

ANÁLISE DO EFEITO DE FIBRAS DE COCO EM MISTURAS CIMENTADAS PARA APLICAÇÃO EM SUBCAMADAS DOS PAVIMENTOS

Jessica Rodrigues Brito
Suelly Helena de Araújo Barroso

Universidade Federal do Ceará
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes

RESUMO

O crescente aumento do tráfego das vias tem exigido subcamadas de pavimento mais resistentes. O uso de misturas cimentadas é uma alternativa para suprir essa necessidade, entretanto, essas misturas podem apresentar trincas de reflexão. A utilização de fibras pode ser uma grande aliada na redução dessas trincas. A pesquisa tem o objetivo geral de analisar a alteração do comportamento mecânico, com a adição de fibras de coco, de misturas cimentadas para uso em subcamadas de pavimento. As misturas analisadas além de conter solo e cimento, serão compostas de materiais alternativos (cinzas de carvão e agregados reciclados) a fim de contribuir com soluções mais sustentáveis na pavimentação. Serão realizados ensaios mecânicos, tais como Módulo de Resiliência, Deformação Permanente, Resistência à Compressão Simples e Resistência à Compressão Diametral. Espera-se melhoria das características mecânicas das misturas contendo fibras, como a diminuição das trincas de reflexão.

1. CONTEXTUALIZAÇÃO E OBJETIVOS

A ausência de materiais que atendam aos critérios dos projetos de pavimentação em determinadas regiões somada à preocupação ambiental quanto à exploração de recursos naturais não renováveis faz com que a busca por materiais alternativos venha sendo cada vez mais pesquisada. Além disso, há uma crescente preocupação com a grande quantidade de resíduos gerada e com sua respectiva destinação correta, visto que esses resíduos dispostos de forma incorreta acarretam problemas ambientais e podem ser nocivos à saúde humana.

Diversos estudos com Agregado Reciclado (AR) provenientes de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) (Motta, 2005; Silva *et al.*, 2019; Silva, 2009; Leite *et al.*, 2011; Xuan *et al.*, 2015) e cinzas provenientes de termelétricas (Leandro e Fabbri, 2009; Lopes *et al.*, 2015; Vasconcelos *et al.*, 2019) têm mostrado que esses materiais podem ser empregados na pavimentação com estabilizações químicas.

Uma das técnicas de estabilização química de materiais de subcamadas de pavimentos consiste na adição de cimento que pode aumentar consideravelmente a resistência dos materiais. Com o crescente aumento do tráfego das vias, que exige pavimentos mais resistentes, as misturas cimentadas se apresentam como uma alternativa. No entanto, misturas cimentadas tendem a apresentar trincas, devido às tensões e deformações de tração na porção inferior da camada, o que pode provocar a perda de resistência da camada cimentada e acaba por transferir as cargas solicitantes para o solo subjacente, causando deformações plásticas inevitáveis, bem como a reflexão das trincas para o revestimento betuminoso (Specht, 2000; Adaska e Luhr, 2004).

Várias técnicas podem ser empregadas para minimizar a fissuração nas bases estabilizadas com cimento, tais como: i) o pré-trincamento, em que centenas de micro trincas se desenvolvem em vez de rachaduras transversais e ii) o alívio do estresse por meio de uma camada de tratamento superficial, geotêxtil ou material granular entre a camada cimentada e o revestimento (Adaska e Luhr, 2004). A inserção de fibras também pode ser uma aliada para conter as aberturas da propagação das trincas. Estudos como o de Specht (2000), Casagrande (2005), Aguilar (2015) comprovam que as fibras aumentam a ductibilidade dos compósitos.

Segundo Aguilar (2015) a fibra de coco verde tem grande potencial para ser utilizada como reforço geotécnico de baixo custo e com aspectos ambientais adequados, uma vez que a fibra representa um resíduo urbano em abundância no Brasil. No ano de 2017, somente no estado do Ceará, foram produzidas mais de 12 milhões de toneladas de coco (IBGE, 2020). As cascas do coco representam de 80% a 85% do peso bruto do fruto (EMBRAPA, 2012). A fibra de coco possui um baixo custo de produção e gasto de energia, sendo que o seu emprego como material de reforço implica numa diminuição da geração de resíduos nas cidades (Bolaños e Casagrande, 2014). Specht (2000) também destaca a possibilidade de redução da manutenção nos pavimentos com bases cimentadas reforçadas com fibras, devido ao controle da abertura e propagação das trincas.

No presente trabalho serão estudadas misturas cimentadas em associação com materiais alternativos, tais como os resíduos de construção civil e cinzas provenientes de termelétrica como forma de contribuir para construção de pavimentos sustentáveis com tráfegos mais elevados. O objetivo geral do trabalho é analisar a adição de fibras no comportamento mecânico de misturas cimentadas contendo materiais alternativos para aplicação em subcamadas de pavimentos. Os objetivos específicos são: (i) avaliar o comportamento mecânico e ambiental de materiais alternativos em misturas cimentadas; (ii) comparar misturas cimentadas com fibras de coco contendo AR brasileiro com AR português e (iii) comparar financeiramente as misturas cimentadas produzidas com materiais convencionais e alternativos.

2. SELEÇÃO DE MATERIAIS E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1 Materiais

Os materiais a serem utilizados na pesquisa foram coletados e são: solo regional; cimento Portland do tipo CP II- Z, agregados reciclados a partir de resíduos de construção e demolição de origem mista; cinzas provenientes de termelétrica e fibras de coco. A escolha do tipo de cimento se deve à adição de pozolanas, que, de acordo com Silva *et al.* (2018) é um método promissor para evitar a deterioração das fibras de coco em ambientes alcalinizados.

2.2 Procedimento Experimental

2.2.1 Etapa 1: Coleta e aquisição de materiais

A coleta dos materiais foi realizada na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF). As cinzas foram coletadas no módulo I de armazenagem da Usina Termelétrica do Pecém, em que cinzas pesadas e volantes se encontram misturadas. O AR foi coletado na empresa USIFORT. Ademais, foram adquiridos sacos de cimento Portland e fibras de coco.

2.2.2 Etapa 2: Caracterização dos materiais utilizados na pesquisa

Será feita a caracterização física e mecânica dos materiais coletados de acordo com as normas vigentes da pavimentação e pesquisas realizadas. Serão realizados ensaios de: Limite de Liquidez (DNER ME 122/1994), Limite de Plasticidade (DNER ME 082/1994) e Análise Granulométrica (DNER ME 051/1994). Para os resíduos utilizados serão realizados também ensaios ambientais: Lixiviação (NBR 10005/2004) e Solubilização (NBR 10006/2004). Para o AR serão realizados ainda ensaios de Índice de Forma (DNER ME 086/1994), Gravimetria (Anexo A da NBR 15116), Reação Álcali-Agregado (NBR 15577-3/2018), Absorção de água (DNER ME 081/1998), Abrasão Los Angeles (DNER ME 035/1998) e *Aggregate Image Measurement System 2* (AIMS2).

2.2.3 Etapa 3: Caracterização mecânica das misturas cimentadas

Os agregados provenientes dos materiais alternativos focos deste estudo deverão ser estabilizados granulometricamente com no máximo 40% de solo regional coletado a fim de se enquadrar em uma das faixas especificadas na norma ET-DE-P00/007 (DER/SP, 2006). O teor escolhido inicialmente para o cimento será de 5% com base nos estudos de Simoni *et al.* (2019). Para cada mistura será feita uma outra, adicionando 0,5% de fibras de coco na porção solo-agregado/solo-cinzas, mantendo o teor de cimento constante, com base nos trabalhos de Bolaños e Casagrande (2014), Casagrande (2005) e Specht (2000).

Será feita a caracterização mecânica necessária para avaliar a possível melhoria obtida pela adição das fibras na resistência à fadiga e da adição do cimento nas misturas estabilizadas. Para tanto, serão realizados os seguintes ensaios: Módulo de Resiliência (DNIT 181/2018-ME), Deformação Permanente (DNIT 179/2018-IE), Índice de Suporte Califórnia (DNIT 172/2016-ME), Absorção de água (DNER 274/1996), Resistência à Tração por Compressão Diametral (NBR 7222/2011), Resistência à Compressão Simples (DNER ME 201/1994), Resistência à Tração na Flexão e Retração (Specht, 2000), Fadiga por Tração e Compressão Diametral (BS EN 12697-24:2004).

2.2.4 Etapa 4: Análise dos resultados obtidos

A análise dos resultados das misturas cimentadas será feita através da verificação de normas brasileiras vigentes para a utilização e do uso de softwares disponíveis para dar suporte à análise estatística de dados e confecção de gráficos. Deverão ser empregados também programas de dimensionamento de pavimentos como o CAP3D-D e o MeDiNa (Método de Dimensionamento Nacional). Em virtude da parceria com o Instituto Superior Técnico de Lisboa (IST), em Portugal, as misturas estudadas que contêm AR serão comparadas às misturas cimentadas portuguesas contendo AR local e fibras oriundas do estado do Ceará.

2.2.5 Etapa 5: Comparação de custos

Para se comparar financeiramente as misturas cimentadas produzidas com materiais convencionais e alternativos será realizada a análise de custos com base na tabela da Secretaria de Infraestrutura do Ceará (SEINFRA).

O resumo do programa experimental a ser utilizado é apresentado por meio da Figura 1.

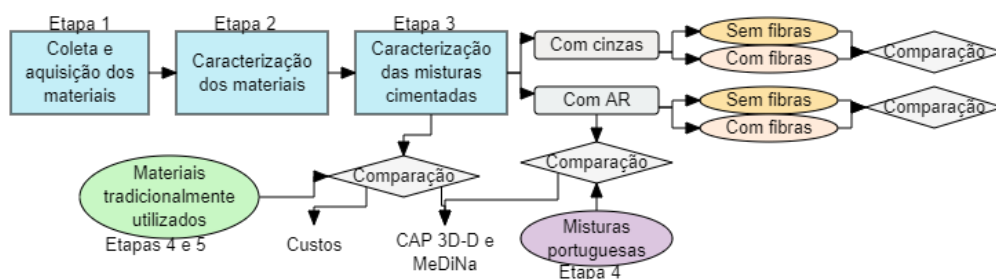


Figura 1: Resumo do programa experimental.

3. RESULTADOS ESPERADOS

Nas misturas cimentadas reforçadas com fibras, conforme a revisão realizada, é esperada uma melhoria nas características mecânicas, tais como: (i) aumento da resistência ao cisalhamento; (ii) aumento da resistência à tração; (iii) aumento da resistência à compressão; (iv) aumento

tanto dos parâmetros de resistência ao cisalhamento de pico, como também na resistência pós-pico após grandes deslocamentos horizontais; (v) redução da queda da resistência pós-pico; (vi) redução da dimensão e propagação das trincas de tração; (vii) aumento da capacidade de absorver energia de deformação, adiando o rompimento do compósito e (viii) aumento da ductibilidade das misturas com mudança na forma de rompimento do compósito.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FUNCAP e FCT (Portugal), bem como às empresas EDP, USIFORT e Petrobras pelo suporte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adaska, W. S.; Luhr, D. R. (2004) Control of reflective cracking in cement stabilized pavements. *Proc., 5th Int. RILEM Conf., RILEM Publication SARL*, Bagneux, Paris, 1–8.
- Aguilar, J. R. T. (2015) Análise do Comportamento Mecânico de um Solo Arenoso Reforçado com Fibras de Coco. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- Bolaños, E. R. Z.; Casagrande, M. D. T. (2014) Estudo Experimental de Solo Reforçado com Fibra de Coco Verde Para Carregamentos Estáticos em Obras Geotécnicas. *Anais XVII COBRAMSEG*. p. 1-10.
- Casagrande, M. D. T. (2005) Comportamento de solos reforçados com fibras submetidos a grandes deformações. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- EMBRAPA (2012). Beneficiamento da casca de coco verde. Disponível em: http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo_3830.pdf. Acesso em 02 de novembro de 2019.
- Gondim, L. M.; Casagrande, M. D. T.; Barroso, S. H. DE A. (2008) Influência da Adição de Fibras de Polipropileno em Solos da Região do Baixo Jaguaribe do Ceará Visando Aplicação em Solos de Base para Pavimentação. *Anais do IX COBRAMSEG*. p. 2122–2129.
- Guedes, S. B.; Coutinho, R. Q.; Fonseca, A. J. P. V. da. (2016) Influência do Teor e do Comprimento de Fibras de Polipropileno na Resistência à Compressão Simples de um Solo Cimento. *Anais do XVIII COBRAMSEG*. n. p. DOI: 10.20906/cps/cb-07-0047.
- IBGE (2020) Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6588>. Acesso em: 15 de janeiro de 2020.
- Júnior, A. I. De O.; Jucá, J. F. T.; Ferreira, J. A. (2018) Influência da Adição de Fibra de Coco (Coco nucíferas) na Compressibilidade de um Solo Argiloso. *Anais do XIX COBRAMSEG*. n. p.
- Leandro, R. P.; Fabbri, G. (2009) Aproveitamento da cinza pesada de carvão mineral na construção de bases e sub-bases de pavimentos flexíveis. *Anais do XIII ANPET*. p. 135-146.
- Leite, F. da C.; Motta, R. S.; Vasconcelos, K. L.; Bernucci, L. (2011) Laboratory evaluation of recycled construction and demolition waste for pavements. *Construction and Building Materials*, v. 25, n. 6, p. 2972–2979.
- Lopes, L. dos S. E.; Malko, J. A. C.; Casagrande, M. D. T.; Motta, L. M. G. (2015) Análise do Comportamento de um solo estabilizado com cinzas de carvão mineral para aplicação em camadas de base de pavimento. *Revista Pavimentação*. v. 36 - julho. p. 63-82.
- Motta, R. S. (2005) Estudo Laboratorial de Agregado Reciclado de Resíduo Sólido na Construção Civil para Aplicação em Pavimentação de Baixo Volume de Tráfego. Dissertação de Mestrado. USP.
- Silva, B. T. A. (2009) *Utilização de Materiais Alternativos para a Construção de Pavimentos Urbanos na Região Metropolitana de Fortaleza*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará.
- Silva, E. J. et al. (2018) Compósito cimentício com elevado teor de fibra de coco tratada: propriedades físicas e durabilidade. *Revista Matéria*. Rio de Janeiro, v. 23, n. 3.
- Silva, R. V.; De Brito, J.; Dhir, R. K. (2019) Use of recycled aggregates arising from construction and demolition waste in new construction applications. *Journal of Cleaner Production*, v. 236, p. 117629.
- Simoni, J. P. DA S. C.; Valoura, L. R.; Furlan, A. P. (2019) Contribuição ao Estudo da Dosagem e do Comportamento Mecânico de Misturas Solo-Agregado-Cimento. *Revista ANPET*. p. 2028-2039.
- Specht, L. P. (2000) Comportamento de Misturas Solo-Cimento-Fibra submetidas a carregamentos estáticos e dinâmicos visando a pavimentação. Dissertação de Mestrado. UFRGS.
- Vasconcelos, S. D.; Barroso, S. H. A.; Franco, F. A.; Almeida, H. B. F. (2019) Avaliação do uso de cinzas de carvão mineral produzidas em usina termelétrica na construção de pavimentos. *Revista Transportes*. V. 27. N. 2. p. 74-89.
- Xuan, D. X.; Molenaar, A. A. A.; Houben, L. J. M. (2015) Evaluation of cement treatment of reclaimed construction and demolition waste as road bases. *Journal of Cleaner Production*, v. 100, p. 77–83.