

POTENCIAL DE TRAÇÃO NA FLEXÃO DE TIJOLOS MACIÇOS DE SOLO-CIMENTO COM IDADE DE HIDRATAÇÃO AVANÇADA

João Victor da Cunha Oliveira ¹; Yokiny Chanti Cordeiro Pessoa ²;
Frankslale Fabian Diniz de Andrade Meira ³

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), joaovictorwo@gmail.com;

² Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), yokiny@hotmail.com;

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), frankslale.meira@ifpb.edu.br

Resumo: Atualmente, as metodologias para avaliação das propriedades dos materiais de construção contribuíram significativamente para o melhoramento das técnicas de produção e promoção no que se refere à incorporação de resíduos em composições de matriz cimentícia. Com isso, o presente estudo expõe o desempenho de tijolos maciços de solo-cimento, compostos parcialmente por resíduo mineral da extração da scheelita, quanto à tração na flexão com idade de hidratação avançada. Os tijolos fabricados envolveram o cimento de classe CP II Z-32, solo proveniente de recorte de aterro para descarte (bota-fora de condomínio fechado), resíduo mineral da scheelita, e água de amassamento advinda de drenos de ar condicionado. O traço utilizado para a fabricação dos tijolos fixou o cimento em 10%, e 90% de solo areno argiloso, sendo substituído em faixas de 9% pelo resíduo em 5 traços. Após a conformação dos protótipos com o auxílio de prensa manual com pistão hidráulico, os mesmos permaneceram pelas primeiras 24 horas em atmosfera ambiente, para então passarem pela secagem acelerada em estufa com circulação de ar forçada à 200 °C por 24 horas. Posterior ao processo de secagem, os moldes retornaram para atmosfera ambiente até atingirem a idade de 180 dias, para então serem submetidos ao ensaio de avaliação do potencial de tração na flexão. Notou-se que o traço B1 com incorporação do resíduo em 9% proporcionou maior resistência à tração com 0,21 MPa, seguido do traço B, de referência, com 0,18 MPa, e do traço B3, com 27 % de resíduo mineral, com 0,15 MPa.

Palavras-Chave: Tração na flexão, Solo-cimento, Hidratação avançada, Tijolos maciços.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de tecnologias não convencionais dentro dos grandes centros de pesquisa tornou-se uma prática cada vez mais presente nos dias de hoje, principalmente quando envolve-se a construção civil, um dos segmentos industriais caracterizados pelo alto consumo de matérias-primas e emissão de poluentes na atmosfera. Esses estudos são produzidos com o objetivo de introduzir nos materiais de construção de uso convencional resíduos que até então sofrem descarte incorreto na natureza, mas que possuem grande potencial de reintegração em novas composições, incorporando-os em um novo ciclo de aplicação nas edificações.

Os tijolos de solo-cimento caracterizam-se pela incorporação de grande parte de sua matriz o solo, classificado como areno argiloso e detendo em sua composição no mínimo 10% de argila (material passante na # 200 mesh), totalizando 90% em massa, e os 10% restantes constitui-se de cimento, e a etapa de queima com o alto consumo de energia é eliminada, correspondendo a um material “endurecido formado por pressão e cura de uma mistura íntima homogênea de solo, cimento Portland e água em proporções apropriadas” (SIQUEIRA & HOLANDA, 2015).

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

No Brasil, o solo-cimento aplica-se em determinadas etapas construtivas, em especial para correções de solos e camadas de base para fundações diretas, pavimentos e alvenarias monolíticas, produzindo melhores propriedades físico-mecânicas que prolongam a vida útil das construções. É um material que possui grande aplicação em localidades que estão em processo de desenvolvimento, denotando vantagens econômicas referente ao seu uso quando comparando com tijolos de argila cozida, com propriedades melhoradas e baixo custo atrelado (SIQUEIRA *et al.*, 2016).

Materiais que adotam em sua composição o cimento Portland possibilitam a incorporação de resíduos de diversos setores industriais, com foco em obter características melhoradas comparado ao material ante o uso do subproduto, tornando o composto ecologicamente correto e precursor na criação de tecnologias que dirimem a poluição da fauna e flora local. É salientado que esses subprodutos passam a deter potencial de aditivos quando melhoram quaisquer propriedades, como a diminuição da porosidade, aumento da resistência à compressão axial, melhor maleabilidade no processo de fabricação, menor uso de água de homogeneização, entre outros.

Fazendo uma análise do minério scheelita, nota-se que ele pertence à classe dos tungstos, sendo esse um tungstato de cálcio (CaWO_4), com teores de 19,4% de CaO e 80,6% de WO_3 , podendo ser encontrada com coloração branca, amarela, marrom e verde, sendo na Mina Brejuí, de coloração branca (MACHADO, 2012), e dando ênfase ao resíduo fino utilizado para a fabricação dos tijolos, mediante realização de fluorescência de raios-x encontrou-se 0,38% de WO_3 presente em sua composição.

Com observância na sua aplicabilidade em mecanismos de gestão ambiental, trabalhos já foram desenvolvidos com viés no reuso do resíduo mineral, como por exemplo, Machado (2012), que desenvolveu sua tese embasada na aplicação desse resíduo em matriz cerâmica, aplicando percentuais fixos de 5%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50%, aferindo suas características físicas, microestruturais e formulação. Depois de moldados os corpos de prova, os mesmos foram submetidos aos testes de avaliação e análise, como absorção de água, perda ao fogo, porosidade aparente, massa específica aparente e tensão de ruptura à flexão, além do uso do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), averiguando suas estruturas físicas e mecânicas. A incorporação do resíduo da lavra da scheelita com teor de 30% em massa foi a que revelou melhores resultados, como o favorecimento da estabilidade dimensional do molde e elevada resistência final.

Paiva (2013) estudou a viabilidade do uso do resíduo da concentração da scheelita incorporada ao concreto de cimento Portland como substituto parcial do agregado miúdo, citado

como areia natural. Os percentuais utilizados variaram de 0% a 100%, intercalados a cada 10%, sendo produzido um total de 11 traços do concreto com proporção de 1:2:3:0,60 (60%), em massa de concentração da scheelita. Por conseguinte, a trabalhabilidade, resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, absorção de água, massa específica e índice de vazios, foram avaliados em cada traço caracterizado. Das proposições trabalhadas, aquela com proporção de 60% de resíduo mineral foi a que apresentou melhor resultado, sendo o uso do resíduo da concentração da scheelita viável quando substituto do agregado miúdo em concreto de cimento Portland.

Gerab (2014) propôs como direcionamento sustentável do resíduo grosso da concentração da scheelita a factibilidade de seu uso em rodovias. Com projeto fracionado em 4 etapas, a 1ª findou o estudo do resíduo da concentração da scheelita através de ensaios mineralógicos e químicos, de difração de raios-x (DRX) e fluorescência de raios-x (FRX). A 2ª consistiu na caracterização física do resíduo, com ensaios de granulometria, massa específica, limite de plasticidade e limite de liquidez. A 3ª abrangeu os ensaios específicos aplicados aos pavimentos rodoviários, como compactação e índice de suporte Califórnia. A 4ª, por fim, a caracterização mecânica, com o uso dos ensaios de cisalhamento direto, nas condições inundadas e não inundadas. Os resultados foram promissores, havendo sim condições de uso do resíduo mineral em camada de sub-base compactada com energia modificada, bem como o uso da energia intermediária e normal para camadas menos nobres, como o subleito.

Em consonância com o exposto anteriormente, realizou-se testes de resistência à tração na flexão com os tijolos de solo-cimento incorporando o resíduo mineral da obtenção da scheelita em sua composição, substituindo em frações de 9% o solo e averiguando, mediante secagem acelerada por meio de estufa à 200 °C por 24 horas, os melhores resultados evidenciados comparando-os com o traço de referência, todos com idade de 180 dias de hidratação.

METODOLOGIA

Os traços determinados para realização dessa pesquisa priorizaram a fixação do quantitativo de 10% de cimento, para 90% de solo com classificação areno-argiloso, utilizado após passar pelo peneiramento em malha nº 4# (4,76 mm) e pelo processo de destorroamento, com a água de amassamento variando de 5 a 10% em peso total do material seco, projetado para possuir 2.000 g. A aplicação do resíduo mineral ocorreu de forma simultânea, pois conforme a quantidade de resíduo era acrescentada, a de solo era reduzida, em frações de 9% (Tabela 1).

Tabela 1 – Percentuais dos materiais aplicados no estudo

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

Fonte: Cunha Oliveira *et al.* (2018)

A fabricação dos protótipos foi realizada no Laboratório de Materiais de Construção, Sistemas Construtivos e Patologia das Construções do Instituto Federal da Paraíba – Campus Campina Grande, e os respectivos rompimentos no Laboratório de Caracterização de Materiais, da Universidade Federal de Campina Grande (Campus I).

As matérias-primas envolvidas no estudo (cimento, solo e resíduo) foram obtidos nas proximidades da cidade de Campina Grande-PB. O resíduo é proveniente da Mina Brejuí, que situa-se no município de Currais Novos-RN. O solo é proveniente de recorte de bota-fora, ou seja, solo para descarte, de condomínio fechado (Atmosfera Residence) situado às margens da BR-104 na cidade de Campina Grande-PB, e o cimento foi comprado no comércio local e advém da fabricante Elizabeth, de classe CP II Z-32 (Cimento Portland Composto com Adição de Pozolana e Resistência aos 28 dias de 32 MPa), com traço padrão 1:9:1 (cimento : solo : água/cimento) para fabricação do traço de referência e dos com acréscimo do resíduo.

O processo de fabricação dos modelos iniciou com a homogeneização dos materiais a seco com o auxílio de saco plástico, para depois ser direcionado à homogeneização a úmido manualmente, com etapa de 1 tijolo por vez. Depois de conformados, os moldes 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 temperatura constante de 200 °C também por um período de 24 horas.

Depois de retirados da estufa, os tijolos foram dispostos em bancada até atingirem o período de 180 dias, que é justificado mediante o tipo de material estudado, que possui pouco cimento, favorecendo resistências mais baixas comparado à traços mais fortes, e o aumento da resistência em períodos mais avançados no processo de hidratação da matriz pode ser notado pela margem de 152

dias adotada para o teste, visto que o prazo mais convencional para testes mecânicos é de 28 dias, e outra justificativa respalda-se em que, resultados de testes de tração na flexão correspondem em até 5% do valor obtido no teste de resistência à compressão axial.

Adaptou-se a NBR 13279/2005 para realização do ensaio, e a mesma determina que, as superfícies dos protótipos sejam planas e paralelas, e que a velocidade da carga de ruptura seja à razão de 50 N/s. Utilizou-se a prensa hidráulica EMIC Linha DL com célula de carga de 100KN, equipamento pertencente ao Laboratório de Caracterização de Materiais, da Universidade Federal de Campina Grande (Campus I), para rompimentos dos tijolos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da incorporação do resíduo mineral da scheelita na mistura de solo-cimento, foi observado que em percentuais próximos e posteriores à 40% adicionados modifica-se as propriedades do material ainda no estado úmido, induzindo a uma correção natural na quantidade de água para menos do que se adotou anteriormente. Nas propriedades do estado endurecido, Machado (2012) já havia enfatizado que percentuais a partir de 40% incorporados provoca-se mudanças radicais no comportamento mecânico, o que se comprovou no teste de tração na flexão essa devida influência do quantitativo de resíduo na mistura, podendo ser observada na Tabela 2 abaixo os valores correspondentes de cada traço.

Tabela 2 – Resistências máximas obtidas para os traços B, B1, B2, B3, B4 e B5 secos à 200 °C

Composição	Resistência
B	0,16 MPa
B1	0,21 MPa
B2	0,12 MPa
B3	0,15 MPa
B4	0,10 MPa
B5	0,12 MPa

Fonte: Autores (2018)

Mediante os rompimentos realizados, pôde-se gerar os gráficos de força x deslocamento do material, onde aferiu-se os deslocamentos máximos de cada traço testado (Tabela 3), da mesma forma que as curvas obtidas demonstram comportamento pouco sinuoso e ausente de deformações mais lentas, possuindo ao final de cada pico rompimentos bruscos.

O traço que possuiu menor deslocamento foi o traço de referência com 0,54 mm, e dos que receberam a adição do resíduo da scheelita, o que obteve menor deslocamento foi com 27% de substituição do solo, correspondente a 0,58 mm de deslocamento.

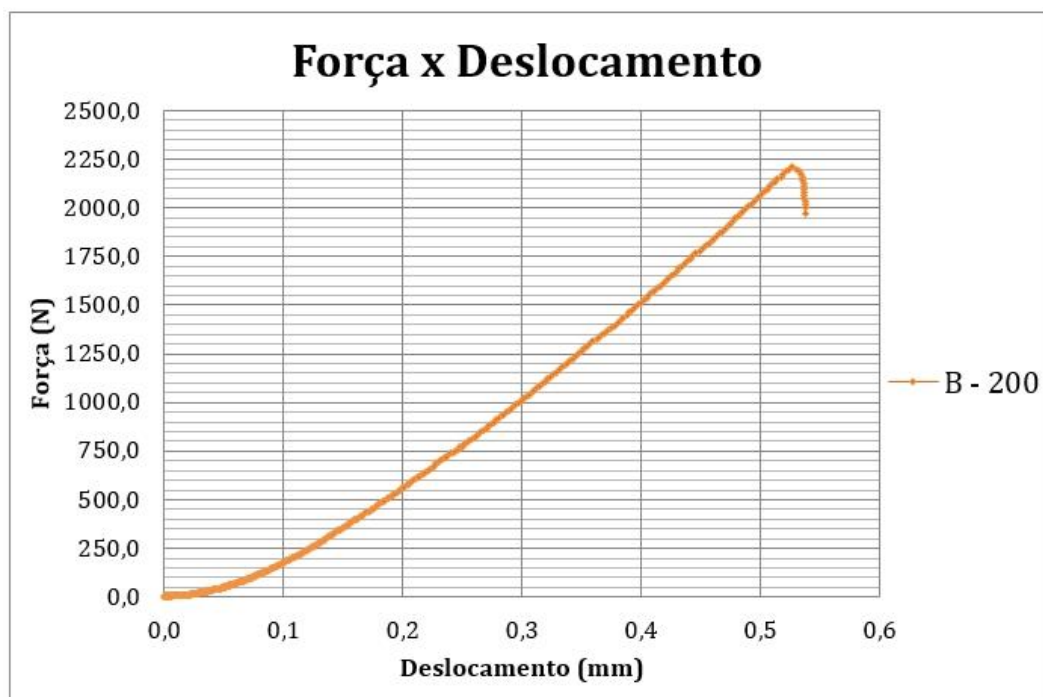
Tabela 3 – Deslocamentos máximos aproximados dos traços B, B1, B2, B3, B4 e B5 secos à 200 °C

Composição	Deslocamento
B	± 0,54 mm
B1	± 1,1 mm
B2	± 0,82 mm
B3	± 0,58 mm
B4	± 0,66 mm
B5	± 0,84 mm

Fonte: Autores (2018)

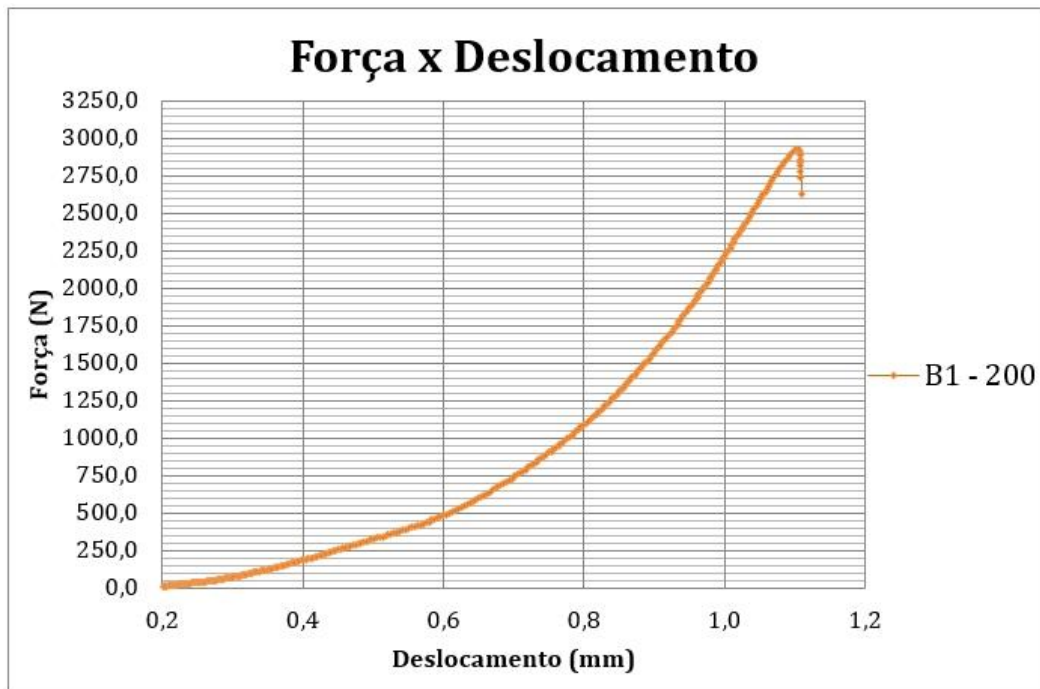
Os Gráficos 1, 2, 3, 4, 5 e 6 a seguir expõem as curvas de força x deslocamento de cada composição de solo-cimento estudada. Pôde-se compreender que o tijolo de solo-cimento caracteriza-se como um material frágil, por não avançar até a zona elástica e estabilizando seu rompimento no limite de proporcionalidade e próximo do limite de escoamento.

Gráfico 1 – Força x Deslocamento - Traço B



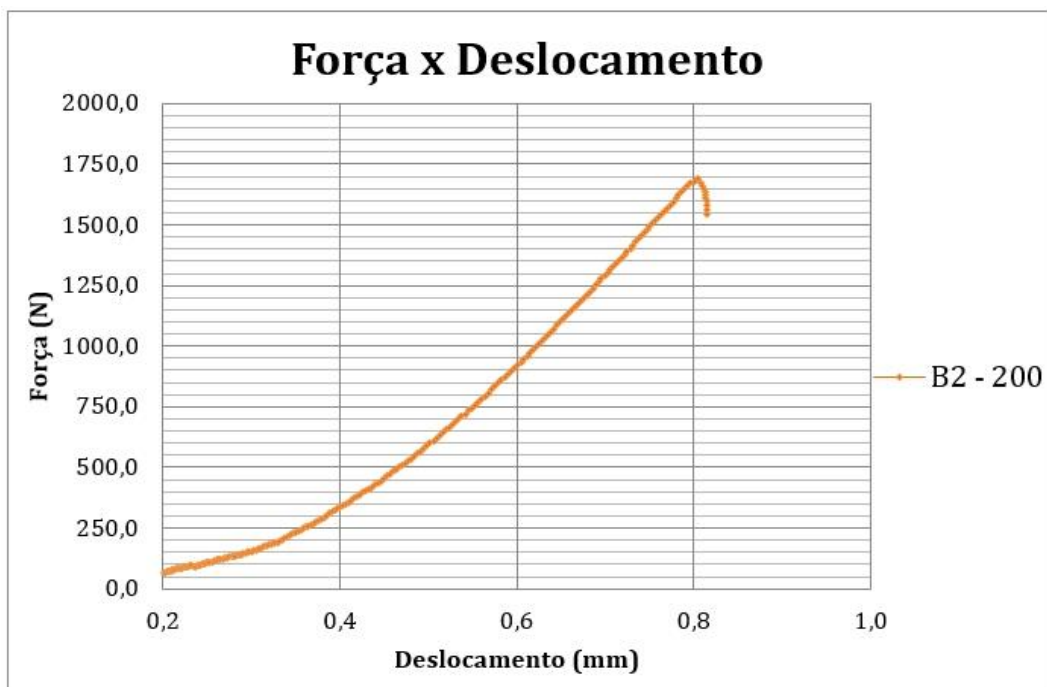
Fonte: Autores (2018)

Gráfico 1 – Força x Deslocamento - Traço B1



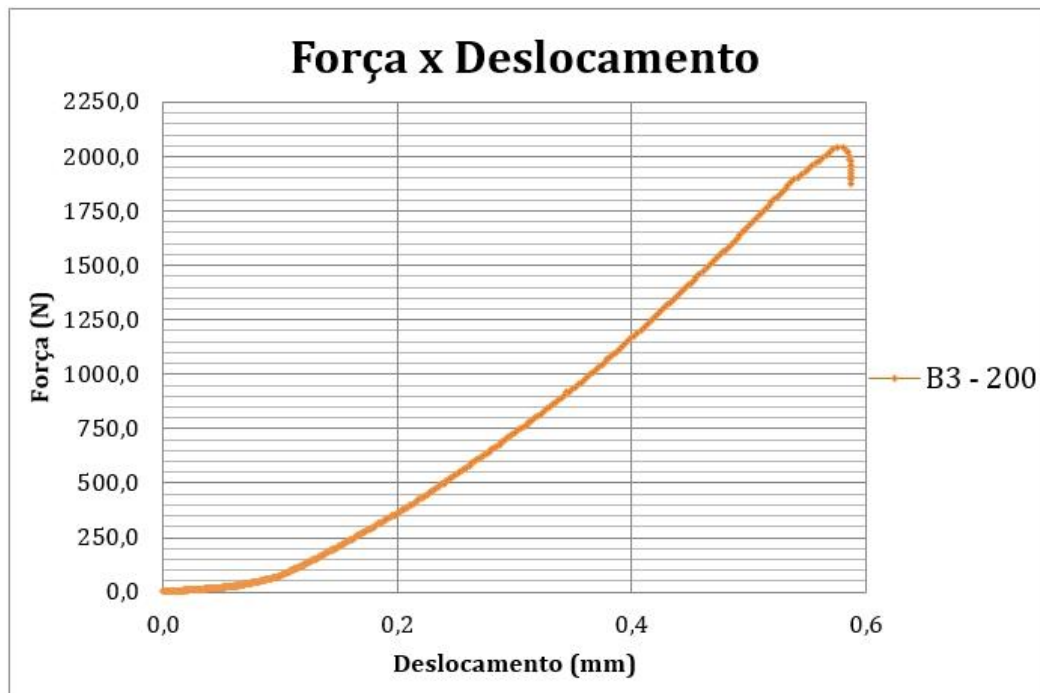
Fonte: Autores (2018)

Gráfico 1 – Força x Deslocamento - Traço B2



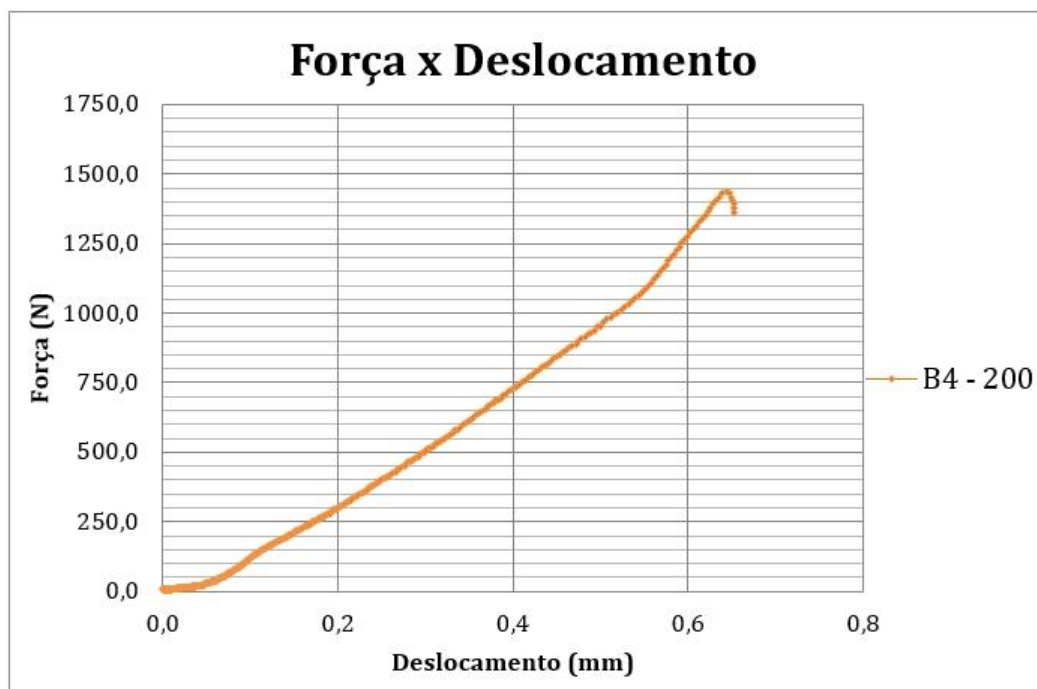
Fonte: Autores (2018)

Gráfico 1 – Força x Deslocamento - Traço B3



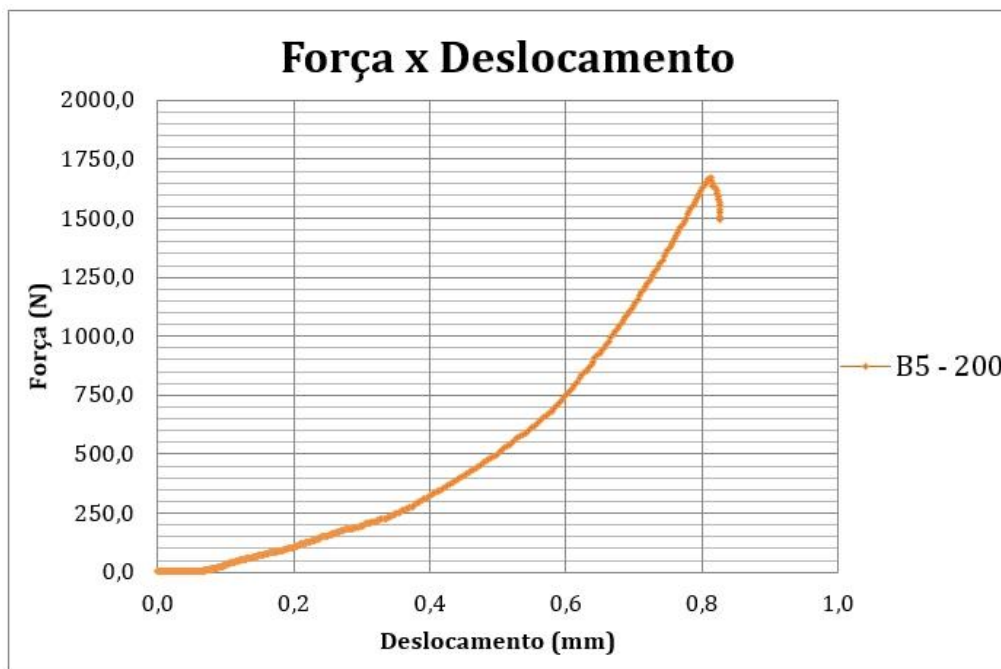
Fonte: Autores (2018)

Gráfico 1 – Força x Deslocamento - Traço B4



Fonte: Autores (2018)

Gráfico 1 – Força x Deslocamento - Traço B5



Fonte: Autores (2018)

CONCLUSÕES

Como proposta de aplicação do protótipo de solo-cimento para pavimentos intertravados com baixas solicitações de carregamentos (pedestres), pode-se corroborar o seu uso mediante os baixos deslocamentos obtidos, que correspondente aos carregamentos em Newtons, percebeu-se que em um traço mais fraco (B4, com 36 % de incorporação), o tijolo resistiu a um carregamento de aproximadamente 1450 N, equivalente à 145 kgf aplicados pontualmente no tijolo, ou seja, quase 2 pessoas (com peso e IMC médio) pisando ao mesmo tempo em uma única peça.

Com relação aos demais traços, o que melhor comportou-se ao carregamento foi o com 9% de adição (B1) resistindo a ± 2950 N, ou 295 kgf, conferindo ótimo comportamento mecânico. Estudos relacionados ao desgaste por abrasão, resistência à fadiga e fluência podem proporcionar melhores interpretações referente ao percentual ideal de uso do resíduo da extração da scheelita para composição desse novo material.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela concessão da bolsa, ao IFPB – Campus Campina Grande pela estrutura laboratorial, e ao Laboratório de Caracterização de Materiais (LCM/UAEMa/CCT/UFCG), em especial à Renato Correia dos Santos pelo suporte para realização do ensaio.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 13279 – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos** – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

CUNHA OLIVEIRA, J. V.; MEIRA, F. F. D. A.; ANDRÉ, T. C. S. S. **Resistência mecânica de tijolos maciços do tipo solo-cimento compostos parcialmente por rejeito mineral**. In: CIRNE, L. E. M. R. et al. (Org.). *Gestão Integrada de Resíduos: Universidade & Comunidade*. Campina Grande-PB: EPGRAF, 2018, p. 325-328, v. 2.

GERAB, A. T. F. de S. C. **Utilização do resíduo grosso do beneficiamento da scheelita em aplicações rodoviárias**. 124 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Exatas e da Terra. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

MACHADO, T. G. **Estudo da adição de resíduos de scheelita em matriz cerâmica: formulação, propriedades físicas e microestrutura**. 144 f. Tese (Doutorado) – Centro de Ciências Exatas e da Terra. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

PAIVA, E. H. G. **Avaliação do concreto de cimento Portland com resíduo da produção de scheelita em substituição ao agregado miúdo**. 105 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

SIQUEIRA, F. B.; HOLANDA, J. N. F. **Effect of incorporation of grits waste on the densification behavior of soil-cement bricks**. *Cerâmica*, São Paulo, v. 61, n. 360, p. 414-419, Dec. 2015. Available from <<https://goo.gl/rshdKM>>. Access on 28 apr. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132015613601917>.

SIQUEIRA, F. B. et al. **Influence of industrial solid waste addition on properties of soil-cement bricks**. *Cerâmica*, São Paulo, v. 62, n. 363, p. 237-241, Sept. 2016. Available from <<https://goo.gl/t9b6kZ>>. Access on 30 apr. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132016623631969>.