



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMILA GOMES MORENO

CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DE PRODUTOS OBTIDOS
DE FORMULAÇÕES ENTRE O RESÍDUO DA CERÂMICA
VERMELHA, RESÍDUO DE GESSO E RESÍDUO DO POLIESTIRENO

João Pessoa - PB

2019

CAMILA GOMES MORENO

**CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DE PRODUTOS OBTIDOS
DE FORMULAÇÕES ENTRE O RESÍDUO DA CERÂMICA
VERMELHA, RESÍDUO DE GESSO E RESÍDUO DO POLIESTIRENO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação de Engenharia de Materiais, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, para apreciação da banca examinadora como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Peixoto Suassuna Dutra

João Pessoa – PB

2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M843c Moreno, Camila Gomes.

CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DE PRODUTOS OBTIDOS DE
FORMULAÇÕES ENTRE RESÍDUO DA CERÂMICA VERMELHA, RESÍDUO
DO GESSO E RESÍDUO DO POLIESTIRENO / Camila Gomes
Moreno. - João Pessoa, 2019.

53 f. : il.

Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Resíduo, Análise Granulométrica, Ensaio de Flexão.

I. Título

UFPB/BC

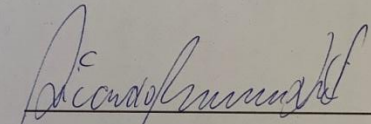
CAMILA GOMES MORENO

**CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DE PRODUTOS
OBTIDOS DE FORMULAÇÕES ENTRE RESÍDUO DA CERÂMICA
VERMELHA, RESÍDUO DO GESSO E RESÍDUO DO
POLIESTIRENO**

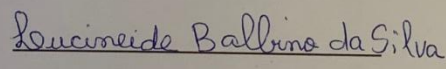
Data de defesa: 23 de setembro de 2019.

Período: 19.1

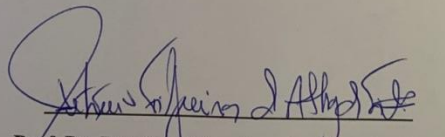
Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora:



Prof. Dr. Ricardo Peixoto Suassuna Dutra
DeMat/CT/UFPB



Profa. Dra. Lucineide Balbino da Silva
DeMat/CT/UFPB



Prof. Dr. Petrônio Filgueiras de Athayde Filho
DQ/CCEN/UFPB

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, agradeço a Deus, por ser soberano em minha vida e permitir a realização da conclusão de mais uma etapa, sem ele nada disso seria possível;

Aos meus pais, avós e irmãos toda minha gratidão, por serem meu ponto de apoio, por toda dedicação, incentivo, amor e ensinamentos dedicados ao longo da minha vida;

À minha tia Celeide e minha prima Lara, em especial por estarem comigo durante toda essa jornada do curso me acolhendo, me apoiando e me incentivando;

Ao meu Orientador Dr. Ricardo Peixoto Suassuna Dutra por toda disponibilidade, por ser um profissional excepcional e por ter dado todo suporte necessário para a realização deste trabalho;

Ao Professor Petrônio Filgueiras de Athayde Filho pela coorientação e por sempre estar à disposição e pela participação na avaliação deste trabalho;

À professora Lucineide Balbino, pelos ensinamentos durante toda a graduação.

Às minhas queridas amigas que tive oportunidade de conhecer na graduação Carol, Danusa, Janetty, Ana Natália, Suellen, Rayane, Thais, Raquel e Regina vocês sem dúvida tornaram tudo mais leve, as minhas amigas de longa data, Jenniffer, Laís, Camila, Viviane e Kamila, obrigada pelo apoio incondicional e, sobretudo, pela paciência e incentivo nos momentos difíceis. Esta caminhada não seria a mesma sem vocês.

A todos vocês que de alguma forma estiveram comigo durante essa árdua jornada, o meu muito obrigado por todo companheirismo, apoio e incentivo.

RESUMO

Com o aumento crescente da população e da utilização de recursos não renováveis pelas gerações atuais e futuras, cresce também a preocupação com os impactos ambientais causados pelo homem e suas criações. Atualmente o PS ou poliestireno possui características de fácil moldagem, baixo custo, elevada resistência. As propriedades da cerâmica vermelha e do gesso permitem que estes sejam aplicados em larga escala. A execução deste trabalho seguiu as seguintes etapas: obtenção, preparação, caracterização e formulações entre os resíduos; determinação das propriedades dos materiais obtidos e ensaio mecânico. Onde as formulações foram preparadas adicionando-se três diferentes concentrações dos resíduos da cerâmica vermelha, resíduo de gesso e resíduo de PS: A (1:1 de Cerâmica/PS), B (1:1:2 de Cerâmica/Gesso/PS) e C (1:1 de Gesso/PS). O objetivo deste trabalho foi estudar as formulações entre o resíduo de cerâmica vermelha, resíduo de gesso e o resíduo do PS, a fim de analisar as propriedades físicas e mecânicas. Os resultados apontam que a adição do resíduo de PS ao resíduo de cerâmica vermelha e ao resíduo de gesso influencia de forma diferente nas propriedades. Os corpos de prova apresentaram valores de resistência mecânica a flexão de 1420,87 MPa, 1112,26 Mpa e 890,78 Mpa para as formulações A B e C respectivamente. Os ensaios para a determinação de propriedades tecnológicas como densidade aparente, porosidade aparente a absorção de água mostraram que os corpos de prova contendo cerâmica vermelha e PS apresentaram resultados mais eficazes.

Palavras chaves: Resíduo da cerâmica vermelha; PS; Resíduo de Gesso; Análise granulométrica; Ensaio de flexão.

ABSTRACT

With the growing population and use of non-renewable resources by current and future generations, there is also growing concern about the environmental impacts caused by man and his creations. Currently PS or polystyrene has features of easy molding, low cost, high strength. The properties of red ceramic and plaster allow them to be applied on a large scale. The execution of this work followed the following steps: obtaining, preparation, characterization and formulations among the residues; determination of the properties of the materials obtained and mechanical testing. Where the formulations were prepared by adding three different concentrations of red ceramic residue, plaster residue and PS: A (1: 1 Ceramics / PS), B (1: 1: 2 Ceramics / Gypsum / PS) residues and C (1: 1 Gypsum / PS). The objective of this work was to study the formulations between the red ceramic residue, the plaster residue and the PS residue, in order to analyze the physical and mechanical properties. The results indicate that the addition of PS residue to red ceramic residue and to plaster residue influence differently on and properties. The specimens presented mechanical flexural strength values of 1420.87 MPa, 1112.26 Mpa and 890.78 Mpa for formulations A B and C respectively. Tests for the determination of technological properties such as bulk density, apparent porosity and water absorption showed that the specimens containing red ceramic and PS showed more effective results.

Keywords: Red Ceramic Residue ; PS; Plaster residue; Particle size analysis; Flexion test.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Copo descartável.	17
Figura 2. Esquema da metodologia utilizada no trabalho.	26
Figura 3. Corpos de prova nas formulações A B e C.	Erro! Indicador não definido.
Figura 4. Processo de fabricação do molde de alumínio.	32
Figura 5. Gráficos da análise granulométrica.	38
Figura 6. Difrátograma do resíduo da cerâmica vermelha a 700 °C.	39
Figura 7 Corpos de prova submetidos a aquecimento em estufa a 220°C.	40
Figura 8. Corpos de prova produzidos através de molde e prensagem.	41
Figura 9. Análise da Retração Linear após tratamento térmico.	42
Figura 10. Análise de perda de densidade.	43
Figura 11. Análise da Porosidade Aparente.	44
Figura 12. Análise da Absorção de Água.	45
Figura 13 Análise da Densidade Aparente.	46
Figura 14. Análise da Tensão de Ruptura a Flexão.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Formulações das amostras.	3	Erro! Indicador não definido.	1
Tabela 2. Análise Granulométrica.			37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVO	15
	2.1 OBJETIVO GERAL	15
	2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
	3.1 POLIESTIRENO (PS).....	16
	3.1.1 RECICLAGEM DE COPOS DESCARTÁVEIS	18
	3.2 INDÚSTRIA CERÂMICA	18
	3.2.1 MATERIAIS CERÂMICOS	19
	3.2.2 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS CERÂMICOS	19
	3.2.3 CERÂMICA VERMELHA	20
	3.2.4 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CERÂMICA ESTRUTURAL	20
	3.2.4.1 PREPARAÇÃO DA MASSA.....	21
	3.2.4.2 CONFORMAÇÃO DA PEÇA	21
	3.2.4.3 SECAGEM	21
	3.2.4.4 QUEIMA.....	22
	3.2.4.5 USO DE RESÍDUO EM CERÂMICA VERMELHA.....	22
	3.3 RESÍDUO DE GESSO.....	23
	3.3.1 RECICLAGEM DO GESSO.....	24
4	MATERIAIS E METODOLOGIA	25
	4.1 MATERIAIS	25
	4.2 MÉTODOS.....	26
	4.3 OBTENÇÃO DOS RESÍDUOS.....	26
	4.4 PREPARAÇÃO DOS RESÍDUOS	26
	4.4.1.1 RESÍDUO DA CERÂMICA VERMELHA	26
	4.4.1.2 RESÍDUO DE GESSO	27
	4.4.1.3 RESÍDUO DE POLIESTIRENO.....	27

4.5	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS	28
4.5.1.1	DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX)	28
4.5.1.2	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	29
4.6	PREPARAÇÃO DAS FORMULAÇÕES	29
4.7	PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	30
4.7.1.1	PRENSAGEM A FRIO	30
4.7.1.2	AQUECIMENTO DO CORPO DE PROVA	31
4.7.1.3	OBTENÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	32
4.8	DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES	33
4.8.1.1	TRATAMENTO TÉRMICO	33
4.8.1.2	PROPRIEDADES FÍSICAS	33
4.8.1.2.1	RETRAÇÃO LINEAR (RL).....	34
4.8.1.2.2	PERDA DE MASSA	34
4.8.1.2.3	ABSORÇÃO DE ÁGUA	35
4.8.1.2.4	POROSIDADE APARENTE	35
4.8.1.2.5	DENSIDADE APARENTE.....	35
4.9	PROPRIEDADE MECÂNICA	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
5.1	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS	37
5.1.1	ANALISE GRANULOMÉTRICA (AG)	37
5.1.2	ANÁLISE MINERALÓGICA POR DIFRAÇÃO DE RAIOS-X	38
5.2	PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	40
5.3	DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS	42
5.3.1	RETRAÇÃO LINEAR APÓS TRATAMENTO TÉRMICO	42
5.3.2	PERDA DE DENSIDADE	43
5.3.3	POROSIDADE APARENTE	44
5.3.4	ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	45

	5.3.5 DENSIDADE APARENTE.....	46
	5.3.6 TENSÃO DE RUPTURA À FLEXÃO.....	47
6	CONCLUSÕES	48
7	REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento crescente da população e da utilização de recursos não renováveis pelas gerações atuais e futuras, cresce também a preocupação com os impactos ambientais causados pelo homem e suas criações. Dessa forma, a preocupação com o meio ambiente tem colaborado com o desenvolvimento de tecnologias e materiais ambientalmente corretos, portanto mais sustentáveis. Pesquisas relacionadas a matérias primas naturais estão sendo realizadas nos mais diferentes centros de estudo mundo a fora, com intuito de descobrir como reduzir ao máximo os impactos ambientais gerados pelo homem e suas tecnologias [1,2,3].

Os compósitos são materiais formados por uma matriz e um reforço e em se tratando de compósitos poliméricos, na maioria dos casos, uma boa afinidade química entre si deve existir, podendo ser adquirida sinteticamente para atingir boas propriedades mecânicas com a menor massa possível – o que é impossível de ser alcançado com materiais convencionais [5,6,7,8]. A matriz é a responsável por transferir os esforços mecânicos para o reforço e por garantir maior tenacidade, resistência à fadiga e resistência à corrosão ao material compósito. O reforço, por sua vez, tem a tarefa de suportar os esforços mecânicos que lhe são transferidos pela matriz, e isso só pode acontecer se houver garantia de boa afinidade química entre ambos, do contrário, a transferência de carga é ineficiente. Aliás, essa boa afinidade química gera outra região, chamada de interface, que é tão importante quanto às outras já citadas [5,6,7,8].

A alta exigência na forma de fabricação dos materiais e com a incansável busca por alternativas mais sustentáveis tem gerado um estímulo para que materiais não tóxicos à natureza sejam desenvolvidos. Com isso, uma classe de materiais vem ganhando destaque aos olhos do homem, os materiais compósitos, devido à possibilidade de criação de modelos cada vez mais sustentáveis e que podem ser absorvidos pela natureza de forma mais eficaz e sem que se tenha a geração de resíduos tóxicos ao meio ambiente [1,2,3,4].

Se tratando do poliestireno, seu baixo custo e sua versatilidade na indústria, colaboram para que a sua comercialização seja extremamente forte no mercado e a tendência é que a demanda seja cada vez mais alta. Por isso a necessidade de se obter cada vez mais um produto de qualidade, como também cresce cada vez mais o apelo por produtos reutilizáveis e que não causem danos à natureza, diminuindo o impacto gerado pelos consumidores. Portanto, o estudo de materiais poliméricos recicláveis é de grande importância.

Além da contribuição para o meio ambiente a reciclar de materiais poliméricos também contribui gerando empregos no setor de reciclagem, já que ao invés de gerar mais poluição e lixo nos aterros sanitários o material polimérico retorna para a cadeia produtiva.

A argila é conhecida por sua granulação fina e que ao ser misturado com água adquire características plásticas e de fácil conformação. A partir de técnicas como a difração de raios x foi observado que as argilas possuem em sua composição minerais argilosos que são substâncias cristalinas que podem conter silicatos de alumínio hidratados. Em alguns casos, o alumínio é substituído parcialmente pelo magnésio ou pelo ferro [9].

Grande parte do rejeito gerado pela indústria é descartado no meio ambiente, o que gera preocupação já que afeta diretamente a natureza e a saúde da população, por isso, esse comportamento de empresas tem sido alvo de fiscalização e pesquisas relacionadas a uma melhor aplicabilidade e reaproveitamento desses rejeitos, já que são considerados importantes minerais secundários.

A indústria da cerâmica vermelha é responsável por produzir uma quantidade significativa de rejeitos, podendo chegar a 10% do total da produção. Estes, quando lançados ao meio ambiente de forma aleatória, impactam de forma negativa, ainda que não tenham compostos tóxicos em sua maioria. A cerca desse assunto, estudos têm sido desenvolvidos para que os resíduos gerados nesse ramo de empreendimento sejam cada vez mais aproveitados [10].

A perda direta de blocos cerâmicos na sua produção ocorre em forma de resíduo de peças defeituosas, da má queima, de quebras realizadas durante o processo fabril e durante o armazenamento. Esta perda é variável no Brasil, e depende de fatores tais como: matéria prima, tecnologia na fabricação e controle de qualidade adotados nas indústrias, dentre outros. Entre os principais defeitos observados nos blocos, que geram a perda em questão, podem ser citadas as trincas por retração, em geral derivadas do proporcionamento não adequado das argilas e do elevado teor de umidade na fabricação [4,11].

Os resultados obtidos, com os processos de reuso dos rejeitos da cerâmica vermelha, demonstram as reais formas de redução de custo e impactos ambientais e comparativos dos investimentos com o retorno financeiro da implantação que provocam a mudança na conscientização industrial, além do aumento de credibilidade e imagem da empresa perante o mercado consumidor [4].

Além do resíduo proveniente da cerâmica vermelha outra preocupação é com o resíduo de gesso gerado pela construção civil, o uso do material em diversos segmentos vem

umentando, devido à facilidade de aplicação, baixo custo e versatilidade, podendo ser aplicado como revestimento, tetos, molduras, acabamento dentre tantas outras coisas.

O descarte inadequado das placas de gesso após o uso na construção é de grande preocupação já que quando descartado no meio ambiente pode gerar contaminações no solo, lençóis freáticos com a emissão do gás sulfídrico pelo gesso que é tóxico e inflamável.

A reutilização e a reciclagem de resíduos, após a detecção de suas potencialidades são consideradas atualmente alternativas que podem contribuir para a diversificação de produtos, diminuição dos custos de produção, fornece matérias-primas alternativas para uma série de setores industriais, conservação de recursos não renováveis, economia de energia e, principalmente, melhoria da saúde da população [12, 13, 14, 15]

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar os produtos obtidos de formulações envolvendo resíduo da cerâmica vermelha, resíduo de gesso e resíduo de poliestireno.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Caracterizar os materiais com a finalidade de escolher a rota de processamento a ser utilizada na confecção dos produtos finais;
- II. Desenvolver diferentes formulações entre o resíduo da cerâmica vermelha e resíduo de gesso e resíduo de poliestireno
- III. Determinar as propriedades finais dos produtos obtidos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 POLIESTIRENO (PS)

Os materiais poliméricos são provenientes do petróleo, que é formado por uma estrutura complexa de compostos e obtidos através da destilação gerando diversos produtos que posteriormente darão origem aos monômeros. O poliestireno (PS) faz parte dos materiais poliméricos, que também são conhecidos como plásticos, são produzidos através de um processo de polimerização que tem como objetivo a união de monômeros para a formação dos materiais poliméricos [16].

O poliestireno é homopolímero resultante da polimerização do estireno, é uma resina termoplástica que tem como característica a fácil flexibilidade e moldabilidade quando aquecida, durante esse processo os materiais termoplásticos não sofrem alteração na estrutura química e por isso podem ser fundidos mesmo depois de obtido o material final [16].

O poliestireno (PS) pode ser dividido em 4 tipos, sendo eles:

PS cristal: que é um homopolímero amorfo, rígido, com brilho e elevado índice de refração, para facilitar o processamento pode-se usar lubrificantes e aditivos, normalmente é utilizado em objetos de baixo custo, como descartáveis, copos, entre outros;

PS resistente ao calor: tem peso molar mais elevado e isto dificulta o processamento. É ideal para aplicações que precisam de uma maior resistência, como em peças automobilísticas, equipamentos eletrônicos, ventiladores, ar condicionado e outros.

PS de alto impacto: é composto por uma mistura de poliestireno com até 10% de elastômeros formado uma blenda, pode ser incorporado através da mistura mecânica ou então através de enxerto na cadeia polimérica durante a polimerização. Normalmente é utilizado em brinquedos, utensílios domésticos e partes da geladeira.

PS expandido: é um dos artigos mais comuns atualmente é facilmente encontrado como isopor. O poliestireno na presença de um agente expensor se transforma em uma espuma semirrígida. Tem como principais aplicações embalagens, revestimentos de equipamentos, bandejas, isolantes térmicos, pranchas, entre outros.

Por apresentarem estruturas químicas variadas os materiais poliméricos podem ter diversas aplicabilidades e por isso há o aumento no uso de polímeros termoplásticos, pela facilidade do processamento, baixo custo e fácil moldabilidade, alternativas sustentáveis para a utilização de resíduos provenientes do uso de materiais poliméricos vêm sendo estudados.

Um dos maiores campos de aplicação do poliestireno cristal é nos materiais descartáveis, o uso deste material não é muito comum em residências, entretanto, fabricas, escritórios, repartições públicas, hospitais, lojas, centro comerciais são os maiores consumidores desse tipo de descartável.



Figura 1 – Copo descartável, Fonte: Registrada pelo autor.

Com aumento da produção e consumo de descartáveis, é gerada uma grande quantidade de lixo plástico mundialmente. Os plásticos são considerados o resíduo sólido urbano mais comum e com maior potencial para reciclagem no mundo. O Brasil consome cerca de 100 mil toneladas de copos descartáveis por ano, mesmo com campanhas alertando que o descarte incorreto pode prejudicar o meio ambiente, muitos lugares não tomam medidas para que o descarte correto ocorra, grande parte deste material vai parar em aterros sanitários e até mesmo nas ruas, natureza, oceanos causando um grande impacto ambiental.

Alternativas sustentáveis utilizando materiais poliméricos vem sendo alvo de estudos e uma das formas de reutilização desses recursos é na fabricação de materiais compósitos usando os resíduos dos mesmos.

3.1.1 RECICLAGEM DE COPOS DESCARTÁVEIS

Reciclar é economizar energia, poupar recursos naturais e trazer de volta ao ciclo produtivo o resíduo que seria jogado fora, para que o mesmo seja usado novamente como matéria prima.

A reciclagem, portanto, é um processo de transformação de materiais previamente separados para posterior utilização. Desta forma, os resíduos são recuperados através de uma série de operações que permitem que materiais já processados sejam aproveitados como matéria prima no processo gerador ou em outros processos.

Basicamente, a reciclagem inclui as etapas de separação, revalorização e transformação do material coletado. A coleta e separação são atividades iniciais de triagem por tipo de material como papel, metal, plásticos e madeiras. A revalorização é uma etapa intermediária que prepara os materiais separados para a etapa de transformação, responsável pelo processamento industrial dos materiais para a fabricação de novos produtos.

Entre todas as etapas do processo de reciclagem, a que exige maior atenção é a etapa de coleta e separação de resíduos, pois dela depende todo o restante do processo. Ela pode ser efetuada em vários locais, tais como nos pontos de geração, em domicílios, em usinas de triagem, no processamento industrial e em lixões.

Um dos grandes empecilhos da reciclagem de copos descartáveis é a praticidade que eles apresentam, já que há uma facilidade no uso e no descarte.

A reciclagem é considerada economicamente pouco viável já que o preço que se paga pelo quilo deste material é muito barato e o volume é considerado elevado, em termos práticos um quilo de copo descartável de poliestireno custa em média 0,20 centavos e seria necessários 500 copos para 1 kg deste material. Além disso, materiais contaminados não é possível reciclar, e este é mais um empecilho, já que para a reciclagem destes materiais seria necessário lavá-los, já que normalmente são descartados após o uso.

3.2 INDÚSTRIA CERÂMICA

3.2.1 MATERIAIS CERÂMICOS

O termo “cerâmica” vem da palavra grega *keramikos*, que significa “matéria prima queimada”, indicando que as propriedades desejáveis destes materiais são normalmente atingidas através de um processo de tratamento térmico a altas temperaturas conhecido como sinterização [17].

Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica, os materiais cerâmicos compreendem os materiais inorgânicos, não-metálicos que ficam utilizáveis geralmente após tratamento térmico em temperaturas elevadas.

A cerâmica é o ramo da indústria no qual “minerais de composição inconstante e pureza incerta são submetidos a temperaturas mal definidas, durante períodos de tempo que fazem reações desconhecidas ocorrerem de forma incompleta, originando produtos heterogêneos e não-estequiométricos, denominados materiais cerâmicos”.

O setor cerâmico é dividido em subsetores em função de fatores como matérias primas, propriedades e áreas de utilização, assim é adotada a seguinte classificação.

A cerâmica vermelha compreende alguns materiais empregados na construção civil como telhas, tijolos, blocos, lajes, etc. Materiais de Revestimento/Placas Cerâmicas: São materiais utilizados como revestimentos de paredes, pisos entre outros. Podendo ser chamados de azulejo, pastilha, porcelanato, grés, lajota, etc. [18]

3.2.2 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS CERÂMICOS

As propriedades dos materiais cerâmicos permitem que estes sejam aplicados em larga escala a uma gama de indústrias como, civil, eletrônica, comunicação, computadores, aeroespacial, entre outras que dependem do uso desse material. Isto ocorre devido as propriedades tais como a facilidade de conformação, baixo custo e densidade, resistência à corrosão e a temperaturas elevadas, que fizeram com que os materiais cerâmicos tradicionais conquistassem posições de relevo em diferentes setores industriais e artísticos.

Para o caso de cerâmica vermelha, enfatizando tijolos e telhas, as principais propriedades avaliadas de acordo com as normas vigentes no Brasil são: absorção de água, densidade aparente, retração linear, resistência mecânica, entre outras.

As propriedades dos materiais cerâmicos são determinadas pelas características atômicas e microestruturais dos materiais que os compõe. Estas características podem ser controladas pela seleção das matérias-primas, processo de fabricação e produto. Assim o controle do processo produtivo é fundamental para que os defeitos microestruturais sejam minimizados [19].

3.2.3 CERÂMICA VERMELHA

A cerâmica vermelha, também conhecida por cerâmica estrutural é um dos segmentos do setor da indústria cerâmica que se subdivide de acordo com matérias primas, propriedades e área de atuação. Existe também uma subdivisão dentro do campo de cerâmica vermelha que compreende os seguintes materiais: tijolos, telhas, blocos de vedação e estruturais, manilhas, pisos rústicos, cerâmica utilitária e também agregados leves de argila expandida [18].

É um setor que permite com grande facilidade a incorporação de materiais alternativos, visto que uma das propriedades das argilas que favorecem a inertização dos resíduos é a capacidade de troca de cátions. Daí vem à importância do estudo de resíduos gerados pelas indústrias civil, metalúrgica, siderúrgica, têxtil, mineração, papel e celulose, entre outras.

3.2.4 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CERÂMICA ESTRUTURAL

Na área de cerâmica estrutural o processo para produção de peças, com ênfase em telhas e tijolos, é composto basicamente por 4 etapas: preparação da massa, conformação das peças, secagem e queima. A fabricação de produtos como telhas e tijolos está diretamente ligada ao setor da mineração de argilas [18].

3.2.4.1 PREPARAÇÃO DA MASSA

O preparo da massa cerâmica consiste da formulação e mistura das matérias-primas, sendo a formulação de forma empírica, busca-se uma condição de massa próxima a ideal, que atenda características determinadas para uma boa moldagem, secagem e queima, proporcionando assim um produto final de melhor qualidade.

A composição ideal requer plasticidade e fusibilidade, para propiciar boa trabalhabilidade e resistência mecânica de queima.

3.2.4.2 CONFORMAÇÃO DA PEÇA

Na fabricação de cerâmica vermelha, os principais processos utilizados são a extrusão e prensagem.

A extrusão é o processo mais utilizado na indústria de cerâmica estrutural por ser mais econômico, porém gera produtos de menor valor. É realizado por uma máquina chamada extrusora, onde uma massa na forma de uma pasta plástica e rígida é forçada através de um molde, que em seguida é cortada em tamanhos pré-determinados.

Para se obter uma massa adequada para o processo de extrusão é necessário que esta seja dosada utilizando matérias-primas não plásticas e plásticas, o que ocasiona um ajuste de plasticidade da mistura adequadas às condições de processamento [20].

3.2.4.3 SECAGEM

É a etapa do processo logo após a conformação. É uma operação importante, onde a água utilizada na conformação é eliminada de maneira lenta e uniforme, a fim de evitar possíveis defeitos na peça como trincas, empenamentos ou quebra [21].

A secagem pode ser feita em galpões ou estufa, sendo o galpão o mais utilizado pelas olarias. As perdas giram em torno de 5 % durante o processo de secagem. Após a

secagem, o produto deve ter resistência suficiente para possibilitar a sua manipulação até o processo de queima [22].

3.2.4.4 QUEIMA

A queima é a etapa mais importante de todo processo produtivo, pois é durante essa etapa que os produtos adquirem suas propriedades finais, através das transformações físicas, químicas e mecânicas causadas pela ação do fogo.

Há quatro fases presentes no processo de queima:

Esquente ou pré-aquecimento: aquecimento gradual para retirada da água residual, em um período de 8 a 13 horas chegando até 650° C;

Fogo forte ou caldeamento: inicia por volta de 650° e pode ser elevada em maior ritmo até 950° C ou 1000° C. É nessa fase que se verificam as reações químicas que proporcionam ao corpo cerâmico as características de dureza, estabilidade, resistência aos vários agentes físicos e químicos, como também a coloração pretendida;

Patamar, a temperatura máxima de queima é mantida por um determinado período de tempo, dessa forma, a câmara aproxima ao máximo o gradiente de temperatura por todo o forno;

Resfriamento, realizado de forma gradual e cuidadosa para evitar ocorrência de trincas, através da chaminé ou do aproveitamento de calor para os secadores, em um período em torno de 38 a 50 horas[23].

3.2.4.5 USO DE RESÍDUO EM CERÂMICA VERMELHA

Atualmente a área dos materiais cerâmicos tem sido amplamente estudada a fim de obtenção de novos materiais a partir de matérias-primas alternativas. Apresentam-se a seguir alguns estudos referentes à incorporação de resíduos em diversos processos de fabricação de cerâmica vermelha.

As propriedades físicas e mecânicas de uma argila proveniente da região do Recôncavo Baiano, com adições de 5, 10 e 15% em peso de rejeitos cerâmicos. Seus resultados mostraram que os corpos de prova com incorporações de 15% em peso de rejeitos cerâmicos, apresentaram propriedades superiores as da argila, nas temperaturas entre 900° e

1000° C, ou seja, é possível gerar produtos de qualidade utilizando a combinação de resíduo cerâmico com a argila do Recôncavo Baiano [23].

A influência da adição do resíduo de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar nas propriedades tecnológicas da cerâmica vermelha foi estudada. Utilizando assim, o resíduo de cinza como matéria prima alternativa para substituição parcial da argila. Foram estudadas cinco formulações com 0, 5, 10, 15 e 20 % em peso de resíduo misturado com argila caulínica. A temperatura estudada foi de 1000°C e as propriedades analisadas foram retração linear, absorção de água, massa específica aparente, porosidade aparente e resistência à compressão. Os resultados deste trabalho mostraram que o resíduo pode ser utilizado como matéria prima alternativa, pois influencia positivamente na resistência mecânica em incorporações de até 10% [24].

É possível a adição de resíduos da construção civil como, areia, concreto, tijolos vermelhos, cimento e blocos de cimento e argamassa na massa para produção de cerâmica vermelha. As amostras foram submetidas a ensaios de absorção de água, retração linear, porosidade aparente, massa específica, resistência à flexão, DRX e MEV. Os resultados mostraram-se satisfatórios, visto que é possível a adição em até 50% de resíduos nas massas cerâmicas sem grandes perdas na resistência mecânica, porém ficou provado que os melhores resultados para a fabricação de peças cerâmicas é de até 30% de resíduos [25].

Foi avaliado que o efeito da incorporação de resíduo de lâmpada fluorescente em cerâmica vermelha para fabricação de telhas e tijolos. Ficou provado que o resíduo atua como regulador da plasticidade/trabalhabilidade da massa cerâmica, além de promover a diminuição da porosidade das peças. Os resultados provaram que as peças com incorporações com 10% do resíduo, queimadas a 1050°C, apresentaram aumento na resistência mecânica e diminuição da absorção de água [26].

3.3 RESÍDUO DE GESSO

O gesso é um dos mais antigos materiais já fabricados pelo homem. É um mineral de aglomerante simples, constituído de sulfatos mais ou menos hidratados e anidros de cálcio. É encontrado praticamente no mundo todo e no Brasil a maior concentração é nos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Piauí e Pernambuco [27].

No Brasil, a maior extração é no município de Grajaú, no Maranhão, considerado um dos maiores produtores de gesso. O polo gesseiro do Araripe Pernambuco tem uma

reserva estimada de 22 bilhões de toneladas de gipsita, uma das maiores reservas do mundo, a maior já medida no Brasil [27].

Com o desenvolvimento da construção civil e busca por alternativas mais sustentáveis, o descarte inadequado de materiais provenientes do meio vem sendo alvo de diversos estudos. Um dos pontos principais é o descarte inadequado do Gesso, visto que emite gás sulfídrico, que é inflamável e altamente tóxico, além de contaminar o solo e os lençóis freáticos [28].

O uso do gesso na área da construção civil vem aumentando com frequência, devido ao baixo custo, fácil aplicação e abundância, podendo ser utilizados em diversos campos de aplicações, como paredes, tetos, prédios, supermercados entre outros. Em todos os campos de aplicação do gesso, resíduos são gerados e por isso passou a demandar maiores exigências da legislação ambiental brasileira [28].

O processo de fabricação do gesso envolve atividades como extração do minério, normalmente realizada a céu aberto, em seguida passa pelo processo de britagem, moagem e estocagem. Isto ocorre logo após a retirada da umidade através da secagem, que também é imprescindível, já que a umidade presente na matéria prima chega a ser de 10%.

O gesso é formado principalmente do mineral gipsita que pode conter anidrita de fórmula CaSO_4 e minerais como calcita, dolomita e cloreto de sódio. A gipsita passa pelo processamento de moagem ou britagem. Em alguns casos também é feito um segundo estágio com peneiras vibratórias a seco. A calcinação é o processo que pode consistir de um único forno [29].

A calcinação é a etapa mais importante no processo de produção. Sua obtenção consiste em um aquecimento não muito elevado, quando calcinada à temperatura de 160 °C, retirando até $\frac{3}{4}$ partes da água residual presente, os outros $\frac{1}{4}$ é extraído a temperaturas de até 250° C. A técnica de calcinação na indústria pode ocorrer em vários tipos de fornos. Os fornos utilizados para a calcinação caracterizam-se pela sua forma, os equipamentos são assentados sobre uma fornalha de alvenaria, onde se utiliza lenha para a combustão [30].

Com a calcinação, o gesso passa a ter tamanhos de partículas menores, maior área superficial e, portanto, granulometria mais fina com cristais porosos [29].

3.3.1 RECICLAGEM DO GESSO

Além dos prejuízos ambientais gerados pelos entulhos provenientes da construção civil, sérios desperdícios de materiais, custos de remoção e tratamento são observados. Surge então o interesse do poder público e de grandes empresas na reciclagem e reutilização deste material, gerando e desenvolvendo ainda mais uma economia sustentável.

Existem diversas formas de reutilizar os resíduos de gesso, uma delas é a fabricação de pré-moldados, também é utilizado na agricultura para controle do pH do solo, secagem de lodo de esgoto, entre outras. Um dos pontos negativos do reprocessamento do gesso, é que a sua reutilização reque mais cuidados quando comparado ao processo de produção da matéria prima gipsita, já que muitas vezes o gesso é utilizado como base para diversos tipos de revestimento, por isso é necessário que seja retirado os contaminantes presentes.

Um ponto positivo é que o gesso reciclado apresenta maior trabalhabilidade do que as pastas de gesso comercial. As misturas de água e gesso comercial apresentam um aspecto líquido, enquanto as misturas de água e gesso reciclado apresentam uma consistência pastosa [31].

4 MATERIAIS E METODOLOGIA

4.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados neste trabalho foram: o resíduo da cerâmica vermelha obtido em laboratório a partir de blocos cerâmicos

O resíduo do gesso, o qual foi gentilmente doado pela empresa Oficina do Gesso, na forma de resíduo da produção, localizada em João Pessoa, Paraíba.

O resíduo de poliestireno que foi obtido através de copos descartáveis reutilizados doados gentilmente pela empresa Central Fisio.

4.2 MÉTODOS

A metodologia de execução deste trabalho seguiu as seguintes etapas, podendo ser vista no esquema, ilustrado na Figura 2.

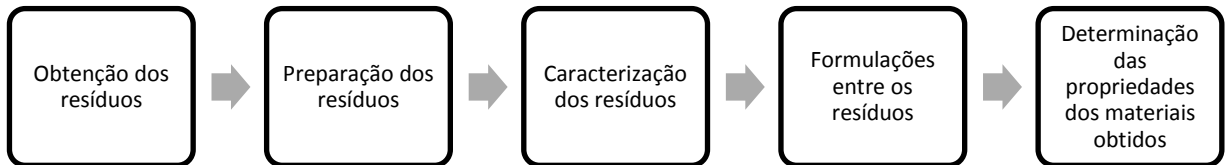


Figura 2. Esquema da metodologia utilizada no trabalho. Fonte: elaborado pelo autor.

4.3 OBTENÇÃO DOS RESÍDUOS

Os resíduos cerâmicos foram obtidos em laboratório a partir da sinterização controlada de blocos cerâmicos produzidos por uma indústria de cerâmica vermelha. Os parâmetros utilizados na queima dos blocos foram: temperatura de queima de 700°C, taxa de aquecimento de 2° C/min e permanência de 20 minutos na temperatura final.

Os resíduos de gesso foram doados pela empresa oficina do gesso na forma de blocos, em seguida foram triturados (quebrados), moídos e secos em estufa.

Para a obtenção do pó de poliestireno fora coletada copos descartáveis de um único tipo, selecionando apenas os copos descartáveis de coloração transparente.

4.4 PREPARAÇÃO DOS RESÍDUOS

4.4.1.1 RESÍDUO DA CERÂMICA VERMELHA

Após o processo de sinterização, os blocos queimados tiveram seus tamanhos reduzidos com o auxílio de um martelo e do pistilo e almofariz, com o intuito de facilitar o posterior processo de moagem.

Depois de triturados, os pedaços dos blocos passaram pelo moinho de disco para serem cominuídos. Após a moagem, o material foi peneirado, manualmente, em peneira de malha 35 MESH.

4.4.1.2 RESÍDUO DE GESSO

O resíduo de gesso foi doado pela empresa na forma de blocos, e seu tamanho foi reduzido, assim como nos blocos cerâmicos, com ajuda de martelo, almofariz e moinho de bolas do tipo CHIAROTTI modelo 16-300 com jogo de esferas de porcelana de diâmetros 6, 10 e 16 mm.

Após a trituração, o gesso foi peneirado manualmente em peneira de malha 35 MESH, posteriormente seco em estufa com circulação de ar por um período de 3 horas a 200° C para a retirada de qualquer umidade presente no gesso e em seguida armazenado em dessecador.

4.4.1.3 RESÍDUO DE POLIESTIRENO

Os copos descartáveis de poliestireno foram coletados e selecionado um único tipo, em seguida foram lavados em água corrente e detergente neutro para retirar qualquer tipo de impureza presente, logo os copos foram submetidos a secagem para a retirada da umidade.

Depois de lavados e secos os copos descartáveis foram submetidos a corte manual com tesoura para a redução de tamanho e em seguida passaram pelo processo de moagem através do moinho de facas modelo Willys, usando peneiras de 10, 16 e 20 MESH, reduzindo ainda mais o tamanho do material.

4.5 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

A caracterização dos resíduos foi realizada com o objetivo de determinar suas características físico-químicas e mineralógicas, utilizando as seguintes técnicas: difração de raios X e análise granulométrica.

4.5.1.1 DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX)

Os métodos de difração de raios X são utilizados para a determinação da estrutura cristalina dos materiais. Métodos de difração podem identificar compostos químicos a partir de sua estrutura cristalina, não de suas composições de elementos químicos. Isso significa que os diferentes compostos (ou fases) que têm a mesma composição podem ser identificados [32].

Os raios X ao atingirem um material podem ser espalhados elasticamente, sem perda de energia pelos elétrons de um átomo (dispersão ou espalhamento coerente). O fóton de raios X após a colisão com o elétron muda sua trajetória, mantendo, porém, a mesma fase e energia do fóton incidente:

Se os átomos que geram esse espalhamento estiverem arranjados de maneira sistemática, como uma estrutura cristalina, apresentando entre eles distâncias próximas ao do comprimento de onda da radiação incidente, pode-se verificar que as relações de fase entre os espalhamentos tornam-se periódicas e que efeitos de difração dos raios X podem ser observados de vários ângulos. ÷

Considerando-se dois ou mais planos de uma estrutura cristalina, as condições para que ocorra a difração de raios X (interferência construtiva ou numa mesma fase) vão depender da diferença de caminho percorrida pelos raios X e o comprimento de onda da radiação incidente. Essa condição é expressa pela Lei de Bragg, utilizando a equação 1:

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (1)$$

Onde n é um número inteiro, λ é a distância interplanar e θ é o ângulo de incidência.

Essa análise foi feita na Universidade Federal de Campina Grande. Também foi necessário peneirar as amostras do resíduo cerâmico em peneira de malha 200 MESH.

4.5.1.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A análise granulométrica (AG) é de extrema importância para uma precisa caracterização das matérias-primas, fundamentado que em materiais argilosos a granulometria influencia de forma decisiva no processamento e nas propriedades finais do material [33]

Neste trabalho o estudo da análise granulométrica a laser forneceu informações sobre o tamanho e a distribuição das partículas das amostras estudadas, sendo uma ferramenta importante para muitos processos industriais, dentre estes a caracterização de matérias primas cerâmicas.

Para a difração de raios laser, foi utilizado um granulômetro da marca CILAS modelo 1090. A distribuição de tamanho das partículas foi determinada baseando-se na difração da luz laser. De acordo com este método, o ângulo de difração da luz laser é inversamente proporcional ao tamanho da partícula. O equipamento permite a análise de amostras em poucos segundos, fornecendo a distribuição de tamanhos por número, área e volume, bem como o diâmetro médio.

Outros dados obtidos através da análise granulométrica estão relacionados aos diâmetros das partículas, onde é possível ver d_{10} , d_{50} , d_{90} e $d_{médio}$, o d_{10} mostra que 10% das partículas obtidas possuem tal diâmetro, já no d_{50} e d_{90} mostram que 50% e 90% das partículas possuem determinado tamanho respectivamente, o $d_{médio}$ está relacionado à média dos tamanhos de partículas obtidas através do ensaio.

4.6 PREPARAÇÃO DAS FORMULAÇÕES

As formulações foram preparadas em diferentes proporções dos resíduos de gesso e cerâmica vermelha e poliestireno. Em relação às formulações foi utilizada a nomenclatura

A – tem-se a concentração 1:1 Cerâmica Vermelha/PS; B – 1:1:2 Cerâmica Vermelha/Gesso/PS e por fim; C – 1:1 Gesso/PS.

A mistura das composições ocorreu em um recipiente plástico, de forma manual, fechando o recipiente até que toda a amostra estivesse misturada de forma homogênea.

As composições dos compósitos de cerâmica vermelha, poliestireno e gesso estão detalhadas na Tabela 1.

Tabela 1. Formulações das amostras.

FORMULAÇÕES	RESÍDUO DA CERÂMICA	RESÍDUO DO PS	RESÍDUO DO
	VERMELHA (%)	(%)	GESSO (%)
A	50	50	-
B	25	50	25
C	-	50	50

Fonte: elaborado pelo autor.

4.7 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

4.7.1.1 PRENSAGEM A FRIO

A partir do material em pó e com suas formulações finalizadas, foram produzidos corpos de prova prensados a frio a partir da prensa hidráulica sem aquecimento modelo MPH -30 MARCON 30 TON, para a preparação foi utilizado em média 12 gramas de cada material. As misturas dos resíduos foram colocadas inicialmente no molde retangular com medidas 60 x 20 mm (comprimento/largura) para em seguida ser compactado com pistão na prensa hidráulica. Para a compactação, a carga inicial utilizada foi 5 toneladas por 30 segundos e em seguida aplicou-se uma carga de 15 toneladas por mais 90 segundos, os corpos de prova podem ser observados na figura 3.

Após a prensagem, os corpos de prova foram pesados em balança com precisão de 3 casas decimais e também foram retiradas as medidas de comprimento, altura e largura de cada corpo de prova através de um paquímetro digital. Após a obtenção dos dados os mesmos

foram armazenados em dessecador para que não absorvessem nenhum tipo de umidade externa.



Figura 3. Corpos de prova nas formulações a frio A, B e C após prensagem em prensa hidráulica. Fonte: registrada pelo autor.

4.7.1.2 AQUECIMENTO DO CORPO DE PROVA

A partir dos corpos de provas obtidos através da prensagem a frio dois testes foram realizados com objetivo de analisar qual o tipo de aquecimento mais eficaz.

O primeiro ensaio foi realizado utilizando um corpo de prova para cada uma das três formulações obtidas (A, B e C). Através de uma estufa com circulação de ar a uma temperatura de 220 °C, os corpos de prova foram submetidos ao aquecimento por um período de 2 horas.

O segundo ensaio também utilizou um corpo de prova para cada formulação obtida (A, B e C), além disso o aquecimento ocorreu através de moldes feitos com lata de

refrigerante (figura 4) e aquecidos em uma chapa elétrica, modelo JX-1010A, a uma temperatura de 240° C durante 5 minutos. Para a realização da prensagem, utilizou-se um bloco de madeira que encaixasse no molde de lata de refrigerante, aguardando um tempo de aproximadamente 10 segundos, aliviando a pressão ao atingir a uniformização da peça.



Figura 4. Processo de fabricação do molde de alumínio. Fonte: elaborada pelo autor.

4.7.1.3 OBTENÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Após selecionado qual o melhor tipo de aquecimento para a fabricação dos corpos de prova, foram confeccionados 5 corpos de prova para cada formulação, ou seja, 5 corpos de prova para a composição A (1:1 cerâmica vermelha/poliestireno), 5 corpos de prova para B (1:1:2 cerâmicas vermelha/gesso/poliestireno) e 5 corpos de prova para C (1:1 gesso/poliestireno), totalizando 15 corpos de prova.

Cada corpo de prova foi produzido a partir de 12 gramas de material, apresentando-se esses na forma de placas, com dimensões de, aproximadamente, 60x20x7 mm.

Assim como na prensagem a frio, para cada corpo de prova aquecido, foi necessária a retirada do peso, através de uma balança com precisão de 3 casas decimais, e medido o comprimento, largura e altura com o auxílio de um paquímetro.

4.8 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES

Foram determinadas as propriedades tecnológicas das amostras, através da avaliação das propriedades físicas e mecânicas, apresentadas em seguida.

4.8.1.1 TRATAMENTO TÉRMICO

Após a fabricação dos 15 corpos de prova, ocorreu à realização do teste de Arquimedes onde todos os corpos de prova foram deixados em repouso em um recipiente com água por 24 horas a temperatura ambiente. Primeiramente, foi feita a pesagem dos corpos de prova imersos em água em uma balança de precisão. Para a realização deste método cada bloco foi colocado dentro de um béquer com água, que possuía uma cesta de metal, onde o corpo de prova foi introduzido e pesado. Por último os blocos foram retirados e enxugados com papel toalha para que assim pudesse ser feita a pesagem do corpo de prova úmido em uma balança de precisão.

Posteriormente, eles foram colocados em estufa a 60 °C, a fim de secá-los. Após serem secos, os corpos de prova foram novamente pesados e medidos seus comprimentos, larguras e alturas

4.8.1.2 PROPRIEDADES FÍSICAS

As propriedades físicas determinadas no trabalho foram a Retração Linear à queima, a Perda de densidade, a Absorção de Água, a Porosidade Aparente e a Densidade Aparente.

4.8.1.2.1 RETRAÇÃO LINEAR (RL)

A Retração Linear é consequência do processo de sinterização que se define pelo agrupamento de moléculas que compõem a cerâmica à medida que a temperatura aumenta, estando sempre abaixo do ponto de fusão do material, fazendo com que as imperfeições e poros diminuam, aumentando assim a densidade do material e diminuindo suas dimensões. [32]

A Retração Linear (RL) relaciona as dimensões da amostra a seco e queimada, utilizando a equação 2:

$$RL(\%) = \frac{C_s - C_q}{C_s} \times 100 \quad (2)$$

Onde, C_s é o comprimento (mm) da amostra a seco antes do teste de Arquimedes e C_q é o comprimento (mm) da amostra após a secagem na estufa.

4.8.1.2.2 PERDA DE MASSA

A Perda de massa ou perda ao fofo (PF) indica o teor de matéria orgânica e umidade presente na amostra através da diminuição de peso desta, que ocorre com o aumento de temperatura. Para calcular a perda ao fogo é utilizado a equação 3:

$$PF(\%) = \frac{M_s - M_q}{M_s} \times 100 \quad (3)$$

Onde, M_s é a massa (g) da amostra após secagem a 60 °C e M_q a massa (g) após aquecida a 240 °C. [31]

4.8.1.2.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA

A absorção de água (AA) apresenta a característica de expansão da amostra, através do ganho de massa ao absorver o líquido, no caso a água, quando em contato com a mesma. Para o cálculo da absorção de água é utilizado a equação 4:

$$AA(\%) = \frac{Mu - Mq}{Mq} \times 100 \quad (4)$$

Onde, Mq é a massa (g) após aquecida a 240 °C e Mu é a massa (g) úmida.

4.8.1.2.4 POROSIDADE APARENTE

A porosidade aparente (PA) é definida como o percentual volumétrico de porosidade aberta existente na amostra. Esse tipo de porosidade tem a característica de conectar-se com a superfície. Para o cálculo da porosidade aparente é utilizado a equação 5:

$$PA(\%) = \frac{Mu - Mq}{Mu - Mi} \times 100 \quad (5)$$

Onde, Mq é a massa (g) após aquecida a 240 °C, Mu é a massa (g) úmida e Mi é a massa (g) imersa em água. [34]

4.8.1.2.5 DENSIDADE APARENTE

A densidade aparente (DA) considera o volume total da amostra, inclusive o espaço vazio entre os grãos que a compõem. Para a determinação da densidade aparente, foi levado em consideração o peso dos corpos-de-prova secos, imersos e úmidos, sendo obtida através da equação 6:

$$DA(\text{g/cm}^3) = \frac{Mq}{Mu-Mi} \times \rho_{\text{água}} \quad (6)$$

Onde, Mu é a massa (g) úmida, Mq é a massa (g) aquecida a 240 °C, Mi é a massa (g) imersa em água, a densidade da água ($\rho_{\text{água}}$) é 1 g/cm³. [35]

4.9 PROPRIEDADE MECÂNICA

A propriedade mecânica avaliada foi a Tensão de Ruptura à Flexão. Por fim, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio mecânico de flexão, em três pontos, com distância de 40 mm entre os apoios, para qual foi utilizada uma velocidade de ensaio de 0,5 mm/min. Foi utilizado o equipamento AG X 10 KN da SHIMADZU.

A tensão de ruptura a flexão (TRF) indica a resistência máxima suportada pelo corpo de prova quando submetido a um ensaio de flexão. Essa propriedade é calculada a partir da equação 7:

$$TRF(MPa) = 3FxL/2bxh^2 \quad (7)$$

Onde, F é a carga de ruptura (N), L é a distância entre os apoios do suporte (mm), b é a largura da amostra na região da ruptura (mm) e h é a altura da amostra na região da ruptura (mm).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados a seguir foram obtidos a partir de análises realizadas das características física, química e mineralógica das matérias-primas e das propriedades tecnológicas das amostras.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

5.1.1 ANALISE GRANULOMÉTRICA (AG)

A partir dos resíduos em pó a análise granulométrica foi realizada através da difração de raios laser e seu resultado pode ser observado na tabela 2 e na figura 5.

Tabela 2. Análise Granulométrica.

Amostras	Cerâmica (μm)	Gesso (μm)	Poliestireno (μm)
Diâmetro a 10%	1,09	0,65	31,01
Diâmetro a 50%	32,00	2,47	185,26
Diâmetro a 90%	242,86	16,60	406,73
Diâmetro médio	77,27	6,18	198,55

Fonte: Elaborada pelo autor.

A partir desta análise é observado que o resíduo de gesso possui tamanho de partícula d_{50} de 2,47 μm , já o resíduo de cerâmica vermelha tem d_{50} igual a 32,00 μm e o resíduo de poliestireno com d_{50} em 185,26 μm . Isto em conjunto com os outros diâmetros apresentados sugere que o gesso possui um tamanho de partícula muito inferior, quando comparado aos resíduos poliestireno e cerâmica vermelha.

Este resultado se mostra eficaz, já que o d_{90} para o poliestireno é igual ou inferior a 406,73 μm (0,40673 mm) e para a redução do tamanho de partícula do polímero o moinho de facas do tipo Willys foi utilizado com peneiras de 20 mesh, ou seja, tamanhos inferiores a 0,84 mm.

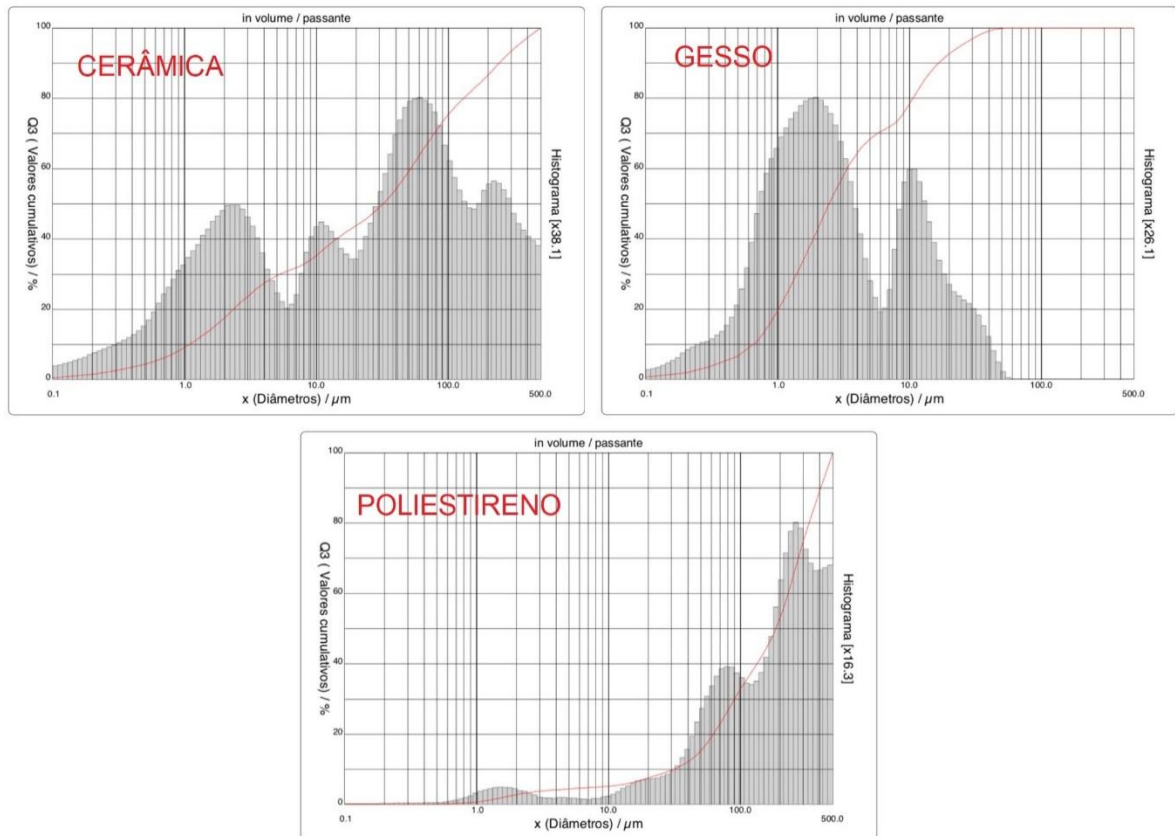


Figura 5 – Gráficos da análise granulométrica. Fonte: Elaborada pelo autor.

Os ensaios por difração se mostraram eficazes quando requer resultados rápidos, com elevada qualidade e confiabilidade. Além disso, é importante frisar sua eficácia na medida de partículas de diâmetros pequenos, o que faz com que o método seja quase específico para a faixa de tamanhos variando entre 0,1- 2.000 μm [36].

5.1.2 ANÁLISE MINERALÓGICA POR DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

A partir da técnica de difração de raios X, foi possível determinar a composição mineralógica presentes no resíduo da cerâmica vermelha a 700 °C. A Figura 6 ilustra as principais fases encontradas.

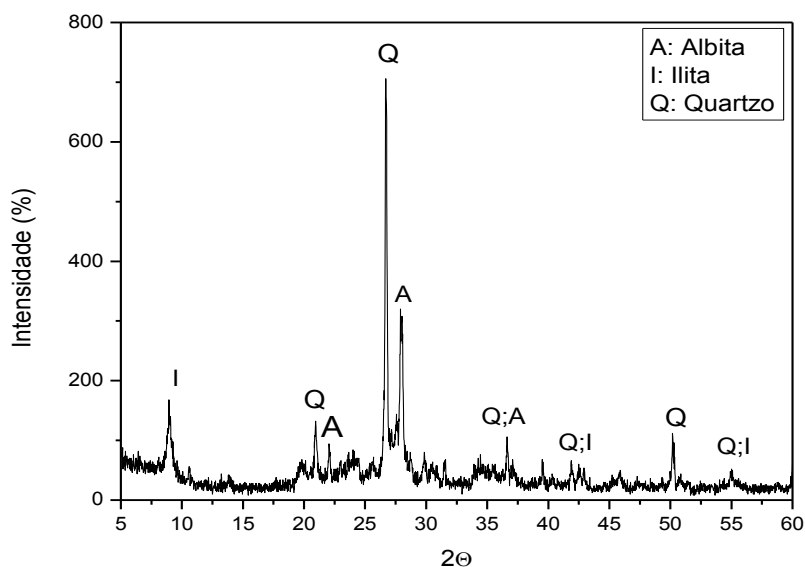


Figura 6. Difratograma do resíduo da cerâmica vermelha a 700 °C. Fonte: elaborada pelo autor.

Os resultados encontrados na análise de DRX foram identificados através das siglas relativas aos nomes dos minerais presentes. É possível verificar, ao observar o difratograma a presença predominante, de SiO_2 , sob sua forma livre, o quartzo. O quartzo é um mineral encontrado naturalmente nas argilas. Ele atua como preenchimento, sendo a fase estável à temperatura de sinterização, reduzindo a retração e distorção da peça cerâmica e garantindo a integridade estrutural da peça [8]

Foram encontrados também os minerais albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) e ilita ($\text{K}, \text{H}_3\text{O})(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2, \text{H}_2\text{O}]$ que apresentam em sua constituição elementos que atuam como fundentes, tais como o sódio e o potássio, que baixam a temperatura de fusão do material.

A albita, é rica em sódio, forma uma série isomórfica contínua de solução sólida nessa temperatura. Esta série é denominada de plagioclásio e varia desde a albita pura. A albita pertence à mesma família, do feldspato, o qual tem a característica de reagir com outros constituintes, reduzindo a temperatura de sinterização das peças. No resíduo da cerâmica vermelha em estudo, ela se apresenta em grande quantidade, aparecendo nos picos a 22°, 28° e 37° [8].

A ilita difere-se das micas bem cristalizadas, por ter uma menor substituição de alumínio no lugar do silício, uma menor carga estrutural, menos potássio interlamelar e menor

regularidade no empilhamento das camadas. Matérias-primas contendo ilita são largamente usadas na produção de artefatos de base vermelha. Esses minerais têm forte característica de fundentes, pois são fontes de potássio, que é o principal agente de sinterização da massa cerâmica [4]. No resíduo da cerâmica vermelha a 700 °C, a ilita, aparece nos picos 9°, 42° e 55°.

5.2 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Com as formulações A B e C prensadas a frio como mostra na figura 3, seis corpos de prova foram submetidos a dois tipos de aquecimento, sendo três deles utilizados no aquecimento através da estufa a 220 °C por 2 horas (figura 7).

Os outros 3 corpos de prova foram submetidos ao aquecimento em moldes produzidos manualmente a partir de latas de refrigerante e chapa de aquecimento elétrica e com prensagem manual (figura 4). Os resultados obtidos através deste método podem ser observados na figura 8, com objetivo de e utilizar o processo mais eficaz.



Figura 7 – Corpos de prova submetidos a aquecimento em estufa a 220°C. Fonte: registrada pelo autor.

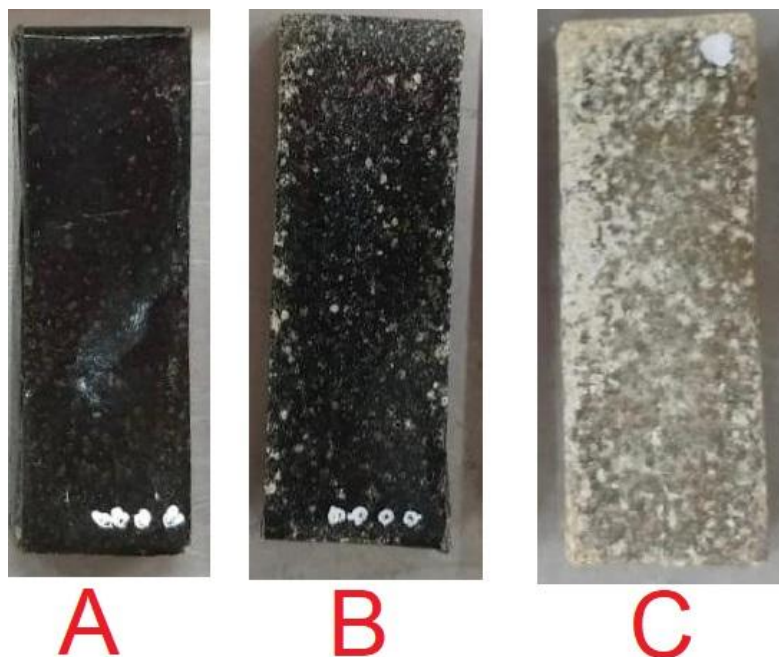


Figura 8 – Corpos de prova produzidos através de molde e prensagem. Fonte: registrada pelo autor

A partir dos dois testes realizados foi observado que os corpos de prova produzidos nos moldes de alumínio e com prensagem manual obtiveram melhores resultados de compactação e conformação.

Os corpos de prova produzidos através da estufa com circulação de ar a 220° C não obtiveram bons resultados devido à expansão ocasionada pelo resíduo do material polimérico. Fazendo um comparativo entre as três composições, foi observado que o corpo de prova com PS + Gesso na composição de 1:1 obteve pior resultado, um dos motivos que podem ocasionar essa expansão elevada nas formulações dos corpos de prova com gesso, é que o gesso é um material hidrofílico, já o poliestireno tem características hidrofóbicas.

Outro motivo que pode ser discutido está relacionado à desidratação da gipsita (gesso), normalmente a gipsita perde $\frac{3}{4}$ partes de sua água, nas temperaturas de 130°C a 160°C e apenas a 250°C, o gesso torna-se anidro (sem água), o que pode ter gerado uma expansão mais elevada nos compósitos contendo gesso.

Também é possível observar que nas formulações contendo resíduo de gesso, que o mesmo não se incorporou de maneira uniforme ao poliestireno, diferentemente do resíduo de cerâmica vermelha, que além de mais uniforme, não obteve aglomerações em pontos específicos ao longo do corpo de prova.

5.3 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS

Os resultados obtidos das propriedades física e mecânica dos corpos de prova produzidos no trabalho são apresentados a seguir.

5.3.1 RETRAÇÃO LINEAR APÓS TRATAMENTO TÉRMICO

Os resultados obtidos para a retração linear das amostras podem ser observados na Figura 9.

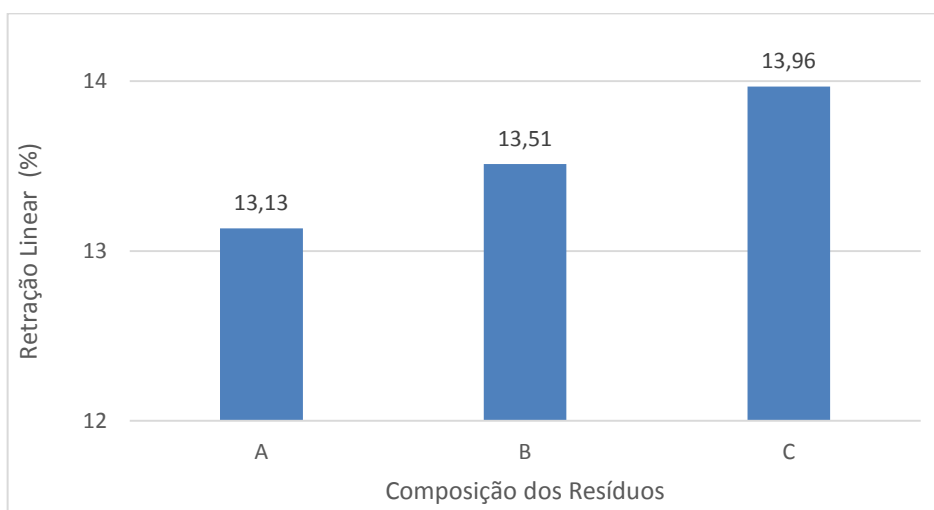


Figura 9. Análise da Retração Linear após tratamento térmico. Fonte: elaborada pelo autor

A figura 9 corresponde aos resultados de retração linear à queima dos compósitos. É possível observar que a retração linear a queima foi mais acentuada nas composições B e C de poliestireno, gesso e cerâmica e na composição de poliestireno com gesso, nas proporções de 1:1:2 e 1:1, respectivamente.

Isto pode ser ocasionado devido à liberação da água residual ainda presente no resíduo de gesso. Como dito anteriormente, o resíduo se encontra na forma de hemidrato, com

a elevação da temperatura até 240° C o restante da água residual presente pode ter sido liberada e com isso aumentou a retração linear a queima.

5.3.2 PERDA DE DENSIDADE

A Figura 10 mostra a curva obtida para a propriedade de perda de densidade.

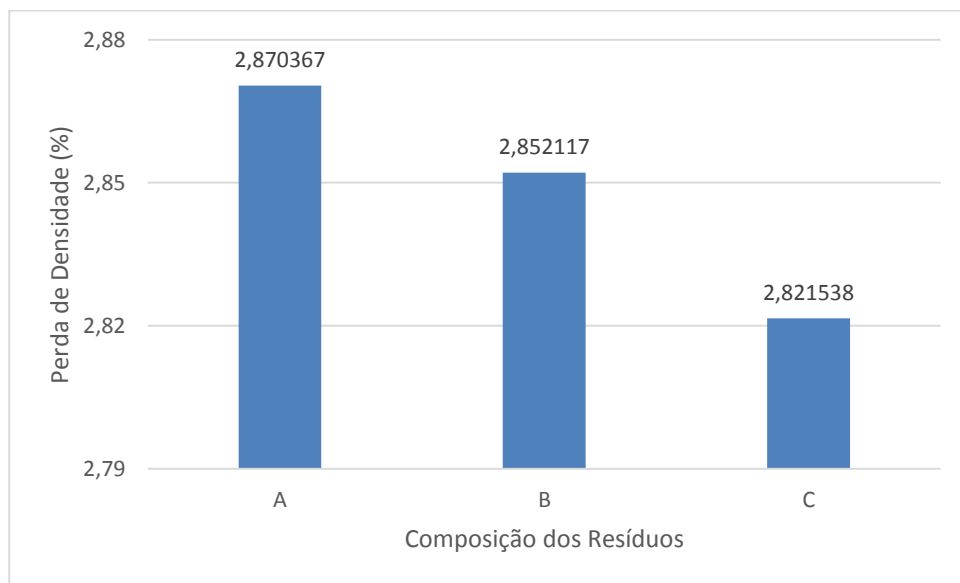


Figura 10. Análise de perda de densidade. Fonte: elaborada pelo autor.

A partir dos dados obtidos através do ensaio foi possível observar que os corpos de prova contendo resíduo de gesso alcançou uma menor perda de massa em comparação as outras composições. Como visto anteriormente o gesso tem total influência visto que a liberação da água residual só ocorre em temperaturas elevadas, 250° C. Com a liberação de água residual, o corpo de prova tendeu a ficar mais poroso, diminuindo a perda de massa.

5.3.3 POROSIDADE APARENTE

A Figura 11 apresenta os dados obtidos para a propriedade de porosidade aparente.

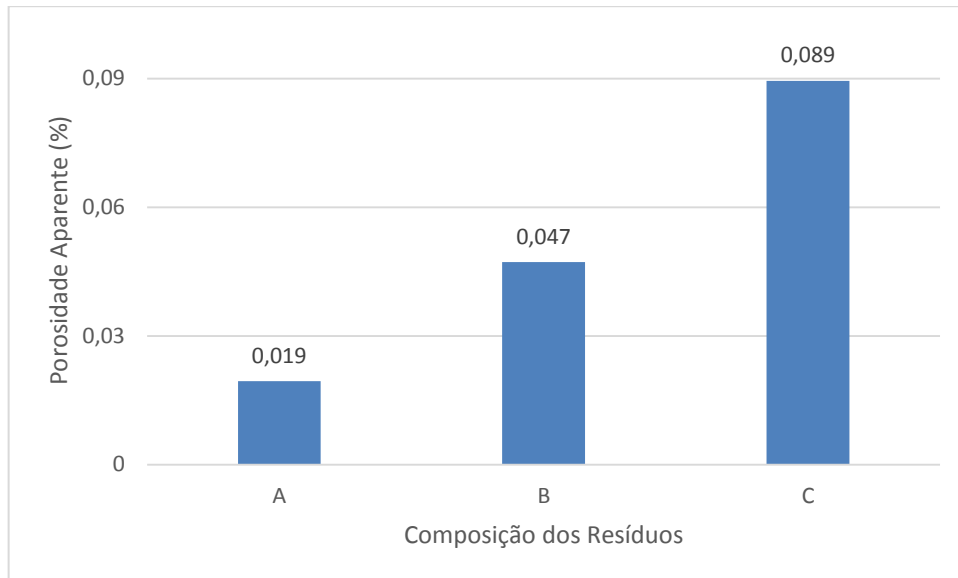


Figura 11. Análise da Porosidade Aparente. Fonte: elaborada pelo autor.

A partir da figura 11, tem-se que a porosidade aparente dos compósitos fabricados com cerâmica vermelha são bem menores que os compósitos contendo resíduo de gesso em sua composição. A menor porosidade presente nos compósitos de cerâmica vermelha pode ser proveniente da melhor interação do resíduo de cerâmica vermelha com o resíduo de poliestireno. Isto porque o resíduo de cerâmica vermelha além de ser menos hidrofílico que o resíduo de gesso, os tamanhos de partículas observados através do ensaio de análise granulométrica são mais semelhantes. Em que o diâmetro médio do resíduo de poliestireno (d_m) foi de 198,55 μm , já para o resíduo de cerâmica vermelha d_m foi igual a 77,27 μm e por fim o resíduo de gesso tem d_m 6,18 μm . A diferença do tamanho de partícula entre o gesso e o PS é muito alta e isto pode ter gerado uma maior porosidade no corpo de prova.

5.3.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA

A Figura 12 apresenta os dados obtidos para a propriedade de absorção de água.

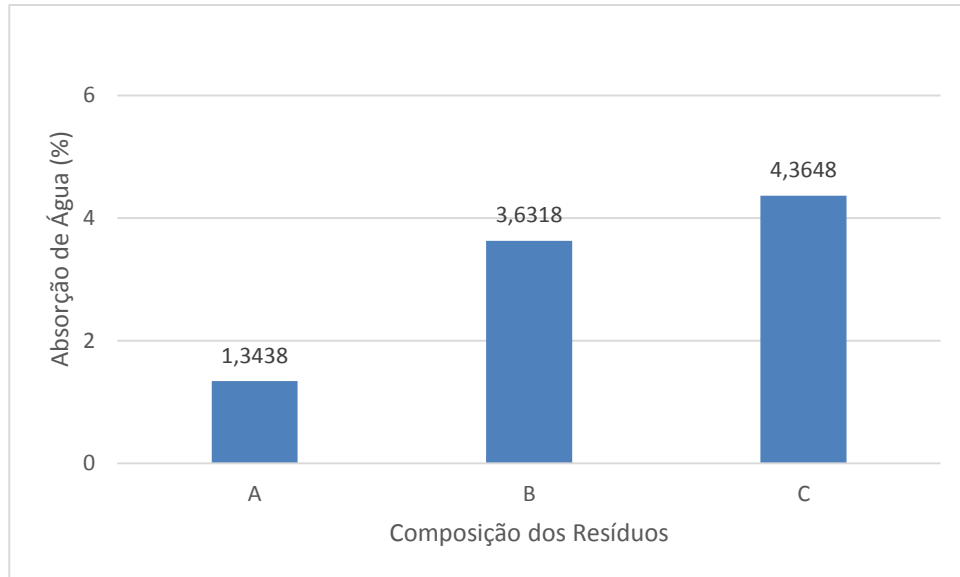


Figura 12. Análise da Absorção de Água. Fonte: elaborada pelo autor.

Analisando a Figura 12, é possível perceber, de maneira geral, uma coerência entre a propriedade de absorção de água com a porosidade aparente, ou seja, os valores obtidos para as duas propriedades apresentam a mesma tendência de aumento entre as amostras. Esse fato acontece, pois, a absorção de água está bastante relacionada com a porosidade na estrutura do material.

Com isso confirma-se que o compósito com maior quantidade de resíduo de gesso presente está mais suscetível a absorver uma maior quantidade de água, devido à maior quantidade de poros presente no corpo de prova, o compósito contendo cerâmica vermelha na composição apresenta uma menor quantidade de poros e portanto uma menor absorção de água.

5.3.5 DENSIDADE APARENTE

A Figura 13 mostra os dados obtidos para a propriedade de densidade aparente.

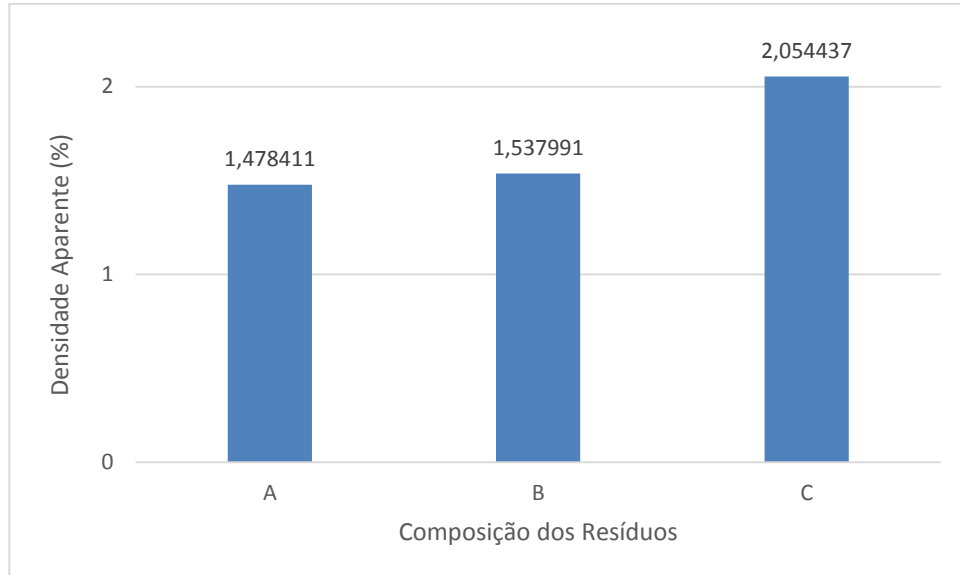


Figura 13. Análise da Densidade Aparente. Fonte: elaborada pelo autor.

Analisando a Figura 13, podemos observar que as amostras contendo o resíduo da cerâmica vermelha na proporção de 1:1, obteve uma diminuição da densidade aparente e, com a diminuição do teor de cerâmica vermelha e aumentando a quantidade de resíduo de gesso temos o aumento da densidade aparente.

Visto que o gesso é um material bastante hidrofílico, a densidade aparente dos corpos de prova contendo mais gesso teve seu valor aumentado devido a esta boa interação, o gesso quando em contato com a água, pode ter hidratado e com isso a densidade aparente destes corpos de prova obtiveram resultados mais elevados, quando em comparação com os corpos de prova contendo material cerâmico.

5.3.6 TENSÃO DE RUPTURA À FLEXÃO

A Figura 14 apresenta os dados obtidos para a propriedade de resistência mecânica à flexão em relação ao resíduo do poliestireno, resíduo de gesso e resíduo da cerâmica vermelha.

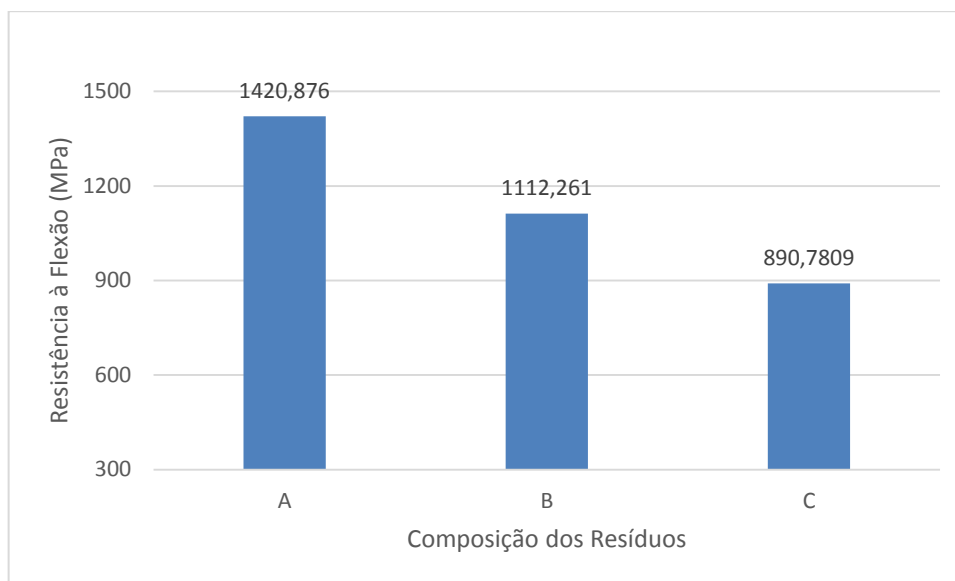


Figura 14. Análise da Tensão de Ruptura a Flexão. Fonte: elaborado pelo autor.

Pode-se perceber, analisando a Figura 14, que a resistência mecânica à flexão diminuiu com o aumento da concentração do resíduo de gesso nos corpos de prova, a formulação B que contém poliestireno, cerâmica vermelha e gesso na composição possui um resultado de resistência mecânica a flexão melhor que os corpos de prova C que contém apenas gesso e poliestireno na composição, com composição.

Entende-se que o resíduo de gesso passa a ser prejudicial para o compósito, reduzindo a resistência mecânica dos corpos de prova, o resíduo gesso por ter características hidrofílicas não interage tão bem com o resíduo de poliestireno. Além de formar aglomerados (figura 8), o resíduo de gesso libera a água residual em temperaturas semelhantes a temperatura de fusão do poliestireno, isto gera porosidades no corpo de prova que tem influência direta no ensaio de flexão, pois poros são considerados pontos concentradores de tensão, reduzindo a tensão suportada pelo corpo de prova.

Portanto, aumentando a concentração do resíduo de cerâmica vermelha é notório o aumento da resistência mecânica, que passa de 1112,261 MPa para 1420,876 MPa, para as

composições de 1:1:2 de resíduo de cerâmica vermelha + resíduo de gesso + resíduo de poliestireno e 1:1 de resíduo de cerâmica vermelha + resíduo de poliestireno respectivamente.

6 CONCLUSÕES

Após analisar e interpretar os resultados dos ensaios é possível concluir, que:

A forma de conformação dos corpos de prova tem total influência no resultado final e que os corpos de prova conformados em moldes de lata de alumínio com aquecimento em chapa elétrica e prensagem manual obtiveram melhores resultados que os corpos de prova aquecidos em estufa.

A partir da análise granulométrica a laser foi observado que o resíduo de gesso possui menor tamanho de partícula, quando comparado ao resíduo de cerâmica vermelha e resíduo de poliestireno.

Através das análises de retração linear em todas as composições foi visto que quanto maior a quantidade de gesso presente na amostra maior a retração linear, e isto pode estar correlacionado à água residual presente no resíduo gesso.

Os maiores valores de perda de massa foram constatados para os compósitos com resíduo de cerâmica vermelha, já que o gesso tem total influência visto que a liberação da água residual só ocorre em temperaturas elevadas, 250° C, com a liberação de água residual o corpo de prova tende a ficar mais poroso, diminuindo a perda de massa.

Já os ensaios de densidade aparente, porosidade aparente, absorção de água mostram que os resultados obtidos com os compósitos fabricados com cerâmica vermelha são bem melhores que os compósitos contendo resíduo de gesso em sua composição.

A menor porosidade presente, menor absorção de água e menor densidade aparente nos compósitos de cerâmica vermelha revelam uma melhor interação do resíduo de cerâmica vermelha com o resíduo de poliestireno.

Através do ensaio de flexão é observado que o resíduo de gesso é prejudicial para o compósito, reduzindo a resistência mecânica dos corpos de prova,

Portanto, os corpos de prova contendo resíduo cerâmica vermelha, no geral, obtiveram um melhor desempenho quando comparado aos corpos de prova contendo resíduo de gesso.

7 REFERÊNCIAS

1. ALBINANTE, Sandra Regina; PACHECO, E. B. A. V.; VISCONTE, Leila Lea Yuan. Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para mistura com poliolefinas.
2. ALMEIDA, Rosemeire dos Santos et al. Influência da velocidade de rotação no processo de extrusão do polipropileno virgem e reciclado. Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Campinas, SP, 2010.
3. AQUINO, R. C. M. P. Desenvolvimento de Compósitos de Fibras de Piaçava da Espécie *Attalea funifera* Mart e Matriz de Resina Poliéster. Tese de Doutorado. Tese de D. Sc., UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil, 2005.
4. ARAÚJO, Mário de; CASTRO, E. M. de Melo e: Manual de engenharia têxtil. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, v. 2, 1984.
5. DE PAULA, PAULA GOMES. Formulação e caracterização de compósitos com fibras vegetais e matriz termoplástica. 2011. 9
6. Demir, H.; Atikler, U.; Balköse, D.; Tihminlioglu, F. The effect of fiber surface treatments on the tensile and water sorption properties of polypropylene–luffa fiber composites. *Composites: Part A*, v. 37, p. 447–456, 2006. 10
7. FENGEL, D., WEGENER, G., *Wood – Chemistry, Ultrastructure, Reactions*, New York, Walter de Gruyter, 1989. 11

8. FERNANDES, Beatriz L.; DOMINGUES, Antonio J. Caracterização mecânica de polipropileno reciclado para a indústria automotiva. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, v. 17, n. 2, p. 85, 2007. 12
9. DANA, J. D.; HURLBUT, J. Manual de Mineralogia, Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico.S.A., 1969, v. 2, 642 p.
10. PAZ, Y. M.; MORAIS, M. M. de; HOLANDA, R. M. de. Desenvolvimento Econômico Regional e o Aproveitamento de Resíduos sólidos no Pólo da Indústria da Cerâmica Vermelha de Pernambuco. Pernambuco, 2013.
11. GOUVEIA, F. P.; SPOSTO, R. M.; Incorporação de chamote em massa cerâmica para a produção de blocos. Um estudo das propriedades físico-mecânicas. *Cerâmica*, V. 55, n. p.415-419. São Paulo – 2009
12. MENEZES, R.R., NEVES, G.A., FERREIRA, H.C., et al., “Recycling of Granite Industry Waste from the Northeast Region of Brazil”, *Environmental Management and Health*, v. 13, p. 134-141, 2002.
13. MENEZES, R.R., FERREIRA, H.S., NEVES, G.A., et al., “Use of Granite Sawing Wastes in the Production of Ceramic Bricks and Tiles”, *Journal of the European Ceramic Society*, v. 25, p. 1149- 1158, 2005.
14. MENEZES, R. R.; ALMEIDA, R. R.; SANTANA, L. N. L.; FERREIRA, H. S.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. ‘Use of kaolin processing waste for the production of ceramic brick and roof tiles’. *Matéria (Rio J.)* v.12, n.1, Rio de Janeiro, 2007.
15. MOREIRA, J.M.S., MANHÃES, J.P.V.T., HOLANDA, J.N.F., “Reaproveitamento de Resíduo de Rocha Ornamental Proveniente do Noroeste Fluminense em Cerâmica Vermelha”, *Cerâmica*, v. 51, n. 319, p. 180-186, 2005.
16. ABIQUIM – Associação Brasileira das Indústrias Químicas. Os plásticos, 2004.

17. CALLISTER, W. D. Jr. (2007). *Materials science and engineering: An introduction*. Seventh Edition, United States of America, John Wiley & Sons.
18. ABC - Associação Brasileira de Cerâmica. *Informações técnicas*, 2011.
19. REED, S. J. (1995). *Principles of ceramics processing*. 2^a.ed. New York: John Wiley & Sons.
20. MEIRA, J. M. L. (2001). *Argilas: o que são, suas propriedades e classificações*. Comunicações técnicas. 01 – 07.
21. NORTON, F. H. (1973). *Introdução à Tecnologia das Cerâmicas*. Ed. da USP, São Paulo, SP.
22. CASTRO, R. J. S.; SOARES, R. A. L.; NASCIMENTO, R. M. *Produção de revestimento cerâmico semi-poroso com adição de chamote de telhas*. *Revista Matéria*, v. 17, n. 4, p. 1166 –1175, 2012.
23. FARIA, K. C. P.; GURGEL, R. F.; HOLANDA, J. N. F. (2012). *Influência da adição de resíduo de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar nas propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha*. SIMPÓSIO MATÉRIA, RIO DE JANEIRO, RJ.
24. SANTOS, O. C. (2007). *Influência da adição de rejeitos cerâmicos nas propriedades de cerâmica vermelha da região do recôncavo baiano, Natal/RN*, 80 p. *Dissertação Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica*, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. SENAI – Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas (2010).

25. SILVA, E. O. S. (2007). Desenvolvimento de cerâmica vermelha utilizando rejeitos da construção civil. 75 f. Dissertação Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
26. MORAIS, A. S. C. et. al. (2010). Recycling of Fluorescent Lamp Glass into Clayey Ceramic. In: TMS 2011 - 140th Annual Meeting & Exhibition, 2011, San Diego. EPD Congress 2011, 2011. v. 1. p. 1053-1060.
27. GOMES, C. B., Técnicas analíticas instrumentais aplicadas a geologia – Microsonda eletrônica: princípios e aplicações na geologia. Edgard Blucher, 1985.
28. GOUVEIA, F. P.; SPOSTO, R. M.; Incorporação de chamote em massa cerâmica para a produção de blocos. Um estudo das propriedades físico-mecânicas. Cerâmica, V. 55, n. p.415-419. São Paulo – 2009.
29. JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. O. Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. São Paulo: Ibracon, 2007
30. MUNHOZ, F. C. Utilização do gesso para fabricação de artefatos alternativos, no contexto de produção mais limpa. 2008. 164p Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2008.
31. SAVI, O. Produção de placas de forro com a reciclagem de gesso. 2012. 233p. Mestrado em Engenharia Urbana, Universidade Federal de Maringá, 2012.
32. LENG, Y. Materials Characterization: Introduction To Microscopic And Spectroscopic Methods. Ed. John Wiley and Sons, 384p, 2008.
33. PRACIDELLI, S.; MELCHIADES, F. G.; Importância da composição granulométrica de massas para a cerâmica vermelha. Cerâmica Industrial, São Paulo, p. 35, janeiro/abril 1997

34. RICHERSON, D. W. Modern Ceramic Engineering. Properties, Processing and Use in Design. Segunda Edição. Editora Marcel Dekker, 1992.
35. SALVAGNINI, W. www.hottopos.com.br/regeq3/densidad.htm> acesso em: julho, 2006.
36. ALBUQUERQUE, F.R.; SANTOS, I.M. G.; LIMA, S. J. G.; SOLEDADE, L. E. B.; SOUZA, A. G.; MARTINELLI, A. E. Planejamento Experimental Aplicado à Otimização de Massas Cerâmicas Contendo Matérias-Primas Naturais. Cerâmica vol.53 nº327.São Paulo, Julho/Setembro de 2007.