

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO EMPÍRICO E MECANÍSTICO-EMPÍRICO PARA PAVIMENTO INTERTRAVADO DE CONCRETO COM CINZAS PESADAS

Webert Brasil Cirilo da Silva ⁽¹⁾

Suely Helena de Araújo Barroso (Orientadora) ⁽²⁾

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes (PETRAN)/UFC

Antônio Eduardo Bezerra Cabral (Coorientador) ⁽³⁾

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil/UFC

RESUMO

Na tecnologia do Pavimento Intertravado (PI), é interessante investir no método de dimensionamento, a fim de propor uma construção mais sustentável da estrutura. O objetivo desta dissertação é a análise da viabilidade técnica, financeira e ambiental de um PI, contendo cinzas de termoelétricas e agregados convencionais, por meio de métodos de dimensionamento empírico e mecanístico-empírico. Para isso, serão realizados, primeiramente, ensaios ambientais e de caracterização física nos materiais convencionais e alternativos. Em seguida, serão utilizados traços alternativos com cinzas e um de referência com agregados convencionais para a produção do concreto. Esse, em estado endurecido, será submetido aos ensaios mecânicos, como resistência à compressão simples, absorção de água e módulo de elasticidade. Por fim, deve-se proceder à análise dos métodos de dimensionamento mecanístico-empíricos para PIs e compará-los com metodologias empíricas. Espera-se que o estudo contribua para o emprego de materiais alternativos e no dimensionamento mais racional de PIs.

1. INTRODUÇÃO

Na construção de um Pavimento Intertravado (PI), além da parte experimental, é importante a aplicação do método de dimensionamento, em que certas metodologias consideram os pavimentos intertravados e flexíveis similares estruturalmente. Além disso, segundo Cruz (2003), existem discussões acerca do módulo de elasticidade a ser utilizado para a camada de revestimento composta pelas peças pré-moldadas de concreto e pela camada de assentamento.

Outro assunto a ser abordado é que, no estado do Ceará, estão localizadas as Usinas Termelétricas Pecém I e Pecém II, que juntas geram, diariamente, um volume de 1200 a 1350 toneladas de cinzas (Barros, 2015). Com isso, pode-se citar o trabalho de Silva (2017), que avaliou a aplicação de cinzas pesadas, provenientes de usinas termoelétricas, na produção do concreto usado na fabricação do Bloco Intertravado de Pavimento (BIP).

Com relação ao uso do empirismo no dimensionamento de PIs, segundo Cruz (2003), a maioria dos métodos de dimensionamento de PIs vem de adaptações da metodologia de cálculo para pavimentos flexíveis. O problema é que essas adaptações podem resultar em gastos superestimados na construção do PI. Além disso, a disposição das camadas do PI com as suas respectivas espessuras pode provocar deficiências no aspecto funcional da estrutura.

Assim, o objetivo geral da pesquisa é a análise da viabilidade técnica, financeira e ambiental de um PI, contendo cinzas de termoelétricas e agregados convencionais, por meio do estudo de métodos de dimensionamento empírico e mecanístico-empírico. Além disso, como objetivos específicos, pretende-se avaliar o efeito da compactação nas propriedades mecânicas dos BIPs por meio de uma máquina de vibro-prensa, assim como a análise de diferentes teores de cinzas pesadas a serem incorporados no concreto.

2. BREVE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com relação ao uso de resíduos na composição dos BIPs, existem diversos agregados

alternativos testados para esse fim. No âmbito nacional, já foram testados minério de ferro (Guerra, 2014) e óxido de alumínio (Souza, 2011) na composição do concreto. Já no âmbito internacional, outros autores estudaram a incorporação dos seguintes materiais: fibra de aço (Gupta e Tiwari, 2016); resíduo de construção e demolição (Gawatre *et al.*, 2016) e agregados provenientes da reciclagem de BIPs danificados (Nataraja e Das, 2007).

No que se refere ao dimensionamento de PIs, pode-se colocar que Huurman (1996) propôs um método de dimensionamento baseado na deformação permanente transversal e longitudinal das camadas de base e de assentamento, considerando a contribuição de todos os componentes do pavimento. Outra pesquisa foi a de Baba *et al.* (2000), em que foram realizados trabalhos com o uso de equipamentos de medição de deflexão em campo, conhecidos como *Falling Weight Defletometer* (FWD). O estudo mostrou que esse tipo de instrumento pode ser eficaz na avaliação sistemática de PIs no campo, permitindo, também, a determinação dos módulos de elasticidade por processo de retroanálise.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Serão utilizados os seguintes materiais: cinzas pesadas da combustão de carvão mineral, britas fonolíticas de dimensões 19,0 mm e 12,5 mm, cimento CP V – Alta Resistência Inicial (ARI), água da rede pública de distribuição, areia natural, que se originou da lavagem das britas, e artificial, que foi resultado do processo de britagem dos agregados graúdos.

3.1. Primeira etapa metodológica

A primeira etapa contemplará os ensaios de caracterização a serem realizados nas cinzas pesadas e nos agregados naturais, conforme metodologia estabelecida em normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Os ensaios a serem realizados nas cinzas contemplam a análise granulométrica, a densidade real, o limite de liquidez e de plasticidade, bem como ensaios de solubilização e lixiviação. Já para os materiais convencionais, serão realizados os procedimentos de massa específica, massa unitária e composição granulométrica.

3.2. Segunda etapa metodológica

Nesta etapa, serão realizadas as misturas dos materiais, através da aplicação do traço de referência em massa, utilizado por uma empresa especializada na produção de BIPs de concreto com Resistência à Compressão Simples (RCS) de 35 MPa aos 28 dias de cura. Esse traço consiste nas relações: 1,00 (cimento) : 2,33 (areia natural) : 2,33 (areia artificial) : 1,97 (brita 12,5 mm): 0,45 (brita 19,0 mm) : 0,85 (relação água/cimento).

Na composição dos traços alternativos, a cinza pesada será separada em duas porções, sendo a cinza grossa (passante na peneira de 19,0 mm e retida na de 2,0 mm) e a cinza fina (passante na peneira de 2,0 mm). Na composição dos traços alternativos, os agregados convencionais serão substituídos, em massa, pelas cinzas de acordo com teores colocados na Tabela 1.

Tabela 1: Variação da quantidade em massa de agregados naturais e de resíduos por traço

Traços	Areia		Brita 19,0 mm		Relação Água/Cimento
	Original (%)	Cinza fina (%)	Original (%)	Cinza grossa (%)	
1°	100	0	100	0	0,85
2°	100	0	80	20	0,85
3°	80	20	100	0	0,94
4°	80	20	80	20	0,85

Com relação ao formato do concreto endurecido, o mesmo será compactado em uma máquina de vibro-prensa, a qual produz BIPs e blocos estruturais. A mesma pertence ao modelo VP50 e está ilustrada na Figura 1. Em seguida, serão utilizados moldes cilíndricos de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura e fôrmas para bloco com dimensões de 10 cm ÷ 20 cm ÷ 8 cm (largura ÷ comprimento ÷ espessura). Os ensaios a serem realizados no concreto endurecido estão mostrados na Tabela 2.

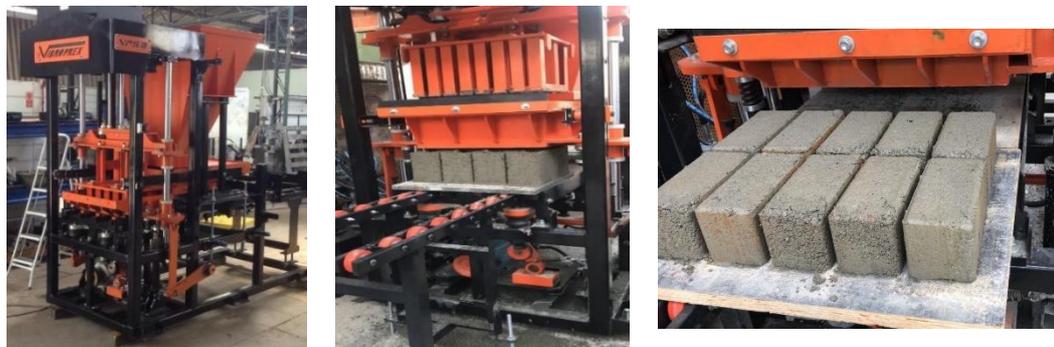


Figura 1: Máquina de vibro-prensa modelo VP50

Tabela 2: Ensaios no concreto endurecido com as suas normas vigentes

Ensaio	Normas vigentes
Resistência à compressão para corpo-de-prova cilíndrico	ABNT NBR 5739 (2007)
Resistência à compressão para bloco	ABNT NBR 9781 (2013)
Absorção de água para corpo-de-prova cilíndrico e para bloco	ABNT NBR 9781 (2013)
Módulo de elasticidade do concreto	ABNT NBR 8522 (2017)

É importante destacar que, para o ensaio de RCS, os períodos de cura utilizados serão de 3, 7 e 28 dias, em que, para cada período e traço, serão testados três corpos-de-prova cilíndricos e dois blocos. No ensaio de absorção de água, as amostras são retiradas depois de 28 dias submersas, em que, para cada traço, serão testados três corpos-de-prova cilíndricos.

Além disso, pretende-se analisar métodos de dimensionamento de PI mais racionais, os quais utilizem conceitos, como o módulo de elasticidade do concreto e o módulo de resiliência dos materiais presentes nas camadas granulares do pavimento.

3.3. Terceira etapa metodológica

Pretende-se aplicar o dimensionamento de um PI a ser construído em uma área de estacionamento, com cerca de 1624 m², localizado na Universidade Federal do Ceará (UFC).

Um método mecanístico-empírico a ser avaliado é o proposto por Shackel (2000), em que, por meio do uso do software *Lockpave*, os materiais componentes do PI são considerados elásticos lineares. Na junção dos BIPs com a camada de assentamento, considera-se uma camada elástica equivalente isotrópica, com módulos variando de 900 MPa a 7500 MPa, sendo o mais comum 3200 MPa. Esses valores foram estimados através de FWD, por retroanálise. Com relação às espessuras, os BIPs podem possuir alturas de 6 cm, 8 cm, 10 cm e 12 cm, enquanto a base e a sub-base, normalmente, possuem 100 mm no mínimo.

4. RESULTADOS PRELIMINARES

Com relação aos ensaios de caracterização física, os resultados para as cinzas estão colocados na Tabela 3.

Tabela 3: Resultados dos ensaios de caracterização física para as cinzas pesadas

	Densidade real	Limite de liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Umidade higroscópica (%)
Cinzas pesadas	2,35	Não-Plástico (NP)	NP	0,1

Espera-se que seja viável o uso de métodos de dimensionamento mais racionais de PIs, para que análises mais racionais possam ser estabelecidas. Além disso, a utilização de resíduos, como as cinzas, na composição do concreto, é interessante, pois pode ser viabilizada a inserção de diversos teores de resíduos. Também se espera que o uso de máquina de vibro-prensa interfira no incremento das propriedades mecânicas na compactação do concreto.

Agradecimentos

Os autores agradecem: (i) ao CNPq pela bolsa de mestrado concedida ao primeiro autor; (ii) às empresas OCS, Cimento Apodi, Eneva e EDP pela disponibilização dos agregados, cimento e cinzas para a pesquisa e (iii) à Petrobras pelo apoio através da Rede Temática de Asfaltos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (2007) *NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (2013) *NBR 9781 – Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (2017) *NBR 8522 – Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- Baba, T. *et al.* (2000) Evaluation of Bearing Capacity of Interlocking Block Pavements Using HFWD. *Anais do VI International Concrete Block Paving Conference*, Tokyo, p. 61–70.
- Barros, K.S. (2015) *Estudo de Cinzas Volantes de uma Termelétrica da Região Metropolitana de Fortaleza-CE para Aplicação em Camadas Granulares de Pavimentos*. 142 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Cruz, L.O.M (2003) *Pavimento Intertravado de Concreto: Estudo dos Elementos e Métodos de Dimensionamento*. 281 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Gawatre, D.W. *et al.* (2016) Manufacture of Paver Block using Partial Replacement of Construction and Demolition Concrete Waste. *International Journal of Pure and Applied Research in Engineering and Technology*, v. 4, n. 9, p. 11–18.
- Guerra, A.N.L.P. (2014) *Caracterização e Utilização de Rejeito de Minério de Ferro Pellet Feed em Pavimentos de Blocos Intertravados de Concreto*. 127 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Gupta, A. e Tiwari, A. (2016) Effect on Mechanical Properties of Paver Block Consist Crusher Stone Dust as Fine Aggregate with Inclusion of Steel Fiber. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, v. 4, n. 10, p. 529–535.
- Huurman, M. (1996) Resilient Behaviour of Concrete Block Pavements and the Granular Materials Used in the Substructure. *Anais do V International Concrete Block Paving Conference*, Tel-Aviv, p. 239–251.
- Nataraja, M.C. e Das, L. (2007) A study on the strength properties of paver blocks made from unconventional materials. *International Organization of Scientific Research – Journal of Mechanical and Civil Engineering*, v. 4, n. 10, eISSN: 2278-1684, p-ISSN: 2320-334X.
- Silva, W.B.C. (2017) *Avaliação da aplicação de cinzas de termelétrica em blocos intertravados de pavimentos*. 165 f. Monografia em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Souza, A.M.P.F.F.C. (2011) *Pavimento Intertravado de Concreto com Adição de Resíduos de óxido de Alumínio – Sínter*. 56 f. Monografia em Engenharia Civil, Universidade São Francisco, Bragança Paulista.

(1) Webert Brasil Cirilo da Silva (webertcirilo@hotmail.com)

(2) Suelly Helena de Araújo Barros (suelly@det.ufc.br)

(3) Antônio Eduardo Bezerra Cabral (eduardo.cabral@ufc.br)