

AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DA INDÚSTRIA DE PAPEL EM CERÂMICA VERMELHA*

Andréia Arenari de Siqueira¹

Jonas Alexandre²

Afonso Rangel Garcez Azevedo³

Larissa Campos Granato Botelho⁴

Ana Luiza Campinho Paes⁵

Valber Domigos Pinheiro⁶

Sergio Neves Monteiro⁷

Resumo

O papel é um dos produtos mais consumidos no mundo e, há séculos, faz parte do cotidiano da humanidade. No entanto, o processo de fabricação do papel acaba gerando uma grande quantidade de resíduos industriais que trazem prejuízos ao meio ambiente. Com o crescente avanço da indústria papelreira nos últimos anos, tem-se um inevitável aumento de resíduos dos processos produtivos. Sendo assim, é necessário buscar maneiras de reciclar ou reutilizar esses resíduos em outros processos industriais, a fim de amenizar os danos ambientais. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo incorporar o lodo primário da indústria de papel em cerâmica vermelha, avaliando algumas propriedades, como a retração linear de queima, a absorção de água e a resistência a flexão de corpos de prova cerâmicos prismáticos com níveis de incorporação de 0%, 2% e 5% do resíduo em substituição a argila da massa cerâmica. Os corpos de prova foram queimados a 800 e 900°C, sendo os resultados analisados e comparados a outros estudos, indicando ser viável a incorporação do resíduo em peças cerâmicas.

Palavras-chave: cerâmica vermelha; resíduo; lodo primário; indústria de papel.

EVALUATION OF THE INCORPORATION OF PAPER INDUSTRY WASTE IN RED CERAMICS

Abstract

Paper is one of the most consumed products in the world and, for centuries, it is part of the daily life of humanity. However, the papermaking process ends up generating a large amount of industrial waste that bring environmental damage. With the increasing advance of the paper industry in the last years, there is an inevitable increase in waste from the production processes. Therefore, it is necessary to look for ways to recycle or reuse such waste in other industrial processes in order to mitigate environmental damage. Thus, this work aims to incorporate the primary sludge from paper industry into red ceramics, evaluating some properties, such as linear burning retraction, water absorption and flexural strength of prismatic ceramics specimens with incorporation levels of 0%, 2% and 5% of the waste in substitution of the clay in the ceramic mass. The specimens were burned at 800 and 900°C, being the results analyzed and compared to other studies, indicating that it is feasible the incorporation of the waste in ceramic pieces.

Keywords: red ceramics; waste; primary sludge; paper industry.

¹ Mestranda em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

² Doutor em Ciências de Engenharia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.

- ³ *Doutor em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.*
- ⁴ *Mestranda em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.*
- ⁵ *Mestranda em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.*
- ⁶ *Mestre em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil.*
- ⁷ *Doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade da Flórida, Gainesville, Flórida, Estados Unidos.*

1 INTRODUÇÃO

A indústria de fabricação do papel é atuante em todo o mundo e está crescendo a cada ano, com índices que chegam até 30%. Inevitavelmente, uma das consequências desse crescimento é a geração de grande quantidade de resíduos, cuja responsabilidade ambiental é dada ao fabricante [1].

Sendo assim, pode-se considerar a indústria de papel e celulose como uma das indústrias mais poluidoras do mundo. Daí a importância de se procurar por maneiras de reutilizar os resíduos da indústria papelreira, minimizando o impacto ambiental e reduzindo o volume descartado de materiais industriais [2].

O processo de fabricação de papel produz, como um tipo de resíduo, o lodo, que é o produto final do processo após o tratamento de efluentes. Esse lodo é composto por cerca de 50% de massa de água, 30% de celulose, caulim e calcita e, em menor proporção, compostos orgânicos e metais pesados [3].

Diversos estudos foram e vem sendo conduzidos sobre a utilização do lodo primário da indústria de fabricação de papel na indústria de construção civil, dada sua grande variedade de aplicações para resíduos industriais. Uma dessas formas de aplicação é na cerâmica vermelha, avaliada por diversos autores [2,3,4] que viabilizaram sua utilização em substituição a parte da argila, analisando as propriedades físicas, químicas e mecânicas das peças cerâmicas com adição de lodo primário.

Na maioria das pesquisas realizadas com lodo primário em cerâmica vermelha, o resíduo passa por um processo prévio de tratamento antes de ser incorporado na massa argilosa, sendo submetido a secagem, trituração e peneiramento das partículas. Dessa forma, este trabalho busca incorporar o lodo primário “in natura” em cerâmica vermelha, assim como realizado por Pessanha [4], de modo a avaliar algumas propriedades das peças cerâmicas, como retração linear de secagem, absorção de água e resistência a flexão, e compará-las com as propriedades do material cerâmico sem adições, viabilizando ou não a utilização do resíduo em construção civil.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais e Métodos

Os materiais empregados na massa cerâmica desse estudo foram: argila, lodo primário e água da rede pública de abastecimento do Município de Campos dos Goytacazes. A argila, também proveniente da região de Campos dos Goytacazes, foi caracterizada conforme a NBR 7181 [5], onde os resultados de dimensões dos grãos, densidade real dos grãos e teor de umidade podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização da argila

FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS (%)					DENSIDADE REAL DOS GRÃOS (g/cm³)	TEOR DE UMIDADE MÉDIA (%)
AREIA			SILTE	ARGILA		
GROSSA	MÉDIA	FINA				
2.1	8.3	8.5	13.3	67.8	2.59	48.3

O lodo primário foi fornecido pela Cia Paduana de Papeis (COPAPA), uma empresa que produz papéis e produtos para fins sanitários, localizada em Santo Antônio de Pádua-RJ. Vale ressaltar, mais uma vez, que o resíduo foi utilizado neste trabalho com todas as características que vem da indústria, ou seja, ele não passou por

nenhum processo de secagem, de forma que toda a massa de água contida no lodo foi usada na mistura, sendo descontada essa água na posterior mistura da massa cerâmica. Sendo assim, foi determinado o teor de umidade do lodo utilizado, sendo aferida a massa úmida e a massa após secagem em estufa a $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, até massa constante, de 5 amostras, obtendo como resultado médio 51,2% de massa de água. Para realização dos ensaios, foram confeccionados corpos de prova cerâmicos (Figura 1) com dimensões de 1,90X9,50X1,10 centímetros, sendo utilizado um molde metálico com prensagem axial de $(0,50 \pm 0,10)$ MPa. A massa foi executada a partir da homogeneização dos materiais com auxílio de uma hélice acoplada a uma furadeira, onde o lodo primário adicionado em substituição a parte da argila, nas proporções de 0%, 2% e 5%. Além disso, foi adicionada água na proporção de 1:1 (argila+lodo:água) para facilitar a homogeneização, sendo corrigido esse aumento de umidade despejando a massa fluida sobre uma placa de gesso, onde permaneceu por cerca de duas horas para que voltasse ao valor próximo a umidade original, ou seja, de $48 \pm 1\%$. Para cada uma das três misturas foram feitos 12 corpos de prova cerâmicos, os quais foram submetidos a secagem ao ar livre até atingirem massa constante, em seguida foram levados a estufa a $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, também até atingirem massa constante. Por fim, os corpos de prova foram submetidos a queima controlada, seis deles a 800°C e outros seis a 900°C , com taxa de aquecimento de $2^\circ\text{C}/\text{min}$ e isoterma de 180 min na temperatura de patamar.



Figura 1. Corpo de prova cerâmico

Os corpos de prova tiveram seus comprimentos medidos antes (L_s) e após (L_q) a queima e, através da variação do comprimento das peças, foi calculada a retração linear de queima, conforme a Equação 1.

$$RLq = \frac{L_s - L_q}{L_s} \times 100 \quad (1)$$

Também foi calculada a absorção de água do material cerâmico, sendo aferida a massa seca (M_s) dos corpos de prova queimados depois de limpos e secos em estufa, posteriormente esses CPs foram imersos em água a temperatura ambiente, onde permaneceram por 24h. Passado esse tempo, foi retirado o excesso de água e as amostras foram pesadas, determinando sua massa úmida (M_u). Com isso, utiliza-se a Equação 2 para obter o índice de absorção de água dos corpos de prova [6].

$$AA = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad (2)$$

Por fim, foi realizado o ensaio de resistência a flexão em três pontos com o auxílio de uma prensa universal hidráulica da marca EMIC, modelo DL 3000 (Figura 2). Conhecendo as dimensões dos corpos de prova e sabendo que a distância entre os

apoios (L) é de 75mm, obtém-se a carga máxima (P) com o ensaio e, então, calcula-se a resistência a flexão através da Equação 3 [7]:

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

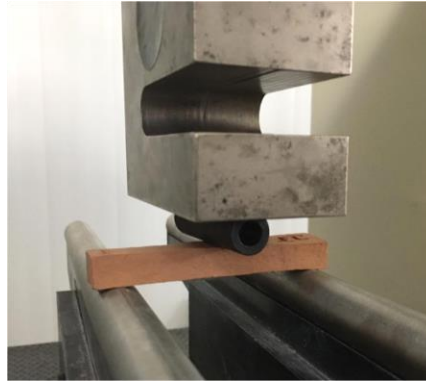


Figura 2. Ensaio de flexão em três pontos

2.2 Resultados e Discussão

Os resultados obtidos para retração linear de queima dos corpos de prova cerâmicos podem ser observados no gráfico da Figura 3, onde as temperaturas de queima de 800 e 900°C estão sendo comparadas. Percebe-se que, como esperado, queimas a temperaturas mais elevadas levam a uma maior retração das peças. No entanto, analisando a incorporação do lodo, embora tenha havido um ligeiro aumento, não significativo, de retração nas amostras com 2% de incorporação de resíduo, notou-se uma tendência de queda com 5% de incorporação, onde os valores ficaram próximos aos das amostras de referência (0% de incorporação). Isso leva a entender que, com maiores incorporações de lodo, é possível diminuir a retração comparado aos corpos cerâmicos convencionais de argila pura. Goel e Kalamdha [2] perceberam isso em seu estudo, onde incorporaram de 5 a 20% de lodo em tijolos cerâmicos e houve uma constante queda na retração em todas as porcentagens analisadas, confirmando o benefício que o resíduo traz nessa propriedade.

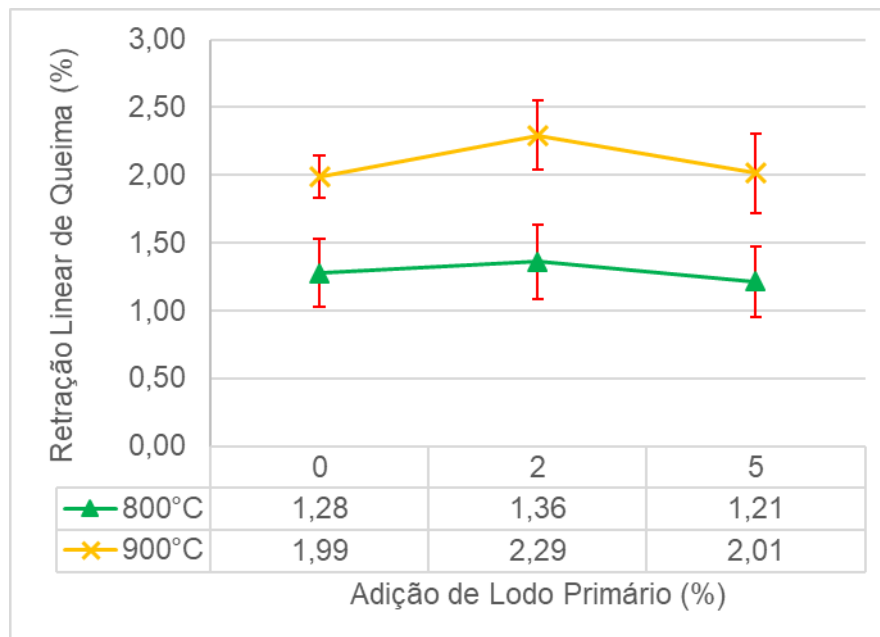


Figura 3. Retração linear de queima dos corpos de prova cerâmicos

Analisando, então, os resultados de absorção de água das peças cerâmicas, mostrados na Figura 4, percebe-se que nas amostras queimadas a 800°C há um aumento significativo nessa propriedade a medida em que se aumenta a incorporação de lodo primário na massa cerâmica. Esse aumento também é notado nas amostras queimadas a 900°C, porém em escalas bem menores, inclusive mantendo a variação dentro do erro estatístico. Mesmo com aumento dos valores nas peças queimadas a 800°C, todas as amostras, de 2% e 5% de adição queimadas a ambas temperaturas, satisfazem o limite de 25% de absorção de água para blocos cerâmicos, conforme proposto por Santos [7].

Na literatura, outros autores [2,3] perceberam o mesmo comportamento de aumento do índice de absorção de água com o aumento de proporção de lodo primário, o que comprova que a adição de grandes quantidades de resíduo pode ser prejudicial a essa propriedade. No entanto, da mesma forma que neste trabalho, esses autores também notaram que a absorção era menor quando os CPs eram queimados a temperaturas mais altas. Dessa forma, eles conseguiram empregar até 15% de lodo queimando as peças a temperaturas iguais ou superiores a 900°C, mantendo os resultados dentro do limite de 25% de absorção de água.

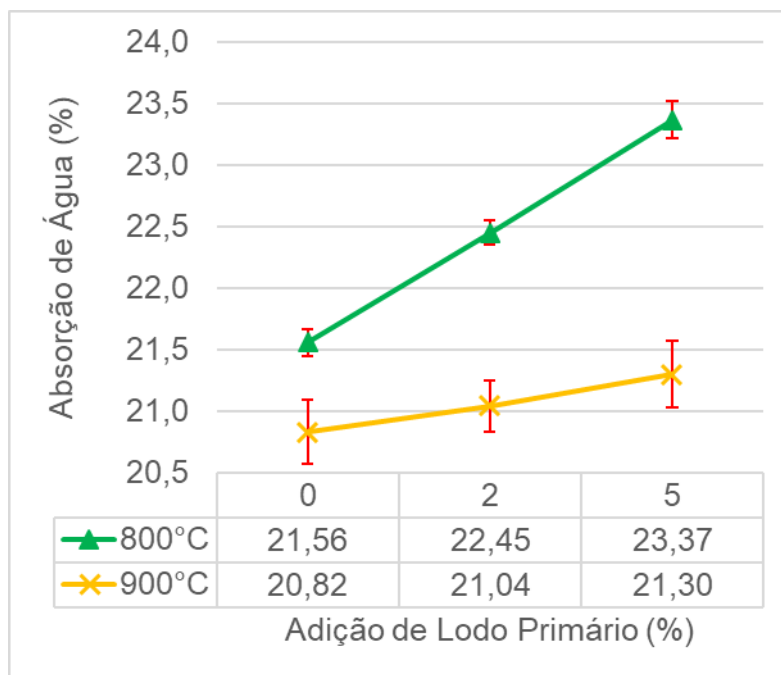


Figura 4. Absorção de água dos corpos de prova cerâmicos

Finalmente, os resultados do ensaio de resistência a flexão estão exibidos na Figura 5. Percebe-se que, com a incorporação de 2% de lodo primário, houve um declínio da resistência quando comparado a amostra de referência sem adições, contudo, os valores crescem novamente com a incorporação de 5% do resíduo, mostrando que o resíduo pode ser benéfico para essa propriedade. Em ambos os casos, tanto o aumento quanto a queda de resistência não foram significativas comparadas a de referência, mantendo-se a variação dentro do desvio padrão amostral. Além disso, comparando as temperaturas de queima, observa-se que os corpos cerâmicos queimados a 900°C alcançaram resultados melhores que os queimados a 800°C.

Em seus estudos, Pessanha [4] também comprovou o aumento da resistência a flexão, tanto com a temperatura maior de queima quanto para incorporações maiores de lodo primário, onde o autor percebeu esse aumento contínuo em incorporações de até 10% de resíduo. O autor afirma que o aumento de resistência em temperaturas mais elevadas ocorre devido à maior densificação do material cerâmico, já o aumento de resistência devido a incorporação de lodo primário ele atribui ao uso do resíduo *in natura*, ou seja, com todas as características fibrosas que o material possui quando sai do processamento industrial.

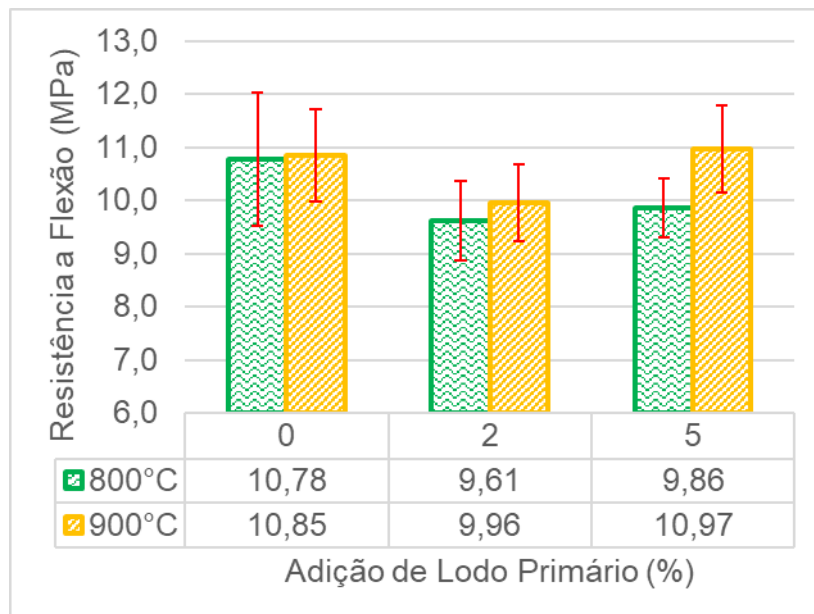


Figura 5. Resistência a flexão dos corpos de prova cerâmicos

3 CONCLUSÃO

A partir das análises das propriedades estudadas neste trabalho, entendeu-se como satisfatória a incorporação de resíduo da indústria de papel em cerâmica vermelha, onde foi possível chegar a algumas conclusões:

- Primeiramente, analisando a retração linear de queima das amostras cerâmicas, notou-se que as peças queimadas a 900°C tiveram uma retração muito superior as queimadas a 800°C, o que mostra que altas temperaturas de queima podem ser prejudiciais na análise dessa propriedade. Porém, no que se refere a incorporação de lodo primário, não houve diferença relevante em comparação as amostras sem adição de resíduo, principalmente nas peças com 5% de lodo onde os valores foram muito próximos aos das amostras com 0% de incorporação. Dessa forma, a adição do lodo primário na cerâmica mostra-se viável por essa propriedade, uma vez que não aumenta a retração das mesmas.
- No que se refere a absorção de água, percebeu-se um aumento proporcional nessa propriedade a medida em que se aumentava a proporção de lodo primário, no entanto, esse aumento ocorreu em escalas bem inferiores nos corpos cerâmicos queimados a 900°C em comparação aos queimados a 800°C. Além disso, todas as amostras de ambas temperaturas obtiveram valores de absorção inferior ao máximo sugerido de 25%, o que viabiliza o emprego do resíduo em cerâmica vermelha.
- Em se tratando de resistência a flexão, houve uma pequena queda nessa propriedade nas peças com 2% de incorporação de lodo primário, voltando a crescer os valores com 5% de incorporação do resíduo. Em ambas temperaturas de queima não houve diferença significativa nas resistências das peças com lodo comparadas as de referência, contudo, quando queimadas a 900°C a resistência obtida foi maior do que a 800°C.
- Portanto, a partir das análises realizadas nesse estudo, considera-se viável a incorporação de até 5% de resíduo da indústria de papel em cerâmica vermelha, uma vez que as propriedades não são afetadas de forma negativa, e sugere-se,

ainda, a temperatura de queima de 900°C para melhoramento da resistência a flexão.

Agradecimentos

Os autores agradecem à UENF, em especial ao Laboratório de Engenharia Civil e ao Laboratório de Materiais Avançados, pelo espaço, equipe de técnicos e equipamentos utilizados nessa pesquisa. À COPAPA pelo fornecimento do resíduo estudado. Ao projeto Caminhos de Barro pelo fornecimento de matéria prima. À CAPES, FAPERJ e CNPq pelo apoio à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- 1 Azevedo, A.R.G., Alexandre, J., Xavier, G.C., Pedroti, L.G. Recycling paper industry effluent sludge for use in mortars: A sustainability perspective. *Journal of Cleaner Production*. 2018;192:335-346.
- 2 Goel, G., Kalamdhya, A.S. An investigation on use of paper mill sludge in brick manufacturing. *Construction and Building Materials*. 2017;148:334-343.
- 3 Cusidó, J. A., Cremades, L. V., Soriano, C., Devant, M. Incorporation of paper sludge in clay brick formulation: Ten years of industrial experience. *Applied Clay Science*. 2015;108:191-198.
- 4 Pessanha, L. S. P. Incorporação do lodo primário da estação de tratamento de efluente de papel em cerâmica vermelha [dissertação]. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; 2019.
- 5 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro; 2016.
- 6 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-2: Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria Parte 2: Métodos de ensaios. Rio de Janeiro; 2017.
- 7 Santos, P. S. Ciência e Tecnologia das Argilas. v. 1, 2ª Edição. São Paulo: Edgard Blucher Ltda; 1989.