

01 a 04 de outubro de 2018

**Evento:** Bolsistas PET

**ANÁLISE MECANÍSTICA DE MISTURAS DE LATOSSOLO ARGILOSO COM AGREGADO MIÚDO PARA EMPREGO EM PAVIMENTOS ECONÔMICOS<sup>1</sup>**  
**MECHANISTIC ANALYSIS OF ARGILOUS LATOSOL MIXTURES WITH SMALL AGGREGATE FOR EMPLOYMENT IN ECONOMIC PAVEMENTS**

**Leonardo Brizolla De Mello<sup>2</sup>, Tainara Kuyven<sup>3</sup>, Katuay Zarth<sup>4</sup>, Jessamine Pedroso De Oliveira<sup>5</sup>, Taciane Pedrotti Fracaro<sup>6</sup>, Carlos Alberto Simões Pires Wayhs<sup>7</sup>**

<sup>1</sup> Pesquisa do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, vinculada ao projeto de pesquisa institucional da UNIJUI

<sup>2</sup> Aluno do Curso de Graduação em Engenharia Civil da UNIJUI, bolsista PET/MEC, leobrmello@hotmail.com.

<sup>3</sup> Aluna do Curso de Graduação em Engenharia Civil da UNIJUI, bolsista PET/MEC, taia-kuyven@hotmail.com.

<sup>4</sup> Aluno do Curso de Graduação em Engenharia Civil da UNIJUI, bolsista PET/MEC, katuayz@hotmail.com.

<sup>5</sup> Aluna do Curso de Graduação em Engenharia Civil da UNIJUI, bolsista PET/MEC, jessamine1995@hotmail.com

<sup>6</sup> Aluna do Curso de Graduação em Engenharia Civil da UNIJUI, bolsista PET/MEC, taci\_fracaro@hotmail.com

<sup>7</sup> Professor Mestre do curso de graduação de Engenharia Civil da UNIJUI, Orientador, carlos.wayhs@unijui.edu.br.

## **INTRODUÇÃO**

O estudo analisa elementos alternativos para utilização em pavimentos econômicos, buscando propor soluções eficientes e, ao mesmo tempo, viáveis à execução de pavimentações do tipo flexível. Segundo dados do Anuário CNT do Transporte (CNT, 2017), de um total de 1.720.643,2 km, 78,8% das vias existentes no país não são pavimentadas, enfatizando-se que cerca de 81,78% dessas, configuram vias que estão sob jurisdição municipal. Dentre as condições responsáveis por esse alto índice, está o alto custo de concepção, relativos aos materiais tradicionais usados nos pavimentos e a insuficiência de capital público à infraestrutura de transportes.

Uma excelente alternativa é a busca por opções mais acessíveis ao emprego em estradas vicinais, optando pelo uso de materiais locais na execução das camadas estruturais dos pavimentos (VILLIBOR; NOGAMI, 2009). A fim de reduzir os custos referentes a implantação de rodovias iniciaram-se pesquisas referentes ao assunto, na UNIJUI no ano de 2012, com a criação do projeto de pesquisa institucional “Estudo de Solo Argiloso Laterítico para Uso em Pavimentos Econômicos”, vinculado ao Grupo de Pesquisa em Novos Materiais e Tecnologias para Construção, cadastrado no Diretório de Grupos de Pesquisa do Brasil do CNPQ. Este trabalho pretende relatar pesquisa integrante do projeto citado, que serviu de tema para o Trabalho de conclusão de Curso de Callai (2017). Portanto, na pesquisa foram estudadas três composições de solo argiloso do

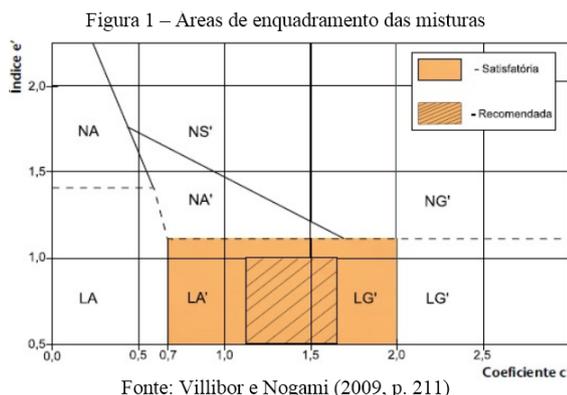
01 a 04 de outubro de 2018

**Evento:** Bolsistas PET

Campus da UNIJUI com adição dos respectivos materiais e siglas: latossolo argiloso mais areia – ALA, latossolo argiloso mais areia industrial – ALAI, e latossolo argiloso mais resíduo da construção civil (RCC) moído – ALARCC. Correlatos aos seus atributos de interesse na pavimentação, e com suas resultâncias, realizou-se o estudo mecanístico e o cálculo para mensurar um pavimento flexível de base formada pelas misturas em análise.

### **METODOLOGIA**

Baseando-se nas ponderações feitas por Bernardi (2013), Amaral (2015) e Buligon (2015) acerca da análise das misturas ALA, ALAI e ALARCC, respectivamente, com porcentagens de agregado em 20%, 30% e 40%, optou-se por composições que se enquadraram na região recomendada e/ou satisfatória do gráfico da figura 1, proposta por Villibor e Nogami (2009) ao uso de materiais à pavimentação econômica. Considerando as três composições em cada uma de suas proporcionalidades, percebeu-se que as melhores amostragens foram as constituídas de 40% de agregado e 60% de latossolo argiloso retirado das imediações do Campus da UNIJUI.



No Laboratório de Engenharia Civil da UNIJUI (LEC), executou-se os ensaios de caracterização dos três compostos, assim como as classificações pela metodologia Miniatura, Compactação, Tropical (MCT), para averiguar a viabilidade, ou não, de aplicação como materiais alternativos em bases sub-bases de pavimentos de baixo custo. O ensaio triaxial de cargas repetidas, fora realizado no Laboratório de Pavimentação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - LAPAV/UFRGS, com o objetivo de chegar aos valores de módulos de resiliência ao dimensionamento, possibilitando o estudo mecanístico do pavimento. As informações inerentes ao solo do Câmpus foram obtidos por meio de produções bibliográficas pregressas. Finalmente, após a realização dos ensaios e obtenção dos resultados, dimensionou-se uma estrutura de pavimento flexível, por intermédio do software SisPav, utilizando as misturas estudadas como materiais constituintes da base.

### **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O solo foi caracterizado através da análise de sua granulometria e dos limites de Atterberg. As curvas granulométricas de cada uma das misturas, ALA, ALAI e ALARCC, foram obtidas em laboratório por peneiramento e sedimentação da parcela fina. Todas as misturas foram classificados em três metodologias, duas metodologias tradicionais, Sistema Unificado de

01 a 04 de outubro de 2018

**Evento:** Bolsistas PET

Classificação de Solos (SUCS) e a Classificação Rodoviária, Highway Research Board (HRB/AASHTO), e uma pela metodologia MCT. Através da granulometria e dos Limites de Atterberg, compôs-se da Tabela 1, a qual corresponde à classificação do solo e de cada misturas, segundo os métodos tradicionais. Destaca-se que tais classificações consideram as misturas com comportamento para subleito sofrível a mau (VILLIBOR; NOGAMI, 2009). Relativos à metodologia MCT, os ensaios foram executados a fim de avaliar o comportamento no emprego em bases e sub-bases de pavimentos econômicos. Conforme demonstrado na gráfico da Figura 2.

Tabela 1 – Recomendações de materiais passantes por Villibor e Nogami

MATERIAL	PROPRIEDADES (%)			CLASSIFICAÇÕES	
	Passante nº 200	LL	IP	SUCS	HRB/AASHTO (IG)
Solo Campus	94,81	65	26	MH	A-7-5 (18)
ALA 40%	59,68	35	19	CL	A-6 (9)
ALAI 40%	58,11	42	20	CL	A-7-6 (9)
ALARCC 40%	61,43	42	22	CL	A-7-6 (10)

Fonte: Autoria própria (2017)



Fonte: Autoria própria (2017)

A MCT é ideal para solos tropicais e mostra-se muito prática. Além dos 9 ensaios propostos pela metodologia, essencialmente, necessita-se dos resultados dos ensaios de mini-MCV e perda de massa por imersão, esses, possibilitam encontrar 4 coeficientes fundamentais à conclusão do método, entre eles o  $d'$  e  $P_i$ , usados na obtenção do fator  $e'$ . Verificou-se o atendimento de todas as propriedades, com baixos valores de expansão e altos índices RIS. Conforme demonstrado na Tabela 2, a exceção foi o mini-CBR não imerso na umidade ótima da energia intermediária, apresentando ainda uma contração axial superior ao limite permitido. Isso é justificado pela composição de cerca de 60% por material fino, superior aos 50% estipulados por Villibor e Nogami (2009). Mesmo com o não enquadramento dos materiais para uso em bases de pavimentos econômicos, decidiu-se seguir com o dimensionamento, pois esses consideram também o módulo de resiliência e o comportamento resiliente dos materiais terrosos, independentemente dos resultados da metodologia MCT. O ensaio triaxial de cargas repetidas, fora realizado no LAPAV da UFRGS, a condições de umidade ótima para cada uma das composições na energia modificada.

Tabela 2 – Resumo das propriedades MCT das misturas

PROPRIEDADE	INTERVALOS ADMISSÍVEIS	RESULTADOS			SITUAÇÃO		
		ALA	ALAI	ALARCC	ALA	ALAI	ALARCC
Grupos MCT	LG', LA', LA	LG'	LG'	LG'	OK	OK	OK
Mini-CBR <sub>m</sub> * (%)	≥ 40	25,9	22,8	19,9	NÃO	NÃO	NÃO
Expansão - Es (%)	≤ 0,3	0,1	0,03	0,02	OK	OK	OK
RIS (%)	≥ 50	81,59	82,82	59,83	OK	OK	OK
Ct (%)	0,1 a 0,5	1,91	1,5	1,02	NÃO	NÃO	NÃO
Coefficiente s (cm <sup>2</sup> /min)	10 <sup>-2</sup> a 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	OK	OK	OK
Coefficiente k (cm/s)	10 <sup>-6</sup> a 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-5</sup>	NÃO	NÃO	NÃO

Fonte: Autoria própria

01 a 04 de outubro de 2018

**Evento:** Bolsistas PET

O dimensionamento foi realizado pelo SisPav, complementando-se com as características da estrutura do pavimento. Optou-se o uso de CBUQ com espessura de 5 cm, CAP 50/70, faixa granulométrica A, e módulos de resiliência e coeficiente de Poisson sugeridos pelo software. Para a base utilizou-se latossolo, representando as misturas e foi adotado modelo de comportamento granular às misturas ALA e ALARCC e coesivo para ALAI. Para as características de tráfego utilizou-se rodovias vicinais com VDM menor que 1000, com o local mais próximo de Ijuí, VRS 818 e VRS 832 e o volume total de cada veículo para o primeiro ano de funcionamento, valores inseridos no programa, como traduz a Tabela 3.

Tabela 3 – Estruturas obtidas para diferentes tráfegos.

BASE UTILIZADA	ESPESSURA DO REVESTIMENTO (cm)	ESPESSURA DA BASE DE ACORDO COM O TRÁFEGO (cm)	
		VRS 818 $N = 3,03 \times 10^6$	VRS 832 $N = 1,7 \times 10^6$
ALA40%	5	ND	35
ALAI40%	5	ND	20
ALARCC40%	5	ND	ND

Fonte: Autoria própria (2017)

Tabela 4 – Previsão de vida útil e por fadiga

MISTURAS	Vida de projeto (N)	Vida útil de serviço por fadiga (N)	Fadiga do Revestimento (%)	Vida útil de serviço por ATR (N)	ATR no topo do subleito (%)
ALAI40% - VRS 832	$1,7 \times 10^6$	$1,91 \times 10^6$	89	$1,68 \times 10^7$	10,12

Fonte: Autoria própria (2017)

Ao tráfego VRS 818, nenhum dos compostos apresentou valores menores que 60 cm, máximo especificado pelo programa. Para VRS 832, ALA e ALAI resultaram em valores satisfatórios para base, enquanto ALARCC não apresentou espessura que atendesse a tais solicitações, não sendo uma alternativa para bases de pavimentações flexíveis. De acordo com as tensões e deformações, ALA obteve vida útil de fadiga de 5,4 e 10,4 anos para VRS 818 e 832, respectivamente, enquanto ALAI 7,2 e 11,2 anos, atendendo satisfatoriamente às solicitações de tráfego. Da mesma forma, analisou-se o desempenho de ambos os compostos à fadiga e afundamento da trilha de roda (ATR) das estruturas, em porcentagem, mostrando a relação entre as duas e a vida de projeto inserida, como mostra a Tabela 4.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo avaliou o comportamento de 3 compostos de 40% de agregado miúdo relativos à granulometria, propriedades resultantes da metodologia MCT e desempenho resiliente pelo ensaio triaxial dinâmico ALA, ALAI e ALARCC. Mesmo com a adição de agregados mais grossos, a porcentagem não é suficiente para atender a todos os parâmetros. Ainda que o mini-CBR não tenha atendido às condições mínimas, verifica-se que é possível a aplicação como bases de pavimento flexível, como legitimado no SisPav. Contudo, necessita-se atentar aos valores de contração axial das composições, os quais se mostram muito acima do máximo, favorecendo na criação de muitas trincas após a compactação e secagem, prejudicando às propriedades estruturais da mesma.

O dimensionamento com um alto módulo de resiliência (4173 Mpa) e espessura de 5 cm de CBUQ, contribuiu à diminuição das deformações provindas do tráfego. O uso de CBUQ, traz à tona a possibilidade de o pavimento não se enquadrar nos conceitos de pavimentação econômica, pelo elevado custo do concreto asfáltico. O SisPav, não é o método mais indicado para análise de pavimentos econômicos, por possuir uma limitação em sua espessura do revestimento e biblioteca

01 a 04 de outubro de 2018

**Evento:** Bolsistas PET

de materiais, não possibilitando o estudo de TS. Outro ponto negativo é que a vida útil apresentada pelo software se baseia na fadiga, fenômeno não existente em revestimentos em TS. Estudos mais confiáveis e de maior consistência poderiam ser simulados por programas que aceitem tais condições.

#### **AGRADECIMENTOS**

Ao MEC-SESu pelas bolsas do Programa de Educação Tutorial, ao laboratorista Luiz Donato, ao Laboratório de Engenharia Civil da UNIJUI (LEC), e aos demais bolsistas que colaboraram nas discussões e execução dos ensaios.

#### **REFERÊNCIAS**

AMARAL, M.B. (2015). **Estudo de misturas de solo argiloso laterítico do noroeste do Rio Grande do Sul e areia industrial para uso em pavimentos econômicos**. 67 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí.

BERNARDI, C. (2013). **Estudo de misturas de solo argiloso laterítico com agregados finos para uso em pavimentos econômicos**. 68 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí.

BULIGON, L.B. (2015). **Estudo de misturas de solo argiloso laterítico e resíduo de construção civil para uso em pavimentos econômicos**. 89 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí.

CALLAI, Nicole Deckmann (2017). **Estudo mecanístico de misturas de argila laterítica e agregado miúdo para emprego em pavimentos econômicos**. 111 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Anuário CNT do Transporte 2017: Estatísticas consolidadas**. Brasília: CNT, 2017. 27 p. Disponível em: . Acesso em: 29 de março de 2018.

VILLIBOR, D. F. et al. Pavimentos de baixo custo para vias urbanas. 2. ed. São Paulo: Arte & Ciência. 196 p., 2009.

VILLIBOR, D. F.; NOGAMI, J. S. **Pavimentos econômicos: tecnologia do uso dos solos finos lateríticos**. São Paulo: Arte & Ciência. 292 p., 2009.