

INCORPORAÇÃO DO LODO PRIMÁRIO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE DE PAPEL EM CERÂMICA VERMELHA*

*Luís Sérgio Peixoto Pessanha¹
Jonas Alexandre²
Afonso Rangel Garcez de Azevedo³
Sérgio Neves Monteiro⁴
Markssuel Teixeira Marvila⁵
Euzébio Bernabe Zanelato⁶
Milton Pereira Soares Junior⁷*

Resumo

Esta pesquisa tem como objetivo avaliar os efeitos da mistura do resíduo da produção de papel em cerâmica vermelha, para confecção de blocos cerâmicos para alvenaria de vedação. O resíduo denominado lodo primário será utilizado úmido, misturado com água de amassamento, em duas argilas distintas, fraca (FR) e forte (FO). As argilas e o resíduo são respectivamente dos municípios de Campos dos Goytacazes e Santo Antônio de Pádua, norte do Estado do Rio de Janeiro, e foram submetidos à caracterização química, física, mineralógica e térmica. O preparo das formulações foram feitos com 0% (como padrão de comparação), 2,5%, 5%, 7,5% e 10% em peso do resíduo. Os corpos de prova foram conformados por extrusão, queimados à 700 e 800 °C e, posteriormente foram submetidos aos ensaios físicos e mecânicos como, absorção de água, porosidade aparente, retração linear de queima e tensão de ruptura à flexão. Os resultados indicam que a incorporação do resíduo de papel na cerâmica vermelha é viável. A resistência mecânica dos blocos cerâmicos aumentou com a adição do resíduo, porém é recomenda-se utilizar 2,5% em peso de resíduo, pois acima deste a absorção de água supera o percentual recomendado.

Palavras-chave: Resíduo de papel; Cerâmica vermelha; Argilas.

INCORPORATION OF THE PRIMARY SLUDGE OF THE PAPER EFFLUENT TREATMENT STATION IN RED CERAMICA

Abstract

This work has for objective to evaluate the effect of mixture paper waste in red ceramic. The residue called primary sludge will be used humid, mixed with kneading water, in two distinct clays, weak (FR) and strong (FO). The clays and the residue are respectively of the municipalities of Campos dos Goytacazes and Santo Antônio de Pádua, in the north of the State of Rio de Janeiro, and were submitted to chemical, physical, mineralogical and thermal characterization. Preparation of the formulations were done with 0% (as standard of comparison), 2.5%, 5%, 7.5% and 10% by weight of the residue. The specimens were extruded, burned at 700 and 800 ° C, and then subjected to physical and mechanical tests such as water absorption, apparent porosity, linear shrinkage and flexural strength. The results indicate that the incorporation of the paper waste into the red ceramics is viable. The mechanical strength of the ceramic blocks increased with the addition of the residue, however it is recommended to use 2.5% by weight of residue, because above this the water absorption exceeds the percentage recommend.

Keywords: Paper waste; Red ceramic; Clays.

- ¹ Engenharia Civil, Mestrando em Estruturas, Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil
- ² Engenharia Civil, Doutor, Professor Associado, Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil
- ³ Engenharia Civil, Doutorado em Estruturas, Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil
- ⁴ Engenharia Metalúrgica, Doutor, Professor Titular, Laboratório de Ciência dos Materiais, Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
- ⁵ Engenharia Civil, Mestrado em Estruturas, Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.
- ⁶ Engenharia Civil, Doutorando em Estruturas, Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.
- ⁷ Técnico de Laboratório de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento das atividades do setor construtivo estarem atreladas aos impactos ambientais [1,2], a indústria da construção civil deve adaptar-se à materiais menos agressivos, duráveis e que exijam o mínimo de impacto possível para sua obtenção [3]. Isso requer linhas de pesquisas que busquem novas alternativas para a redução do consumo de matéria-prima além de dar um destino ambientalmente correto aos resíduos industriais que, de outra forma, seriam despejados em locais inapropriados.

Os resíduos industriais são restos de materiais gerados durante o processo de fabricação dos mais variados tipos de produtos. De acordo com Riul *et al.* (2012), estes resíduos, quando descartados de forma inadequada, são as principais fontes de contaminação da água, do ar ou do solo, podendo oferecer sérios riscos ao meio ambiente e à saúde humana.

Nesse contexto, estão inseridas as indústrias de fabricação de papel, que inerente ao seu processo produtivo e volume de produção, geram inevitavelmente uma grande quantidade de resíduos [4,5]. Um fator alarmante é que os resíduos gerados nas estações de tratamento deste segmento são lançados em aterros sanitários, causando problema ao meio ambiente por não ter um destino que lhes proporciona um tratamento adequado [6].

Os resíduos gerados pelas indústrias de fabricação de papel são divididos em algumas categorias. Além dos resíduos provenientes da produção de fibras virgens de madeira (lodo primário), também são gerados os resíduos por remoção de tintas das fibras (lodo de destinação), o resíduo ativado do sistema biológico (lodo secundário) e o resíduo da produção de papel com o biológico (lodo combinado) [7].

A reciclagem de resíduos é de grande interesse para as indústrias, principalmente devido às exigências dos órgãos ambientais. Uma das práticas estudadas para destinação correta destes tem sido a utilização em materiais da construção civil [1,8]. O setor de construção civil é o setor de atividade tecnológica mais adequado para consumir resíduos sólidos. O motivo para isso é a grande quantidade de matérias-primas utilizadas pelo setor, bem como o grande volume de produtos finais necessários [9]. No setor cerâmico, mensalmente são produzidos mais de 4 bilhões de blocos de vedação e estruturais e 1,3 bilhões de telhas, representando 4,8% da indústria da construção civil do país [10]. Pelo fato da indústria de cerâmica assimilar resíduos na sua produção, pesquisas pretendem proporcionar um destino ao lodo primário e garantir a viabilidade de sua utilização na cerâmica vermelha.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais e métodos

A massa cerâmica é composta pela mistura de duas argilas (amarela e cinza escura) também conhecidas como fraca (FR) e forte (FO) respectivamente, proveniente de uma jazida localizada no município de Campos dos Goytacazes, RJ e por um resíduo da produção de papel, denominado lodo primário, cedido pela CIA Paduana de Papeis–COPAPA, localizada no município de Santo Antônio de Pádua, RJ.

O resíduo e as argilas utilizados foram submetidos à caracterização química, mineralógica, térmica e física. Sendo que, para realização das três primeiras análises, foi separada uma amostra representativa de 5,0 gramas de cada material, passados em peneira mesh 200 (74 µm), e posteriormente encaminhados para o

processo de secagem em estufa (105 ± 5) °C até atingir massa constante. Para a caracterização física (granulometria) foram separados 300g de material para cada traço, passados na peneira mesh40.

Foram preparadas cinco formulações para a confecção dos corpos de prova, utilizando 0% (como padrão de comparação), 2,5%, 5%, 7,5% e 10% em peso de resíduo, sendo estes conformados a partir de uma extrusora (modelo BR 051 - fabricação 1999 - série 024), nas dimensões 120 x 30 x 20 mm (comprimento, largura e espessura).

Um fator determinante para consolidar as respectivas formulações foi o preparo da matéria-prima, haja vista que o lodo primário foi utilizado úmido, misturado com água de amassamento. Portanto, para se obter com exatidão a quantidade de água de amassamento, foi necessário descontar a massa de água existente no lodo primário e na argila.

Dessa forma, o lodo primário úmido e a água de amassamento foram misturados por um período de 5 minutos e após a homogeneização, o resíduo foi passado na peneira *mesh* 20 (840 μ m) e adicionado na argila também peneirada (*mesh* 20) obtendo-se, então, a massa cerâmica a ser utilizada na pesquisa.

O peneiramento do resíduo foi forçado até que inviabilizasse a sua passagem e, o máximo de resíduo peneirado possível foi com 10% de lodo primário, em virtude da massa de água existente na composição do lodo primário ser de aproximadamente 60%, por isso, pouca quantidade (6,34%) de água de amassamento foi adicionada.

O peneiramento do resíduo foi adotado para confeccionar corpos de prova com partículas menores e uniformes, pois testes foram previamente realizados e constatou-se que o resíduo apresentou grandes volumes de grãos na superfície do corpo de prova e em sua seção transversal.

O processo de secagem dos corpos de prova foi executado de duas maneiras distintas: secagem em ambiente natural e em estufa (105 ± 5) °C, até massa constante, eo equipamento utilizado é da marca SOLAB, modelo SL-100, do Laboratório de Engenharia Civil-LECIV/UENF. A queima foi realizada à temperaturas de 700 °C e 800 °C, sendo a taxa de aquecimento de 2 °C/min até atingir a temperatura de patamar, mantendo-se por 180 min na temperatura de patamar; o resfriamento foi obtido por convecção natural até temperatura ambiente. As propriedades físicas e mecânicas determinadas foram: absorção de água (AA), porosidade aparente (PA), retração linear de queima (RLQ) e tensão de ruptura à flexão em três pontos (RF)[11].

2.2 – Resultados e discussão

2.2.1 Caracterização Química

Para a identificação dos componentes químicos das amostras, foi realizada uma análise química qualitativa e quantitativa utilizando um espectrômetro de fluorescência de raios-X. Através da Tabela 1 observa-se que as matérias-primas possuem composição química similar, porém os resultados mostram que quimicamente as argilas são constituídas essencialmente por óxido de silício (SiO₂), óxido de alumínio (Al₂O₃), óxido de ferro (Fe₂O₃) e óxido de potássio (K₂O) respectivamente, já o lodo primário é constituído predominantemente de óxido de cálcio (CaO).

Tabela1 – Caracterização química das matérias-primas (% em peso).

Matéria-Prima	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	SO ₃	CaO
Argila FR	45,43	37,72	9,98	3,08	1,76	1,23	0,42
Argila FO	50,12	40,02	3,93	1,80	1,54	1,69	0,56
Lodo primário	8,03	9,46	0,65	1,25	0,40	0,86	70,84

Nas argilas, o alto teor de óxido de silício (SiO₂) está relacionado à presença de quartzo. A predominância dos óxidos de SiO₂ e Al₂O₃ correlacionam-se bem com a existência na forma de caulinita [12]. Essa afirmação pode ser confirmada através da relação de SiO₂/Al₂O₃, sendo um parâmetro indicativo da presença deste argilomineral, ou seja, quanto mais próximo o resultado for de 1,18, maior é a quantidade de caulinita presente na argila [13, 14, 15]. O resultado da relação de SiO₂/Al₂O₃ corresponde a 1,20 e 1,25 para as respectivas argilas, confirmando a predominância do argilomineral do tipo caulinita, responsável pelo desenvolvimento de plasticidade nas argilas.

De acordo com [16] a sílica (SiO₂) é conhecida por formar a estrutura dos corpos cerâmicos enquanto a alumina (Al₂O₃) permite melhorar sua resistência mecânica através de sua transformação durante o processo de queima. Dessa forma quantidades muito baixas de sílica e alumina podem afetar significativamente a resistência mecânica de tijolos queimados.

O óxido de ferro (Fe₂O₃) aparece como o terceiro principal componente químico das argilas, sendo o corante no solo, responsável pela coloração avermelhada dos produtos de cerâmica após a queima [17,18]. Sendo assim, menor quantidade de Fe₂O₃ confere coloração mais clara após a queima.

O óxido de potássio (K₂O) forma uma fase líquida por fusão própria ou, em relação com a sílica (SiO₂), formando eutéticos a partir de temperaturas de aproximadamente 700 °C [19,20]. A formação da fase líquida é o principal mecanismo de sinterização da cerâmica vermelha, ela tende a preencher as cavidades do corpo, devido ao fenômeno de capilaridade. Contribuindo para a eliminação de porosidade (aberta e fechada), melhoria da resistência mecânica, redução da absorção de água e aumento da retração linear de queima [21].

Assim como o óxido de ferro (Fe₂O₃), o dióxido de titânio (TiO₂) também é responsável pela coloração da peça queimada, ou seja, sendo responsável por pigmentos brancos ou denominados clarificador [22]. Para as argilas em questão, a coloração avermelhada é devido a predominância do elemento Fe₂O₃ em relação ao TiO₂.

O principal constituinte do lodo primário é o óxido de cálcio (CaO), representando 70,84% em sua composição e sua presença está associada a calcita. Segundo [23] as partículas de CaO tem uma estrutura porosa que ajuda a reduzir a retração das peças cerâmica durante a queima. Já em pesquisa realizada por [24] o óxido de cálcio (CaO) combinado com a sílica (SiO₂) contribuir para o aumento da resistência mecânica dos tijolos cerâmicos.

2.2.2 Caracterização Mineralógica

Através das Figura 1 e 2 são apresentados os difratogramas de raios-X das argilas FR e FO, respectivamente. Os picos de difração de ambas argilas são correspondentes à caulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$), muscovita ($\text{K Al}_2 (\text{Si}_3 \text{Al}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2$), ortoclásio ($\text{K AlSi}_3\text{O}_8$) e quartzo (SiO_2).

A existência de caulinita nas argilas garante o desenvolvimento da plasticidade em mistura com água, e ainda pode conferir ao material comportamento refratário após a queima [11]. A mica muscovita é um mineral com textura lamelar que pode ocasionar o aparecimento de defeitos nas peças cerâmicas [14]. De acordo com [11] a mica pode atuar como fundente na massa cerâmica, desde que esteja com tamanho de partícula reduzido. O quartzo é uma impureza natural das argilas, sendo considerado inerte pelo menos até 950 °C, sendo assim, até atingir esta temperatura a sua presença reduz a possível retração no material cerâmico [25] evitando dessa maneira a geração de microfissuras durante o seu resfriamento. A presença da gibbsita, contribui para o aumento da refratariedade das argilas e da perda de massa durante a queima [14].

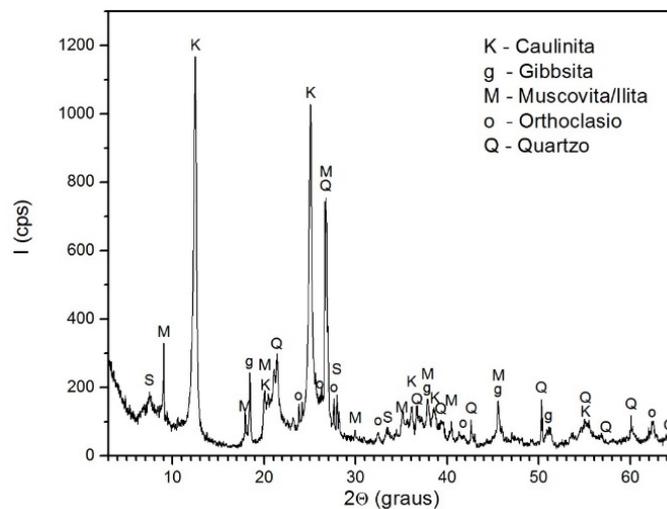


Figura 1: Difratograma de raios-X da argila FR.

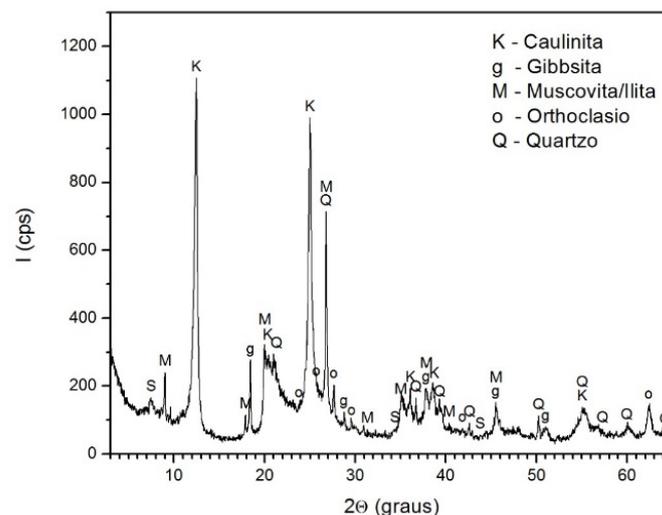


Figura 2: Difratograma de raios-X da argila FO.

A Figura 3 apresenta o difratograma de raios-X do lodo primário utilizado na pesquisa. Nota-se que o principal constituinte cristalino do resíduo de papel é a

calcita, carbonato de cálcio, CaCO_3 . Tendo também a presença dos seguintes minerais: caulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), muscovita ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$), e talco ($\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$).

O alto teor de calcita no lodo de papel favorece a formação da fase vítrea durante a sinterização do material cerâmico. Este mineral age de forma semelhante ao feldspato de cálcio em argilas, produzindo um tipo de vitrificação do material [26]. Além disso, segundo [27] a calcita pertence ao grupo de resíduos não perigosos e podem ser usadas como matéria-prima alternativa para a fabricação de tijolos de argila.

No lodo primário a presença dos argilominerais do tipo caulinita e muscovita, pode ser considerada como um ponto favorável à incorporação em massa argilosa, já que estes minerais se apresenta como um dos principais constituintes das argilas pesquisadas.

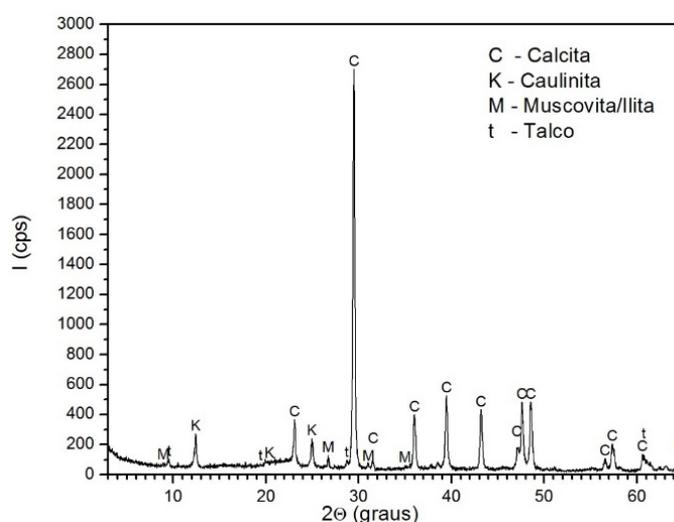


Figura 3: Difratograma de raios-X do lodo primário.

2.2.3 Caracterização física

Estão representadas na tabela 2 as frações granulométricas correspondente as misturas ensaiadas:

Tabela 2 – Frações dos materiais.

nº	Argila (%)	Pedregulho			Areia			Silte	Argila	Classificação USCS
		Grosso	Médio	Fino	Grossa	Média	Fina			
M-0,0	100,0	-	-	-	0,2	0,9	13,0	35,7	50,2	CH
M-2,5	97,5	-	-	-	0,2	0,8	8,7	42,9	47,5	
M-5,0	95,0	-	-	-	0,3	1,1	14,0	38,0	46,6	
M-7,5	92,5	-	-	-	0,3	0,9	13,7	39,8	45,4	
M-10	90,0	-	-	-	0,3	4,5	17,7	32,2	45,2	

Com base nos resultados apresentados na Tabela 2 foi possível a obtenção das curvas granulométricas, que mostram a distribuição, em porcentagem, dos diversos

tamanhos de grãos existentes em frações. É a determinação das dimensões das partículas do agregado e de suas respectivas porcentagens de ocorrência que podem ser verificados na Figura 4 e que impactam diretamente nas características dos blocos produzidos, devido às propriedades como resistência e absorção, oriundas do preenchimento da matriz. Assim com as características das curvas granulométricas apresentadas na Figura 4, as massas argilosas utilizadas podem ser classificadas como argila siltosa com areia de predominância fina, que desempenha um papel satisfatório das propriedades dos blocos. Nota-se que à medida que foram adicionados os percentuais do resíduo, houve o decréscimo da fração argila, associada ao tamanho das partículas inferior a 2 μm , variando entre 50,2% e 45,2% para as respectivas composições. Apesar das variações, a análise granulométrica mostrou que as massas pesquisadas são granulometricamente formadas com predomínio da fração argila, seguido das frações de silte e areia, respectivamente. Dessa forma, a massa argilosa possui faixa granulométrica recomendada para uso em cerâmica vermelha, cuja fração argila deve ser igual ou superior a 30% e igual ou inferior a 70% [28].

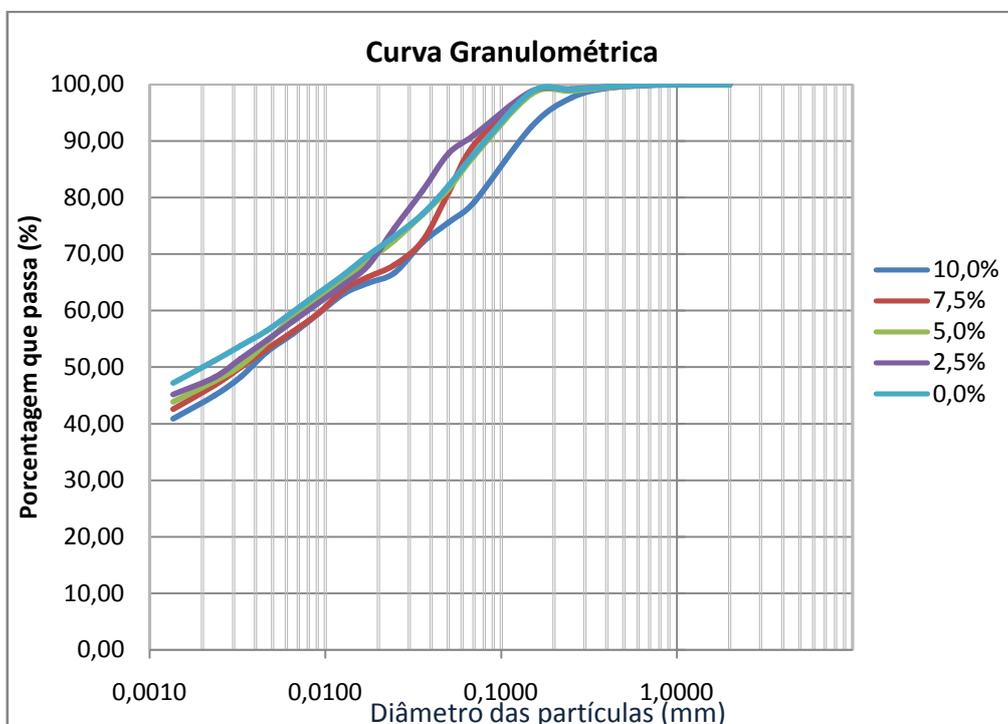


Figura 4: Gráfico das distribuições granulométricas das massas argilosas.

A Tabela 3 mostra os valores obtidos para os limites de Atterberg das massas argilosas pesquisadas. A classificação da massa argilosa pelo Sistema Unificado de Classificação de Solos (USCS), é de que se trata de uma argila inorgânica, de plasticidade elevada, contudo se enquadrando no limite para o índice de plasticidade, que é entre 10% e 35% para confecção de blocos cerâmicos [11].

Tabela 3 – Limite de Atterberg.

Série	Resíduo (%)	Argila (%)	LL	LP	IP
M0	0,0	100,0	55,7	28,6	27,1
M2,5	2,5	97,5	54,2	27,5	26,8

M5,0	5,0	95,0	53,5	27,5	26,0
M7,5	7,5	92,5	52,8	27,5	25,3
M10	10,0	90,0	51,6	27,5	24,1

A incorporação do lodo primário modifica a plasticidade da massa cerâmica, ou seja, à medida que foi adicionado o resíduo de papel, ocorreu a redução dos limites de consistência de Atterberg, porém a massa argilosa se manteve dentro da faixa de valores das massas cerâmicas caulínicas, utilizada na indústria cerâmica da região e semelhante aos resultados encontrados por [29]

2.2.4 – Propriedades físicas e mecânicas

A Figura 5 e a Figura 6 abaixo demonstra respectivamente a absorção de água e porosidade aparente das peças cerâmicas queimadas em diferentes temperaturas.

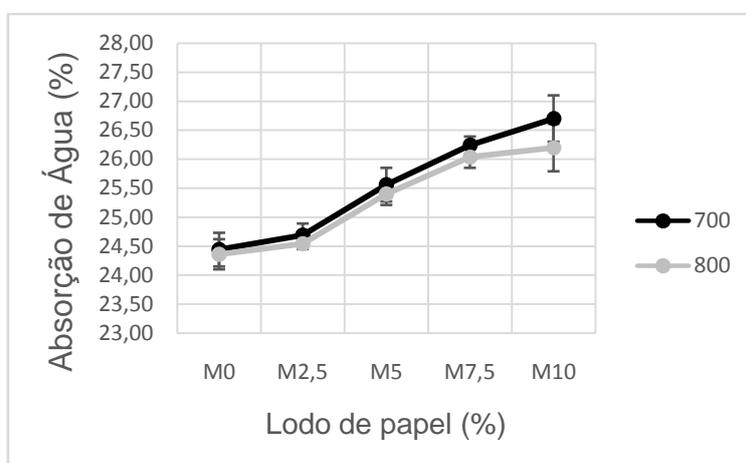


Figura 5: Absorção de Água das composições queimadas a 700 e 800 °C.

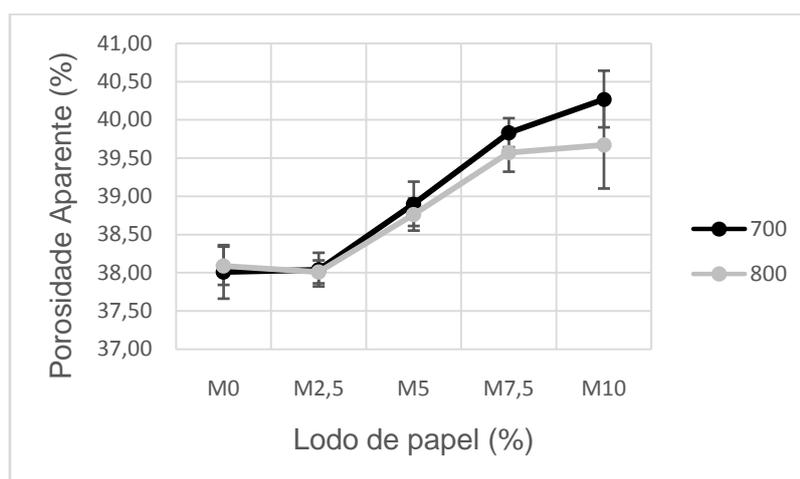


Figura 6: Porosidade Aparente das composições queimadas a 700 e 800 °C.

Observa-se que tanto a absorção de água (Figura 5) quanto à porosidade aparente (Figura 6) aumentaram com o acréscimo da incorporação do resíduo de papel. Esse acréscimo em termos percentuais, mesmo em pequena magnitude, influencia as propriedades mecânicas dos blocos que serão produzidos, visto que durante o processo de queima há alterações na composição do material dentro da matriz, essa

transformação ocorre já em baixas porcentagens de incorporação visto uma tendência verificada na literatura quanto ao uso deste resíduo em materiais cerâmicos [30]. Quanto às temperaturas de queima atingem determinados patamares ocorre a liberação de grande quantidade de água aprisionada no resíduo, que é altamente úmido, alterando suas composições de maneira mais objetiva.

Este aumento é um indicador de porosidade aberta e pode ser atribuído a fases e poros formados na estrutura cerâmica devido às transformações que ocorrem durante o processo de queima pelos componentes orgânicos do resíduo, como à combustão da celulose e decomposição da calcita [30]. A incorporação de 5,0%, 7,5% e 10% em peso de resíduo aumentou consideravelmente a absorção de água da cerâmica argilosa, inviabilizando o seu uso, já que o máximo de absorção de água recomendado é de 25% [11]. Entretanto a incorporação de 2,5% de resíduo queimados nas temperaturas de 700 e 800°C atendeu esta propriedade. Na Figura 7 é mostrados o resultado da Retração Linear de Queima.

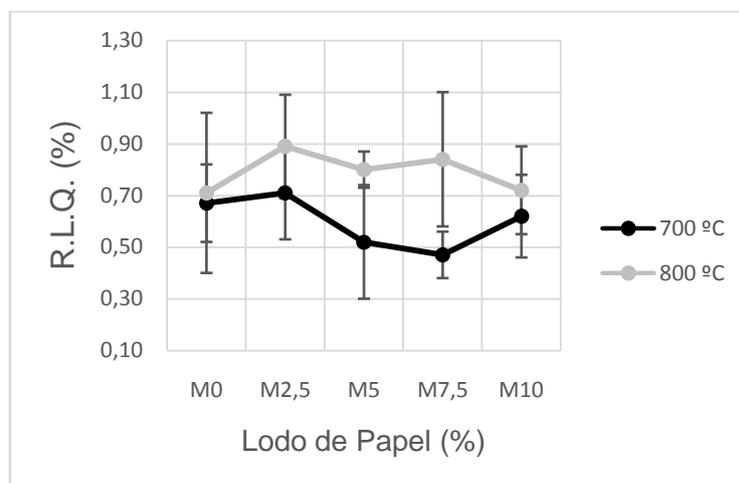


Figura 7: Retração linear de queima das composições queimadas a 700 e 800 °C.

De acordo com a Figura 7 nota-se pouca variação da retração linear em função da temperatura de queima e dos diferentes percentuais de resíduo de papel incorporado na cerâmica, pois as variações apresentadas estão dentro do erro estatístico. Este aspecto é favorável ao produto cerâmico, já que uma excessiva retração pode gerar o aparecimento de trincas. Na Figura 8 apresenta-se o resultado da Resistência de Ruptura à Flexão.

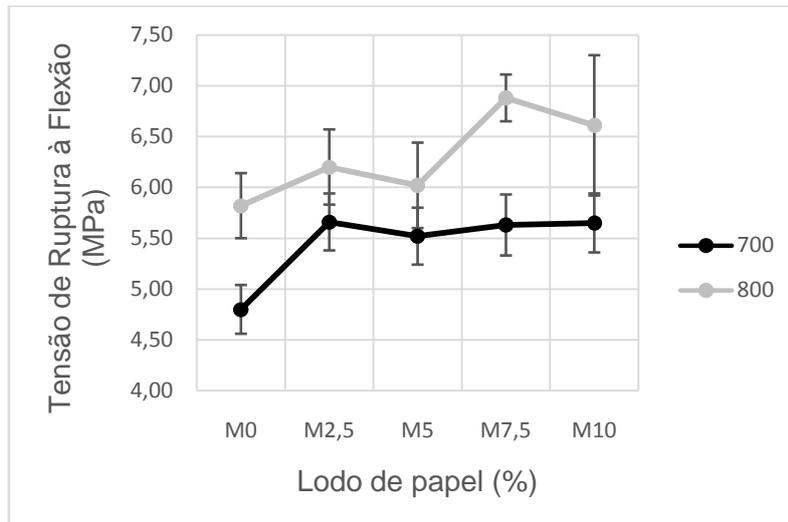


Figura 8: Tensão de ruptura à flexão das composições queimadas a 700 e 800 °C.

A Figura 8 apresenta a Tensão de ruptura de flexão em função da temperatura de queima e dos diferentes percentuais de resíduo de papel. Nota-se que ocorreu uma variação entre 4,80 MPa a 6,61 MPa, sendo superior a 1,5 MPa que é a tensão mínima de ruptura após a queima para blocos cerâmicos de vedação[11]. Os resultados mostram que o aumento na temperatura de queima contribuiu positivamente na resistência mecânica. Outra análise que pode ter influenciado nos resultados desta importante propriedade é a formação da fase líquida do óxido de potássio, sendo o principal mecanismo de sinterização, contribuindo para a eliminação da porosidade fechada da cerâmica vermelha.

3 CONCLUSÃO

A análise dos resultados do trabalho, conduz às principais conclusões:

- a) A medida que aumentou o percentual do resíduo de papel, houve maior porosidade e conseqüentemente ocorreu maior absorção de água da cerâmica. Como o máximo de absorção de água permitido é de 25% [11], a incorporação de 2,5% de resíduo, queimados nas temperaturas de 700 e 800°C atendeu esta propriedade, 24,69% e 24,54% respectivamente.
- b) Estatisticamente não houve variação na retração linear de queima com a adição crescente do resíduo de papel em ambas temperaturas.
- c) A incorporação do resíduo de papel elevou a resistência mecânica do material cerâmico em comparação ao material sem resíduo.
- d) Os resultados indicam que é viável a incorporação do resíduo de papel na cerâmica vermelha. Apesar da resistência mecânica da cerâmica aumentar com a adição do resíduo, recomenda-se utilizar 2,5% em peso de resíduo para evitar o aumento da porosidade e conseqüentemente da absorção de água.

Agradecimentos

Os autores agradecem a UENF e FAPERJ pela estrutura e apoio financeiro, a Indústria de Cerâmica Gama e Silva, pelo fornecimento da argila e a CIA Paduana de Papeis – COPAPA pelo fornecimento do resíduo de papel.

REFERÊNCIAS

- 1 Raut, S.P.; Sedmake, R.; Dhunde, S.; Ralegaonkar, R.V.; Mandavgane, S. Reuse of recycle paper mill waste in energy absorbing light weight bricks. *Construction and Building Materials* 2012; v. 27: p. 247-251.
- 2 Brasileiro, L.L.; Mattos, J.M.E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. *Cerâmica* 2015; v. 61: p. 178-189.
- 3 Wiemes, L.; Pawlowsky, U.; Mymrim, V. Incorporation of industrial wastes as raw materials in brick's formulation. *JournalofCleanerProduction*. 2017; v. 42: p. 69-77.
- 4 Sutcu, M.; Diaz, J.J.; Rabanal, F. P.; Akkurt, O. Thermal performance optimization of hollow clay bricks made up of paper waste. *Energy and Buildings*. 2014; v. 75: p. 69-108.
- 5 Demirel, B.G.; Altin, A. Production of sorbent from paper industry solid waste for oil spill cleanup. *Marine Pollution Bulletin*. 2017; v. 125: p. 341-349.
- 6 Azevedo, A. Estudo de viabilidade na incorporação de resíduo da indústria de papel na produção de argamassa de múltiplo-uso. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes – RJ. 2015.
- 7 Boni, M. R.; D'aprile, L.; Casa, G. Environmental quality of primary paper sludge. *JournalofHazardousMaterials*. 2004; v. 108: p.125-128.
- 8 Areias, I.O.R.; Vieira, C.M.F.; Manhães, R.; Intorne, A.C. Incorporação de lodo da estação de tratamento de esgoto (ETE) em cerâmica vermelha. *Cerâmica*. 2017; v. 63: p. 343-349.
- 9 Reinosa, J.; Silva, A.; Marcos, F.; Castanho, S.; Moya, J.; Fernandez, J. High chemical stability of stoneware tiles containing waste metals. *JournaloftheEuropeanCeramicSociety*. 2010; v. 30; p. 2997-3004.
- 10 Moraes, N. La Cerámica en Brasil. *Ziegelindustrie International* (2016).
- 11 Santos, P.S. Ciência e Tecnologia das Argilas. v. 1, 2ª Edição. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda. 1989.
- 12 Nirmala, G. e Viruthagiri, G. FT-IR characterization of articulated ceramic bricks with wastes from ceramic industries. *Spectrochim. Acta Part A Mol. Biomol. Spectrosc.* 2014; v.126: p.129–134.3
- 13 Galvão, L.S.; Formaggio, A.R.; Couto, E.G.; Roberts, D.A. Relationships between the mineralogical and chemical composition of tropical soils and topography from hyperspectral remote sensing data. *ISPRS JournalofPhotogrammetryand Remote Sensing*. 2008; v. 63: p. 259–271.
- 14 Vieira, C.M.F.; Pinheiro, R.M. Avaliação de Argilas Cauliníticas de Campos dos Goytacazes Utilizadas para Fabricação de Cerâmica Vermelha. *Cerâmica*. 2011; v 57: p.319-323.
- 15 Demattê, A.L.; Ramirez-Lopez, L.; Rizzo, R.; Nanni, R.m.; Fiorio, R.P.; Fongaro, T.C. Remote sensing from ground to space platforms associated with terrain attributes as a hybrid strategy on the development of a pedological map, *Remote Sens*. 2016; v.8: p.826.
- 16 Taha, Y.; Benzaazoua, M.; Hakkou, R.; Mansori, M. Natural clay substitution by calamine processing wastes to manufacture fired bricks. *JournalofCleanerProduction*. 2016; v.135: p.847-858.
- 17 Vieira, C.M.F.; Sanchez, R.; Monteiro, S.N. Characteristics of clays and properties of building ceramics in the state of Rio de Janeiro, Brazil. *ConstructionandBuildingMaterials*. v. 22 p. 781–787.
- 18 Dizhur, D.; Lumantarna, R.; Biggs, D.; Ingham, J. In-situ assessment of the physical and mechanical properties of vintage solid clay bricks. *MaterialsandStructures*. 2016; v. 50: p.1-14.
- 19 Roedder, E. Silicate melt systems. *Physics and Chemistry of the Earth*. 1959; v.3: p.224-297.
- 20 Emiliani, G.P. e Corbora, F. Tecnologia Cerâmica – La Lavorazione, Gruppo Editoriale Faenza Editrice. 1999; v.1: p. 97.

- 21 Riella, H.G.; Franjndlich, E.U de C.; Durazzo, M. Caracterização e utilização de fundentes em massas cerâmicas. *Revista Cerâmica Industrial*. 2002; v.7: p.33-36.
- 22 Feltrin, J.; Sartor, M.; Noni, A.; Bernardin, A.; Hotza, D.; Labrincha, J. Superfícies fotocatalíticas de titânia em substratos cerâmicos. Parte I: Síntese, estrutura e fotoatividade. *Cerâmica*, 2013; v. 59: p.620-632.
- 23 Sutcu, M.; e Akkurt, S. The use of recycled paper processing residues in making porous brick with reduced thermal conductivity. *Ceramics International*. 2009; v.35: p.2625-2631.
- 24 Velasco, P.; Ortiz, M.; Giró, M.; Velasco, L. Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material – A review. *ConstructionandBuildingMaterials*. 2014; v.63: p.97-107.
- 25 Villarejo, L.; Martinez, S.; Hurtado, B.; Quesada, D.; Nieto, C.; Soto, P. Valorization and inertization of galvanic sludge waste in clay bricks. *Applied Clay Science*. 2015; v.105–106: p.89–99.
- 26 El Yakoubi; Aberkan, M.; Ouadia, M. Use potentialities of Moroccan clays from the JbelKharrou area in the ceramic industry. *ComptesRendusGeoscience*. 2006; v.338: p.693-702.
- 27 Kizinievic, O.; Kizinievic, V.; Malaiskiene, J. Analysis of the effect of paper sludge on the properties, microstructure and frost resistance of clay bricks. *ConstructionandBuildingMaterials*. 2018; v.169: p.689-696.
- 28 Petroti; Alexandre; Xavier; Monteiro; Vieira; Bahiense. Desenvolvimento de massa cerâmica para blocos queimados e prensados. *Cerâmica Industrial*. 2011; v.16: p.25-30.
- 29 Azeredo, N.G.; Alexandre, J.; Azeredo, A.R.G.; Xavier, G.C.; Vieira, C.M.F.; Monteiro, S.N. Temperature Control Responses of Structural Clay Masonry Blocks. *Materials Science Forum (Online)*. 2014b; v.805: p.525-529.
- 30 Pinheiro, R.M; Vieira, C.M.F; Rodrigues, R.S; Monteiro, S.N. Reciclagem de resíduo proveniente da produção de papel em cerâmica vermelha. *Revista Matéria*. 2008; v.13: p.220-227.