



INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO PONTA DE CIGARRO EM CERÂMICA ARGILOSA PARA TELHA

Luís Antonio Rangel Maciel (*), Felipe Sardinha Maciel, Virgínia Siqueira Gonçalves, José Nilson França de Holanda, Rômulo Leite Loiola.

* Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; luismaciel@globocom.com.

RESUMO

A ponta de cigarro é um resíduo sólido altamente poluente e consumido em larga escala em todo o mundo, com grandes problemas de descarte final. Este trabalho avaliou os efeitos da incorporação de até 5% em massa do resíduo ponta de cigarro nas propriedades tecnológicas e mecânicas de uma massa argilosa industrial para produção de telha. As matérias-primas utilizadas foram massa argilosa industrial e resíduo ponta de cigarro, que foram caracterizadas em termos de análise granulométrica, análise morfológica e plasticidade. Peças cerâmicas foram produzidas por prensagem uniaxial e queimadas em 1050 °C. As propriedades técnicas de retração linear e volumétrica, massa específica aparente, absorção de água, porosidade aparente e tensão de ruptura à flexão foram analisadas e os resultados experimentais mostraram que as propriedades técnicas estavam dentro do recomendado para a produção de telhas. Então, o resíduo de ponta de cigarro quando incorporado em pequenas quantidades (até 5% em massa), poderia ser usado como um substituto parcial de argila plástica na produção de telha cerâmica.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduo Ponta de Cigarro, Resíduo Sólido, Telha Cerâmica, Reciclagem, Sustentabilidade.

ABSTRACT

The cigarette butt is a highly polluting solid waste and consumed on a large scale worldwide, with major problems of final disposal. This work evaluated the effects of the incorporation of up to 5 wt.% of the cigarette butt waste on the mechanical and technologic proprieties of an industrial clayey mass for roofing tile production. The raw materials used were industrial clayey mass and cigarette butt waste, which were characterized in terms of granulometric analysis, morphological analysis and plasticity. Ceramic pieces were produced by uniaxial pressing and sintered at 1050 °C. The technical properties of the linear and volumetric shrinkages, specific density, water absorption, apparent porosity, and flexural strength were evaluated, and the experimental results showed that the technical properties were within the recommended for the production of roofing tiles. Then, the cigarette butt waste when incorporated in small quantities (up to 5 wt.%), could be used as a partial substitute for plastic clay in the production of ceramic roofing tile.

KEY WORDS: Cigarette Butt Waste, Solid Waste, Ceramic Roofing Tile, Recycling, Sustainability.

INTRODUÇÃO

Existem preocupação com a demanda dos resíduos sólidos que crescem de maneira descontrolada proveniente do desenvolvimento industrial definido por novos padrões de vida, norteados pelo consumismo e pela cultura do produto descartável e de difícil degradação. Sendo assim, é preciso investir em processos produtivos e tecnologias mais limpas e conscientes para minimizar os impactos ambientais (FERNANDES et al., 2003; MINGHUA et al., 2009; SANTOS et al., 2011).

A necessidade ambiental atrelado aos fatores econômicos e a falta de alguns recursos naturais não renováveis, gerou uma maior valorização e enaltecimento pelos resíduos industriais na utilização de produtos cerâmicos, uma vez que são capazes de admitir e destinar um grande volume de resíduos poluentes, de diferentes origens e tipos, já que sua elaboração produz em larga proporção comparada a outros ramos industriais (WENDER e BALDO, 1998; BARATA et al., 2012; BASTOS et al., 2013; SILVA et al., 2015).

Souza Cruz (2020), indústria fabricante de cigarros, movimenta cerca de R\$2,5 trilhões por ano e tem uma abrangência em mais de 200 países. Segundo dados da National Geographic (2019), os fumantes de todo o mundo compram cerca de 6,5 trilhões de cigarros a cada ano. Em contrapartida, destes trilhões de filtros de cigarro utilizados, apenas um terço é descartado corretamente.

A ponta de cigarro é um produto produzido em grandes quantidades no mundo todo e quando descartado de maneira imprópria, provoca efeitos negativos e incisivos ao meio ambiente. Ademais, é complexo a reciclagem do resíduo ponta



de cigarro, pois não se encontra métodos que garanta uma destinação eficiente e economicamente viável de seus constituintes. Então, a indústria cerâmica se torna como uma ótima alternativa a ser estudada para viabilizar o uso deste resíduo sólido (MOHAJERANI et al., 2016).

Embora a ponta de cigarro possua um tamanho minúsculo e aparentemente insignificante, ele possui quantidades consideráveis de materiais tóxicos (MARCHI et al., 2014). E quando descartado de maneira imprópria acarreta a geração de resíduos sólidos e contaminantes do solo, da água e dos lençóis freáticos (RIOS e OLIVEIRA, 2018).

O segmento cerâmico vem buscando se desenvolver ao longo dos anos com produtos de qualidade, com o objetivo de estar alinhado com o mercado e para isso, utilizam a abundância de matérias-primas naturais, fontes alternativas de energia e disponibilidade de tecnologia em seus equipamentos e processos industriais. As propriedades físicas, químicas e mineralógicas associadas às características do processamento cerâmico, admite que seja implementado alternativas na incorporação com produtos oriundos de resíduos sólidos. Isto proporciona uma redução nos impactos ambientais que o resíduo sólido geraria e redução no consumo da argila, que é um recurso natural não renovável (WENDER; BALDO, 1998; REIS, 2007; KADIR e MOHAJERANI, 2011; SILVA et al., 2015). Em muitos lugares do mundo, já é realidade a escassez de matéria-prima oriunda da natureza para se produzir o referido material (ZHANG, 2013).

Acondicionar o ecossistema adequado para condicionar a vida no planeta tem sido um grande desafio para a Ciência, em virtude do enorme desgaste sofrido pelo meio ambiente desde o último século. Assim, a missão principal do desenvolvimento científico sustentável tem sido estudar soluções para que a natureza consiga sobreviver aos danos causados pela humanidade.

Portanto, o presente trabalho propõe uma solução tecnológica alternativa para a disposição final do resíduo ponta de cigarro. Estritamente, avaliando os efeitos resultantes do resíduo de ponta de cigarro incorporado à massa argilosa industrial para fabricação de telha cerâmica.

OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades tecnológicas e mecânicas a fim de viabilizar uma proposta alternativa sustentável para a produção de telhas cerâmicas com a adição do resíduo ponta de cigarro na massa argilosa industrial, assim como investigar os efeitos causados nos corpos cerâmicos incorporados.

METODOLOGIA

Neste trabalho foram utilizadas as seguintes matérias-primas: massa argilosa industrial específica para a produção de telhas cerâmicas e resíduo ponta de cigarro. A massa argilosa industrial foi fornecida pela Cerâmica São José, que é uma empresa cerâmica instalada no Polo Cerâmico do município de Campos dos Goytacazes/RJ.

A partir dessas matérias primas foram são preparados corpos de provas cerâmicos com 0%, 1,25%, 2,5%, 3,75% e 5% em massa de resíduo de ponta de cigarro. Essa quantidade se justifica pelo fato de o resíduo proposto ter um comportamento como um agente formador de poros durante o processo de queima.

Primeiramente, as matérias primas foram beneficiadas. A massa argilosa foi tratada por um ajuste granulométrico manual até alcançar 42 mesh e o resíduo ponta de cigarro, foi coletado no meio ambiente de maneira aleatória, conforme a Figura 1, e antes do ajuste granulométrico em peneira de 42 mesh, foi necessário ser triturado em um moinho de facas da marca Marconi e modelo MA340, conforme Figura 2.



Figura 1: Referência do resíduo ponta de cigarro. Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.



Figura 2: Amostra do resíduo de cigarro após o peneiramento em 42 mesh. Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Após beneficiamento, as matérias primas foram conformadas por prensagem uniaxial utilizando uma pressão de compactação de 24 MPa em uma matriz de aço inoxidável retangular nas seguintes dimensões: 115 mm de comprimento, 25 mm de largura e 10 mm de altura com 50 gramas de matéria prima.

Para garantir confiabilidade e minimizar a variabilidade intrínseca dos materiais cerâmicos, foram produzidos para cada formulação e em cada temperatura de queima uma quantia de 5 corpos de prova. Em seguida, foi gerado a média e o desvio padrão de cada lote para a definição das propriedades tecnológicas e análises propostas. Os corpos de provas foram queimados na temperatura de 1050°C durante 2 horas na temperatura de patamar com uma taxa de aquecimento de aproximadamente 2°C/min e resfriamento lento por inércia da temperatura atingida pelo forno elétrico até a temperatura ambiente.

O processo de queima é um tratamento térmico em alta temperatura, pois somente em altas temperaturas é possível ocorrer o mecanismo de consolidação por fase líquida, provocando o progresso da vitrificação importante na microestrutura resultante e propriedade final desejada. O aquecimento e resfriamento lento são parâmetros característicos na fabricação de telhas, com o intuito de obter melhores propriedades e evitar desvios da peça cerâmica.

A Figura 3 mostra como ficaram os corpos de provas queimados e é possível observar que a adição do resíduo ponta de cigarro não alterou o aspecto visual e coloração deles.

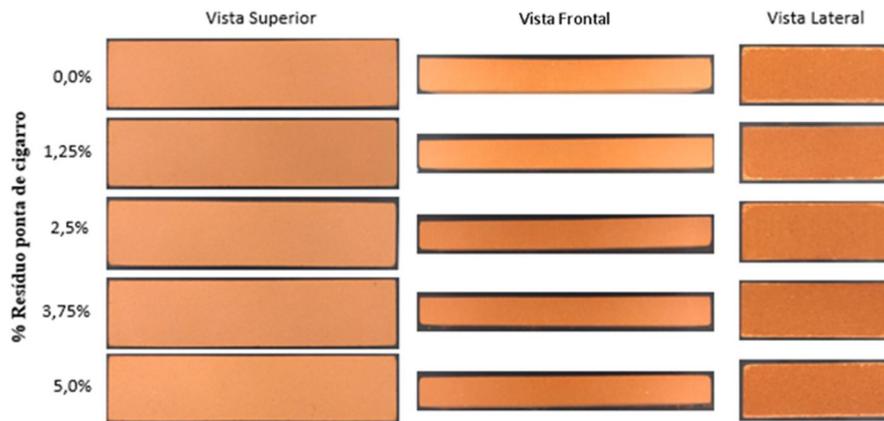


Figura 3: Vista Superior, Lateral e Frontal dos corpos de prova pós queima em função da % de resíduo ponta de cigarro incorporado. Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Para caracterizar as matérias primas, primeiramente foi realizado análise granulométrica acordo com os procedimentos da NBR 7181 (ABNT, 1984) com o objetivo de determinar os tamanhos das partículas ou grãos que compõe a formulação argilosa proposta, bem como gerar a curva granulométrica., Limites de consistência de Atterberg para determinar as propriedades plásticas da massa argilosa industrial em conformidade com as normas NBR 6459 (ABNT, 1984) para o limite de liquidez e NBR 7180 (ABNT, 1984) para o limite de plasticidade, densidade dos grãos segundo a NBR 6508 (1984) e NBR 6457 (1986) e estudo da morfologia das partículas do resíduo ponta de cigarro após o beneficiamento e mistura, simulando a situação real do produto por meio da microscopia eletrônica de varredura (MEV) utilizando o equipamento da marca Shimadzu e modelo SSX-550 com espectrômetro de energia dispersiva (EDS) acoplado, após a secagem em estufa a 110 °C por 24 horas e metalização pela cobertura da amostra com uma fina camada de ouro.

Nas propriedades de secagem, foram determinadas a retração linear e volumétrica de secagem e a tensão de ruptura à flexão dos corpos de provas seco.

Após a queima dos corpos de prova cerâmicos, foi encontrado: retração linear e volumétrica de queima, perda ao fogo, tensão de ruptura à flexão conforme a Norma C674-77 (ASTM, 1989) e as propriedades tecnológicas (massa específica aparente, porosidade aparente, absorção de água) conforme a Norma ASTM C373.

RESULTADOS

Nas curvas granulométricas das massas cerâmicas com 0%, 2,5% e 5,0% do resíduo ponta de cigarro (Figura 4) foi observado que as formulações incorporadas com resíduo possuem tamanho de partículas compreendendo na faixa de 0,0013 - 0,84 mm e a massa argilosa pura, possui tamanho de partícula compreendendo na faixa de 0,0014 – 0,84 mm.

Isto significa que a incorporação do resíduo ponta de cigarro não teve alteração significativa na granulometria em comparação com a massa argilosa tradicional utilizada para produzir telha cerâmica e portanto, não irá afetar a densificação e consequentemente nas propriedades finais do produto cerâmico.

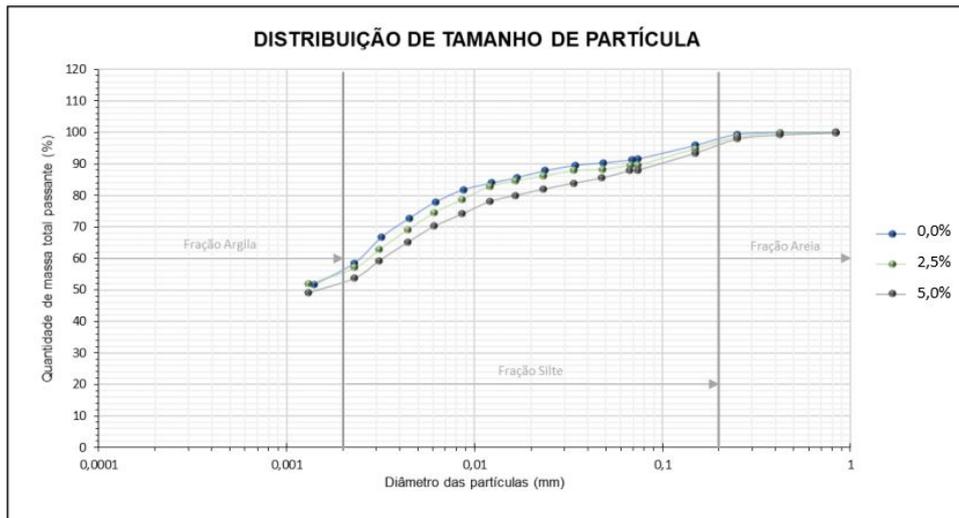


Figura 4: Gráfico de distribuição de tamanho de partícula. Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

A Tabela 1 apresenta os resultados dos limites de consistência de Atterberg obtidos para as massas argilosas com 0%, 2,5% e 5,0% do resíduo ponta de cigarro.

Tabela 1: Limite de Plasticidade, Limite de Liquidez e Índice de plasticidade.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

ÍNDICES DE ATTERBERG			
Massas Cerâmicas	Limite de Liquidez	Limite de Plasticidade	Índice de Plasticidade
0%	64,0%	33,5%	30,5%
2,5%	64,9%	35,2%	29,7%
5,0%	64,5%	34,8%	29,7%

Como se pode observar na Tabela 1, a massa cerâmica possui uma alta plasticidade e o resíduo ponta de cigarro teve uma pequena influência no índice de plasticidade com uma queda de 0,8%. Com base nisso, não é significativo a ponto de comprometer a trabalhabilidade da massa cerâmica, consequentemente não comprometendo o processo de densificação e resultando em corpos cerâmicos mais uniformes com boas propriedades.

A densidade real dos grãos indicou que a incorporação do resíduo ponta de cigarro aumentou cerca de 2,35% comparando 0% e 5,0% de resíduo ponta de cigarro incorporado.

Na análise morfológica foi investigada a aparência física da matéria prima, isto é, o aspecto e forma do resíduo ponta de cigarro em um zoom de 100 vezes, como mostra a Figura 5.

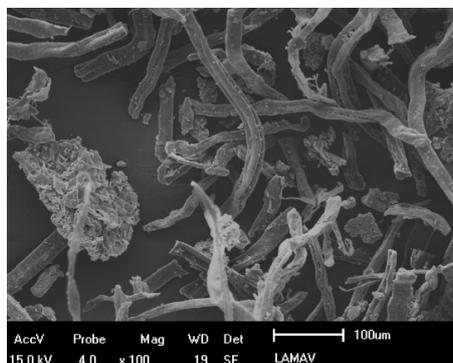


Figura 5: Micrografia do resíduo ponta de cigarro. Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Por meio da micrografia acima, é possível observar que o resíduo ponta de cigarro tem um perfil pontiagudo e característico de um material fibroso ao ser triturado.

Os parâmetros de secagem (Figura 6) mostram que a retração linear e volumétrica de secagem, tiveram pequenas variações dentro dos desvios padrão. Entretanto, é importante destacar a melhoria obtida na tensão de ruptura à flexão a seco de aproximadamente 48,84 %, onde foi observado que o resíduo ponta de cigarro incorporado otimizou a resistência mecânica a seco em consequência da compactação melhorada que está atrelado ao beneficiamento dado ao resíduo.

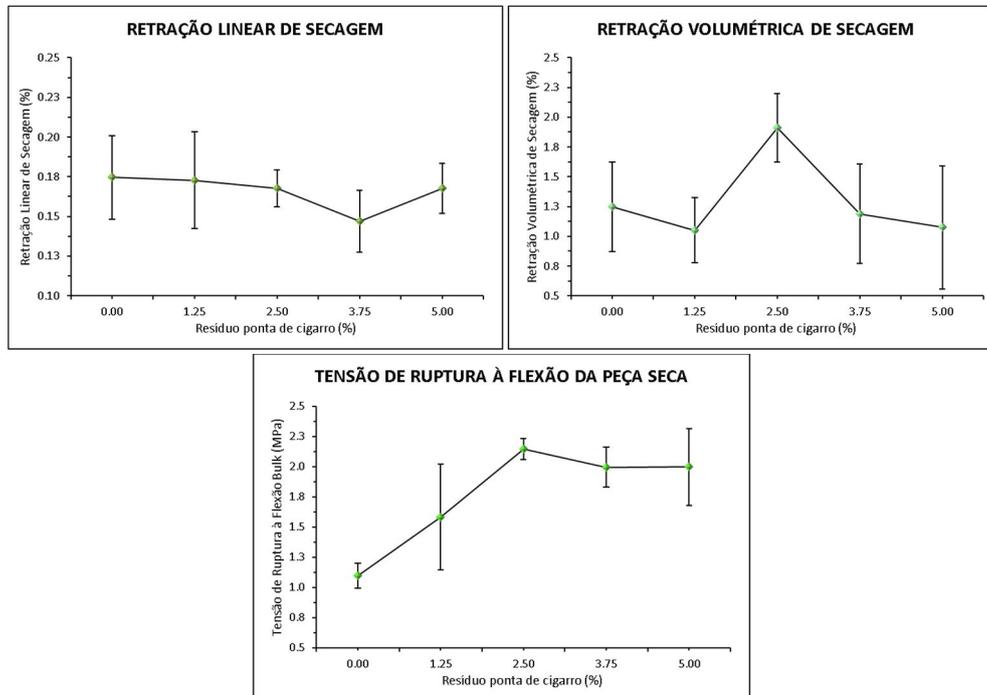


Figura 6: Parâmetros de secagem dos corpos cerâmicos incorporados em até 5% em massa do resíduo sólido ponta de cigarro. Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

A Figura 7 mostra as propriedades tecnológicas das peças cerâmicas sinterizadas.

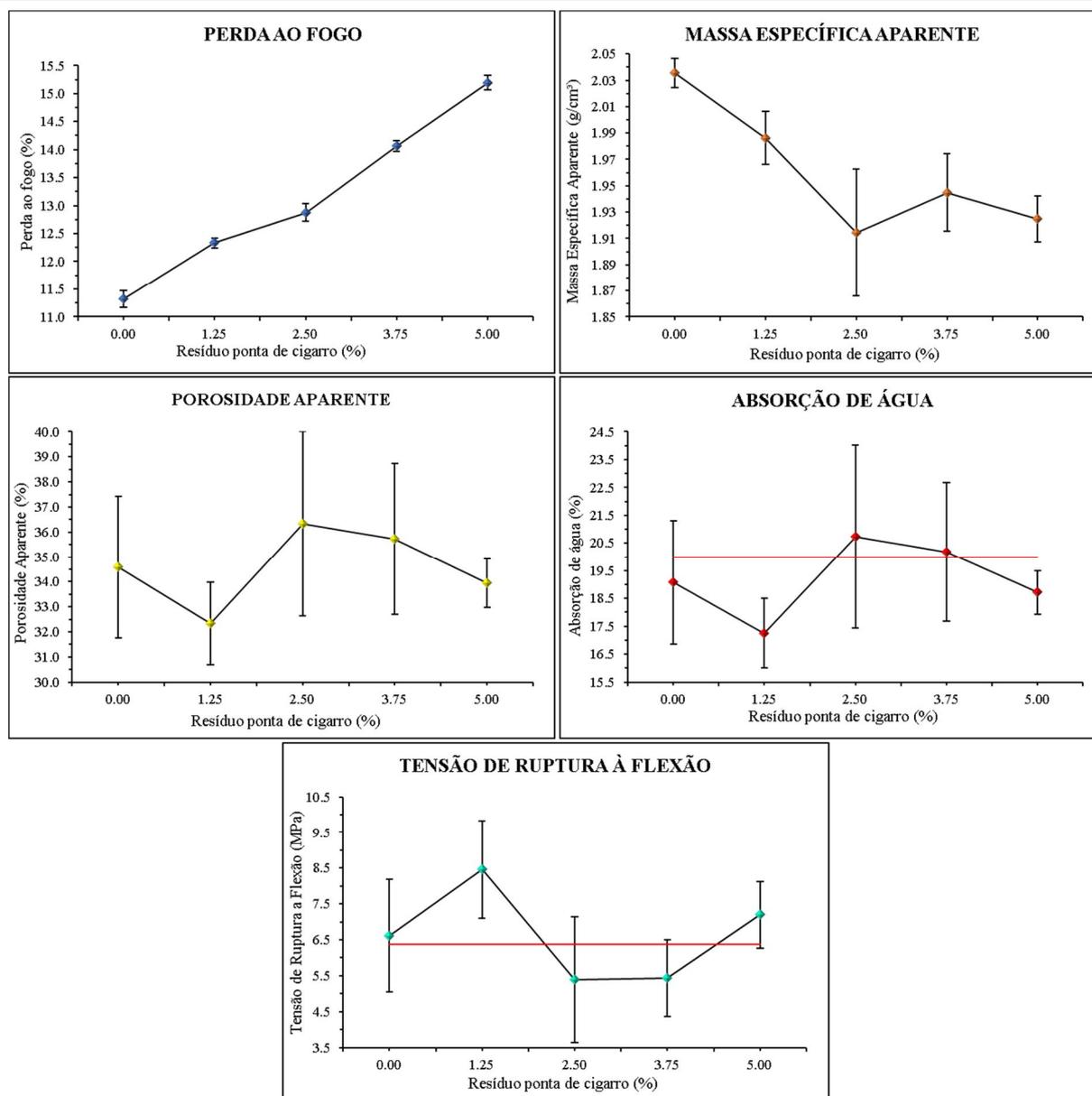


Figura 7: Caracterização física e mecânica dos corpos cerâmicos incorporados em até 5% em massa do resíduo sólido ponta de cigarro. Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

A partir da observância da Figura 7, é possível observar que o resíduo ponta de cigarro oferece uma alta perda ao fogo, pois o resíduo ponta de cigarro, composto majoritariamente de matéria orgânica, é destruído e volatilizado durante o processo de queima. Este resultado é importante, pois influencia posteriormente no processo de densificação e consequentemente nas propriedades técnicas dos corpos cerâmicos.

A massa específica aparente diminuiu a medida que o resíduo ponta de cigarro foi incorporado e isso acontece devido a alguns fatores como: a decomposição do resíduo ponta de cigarro no processo de sinterização (aumento da perda ao fogo), mecanismo de consolidação formando a fase líquida, a qual tende a fechar os vazios interno da microestrutura, calor produzido pela combustão do resíduo ponta de cigarro que auxilia na sinterização e a cinza remanescente que é gerada pelo processo de combustão do resíduo ponta de cigarro que também ajuda na densificação do corpo cerâmico.

A absorção de água está relacionada à porosidade aparente e isso significa que a quantidade de poros abertos acarreta impactos microestruturais, na impermeabilização, resistência mecânica e durabilidade do corpo cerâmico. Neste caso, considerando os desvios padrão, os resultados foram satisfatórios em conformidade com a Norma ABNT NBR 15310 que recomenda uma absorção de água $\leq 20\%$ para a produção de telhas cerâmicas.



Além da absorção de água, a resistência mecânica de ruptura à flexão é um fator imprescindível para a determinação da qualidade técnica da telha cerâmica. Os resultados mostraram que, considerando limites de dispersão, também foi possível alcançar o recomendado por Santos (1989) de no mínimo 6,37 MPa.

CONCLUSÕES

Conforme os resultados experimentais apresentados anteriormente, a incorporação do resíduo ponta de cigarro foi viável do ponto de vista produtivo para a indústria cerâmica voltada para a fabricação de telhas, onde o beneficiamento para o ajuste granulométrico do resíduo foi bem-sucedido e a adição do resíduo ponta de cigarro não comprometeu as propriedades físicas e mecânicas dos corpos cerâmicos recomendadas.

Em suma, o resíduo ponta de cigarro quando incorporado em pequenas quantidades (até 5% em massa), pode ser um potencial resíduo para ser usado como um substituto parcial de argila plástica na produção de telha cerâmica. Não maximiza as propriedades, entretanto, às mantém estável, proporciona um melhor empacotamento e principalmente, se apresenta como uma ótima opção para o reaproveitamento deste resíduo sólido que é um grande poluidor e estar presente em grandes quantidades no meio ambiente por meio de descartes inadequados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas. **Determinação da Análise Granulométrica de solos**. NBR 7181/1984.
2. ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas (2004). **Resíduos sólidos: classificação**. NBR 10004.
3. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). **Determinação da Massa Específica**. NBR 6508.
4. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). **Solo – Determinação do Limite de Plasticidade Solo – Determinação do Limite de Plasticidade**. NBR 7180.
5. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). **Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. NBR 6457.
6. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). **Soil - Determination of Liquidity Limit**. NBR 6459.
7. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). **Componentes cerâmicos — Telhas — Terminologia, requisitos e métodos de ensaio**. NBR 15310.
8. ASTM C373-72 - American Society for Testing and Materials. **Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products**, USA, 1977.
9. ASTM C674-77 (1977). American Society for Testing and Materials, **Flexural Properties of Ceramic Whiteware Materials**.
10. BARATA, M. S.; ANGÉLICA, R. S., **Caracterização dos resíduos caulínicos das indústrias de mineração de caulim da Amazônia como matéria prima para produção de pozolanas de alta reatividade**, Cerâmica 58, 36-42, 2012.
11. BASTOS, R. S. et al., **Revisão bibliográfica dos estudos sobre a aplicação da lama do beneficiamento de rochas ornamentais na produção de materiais de construção**. Anais do 55º Congresso Brasileiro do Concreto, Rio Grande do Sul: Instituto Brasileiro do Concreto, p. 1-16., 2013.
12. FERNANDES, P. F. et al., **Reciclagem do Lodo da Estação de Tratamento de Efluentes de uma Indústria de Revestimentos Cerâmicos**. Parte 1: Ensaios Laboratoriais Industriais. Cerâmica Industrial, vol. 8 n.2 Março/Abril. Criciúma – SC, 2003.
13. KADIR, A. A.; MOHAJERANI, A., **Recycling cigarette butts in lightweight fired clay bricks**. *Proceedings Of The Institution Of Civil Engineers - Construction Materials*, [s.l.], v. 164, n. 5, p.219-229, out. 2011. Thomas Telford Ltd.
14. MARCHI, J.; MACHADO, E. C.; TREVISAN, M., **Descarte e destinação adequados aos resíduos pós-consumo de cigarros: Inovação a alternativas possíveis**. In: XVI Encontro Internacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 16. Santa Maria: ENGEMA, 2014. p. 15.
15. MINGHUA, Z. et al., 2009. **Municipal solid waste management in Pudong New Area, China**. *Journal of Waste Management*. 29, 1227–1233.
16. MOHAJERANI, A.; KADIR, A. A.; LAROBINA, L., **A practical proposal for solving the world's cigarette butt problem: Recycling in fired clay bricks**. *Waste Management*, [s.l.], v. 52, p.228-244, jun. 2016. Elsevier BV.
17. NATIONAL GEOGRAPHIC. 2019. **Cigarette butts are toxic plastic pollution? Should they be banned?**. Disponível em < <https://www.nationalgeographic.com/environment/2019/08/cigarettes-story-of-plastic/>>. Acessado em: 02/03/2020.



18. NOVOTNY, T. E.; SLAUGHTER, E., **Tobacco Product Waste: An Environmental Approach to Reduce Tobacco Consumption.** *Current Environmental Health Reports*, [s.l.], v. 1, n. 3, p.208-216, 6 maio 2014. Springer Nature.
19. RIOS, D. A. M.; OLIVEIRA, F. D. S., **Resíduo de cigarro: uma proposta de manejo ambiental.** IN: Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, 1., 2018, Brasília. Gramado-rs: Conresol, 2018. p. 1 - 5.
20. SANTOS, P.S. (1989). **Ciência e tecnologia das argilas**, 2ª Ed., São Paulo, Edgard Blucher, v.1, 405p.
21. SANTOS, J. G. et al., **A importância das cooperativas de reciclagem na gestão dos resíduos sólidos urbanos: um estudo em uma cooperativa de Campina Grande – PB.** In: XIV Seminários Em Administração, 14. Campina Grande: SEMEAD, 2011, p. 17.
22. SILVA, G. P. B. et al., **O uso de resíduos sólidos como forma alternativa para aplicação na indústria cerâmica com foco na redução dos impactos ambientais.** In: XXXV Encontro Nacional De Engenharia De Producao, 35. Fortaleza: ABEPRO, 2015. p.13.
23. SOUZA CRUZ. 2020. **Importância global.** Disponível em: <
http://www.souzacruz.com.br/group/sites/SOU_AG6LVH.nsf/vwPagesWebLive/DO9YDBC9?opendocument>
Acessado em: 02/03/2020.
24. TORKASHVAND, J. et al., **Littered cigarette butt as a well-known hazardous waste: A comprehensive systematic review.** *Journal Of Hazardous Materials*, [s.l.], v. 383, p.121242, fev. 2020. Elsevier BV.
25. WENDER, A.A.; BALDO, B.B. **O potencial da utilização de um resíduo argiloso na fabricação de revestimento cerâmico - Parte II.** *Cerâmica Industrial*, São Paulo, v.3, n.1-2, p.34-36, 1998.
26. ZHANG, Lianyang. **Production of bricks from waste materials – A review.** *Construction and Building Materials*, [s.l.], v. 47, p.643-655, out. 2013. Elsevier BV.