processo de sinterização dos corpos de provas apresenta uma produção de cerâmica segura ambientalmente, de baixo gasto energético para sua queima e de propriedades úteis para a produção de materiais aplicáveis à construção civil.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Analisar a utilização de resíduos de tinta, areia de fundição, vidro e caulim na produção de cerâmica como materiais aplicáveis na construção civil.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar dentro das composições, as formações químicas e mineralógicas da borra de tinta residual, areia de fundição, vidro e do caulim, para que seja avaliada a capacidade dessas formulações se tornarem um compósito cerâmico;
- Classificar as composições mais adequadas e, realizando análises de suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, comparando com as normas vigentes aplicáveis a materiais de construção;
- Examinar as novas formações cristalográficas ocorridas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo é apresentada uma análise das publicações correntes na área de resíduos sólidos industriais, e em especial envolvendo a utilização de resíduos de areia de fundição, pó de vidro e tinta como matéria-prima da cerâmica branca. São apresentados textos relacionados ao assunto a fim de conhecer os resultados de outros autores, comparando variáveis e o problema em questão.

2.1 CERÂMICA BRANCA

A cerâmica branca é um produto se utiliza da argila como matéria-prima e de acordo com Coelho (2007) o caulim é o principal componente da cerâmica branca, onde desempenha um papel essencial. Ela é de um grupo diversificado, o qual compreende os produtos obtidos a partir de uma massa de coloração branca, em geral recobertos por uma camada vítrea transparente e incolor, tendo como exemplos a louça de mesa, louça sanitária e isoladores elétricos (NUNES, 2012).

Nunes (2012) apresentou um dossiê, onde aponta que a indústria cerâmica desempenha importante papel na economia do país, com participação estimada em 1% no PIB (Produto Interno Bruto). A evolução das indústrias brasileiras, em função da abundância de matérias-primas naturais, fontes de energia e disponibilidade de tecnologias embutidas nos equipamentos industriais fez com que diversos tipos de produtos do setor atingissem um patamar apreciável nas exportações do país.

2.2 A BORRA DE TINTA RESIDUAL

A borra de tinta é um resíduo frequente nos processos de pintura ou tingimento com diferentes aplicações e torna-se, passivo ambiental, formado por resina e pigmentos. Há muitos componentes de metais pesados que

dependem de um gerenciamento adequado (WANG, 2008). Conhecido como carga mineral moída, o pigmento é fundamentado de partículas, sendo um traço primário do mineral que, em companhia da granulometria, apresenta a capacidade de acondicionamento, o estudo das deformações, do fluxo da matéria e o reforço mecânico da mistura (PRAXEDES, 2014). O momento da geração da borra de tinta na indústria se inicia nas próprias máquinas, que necessitam de limpeza para que seja fabricada outra remessa, ou somente para manter um bom funcionamento do equipamento. A tinta que não ficou aderida à superfície metálica é coletada na forma aquosa ou pastosa. Além de todos os impactos causados durante a sua produção, normalmente não é completamente utilizada, tornando-se assim um resíduo. Dados estatísticos revelam que na China, apenas em uma indústria de médio porte, produz cerca de 50.000 toneladas de borra de tinta no período de um ano (QIAO, 2003).

Karlsson (2015) aponta que a produção total mundial de minério de ilmenita e de rutilo, os dois principais minérios de titânio, foram de 6,7 milhões de toneladas em 2011. Estima-se que 1 até 95% dos minerais utilizados foram na produção de dióxido de titânio. Aproximadamente 90% do TiO_2 é usado como um pigmento em tinta e revestimentos

Wang (2008) descreve que restos de resíduos de tinta consistem em resinas e pigmentos, sendo que as resinas podem ser recicladas por meio de processo térmico devido às suas características combustíveis.

2.2.1 Utilização de resíduos de tintas na construção civil

É de grande valia, estudar proporções de melhor destinação da borra de tinta industrial. Mymrin et al. (2016) demonstraram que os resíduos de tintas Industriais a partir da produção de papel decorativo podem ser utilizados como um dos componentes principais das matérias-primas. Sua pesquisa apontou que utilizando 50 a 60 % de resíduos de tinta, sem secagem e sinterização, para a fabricação de tijolos e blocos, de modo ambientalmente seguro, ainda assim faz com que os materiais obtidos tenham elevados valores em resistência à compressão uniaxial de até 11,68 MPa após 180 dias.

Tantas pesquisas mostraram que há presença significativa em resíduos de tintas e que podem ser utilizados como compósitos para materiais de construção civil, como foi realizado por Shu (2015) onde sua pesquisa apontou a presença de metais pesados como Ba, Cr, Pb, Fe e Zn em resíduos de tinta por meio da análise de Fluorescência de raios-X portátil. Esses metais em inseridos ao meio ambiente trazem grandes malefícios a todos os seres vivos.

Praxedes (2014) desenvolveu uma solução para esse problema, aplicou a borra de tinta na produção de cerâmicas branca refratárias constatando que a borra residual do processo de pintura automotiva em combinação com argila natural caolinítica pode ser utilizada como componente para produção de cerâmica branca.

Matheson (2006) utilizou a borra de tinta na fase líquida e sólida, produzidas nas cabines de operações de pinturas. Seu trabalho incluiu esse resíduo como um componente integral na produção de cimento em um tipo de construção de betão. Proporcionou um método eficiente para a reciclagem, evitando a necessidade de um extenso processamento e tratamento das borras de tintas.

Na publicação de Khezri (2012) a análise na espectroscopia de difração de raios-X foi realizada para determinar os tipos de combinações de lamelas. Em seguida, a digestão química e a centrifugação, foram usadas para extrair o dióxido de titânia-TiO₂. Ele extraído, atingiu 67,41% utilizando estas técnicas. Em seguida, utilizou-se um pó contendo TiO₂ em uma determinada percentagem à produção de tintas.

2.3 AREIA DE FUNDIÇÃO RESIDUAL

A areia de fundição tem em sua composição a sílica de alta qualidade, possuindo um físico uniforme. Segundo Siddique (2009) ela é um subproduto das indústrias de fundição de metais ferrosos e não ferrosos. Há séculos tem sido usado como material de moldagem por causa de sua condutividade térmica.

2.3.1 Utilização da areia de fundição em materiais de construção

Para Guney (2010) a reutilização potencial de areia de fundição em concreto de alta resistência foi investigada, mostrando redução na resistência à compressão/tração e módulo de elasticidade que está diretamente relacionado para o lixo inclusão fundição em concreto.

O objetivo no estudo de Bragança (2006) foi avaliar a viabilidade de produção de porcelana, faiança triaxial usando areia a partir de moldes de ferro fundido como matéria-prima em vez de sílica e vidro reciclado no lugar de feldspato.

Tikalsky (2000) realizou uma pesquisa para documentar e avaliar as propriedades de engenharia de materiais de baixa resistência controlada, contendo subproduto de fundição de areia. Os dados apresentados mostraram que a areia de fundição pode ser utilizado com sucesso e fornece propriedades semelhantes ou melhores às areias comuns.

Santurde (2012) defendeu que, fundição em areia verde e núcleo são misturados com argila em proporções 0-50% e incendiou 850-1050 ° C para produzir tijolos cerâmicos. Neste artigo, Santurde (2010) mostrou que a areia de fundição como material de resíduos foi valorizado na fabricação de tijolos cerâmicos em escala industrial. O emprego de uma perda proveniente de uma indústria como uma entrada para outra é um dos principais conceitos de ecologia industrial.

Furlani (2012) utilizou dois tipos diferentes de argila (um amarelo e um barro vermelho) para preparar dois conjuntos de materiais que contenham passou olivina areia de fundição. Eles foram misturados por meio de moagem por atrito, em proporções variáveis para se obter pós de composição diferente.

Santurde (2012) concluiu que a percentagem de reciclável areia é fortemente influenciada pelas características das matérias-primas (ambas as argila e areia) e do processo de fabricação de tijolos (por exemplo, moldar técnica, secagem e queima de programação). Executando os adequados testes tecnológicos e ambiental, sendo altamente recomendado antes de voltar a usar areias de fundição desconhecidos em corpos cerâmicos.

Siddique (2009) apresentou os resultados de uma investigação experimental realizado para avaliar as propriedades mecânicas de misturas de concreto na qual agregado fino (areia regular) foi parcialmente substituído por fundição usado areia (UFS). Agregado fino foi substituído com três percentagens (10%, 20%, e 30%) de UFS em peso.

2.4 VIDRO

Ashby (2013) descreve o vidro como um material duro, frágil e resistente à corrosão. Acrescenta o autor, que o material faz parte te da família dos seis materiais mais importantes para o projeto mecânico.

Santos (2009) descreve a composição química feita por FRX do vidro, formada por 71 a 73% SiO_2 , 12 a 14% Na_2O e 10 a 12% CaO [2, 3, 7]. Os óxidos alcalinos presentes na composição funcionam como modificadores de rede da sílica, onde os mesmos deixam mole a estrutura do vidro, pela geração de oxigênios não pontes.

A reutilização dos resíduos de vidros oferecem diversas vantagens financeiras, redução da poluição ambiental, aquecimento da economia e redução no consumo de recursos naturais (SANTOS, 2009).

2.4.1 Utilização do vidro na cerâmica

Bergmann (2006) teve como objetivo avaliar a viabilidade de produção de porcelana, faiança triaxial usando areia de fundição como matéria-prima em vez de sílica e vidro reciclado no lugar de feldspato, mostrando essa possibilidade.

Kablov (2007) mostra que utilização de vidros tornou possível, não só para reduzir a temperatura de sinterização por realização do mecanismo de sinterização de fase líquida, mas também para formar um material cerâmico.

Hoppe (2011) afirma que vidros, silicato de vitrocerâmico e fosfatos de cálcio têm sido mostrados para ser bioativo e reabsorvível e exibem ótimas propriedades mecânicas.

Mymrine (2015) realizou experiências em novas composições de com lodo de ETA (Estação de tratamento de água), areia de fundição, resíduos de vidro e sais de neutralização do ácido para a produção de cerâmica vermelha. Obtendo força de resistência a flexão até 18,4 MPa (sinterizados a 1050 ° C), baixos valores de absorção de água e retração linear.

Yürüyen, (2009) utilizou, para criação e porcelana, o vidro residual, adicionado parcial e totalmente em substituição de feldspato de potássio. Observou-se que a energia de ativação de sinterização diminuiu com o aumento da adição de vidro residual.

Para Luz (2008) a adição de resíduo de pó de vidro, apresentou eficiência como aditivo e acelerador no processo de densificação durante a incineração do produto cerâmico. Concluindo que esse material pode substituir o feldspato que é um mineral em estágio de exaustão, além de haver os problemas ambientais.

2.5 CAULIM

Panda (2010) em sua pesquisa expôs a composição química do caulim, como sendo um silicato de alumínio hidratado estruturado em folha de camada 1: 1 com um tamanho de partícula muito fino com uma camada tetraédrica de siliconoxigênio (SiO_4) e uma camada octaédrica de alumina [$\text{Al}(\text{O}, \text{OH})_6$] (ou expressa de outro modo, Si_2O_5] Folha 2 e folha [$\text{Al}_2(\text{OH})_4$] ₂) com simetria pseudo-hexagonal, ligadas entre si através da partilha de oxigénios apicais e existem alternadamente. Relata a alta presença de sílica e alumínio, que em suas análises apresentou a soma de 81,3% da composição mássica do material analisado.

Baucia et al. (2010) Apresentou informações sobre o caulim contendo SiO_2 e Al_2O_3 como principais constituintes e Fe_2O_3 , K_2O e TiO_2 em menores proporções.

2.5.1 Utilização do caulim para cerâmica

Almeida (2007) Utilizou caulim na produção de blocos e telhas cerâmicos. Concluiu que o material é constituído por caulinita, quartzo e mica com larga distribuição de tamanho de partículas e elevada fração areia (tamanho de partícula > 60µm). Conclui-se também que a incorporação do resíduo em formulações para produção de tijolos e telhas é uma excelente alternativa para a reciclagem. Sendo possível a incorporação de até 50% de resíduo em formulações para a produção de blocos e telhas

2.6 LOGÍSTICAS REVERSAS

Com a preocupação ambiental, as empresas são obrigadas a dar uma importância significativa ao meio ambiente. Conforme Roghanian (2014) torna-se, nos últimos dias, um procedimento de alta valia a recuperação de produtos usados devido à preocupação ambiental, que se entende por reutilização, manufatura e reciclagem que requer uma crescente rede de logística reversa. O grau de incerteza da rede logística inversa amplifica a complexidade do problema. É proposto um algoritmo genético baseado em prioridades para encontrar uma rede de logística reversa que satisfaça a demanda imposta por centros de manufatura e centros de reciclagem com custo total mínimo em condições de incerteza.

De acordo com Kara (2007) o recolhimento pelo fabricante de materiais com sua vida útil, que engloba a reciclagem, reutilização e manufatura, exige uma rede de logística reversa que faz com que o material seja eficiente no final de seu ciclo de vida.

Acrescido por Ramezani (2013) que dita que a plataforma estratégica da cadeia de suprimentos envolve métodos e metas conflitantes como equilíbrio de recursos. Sempre inclui três escalões no sentido direto (fornecedores, plantas e centros de distribuição).

De acordo com Dat (2012) nas últimas décadas, muito tem se perdido e colocado em foco de acordo com as mudanças tecnológicas do mercado de

produtos elétricos e eletrônicos. Reduz-se seu impacto negativo, no final do ciclo de vida dos produtos Com base na análise da rede logística reversa, é apresentado neste artigo um modelo de programação matemática que minimiza o custo total de processamento de vários tipos de Resíduos de Equipamento Eléctro-Eltrônico- REEEs. Com base no modelo proposto, as localizações ótimas das instalações e os fluxos de material na rede logística reversa podem ser determinados.

Du (2008) diz que o que se tem percebido é a crescente atenção ao longo desta década da logística reversa induzida em várias formas de retorno. Este artigo aborda exigência dos problemas estratégicos de redes de logística reversa que lidam com os retornos que exigem serviço de reparo. Faz-se necessário encontrar um conjunto de soluções não dominadas para o arranjo da capacidade da instalação entre os locais potenciais da instalação.

Salema (2007) expõe que, uma rede de distribuição reversa é estudada neste trabalho e o proposto é baseado em casos. Diante disso não se generaliza, mas propõe-se um modelo generalizado. Contempla a concepção de uma rede genérica de logística reversa onde são considerados limites de capacidade, gestão de múltiplos produtos e incerteza sobre as demandas e retornos dos produtos.

Nos estudos de Hernandez (2011) um dos principais tópicos é a logística reversa que está surgindo e se tornando mais relevante nas cadeias de suprimento em um contexto colaborativo e em termos do processo logístico de remoção de produtos novos ou usados de seu ponto inicial. Estudou-se a logística reversa para descobrir como as atividades de tomadas de decisão, apoiam o processo de fornecimento corrente. Este trabalho mostra que um impacto claro aparecerá na qualidade decisional nos níveis mais baixos da cadeia de abastecimento do que na qualidade decisional de todo o sistema.

Kumar (2008) afirma que a Logística reversa faz com que os fabricantes experimentem pressões sob a forma de exigência, regulamentos e conformidade com as normas ditadas pelas regulamentações ambientais. Três forças primárias, automotivo, eletrodoméstico e eletrônico são estudadas para fechar o ciclo da cadeia de suprimentos no ciclo de vida do produto. O primeiro para identificação dos condutores de um mercado em crescimento para

produtos reciclados. O segundo refere-se à criação de retornos de produtos de fim de vida economicamente eficientes e práticas de reutilização / reciclagem. O terceiro trata da coordenação da cadeia de suprimentos para redesenho de produtos, métodos e práticas de desmontagem e serviços.

Conforme Kara (2007) as legislações dispostas pelo governo em que os consumidores usem seus produtos até o final do seu ciclo de vida, essa retoma é transferida de responsabilidade, do consumidor para o fabricante. Os fabricantes recolhem os produtos ao final de sua vida útil e controlar sua recuperação e destino final, que engloba a reutilização, manufatura e reciclagem, o que exige uma rede de logística reversa estruturada a fim de que todo o produto seja recolhido de uma forma eficiente no final de seu ciclo de vida. Os resultados da simulação mostram que o modelo apresentado neste trabalho calcula o custo de coleta de forma previsível.

Biehl (2007) mostra que nos EUA, que algumas indústrias se esforçaram para alcançar a taxa de desvio para os aterros de 40% até 2012, de acordo com acordo entre as indústrias e funcionários do governo. Para isso estavam interessados em criação de logística reversa, a fim de gerir os fluxos altamente variáveis. Foram concluídos e discutindo possíveis opções de gestão às indústrias a fim de resolver este problema, incluindo respostas legais para exigir fluxos de retorno e o uso de mercado.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O conteúdo desse capítulo refere-se aos materiais e métodos relacionados ao preparo das amostras cerâmicas.

3.1 MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS - NA PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS

Como a granulometria e a composição mineralógica de cada matéria-prima influencia na eficiência das cerâmicas, foi verificada as características de cada componente para isso. Sendo assim, as propriedades são diretamente influenciadas pela seleção das matérias-primas e pelo processo de fabricação. Os materiais utilizados são apresentados por meio da Figura 1.



Figura 1 - Matérias-primas para execução dos corpos de provas

Fonte: Autoria própria

A borra residual de tinta, areia de fundição e o vidro residual, foram cedidos por indústrias localizadas na região metropolitana da cidade de Curitiba/PR. Realizaram-se diversas visitas em indústrias da região, coletando dados sobre descarte de resíduos sólidos de suas respectivas empresas. A borra de tinta residual foi originária das máquinas de homogeneização da tinta. O equipamento necessita por sua vez de eliminar quaisquer resíduos para que tenha um bom funcionamento em sua próxima utilização. Todas as sobras foram reaproveitadas ao máximo em pinturas diversas e quando não podiam ser mais usadas, as inseriu um tambor metálico, sendo levadas ao aterro industrial, onde se encontra o destino final. No entanto foi solicitada a quantidade de 18 litros de borra de tinta, para análise de algumas características químicas e físicas, sendo utilizado como uma das principais matérias-primas da cerâmica branca.

Para que se obtivesse uma amostra de qualidade, foram retiradas amostras de toda a seção vertical, em pontos opostos e em diagonal passando pelo centro do recipiente diversas partes do tambor de acordo com a NBR 10.007/04 de Amostragem de Resíduos Sólidos. Logo em seguida foi seca em estufa a 100°C como demonstrada pela Figura 2.



a) Aglomerado de borra de tinta
Figura 2 - Borra de tinta residual seca



b) Borra de tinta triturada

Fonte: Autoria própria

A borra de tinta foi alocada Laboratório de materiais, do Departamento de Engenharia Civil (DACOC) na UTFPR, onde foi acondicionado de maneira que mantivesse as características iniciais (teor de umidade). Para poder ser

utilizado o material foi homogeneizado, seco em estufa a $105\pm 5^{\circ}\text{C}$, desaglomerado, depois triturado no liquidificador industrial e, passado na malha (#325) para que se obtivesse distribuição granulométrica adequada, a qual foi determinada por peneiramento.

A areia de fundição residual se originou de processos de fabricação de moldes machos para fundição, de acordo com o fluxograma apontado pela Figura 3.

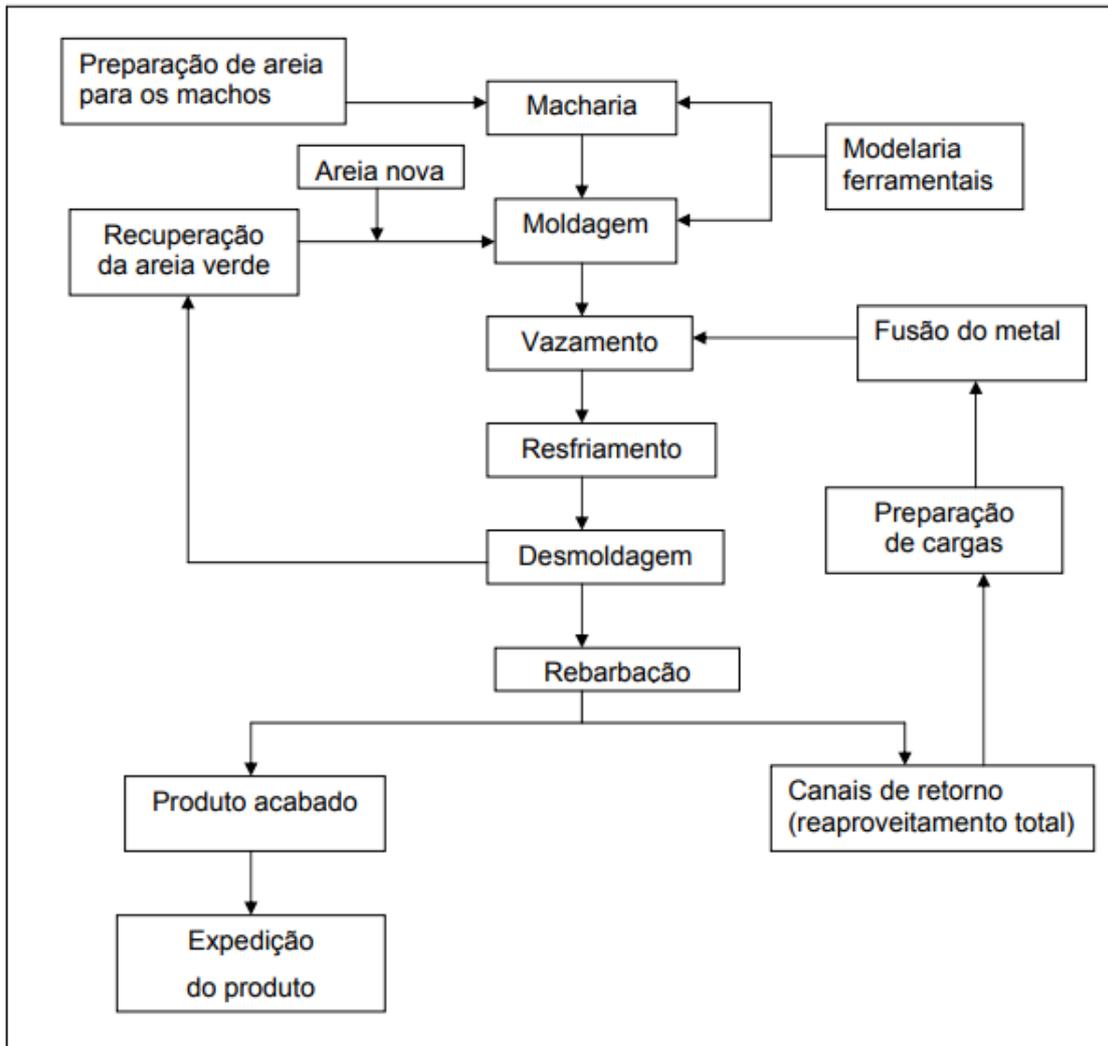


Figura 3 – Fluxograma do processo de fabricação ferrosa

Fonte: ADEGAS, 2007, p 07

Após várias reutilizações, a granulometria da areia em moldagem acaba sendo inviável para criação de novos moldes machos. A destinação, nesse caso acaba sendo aterros industriais. A empresa cedeu, no entanto, um

balde de 20 litros, contendo areia de fundição. Foi no mesmo laboratório de materiais acondicionado de maneira a manter suas características.

O vidro residual, advindo da indústria de lapidação. Cedeu os pós de vidros que foram peneirado numa granulometria de 0,15mm e separado em potes. Guardado em temperatura ambiente junto com os demais materiais do laboratório.

Para examinar a probabilidade de reutilização de um material, é necessário identificá-lo, analisando suas propriedades físicas, químicas, morfológicas e mineralógicas. Assim, foram encaminhadas as amostras para o laboratório de Análises de Minerais e Rochas da UFPR (LAMIR), que realizou as análises de Fluorescência de Raios X (XRF), Difratomia de Raios X (XRD). No laboratório da UTFPR as amostras foram caracterizadas morfológicamente or meio da técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura.

3.1.1 Descrição dos ensaios laboratoriais

Os métodos laboratoriais descritos nesta etapa foram utilizados como forma de pesquisa para caracterizar as matérias-primas químicas, morfológica e mineralogicamente.

3.1.2 Fluorescência de raios-X

Wastowski (2010) Apresentou informações sobre Fluorescência de raios-X, como uma importante determinadora de concentrações de todos os elementos químicos que estão entre o sódio e o urânio, sem a necessidade de destruição da amostra em uma faixa de limites de detecção da ordem de 1 a 20 ppm.

Segundo Calza (2010) o melhor é que sejam analisados, os elementos químicos que tenham números atômicos (Z) maiores que 16.

Foi utilizado o equipamento de dispersão por comprimento de onda de raios-X modelo PW2400 da Philips, atuando com diferentes filtros e colimadores durante a varredura.

A varredura que foi utilizada para a borra de tinta, areia de fundição, pó de vidro e para o caulim, foi de espécie semiquantitativa, os resultados foram normalizados em 100% em massa e expressos em termos de concentração de óxidos. Para a preparação das pastilhas, o caulim, a Borra de tinta, areia de fundição e o vidro foram inicialmente pulverizados em um moinho de discos de Tungstênio, e secos em uma estufa a 100°C por 24h. Em seguida, aproximadamente 8g do material foram misturados a 1,4g de resina e, prensado, formando uma pastilha. Posteriormente seguiu para o Espectrômetro de RX da Philips modelo PW2400.

3.1.3 Difratometria de raios-X

Esta técnica determinou as fases cristalinas em que se encontram os elementos químicos mostrados na composição química. O dispositivo capta os raios difratados nos cristais e gera o difratograma que foi uma retratação da rede cristalina presente na amostra.

As amostras analisadas foram secas, colocadas em um molde metálico e levado ao equipamento para ser feita a leitura.

As matérias-primas e alguns corpos de provas foram analisados por meio desta técnica no LAMIR. O equipamento utilizado é da marca PANalytical, modelo EMPIREAN X'CELERATOR (30mA e 40kV) com radiação α do Cu com $\lambda=1,54060 \text{ \AA}$. Os ângulos de 2θ foram varridos de 3 a 70°.

3.1.4 Análise química e morfológica dos corpos de provas

A análise que possibilita a identificação de materiais amorfa é conhecida como Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), que garante a

visualização do material em detalhes com uma ampliação de até 300.000 vezes.

Todos os materiais dos experimentos foram secos em estufa a $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24h e metalizados a vácuo com uma camada de ouro antes de serem analisadas as características morfológicas e químicas das amostras.

Dedavid (2007) defendeu que um dos mais versáteis instrumentos para análise, observação e também análise de características micro estruturais de objetos sólidos é o MEV. Pode ser obtida a alta resolução quando as amostras são observadas, sendo essa a principal razão de sua utilidade. Outra importante característica do MEV é a aparência tridimensional da imagem das amostras, que resulta da imensa profundidade decampo, permitindo também, o exame em pequenos aumentos e com grande profundidade de foco, sendo nesse caso, de uma utilidade extrema.

O EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) é conectado junto ao MEV, dessa forma, ao analisar a superfície da amostra com emissão de raios-X, é possível determinar a composição química de determinados pontos.

Segunfo Duarte (2003) O EDS , traz a possibilidade de determinar a composição qualitativa e semiquantitativa das amostras, a partir da emissão de raios X característicos. Há um limite para a detecção, que é da ordem de 1%, no entanto, pode se diversificar conforme utilizada durante a análise.

3.2 CORPOS DE PROVA

Após as etapas de coleta, armazenagem, preparo e análises da das matérias-primas descritos no item 3.1; foram feitas homogeneizações do caulim, borra de tinta, areia de fundição e pó de vidro residual necessário para a manufatura dos corpos de prova. As misturas são demonstradas por meio da Tabela 1. Cada composição requereu cuidado extremo, pois por ser uma quantidade representativamente baixa, ao converter em valores altos, conseqüentemente obter-se-ia uma grande diferença em seus resultados. O que provavelmente poderia inviabilizar a utilização industrial da mesma composição.

Tabela 1 - Composições dos experimentos

Nº	Composição (% em massa de sólidos)			
	Caulim	Areia de Fundição	Vidro Residual	Borra de Tinta
1	100,00	0,00	0,00	0,00
2	35,00	40,00	20,00	5,00
3	37,00	40,00	20,00	3,00
4	30,00	42,00	25,00	3,00
5	30,00	40,00	23,00	7,00
6	40,00	30,00	23,00	7,00
7	45,00	35,00	15,00	5,00
8	93,00	0,00	0,00	7,00
9	63,00	30,00	0,00	7,00

Fonte: Autoria própria

Na composição número um, foi colocada o caulim para verificar as propriedades que pertencem à matriz, funcionando como um branco na análise das propriedades. Nas próximas, foram feitas adições de resíduos em massa para analisar suas reações e viabilizar industrialmente.



a) Homogeneização dos corpos de provas



b) Molde para os corpos de provas



c) Prensa hidráulica



d) Fornos elétricos

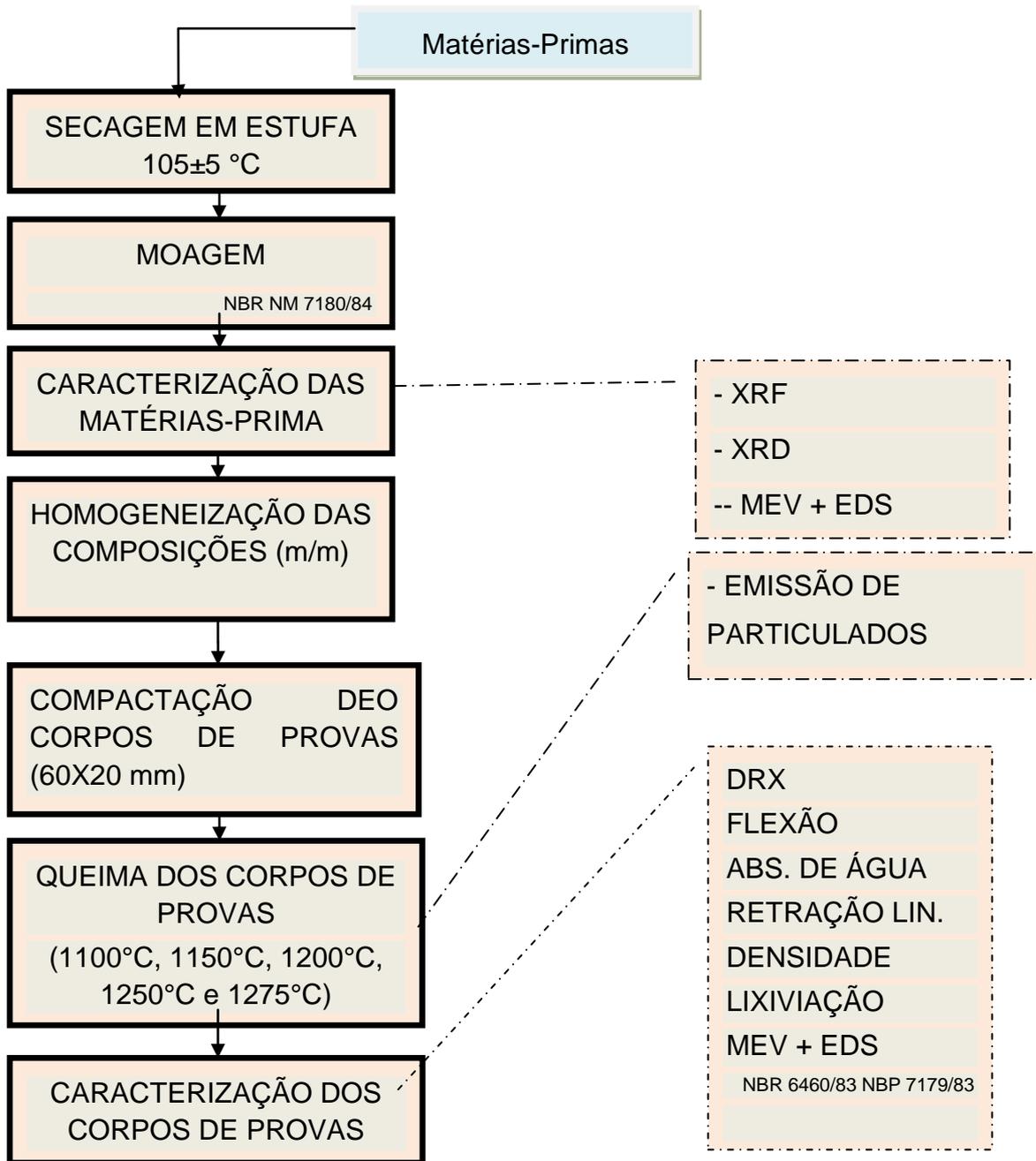
Figura 4 - Execução dos corpos de provas

Fonte: Aatoria própria

A mistura foi homogeneizada com 400g cada composição, para que se fossem criadas uma quantidade suficiente, com finalidade de execução das análises. Foi aferido $20 \pm 0,01g$ para cada corpo de prova e inserido cuidadosamente dentro do molde. A base retangular se encaixa perfeitamente no corpo, impedindo a saída da mistura e possibilitando a saída de água em alguns casos no momento que é pressionada. Foram conformados em moldes de dimensões de 60 mm de comprimento por 20 mm de largura, prensados uniaxialmente em uma prensa hidráulica com uma carga de 10 MPa.

Depois de prensados, os blocos seguiram novamente a estufa a temperatura de 100 ± 5 °C até atingir massa constante. Posteriormente os corpos de prova foram queimados em forno elétrico da marca Linn modelo Elektro Therma seis diferentes temperaturas: 1100°C, 1150°C, 1200°C e 1250°C. Após o ciclo da queima as amostras foram deixadas dentro do forno para resfriarem lentamente evitando assim o aparecimento de trincas. O fluxograma a seguir resume o preparo e análises realizadas na matéria-prima e nos corpos de prova.

FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE MANUFATURA DOS CORPOS DE PROVAS E DA PESQUISA DE SUAS PROPRIEDADES



3.3 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Com base na NBR 6113 e 6220/1997 que deixa determinado a resistência à flexão e a referêncai a ser determinado da absorção de água e

densidade aparente, foram elaborados testes mecânicos para aferir as características dos corpos de provas.

Os corpos de provas que apresentaram melhores resultados de resistência à flexão, levando em consideração também, a densidade aparente e a absorção de água, foram levados a novas análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), para analisar a estrutura morfológica dos novos compósitos cerâmicos e Espectrometria de Energia Dispersiva (EDS) para as composições químicas de micro áreas e micro A metodologia desenvolvidas para os novos compósitos seguem listodosa seguir:

1. Análise da Resistência à Flexão em prensa hidráulica à Temperatura Ambiente.
2. Análise de composição química através da Fluorescência de RX (FRX).
3. Análise mineralógica das matérias-primas e dos produtos finais através da Difratometria de RX (DXR);
4. Análise morfológica das matérias-primas e dos produtos finais através da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV);
5. Análise química de micro áreas e micro pontos através da Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS)
6. Análise de Lixiviação
7. Análise de Solubilização.

3.3.1 Retração linear

De acordo com Mendes (2008) conforme a temperatura aumenta, a água existente no corpo de prova se evapora, ocorrendo uma retração da peça, diminuindo assim seu volume. Para Melchiades (2001, p. 30) “a retração linear de queima depende fundamentalmente”:

- a) da densidade aparente da peça prensada,
- b) da composição da massa e
- c) das condições de queima.

Para se determinar a retração linear foi necessário caracterizar as dimensões da peça medindo-se os lados (comprimento e largura) e a espessura. As dimensões foram aferidas com um paquímetro digital com precisão de duas casas decimais.

Em pesquisa, Borgo (2005) apresentou resultados, demonstrando que existe associação com a porosidade da peça e a retração linear da mesma. Ao se tratar de cerâmicas, as porosas apresentam baixa retração, com média de 3%. As semiporosas apresentam uma retração de 4 - 6%, no entanto, as gresificadas chegam a uma retração linear de 8%.

Para o cálculo da retração linear foi utilizada a equação (01) também empregada por Praxedes (2014), Galdino, Silva e Nogueira (2004), Jordán (2005), Freitas (2007), Mendes (2008) e Klitzke (2011), onde: RL : retração linear (%); L_i : comprimento inicial do corpo de prova (mm); L_f : comprimento do corpo de prova após queima (mm).

$$RL(\%) = \frac{L_i - L_f}{L_i} \times 100 \quad (01)$$

3.3.2 Absorção de água

Jonker (2005) em sua pesquisa usou a absorção de água (AA), como uma indicação para porosidade. Conforme a NBR6220/1997 a AA é o quociente da massa de água absorvida pelo corpo de prova saturado de água pela massa do corpo de prova seco.

Para os padrões internacionais impostos pela ISO 13006 (Ceramic Tiles — definitions, classification,). As análises de absorção da água ajudam a classificar as cerâmicas brancas. Essa classificação tem três modelos diferentes: porcelana (para absorção de até 0,5%); grês com absorção baixa variando entre 0,5% e 3%; e louça ou faiança, com absorção acima de 3%. Por meio da equação 02, usada por Praxedes (2014) pode ser calculada a

Absorção de Água, onde: AA : absorção de água (%); Mh : massa do CP saturado de água (g); Ms : massa do material queimado e seco(g).

$$AA(\%) = \frac{Mh - Ms}{Ms} \times 100 \quad (02)$$

3.3.3 Densidade aparente

Em estudo, Camprengher (2005) e Praxedes (2014) também apresentaram a densidade aparente, como uma propriedade importante no processo da cerâmica e as mesmas fórmulas de cálculo. Os valores cerâmicos de resistência à flexão das peças estão relacionados com absorção de água e retração linear. Para ser determinada por imersão dos corpos de provas, foi adquirido um recipiente com água que foi fervido por 2 horas e resfriados a temperatura ambiente conforme descrito na NBR 6220/1997. Em seguida o material seguiu para uma balança hidrostática onde sua massa hidrostática (Mi) foi medida.

Conforme a NBR 6220/1997 a densidade aparente em g/cm^3 foi calculada pelo quociente da massa do corpo de prova seco pelo volume aparente da parte sólida, calculado pela fórmula onde: DA = densidade aparente (g/cm^3); Ms = massa do material queimado e seco (g); Mh = massa do CP saturado de água (g); Mi = massa hidráulica do corpo imerso em água (g).

$$DA = \frac{Ms}{Mh - Mi} \quad (03)$$

3.3.4 Resistência mecânica à flexão

A resistência mecânica das peças após a queima (RMF) foi determinada através do módulo de ruptura à flexão em três pontos. O ensaio

foi realizado conforme a norma NBR 6220/1997, utilizando um flexímetro digital EMIC do Laboratório da UTFPR. A equação 04 mostra o cálculo da resistência mecânica (módulo de resistência à flexão) que o equipamento utiliza para encontrar o valor da resistência à flexão

A resistência à ruptura é feita por meio do ensaio de flexão a três pontos. A tensão de ruptura à flexão é definida por unidade de área necessária para romper um corpo, expressa em kgf/cm² ou MPa (N/mm²). De acordo com a NBR8826/1997 este ensaio serve para medir a capacidade do refratário de resistir à ruptura, quando submetido a um esforço de flexão à temperatura ambiente. Que são: *RMF* : tensão de ruptura à flexão (MPa), *P* : carga máxima suportada pelo corpo de prova (N), *L* : distância entre os apoios do corpo de prova (mm), *b* : largura do corpo de prova (mm), *h* : altura do corpo de prova (mm)

$$RMF = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (04)$$

3.3.5 Lixiviação

De acordo com a NBR 10.005/87 o procedimento iniciou-se com a pesagem da amostra na balança, onde cada amostra obteve uma massa superior a 100g.

O material obtido teve sua forma reduzida de maneira a passar através da peneira de malha 9,5mm e logo em seguida enviado para etapa de extração. Posteriormente adicionou-se água deionizada à amostra na proporção de 16:1, e iniciou-se a agitação no agitador jar-test. Na sequência, submete-se a amostra à agitação mecânica de pás giratórias com controle de velocidade.

Iniciada agitação, o pH foi medido em três etapas, a Figura 6 esclarece a forma de medição do pH. A primeira após os 15 min iniciais de agitação, a segunda 30min e terceira após 60 min, sempre contados a partir da etapa anterior. Quando houve variação do pH, em qualquer uma das etapas, foi

corrigido para $5 \pm 0,2$ com ácido acético 0,5N e repetido a etapa até que o pH tivesse variação inferior a 0,5 unidades. Após a correção inicial do pH inicial, a mistura pode ser agitada por um período de 24h. Terminada a agitação de 24h, se a quantidade de ácido utilizada for inferior a 4mL/g da massa sólida e o pH da solução for superior a 5,2, este pH deve ser ajustado para $5,0 \pm 0,2$, e a agitação deve ser prolongada por mais quatro horas, fazendo-se o controle e correção do pH de hora em hora.

Terminada a agitação, foi adicionada uma massa de água deionizada calculada pela equação 5:

$$m^1 = 4m - m^2 \quad (05)$$

Equação 1: Expressão para adição de água ao ensaio, sendo que: m^1 = massa de água deionizada; m = massa da amostra; m^2 = massa do ácido acético.

Deve ser feita à filtração após a adição de água deionizada e procedida à homogeneização, passando-se o lixiviado no filtro 0,45 μ m ou superior.



Figura 5 – Filtro após lixiviação

Fonte: Autoria própria

A solução obtida constitui o lixiviado, o qual deve ser preservado de forma a conservar suas características, e deve ser submetido a análises químicas para verificação da recuperação dos metais. A expressão dos resultados da análise do lixiviado é em mg/L. Após a lixiviação, Os materiais foram encaminhados ao laboratório multiusuário de análises químicas- LAMAQ da UTFPR - Ecoville, onde foram feitas as análises para cada metal, no Espectrofotômetro de Absorção Atômica com Atomizador de Chama, marca GBC, modelo Avanta.

3.4 ANÁLISE DE PARTICULADOS ORIUNDOS DO INCENERAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS

Foram coletadas amostras de materiais particulados advindo da emissão de gases no período da incineração dos corpos de provas. O forno, que aquece por meio da eletricidade, contou com a infraestrutura necessária para determinação direta de poluentes causados no momento em que se incineram os corpos cerâmicos, em conformidade com a metodologia normatizada ou equivalente aceita pelo órgão ambiental licenciador. Foi realizado esse procedimento, construindo uma base metálica, na saída cilíndrica, com uma estrutura para inserir o filtro de vidro, que tem a espessura de 0.45μ o diâmetro. Após inserido na saída do forno elétrico e posteriormente encaixado, Pode absorver materiais particulados emitidos em todo o processo de queima. A Figura 6 a seguir, demonstra de uma maneira visual, o esquema de coleta de particulados dos corpos de provas no momento da queima.

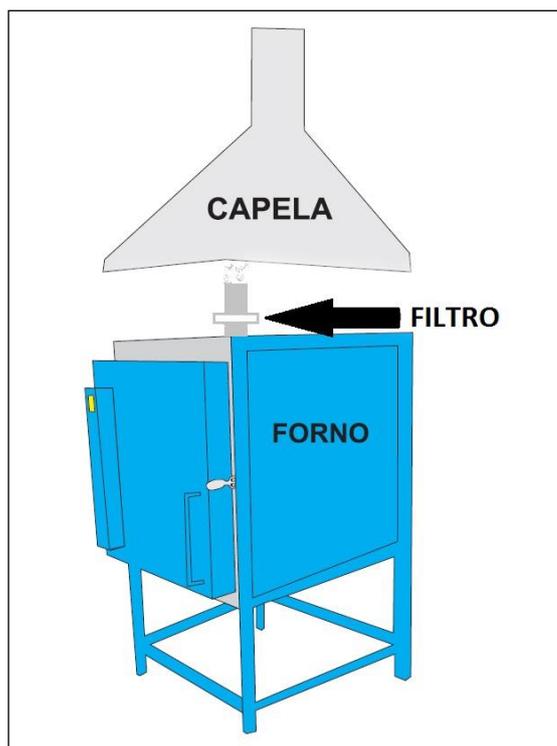


Figura 6 - Forno elétrico com filtro de particulados
Fonte: Autoria própria

Com adaptações ao método da agência de proteção ambiental da Califórnia, foi feita a coleta do filtro, a amostra foi enviada ao Laboratório de Análise e Qualidade do Ar- Lab-Air da Universidade Federal do Paraná- UFPR- Campus Centro Politécnico. A amostra, que se baseia em um filtro, foi recebida pelo técnico de laboratório da própria instituição e logo depois de inspecionado, foi preparado com a adição de ácido para que pudesse lixiviar. No período de 3 horas, ficou em um ultrassom, para a extração e análise do material particulado, emitido do forno elétrico pudesse ser retirado. Após receber a solução, O material foi encaminhado ao laboratório multiusuário de análises químicas- LAMAQ da UTFPR-Ecoville, onde foram feitas as análises para cada metal.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos, desde a matéria-prima até as propriedades finais dos compósitos.

4.1 ANÁLISE QUÍMICA DAS MATÉRIAS-PRIMAS

Para realizar as análises químicas das amostras, foi realizada por meio do método de fluorescência de raios-x em um equipamento Philips, modelo PW 2400. A análise de perda ao fogo foi realizada em uma mufla, ficando a amostra por três horas a 1000°C. As análises químicas do caulim, areia de fundição, vidro e borras de tintas residuais foram feitas no Laboratório de Análises de Minerais e Rochas - LAMIR.

4.1.1 Análise química do caulim

O caulim, que foi o principal componente usado para produzir os corpos de provas, tem como sua composição química, os elementos apresentados, em porcentagem, na tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização química do caulim por FRX

Caulim	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SO ₃ (%)	K ₂ O (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	P.F.(%)
	46,1	35,2	0,6	0,5	0,4	< 0,1	< 0,1	15,02

Fonte: Autoria própria

No resultado obtido, pode se observando a confirmação da argila-mineral hidratada, a caulinita. Sua fórmula teórica é Si₂Al₂O₅(OH)₄ (outras fórmulas são Al₂O₃ · 2SiO₂ · 2H₂O e Al₂O₇Si₂ · 2H₂O), que tem um peso molecular de 258,071 g/mo (PANDA, 2010).

Teixeira (2010) apresenta dois grupos, os derivados de fosfato de cálcio e os não-derivados. No grupo dos não-derivados, destacam-se a cerâmica de alumina. Com aspectos principais, que podem ser::

- biocompatibilidade,
- atoxicidade,
- Isolação térmica
- Isolação elétrica
- baixa solubilidade em meio orgânico quando sintetizados com alto percentual de cristalinidade.

Em outro estudo, realizado por Burciaga *et. Al.* (2012), o caulim utilizado foi obtido de um depósito localizado em Zacatecas, México. Foi remetido ao ensaio de fluorescência de raios X, obtendo resultado parecido, onde a composição química mássica foi de $\text{SiO}_2=57,89\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3=30,04\%$, $\text{TiO}_2=0,8\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3=0,14\%$ e outros constituintes menores, a perda por ignição a 900°C foi de $10,3\%$.

A vigente NBR 10.237/2014 que classifica os materiais refratários, a matéria-prima utilizada como matriz é classificada quanto a sua natureza química como sendo um 48 material refratário neutro sílico aluminoso de classe II, pois seu teor de óxido de alumínio ficou entre 34 e 39,99%. Os materiais refratários conformados e, os não conformados. Silicoaluminosos estão classificados em função do teor de alumínio (Al_2O_3). Determinando o teor de óxido de alumínio de acordo com a ABNT NBR ISO 12677. Sendo SA-4 22,00/27,99, SA-3 28,00/33,99, SA-2 34,00/39,99, SA-1 40,00/45,99.

Zuhua (2009) obteve em seu resultado de análise química através do método fluorescência de raios-x $81,32\%$ do caulim analisado foram de SiO_2 e Al_2O_2 , Sendo que CaO , Fe_2O_2 , SO_2 , K_2O , Na_2O , TiO_2 , MgO , P_2O_5 somam $3,188\%$ da massa e, $15,50$ de perda ao fogo, semelhando ao resultado obtido nesse trabalho.

Praxedes (2014) Obteve resultados similares com muitos autores de diversas localizações, demonstrando que, a presença do ferro presente na caulinita pode ser explicada, porque há substituições isomórficas de átomos de alumínio octaédricos por átomos de ferro. Portanto sua baixa quantidade é importante à indústria de cerâmica branca já que a mesma influencia diretamente na cor do produto final.

4.1.2 Análise química da borra de tinta residual

A composição química da BRT foi obtida via fluorescência de raios-X e o resultado dessa análise expresso na forma de óxidos, encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Caracterização química da BTR por FRX

BTR	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	PbO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	K ₂ O (%)
	16,3	9,04	6,7	3,7	3,3	0,9	0,08	0,8
	ZnO (%)	SO ₃ (%)	BaO (%)	CuO (%)	Na ₂ O (%)	MgO (%)	Cl (%)	MnO (%)
	0,08	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,1	0,1
	P ₂ O ₅ (%)	ZrO ₂ (%)	NiO (%)	MoO ₃ (%)	Co ₃ O ₄ (%)	SrO (%)	P.F.(%)	
	0,1	0,1	0,1	0,1	<0,1	<0,1	46,07	

Fonte: Autoria própria

Perto de 37% da amostra de Borra de tinta Residual, composta por SiO₂ (16,3%), Al₂O₃ (9,04%) TiO₂ (6,07), Fe₂O₃, PbO (e Cr₂O₃ 0,9%). Deste total mais de 46% representam os pigmentos inorgânicos da tinta analisada. Com o devido resultado, podem-se saber quais cores provavelmente a borra de tinta residual foi composta, pois os pigmentos principais contém dióxido de titânio, óxido de ferro sulfeto de cádmio as quais foram também encontrados nessa análise.

Os valores abaixo de 0,1% encontrados no Co₃O₄ e SrO não são confiáveis, impossibilitando, de ser calculada sua quantidade exata. A matéria orgânica e os resíduos da umidade presentes na amostra foram evidenciados na perda ao fogo (PF) e representaram cerca de 46% da amostra. Podendo dessa forma, representar um problema.

4.1.3 Análise química do Vidro

A composição química do vidro residual foi obtida via fluorescência de raios-x e o resultado dessa análise expresso na Tabela 4.

Tabela 4 - Caracterização química do vidro por FRX

Vidro	SiO ₂ (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	MgO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	P.F.	Outros
	75,50	8,46	10,00	3,04	0,70	0,30	0,45	1,39

Fonte: Autoria própria

Por intermédio da análise química do vidro, observado na Tabela 4 ocorre predomínio de SiO₂ (75,50%), e de forma decrescente Na₂O (10,0%), CaO, MgO até K₂O (0,30%). A soma dos outros elementos não chega a 2% do total analisado.

Como afirma Matjie (2008) o vidro tem composições gerais semelhantes, pelo menos em relação aos óxidos principais (SiO₂, Al₂O₃ e CaO). Dessa forma assegura-se que a caracterização do vidro estudado apresentou semelhante às composições de vidro em geral.

4.1.4 Análise química da Areia de Fundição

A composição química da borra de tinta foi conseguida por meio da análise de Fluorescência de Raios-X, obtendo o resultado em forma de óxido, (Tabela 5).

Tabela 5 - Caracterização química da areia de fundição por FRX

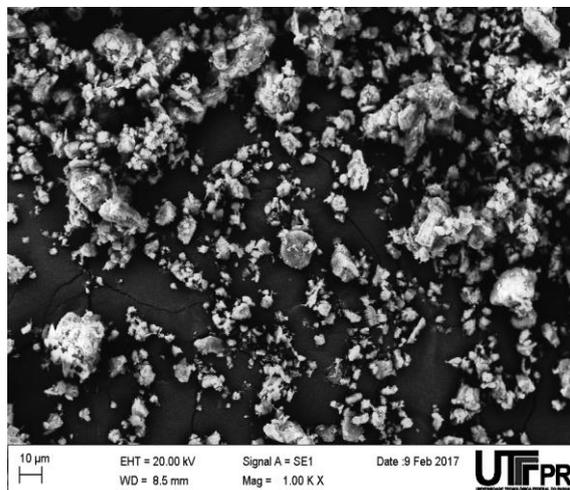
A.F.	Si ₂ O ₂ (%)	Al ₂ O ₂ (%)	Fe ₂ O ₃	SO ₃ (%)	MgO	TiO ₂	K ₂ O (%)	P.F. (%)
	89,07	4,0	1,0	1,0	0,30	0,25	0,20	4,18

Por meio da análise química de fluorescência de raios-x, percebeu-se o alto teor de Si_2O_2 , (89,07%) em relação a massa analisada. Há presença também de metais como Al, Fe, Mg e Ti que juntos somam 5,55% da massa. Outros elementos que são o K e S somaram cerca de 1,20% da massa, tendo 4,18% de perda ao fogo.

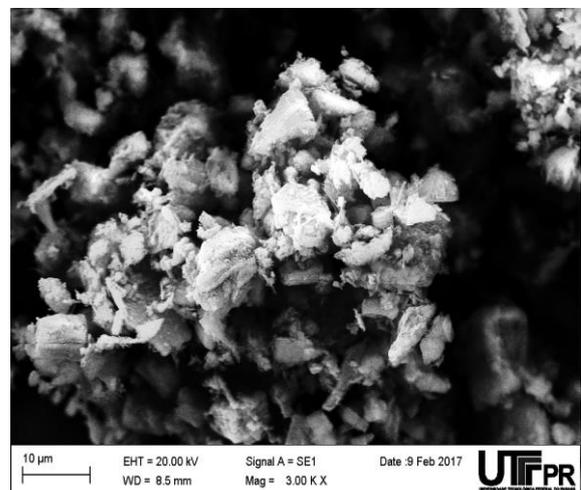
4.2 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E MICROANÁLISE QUÍMICA DAS MATÉRIAS-PRIMAS

4.2.1 Caracterização morfológica e microanálise química do caulim

A caracterização morfológica do caulim por equipamento de microscopia eletrônica de varredura, e seus resultados são indicados por intermédio de imagens aumentadas, apresentadas na Figura 7.



(A)100x



(B)300X

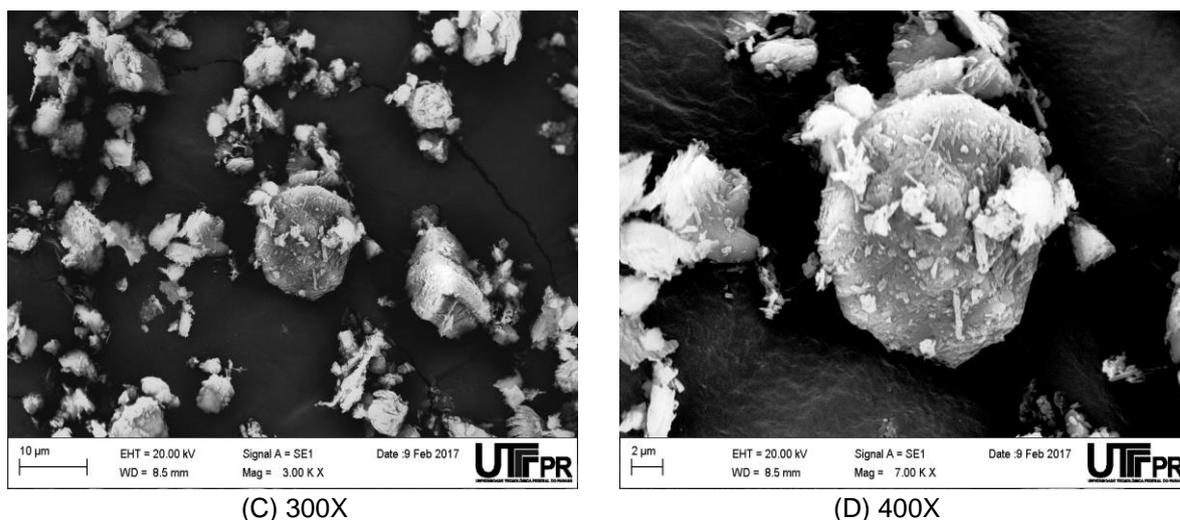


Figura 7 - Estrutura morfológica do caulim

A Figura 7 – A, B, C e D com um aumento de 100x, 200x, 300x e 400x, na devida ordem, comprovam partes mescladas, contendo, bem como, partes mais finas e outras com a espessura maior que 10µm. Pode também ser observado na Figura 7 – D ampliando a imagem em 700x, partículas com ângulos agudos, sobreposta em uma partícula de um tamanho superior. Há partículas com formas características da caulinita. Dessa forma se comprova os dados difratométricos. A micrianálise química é apresentada pela Figura 8 e Tabela 6.

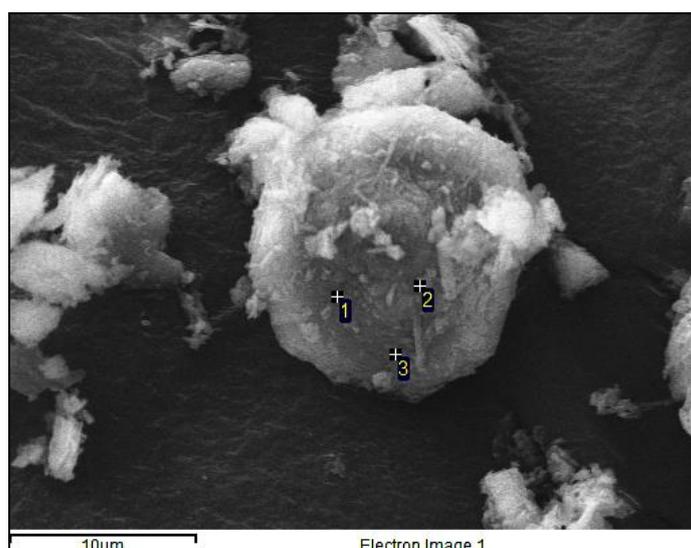


Figura 8 - Microanálise química dos pontos 1, 2 e 3 do caulim

Foi realizada, por meio da análise de Espectrometria de Energia Dispersiva de raios-x, na Tabela 6, a caracterização química da superfície do caulim, na Figura 8 apresenta a inserção de três pontos distintos da amostra para indicar a presença dos elementos químicos presentes.

Tabela 6 - Caracterização química do caulim por EDS

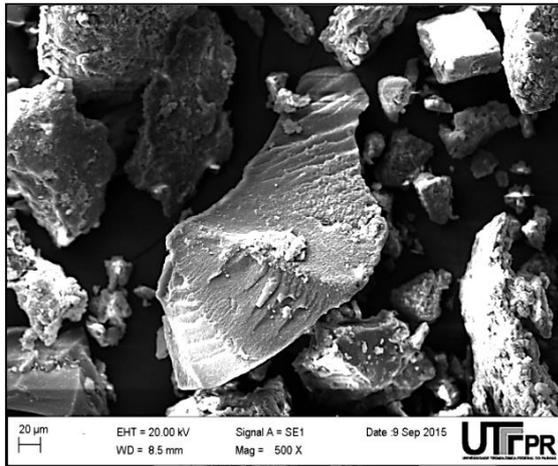
	Elemento	Ponto-1	Ponto-2	Ponto-3
	Química	(%)	(%)	(%)
CAULIM	C	21,52	28,51	35,09
	Al	75,78	60,73	59,74
	Si	2,60	10,76	5,17
TOTAL		100,00	100,00	100,00

Fonte: Autoria própria

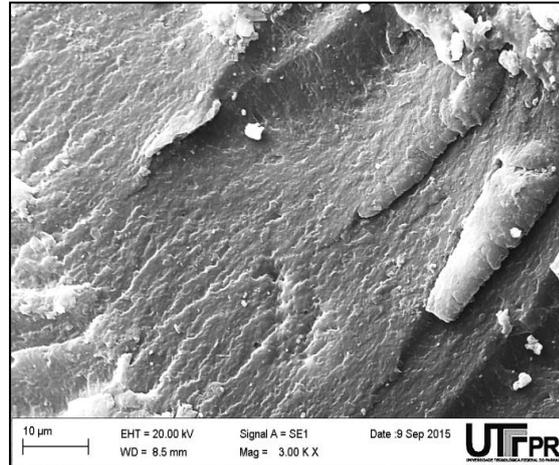
Conforme resultados da Espectrometria da Energia Dispersiva de Raios-x (EDS), apresentada pela TABELA 6, pode se perceber valores próximos dos elementos em cada ponto referenciado. Sendo o Carbono com uma média de 28,37% da amostra, ponto 1, 21,52%. No segundo ponto 28,51% e no ponto 3, 35,09%. Mesmo com a diferença de Carbono encontrado no ponto 1 em relação ao ponto 3 ter sido de 13,57%. Podemos afirmar por meio dessa análise as características da caulinita.

4.2.1 Caracterização morfológica e microanálise química da tinta

A caracterização morfológica da borra de tinta, pode ser observada na Figura 9.



(A)500X



(B)300X

Figura 9 - Estrutura morfológica da borra de tinta

O resultado possibilitou vislumbrar nas imagens aumentadas (Figura 9- a e b), todas as partículas de borra de tintas, com diferentes tamanhos e morfologia, é certo que as partículas não possuem ligação entre elas, observando da mesma forma que suas partes não seguem um padrão, devido ao fato da amostra ser sido secada em estufa e triturada, fazendo com que haja esse desparâmetro entre as partículas, Figura 10.

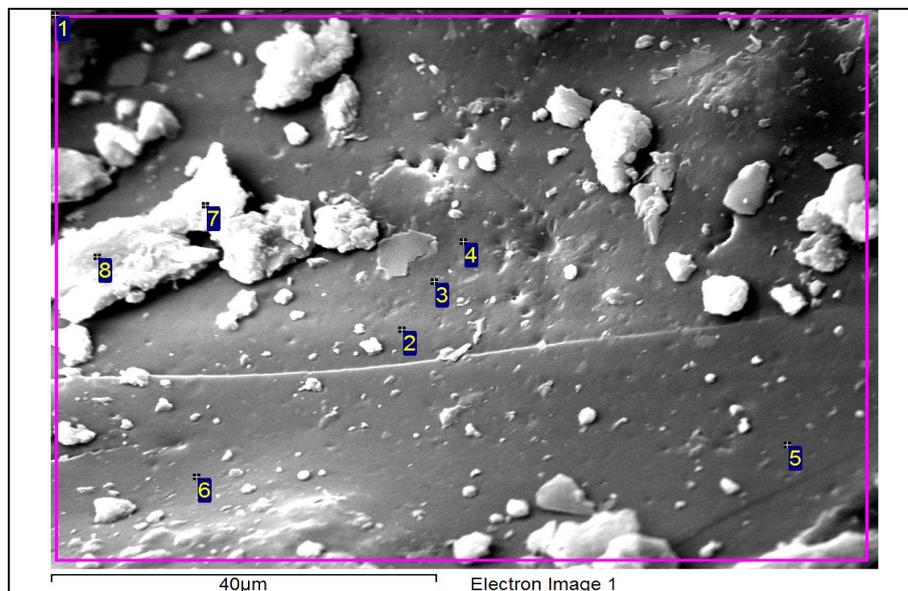


Figura 10 - Microanálise química dos pontos 1 – 8 da tinta

De acordo com a imagem, realizada por meio da análise de Espectrometria de Energia Dispersiva de Raios-X, a caracterização química da superfície da borra de tinta, (Figura 10) apresentou a inserção de oito pontos

distintos da amostra e indica a presença dos elementos químicos presentes nela. Tabela7.

Tabela 7 - Caracterização química da borra de tinta por EDS

	Elemento	Ponto-1	Ponto-2	Ponto-3	Ponto-4	Ponto-5	Ponto-6	Ponto-7	Ponto-8
	Químico	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
BORRA DE TINTA	C	80.68	99.83	99.71	99,75	0,00	0,00	97,97	97,29
	O	18.76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Al	0.20	0.08	0.09	0.08	0.08	0.12	0,23	0.34
	Si	0.15	0,00	0.08	0.05	0,00	0,00	0,12	0.16
	Ti	0.11	0.03	0.03	0.03	0.05	0.15	1,36	0.07
	Fe	0.06	0,00	0.03	0.03	0,00	0.06	0,10	1.97
	Zn	0.03	0.06	0.06	0.06	0.07	0.12	0,06	0.18
	Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00
	Pb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00
TOTAL		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00		

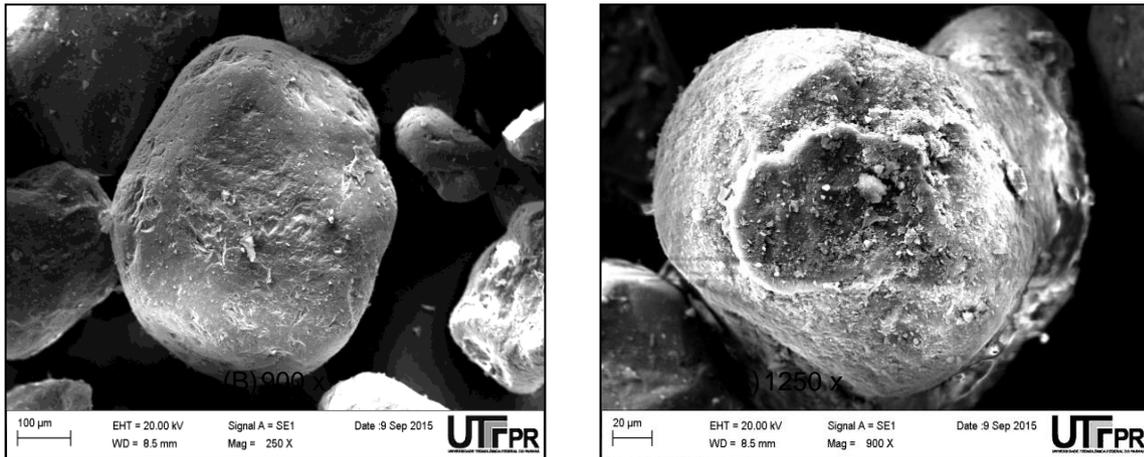
Fonte: Autoria própria

Os resultados dos oito pontos (Tabela 7) dentro de uma área de aproximadamente 80µm, apresentaram em algum momento, a presença de metais. Os pontos de 1 a 6 são apontados em uma superfície lisa, amorfa e homogênea. Há apresentação de cromo e chumbo apenas no ponto 7 sendo somando 0,16% da massa analisada, sendo que 97,97% do ponto analisado é de carbono.

4.2.2 Caracterização morfológica e microanálise química da areia de fundição

Os resultados da caracterização morfológica da areia de fundição residual tem as imagens ampliadas, apresentadas na Figura 11.

Figura 11 - Estrutura morfológica da areia de fundição



Observando o resultado do efeito da microscopia eletrônica de varredura, viabiliza uma visualização das imagens ampliadas (Figura 11- a e b). Os grãos de areias possuem tamanhos diferentes, devida a inserção das mesmas em altas temperaturas que acabam com que sejam danificadas e não tenham uma granulometria semelhante. Notou-se que não há nenhuma ligação química entre os grãos e na área geral, aparenta ser heterogenia com aglomerados diferentes.

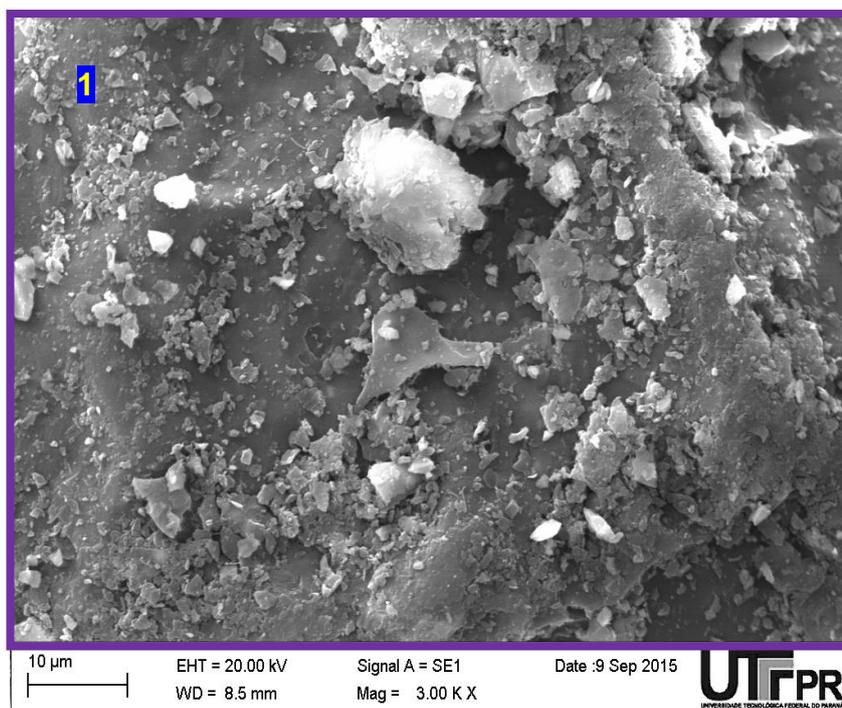


Figura 12 - Microanálise química do ponto 1 da areia de fundição

Na Figura 12, representação da imagem realizada por meio da análise de Espectrometria de Energia Dispersiva de Raios-X, a caracterização química da superfície da areia de fundição apresentou 1 ponto específico em uma área de aproximadamente $80\mu\text{m}^2$. Notaram-se diversas partículas não ligadas quimicamente em sua superfície.

Tabela 8 - Caracterização química da areia de fundição por eds

AREIA DE FUNDIÇÃO	Elemento	Ponto-1
	Química	(%)
	Si	79,83
	N	15,35
	Al	0,28
	C	4,25
	Fe	0,59
	TOTAL	100,00

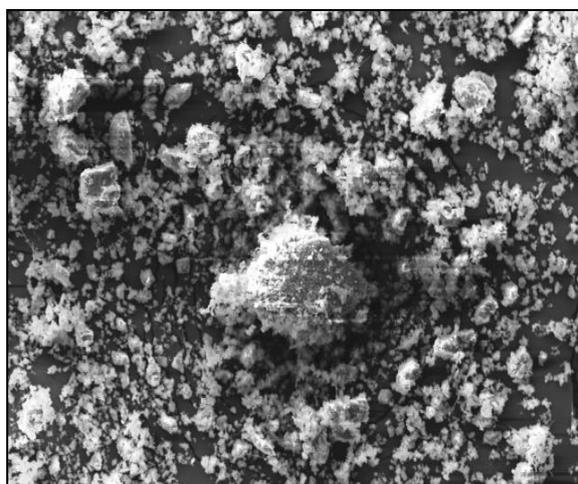
Fonte: Autoria própria

Com as informações apresentados pelo EDS, foi possível identificar os elementos químicos da superfície, sendo eles Silício 79,83%, Nitrogênio

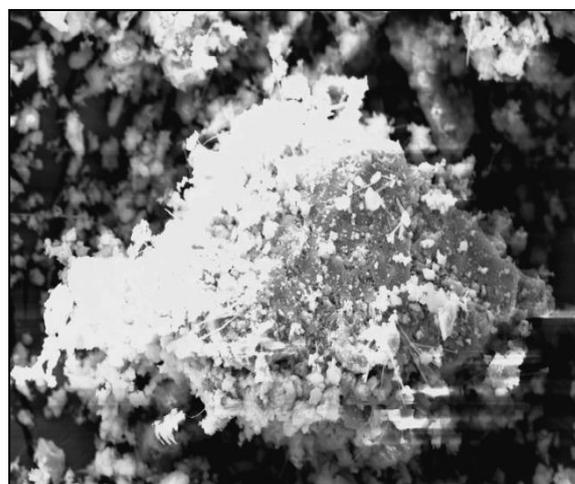
15,35%, Carbono 4,25% e, dois metais, sendo eles Alumínio (0,28%) e Ferro (0,59%).

4.2.3 Caracterização morfológica e microanálise química do vidro Residual

A caracterização morfológica do vidro, na Figura 13, onde as imagens são ampliadas.



a) 500x



b) 1000x

Figura 13 - Vidro residual
Fonte: Autoria própria

No resultado do efeito da microscopia eletrônica de varredura, com as imagens ampliadas (Figura 13- a e b) com a menor partícula foi menos de $1\mu\text{m}$, de acordo com as partículas soltas e não ligadas, variando de tamanho. Foi possível observar pequenos fios no aglomerado de vidro (Figura 13- b), podendo ser cristais oriundos do vidro, ou advindas no momento da moagem da matéria, sendo considerados impurezas.

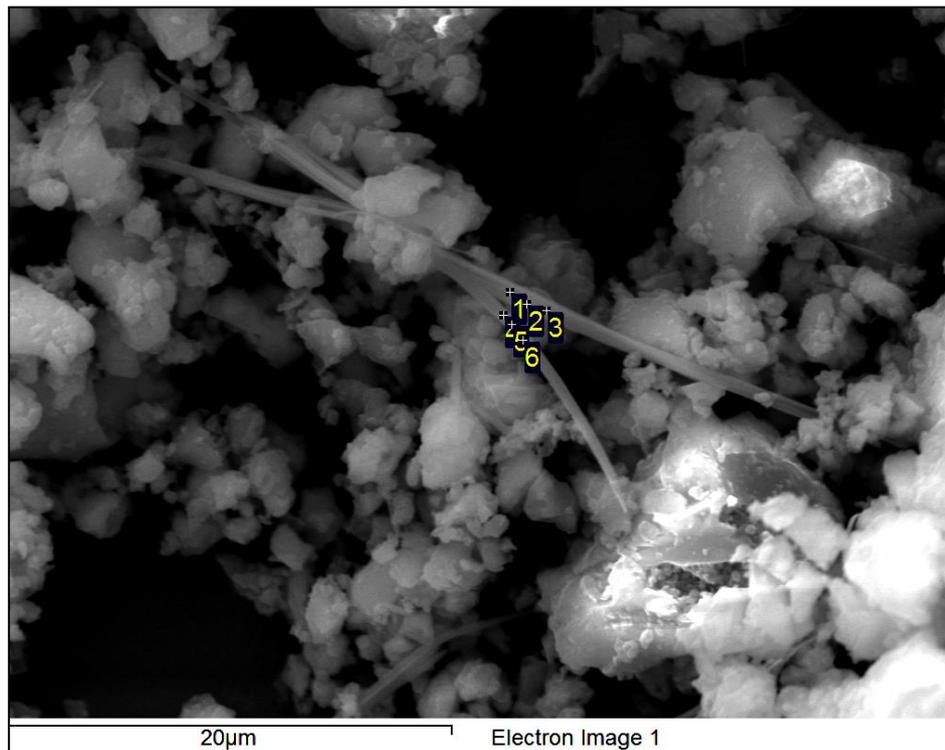


Figura 14 - EDS pó de vidro residual

Fonte: Autoria própria

Tabela 9 - Caracterização química do vidro por EDS

	Elemento	Ponto-1	Ponto-2	Ponto-3	Ponto-4	Ponto-5	Ponto-6
	Químico	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
VIDRO RESIDUAL	C	69,56	68,48	68,10	73,76	65,42	76,36
	Na	7,08	4,89	6,08	4,74	5,30	3,24
	Mg	1,21	1,58	1,24	1,19	1,57	0,86
	Al	0,38	0,51	1,76	0,32	0,39	0,19
	Si	18,41	21,75	19,25	17,05	22,44	15,15
	K	0,00	0,00	0,24	0,00	0,18	0,00
	Ca	3,35	2,79	2,66	2,94	4,70	2,67
TOTAL		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: Autoria própria

Na Figura 14, é representada a imagem do pó de vidro. A análise foi realizada por meio de Espectrometria de Energia Dispersiva de Raios-X e

dessa forma a caracterização química da superfície do vidro residual, foi possível, apontar 6 pontos em locais muito próximos, e assim identificar sua composição química superficial reconhecida como: Ca, Na, Mg, Al, Si, K e Ca em todos os pontos. A diferença entre os pontos foram mínimas. Suas composições são semelhantes a análise de Fluorescência de Raios-X.

4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DOS CORPOS DE PROVA CERÂMICOS

Para caracterizar e analisar física e mecanicamente os efeitos da inserção dos resíduos de tinta, areia de fundição e vidro na cerâmica branca, usou-se as metodologias da NBR 6220/1997 e 6113/1997. De acordo com os procedimentos, conseguiu-se determinar a Retração Linear, Absorção de Água e Densidade Aparente como caracterização física e, para avaliar as propriedades mecânicas, foram feitos ensaios de flexão em três pontos. Okada et al. (2008), Liu et al. (2009) Realizaram os mesmos procedimentos para suas caracterizações.

4.3.1 Retração Linear

A massa compactada, por meio do molde é a somatória de todo o corpo de prova, incluindo os poros. Após submeter-se ao processo no quais todas as misturas prensadas foram submetidas às temperaturas entre 1100°C a 1275°C, temperaturas essas que são menores que a seu estado de fusão. Esse procedimento viabiliza uma modificação em sua estrutura, de formas minimizadas e muitas vezes não aparentes, sem utilização de microscópio. Com o propósito de transformar o corpo de prova em uma peça sólida e com seus compósitos ligados, passou-se por um ou mais processos de mecanismos de transporte. No decurso do processo, transcorreram diversos comportamentos no estado sólido que são iniciadas por causa do calor aplicado neles. Possivelmente, em alguns casos, podem ocorrer naturalmente quando a escora chega a uma determinada temperatura. Um fator

determinante foi a inserção de fundentes na composição, a borra de tinta residual e o vidro colaboraram no processo de sinterização da cerâmica. Essa ocorrência relaciona-se a diversas outras teorias que existem. Na realidade, a sinterização é a ligação atômica entre duas partículas próximas.

Conforme se tem elevação de temperatura da queima dos corpos de provas, podem existir fases líquidas, como no caso de vidro que se funde em temperaturas entre 1000°C a 1200°C. Essa Com esse aumento do calor há da mesma forma, ocasiona a diminuição da viscosidade das fases, desse modo os poros que existem devido a formação de gases, desse modo a tendência é que os líquidos possam fluir através de corpos porosos, causada pela tensão superficial. Conforme Praxedes (2014) Essa aproximação, tem como resultado a retração da peça.

A retração linear dos corpos de provas foi avaliada por meio de um paquímetro digital com precisão de duas casas decimais. As dimensões foram caracterizadas pelas medidas dos lados (comprimento e largura) e da espessura. Com os resultados de cada peça, utilizou-se da Equação 01. Todos os resultados resultantes da análise estão contidos na Tabela 10.

Tabela 10 - Retração linear dos corpos de provas

Nº	Composição (% em massa de sólidos)				Retração Linear (%)				
	Caulim	Areia de fundição	Vidro Residual	Borra de tinta	1100°C	1150°C	1200°C	1250°C	1275°C
1	100,00	0,00	0,00	0,00	4,28	4,33	7,01	7,22	7,24
2	35,00	40,00	20,00	5,00	3,24	4,89	5,42	5,98	6,14
3	37,00	40,00	20,00	3,00	2,99	4,26	5,10	6,01	6,55
4	30,00	42,00	25,00	3,00	3,15	4,01	4,99	5,87	6,96
5	30,00	40,00	23,00	7,00	3,56	4,03	4,37	5,10	6,28
6	40,00	30,00	23,00	7,00	4,10	5,11	5,77	6,24	6,86
7	45,00	35,00	15,00	5,00	3,75	4,11	4,76	5,84	6,04
8	93,00	0,00	0,00	7,00	6,2	6,98	8,12	10,45	11,20
9	63,00	30,00	0,00	7,00	4,17	4,85	5,10	5,28	5,54

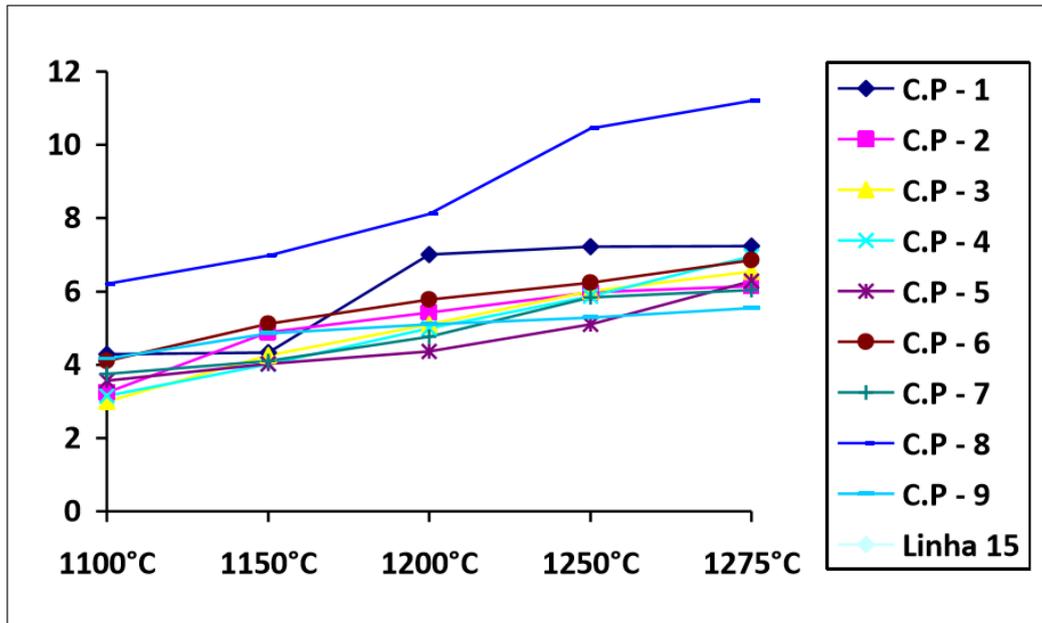


Figura 15 - Gráfico retração linear dos corpos de provas
 Fonte: Autoria própria

Verificou-se que a temperatura de queima influenciou diretamente na retração dos blocos cerâmicos. Analisando as misturas, pode-se verificar que, para a mesma composição, a elevação da temperatura representou um aumento da retração linear.

Por meio da Figura 15, pode-se perceber, de uma forma mais clara, que a composição 8 obteve um aumento significativo em sua retração linear, isso devido a ligação química com a borra de tinta, onde, com a sinterização, aproximaram-se as partículas. Diferente modo ocorreu com os outros corpos de provas, que possuem em suas composições a areia de fundição, que trouxe uma estrutura à peça cerâmica.

4.3.2 Absorção de água

Na Tabela 11, pode-se notar que a absorção da água dos blocos cerâmicos que conforme a sua composição, afetou ao crescimento ou não da absorção de água.

Tabela 11 - Absorção de água dos corpos de provas

Nº	Composição (% em massa de sólidos)				Absorção (%)				
	Caulim	Areia	Vidro	Borra	1100°C	1150°C	1200°C	1250°C	1275°C
		de Fundição	Residual	de Tinta					
1	100,00	0,00	0,00	0,00	29,33	23,01	21,48	18,10	17,38
2	35,00	40,00	20,00	5,00	14,01	14,36	14,35	14,47	14,52
3	37,00	40,00	20,00	3,00	10,05	12,10	13,17	14,23	14,25
4	30,00	42,00	25,00	3,00	20,12	21,16	23,48	24,87	25,81
5	30,00	40,00	23,00	7,00	25,10	25,14	23,87	26,14	26,41
6	40,00	30,00	23,00	7,00	12,93	14,37	16,45	17,11	17,84
7	45,00	35,00	15,00	5,00	8,16	9,63	10,37	12,50	12,53
8	93,00	0,00	0,00	7,00	20,42	20,15	16,01	11,90	10,85
9	63,00	30,00	0,00	7,00	18,01	17,86	19,00	19,23	19,31

Fonte: Autoria própria

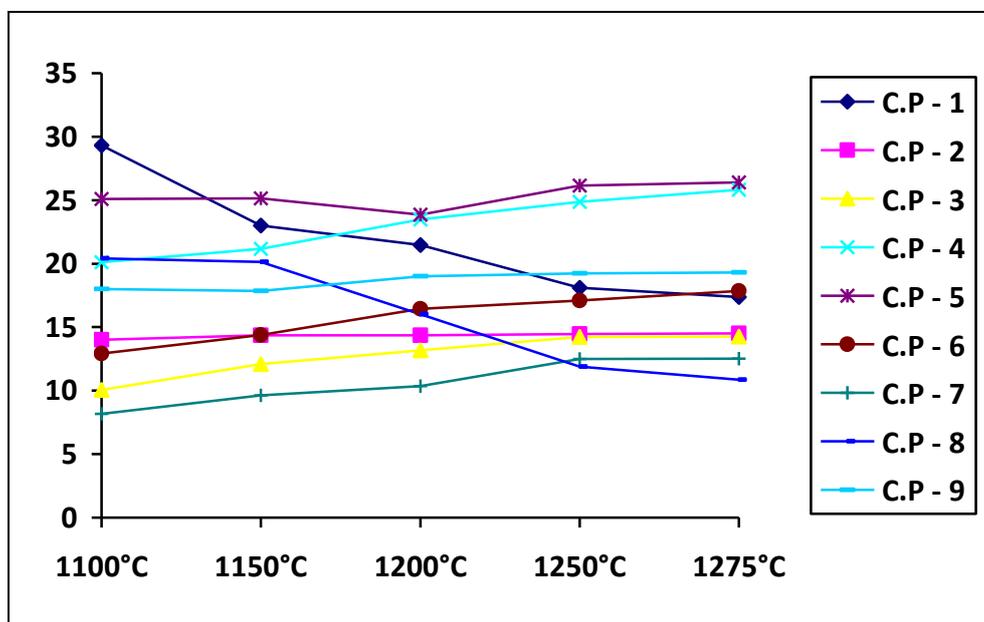


Figura 16 - Gráfico de absorção de água dos corpos de provas

Fonte: Autoria própria

A junção dos três resíduos, como demonstrado na composição 5, apresentou um aumento no valor da absorção da água. Este fato pode ter sido

gerado pelos espaços advindos dos gases expelidos dos resíduos. Aumenta desse modo, a porosidade da cerâmica e a absorção de água nela. Os diferentes resíduos levaram a resultados diferentes, sendo que o mesmo foi observado por Vitorino (2009) que com a incorporação de resíduos, atua como um redutor de absorção de água da cerâmica. Já em outro caso, existem os resíduos que aumentaram a absorção de água, ou melhor, elevam a abertura que surgem na cerâmica, quando em sua composição há um valor superior a 3% em peso. Isto é ocasionado por motivo de queimas orgânicas

De acordo com a classificação da ISO 13006/1998 este tipo de cerâmica pertence ao grupo III B já que a Absorção de água foi superior a 10%.

4.3.3 Densidade aparente

A densidade aparente do bloco foi calculada através da equação (04) e seus resultados podem ser observados na Tabela 12 e Figura 17.

Tabela 12 - Densidade aparente dos corpos de provas

Nº	Composição (% em massa de sólidos)				Densidade (%)				
	Caulim	Areia de fundição	Vidro Residual	Borra de tinta	1100°C	1150°C	1200°C	1250°C	1275°
1	100,00	0,00	0,00	0,00	1,11	1,12	1,05	1,17	1,18
2	35,00	40,00	20,00	5,00	1,23	1,27	1,27	1,30	1,32
3	37,00	40,00	20,00	3,00	1,65	1,66	1,69	1,71	1,74
4	30,00	42,00	25,00	3,00	1,07	1,09	1,11	1,15	1,15
5	30,00	40,00	23,00	7,00	0,93	0,93	0,96	0,98	1,00
6	40,00	30,00	23,00	7,00	1,04	1,05	1,05	1,07	1,09
7	45,00	35,00	15,00	5,00	1,53	1,57	1,59	1,59	1,60
8	93,00	0,00	0,00	7,00	1,32	1,32	1,35	1,36	1,39
9	63,00	30,00	0,00	7,00	1,01	1,03	1,04	1,07	1,07

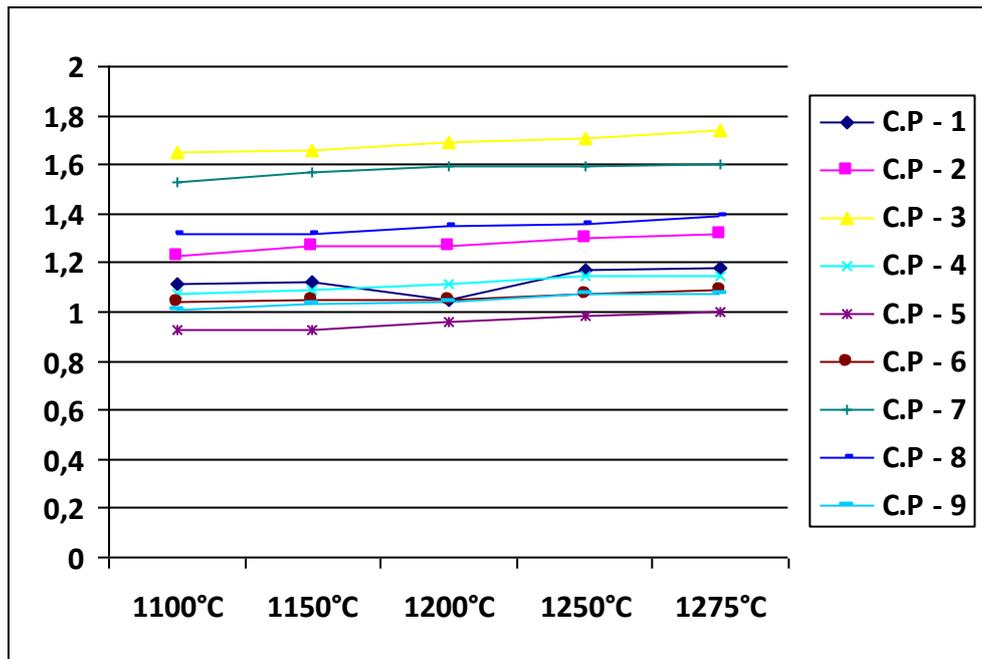


Figura 17 - Gráfico da densidade aparente dos corpos de provas

Fonte: Autoria própria

Por meio da Tabela 11 e da Figura 17 pode-se verificar que houve um aumento da densidade aparente do material com a inserção de resíduos. A densidade é a relação entre a massa do bloco pelo seu volume e a massa do bloco era constante o que ocorreu foi uma diminuição no volume dos poros com o aumento da temperatura.

De mesma maneira dessa análise, Casagrande *et al.* (2008) Apresenta a densidade aparente da cerâmica, como um dos mais importantes parâmetros de controle do processo de produção de revestimentos cerâmicos. Para que a redução da resistência mecânica final da cerâmica não seja comprometida, há necessidade de aumento na densidade dos corpos de prova, pois de outro modo, traria um aumento no número de quebras e crescimento da porosidade do produto final. Segundo Praxedes (2014) Quando há necessidade de redução na densidade aparente do corpo de prova compactado, suas próximas peças, necessitariam de uma maior pressão no momento da sua compactação com a prensa. Elevando o custo do processamento e aumentando o tempo de depreciação do equipamento. Similarmente necessitaria de aumentar a temperatura do forno. Esse processo acarretaria mais gastos de energia, conseqüentemente despesa financeira.

As alterações na microestrutura da cerâmica incinerada foram compreendidas para amostras com maior número de resíduos, pois as amostras que possuem mais argila tiveram uma baixa densidade.

4.3.4 Resistência mecânica à flexão

O ensaio que foi realizado, conforme a norma NBR 6220/1997, utilizando um flexímetro digital EMIC do Laboratório da UTFPR em 270 corpos de provas, pode-se avaliar por meio da Tabela 13 e Figura 18 que quanto maior é a temperatura, mais resistência o material apresentou, cada um em sua composição. Somente a composição 8, que possui apenas borra de tinta residual, houve uma elevação comparada com a resistência da composição que possui somente caulim.

Tabela 13 - Resistência mecânica à flexão dos corpos de provas em MPa

Nº	Composição (% em massa de sólidos)				Flexão (%)				
	Caulim	Areia de fundição	Vidro Residual	Borra de tinta	1100°C	1150°C	1200°C	1250°C	1275°C
1	100,00	0,00	0,00	0,00	2,41	4,27	5,10	6,12	6,95
2	35,00	40,00	20,00	5,00	1,68	1,86	4,03	3,19	2,54
3	37,00	40,00	20,00	3,00	1,77	2,29	2,73	5,17	3,50
4	30,00	42,00	25,00	3,00	1,07	1,54	2,39	4,81	6,56
5	30,00	40,00	23,00	7,00	1,39	1,59	2,70	4,14	3,73
6	40,00	30,00	23,00	7,00	1,96	2,44	3,89	6,44	5,54
7	45,00	35,00	15,00	5,00	1,95	1,99	3,16	3,91	2,66
8	93,00	0,00	0,00	7,00	3,21	5,88	10,03	10,29	12,29
9	63,00	30,00	0,00	7,00	0,88	1,14	2,72	2,10	1,00

Fonte: Autoria própria

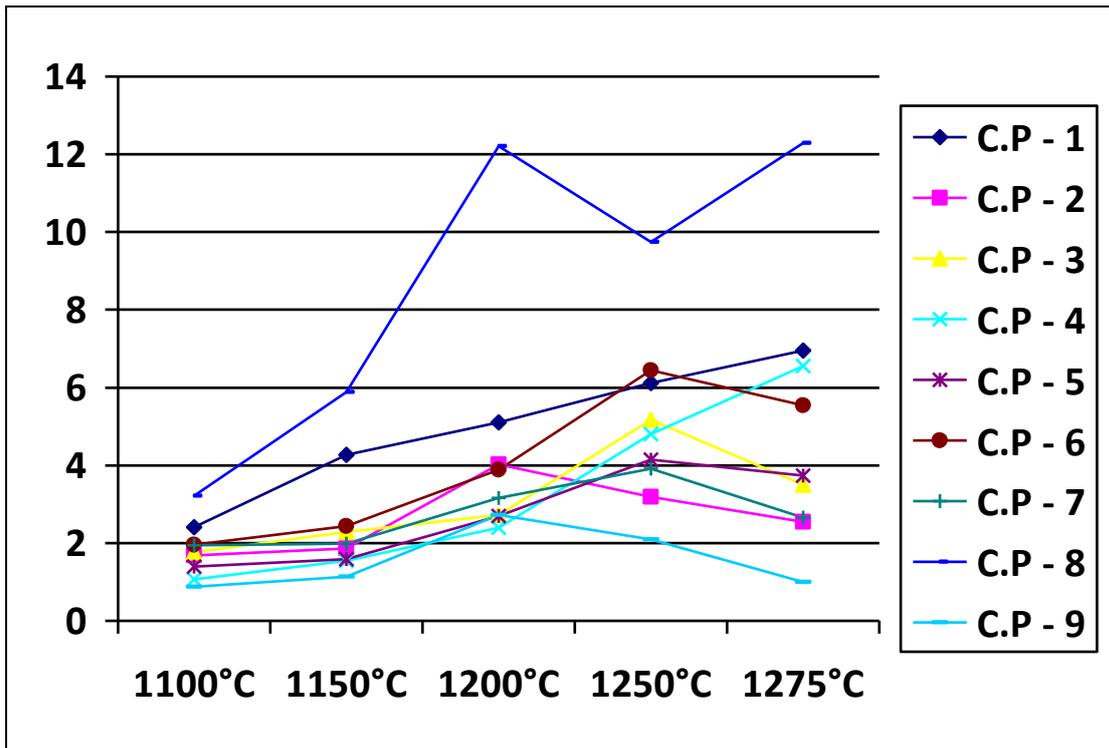


Figura 18 - Gráfico da resistência à flexão em MPa

Fonte: Autoria própria

O resultado com melhor resistência à flexão contém em sua composição somente 7% da borra de tinta residual, sendo a composição de nº 8 (Tabela 13). O fato de conter apenas 7% de resíduos e uma resistência de 12,29 MPa na temperatura de 1275°C. Valor este praticamente 76,83% maior que o da composição nº 1 (6,95 MPa) na mesma temperatura. Em todas as temperaturas a composição 8 teve um resultado melhor do que a mistura que contém somente caulim.

Na ISO 13.006/1998 um material classe III, apresenta AA>10% e, por apresentar resistência mecânica à flexão maior que 12Mpa, é considerado um material com uma tipologia cerâmica de Azulejo fino.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA MORFOLÓGICA E MICROANÁLISE QUÍMICA DOS CORPOS DE PROVAS

Com o intuito de caracterizar completamente os corpos de prova, foi realizado o MEV e EDS nos blocos cerâmicos cujas propriedades de resistência à flexão tiveram um melhor desempenho.

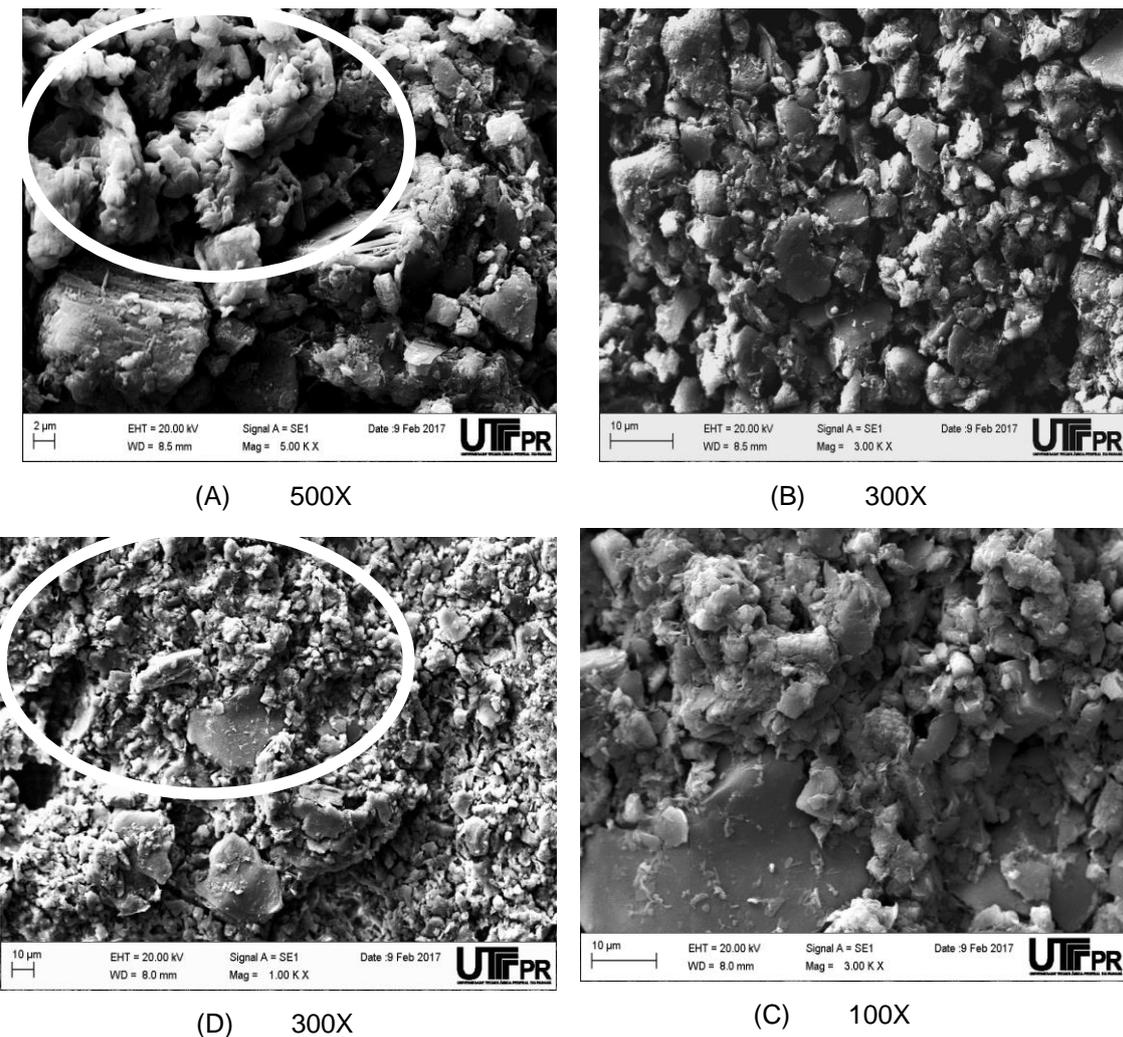


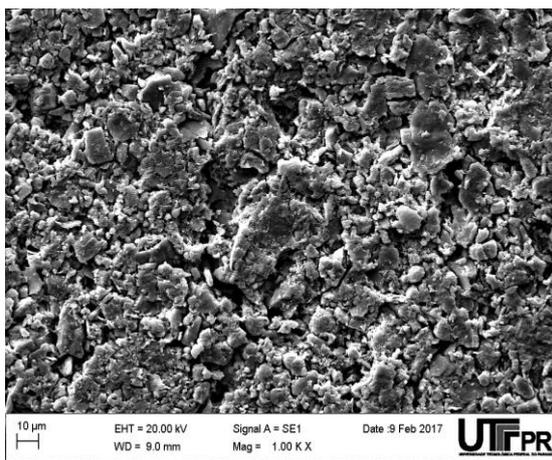
Figura 19 - Estrutura morfológica da composição 8 - 1100°C

As amostras escolhidas para serem analisadas, deram um resultado elevado em sua resistência à flexão, e continham um valor menor de resíduo comparado às demais. Constituíam-se apenas de 7%, sendo os outros 93%, compostos por argila. Foi possível interpretar de uma maneira mais acertada,

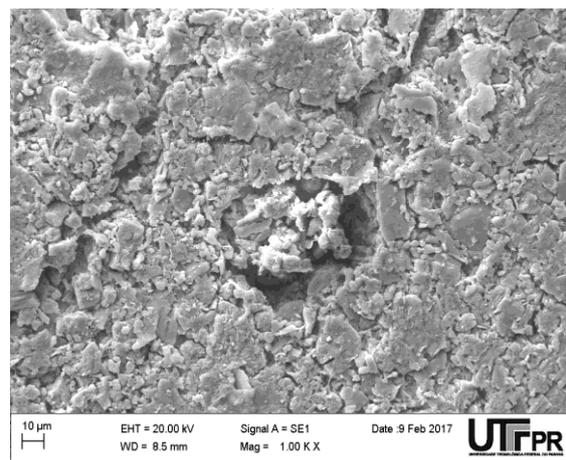
comparando morfológicamente os blocos de composição 8, queimados a 1100°C, com os blocos da mesma composição queimados a 1275°C.

Por meio da Figura 19, nota-se que os fragmentos estão unidos, porém essa união deriva-se apenas, por terem sido prensados anteriormente e, se adequam a modelagem.

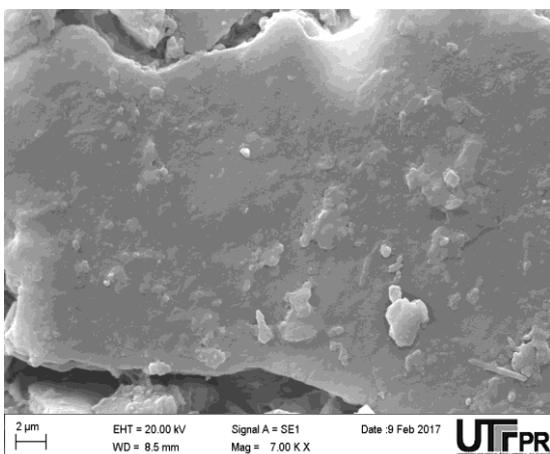
Não existe a possibilidade que as peças estejam completamente fundidas, pois necessitaria de uma temperatura superior para que a fusão desses particulados fosse completa. Na Figura 19 (B e C) pode-se compreender que na área analisadas existe um aglomerado de partículas de espessuras variadas na Figura 19 (A e D) notou-se que as partículas mantêm suas formas iniciais, porém á partes nelas com um início de fusão, unindo dessa forma, partes delas. Portanto, suas conexões não estão completamente ligadas.



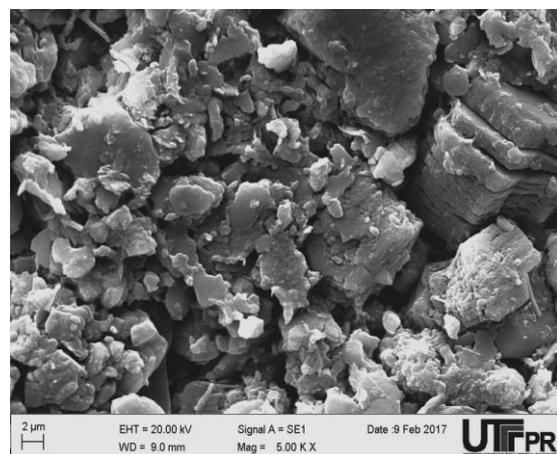
a) 5000 X



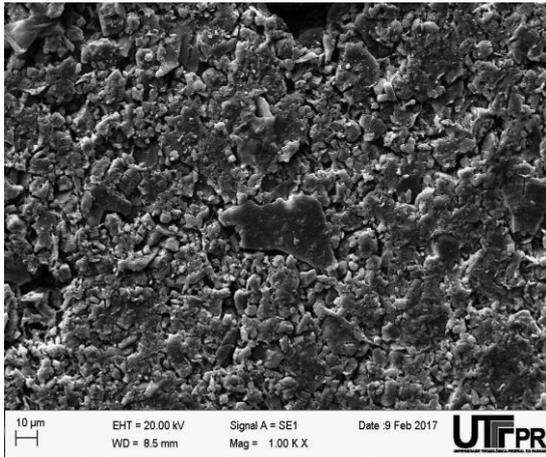
b) 1000 X



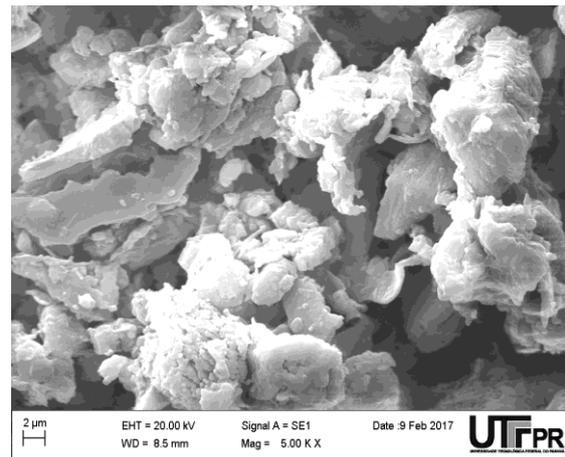
c) 8000 X



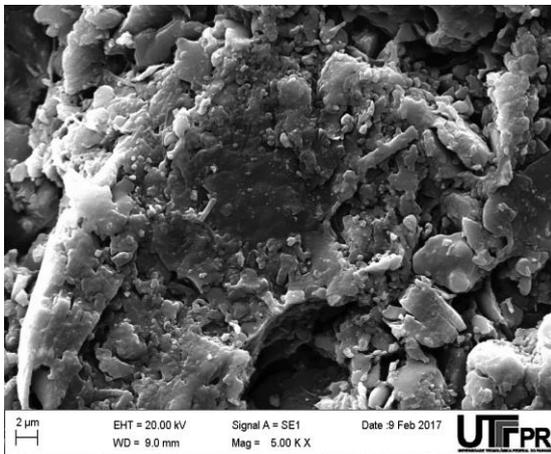
d) 5000 X



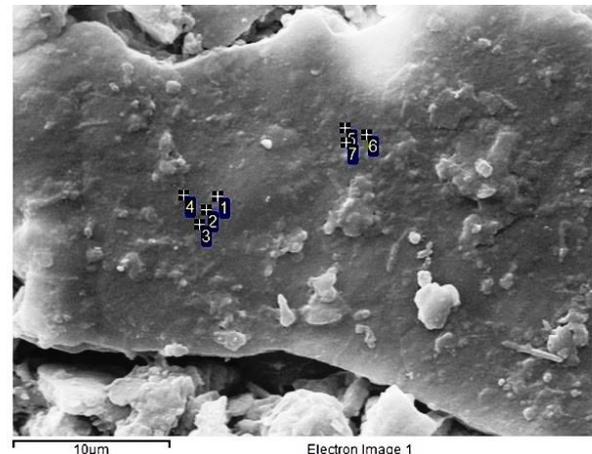
e) 1000 X



f) 5000 X



h) 5000 X



i) 8000 X

Figura 20 - Estrutura morfológica da composição 8 - 1275°C

Os corpos de provas, apresentados na Figura 20, tendo em vista que possuem a mesma composição da Figura 19, queimados a 1275°C, foi possível observar que apresentam estruturas diferentes. Nas imagens A, C e E, verificou-se a compactação das partículas, há uma ordem nelas, mesmo que de diferentes granulometria. Ao aproximar a microscopia, como apresentado nas imagens B, D, F e G, nota-se a fundição das partículas. Contudo, apresentam estruturas morfológicas diferentes das apresentadas nas imagens que foram queimadas a 1100°C. Porém consistem em partículas não fundidas, o que se entende que há condições de melhorar suas características, caso exista a possibilidade de aumentar a temperatura na hora da queima dos

corpos de provas. Na Figura 20 (E e F) apresenta um poro, proveniente dos gases expelidos durante a queima.

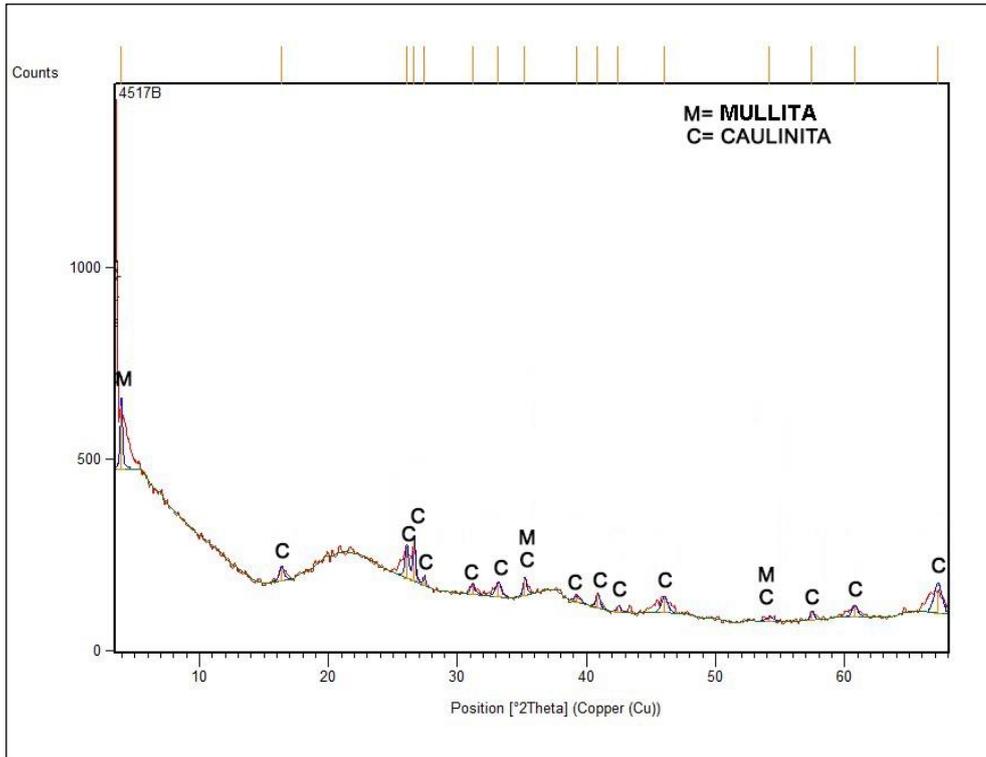
Tabela 14 - Microanálise química dos pontos da composição 8 - 1275°C

	Elemento	Ponto-1	Ponto-2	Ponto-3	Ponto-4	Ponto-5	Ponto-6	Ponto-7
	Químico	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
C.P 8 1275°C	C	14,58	14,92	15,94	20,72	13,87	16,81	16,84
	O	43,88	42,75	41,90	41,30	45,91	45,71	45,34
	Al	19,74	19,77	19,88	18,19	18,58	17,35	17,83
	Si	21,79	22,56	22,28	19,79	21,64	19,97	19,99
	Ca	***	***	***	***	***	0,16	***
TOTAL		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

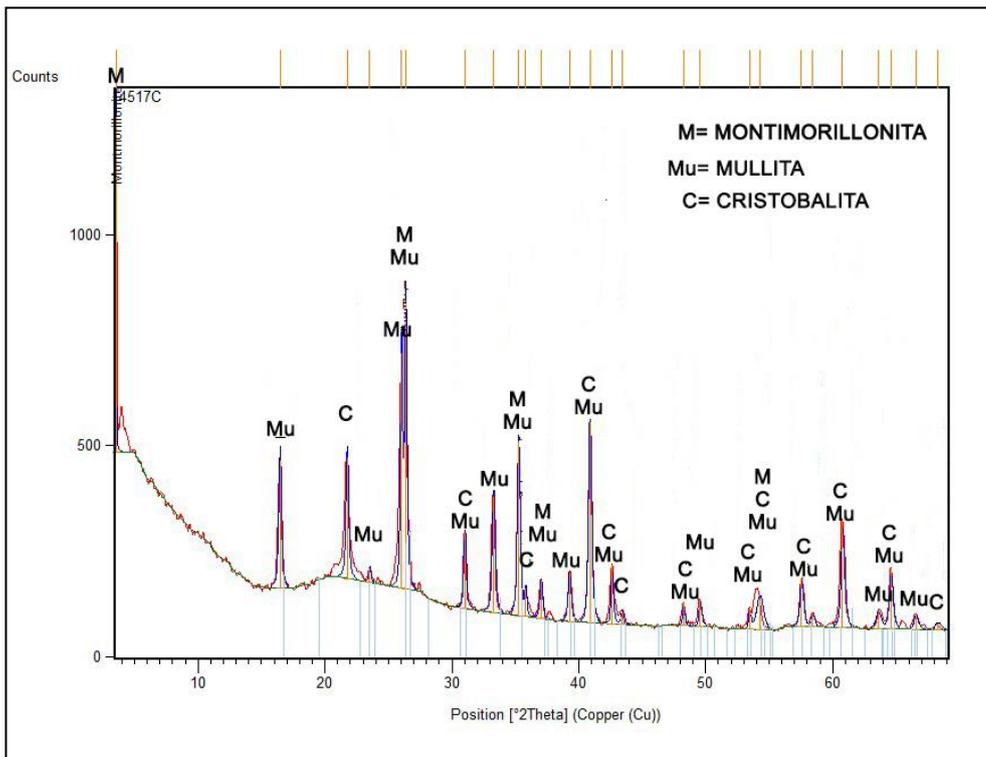
Conforme analisado quimicamente por meio do EDS, pode-se chegar à conclusão de que há sim, áreas completamente fundidas, como é demonstrado na Tabela 14. Foram verificados 7 pontos e encontrados apenas dois não metais (C e O), um metal não representativo (Al), um semi-metal (Si) e um metal alcalino-ferroso (Ca) apenas no ponto 6 com uma quantidade baixa de 0,16%. Os locais de verificações com os pontos. Essas áreas inteiramente vitrificadas com a base lisa, explica mais a resistência elevada de 12,26 MPa na temperatura de 1275°C, comparada com 3,21 Mpa queimada a 1100°C.

4.5 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DOS CORPOS DE PROVA

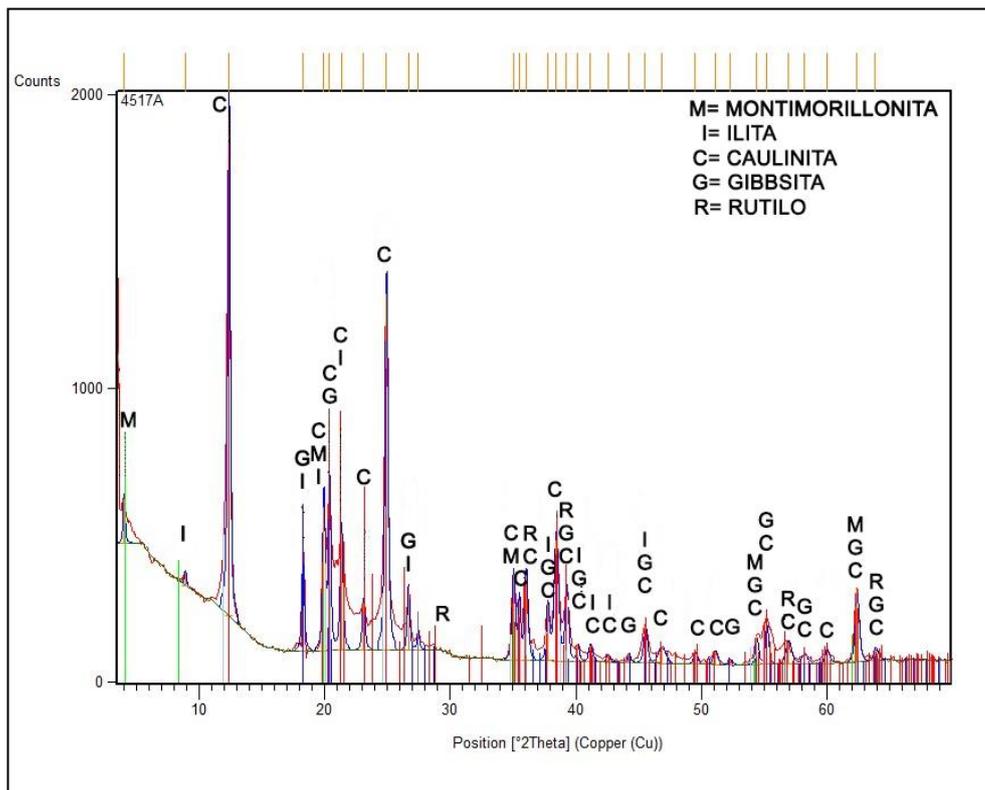
Realizou-se uma análise de difratometria de Raios-X, para entender a influência dos resíduos juntamente com a argila. A composição escolhida foi a de número 8. Os ensaios foram realizados na mistura inicial, no corpo de prova incinerado na temperatura de 1100°C e 1275°C.



a) Mistura inicial composição 8



b) Composição 8 1100°C



c) Mistura inicial composição 8 a 1275°C

Figura 21 - Análise de minerais da composição 8

Para se compreender as possíveis alterações e comportamentos microestruturais dos minerais presentes no corpo de prova analisado, foi realizado a DRX. Os padrões de difração de raios-X em pó da composição 8 sinterizados nas temperaturas de 1100°C e 1275°C e em sua composição inicial mostraram o aparecimento de Montmorillonita, illita, caulinita, gibbsita, rutila e cristobalita, como apresentados na Figura 22 (A, B e C). Segundo Fernandez (2011) A caulinita, illita e montmorillonita, são referidas como minerais de argila. A presença do mineral Rutila e Gibbsita foi facilmente explicado, pois quando foi moído de uma forma fina, pode ser usado como pigmentos, que forem utilizados em tintas. A gibbsita com a fórmula $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, presente na composição inicial, sem ser incinerada, é usada desde os tempos pré-históricos como pintura para decorar, quando usavam minerais como a gibbsita para desenhar (CARDOSO, 2015). A Mulita que em sua fase refratária principal possui a formulação $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, é capaz de reter Fe_2O_3 ,

TiO₂ em solução sólida evitando que formem eutéticos. É um mineral com alta estabilidade química e um baixo coeficiente de expansão térmica e alta refratariedade.

4.6 LIXIVIAÇÃO DE METAIS DE CERÂMICAS E DE PARTICULADOS EMITIDOS

Com o intuito de analisar os aspectos ambientais dos corpos de provas queimados a 1275°C, foi avaliada a emissão de contaminantes via lixiviação e emissões de particulados, durante o processo de queima, embora este ensaio não possua norma específica.

4.6.1 Lixiviação dos corpos de provas cerâmicos

De acordo com a o procedimento iniciou-se com uma norma antiga devido ao único equipamento de *jar-test* disponível para execução do ensaio. Os resultados estão descritos na Tabela 15.

Tabela 15 - Lixiviação dos corpos de prova 1275°C

Parâmetros	NBR	C.P. 8
Analisados	10005	1275°C
Arsênio	1,0	****
Bário	70,0	0,001
Cádmio	0,5	0,042
Chumbo	1,0	0,004
Cromo Total	5,0	0,186
Fluoreto	150,0	****
Mercúrio	0,1	****
Prata	5,0	****
Selênio	1,0	****

Fonte: Autoria própria

De acordo com a Tabela 15, pode se concluir que os corpos de provas utilizando borras de tintas residuais, podem ser considerados inertes, pois em nenhum parâmetro analisados excedeu o valor estipulado pela NBR 10.005/87.

4.6.2 Análise de emissões de particulados durante a queima dos corpos de provas

Conforme adaptações do método de análises de materiais particulados EPA, foram coletadas amostras de elementos, advindo da emissão dos gases no período da incineração dos corpos de provas na temperatura de 1275°C, os resultados estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Taxas de emissões de particulados dos corpos cerâmicos das formulações a queimadas a 1275°C

Parâmetros Analisados	Composições 1275°C
Cobre	2.150
Ferro	0.790
Cádmio	0.074
Chumbo	0.103
Cromo	0.159
Níquel	0.061
Zinco	1.473
Fenol	0,107

Fonte: Autoria própria

Avaliaram-se as taxas de emissões de gases durante o processo de queima, porém ainda não existe uma norma específica que estipule um limite a ser emitido de materiais particulados. Comparando os parâmetros utilizados por Guerino (2010) mostra que os corpos cerâmicos produzidos com fundente à base de silicatos e areia de fundição aumentam a emissão de fenol, em relação à porcelana tradicional, que resulta o Fenol = 0,096 de emissão.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

Por meio desta pesquisa é possível afirmar que a borra de tinta, junto com areia de fundição, vidros residuais em combinação com Caulim, pode ser usada na produção de cerâmica. Os teores de resíduos variaram entre 0 a 70% em massa com temperaturas de queima 1100°C, 1150°C, 1200°, 1250°C e 1275°C e os valores das propriedades mecânicas dos corpos de provas manufaturados na composição 8, que apresentaram a maior resistência à flexão, foram as seguintes:

- a) Resistência à flexão até 12,29 MPa;
- b) Absorção da água entre 8,16% e 26,41%;
- c) Densidade aparente de 0,93 a 1,74g/cm³,
- d) Retração linear entre 2,99 a 11,20%.

Por meio das análises de (DRX, FRX, MEV e EDS) ficou comprovado que durante a queima das misturas iniciais acontecem fundição parcial dos componentes com formação de estrutura vítrea e interação química de componentes. A inserção da borra de tinta, areia de Fundição e vidro mostrou uma alternativa viável, tanto do ponto de vista do material, quanto do ponto de vista ambiental e econômico, pois o novo compósito gerado apresentou um ganho de resistência mecânica de aproximadamente 12,30% e não alterou outras propriedades importantes como a AA e a Retração Linear. Além do que seu uso gera uma diminuição na extração de recursos minerais e agrega valor a um resíduo que, de acordo com a NBR 10.004/2004 é considerado perigoso.

De acordo com a NBR 10.005/87 os corpos de provas utilizando borras de tintas residuais, podem ser considerados inertes. E taxa emissão de fenol, fica abaixo das emitidas por porcelanas tradicionais.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao longo do desenvolvimento desta pesquisa, foram identificadas questões correlatas, que permitiriam o desenvolvimento de outros estudos.

Entre essas, estão:

- Utilização de da areia de fundição com diâmetro do material menor do que a utilizada;
- Composição outros tipos de tintas. Ex: Cartuchos, toners etc.;
- Utilização de outras argilas e temperaturas mais altas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABICHOU, Tarek, Craig H. Benson, and Tuncer B. Edil. "Foundry green sands as hydraulic barriers: laboratory study." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 126.12 (2000): 1174-1183.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 10.004:**

Resíduos sólidos: Classificação. Rio de Janeiro/RJ, 2004.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 10.007:**

Amostragem de Resíduos sólidos: Classificação. Rio de Janeiro/RJ, 2004.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.237:** Materiais Refratários: Classificação. Rio de Janeiro/RJ, 2001.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8826:** Materiais Refratários – Terminologia. Rio de Janeiro/RJ, 1997.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6113:** Materiais refratários densos conformados — Determinação da Resistência à Flexão à Temperatura Ambiente. Rio de Janeiro/RJ, 1997.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6220:** Materiais refratários densos conformados — Determinação do volume aparente, densidade de massa aparente, porosidade aparente, absorção e densidade aparente da parte sólida. Rio de Janeiro/RJ, 1997.

ADEGAS, ROSEANE GNÇALVES. Perfil ambiental dos processos de fundição ferrosa que utilizam areias no estado do rio grande do sul. 2007

ALMESFER, Nasser, Ingham, Jason. MAXWELL EFFECT OF WASTE LATEX PAINT ON CONCRETE Cement and Concrete Composites Volume 46, February 2014, Pages 19-25

ALBERS, A. P. F., MELCHIADES, F.G., MACHADO, R., BALDO, J.B., BOSHI, A. O. Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios X. **Cerâmica**, São Paulo, v. 48, n. 305, Mar. 2002 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132002000100008&lng=en&nrm=iso>. Acessado em: 21/05/2015

ALMEIDA, R. R. de, et al. Utilização do resíduo do beneficiamento do caulim na produção de blocos e telhas cerâmicos. **Revista Matéria**, v. 12, n. 1, p. 226-236, 2007.

ALONSO-SANTURDE, R. et al. Technological behaviour and recycling potential of spent foundry sands in clay bricks. **Journal of environmental management**, v. 92, n. 3, p. 994-1002, 2011.

ALONSO-SANTURDE, Rebeca et al. Recycling of foundry by-products in the ceramic industry: Green and core sand in clay bricks. **Construction and Building Materials**, v. 27, n. 1, p. 97-106, 2012.

ALONSO-SANTURDE, Rebeca et al. Valorization of foundry sand in clay bricks at industrial scale. **Journal of Industrial Ecology**, v. 14, n. 2, p. 217-230, 2010.

ASHBY, Michael. **Seleção de materiais no projeto mecânico**. Elsevier Brasil, 2013.

BAKIS, Recep; KOYUNCU, Hakan; DEMIRBAS, Ayhan. An investigation of waste foundry sand in asphalt concrete mixtures. *Waste management & research*, v. 24, n. 3, p. 269-274, 2006.

BAUCIA JR, J. A. et al. Estudo de fundentes alternativos para uso em formulações de porcelanato (Study of the use of alternative fluxing agents for feldspar in porcelainized stoneware tile compositions). **Cerâmica**, v. 56, p. 262-272, 2010.

BIEHL, Markus; PRATER, Edmund; REALFF, Matthew J. Assessing performance and uncertainty in developing carpet reverse logistics systems. **Computers & Operations Research**, v. 34, n. 2, p. 443-463, 2007.

BURCIAGA-DIAZ, Oswaldo; ESCALANTE-GARCIA, Jose Ivan; GOROKHOVSKY, Alexander. Geopolymers based on a coarse low-purity kaolin mineral: Mechanical strength as a function of the chemical composition and temperature. **Cement and Concrete Composites**, v. 34, n. 1, p. 18-24, 2012.

BUXBAUM, Gunter (Ed.). **Industrial inorganic pigments**. John Wiley & Sons, 2008.

BRAGANÇA, Saulo R. et al. Recycling of iron foundry sand and glass waste as raw material for production of whiteware. **Waste management & research**, v. 24, n. 1, p. 60-66, 2006.

CALZA, C. **Fluorescência de Raios X aplicada à análise culturais**. Boletim Técnico Eletrônico da ABRACOR. nº 1, 2010. Disponível em: <http://www.abracor.com.br/boletim/062010/ArtigoCris.pdf>. Acesso em: 03/02/2015.

CAMPOS, P. S., WENDELL Q.L. Avaliação dos impactos ambientais aplicada aos resíduos sólidos do setor de pintura de uma indústria de equipamentos petrolíferos. **Exacta**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 53-58, 2011.

CAMPREGHER N., **Estudo de viabilidade da incorporação do lodo da estação de tratamento de efluentes da indústria de papel, celulose e aparas em material cerâmico**, 2005, Disponível em: <http://www.tede.ufsc.br/teses/PENQ0173.pdf>. Acesso em 12 de março de 2015.

CARDOSO, Fernando de Paula et al. Desenvolvimento de processos de produção e avaliação do desempenho de tintas para a construção civil manufaturadas com pigmentos de solos. 2015.

CASAGRANDE, M. C. et al. Reaproveitamento de resíduos sólidos industriais: processamento e aplicações no setor cerâmico. **Cerâmica Industrial**, v. 13, n. 1/2, p. 34-42, 2008.

CASAGRANDE M.N., **Efeito da adição de chamote e semi-greisificado no comportamento físico de massa cerâmica para pavimento**, Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 2002

COELHO, Antonio C. Vieira; DE SSANTOS, P.; DE SSANTOS, H. Argilas especiais: o que são, caracterização e propriedades. **Química Nova**, v. 30, n. 1, p. 146, 2007.

COMO, RESÍDUOS SÓLIDOS. Aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção. 2001.

DAT, Luu Quoc et al. Optimizing reverse logistic costs for recycling end-of-life electrical and electronic products. **Expert Systems with Applications**, v. 39, n. 7, p. 6380-6387, 2012.

DENG, An, and Paul J. Tikalsky. "Geotechnical and leaching properties of flowable fill incorporating waste foundry sand." *Waste Management* 28.11 (2008): 2161-2170.

DEVANT, M., CUSIDÓ, J.A. and SORIANO, C., 2011. Custom formulation of red ceramics with clay, sewage sludge and forest waste. *Applied Clay Science*, **53**(4), pp. 669-675

DUARTE, L. C., JUCHEM, P. L., PULZ, G. M., DE 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, n° 30(2), p. 3-15, 2003. Disponível em: <<http://www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br/3002/01-3002.pdf>>. Acessado em: 13/10/2015.

DU, Feng; EVANS, Gerald W. A bi-objective reverse logistics network analysis for post-sale service. **Computers & Operations Research**, v. 35, n. 8, p. 2617-2634, 2008.

DUNGAN, Robert S., and James B. Reeves. "Pyrolysis of carbonaceous foundry sand additives: seacoal and gilsonite." *Thermochimica Acta* 460.1 (2007): 60-66.

EROL, M.; KÜÇÜKBAYRAK, S.; ERSOY-MERICBOYU, A. Comparison of the properties of glass, glass–ceramic and ceramic materials produced from coal fly ash. **Journal of Hazardous Materials**, v. 153, n. 1, p. 418-425, 2008.

FERNANDEZ, Rodrigo; MARTIRENA, Fernando; SCRIVENER, Karen L. The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite. **Cement and Concrete Research**, v. 41, n. 1, p. 113-122, 2011.

FURLANI, E. et al. Preparation and characterization of sintered ceramics made with spent foundry olivine sand and clay. **Ceramics International**, v. 38, n. 4, p. 2619-2625, 2012.

FREITAS, N.; **Influência da concentração de caulim campo alegre nas propriedades físicas e mecânicas de compósitos de carbetos de silício/alumínio**. Dissertação de mestrado em engenharia e ciências da UEPG, 2007.

GIFFONI, P. O. & LANGE, L. C. A utilização de borra de fosfato como matéria-prima alternativa para a fabricação de tijolos **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 10, n° 2 – abr-jun, 2005, p. 128-136.

GOUVINHAS, R. P., MACÊDO, R. G., PIMENTA, R. C. D., “**Gestão Ambiental De Resíduos Sólidos Industriais: Proposição de um Modelo de Gerenciamento para Indústria de Tintas em Natal-RN**” XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, RJ, 2008

GUERINO, K. B. et al. Uso de areia de fundição como matéria-prima para a produção de cerâmicas brancas triaxiais. **Ceram. Ind**, v. 15, p. 42-46, 2010.

GUNEY, Yucel et al. Re-usage of waste foundry sand in high-strength concrete. **Waste Management**, v. 30, n. 8, p. 1705-1713, 2010

HERNÁNDEZ, Jorge E. et al. The reverse logistic process of an automobile supply chain network supported by a collaborative decision-making model. **Group Decision and Negotiation**, v. 20, n. 1, p. 79-114, 2011.

HOPPE, Alexander; GÜLDAL, Nusret S.; BOCCACCINI, Aldo R. A review of the biological response to ionic dissolution products from bioactive glasses and glass-ceramics. **Biomaterials**, v. 32, n. 11, p. 2757-2774, 2011.

HUSILLOS RODRÍGUEZ, N., GRANADOS, R.J., BLANCO-VARELA, M.T., CORTINA, J.L., MARTÍNEZ-RAMÍREZ, S., MARSAL, M., GUILLEM, M., PUIG, J., FOS, C., LARROTCHA, E. and FLORES, J., 2012. Evaluation of a lime-mediated sewage sludge stabilisation process. Product characterisation and

technological validation for its use in the cement industry. *Waste Management*, **32**(3), pp. 550-560.

JONKER, A.; POTGIETER, J. H. An evaluation of selected waste resources for utilization in ceramic materials applications. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 25, n. 13, p. 3145-3149, 2005.

JORDÁN, M. M.; ALMENDRO-CANDEL, M. B.; ROMERO, M.; RINCÓN, J.Ma.; Application of sewage sludge in the manufacturing of ceramic tile bodies. **Applied Clay Science**, Spain, v. 30, p. 219-224, 2005.

JOVANE, F. et al. The incoming global technological and industrial revolution towards competitive sustainable manufacturing. **CIRP Annals-Manufacturing Technology**, v. 57, n. 2, p. 641-659, 2008.

KABLOV, E. N. et al. Glass and ceramics based high-temperature composite materials for use in aviation technology. **Glass and Ceramics**, v. 69, n. 3-4, p. 109-112, 2012.

LEE, W. E. et al. Immobilisation of radioactive waste in glasses, glass composite materials and ceramics. **Advances in Applied Ceramics**, v. 105, n. 1, p. 3-12, 2006.

KARA, Sami; RUGRUNGRUANG, Fatida; KAEBERNICK, Hartmut. Simulation modelling of reverse logistics networks. **International Journal of Production Economics**, v. 106, n. 1, p. 61-69, 2007.

KARLSSON, Mikael CF, et al. "Recovery of titanium dioxide and other pigments from waste paint by pyrolysis." *Journal of Coatings Technology and Research* 12.6 (2015): 1111-1122.

KHATIB, J. M., and D. J. Ellis. "Mechanical properties of concrete containing foundry sand." *Special Publication 200* (2001): 733-748.

KLINSKY, Luis Miguel Gutiérrez. Proposta de reaproveitamento de areia de fundição em sub-bases e bases de pavimentos flexíveis, através de sua incorporação a solos argilosos. Diss. Universidade de São Paulo, 2008.

KHEZRI, Seyed Mostafa; SHARIAT, Seyed Mahmood; TABIBIAN, Sahar. Evaluation of extracting titanium dioxide from water-based paint sludge in auto-manufacturing industries and its application in paint production. **Toxicology and industrial health**, p. 0748233711430977, 2012.

KUMAR, Sameer; PUTNAM, Valora. Cradle to cradle: Reverse logistics strategies and opportunities across three industry sectors. **International Journal of Production Economics**, v. 115, n. 2, p. 305-315, 2008.

LIU, Hongyu et al. Preparation and properties of glass–ceramics derived from blast-furnace slag by a ceramic-sintering process. **Ceramics International**, v. 35, n. 8, p. 3181-3184, 2009.

LU, Fenghui, CHEN, Manying, QIU, Zifan, CHEN, **Jiwen** RECYCLING PVDF FLUOROCARBON RESIN FROM WASTE PAINT BY SOLVENT METHOD XIANDAI HUAGONG/MODERN CHEMICAL INDUSTRY - Volume 35, Issue 6, 20 June 2015, Pages 118-120

LUZ, API; RIBEIRO, S. Uso de pó de vidro como fundente para produção de grês porcelanato. **Revista Matéria**, v. 13, n. 1, p. 96-103, 2008

MARCHI, Cristina Maria Dacach Fernandez. Cenário mundial dos resíduos sólidos e o comportamento corporativo brasileiro frente à logística reversa. **Perspectivas em Gestão & Conhecimento**, v. 1, n. 2, p. 118-135, 2011.

MATJIE, Ratale Henry et al. Chemical composition of glass and crystalline phases in coarse coal gasification ash. **Fuel**, v. 87, n. 6, p. 857-869, 2008.

MATHESON, Robert R. et al. **Process for producing building materials from raw paint sludge**. U.S. Patent n. 7,128,780, 31 out. 2006.

MENDES, T. C.; **Estudo de viabilidade da incorporação do lodo de pintura proveniente da estação de tratamento da indústria automobilística para produção de cerâmica estrutural**. Dissertação de Mestrado pela Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Engenharia Química, Florianópolis/SC 2008.

MONTEIRO, S. N.; ALEXANDRE, J.; MARGEM, J. I.; SÁNCHEZ, R.; VIEIRA, C.M.F.; Incorporation of sludge waste from water treatment plant into red ceramic. **Construction and Building Materials**, v. 22, p. 1281-1287, 2008

MYMRIN, Vsévolod A. et al. Structure formation processes of composites on the base of ink rejected sludge. **Construction and Building Materials**, v. 102, p. 141-148, 2016.

NATALENSE, J. C.; WRIGHT, A.; MERTENS, J.; STEINBRUNNER, J.; SASKSHAUG, L.; PLATA, R.B.; ZWEIFEL, D.; PHUC, D.T.N.Solventes. In: FAZENDA, J. M. R. **Tintas & vernizes**. São Paulo:EdgardBlücher, 2005. p.498.

NUNES, Mônica Belo. DOSSIÊ TÉCNICO Impactos ambientais na indústria da cerâmica vermelha Rede de Tecnologia e Inovação do Rio de Janeiro REDETEC fevereiro 2012 DOSSIÊ

Site: <<http://www.respostatecnica.org.br/dossie-ecnico/downloadsDT/NTcwMw==>>

Acesso em : 16/12/2016 às 23h15

OKADA, Kiyoshi et al. Water-retention properties of porous ceramics prepared from mixtures of allophane and vermiculite for materials to counteract heat island effects. **Ceramics international**, v. 34, n. 2, p. 345-350, 2008.

PANDA, Achyut K. et al. Effect of sulphuric acid treatment on the physico-chemical characteristics of kaolin clay. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 363, n. 1, p. 98-104, 2010.

PELIZER, Lúcia Helena; PONTIERI, Márcia Helena; DE OLIVEIRA MORAES, Iracema. Utilização de resíduos agro-industriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental. **Journal of Technology Management & Innovation**, v. 2, n. 1, p. 118-127, 2007

PRAXEDES, Priscila Brentan. Aplicação da borra da tinta automotiva na produção de cerâmica branca refratária. 2014.

QIAO, Xiuying et al. Ink-eliminated waste paper sludge flour-filled polypropylene composites with different coupling agent treatments. **Journal of applied polymer science**, v. 89, n. 2, p. 513-520, 2003.

RAMEZANI, Majid; BASHIRI, Mahdi; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, Reza. A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level. **Applied Mathematical Modelling**, v. 37, n. 1, p. 328-344, 2013.

RIGOLETTO, I. P.; Meio ambiente, saúde e segurança na indústria de tintas. In: FAZENDA, J. M. R. **Tintas & vernizes**. São Paulo:EdgardBlücher, 2005. p.1006-1011.

ROGHANIAN, Emad; PAZHOHESHFAR, Peiman. An optimization model for reverse logistics network under stochastic environment by using genetic algorithm. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 33, n. 3, p. 348-356, 2014.

SALEMA, Maria Isabel Gomes; BARBOSA-POVOA, Ana Paula; NOVAIS, Augusto Q. An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty. **European Journal of Operational Research**, v. 179, n. 3, p. 1063-1077, 2007.

SANTOS, William J. Caracterização de vidros planos transparentes comerciais. **Scientia Plena**, v. 5, n. 2, 2009.

SIDDIQUE, Rafat; DE SCHUTTER, Geert; NOUMOWE, Albert. Effect of used-foundry sand on the mechanical properties of concrete. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 2, p. 976-980, 2009.

SHU, Zhan, Lisa Axe, Kauser Jahan, Kandalam V. Ramanujachary, and Carl Kochersberger. "**Metal concentrations and distribution in paint waste generated during bridge rehabilitation in New York State.**" *Science of The Total Environment* 526 (2015): 262-270.

SILVA, A. R. V.; FERREIRA, H. C. Argilas bentoníticas: conceitos, estruturas, propriedades, usos industriais, reservas, produção e produtores/fornecedores nacionais e internacionais. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 3, n. 2, p. 26-35, 2008.

SOLYON, G. J. P., **Minimização e reaproveitamento de resíduos de uma indústria de tintas e impressão de papéis decorativos**. Curitiba, 2009. 143f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná.

SOUZA, Sueli Ferreira de; FONSECA, Sérgio Ulisses Lage da. Logística reversa: oportunidades para redução de custos em decorrência da evolução do fator ecológico. **Revista Terceiro Setor & Gestão-UnG**, v. 3, n. 1, p. 29-39, 2010.

TEIXEIRA, Eduardo Rolim. **Implantes dentários em reabilitación oral contemporánea**. Actualidades Medico Odontológicas Latinoamérica (AMOLCA), 2010.

TIKALSKY, Paul, Mike Gaffney, and Ray Regan. "Properties of controlled low-strength material containing foundry sand." *ACI Structural Journal* 97.6 (2000): 698-702.

VITORINO, J. P. D.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. Caracterização e incorporação de resíduos provenientes de Estação de Tratamento de Água em cerâmica argilosa (Characterization and incorporation of wastes from Water Treatment Plant into clayey ceramic). **Cerâmica**, v. 55, p. 385-392, 2009.

VSÉVOLOD, A. Mymrin et al. Red ceramics from composites of hazardous sludge with foundry sand, glass waste and acid neutralization salts. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, 2015.

WANG, Yin; NAMIOKA, Tomoaki; YOSHIKAWA, Kunio. Research on gasification and power generation from waste paint dregs. **Journal of Environment and Engineering**, v. 3, n. 1, p. 182-191, 2008.

WASTOWSKI, Arci Dirceu et al. Caracterização dos níveis de elementos químicos em solo, submetido a diferentes sistemas de uso e manejo, utilizando espectrometria de fluorescência de raios-x por energia dispersiva (EDXRF). **Química Nova**, v. 33, n. 7, p. 1449-1452, 2010.

XIAOJUAN, Liang; YONGQIANG, Zhou; HAITAO, Liu. STUDY ON THE APPLICATION OF WASTE GLASS TO THE BUILDING GLASS—CERAMICS [J]. **China Ceramics**, v. 5, p. 016, 2006.

YÜRÜYEN, Süha; TOPLAN, H. Özkan. The sintering kinetics of porcelain bodies made from waste glass and fly ash. **Ceramics International**, v. 35, n. 6, p. 2427-2433, 2009.

YOON, Soon-Do et al. Characterization of wollastonite glass-ceramics made from waste glass and coal fly ash. **Journal of Materials Science & Technology**, v. 29, n. 2, p. 149-153, 2013.

ZANETI, Izabel Cristina Bruno Bacellar. Educação Ambiental, resíduos sólidos urbanos e sustentabilidade: um estudo de caso sobre o sistema de gestão de Porto Alegre, RS. 2016.

ZHANG, Wei Yi; GAO, Hong; XU, Yu. Sintering and reactive crystal growth of diopside–albite glass–ceramics from waste glass. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 31, n. 9, p. 1669-1675, 2011.

ZUHUA, Zhang et al. Role of water in the synthesis of calcined kaolin-based geopolymer. **Applied Clay Science**, v. 43, n. 2, p. 218-223, 2009.

ZULAUF, Werner E. O meio ambiente e o futuro. **Estudos avançados**, v. 14, n. 39, p. 85-100, 2000.