

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

EVELYN MIDORI SOKEN

**REAPROVEITAMENTO DO GESSO DESCARTADO NA
CONSTRUÇÃO CIVIL EM CERÂMICA VERMELHA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA
2015

EVELYN MIDORI SOKEN

**REAPROVEITAMENTO DO GESSO DESCARTADO NA
CONSTRUÇÃO CIVIL EM CERÂMICA VERMELHA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia de Materiais do Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais – DAEMA – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientadora: Profa. Dra. Pollyane Márcia de Souto

LONDRINA
2015



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia de Materiais



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

Reaproveitamento do gesso descartado na construção civil em cerâmica
vermelha

Por

Evelyn Midori Soken

Monografia apresentada no dia 09 de junho de 2015 ao Curso Superior de Engenharia de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____ Aprovada _____ (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

*

Prof. Dr. Lucas Freitas Berti
(UTFPR - Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais)

*

Prof. Dr. Marcio Florian
(UTFPR – Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais)

*

Profa. Dra. Pollyane Márcia de Souto
(UTFPR - Departamento Acadêmico de Engenharia de Materiais)
Orientadora

Prof. Dr. Odney Carlos Brondino
Responsável pelo TCC do Curso de Engenharia de Materiais

* A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do curso

Aos meus pais, irmãos e todos aqueles que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até a esta etapa da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Ernesto e Eugenia, por todo apoio nos momentos mais difíceis e por todo sacrifício que fizeram para possibilitar a conclusão deste curso.

A minha orientadora Professora Doutora Pollyane Márcia de Souto, por toda paciência, sacrifício, incentivo e orientação que foram de grande importância para a conclusão deste trabalho.

A todos os professores, em especial, do Departamento de Engenharia de Materiais da UTFPR pelos conhecimentos compartilhados e pelo incentivo recebido durante toda a graduação.

Ao Arnaldo Alcover Neto da Coordenação de Análises Minerais (COAM) do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) pela análise química por espectrometria de fluorescência de raios X.

Aos meus amigos e amigas que mesmo longe sempre me apoiaram.

Aos amigos que fiz durante esse tempo pelo apoio e colaboração de forma direta e indireta na realização deste trabalho, além de tornarem todos esses anos menos difíceis e mais alegres.

RESUMO

SOKEN, Evelyn M. Reaproveitamento do gesso descartado na construção civil em cerâmica vermelha. 2015. 42f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Câmpus Londrina, 2015.

A incorporação de resíduos em gerais na massa cerâmica vermelha é possível devido à variação que sua composição química apresenta, tornando apropriada para essa finalidade de reaproveitamento de resíduos. Nesse presente trabalho foi variada a incorporação de resíduo gesso tipo β descartado da construção civil nas porcentagens em peso de 0; 1; 2; 3, 5; 7,5 e 10% em uma massa de cerâmica vermelha já utilizada para produção de blocos cerâmicos. Foram realizadas análises de fluorescência de raios X, difração de raios X, análise termogravimétrica tanto na argila e no resíduo de gesso, além da distribuição de tamanho de partícula da argila. As amostras foram prensadas uniaxialmente com 22 MPa por 60 segundos, após isso foram queimadas nas temperaturas de 900, 1000 e 1100°C. Em seguida foram determinadas a densidade aparente, absorção de água, porosidade aparente, retração linear e tensão de ruptura à flexão três pontos. A caracterização da argila indicou a presença de haloisita-7Å e quartzo. Os resultados encontrados indicam a viabilidade da incorporação do resíduo de gesso à massa para cerâmica vermelha. O melhor resultado foi para a incorporação de 2% de resíduo de gesso, quando esta mistura foi queimada a temperatura de 1100°C. Nessa condição, essa composição apresentou melhor resultado que a amostra padrão sem adição de resíduo de gesso.

Palavras-chaves: *resíduo de gesso. tijolo. resíduo de construção civil.*

ABSTRACT

SOKEN, Evelyn M. Gypsum reuse from discarded in construction in red ceramic. 2015. 42 f. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Câmpus Londrina, 2015.

The incorporation of wastes in red ceramic mass is possible due to their chemical composition variation that presents, making it suitable for recycling of waste. In the present work was varied the incorporating of gypsum waste discarded construction in percentages of 0; 1; 2; 3; 5; 7.5 and 10% by weight of a red ceramic been used for producing ceramic bricks. Analyzes were performed on clay and gypsum waste by X-ray fluorescence, X-ray diffraction, thermal analysis, such as distribution of particle size of clay. The samples were pressed uniaxially with 22 MPa for 60 seconds, after there were fired at temperatures of 900, 1000 and 1100°C. And then it was determined the apparent density, water absorption, porosity and three point bending mechanical strength. The characterization indicated the presence of clay, halloysite 7A and quartz. The results were showed the feasibility of incorporating gypsum waste dough to red ceramic. The best result was for the incorporation of 2% gypsum residue when this mixture was fired at 1100°C temperature. As such, this composition showed better results than the standard sample with no addition gypsum waste.

Keywords: *gypsum waste. bricks. building waste.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição granulométrica da argila.....	27
Figura 2 - Difratoograma de raios X da mistura de argila.....	28
Figura 3 - Difratoograma de raios X do resíduo de gesso.....	29
Figura 4 - Análise termogravimétrica da argila.....	30
Figura 5 - Análise termogravimétrica do resíduo de gesso β	31
Figura 6 - Densidade aparente dos corpos cerâmicos após a queima.....	32
Figura 7 - Retração linear por temperatura dos corpos cerâmicos.....	33
Figura 8 - Porosidade aparente dos corpos de provas após a queima.....	34
Figura 9 - Absorção de água dos corpos cerâmicos após a queima.....	35
Figura 10 - Tensão de ruptura à flexão três pontos dos corpos cerâmicos após a queima.....	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	OBJETIVO GERAL.....	10
1.2	OBJETIVO ESPECÍFICO.....	10
1.3	JUSTIFICATIVA	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1	RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC).....	12
2.2	GESSO	14
2.2.1	O gesso na construção civil	15
2.2.2	Reaproveitamento do gesso	17
2.3	CERÂMICA VERMELHA.....	18
2.4	ARGILA	19
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
3.1	MATERIAIS	22
3.2	METODOLOGIA.....	22
3.2.1	Fluorescência de Raios X	22
3.2.2	Difração de Raios X	23
3.2.3	Análise Termogravimétrica	23
3.2.4	Preparação dos Corpos de Provas.....	23
3.2.5	Queima dos Corpos de Prova	24
3.2.6	Caracterização dos corpos de prova após a queima	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1	CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS	26
4.1.1	Caracterização física da argila.....	26
4.1.2	Fluorescência de Raios X	27
4.1.3	Análise de difração de raios X.....	28
4.1.4	Análise Termogravimétrica	30
4.2	CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS CERÂMICOS.....	31
4.2.1	Densidade aparente.....	31
4.2.2	Retração linear	33
4.2.3	Porosidade aparente.....	34
4.2.4	Absorção de água.....	35
4.2.5	Tensão de ruptura a flexão.....	36
5	CONCLUSÃO	38
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	39

1 INTRODUÇÃO

O crescimento do setor da construção civil tem gerado assim como outros setores de resíduos sólidos, um grande impacto ambiental, esse último devido ao crescimento populacional. Já o setor da construção civil no Brasil está aumentando por conta da renda brasileira ter aumentado, devido às linhas de créditos como o auxílio de programas governamentais de forma a ter uma grande demanda pela aquisição da casa própria e realização de reformas.

Por um lado, o aumento do setor da construção civil gera empregos dentro dos canteiros de obras, lojas de vendas de materiais de construção civil e por fim o aumento da demanda de materiais na indústria causando impactos positivos na economia. No entanto, grande parte dessas matérias-primas dos materiais de construção civil é proveniente da natureza, isso requer um beneficiamento para obtenção do produto final, causando impactos negativos ao meio ambiente. A extração desordenada, sem nenhum plano de gerenciamento ambiental da jazida, leva a uma série de problemas ambientais e a geração de resíduos, seja essa do setor industrial durante o processamento, como da construção civil pelo desperdício que acabam em aterros sanitários clandestinos de forma a prejudicar tanto o solo como o meio ambiente.

A aprovação da Lei Federal 12.305/10 tem por objetivo fazer o planejamento da gestão dos resíduos sólidos de forma a dispor em aterros sanitários autorizados e de forma ordenada os rejeitos sólidos, ou seja, materiais que não são possíveis fazer sua reciclagem ou reaproveitamento. Pela Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente estão classificados os resíduos de construção civil passíveis de reciclagem ou reaproveitamento dos materiais.

O gesso é um dos materiais mais desperdiçado durante uma obra, tais fatores podem ser atribuído como, o tempo de trabalho útil do gesso antes de ocorrer o endurecimento ser curto, causando a perda do material e a falta de preparo na mão-de-obra pra aplicação deste material. Estima-se que o gesso acartonado é descartado em até 5% e o de revestimento manual em 30% durante uma obra.

O descarte do resíduo de gesso na cidade de São Paulo pode chegar a 12000 toneladas/ano e, a consequência que esse resíduo ao ser descartado em aterros sanitários de forma desordenada é que em condições de contato com material orgânico, água e bactérias reductoras de sulfatos podem produzir gases tóxicos e inflamáveis.

A argila é a principal matéria-prima da cerâmica estrutural, tem por característica a coloração avermelhada após a queima e composição química variada. Suas aplicações como material de construção civil são tijolos, telhas, ladrilhos de piso, objetos de adornos, lajes cerâmicas e entre outros. Essa variação de composição química permite que a argila possa ter outros materiais incorporados sem que haja perdas significativas nas suas propriedades e a perda da sua aplicação. Por esse motivo, estudos são feitos para a incorporação de resíduos de diversos setores em massa cerâmica vermelha.

A metodologia empregada neste trabalho foi a incorporação do resíduo de gesso na argila variando a porcentagem de incorporação do resíduo e a temperatura de queima para produção de tijolos. A argila foi doada pela Cerâmica Palmeira em Jataizinho (PR) e o resíduo de gesso foi coletado da empresa Kurica Seleta Ambiental em Londrina (PR). Após a obtenção dos corpos de prova, foram feitas caracterizações para a verificação da viabilidade dessa mistura em materiais cerâmicos estruturais.

1.1 OBJETIVO GERAL

Incorporar na massa cerâmica resíduo de gesso descartado da construção civil para aplicação em cerâmica estrutural.

1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Determinar o melhor teor de resíduo de gesso que possa ser incorporado à massa cerâmica para melhorar as propriedades desta, quando comparado à massa sem adição de resíduo de gesso.

1.3 JUSTIFICATIVA

O trabalho tem por justificativa o reaproveitamento de um resíduo que é descartado de forma desordenada causando impactos ambientais, e conseqüentemente afetando a qualidade de vida de toda a população. Portanto, além de dar um destino final correto ao resíduo de gesso, esse trabalho também contribui para que estados e municípios cumpram a Lei Federal 12.305/10, a Política Nacional de Resíduo Sólido.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC)

Segundo a Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA - resíduos da construção civil são:

Proveniente de construções, reformas, reparos, e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha (CONAMA, 2002).

O objetivo do gerenciamento de resíduo é reduzir, reutilizar ou reciclar os resíduos provenientes da construção civil incluindo nessa gestão o planejamento, as responsabilidades, procedimentos e recursos para o desenvolvimento de programas e planos referentes a esse gerenciamento (CONAMA, 2002).

Um dos grandes problemas que a sociedade ainda enfrenta é a forma como se encara a temática do resíduo; seja de construção civil, resíduo doméstico ou industrial, pois a produção e o consumo são de maneira desordenada e irresponsável, como se o meio ambiente fosse uma fonte ilimitada de matéria-prima e também, um receptor interminável de resíduos e rejeitos. Nesse sistema denominado linear ou aberto, também não há preocupação com a eficiência da produção, a presença de substância tóxica no produto final e nem o descarte correto desse material ao fim de sua vida útil (CUNHA e ZUNINO, 2010).

A extração das matérias-primas e a disposição dos resíduos em locais inapropriados são impactos ambientais negativos que necessitam por sua vez tecnologias de controle de poluição para remediar os problemas inerentes ao processo de produção. Entretanto, agir após os estragos feitos, demandam investimentos elevados e nem sempre as saídas encontradas são eficientes, pois, também geram outros resíduos nesse processo (CUNHA e ZUNINO, 2010).

As motivações que muitos pesquisadores têm com o reaproveitamento de resíduos como matéria-prima de novos materiais de construção é devida às suas vantagens: redução de consumo de energia, redução de uso de matéria-prima, quantidade menor de emissão de poluentes e a redução de custo (PATRICIO, FIGUEIREDO, *et al.*, 2013).

De acordo com a Lei 12.305/10 no Artigo 54, os rejeitos devem ter uma disposição final ambientalmente correta, visto que rejeitos são todos os resíduos sólidos que não podem

ser reaproveitados, reciclados ou tratados devendo ser dispostos em aterros sanitários controlados. Os materiais que são passíveis de reaproveitamento, por tecnologias viáveis não podem ser encaminhados para os aterros e sim, para os centros de reciclagem. Essa lei foi aprovada em 2010 e entrou em vigor desde agosto de 2014. Portanto, a partir desta data, os estados e municípios devem elaborar um Plano de Resíduos Sólidos para um bom gerenciamento de resíduos sólidos, no qual, inclui as coletas seletivas e tratamento de resíduos orgânicos. A não elaboração desse Plano de Resíduos Sólidos tem como consequência que os estados e municípios não receberão recursos da União para a gestão de resíduo sólido (PORTAL BRASIL, 2014).

Pelo Brasil, há várias centrais de reciclagem de RCC, a primeira foi criada em 1991 na cidade de São Paulo, desde então outras cidades e estados vem aderindo a esse centro, tais como Ribeirão Preto (SP), São José dos Campos (SP), Piracicaba (SP), Vinhedo (SP), Guarulhos (SP), Ribeirão Pires (SP), Belo Horizonte (MG), Londrina (PR) e Brasília (DF). E esse número de centros ainda tende a aumentar para a regularização das cidades com a Resolução 307 do CONAMA (NUNES, 2004).

Para a implantação do centro de reciclagem dos Resíduos de Construção Civil deve realizar inicialmente um diagnóstico atual da situação do município visando atender as exigências da Resolução 307 do CONAMA. Sendo viável o centro de reciclagem, há a formulação de um Plano de Gerenciamento Integrado de RCC e por fim os processos de beneficiamento do RCC que consiste no seu recebimento nas centrais seja essa de médio ou pequeno porte. Então ocorre à seleção dos resíduos e sua descontaminação, em seguida passa pelo processo de trituração e peneiramento obtendo assim por fim os agregados reciclados (NUNES, 2004).

Devido às características geológicas, morfológicas, do desenvolvimento tecnológico da indústria, matéria-prima e técnicas de construção e de demolição, a composição dos resíduos é variável de acordo com os municípios, além dos aspectos sazonais que influenciam dentro do município (NUNES, 2004).

Na cidade de Londrina (PR), o centro de moagem de Resíduo de Construção Civil foi inaugurado em 1994 sendo o primeiro do Paraná, tendo capacidade de britagem de 70 a 80 ton/dia. E localizado em uma área de 174.000 m² na Zona sul da cidade e foi estimado que a cidade produzisse 1280 toneladas diárias de RCC. No entanto, em julho de 2003, o Ministério Público embargou a utilização do centro de moagem que se encontrava junto com o aterro de inertes, colocando este em licitação e que a empresa ganhadora deveria aumentar a capacidade de produção (NUNES, 2004). Em 2011, a Companhia Municipal de Transporte e

Urbanização (CMTU) tentava encontrar uma empresa para a ativação do Centro de Moagem de Resíduos de Construção e Demolição (COSTA, 2011).

2.2 GESSO

A matéria-prima do gesso é a gipsita que é um sulfato de cálcio di-hidratado ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). Sua característica peculiar é facilidade de desidratação e rehidratação, quando calcinada perde 3/4 de água e quando misturado com água pode ser moldado antes de endurecer adquirindo consistência mecânica (BALTAR, BASTOS e LUZ, 2005).

Sua utilização pode ser na forma natural aplicada na agricultura e na indústria de cimento, na sua forma calcinada é o gesso utilizado na construção civil e também material ortopédico e dental (BALTAR, BASTOS e LUZ, 2005).

Os maiores produtores de gipsita se encontram nos Estados Unidos, Irã, Canadá, México e Espanha. O Brasil possui a maior reserva, entretanto, representa 1,4% da produção mundial. Somente Pernambuco, é responsável por 95% da produção do país, na jazida de Araripe é considerado o minério de melhor qualidade no mundo (BALTAR, BASTOS e LUZ, 2005).

A composição teórica da gipsita é CaO , SO_3 e H_2O e suas características físicas são: de cor variável podendo ser incolor, branca e cinza, um brilho vítreo, nacarado ou sedoso, na escala Mohs apresenta dureza 2 e sua morfologia depende das condições e ambientes que são formadas (BALTAR, BASTOS e LUZ, 2005).

Seu processamento é basicamente extração, seleção manual, britagem, moagem e peneiramento, sendo comumente utilizados britadores de mandíbulas e moinhos de martelo. O processo de cominuição deve apresentar ao fim da etapa uma distribuição granulométrica uniforme para que não haja desidratação desigual (BALTAR, BASTOS e LUZ, 2005).

Para a produção do gesso de melhor qualidade é possível remover os materiais de ganga, contaminantes que em geral, são argilas ou areia por meio da separação granulométrica e alguns casos, por filtração para a purificação da gipsita (BALTAR, BASTOS e LUZ, 2005).

O sulfato de cálcio di-hidratado ao ser calcinado entre 125 e 180 °C perde parte de sua água transformando-se em sulfato hemidratado de cálcio, comumente conhecido como gesso (BALTAR, BASTOS e LUZ, 2005).

O trabalho de Silva (2008) apresenta análise térmica diferencial de um resíduo de gesso coletado de uma construção civil no município de Natal – RN. Essa análise apresenta um pico endotérmico a 120,63 °C e dois picos exotérmicos 351,7 °C e 887 °C, o pico endotérmico foi associado à desidratação do sulfato de cálcio di-hidratado transformando-se em sulfato de cálcio hemidratado, o gesso. No primeiro pico exotérmico, o gesso se converte em anidrita II supercalcinada e no segundo, essa anidrita passa ser classificada como gesso calcinado à morte.

Em outro trabalho de análise térmica do resíduo de gesso, o intervalo de temperatura de 160 °C a 190 °C foi associada a formação de anidrita III solúvel que é instável e ávida por água, podendo ter sua reversão para hemidratado com a própria umidade do ar. Esta fase é a intermediária entre o sulfato de cálcio hemidratado e anidrita II. A transformação em anidrita II insolúvel ocorre na faixa de 350 °C e se a transformação ocorrer acima de 350 °C a anidrita é denominada supercalcinada e pode levar até sete dias para hidratar. Outro tipo de anidrita II se forma entre 700 °C e 800 °C, denominada “anidrita calcinada à morte”, possui reatividade menor que a supercalcinada e pode levar meses para se hidratar. Se for elevado ainda mais a temperatura da calcinação da gipsita, entre 800 °C a 1230 °C, há formação da anidrita I ou anidrita- α (CaSO_4) podendo estar contaminada com óxido de cálcio. A decomposição da anidrita I em óxido de cálcio e anidrido sulfúrico ocorre a temperatura acima de 1230 °C (PINHEIRO, 2011 apud JOHN, CINCOTTO, 2007).*

2.2.1 O gesso na construção civil

A calcinação pode ocorrer em fornos sob pressão atmosférica ou em autoclaves, essa diferença de pressões produz o gesso α e o gesso β , esse último é feito sob pressão atmosférica. O gesso β é subdividido em tipo A que são gesso de fundição e o gesso tipo B que são materiais de revestimento manual. O gesso α ocorre em autoclaves, resultado em um gesso mais homogêneo e sua aplicação é mais nobre (BALTAR, BASTOS e LUZ, 2005).

* JOHN, V.M. CINCOTTO, M. A. Gesso de construção civil. IN: ISAIA, G.C. **Materiais de construção civil**. São Paulo: IBRACON, 2007, p. 727-760.

O emprego do gesso na construção civil deve apresentar um grau de pureza superior a 75%. A produção do gesso β pode ser do tipo A e tipo B que varia de acordo com o processo e obtendo diferentes produtos (BALTAR, BASTOS e LUZ, 2005).

O tipo A, que é o gesso de fundição, é utilizado para confecção de pré-moldados (gesso acartonado), placas de rebaixamento de tetos, blocos para paredes divisórias, gesso para isolamento térmico e acústico e gesso para porta corta fogo (BALTAR, BASTOS e LUZ, 2005).

O tipo B, que é o gesso de revestimento manual, são aplicados em paredes e tetos, geralmente em substituição do reboco e/ou massas de acabamento e gesso cola para rejunte de pré-moldados (BALTAR, BASTOS e LUZ, 2005).

A classificação do resíduo de gesso da construção civil é feita a partir da Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), em que os resíduos de construção civil são classificados da seguinte maneira:

- Classe A – são materiais recicláveis ou reaproveitados como agregados, tais como:
 - De construção, demolição, reformas e reparos de obras de infraestrutura, por exemplo, pavimentação.
 - De construção, demolição, reformas e reparos de edificações como componentes cerâmicos (tijolo, telha, blocos e etc), argamassa e concreto.
 - Processo de fabricação e/ou demolição de pré-moldados em concreto produzidos em canteiros de obras.
- Classe B – são resíduos recicláveis para outras aplicações como: papel, plástico, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso.
- Classe C – são resíduos que não são recicláveis ou reutilizados devido a falta de desenvolvimento de tecnologia ou inviabilidade econômica.
- Classe D – são materiais perigosos provenientes do processo de construção, demolição, reparo e reforma que podem ser: tintas, solventes, óleos e produtos que contenham amianto ou outros que são nocivos à saúde.

O gesso disposto em aterros sanitários não é uma prática recomendada devido ao fato que se entrar em contato com matéria orgânica e água, sob condições de baixo pH e ação

bacteriana redutoras de sulfatos, podem formar gás sulfídrico que possui o odor característico de ovo podre além de ser, tóxico e inflamável (MUNHOZ e RENÓFIO, 2006).

O passo inicial para a redução do resíduo de gesso seria o melhoramento do tempo útil de trabalho do gesso antes de ocorrer o tempo de pega e uma especialização na mão-de-obra com intuito de evitar o desperdício (MUNHOZ e RENÓFIO, 2006)

2.2.2 Reaproveitamento do gesso

No Brasil, são estimados que 5% do gesso acartonado e 30% do gesso de revestimento são transformados em resíduo durante a construção. E somente na cidade de São Paulo são gerados 12000 ton/ano de resíduo de gesso (MUNHOZ e RENÓFIO, 2006).

Por isso, alguns trabalhos vêm sendo realizados para o reaproveitamento do resíduo de gesso tais como o trabalho de Tavares et al. (2010) que teve como objetivo o reaproveitamento do resíduo de gesso adicionando em pastas de gesso para aplicação de revestimento interno de vedação verticais. O resultado obtido foi à incorporação de até 10% em massa sem que houvesse alterações significativas nas propriedades estudadas que foram dureza superficial, resistência à compressão e de aderência (TAVARES, LORDSLEEM, *et al.*, 2010).

A autora Silva (2008) fez uma análise de incorporação do resíduo de gesso em massa cerâmica vermelha. Utilizando as caracterizações como absorção de água, retração linear, porosidade aparente, massa específica e tensão de ruptura à flexão, a autora observou que seria possível a incorporação até 15% de resíduo. Ainda no trabalho, a autora cita outras possibilidades de trabalhos sobre o reaproveitamento do gesso, por exemplo: aditivo para compostagem, forração para animais, absorventes de óleo e secagem de lodo de esgoto (SILVA, 2008).

Na reutilização do gesso utilizado como molde para colagem de barbotina, o gesso aquecido a 150°C perde parte da água se tornando hemidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) quando moído e adicionado à água retorna novamente para gesso. O procedimento feito foi a moagem do resíduo de gesso e misturado ao cimento Portland na composição de 3, 4 e 5% em peso de resíduo. O resultado obtido comparado à mistura referência de gesso natural e cimento Portland foi à diminuição do tempo de endurecimento do cimento (tempo de pega). E isso é atribuído pela quantidade de hemidratado que o resíduo continha que era de 12,45%

comparado ao gesso natural que possuía 1,61%. As propriedades mecânicas permaneceram praticamente iguais, sendo possível a utilização de resíduo de gesso em cimento Portland (CHANDARA, AZIZLI, *et al.*, 2009).

O gesso pode ser reciclado e adicionado para executar a mesma função original, isso é comumente efetuado entre os fabricantes de paredes de gesso, podendo ser utilizado entre 10 a 20% do resíduo (WINKLER, 2010).

2.3 CERÂMICA VERMELHA

A cerâmica vermelha possui essa denominação pela sua coloração avermelhada característica dos seus materiais que são tijolos, telhas, ladrilhos de piso, objetos de adorno, lajes cerâmicas e outros. Os processos de moldagem podem ser por processos manuais, extrusão e prensagem e a variação de temperatura de queima de 950 °C a 1250 °C conforme a origem da matéria-prima.

No Brasil são cerca de 14000 empresas de cerâmica vermelha em grande parte de porte médio e pequena (PINHEIRO e HOLANDA, 2010). A indústria cerâmica vem expandindo principalmente pela demanda da construção civil e essa já representa 1% do PIB, sendo que a indústria cerâmica vermelha representa 40% dessa participação nacional (SANTOS, SILVA, *et al.*, 2005).

A argila que é utilizada na indústria cerâmica estrutural possui natureza heterogênea e geralmente, constituída de materiais plásticos e não plásticos, com um vasto espectro de composições, motivo pelo qual permitem a presença de materiais residuais de vários tipos, mesmo em porcentagens significantes (SANTOS, 1989).

Além do reaproveitamento dos RCC's, o reaproveitamento de resíduo de atividades industriais incorporados à massa cerâmica para produção de artefatos da construção civil também tem aumento significativo nas linhas de pesquisas, dessas podem ser citadas a incorporação de lodo de estação de tratamento de água em massas cerâmicas vermelhas que pode ser de até 8% de resíduo (TARTARI, MÓDENES, *et al.*, 2011); outros resíduos além do lodo de estação de tratamento de água que podem ser incorporados na massa cerâmica são cinza de lenha e casca de arroz para produção de tijolos (MEDEIROS, SPOSTO, *et al.*, 2010).

O uso de resíduo de calcário laminado proveniente do seu próprio beneficiamento, em que é estimada uma perda de 60 a 90% do total extraído, os autores obtiveram de

resultado a incorporação de 10% do resíduo na massa cerâmica (MENEZES, MELO, *et al.*, 2010). Outro problema também de beneficiamento é o resíduo de alumina eletrofundida, de acordo com os autores, a variação utilizada foi de 5, 10, 15, 20, 25 e 30% de resíduo. A porcentagem que melhor apresentou resultado foi incorporação de até 20% de resíduo a uma temperatura de 1000°C (MENEZES, MARQUES, *et al.*, 2010).

O caulim utilizado na indústria de papel, borracha, pesticida, produtos alimentícios, farmacêuticos e outros também gera uma grande quantidade de resíduo em seu beneficiamento chegando a ser 80 a 90% do volume bruto explorado. O estudo foi feito para a incorporação de resíduo gerado na produção de blocos de vedação e obtiveram uma quantidade de até 70% de resíduo incorporado na massa cerâmica para a aplicação em blocos (REZENDE, MENEZES, *et al.*, 2008).

No trabalho de Silva (2007), foi utilizada uma mistura de resíduo de construção civil constituído de areia, resto de argamassa, concreto, cimento, tijolos vermelhos e blocos de cimento essa mistura foram incorporados em uma mistura de argila plástica e não plástica já utilizada para fabricação de telhas e tijolos para alvenaria. A quantidade do resíduo incorporado foi de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% em peso. O resultado obtido foi de incorporação máxima de 40% de resíduo a temperatura de 1150 °C nessa temperatura atende-se todas as especificações requeridas para tijolo de alvenaria, tijolo furado e telha. Para o tijolo de alvenaria todas as composições estudadas nas temperaturas de 950 °C, 1000 °C, 1050 °C, 1100 °C podem ser fabricados.

2.4 ARGILA

As argilas são materiais naturais, terrosos, de granulação fina e possuem plasticidade após o material ser umedecido. As argilas são constituídas por um número restrito de minerais conhecidos por argilominerais que são partículas cristalinas de tamanhos muito pequenos. Esses argilominerais podem ser silicato hidratado de alumínio, ferro e teor de elementos alcalinos e alcalinos-terrosos, além de matérias orgânicas, tais como sais solúveis e partículas de quartzo, pirita, mica, calcita, dolomita e outros minerais residuais (SANTOS, 1989).

A presença de partículas grosseiras na argila pode estar associada a areia, essas causam problemas durante a sinterização devido à transformação alotrópica do quartzo em

temperaturas perto de 570 °C, resultando em trincas e conseqüentemente, redução da resistência mecânica (VIEIRA e PINHEIRO, 2011).

Um empacotamento denso ocorre entre partículas maiores que possuem entre elas interstícios que são preenchidos por partículas menores. A obtenção de compactos densos possui vantagens tais como melhor sinterabilidade, resultando em um corpo cerâmico com pouca porosidade, já que os espaços vazios entre as partículas no compactado são menores, e conseqüentemente, a redução de poros melhora a resistência mecânica (ORTEGA et al., 1997).

As argilas são aplicadas em diversos setores da indústria cerâmica, produtos que são tijolos, telhas, lajes, material sanitário, porcelana doméstica, de laboratório e material refratário, para a indústria de borracha e plástico como carga ativa e inerte, indústria de papel e papelão como carga e cobertura pela indústria metalúrgica como aglomerante de areia de moldagem para fundição e pelotização de minérios de ferro (SANTOS, 1989).

Alguns tipos de argilas são apresentados a seguir:

- Argila (*clay*) – apresenta plasticidade após ser devidamente umedecida e após a secagem apresenta rigidez e adquire dureza após a queima em temperatura elevada (SANTOS, 1989).
- Adobe (*adobe*) – termo usado para argilas adaptadas à manufatura de tijolo cru, seco ao sol (SANTOS, 1989).
- Argila plástica para cerâmica branca (*ball-clay*) – é uma argila muito plástica, de granulometria muito fina, refratária, apresenta cor marfim, creme ou branca após a queima. Tem como função também agente de suspensão (SANTOS, 1989).
- Argila bauxítica (*Bauxiticclay*) – é uma argila que contém minerais bauxíticos misturados, tais como, gibsita e diásporo, argilomineirais do grupo da caulinita, aplicado na fabricação de materiais refratários (SANTOS, 1989).
- Argila para tijolos (*brickclay*) – argilas que são adequadas para produção de tijolos (cerâmica estrutural), contêm quantidades apreciáveis de óxidos e hidróxidos de ferro e potássio que agem como fundente (SANTOS, 1989).

A classificação e as propriedades das argilas são complexas de serem feitas devido à grande variação das condições geológicas e variação na composição mineralógica tanto

qualitativa como quantitativa, assim como a composição não-argilominerais que podem ser variadas (SANTOS, 1989).

A variação da composição química resulta em diferentes propriedades ao material argiloso, tais como a presença do óxido de silício quando livre é o quartzo que aumenta a permeabilidade da peça a verde e controla a retração, possui a função de estruturar a peça cerâmica. Entretanto, a presença desse óxido é também indesejado devido à transformação de fase de quartzo α para quartzo β , ocasionando trincas na peça após a queima refletindo diretamente nas propriedades como absorção de água e resistência à fratura (GRUN, 2007).

A presença do óxido de alumínio se encontra na forma combinada para formar os argilominerais. O óxido de ferro e dióxido de titânio são responsáveis pela coloração, sendo o primeiro possui a coloração avermelhada e o outro atua como intensificador da cor avermelhada proveniente do ferro. O óxido de potássio, geralmente se encontra combinando com o silicato de alumínio formando o feldspato que é um fundente. Os óxidos de cálcio e magnésio indicam a presença de calcita, carbonato de cálcio e da dolomita, carbonato duplos de cálcio e magnésio. Em geral, esses carbonatos são agentes fundentes (GRUN, 2007).

Por conta dessa variação na composição química e mineralógica é possível inserir resíduos na mistura que é empregada na fabricação de blocos cerâmicos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados foram uma mistura de argilas já empregada na confecção de blocos cerâmicos feitos na Cerâmica Palmeira em Jataizinho (PR) e o resíduo de gesso tipo β que foi coletado da empresa Kurica Seleta Ambiental em Londrina (PR).

3.2 METODOLOGIA

Inicialmente as matérias-primas foram secas à 110 °C por 24 horas, posteriormente o resíduo de gesso e a mistura de argilas foram desagregados utilizando o moinho de martelo. Para fins de caracterização e controle de tamanho de partícula, foi feita a distribuição granulométrica da argila, pela técnica de peneiramento utilizando as peneiras Bertel com abertura de 48, 60, 80, 150, 200 e 270 mesh, que possuem abertura de 0,3 mm, 0,25 mm, 0,18 mm, 0,106 mm, 0,075 mm e 0,053 mm respectivamente. Entretanto, a argila utilizada para realizar a mistura com o resíduo de gesso foi apenas desagregada no moinho de martelo. Já o pó do resíduo de gesso utilizado foi totalmente passado pela peneira com abertura de 150 mesh (0,106 mm).

Optou-se por não fazer moagem na argila antes de misturá-la ao resíduo de gesso para deixar o procedimento o mais próximo possível do processamento empregado na indústria cerâmica. A argila foi apenas desaglomerada em moinho de martelo.

Depois de feito o beneficiamento da matéria-prima realizou-se a caracterização dos pós, por meio das técnicas descritas a seguir.

3.2.1 Fluorescência de Raios X

A análise de fluorescência de raios X (FRX) foi realizada no Laboratório do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) no Rio de Janeiro.

As amostras foram prensadas por prensa automática VANEON, com uma carga de 20 toneladas por 30 segundos. A quantidade de amostra utilizada foi 0,3g de ácido bórico e 3g da amostra previamente seca à 100°C.

Os teores foram determinados por análise semiquantitativa através do espectrômetro por fluorescência de raios X (WDS) do modelo AXIOS (Panalytical).

3.2.2 Difração de Raios X

Os ensaios de difração de raios X foram realizados em um difratômetro Siemens modelo 5100 com radiação $K\alpha_{(Cu)}$, operando com tensão de 40 KV e corrente de 40mA e velocidade do goniômetro de aproximadamente 2°/min., variando de 2θ de 10° a 80°. As análises foram feitas no Laboratório de Caracterização Estrutural da Universidade Federal de São Carlos.

3.2.3 Análise Termogravimétrica

A análise termogravimétrica (TGA) foi realizada no equipamento TGA-51 (SHIMADZU), com suporte de platina e atmosfera de nitrogênio.

A argila utilizada foi aquecida a uma taxa de 10°C/min até a temperatura de 1000°C. O resíduo de gesso também foi aquecido a uma taxa de 10°C/min até a temperatura de 950°C.

3.2.4 Preparação dos Corpos de Provas

A incorporação do resíduo de gesso na argila foi feita por um misturador mecânico Fisatom (711), por 3 minutos, utilizando as porcentagens em peso de 0; 1; 2; 3; 5; 7,5 e 10% de resíduo de gesso. As amostras foram denominados como amostra padrão, G1, G2, G3, G5, G7,5 e G10 respectivamente.

As misturas e a amostra padrão foram umidificadas e granuladas utilizando um teor de 8% umidade. Em seguida, foram prensadas em um molde retangular (70 mm x 20 mm x 5 mm) em prensa uniaxial de simples efeito, com uma pré-prensagem de 7,14 MPa por 15 segundos e, posteriormente, pressão de 21,43 MPa por 60 segundos. Foram confeccionados 5 corpos-de-prova para cada porcentagem de resíduo de gesso.

Devido à formação de grânulos para compactação dos corpos de provas, deve-se levar em conta a interferência desses na densidade do corpo cerâmico. A compactação de grânulos possui três estágios, no primeiro ocorre o rearranjo desses grânulos, iniciando a deformação plástica dos mesmos, conhecida como ponto de escoamento. No estágio seguinte há a quebra dos grânulos e então o preenchimento dos espaços vazios e conseqüentemente dos poros intergranular. E por último, ocorre um pequeno aumento da densidade devido à redução da porosidade intergranular (SANTOS, 2012).

3.2.5 Queima dos Corpos de Prova

Os corpos de prova foram queimados em forno mufla (ML 1300, Fortelab), com rampas de aquecimento de 5 °C/min até 100 °C por 3 horas e 3 °C/min até a temperatura de queima de 900 °C, 1000 °C e 1100 °C, por 2 horas, e o resfriamento natural.

As caracterizações e determinação de propriedades mecânicas após a queima são descritas a seguir.

3.2.6 Caracterização dos corpos de prova após a queima

Os corpos de prova foram caracterizados por retração linear à queima e absorção de água seguindo a norma da ABNT NBR 15270-3, a porosidade aparente e a densidade aparente.

Para determinação da tensão de ruptura à flexão três pontos, segundo a norma ASTM C1161, utilizou-se a máquina universal de ensaio WDW-100E com afastamento de 50 mm entre os apoios e a uma velocidade de aplicação de carga de 0,5 mm/min.

As fórmulas a seguir foram utilizadas para os cálculos das caracterizações descritas anteriormente.

Retração linear

$$R (\%) = (L_0 - L_f / L_0) * 100$$

Onde L_0 é comprimento inicial do corpo de prova em centímetros e L_f comprimento do corpo de prova após a queima.

A fim de simplificação, as fórmulas de absorção de água, porosidade aparente e densidade aparente, as denominações utilizadas foram P_s peso do corpo de prova seco, P_u peso do corpo de prova úmido e P_i peso do corpo de prova imerso.

Absorção de água

$$AA (\%) = (P_u - P_s / P_s) * 100$$

Porosidade aparente

$$PA (\%) = ((P_u - P_s) / (P_u - P_i)) * 100$$

Densidade aparente

$$DA (\text{g/cm}^3) = (P_s / (P_u - P_i)) * 100$$

Tensão de ruptura a flexão três pontos

Em que P é a carga atingida no momento da ruptura (N), L a distância entre os apoios (mm), b a largura do corpo de prova (mm) e h a altura do corpo de prova (mm).

$$TRF (\text{MPa}) = 3PL / 2bh^2$$

A porosidade do material irá influenciar significativamente na propriedade mecânica do corpo cerâmico, pois a concentração de tensão se encontra em torno do poro, com isso quanto maior a porcentagem de porosidade menor será a tensão de ruptura a flexão do material.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados experimentais obtidos.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

Para a caracterização da argila foi feita a distribuição granulométrica por técnica de peneiramento e para ambos, os pós de argila e do resíduo de gesso foram feitas análise por fluorescência de raios X, análise de difração de raios X e análise termogravimétrica. Os resultados são apresentados a seguir.

4.1.1 Caracterização física da argila

A distribuição granulométrica da argila é representada na Figura 1 a seguir.

Na Figura 1, a granulometria da argila é em grande parte fina (< 270 mesh), no entanto, apresenta uma quantidade uma granulometria grosseira (150 mesh). A granulometria fina contribui para melhor compactação e melhor sinterabilidade durante o processo de queima.

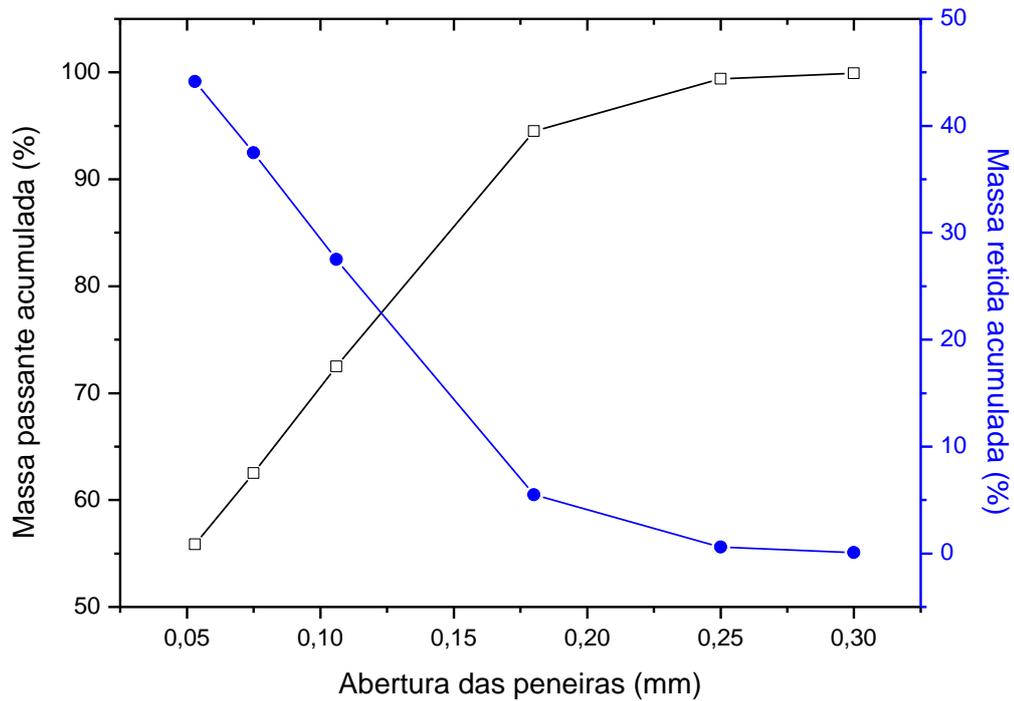


Figura 1 - Distribuição granulométrica da argila
Fonte: Autoria própria.

4.1.2 Fluorescência de Raios X

A Tabela 1 apresenta as composições químicas da argila e do resíduo de gesso. É possível observar que a composição química da argila apresenta alto teor de óxido de silício, óxido de alumínio e baixos teores de óxido de ferro, dióxido de titânio, óxido de potássio e óxido de magnésio.

No resíduo de gesso os teores de óxidos mais significativos são o óxido de cálcio e o trióxido de enxofre que formam o sulfato de cálcio, que quando hidratado se torna sulfato de cálcio di-hidratado, a gipsita.

Na Tabela 1 também está apresentado perda ao fogo (PF), que para a argila é de 9,1% e para o resíduo de gesso de 8,3%. A redução de peso excessiva com o aumento de temperatura pode resultar em retração e porosidade durante a queima.

Tabela 1 - Composição química da argila e do resíduo de gesso em porcentagem de óxidos.

Amostra	Composição química (%)								PF
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	K ₂ O	
Argila	59,9	23,5	0,92	<0,1	4,6	<0,1	0,65	0,94	9,1
Resíduo de gesso	0,36	0,12	0,18	53,7	<0,1	37,1	ND	<0,1	8,3

Fonte: Autoria própria.

4.1.3 Análise de difração de raios X

A técnica de difração de raios X foi utilizada com a finalidade de identificar as fases presentes tanto na argila como no resíduo de gesso.

Na Figuras 2 mostra o difratograma de raios X da argila.

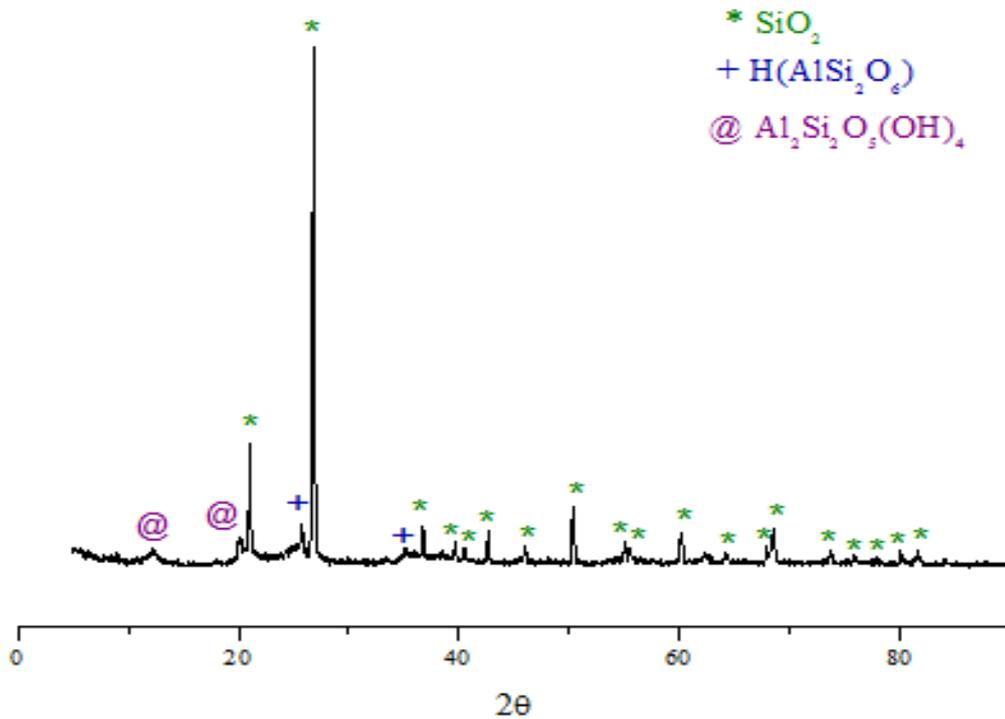


Figura 2 - Difratograma de raios X da mistura de argila.

Fonte: Autoria própria.

No difratograma da argila, as fases cristalinas identificadas foram quartzo, haloisita-7Å, sendo que o quartzo apresenta o pico com maior intensidade. A presença do óxido de silício e do óxido de alumínio foi confirmado pela análise de fluorescência de raios X, mostrado na Tabela 1.

A presença do quartzo na composição da argila contribui para controlar a retração da peça quando em pequena quantidade, já em grande quantidade, diminui a resistência mecânica da peça cerâmica.

O difratograma de raios X do resíduo de gesso está apresentado na Figura 3 abaixo.

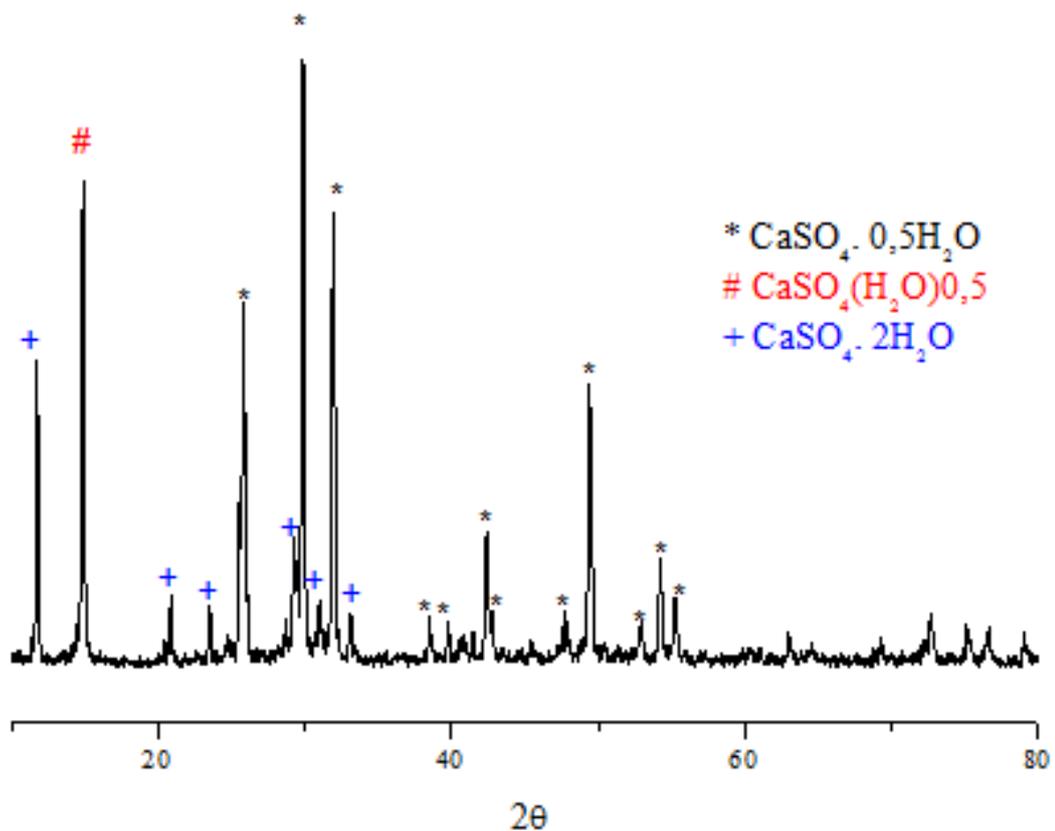


Figura 3 - Difratograma de raios X do resíduo de gesso.
Fonte: Autoria própria.

Já no difratograma do resíduo de gesso, as maiores ocorrências são do sulfato de cálcio hemidratado e o sulfato de cálcio di-hidratada. Confirmando a análise química apresentada na Tabela 1, em que para o resíduo de gesso apresenta o óxido de cálcio e o trióxido de enxofre.

4.1.4 Análise Termogravimétrica

As análises do comportamento térmico da argila está apresentado na Figura 4. A perda de massa da argila entre 100 °C e 150 °C pode estar relacionada à eliminação de água livre e a segunda perda de massa na faixa de temperatura entre 500 °C e 600°C está associado à dextridroxilação dos argilominerais presentes na argila.

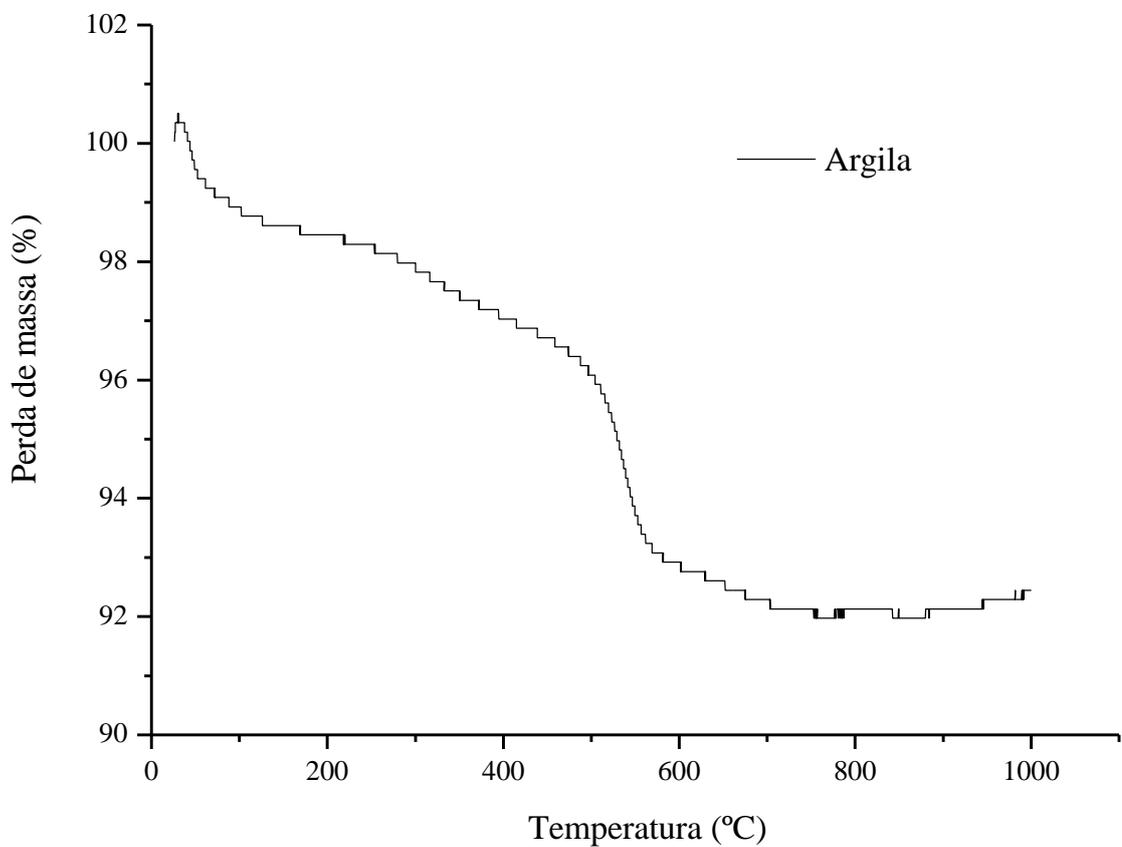
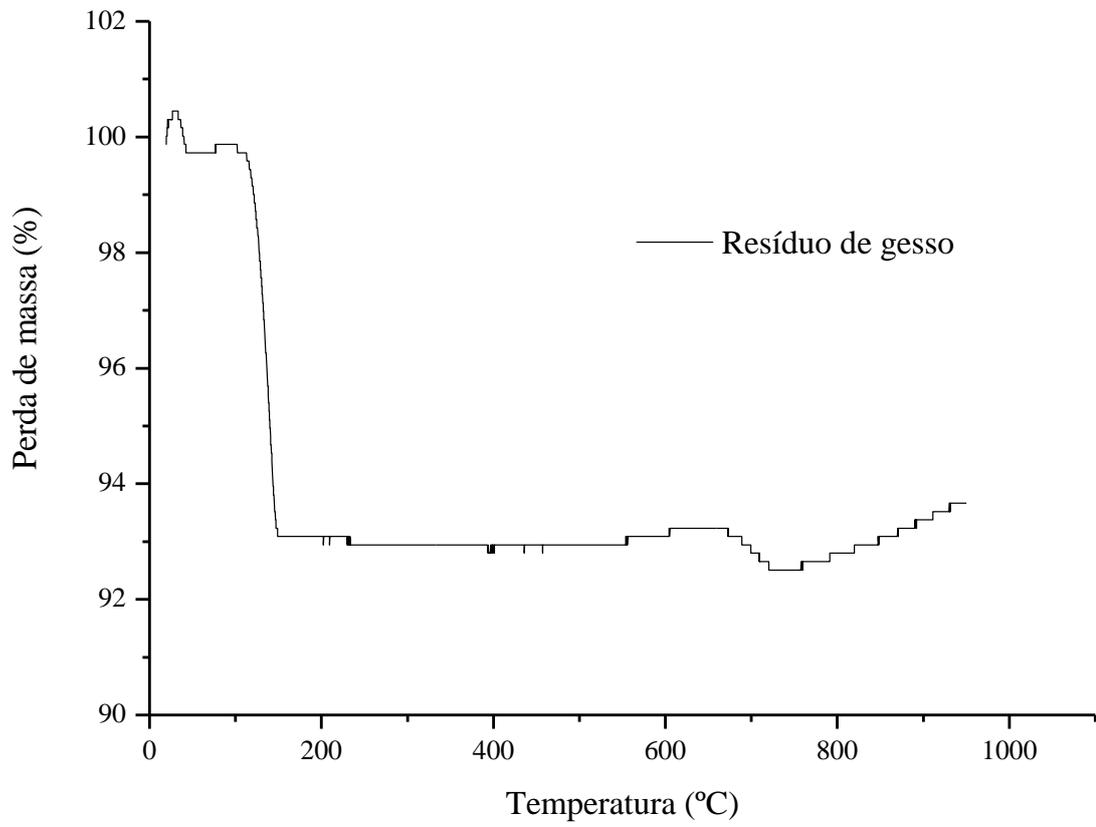


Figura 4 - Análise termogravimétrica da argila.
Fonte: Autoria própria.

A análise termogravimétrica do resíduo de gesso, apresentado na Figura 5 abaixo, mostra uma perda de massa entre 100 °C e 150 °C e uma segunda perda entre 700 e 800 °C.

A curva termogravimétrica do resíduo de gesso confirma as fases presentes pelo difratograma de raios X apresentado na Figura 3.



**Figura 5 - Análise termogravimétrica do resíduo de gesso β .
Fonte: Autoria própria.**

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS CERÂMICOS

Os resultados a seguir são dos corpos de prova depois de feita a sinterização.

4.2.1 Densidade aparente

A densidade aparente após a queima dos corpos cerâmicos está apresentada na Figura 6.

As amostras padrão, G1, G2, G3, G5 e G7,5 apresentaram aumento da densidade específica com a elevação da temperatura de queima. As amostras G1 e G2 apresentaram densidade específica próxima da amostra padrão a 1100 °C

As amostras com maiores quantidades de resíduo de gesso a 1100 °C apresentaram densidade aparente menor que a amostra padrão. Essa redução pode estar associada a transformação de fases que ocorre entre 800 e 1230 °C como descrito anteriormente.

Na temperatura de queima 1100 °C a amostra padrão apresentou em relação a temperatura de queima de 1000 °C, um aumento de 8,7%, para a composição G1 na temperatura de 1100 °C em comparação a 1000 °C o aumento foi de 6,4% e para G2 na mesma condição anterior, o aumento foi de 7,5%. Já para a amostra G10 na temperatura de 1100 °C comparando com a temperatura de 1000 °C houve uma redução de 1,5%.

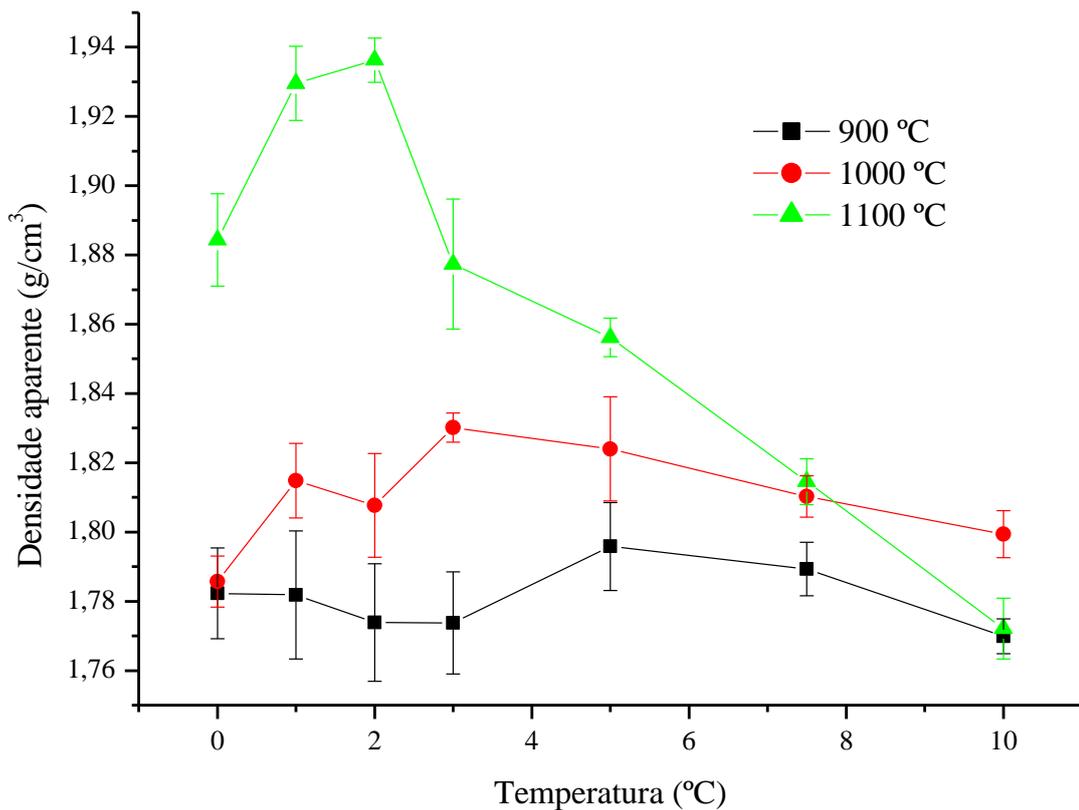


Figura 6 - Densidade aparente dos corpos cerâmicos após a queima.
Fonte: Autoria própria.

4.2.2 Retração linear

A Figura 7 abaixo apresenta a retração linear total de acordo com a temperatura de queima para todas as composições.

A retração linear consiste na porcentagem da variação dimensional após a queima do material cerâmico, nas temperaturas de queima de 900 e 1000 °C as amostras com maior porcentagem de resíduo de gesso possuem maior retração linear comparada com a amostra padrão. Já na temperatura de 1100 °C ocorre o inverso, a amostra padrão possui maior retração linear e as amostras com maior quantidade de resíduo um decaimento na retração linear, que pode ser benéfico, pois, favorece a redução de trincas e fissuras nas amostras.

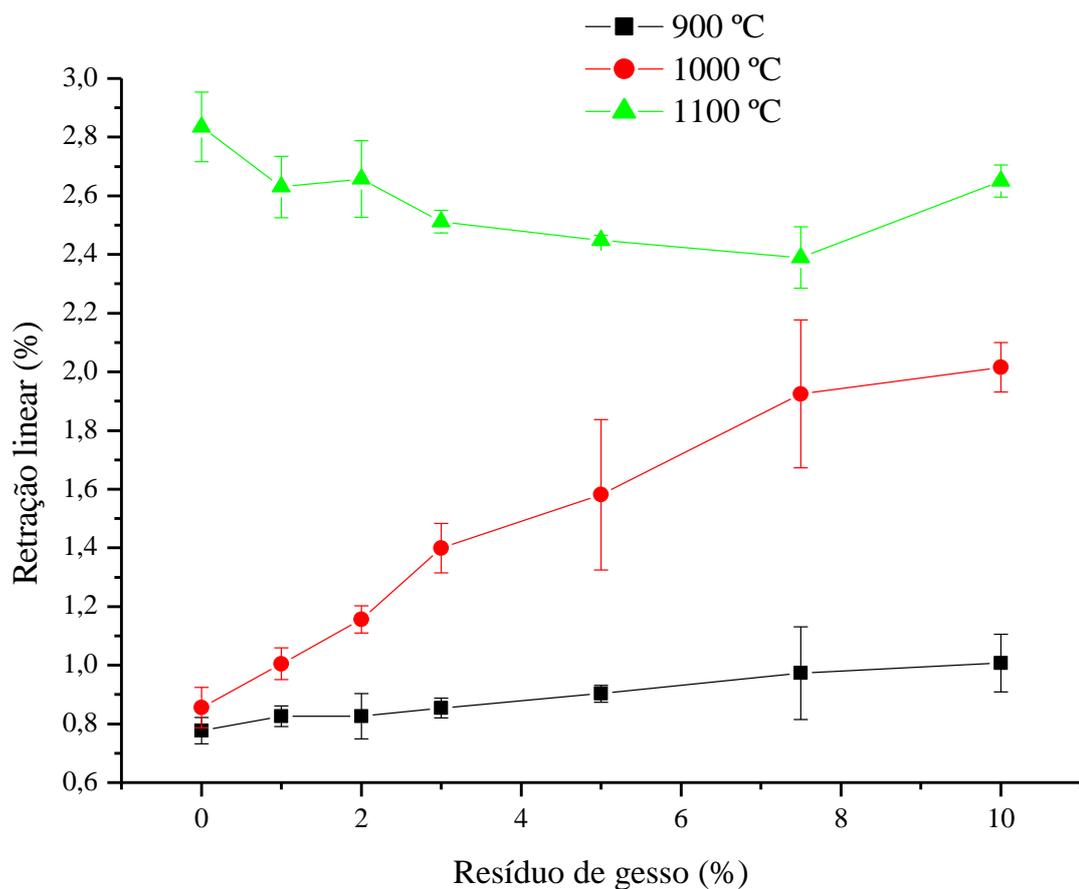


Figura 7 - Retração linear por temperatura dos corpos cerâmicos.
Fonte: Autoria própria.

4.2.3 Porosidade aparente

A Figura 8 apresenta a porosidade aparente das amostras após a queima. Em geral, ocorre a diminuição da porosidade com aumento da temperatura de queima, isso se mostra mais expressivos nas amostras G1 e G2 a 1100 °C. A variação na amostra padrão pode ter ocorrido devido a má compactação dos pós ou devido a variação granulométrica da argila como já demonstrado na Figura 1.

Até a temperatura de 1000 °C, todas as composições com resíduo de gesso apresentam porosidade menor que amostra padrão, isso pode ter ocorrido devido à presença de fundentes da argila, que esses diminuem a temperatura de formação de fase líquida durante a queima, e esse líquido tende a preencher as cavidades do corpo cerâmico.

A temperatura de queima de 1100 °C nas composições G7,5 e G10 apresentam porosidade maior que a amostra padrão.

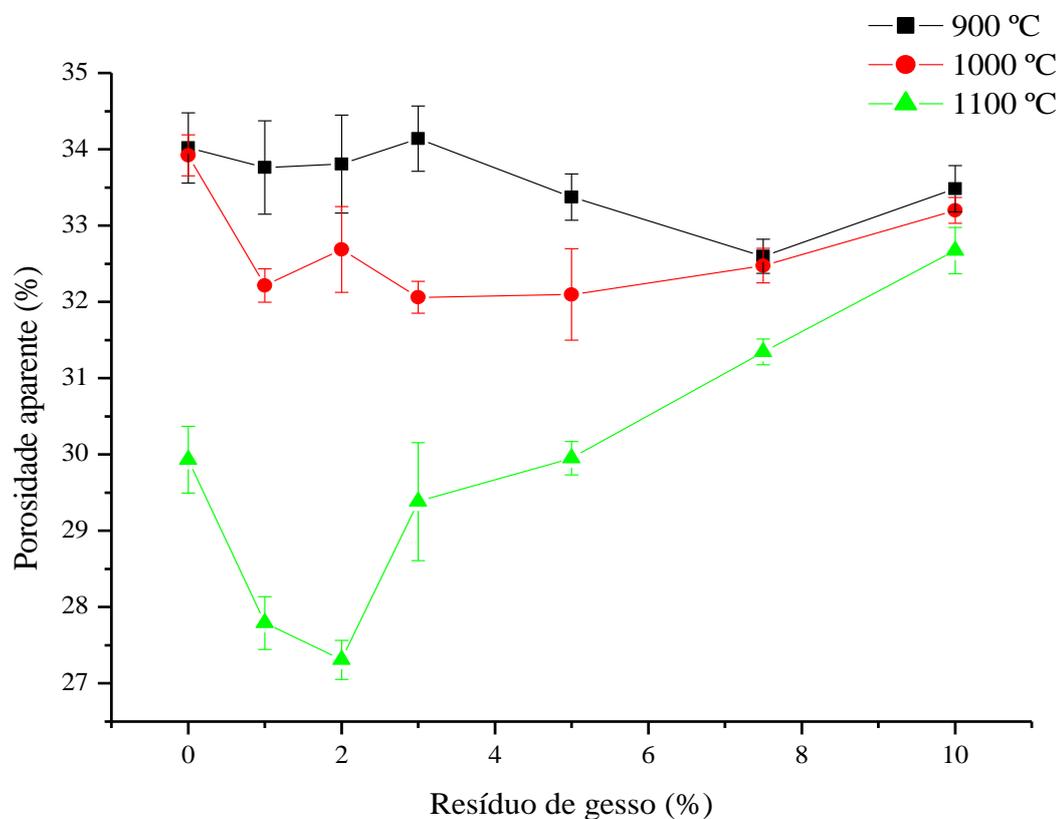


Figura 8 - Porosidade aparente dos corpos de provas após a queima.
Fonte: Autoria própria.

4.2.4 Absorção de água

Em geral, com aumento da temperatura ocorre uma menor absorção de água como é observado na a Figura 9. A amostra G2 apresenta a diminuição de absorção com o aumento de temperatura.

De acordo com a norma NBR 15270-1 (ASSOCIAÇÃO...,2005), a absorção de água para blocos cerâmicos não deve ser inferior a 8% e nem superior a 22%.

Como apresentado anteriormente, na Figura 8, a porosidade reduz com aumento de temperatura, portanto, há menor absorção de água, com exceção das amostras G7,5 e G10 que por apresentam maior porcentagem de resíduo.

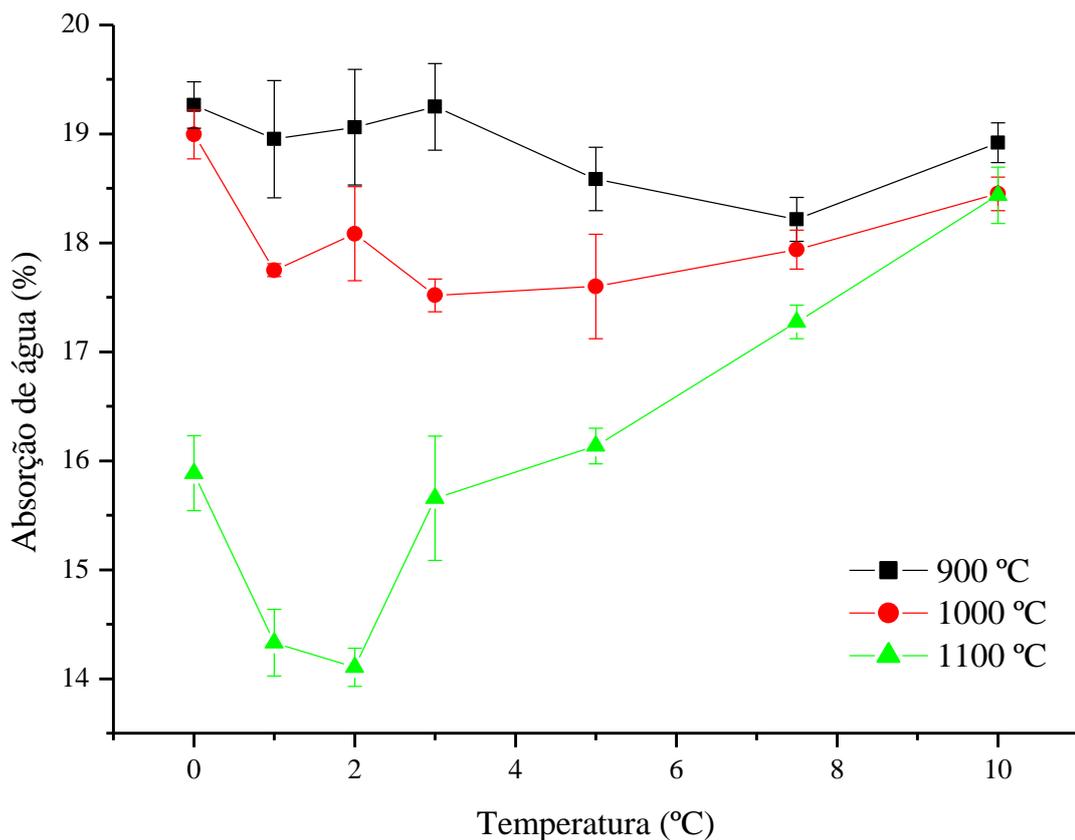


Figura 9 - Absorção de água dos corpos cerâmicos após a queima.
Fonte: Autoria própria.

4.2.5 Tensão de ruptura a flexão

A Figura 10 apresenta a tensão de ruptura por flexão em três pontos das amostras contendo os resíduos de gesso em diferentes porcentagens e para as temperaturas de queima 900 °C, 1000 °C e 1100 °C. Com o aumento na temperatura de queima, ocorre o aumento da resistência à tensão de ruptura, isso é causado devido a melhor sinterabilidade das amostras, que diminuem a quantidade de poros intergranular. A amostra G2 apresenta a maior tensão de ruptura e, a menor tensão de ruptura a amostra G10 ambas a 1100 °C.

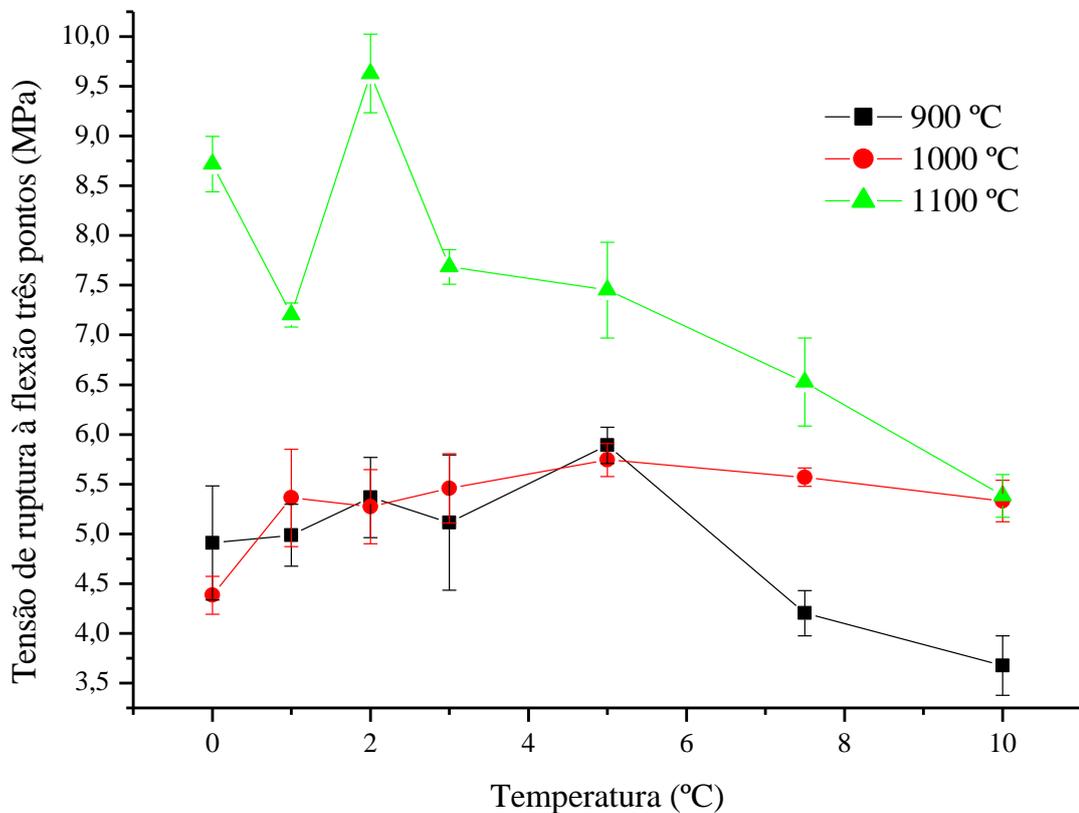


Figura 10 - Tensão de ruptura à flexão três pontos dos corpos cerâmicos após a queima.
Fonte: Autoria própria.

A diminuição da tensão de ruptura está associada a porosidade para maiores porcentagens de resíduo de gesso na temperatura de 1100 °C. Esse aumento da porosidade a essa temperatura é mostrado na Figura 8.

Foi possível observar que a composição que apresentou melhores resultados foi a amostra G2. Essa composição apresentou resultados satisfatórios e superiores à amostra padrão. As composições que apresentaram resultados inferiores à padrão foram G7,5 e G10. Vale ressaltar que a mistura de argilas empregada neste estudo é utilizada industrialmente na fabricação de tijolos, entretanto o processamento é realizado por extrusão. Seria interessante incorporar o resíduo de gesso na massa cerâmica e no mesmo tipo de processamento adotado na indústria.

5 CONCLUSÃO

Em geral, a incorporação de resíduo de gesso descartado da construção civil em massa cerâmica vermelha, pode ser aplicada em blocos cerâmicos, pois, apresenta propriedades similares à matéria-prima já empregada na produção dos mesmos.

A análise pelo difratograma de raios X identificou que na argila há presença de quartzo e haloisita-7Å e no resíduo de gesso a gipsita e o gesso (sulfato de cálcio hemidratado). Pela análise de composição química da argila há presença de óxido de silício e óxido de alumínio em maiores quantidades. No resíduo de gesso em grande quantidade o óxido de cálcio e o trióxido de enxofre estão presentes

Em grande parte, o aumento da temperatura de queima diminui a porosidade aparente e a absorção de água, e o aumento da densidade aparente, retração linear e tensão de ruptura à flexão.

A adição de teores elevados de resíduo de gesso acarretou na diminuição da propriedade mecânica e aumento de porosidade aparente e absorção de água. No entanto, encontra-se dentro da faixa da norma de absorção de água.

E a composição que melhor apresentou os resultados para cada item citado foi a amostra denominada G2 que apresenta 2% de resíduo de gesso.

Para trabalhos futuros sugere-se queimar as amostras em temperaturas superiores e estudar a incorporação do resíduo em massas extrudadas.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

_____. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos. Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria e vedação – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

BALTAR, Carlos A. M.; BASTOS, Flavia D. F.; LUZ, Adão B. D. **Rochas & Minerais Industriais - Usos e Especificações**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p 449, 2005.

BRASIL. 2002. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº. 307, de 5 de Julho de 2002. Publicado no **Diário Oficial da União**, nº. 136 de 17 de Julho de 2002.

CHANDARA, Chea. et al. Use of waste gypsum to replace natural gypsum as set retarders in portland cement. **Waste Management** , v. 29, p. 1675-1679, 2009.

COSTA, Daniel. **Jornal de Londrina**, 2011. Disponível em: <<http://www.jornaldelondrina.com.br/londrina/conteudo.phtml?tl=1&id=1117314&tit=CMTU-tenta-pela-segunda-vez-contratar-empresa-para-reformar-usina-de-moagem>>. Acesso em: 4 Novembro 2014.

CUNHA, Viviane; ZUNINO, Lourdes. **Materiais com Característica de Sustentabilidade. Teoria e práticas em construção sustentáveis no Brasil**, Rio de Janeiro, Novembro 2010.

GRUN, Elayne. **Caracterização de argilas provenientes de Canelinha/SC e estudo de formulações de massas cerâmicas**. 2007. 74 f. Dissertação (Ciência e Engenharia de Materiais) - Centro de Ciências Tecnológicas (CCT), Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2007.

MEDEIROS, Elisandra. N. M. D. et al. Incorporação de cinza de lenha, lodo de estação de tratamento de água e cinza de casca de arroz em massa cerâmica. Utilização da técnica de planejamento. **Cerâmica**, v. 56, n. 340, p. 399-404, 2010.

MENEZES, Romualdo R. et al. Reciclagem do resíduo da serragem de calcário laminado para produção de blocos cerâmicos. **Mineração**, v. 63, n. 4, p. 667-672, Outubro - Dezembro 2010.

MENEZES, Romualdo. R. et al. Uso de resíduo da produção de alumina eletrofundida na produção de blocos e telhas cerâmicos. **Cerâmica**, v. 56, n. 339, p. 244-249, 2010.

MUNHOZ, Fabiana C.; RENÓFIO, Adilson. Uso de Gipsita na construção civil e adequação para a P+L. **XII SIMPEP**, Bauru - SP, Novembro 2006.

NUNES, Kátia R. A. **Avaliação de investimentos e de desempenho de centrais de reciclagem para resíduos sólidos de construção e demolição**. 2004. 276 f. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.

ORTEGA, Fernando S; PILEGGI, Rafael G; SEPÚLVEDA, Pilar; PANDOLFELLI, Victor C. Influência dos Modelos de Alfred e de Andreasen sobre a microestrutura e densidade a verde de compactos cerâmicos obtidos por colagem ou prensagem. **Cerâmica**, v. 43, n. 283-284, 1997.

PATRICIO, S. M. R. et al. Blocos solo-cal utilizando resíduo de construção civil. **Cerâmica**, v. 59, n. 349, p. 27-33, 2013.

PINHEIRO, B. C. A.; HOLANDA, J. N. F. Efeito da temperatura de queima em algumas propriedades mecânicas de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 56, n. 339, p. 237-243, 2010.

PINHEIRO, Sayonara M. M. **Gesso reciclado**: Avaliação de propriedades para uso em componentes. 2011. 304 f. Tese (Doutorado Engenharia Civil) - Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2011.

PORTAL BRASIL. Portal Brasil, 2014. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2014/08/tire-suas-duvidas-sobre-a-politica-de-residuos-solidos>>. Acesso em: 4 Novembro 2014.

REZENDE, Maria L. de S. et al. Utilização do resíduo de caulim em blocos de vedação. **Mineração**, Ouro Preto, v. 61, n. 3, p. 285 - 290, Julho - Setembro 2008.

SANTOS, Alan A. dos S. **Estudo das variáveis no processo de compactação de pós à base de alumina**. 2012. 80 f. Dissertação (Mestrado Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais) - IPEN - Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SANTOS, I. M. G. et al. Efeito da adição de rejeito na redução de coração negro em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 51, n. 318, p. 144-150, 2005.

SANTOS, Pérsio de S. **Ciência e Tecnologia de Argilas**. 2ª. ed. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, v. I, 1989.

SILVA, Jaquelgia B da. **Avaliação da potencialidade dos resíduos de gesso de revestimento incorporado em formulações de massas cerâmicas**. 2008. 140 f. Tese (Doutorado Ciência e Engenharia de Materiais) - Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

SILVA, J. E. de O. **Desenvolvimento de cerâmica vermelha utilizando rejeitos da construção civil**. 2007. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

TARTARI, R. et al. Lodo gerado na estação de tratamento de água Tamanduá, Foz do Iguaçu, PR, como aditivo em argilas para cerâmica vermelha. Parte II: Incorporação do lodo em mistura de argilas para produção cerâmica. **Cerâmica**, v. 57, n. 344, p. 387-394, 2011.

TAVARES, Yêda V. P. et al. Reaproveitamento do resíduo de gesso na execução de revestimento interno de vedação vertical. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 103-119, Janeiro/Março 2010.

VIEIRA, C. M. F. PINHEIRO, R.M. Avaliação de argilas caulínicas de Campos dos Goytacazes utilizadas para fabricação de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, São Paulo, v 57, n. 343, p. 319-323. Jul/Ago/Set.2011.

WINKLER, Greg. **Recycling Construction & Demolition Waste - A Leed-Based Toolkit**. McGraw-Hill, 2010.