

## AVALIAÇÃO DO MÓDULO DE RESILIÊNCIA EM MISTURAS ALTERNATIVAS ESTABILIZADAS QUIMICAMENTE COM CIMENTO PORTLAND

Rafaela Chagas Rudnick (PIC/UEM), Jesner Sereni Ildefonso (Co-orientador), Juliana Azoia Lukiantchuki (Orientador), e-mail: jalukiantchuki@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Tecnologia / Maringá, PR

### Engenharia Civil / Pavimentos

**Palavras-chave:** Módulo de resiliência, Resíduo de construção civil, Pó de pedra

### Resumo:

As características físicas e mecânicas de um solo são muito importantes no desempenho de camadas de base e/ou sub-base de pavimentos. Nesta pesquisa, será analisado o comportamento resiliente de um solo argiloso, típico da cidade de Maringá, cujas propriedades indicam que o mesmo não se apresenta adequado para fins de camadas de base e/ou sub-base de pavimentos rodoviários. Visando melhorar as características deste solo, o trabalho propôs a incorporação de dois tipos de resíduos gerados na região: resíduos de construção civil (RCC) e resíduo de pó de pedra. Desta forma, avaliou-se o comportamento do módulo de resiliência dessas misturas alternativas através da estabilização química com adição de cimento Portland. Os resultados indicaram que o uso de resíduos melhora o comportamento resiliente de solos argilosos.

### Introdução

Na engenharia de pavimentos, os pavimentos flexíveis são aqueles compostos por uma camada superficial asfáltica, a qual é sustentada por camadas de base, sub-base e subleito. Estas últimas são formadas por materiais granulares, solos ou misturas de solos (BERNUCCI et al., 2010). Entretanto, o solo muitas vezes não apresenta as características necessárias para o seu emprego direto em camadas de pavimento, como é o caso dos solos argilosos.

Assim, para viabilizar tecnicamente o emprego desses solos em obras de pavimentação, principalmente para fins de camadas de base e/ou sub-base, utiliza-se o processo de correção das características granulométricas, denominado de estabilização granulométrica. Dentre os materiais utilizados para esta finalidade, além dos solos naturais, pode-se citar o resíduo de

construção civil (RCC) e o resíduo de pó de pedra. Além da estabilização granulométrica, o material pode ser estabilizado quimicamente através da adição de cimento Portland.

O reaproveitamento dos resíduos para substituir a utilização do solo natural tem sido cada vez mais incentivado, isto porque esta solução além de garantir uma destinação ambiental correta também diminui a exploração de jazidas naturais.

Estudos anteriores indicaram que a incorporação dos resíduos de construção civil e de pó de pedra consomem uma quantidade de cimento inferior e garantem maiores valores de resistência (GUIDELI, 2017; SOUZA, 2020).

Entretanto, no caso de camadas de pavimento, além dos ensaios convencionais de caracterização física e mecânica, também deve ser avaliado o comportamento dessas camadas mediante a atuação de cargas cíclicas. Desta forma, o módulo de resiliência (MR) passa a ser um parâmetro de fundamental importância. O MR pode ser determinado através do ensaio triaxial cíclico, através da aplicação de cargas repetidas no eixo axial da amostra compactada. O valor do módulo é representado pela relação entre a tensão desviatória ( $\sigma_d$ ), aplicada repetidamente em uma amostra de solo, e a correspondente deformação específica vertical recuperável ( $\epsilon_r$ ) (Equação 1).

$$MR = \frac{\sigma_d}{\epsilon_r} \quad (\text{Equação 1})$$

Neste contexto, o objetivo da presente pesquisa foi avaliar o módulo de resiliência em misturas alternativas, formadas por solo, RCC e pó de pedra, estabilizadas quimicamente com cimento Portland.

## Materiais e métodos

### *Materiais*

Os materiais utilizados para a pesquisa foram:

- solo natural da cidade de Maringá: coletado na Universidade Estadual de Maringá (UEM), apresentando composição argilosa, coloração marrom avermelhada e comportamento laterítico;
- resíduo de construção civil (RCC): cedido pela Usina Nova, localizada na cidade de Arapongas (PR), sendo composto, em sua maioria, por elementos de concreto e fragmentos de materiais cerâmicos;
- resíduo de pó de pedra (PP): cedido pela empresa EXTRACON Mineração e Obras Ltda., localizada na cidade de Maringá; e
- cimento Portland (CP II Z-32).

Para a realização dos ensaios experimentais foram estabelecidas quatro misturas diferentes a serem avaliadas: 1) solo (94%) e cimento (6%); 2) solo (47%), RCC (47%) e cimento (6%); 3) solo (47%), PP (47%) e cimento (6%);

e 4) RCC (47%), PP (47%) e cimento (6%). As porcentagens de materiais foram estabelecidas em termos de massa seca.

### Métodos

Inicialmente, foram realizados os ensaios de caracterização física dos materiais e misturas. Os ensaios realizados foram: massa específica dos sólidos, limites de consistência e análise granulométrica. Adicionalmente, realizou-se o ensaio de compactação na energia normal.

Através dos parâmetros obtidos pela curva de compactação (massa específica seca máxima e teor de umidade ótimo), foram moldados 04 corpos de prova de dimensões de 100 mm de altura e 50 mm de diâmetro para cada uma das misturas escolhidas.

Estabeleceu-se um período de cura de 07 dias e, após isso, foram realizados os ensaios triaxiais cíclicos (Figura 1) para a determinação do módulo de resiliência. Neste ensaio, aplicou-se uma sequência de 15 pares de tensões e cada sequência foi realizada com 100 ciclos (AASHTO T-307-99-UL).



Figura 1 – Ensaio triaxial cíclico (LAPAV/UEM)

### Resultados e Discussão

Os ensaios de caracterização indicaram que as misturas de solo (S) e solo com pó de pedra (S\_PP) apresentaram maior plasticidade. Além disso, pela análise granulométrica, foi possível perceber que a adição de RCC e PP ao solo argiloso equilibrou a porcentagem entre argila e areia nas misturas, melhorando, assim, a granulometria.

A Tabela 1 apresenta um resumo dos principais resultados dos valores de MR. Os resultados apresentados se restringem às sequências que mantiveram a tensão cíclica ( $\sigma_d$ ) em 12,4 kPa, variando-se a tensão confinante ( $\sigma_3$ ) em 41,4 kPa, 27,6 kPa e 13,8 kPa.

A partir dos resultados, observou-se que a matriz de solo e pó de pedra apresentou o melhor comportamento quando comparada às demais. Os maiores valores de MR foram 331,04 MPa e 306,33 MPa.

**Tabela 1 – Resultados do ensaio triaxial cíclico**

MISTURA	$\sigma_d$ (kPa)	Sequência	$\sigma_3$ (kPa)	MR (MPa)	$\epsilon_r$ (%)
S_06	12,4	1	41,4	82,07	0,0147
		6	27,6	80,05	0,0151
		11	13,8	81,60	0,0146
S_RCC_06	12,4	1	41,4	104,13	0,0117
		6	27,6	190,22	0,0065
		11	13,8	150,79	0,0087
S_PP_06	12,4	1	41,4	120,39	0,0104
		6	27,6	331,04	0,0040
		11	13,8	306,33	0,0043
RCC_PP_06	12,4	1	41,4	101,70	0,0124
		6	27,6	166,22	0,0073
		11	13,8	217,98	0,0056

O termo "06" dado às misturas refere-se à quantidade de cimento utilizada de 6% em termos de massa seca.

Em contrapartida, a mistura de solo e cimento apresentou os menores valores de módulo de resiliência. Por se tratar de um solo argiloso, a tendência desse material é apresentar um MR mais baixo quando comparado a um material de caráter arenoso.

## Conclusões

A mistura de solo, cimento e pó de pedra apresentou o melhor comportamento em termos de módulo de resiliência. Desta forma, os resultados indicam que a incorporação de pó de pedra na matriz de solo argiloso é uma solução viável para melhorar o módulo de resiliência desse tipo de solo. Esta solução representa uma alternativa para a substituição do uso de solo natural, promovendo a correta destinação ao resíduo e diminuindo a exploração de jazidas de solos naturais.

## Referências

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G. da; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. 1. ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2010.

GUIDELI, L. C. **Avaliação do comportamento de misturas de solo, cimento e pó de pedra para aplicação em base e sub-base de pavimento**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2017.

SOUZA, J. M. **Análise experimental da estabilização de um solo argiloso através da incorporação de cimento Portland, resíduo de construção**

29º Encontro Anual de Iniciação Científica  
9º Encontro Anual de Iniciação Científica Júnior



29 a 31 de outubro de 2020

**civil (RCC) e resíduo de pó de pedra.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2020.