

## **Resistência Térmica de Tijolos de Solo-cimento: Comportamento da Perda de Massa diante da Substituição do Agregado Miúdo por Rejeito Mineral da Scheelita**

**(Thermal Resistance of Soil-cement Bricks: Behavior of Mass Loss on the Replacement of the Small Aggregate by Scheelite Mineral Reject)**

J. V. Cunha Oliveira<sup>1</sup>; F. F. D. A. Meira<sup>1</sup>, C. R. S. Morais<sup>2</sup>, J. L. G. Medeiros<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal da Paraíba – Campus Campina Grande

R. Tranqüilino Coelho Lemos, 671 - Dinamérica - Campina Grande – Paraíba, Brasil.

CEP: 58.432-300 / Telefone: (83) 2102.6233

<sup>2</sup>Universidade Federal de Campina Grande – Campus I

R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário - Campina Grande – Paraíba, Brasil.

CEP: 58.429-900 / Telefone: (83) 2101.1178

[joaovictorwo@gmail.com](mailto:joaovictorwo@gmail.com)

### **Resumo**

*A capacidade resistiva dos materiais de construção civil é colocada em ênfase como parâmetro fundamental para atestar a respectiva durabilidade diante dos agentes ambientais de deterioração. Objetiva-se com este trabalho avaliar a resistência térmica de tijolos de solo-cimento, em idade de hidratação avançada, quanto à influência do rejeito mineral da extração da scheelita em sua composição como agregado reciclado. A conformação dos protótipos foi realizada mediante prensa hidráulica, e após 24 horas em atmosfera ambiente, os corpos de prova foram direcionados à estufa com circulação de ar forçada para secagem acelerada à 200°C por 24 horas, e aguardado o período de 180 dias, realizaram-se as termoañalises de perda de massa. O comportamento da resistência térmica para todos os traços foi equiparado até 250°C, com perda de massa total mais elevada para a composição com 27% de incorporação do rejeito mineral à 1000°C. A formulação de referência foi a que menos sofreu perda de massa.*

*Palavras-chave: Tijolo de solo-cimento, scheelita, decomposição térmica, termogravimetria*

### **Abstract**

*The resistive capacity of civil construction materials is emphasized as a fundamental parameter to attest to their durability in the face of deteriorating environmental agents. The objective of this work is to evaluate the thermal resistance of soil-cement bricks, at an advanced hydration age, regarding the influence of the mineral waste from the scheelite extraction in its composition as a recycled aggregate. The prototypes were made by hydraulic press and after 24 hours in ambient atmosphere, the specimens were directed to the oven with forced air circulation for accelerated drying at 200°C for 24 hours, and waiting the period of 180 days, the thermoanalysis of weight loss was carried out. The behavior of the thermal resistance for all traces was equated to 250°C, with the highest total weight loss for the composition with 27% incorporation of the mineral waste at 1000°C. The reference formulation was the one that suffered least weight loss.*

*Keywords: Soil-cement brick, scheelite, thermal decomposition, thermogravimetry*

## INTRODUÇÃO

Na atualidade, os materiais de construção produzidos pelas indústrias do cimento, aço e cerâmica utilizam a queima como principal mecanismo de fabricação, depositando na atmosfera elevadas concentrações de monóxido e dióxido de carbono, além de materiais particulados [1]. Com ênfase para a produção de tijolos cerâmicos, nota-se de forma veemente os efeitos decorrentes do uso de matéria-prima não renovável e energia, pois para cada tonelada de tijolo fabricada, calcula-se o consumo de energia de 706kWh, além da emissão de 150kg de dióxido de carbono, tornando-se uma contradição no atual conceito de desenvolvimento sustentável [2].

Pode-se notar que a indústria da construção civil configurou-se, de forma promissora, como uma alternativa na correta destinação de diversos subprodutos industriais, quando compara-se com métodos de eliminação mais tradicionais [3], pelo potencial em incorporar os rejeitos como constituintes dos materiais de construção, reduzindo o uso de insumos de origem natural, e elevando conceito de sustentabilidade em um dos setores industriais que mais consome matérias-primas não renováveis.

O uso do solo-cimento, como material de construção, aplica-se em variadas etapas construtivas, que vai desde a produção de tijolos até a correção de solos em camadas superficiais para fundações diretas. Com destaque para os de tijolos, é possível reduzir o volume de rejeitos produzidos utilizando-os como constituinte complementar, para que diminua-se a poluição e proteja-se as matérias-primas do esgotamento [4].

A correta destinação de subprodutos industriais, no tocante a classe dos sólidos, torna-se difícil pelos mecanismos tradicionais de destinação que estão disponíveis, uma vez que dentro do viés social, econômico e ambiental, a disposição inadequada acarreta em impactos irreversíveis, necessitando-se de um sistema permanente e sustentável [5]. No entanto, o conceito de sustentabilidade avança de forma paulatina nos cenários convencionais de projeto e construção [6], considerando a reciclagem como fator crucial no desenvolvimento do setor.

O rejeito mineral da extração da scheelita configura-se, no aspecto da disposição final, de forma inadequada pelo descarte a céu aberto no entorno da mineradora em Currais Novos-RN, onde estima-se que estejam dispostas de forma inadequada 4,5 a 5 milhões de toneladas do rejeito mineral, apenas para o beneficiamento fino [7].

A análise térmica surge como um mecanismo auxiliar na obtenção de dados a respeito do desempenho mecânico dos materiais quando submetidos à determinadas temperaturas, onde a durabilidade esperada pode ser investigada diante das taxas de aquecimento, bem

como os intervalos de temperatura que existam perdas acentuadas ou gradativas de massa, demonstrando que compostos químicos em específico sofreram mudança de estado físico ou modificações diante da razão de aquecimento nos quais foram submetidos.

Uma das formas de avaliar-se a durabilidade dos materiais é por meio de análise de perda de massa, buscando tomar conhecimento das propriedades perdidas durante o processo de degradação térmica acelerada, alavancando a tentativa de implantar mecanismos que reduzam a ação dos agentes ambientais que causam danos à integridade do material, conferindo melhor desempenho ao logo de sua vida útil [8].

Dessa forma, objetiva-se com esse estudo avaliar o comportamento da perda de massa através da técnica de termogravimetria de tijolos de solo-cimento hidratados de forma acelerada em estufa à 200°C por 24 horas, confeccionados com rejeito da extração da scheelita, aplicando substituições parciais de 9 até 45%, quando atingida a idade de 180 dias para os espécimes fabricados.

## **PROGRAMA EXPERIMENTAL**

A confecção dos tijolos foi realizada nos Laboratórios de Materiais de Construção e Geotecnia do Instituto Federal da Paraíba – Campus Campina Grande, e as análises térmicas foram realizadas no Laboratório de Caracterização de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande – Campus I. Os traços estabelecidos para fabricação dos tijolos foram determinados a partir do quantitativo de cimento Portland, fixado em 10% [9]. A massa dos 90% restantes foi constituída de solo previamente peneirado em malha ABNT nº 4 (4,76mm), seguido de destorroamento para desagregar os grãos maiores, conferindo propriedades argilosas ao solo pelo aumento do teor de finos.

O rejeito é oriundo da Mina Brejuí, situada no município de Currais Novos-RN. O solo é proveniente de recorte de bota-fora, ou seja, solo para descarte, de condomínio fechado (Atmosphera Residence) situado às margens da BR-104 na cidade de Campina Grande-PB, e o cimento foi comprado no comércio local, de fabricante Elizabeth Cimentos, classificado como CP II Z-32 (Cimento Portland Composto com Adição de Pozolana e Resistência aos 28 dias de 32 MPa).

A água de homogeneização foi coletada dos drenos de ar condicionado da Biblioteca do Instituto Federal da Paraíba – Campus Campina Grande, variando de 5 a 10% em peso total do material seco, definido ao final do planejamento para possuir 2,00Kg. A incorporação do rejeito mineral da scheelita foi realizada em intervalos de 9% até 45% (Tabela 1).

Tabela 1. Formulações aplicadas no desenvolvimento dos tijolos de solo-cimento.

Composição	Percentuais		
	<i>Cimento</i>	<i>Solo</i>	<i>Rejeito</i>
<b>B</b>	10%	90%	0%
<b>B1</b>	10%	81%	9%
<b>B2</b>	10%	72%	18%
<b>B3</b>	10%	63%	27%
<b>B4</b>	10%	54%	36%
<b>B5</b>	10%	45%	45%

Após planejamento da composição, obteve-se a razão de 1:9,0:1 (cimento, areia e água) para fabricação do traço de referência e dos demais com uso do agregado reciclado. O procedimento escolhido iniciou-se com a mistura do solo e do rejeito com o auxílio de sacos plásticos, para depois ser realizada a homogeneização com a água de amassamento, de forma manual, com etapa de 1 tijolo por vez em prensa hidráulica (Figura 1).



Figura 1. Solo, rejeito, pesagem para homogeneização a seco, e prensa hidráulica utilizada.

Depois de conformados, os tijolos permaneceram em temperatura ambiente nas primeiras 24 horas, com 1 molhagem após 10 horas de realização da prensagem, para que então fossem submetidos ao processo de secagem acelerada em estufa com circulação de ar forçada em isoterma de 200°C, também pelo período de 24 horas (Figura 2). Depois de retirados da estufa, os protótipos foram dispostos em bancada até atingirem o período de 180 dias, para então ser realizada a análise térmica.



Figura 2. Estufa e acomodação dos tijolos em seu interior.

Para realizar a avaliação da perda de massa, ou termogravimetria (TGA) e 1ª derivada (DrTGA), utilizou-se equipamento SHIMADZU Modelo DTG-60H, equipamento pertencente ao Laboratório de Caracterização de Materiais da UFCG – Campus Campina Grande, acondicionando as amostras em atmosfera de nitrogênio, com razão de aquecimento de 10°C/min, obedecendo o intervalo da temperatura ambiente (25°C) até 1000°C (Figura 3).



Figura 3. Central de gás, software e equipamento.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através das análises térmicas realizadas, pode-se visualizar através de curvas o comportamento de cada composição em faixas de temperatura de 25°C até 1000°C, estando dispostas na Figura 4, de forma ordenada, as respectivas curvas de termogravimetrias (TGA) (cor vermelha) e termogravimetria derivada (DrTGA) (cor preta). Para maior auxílio quanto a existência de eventos bem definidos de perda de massa, gerou-se também a curva da análise

térmica diferencial (DTA) (cor azul), que demonstra o comportamento da temperatura conforme mudança de fases das reações endotérmicas.

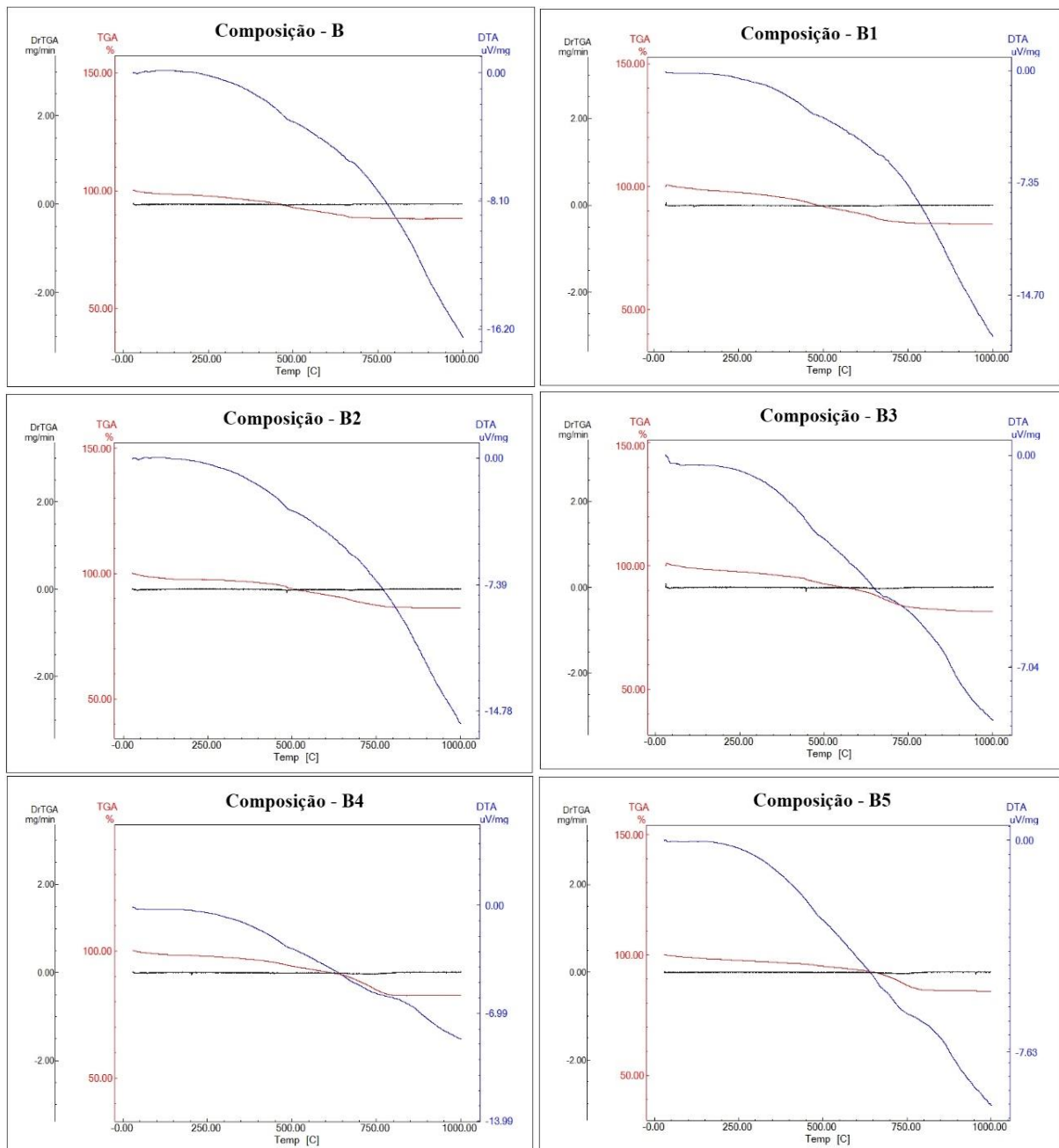


Figura 4. Curvas de análise termogravimétrica para as composições dos tijolos de solo-cimento.

A composição B apresenta um evento de perda de massa bem definido, que inicia-se na temperatura de 482,78°C (primeiro pico endotérmico) e termina em 665,34°C (segundo pico endotérmico), bastante similar ao comportamento de B1, com início em 469°C e terminando em 664,13°C, ambos picos endotérmicos, correspondentes a vales endotérmicos (visível na curva de TGA), produzindo uma baixa transferência de massa que acompanha cada evento. Existe a presença de eventos exotérmicos finais em ambos, em B aparecendo em 676,72°C e

em B1 na temperatura de 674,37°C. B2 apresenta 3 picos endotérmicos, para 2 eventos bem definidos de perda de massa, respectivamente em 490,53°C, 640,17°C e 733,59°C, demonstrando maior atraso térmico em comparação a B e B1, além de um pico inicial em 43,79°C. Para o B3, os principais picos endotérmicos concentram-se em 480,79°C e 676,12°C, notando-se pico inicial em 44,13°C, denotando também pico exotérmico bem definido em 829,79°C, que finaliza em 889,31°C. A composição B4 também demonstra 3 picos endotérmicos nas temperaturas de 484,38°C, 677,58°C e 812,40°C, e entre o segundo e terceiro pico foi observado um pico exotérmico em 697,52°C, estando associado a não decomposição, ou a transformação de algum óxido presente em novas fases cerâmicas [10]. A composição B5 apresenta perda de massa bem definida em faixa de temperatura mais elevada, entre 667,49°C e 783,36°C, seguido de evento exotérmico que finaliza-se em 885,46°C. A Tabela 2 a seguir apresenta os percentuais mensurados, de perda de massa, conforme cada composição avaliada em faixas de 250°C.

Tabela 2. Percentuais de perda de massa de acordo com o intervalo de aquecimento, e total.

<b>Composição</b>	<b>25°C – 250°C</b>	<b>250°C – 500°C</b>	<b>500°C – 750°C</b>	<b>750°C – 1000°C</b>	<b>Total</b>
<b>B</b>	-2,309%	-4,860%	-4,557%	-0,041%	-11,766%
<b>B1</b>	-2,462%	-5,695%	-6,596%	-0,551%	-15,304%
<b>B2</b>	-2,550%	-3,567%	-6,542%	-1,201%	-13,861%
<b>B3</b>	-2,394%	-4,912%	-9,349%	-2,007%	-18,662%
<b>B4</b>	-2,080%	-3,881%	-9,388%	-2,238%	-17,587%
<b>B5</b>	-2,309%	-2,423%	-7,880%	-2,461%	-15,073%

A partir de cada intervalo, nota-se que até 250°C todas as composições denotam valores equiparados para a perda de massa, podendo estar associada a perda de água livre e de constituição, seguindo até o final do primeiro intervalo. O segundo intervalo apresenta aumento da perda de massa, com os traços B1 e B3 superiores ao traço de referência, contudo, as demais composições apresentaram menor decomposição. O terceiro intervalo demonstra aumento relevante na perda de massa, associada a presença do rejeito mineral onde os percentuais de inserção são maiores, onde B3 e B4 apresentam mais que o dobro do valor do traço B, que obteve menor perda quando comparado ao intervalo anterior. O quarto e último

intervalo apresenta reduzida decomposição das amostras, devido a caulinita já ter passado pelo processo de desidroxilação, estando associada também a decomposição dos óxidos produzidos nos intervalos anteriores. Para as composições com rejeito mineral B3, B4 e B5, foi apresentada menor resistência térmica, onde o subproduto apresenta-se mais frágil e perde massa com maior intensidade quando em comparação com o solo.

De todas as composições, o traço de referência expos menor perda de massa foi o B com -11,766%, e em comparação com os demais que incorporaram o rejeito em sua composição como agregado reciclado, o B2 foi a composição que perdeu menos massa foi, com -13,861%, com 18% de agregado reciclado em sua composição, sendo o mais resistente termicamente quando em comparação com os demais. Seguido do B2, o traço B5 com 45% de rejeito mineral apresentou -15,073%, e a maior perda de massa foi apresentada pelo traço B3, com 27% de agregado reciclado, de -18,662%.

## **CONCLUSÕES**

Conclui-se que o comportamento da resistência térmica para todos os traços foi equiparado até 250°C, e analisando de forma global, existe viabilidade de aplicar-se o rejeito da scheelita como agregado, uma vez que o comportamento até 250°C é semelhante para todas as composições, com perda de massa total mais elevada para a composição com 27% de incorporação do rejeito mineral à 1000°C. A formulação de referência foi a que menos sofreu perda de massa, e dentre as que aplicaram o rejeito na composição, o uso de 18% foi o que mais resistiu a queima. Para todas as termoanálises, a curva da 1ª derivada da termogravimetria permaneceu eminentemente igual para todas as composições avaliadas. Parâmetros como a resistência à compressão axial e tração da flexão devem ser avaliados para ratificar de forma mais exata o quantitativo ideal de rejeito a ser utilizado.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao CNPq pela concessão da bolsa, ao primeiro autor, na modalidade PIBITI através do Edital nº 25/2016 – PRPIPG/IFPB. Ao Instituto Federal da Paraíba – Campus Campina Grande pelo apoio financeiro e suporte laboratorial para desenvolvimento desta pesquisa. Ao Laboratório de Caracterização de Materiais (LCM/UAEMA/CCT) da UFCG – Campus Campina Grande, em especial ao doutorando Jean Medeiros e à professora Crislene Morais pelo amparo na realização das análises térmicas. Os autores também agradecem à Yokiny C. C. Pessoa pela disponibilização da prensa hidráulica utilizada na conformação dos tijolos.



## REFERÊNCIAS

- [1] K.Q. Tran, T. Satomi, H. Takahashi, Improvement of mechanical behavior of cemented soil reinforced with waste cornsilk fibers, *Construction and Building Materials*. 178 (2018) 204-210.
- [2] Z. Zhang, Y.C. Wong, A. Arulrajah, S. Horpibulsuk, A review of studies on bricks using alternative materials and approaches, *Construction and Building Materials*. 188 (2018) 1101-1118.
- [3] L.P. Rodrigues, J.N.F. Holanda, Recycling of water treatment plant waste for production of soil-cement bricks, *Procedia Materials Science*. 8 (2015) 197-202.
- [4] A. Al-Fakih, B.S. Mohammed, M.S. Liew, E. Nikbakht, Incorporation of waste materials in the manufacture of masonry bricks: An update review, *Journal of Building Engineering*. 21 (2019) 37-54.
- [5] F.B. Siqueira, J.N.F. Holanda, Reuse of grits waste for the production of soil-cement bricks, *Journal of Environmental Management*. 131 (2013) 1-6.
- [6] S. Rimal, R.K. Poudel, D. Gautam, Experimental study on properties of natural soils treated with cement kiln dust, *Case Studies in Construction Materials*. 10 (2019) 1-7.
- [7] T.G. Machado, Estudo da adição de resíduos de scheelita em matriz cerâmica: formulação, propriedades físicas e microestrutura. 144 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Centro de Ciências Exatas e da Terra. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2012.
- [8] R.C.O. Lima, G.A. Neves, J.B.Q. Carvalho, Durabilidade de tijolos de solo-cimento produzidos com resíduo de corte de granito, *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*. 5 (2010) 24-31.
- [9] R.C. Ferreira, A.H.N. Cunha, Quality evaluation of soil-cement-plant residue bricks by the combination of destructive and non-destructive tests, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 21 (2017) 543-549.
- [10] L.P. Rodrigues, Incorporação de resíduo de estação de tratamento de água de Campos dos Goytacazes em corpos cimentícios para uso em tijolo solo-cimento. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2012.