

## PAVIMENTOS ECONÔMICOS COM USO DE MISTURAS DE SOLO ARGILOSO LATERÍTICO E RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO CIVIL ESTABILIZADO

### **Taciane P. Fracaro**

Acadêmica do curso de Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ  
[taci\\_fracaro@hotmail.com](mailto:taci_fracaro@hotmail.com)

### **Leonardo B. de Mello**

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ  
[leobrmello@hotmail.com](mailto:leobrmello@hotmail.com)

### **Jessamine P. de Oliveira**

Acadêmica do curso de Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ  
[jessamine1995@hotmail.com](mailto:jessamine1995@hotmail.com)

### **Tainara Kuyven**

Acadêmica do curso de Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ  
[taia-kuyven@hotmail.com](mailto:taia-kuyven@hotmail.com)

### **Katuay Zarth**

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ  
[katuayz@gmail.com](mailto:katuayz@gmail.com)

### **Carlos A. S. P. Wayhs**

Professor/Pesquisador do curso de Engenharia Civil. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ)  
[engcaw@gmail.com](mailto:engcaw@gmail.com)

*Resumo.* A busca por materiais alternativos para utilização em obras rodoviárias torna-se um importante tópico a ser estudado, quando o principal objetivo é diminuir consideravelmente os custos de implantação de pavimentos. Uma alternativa viável é a utilização dos solos locais, a fim de reverter este cenário. Neste contexto, o presente estudo buscou avaliar misturas do solo argiloso laterítico proveniente da cidade de Ijuí/RS com resíduo de construção civil (RCC) estabilizado pela substituição de finos passantes na peneira nº 200 (0,075 mm) para utilização em camadas de bases de pavimentos econômicos de acordo com a sistemática MCT. Foram determinadas as

*proporções em peso das misturas de solo e RCC estabilizado em 20, 30 e 40%, submetendo-as a ensaios de caracterização geotécnica tradicional e da metodologia MCT. Pode-se concluir que a mistura com o maior teor de resíduo apresentou melhores resultados quando comparada as demais misturas, excedendo somente nos valores de contração axial.*

**Palavras-chave:** Estabilização. Pavimentação. Materiais alternativos.

## 1. INTRODUÇÃO

A excessiva geração de resíduos sólidos derivados de reformas e demolições na construção civil, exige cada vez mais, soluções diversificadas de forma a reduzir o excesso de materiais que são descartados incorretamente e encaminhados para aterros sanitários. Do mesmo modo se faz necessário a potencialização do uso dos resíduos na geração de matérias-primas secundárias através da reciclagem, objetivando a redução da exploração dos recursos naturais não-renováveis, de maneira que contribuam nas condições ambientais dos espaços urbanos (FRIGO, SILVEIRA, 2012).

De acordo com a ABRECON (2017), a Construção Civil é responsável por aproximadamente 50% a 70% da produção atual de resíduos sólidos urbanos, sendo que 70% do total gerado poderiam ser reutilizados e estes são frequentemente descartados em pontos clandestinos.

Segundo Brasileiro (2015), os RCC reciclados podem ser utilizados em camadas de base e sub-base para pavimentação tendo em vista as pesquisas realizadas pela Confederação Nacional do Transporte – CNT no ano de 2018, que apontam que de um total de 1.720.700 km de rodovias, apenas 12,4% (213.453km) são pavimentadas, 9,1% (157.309km) são planejadas e espantosamente 78,5% (1.349.939km) não são pavimentadas. Estes dados estão diretamente relacionados a escassez de recursos públicos e aos altos custos de materiais convencionalmente utilizados na pavimentação (CNT, 2016).

De acordo com o Sistema Nacional de Viação de 2015 (DNIT, 2015), o Rio Grande do Sul possui na jurisdição municipal 92,2% de sua malha não pavimentada, sinalizando-se a grande dificuldade dos municípios pequenos em garantir a pavimentação da malha rodoviária, muitas vezes por não possuírem condições de realizarem grandes investimentos na infraestrutura viária.

Com o objetivo de solucionar esse problema, surgiram conceitos de pavimentos econômicos que consistem em substituir materiais tradicionalmente utilizados por outros alternativos como, por exemplo, a substituição de bases tradicionais por bases constituídas de solos in natura ou misturas de solos (VILLIBOR; NOGAMI, 2009).

O Rio Grande do Sul possui condições climáticas que impossibilitam a utilização de solos lateríticos puros para bases em rodovias. Dessa maneira torna-se necessário o estudo da utilização de solos lateríticos presentes na região com a adição de materiais que venham a melhorar suas propriedades geotécnicas e ter viabilidade econômica (COUTO, 2009).

Assim, o presente trabalho relata pesquisa que foi tema de trabalho de conclusão de curso de Bragato (2017), e visou analisar o comportamento do solo laterítico argiloso misturado com resíduo de construção civil estabilizado pela exclusão de finos para utilização em obras rodoviárias, sendo uma alternativa atrativa para a pavimentação, pois além de reduzir custos construtivos, também minimiza danos ambientais.

## 2. MATERIAIS UTILIZADOS

Nesta seção serão abordados os materiais utilizados na presente pesquisa.

O local de retirada do solo foi o campus da UNIJUÍ – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, na cidade de Ijuí, mais especificamente em um corte próximo ao prédio do Hospital Veterinário. O solo utilizado foi classificado como Latossolo vermelho, cuja profundidade de extração foi em torno de 2 metros da superfície, pertencente ao horizonte B.

O resíduo da construção civil, denominado RCC no decorrer desta pesquisa, foi resultante da empresa RESICON – Central de Triagem e Reciclagem de Resíduos de Construção Civil no Noroeste do RS, situada no município de Santa Rosa – RS.

O processo de triagem do RCC, indicado pela empresa, começa pela análise do material recebido, onde são separados os resíduos classe A (CONAMA, 2002) dos demais materiais. Os resíduos descartados são recolhidos e enviados para os locais adequados para o seu recebimento.

Posteriormente, o resíduo classe A é depositado sobre uma tulha e mesa vibratória onde resultará um material fino, com areia e solo misturados ao RCC. Mais tarde, este material era encaminhado, através de esteiras, até o britador que reduz o seu tamanho em várias granulometrias. O RCC britado passa por uma peneira separando suas granulometrias em 4 etapas sendo elas:

- rachão: material acima de 48 mm;
- bica corrida 1: entre 48 e 9,30 mm;
- pedrisco: entre 9,30 e 4,60 mm;
- pó de pedra ou areião: até 4,60 mm.

O RCC utilizado para as misturas foi o areião ou pó de pedra (Fig. 1), que foi submetido à retirada da porcentagem passante na peneira nº 200 (0,075mm) para posterior uso.



Figura 1. RCC utilizado

A estabilização granulométrica fundamenta-se em conferir ao material estudado uma maior resistência adicionando-lhe ou retirando-lhe certas quantidades de suas frações constituintes (VARGAS, 1977). Assim sendo, optou-se por estabilizar o RCC

excluindo a fração passante na peneira nº 200 (0,075 mm), buscando o melhor desempenho em camadas de pavimentos. Esse processo foi realizado por meio da lavagem de todo material na peneira nº 200, com o objetivo de excluir a fração fina da amostra.

As misturas de solo natural e RCC estabilizado, foram denominados de ALARC est., definidos nas proporções recomendadas por Villibor e Nogami (2009) para as misturas ALA e apresentadas e nominadas a seguir como:

- ALARC est. 20%: 20% de RCC estabilizado e 80% de solo natural;
- ALARC est. 30%: 30% de RCC estabilizado e 70% de solo natural;
- ALARC est. 40%: 40% de RCC estabilizado e 60% de solo natural.

### 3. METODOLOGIA

A metodologia adotada compõe-se da obtenção das amostras, preparação e caracterização das misturas, realização dos ensaios laboratoriais, análise dos resultados obtidos e por fim tece-se as considerações finais acerca do tema proposto.

Para a escolha da mistura para a utilização em bases de pavimentos segundo Villibor e Nogami (2009) as amostras devem se na área recomendada, localizada dentro da área hachurada indicada no gráfico da classificação MCT da Fig. 2.

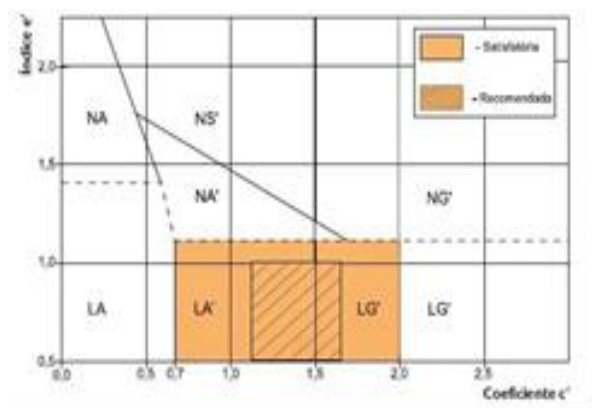


Figura 2. Gráfico da classificação MCT

Os mesmos autores ainda trazem que as misturas ou solos devem atender as propriedades indicadas na Tabela 1.

Tabela 1. Critérios da metodologia MCT

PROPRIEDADES	SUBITENS DE ORIGEM	INTERVALOS ADMISSÍVEIS	MÉTODOS DE ENSAIO
Grupos MCT	4.3.4	LG', LA', LA	M5 e M8
Capacidade de Suporte Mini-CBR <i>Wot</i> (%)	4.3.3.2	≥ 40	M2
Expansão sem sobrecarga - <i>Es</i> (%)	4.3.3.2	≤ 03	M2
Relação RIS (%) ou Perda de Suporte por Imersão PSI (%)	4.2.4.1	≥ 50 ≤ 50	- -
Contração Axial - <i>Ct</i> (%)	4.3.3.4	0,1 a 0,5	M3
Coefficiente de Sorção d'água - <i>s</i> (cm/vmin)	4.3.3.3	$10^{-2}$ a $10^{-4}$	M4
Coefficiente Permeabilidade - <i>Ks</i> (cm/s) - opcional	4.3.3.3	$10^{-6}$ a $10^{-8}$	M4

Valores na *Wot* da energia intermediária do mini-Proctor

Em laboratório, inicialmente as amostras foram preparadas de acordo com a NBR 6457 (ABNT, 2016a) possibilitando a realização dos ensaios necessários às classificações tradicionais, sendo eles: análise granulométrica, limite de liquidez e limite de plasticidade regidos respectivamente pelas normas NBR 7181, NBR 6459 e NBR 7180, todas do ano de 2016.

Posteriormente, foi aplicada a metodologia MCT apresentada em Villibor e Nogami (2009) através da execução dos ensaios M1, M2, M3 e M4 e procedimento classificatório original M9 baseado nos resultados dos ensaios M5 e M8. Adicionalmente foi realizada a classificação MCT Expedita também conhecida como Método das Pastilhas, que utiliza de determinações rápidas e simples a fim de atender a necessidade de uma alternativa de ensaio mais rápida e de menor custo quando comparada às classificações usuais (FORTES et al., 2002).

#### 4. RESULTADOS

Serão apresentados neste item os resultados obtidos pelos ensaios, de acordo com a metodologia apresentada no capítulo 3 deste trabalho.

A análise granulométrica foi realizada por sedimentação e peneiramento. Primeiramente foi realizada a sedimentação das amostras e posteriormente o peneiramento grosso e fino que completam o ensaio. As curvas obtidas do solo natural, do RCC moído fino e das três misturas estudadas apresentam-se na Fig. 3 e a Tabela 2 exhibe os resultados da curva em porcentagem de material.

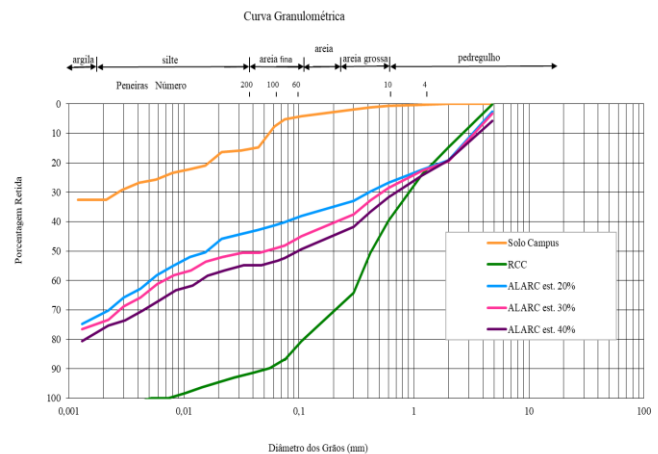


Figura 3. Curvas granulométricas

Tabela 2 - Granulometria em porcentagem

GRANULOMETRIA						
Amostra	Pedregulho	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila
Solo Natural	0,01%	0,06%	3,51%	1,03%	27,50%	67,89%
ALARC est. 20%	19,25%	7,54%	6,25%	9,93%	28,79%	28,24%
ALARC est. 30%	19,48%	9,01%	9,14%	12,04%	26,26%	24,07%
ALARC est. 40%	19,15%	12,62%	9,99%	11,73%	23,54%	22,97%
RCC	14,88%	24,81%	24,46%	22,28%	13,37%	0,20%

Verificando-se as curvas, a porcentagem de material passante na peneira nº 200 (0,075 mm) do solo natural foi de aproximadamente 95% caracterizando um solo extremamente fino. Já para o RCC a fração passante na peneira nº 200 (0,075 mm) foi em torno de

14% de porcentagem que foi retirada, por meio de lavagem, para uso nas três misturas analisadas. Também pode-se verificar que as amostras ALARC est. apresentaram uma queda nas curvas conforme o aumento do resíduo estabilizado utilizado.

Verificando as faixas granulométricas especificadas pelo DNIT-ES 098/2007 – base estabilizada granulometricamente com utilização de solo laterítico (DNIT, 2007), as misturas não atenderam ao especificado. O mesmo ocorre com as especificações do DNIT-ES 141/2010 – base estabilizada granulometricamente (DNIT, 2010), onde as amostras não se enquadraram em nenhuma das faixas recomendadas por se tratar de um material extremamente fino.

As massas específicas obtidas pelo ensaio foram de 2,87 para a mistura ALARC est. 20%, 2,84 para a mistura ALARC est. 30%, 2,82 para a mistura ALARC est. 40% e 2,68 para o resíduo de construção civil (RCC) e 2,88 para solo natural.

Os valores obtidos para os limites de consistência do solo natural e das três amostras estudadas encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados dos Limites de Atterberg

LIMITES DE ATTERBERG			
Amostra	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Solo Natural	65	39	26
ALARC est. 20%	44	27	17
ALARC est. 30%	42	25	17
ALARC est. 40%	36	21	15

De acordo com as especificações do DNIT-ES 098/2007 (DNIT, 2007), os materiais com índice de plasticidade maior que 15% poderão ser utilizados em misturas com materiais alternativos desde que possuam um índice de plasticidade menor ou igual a 6%. A mistura obtida deve apresentar valores de índice de plasticidade inferior ou igual a 15% e limite de liquidez inferior ou igual a 40%.

Já para a norma DNIT-ES 141/2010 (DNIT, 2010), os materiais destinados à construção da base, executadas a partir do método de estabilização granulométrica, deve apresentar limite de liquidez inferior ou igual a 25% e índice de plasticidade inferior ou igual a 6%.

A mistura ALARC est. 40% atendeu às especificações quanto ao índice de plasticidade e limite de liquidez para utilização em camadas de bases de pavimentos estabilizados granulometricamente com uso de solo laterítico. Contudo para bases estabilizadas granulometricamente, nenhuma das amostras se enquadram às especificações citadas anteriormente.

Os limites de consistência do solo e a granulometria apresentam limitações quanto à avaliação das propriedades hídricas dos solos tropicais, devido, principalmente, a pequena reprodutibilidade dos resultados obtidos nos ensaios. Por este motivo, Villibor e Nogami (2009) recomendam a utilização da metodologia MCT, que melhor retrata as propriedades e comportamentos dos materiais a serem utilizados na pavimentação.

Dos resultados dos ensaios de granulometria e de plasticidade, possibilitou-se efetuar as duas classificações tradicionalmente utilizadas na pavimentação, sendo elas SUCS e HRB/AASHTO. A Tabela 4 apresentam as classificações do solo natural e das misturas ALARC est. nos dois sistemas

Tabela 4. Classificações tradicionais

CLASSIFICAÇÃO			
Amostra	SUCS	HRB	IG
Solo Natural	MH	A-7-5	18
ALARC est. 20%	CL	A-7-6	9
ALARC est. 30%	CL	A-7-6	7
ALARC est. 40%	CL	A-6	4

Segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solo – SUCS, a amostra de solo natural estudada foi classificada como MH. Todas as amostras ALARC est. foram



classificadas como CL. De acordo com o Sistema Rodoviário de Classificação (HBR/AASHTO) o solo natural foi identificado com pertencente ao grupo A-7-5(18), que conforme DNIT (2006) são solos argilosos com índice de plasticidade moderado em relação ao limite de liquidez. As misturas ALARC est. de 20 e 30% foram classificadas como A-7-6 com IG de 9 e 7 respectivamente, equivalentes a solos argilosos com elevado índice de plasticidade em relação ao limite de liquidez. Por fim, a mistura ALARC est. 40% pertence ao grupo A-6(4) correspondente a solos argilosos plásticos.

Salienta-se que todas as amostras foram classificadas com comportamento de sofrível a mau para utilização como subleitos de pavimentos fato que, segundo Villibor e Nogami (2009), não condiz com a realidade. Portanto estas classificações tornam-se inadequadas para avaliar as propriedades dos solos de ambientes tropicais e úmidos brasileiros.

#### 4.1 Classificação MCT

Neste item encontra-se os resultados para os ensaios da classificação MCT.

O ensaio M1, de compactação mini-Proctor tem finalidade determinar a umidade ótima das amostras estudadas, sendo esta de grande importância para a realização dos demais ensaios da metodologia MCT.

Os resultados obtidos para umidade ótima e massa específica aparente seca máxima do solo natural e das três misturas ALARC est. utilizando apenas a energia intermediária de compactação estão apresentados na Fig. 4 e na Tabela 5.

Verificou-se que a umidade ótima diminui e o peso específico aparente seco máximo aumenta com o aumento do teor de resíduo de construção civil estabilizado utilizado nas amostras, comportamento já esperado.

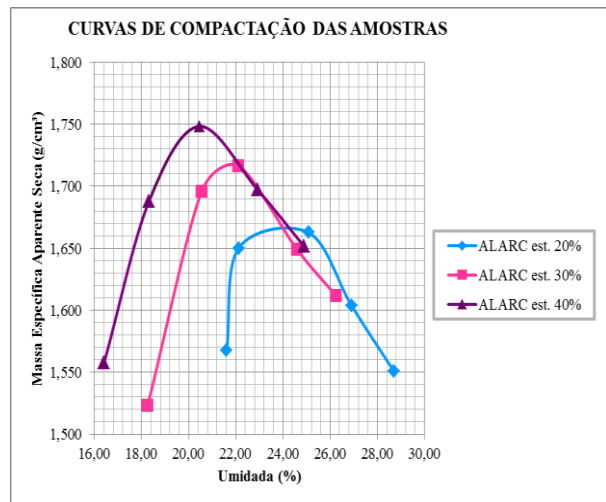


Figura 4. Curvas de compactação ensaio M1

Tabela 5 - Umidade ótima x PEAS<sub>máx</sub>  
COMPACTAÇÃO ENERGIA INTERMEDIÁRIA

Amostra	W ótima (%)	PEAS (kN/m³)
Solo Natural	28,00	15,5
ALARC est. 20%	25,08	16,63
ALARC est. 30%	22,11	17,16
ALARC est. 40%	20,44	17,48

Os valores do ensaio M2, de de mini-CBR com seus respectivos índices RIS e PSI para o método de correlações e método de cargas padrão estão contidos, respectivamente, nas Tabelas 6 e 7. Nesta pesquisa considerou-se os valores obtidos pelo procedimento das cargas padrão, que segundo Villibor e Nogami (2009) é o método mais correto.

Tabela 6. Mini-CBR pelo método correlações

Amostra	CBR (%)		RIS (%)	PSI (%)
	Não Imerso	Imerso		
Solo Natural	21	19	90	10
ALARC est. 20%	26	14	54	46
ALARC est. 30%	30	18	60	40
ALARC est. 40%	42	21	50	50

Tabela 7. Mini-CBR cargas padrão

MÉTODO DE CARGAS PADRÃO				
Amostra	CBR (%)		RIS (%)	PSI (%)
	Não Imerso	Imerso		
Solo Natural	21	19	90	10
ALARC est. 20%	29	15	52	48
ALARC est. 30%	39	24	62	38
ALARC est. 40%	48	26	54	46

Na Tabela 8 estão apresentados os resultados obtidos pelo ensaio de expansão das amostras ensaiadas, onde pode-se verificar que a mistura que possui o maior teor de resíduo apresentou uma menor expansão.

Tabela 8. Resultados da expansão

Amostra	EXPANSÃO (%)
Solo Natural	0,14
ALARC est. 20%	0,28
ALARC est. 30%	0,22
ALARC est. 40%	0,14

Os corpos de prova foram moldados na umidade ótima utilizando a energia intermediária de compactação e posteriormente foram submetidos à secagem ao ar livre para então ser feita a medida no ensaio M3, da contração axial de cada amostra ensaiada. Na Tabela 9 estão apresentados os resultados obtidos onde pode-se constatar que há uma diminuição da contração axial dos corpos de provas com o aumento do teor de resíduo estabilizado na mistura.

Tabela 9. Resultados da contração axial

CONTRAÇÃO			
Amostra	W ótima (%)	W obtida (%)	Contração (%)
ALARC est. 20%	25,08	26,54	2,33
ALARC est. 30%	22,11	22,49	1,87
ALARC est. 40%	20,44	20,79	1,64

Os corpos de prova utilizados no ensaio M4, de permeabilidade e infiltrabilidade, foram obtidos segundo o procedimento mini-Proctor na umidade ótima e energia intermediária. Na Tabela 10 estão apresentados os resultados obtidos do ensaio de infiltrabilidade. À medida que se adiciona maiores teores de resíduos na mistura, aumentou o coeficiente de sorção das amostras, comportamento não esperado e que pode estar associado a impurezas presentes no resíduo, fato que será averiguado futuramente.

Segundo Villibor e Nogami (2009) o ensaio de Infiltrabilidade termina quando não houver mais a penetração de água nos corpos de prova, ou seja, quando o deslocamento do menisco no tubo horizontal estabilizar, o que geralmente ocorre antes de 23 horas. Como pode ser visualizada nas curvas da Fig. 5, a estabilização não ocorreu em nenhuma das amostras, fato que invalida os resultados obtidos, de acordo com o afirmado em Villibor e Nogami (2009), por possivelmente ter ocorrido vazamento.

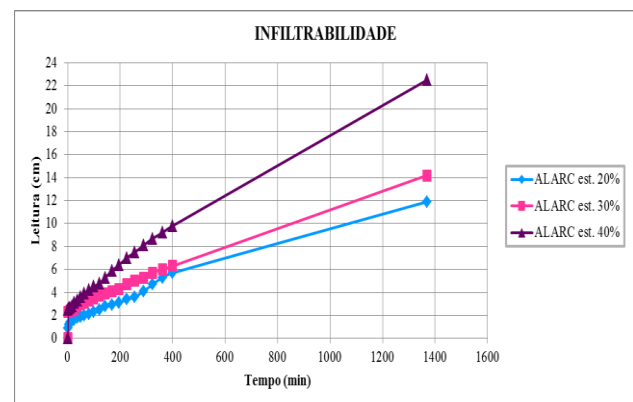


Figura 5- Curvas de infiltrabilidade

Tabela 10. Ensaio de infiltrabilidade

INFILTRABILIDADE		
Amostra	Velocidade de Caminhamento da Frente de Unidade ( $cm/\sqrt{min}$ )	Coefficiente de Sorção ( $cm/\sqrt{min}$ )
ALARC est. 20%	1,69	$1,56 \times 10^{-3}$
ALARC est. 30%	2,19	$4,00 \times 10^{-3}$
ALARC est. 40%	1,65	$6,00 \times 10^{-3}$

Na Tabela 11 estão apresentados o coeficiente de permeabilidade das misturas ALARC est., e a Fig. 6 mostra suas respectivas curvas. A amostra ALARC est. 30% apresentou o maior coeficiente e a mistura ALARC est. 20% o menor. Estes resultados não apresentaram um comportamento padrão como os demais ensaios fato que oportunamente também será analisado futuramente.

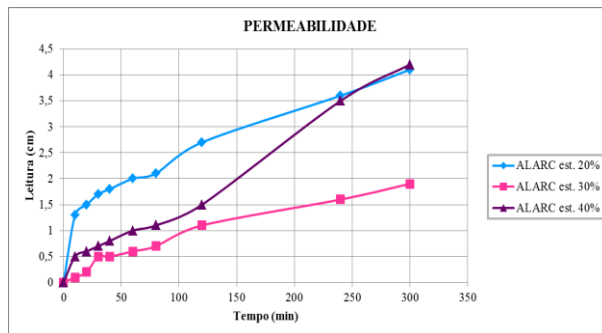


Figura 6. Curvas de permeabilidade

Tabela 11. Resultados da permeabilidade

PERMEABILIDADE	
Amostra	Coefficiente de Permeabilidade ( $cm/\sqrt{min}$ )
ALARC est. 20%	$1,26 \times 10^{-4}$
ALARC est. 30%	$3,16 \times 10^{-4}$
ALARC est. 40%	$2,22 \times 10^{-4}$

Este ensaio utiliza cinco corpos de provas para cada amostra nos teores de umidade correspondentes a umidade ótima, ramo úmido e ramo seco, obtendo assim, curvas similares ao do ensaio de compactação. O procedimento de ensaio consiste em aplicar um número crescente de golpes até não haver acréscimo sensível em sua densidade.

O coeficiente  $c'$  corresponde ao coeficiente angular dado pela inclinação da parte retilínea da curva de deformabilidade do ensaio. Logo o coeficiente  $d'$  refere-se à inclinação da parte retilínea do ramo seco da curva de compactação correspondente a 12 golpes. Estes dois coeficientes são de grande relevância na identificação de solos tropicais

para o uso da Classificação MCT. Os coeficientes  $c'$  e  $d'$  obtidos através deste ensaio para as três misturas ALARC est. e para o solo natural estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Coeficientes do ensaio mini-MCV

COEFICIENTES		
Amostra	$d'$	$c'$
Solo Natural	41,5	2,86
ALARC est. 20%	26,1	1,85
ALARC est. 30%	23,8	1,96
ALARC est. 40%	85,6	1,69

Este ensaio consiste em determinar a perda de massa por imersão ( $P_i$ ) que corresponde a massa seca desprendida do corpo de prova. A partir dos resultados obtidos traça-se um gráfico da perda de massa por imersão em função de seus respectivos mini-MCV, o valor de  $P_i$  é obtido nesta curva. Quando o solo possuir uma altura final maior que 48 mm, considerados de baixa densidade, deve-se utilizar a valor correspondente ao mini-MCV=10, para solos que obtiverem uma altura menor que 48 mm, classificados de alta densidade, utiliza-se mini-MCV=15.

Os valores obtidos da perda ( $P_i$ ) do solo natural e das três misturas estudadas está apresentado na Tabela 13.

Tabela 13. Perda de massa por imersão

Amostra	$P_i$
Solo Natural	0
ALARC est. 20%	65
ALARC est. 30%	53
ALARC est. 40%	84

Este valor será utilizado para fins classificatórios da metodologia MCT. Os ensaios classificatórios da metodologia MCT utilizam os valores obtidos do ensaio de compactação mini-MCV (M5), que fornece os coeficientes  $c'$  e  $d'$ , e o do ensaio da perda de massa por imersão, que fornece o  $P_i$ . O



coeficiente  $c'$  está relacionado com a granulometria das amostras e, com os valores de  $c'$  e  $P_i$  pode-se calcular o índice de laterização dos solos ( $e'$ ). O gráfico da classificação MCT é traçado pelos valores de  $e'$  e  $c'$ , cujos dados estão contidos no eixo das abcissas,

Os resultados inseridos no gráfico da classificação MCT estão apresentados na Fig. 7. Já os valores dos coeficientes obtidos para cada amostra ensaiada com sua respectiva classificação então exibidos na Tabela 14.

Figura 7. Gráfico da classificação MCT

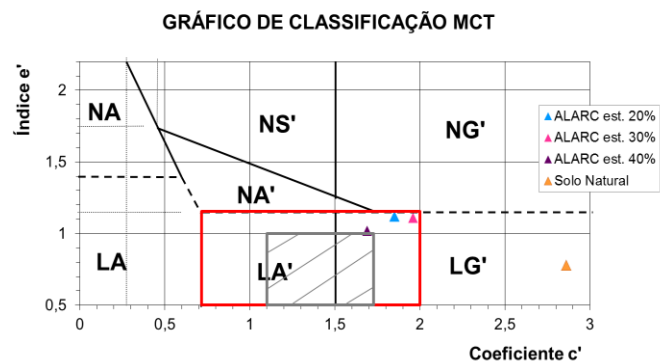


Tabela 14. Coeficientes e classificação MCT

Amostra	COEFICIENTES				CLASSIFICAÇÃO MCT
	d'	c'	P <sub>i</sub>	e'	
Solo Natural	41,5	2,86	0	0,78	LG'
ALARC est. 20%	26,1	1,85	65	1,12	LG'
ALARC est. 30%	23,8	1,96	53	1,11	LG'
ALARC est. 40%	85,6	1,69	84	1,02	LG'

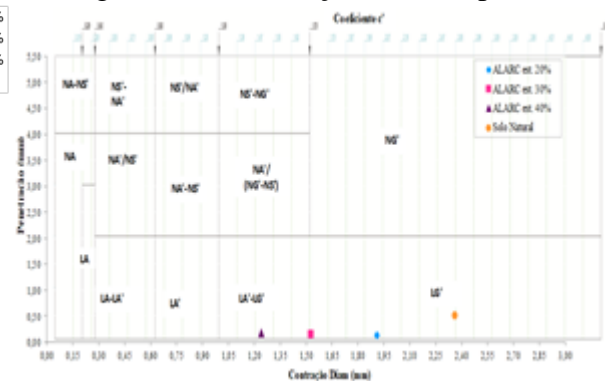
Nota-se na figura que as três misturas ALARC est. e o solo natural classificaram-se como LG' – Solo Laterítico Argiloso. Contudo o solo natural não se enquadrou nas regiões recomendadas por Villibor e Nogami (2009) para utilização em camadas de pavimentos. A mistura ALARC est. 40% está na interface da região satisfatória para a recomendável. Já as misturas 20 e 30% encontram-se na região satisfatória, porém não recomendável.

Este ensaio foi criado com o objetivo de obter determinações mais rápidas e simples do que a classificação MCT original, que engloba

os ensaios M5, M8 e M9. Este método pode ser utilizado para uma classificação preliminar das amostras a serem ensaiadas.

É possível verificar na Fig. 8 que todas as amostras apresentaram um comportamento laterítico bem definido, e que a mistura ALARC est. 40% foi classificada na zona de transição LA'-LG' e que as misturas ALARC est. de 20 e de 30% classificaram-se como pertencente ao grupo LG'. Comparando os resultados obtidos com a metodologia MCT original as misturas obtiveram comportamentos parecidos, sendo que as misturas ALARC est. possuíram a mesma classificação nas duas metodologias.

Figura 8. Classificação MCT expedita



#### 4.2 Aceitação pela metodologia MCT

Na Tabela 15 encontram-se compilados os intervalos admissíveis para a escolha da mistura para o uso em bases de pavimentos, juntamente com os resultados obtidos para as três amostras ALARC est.. Analisando os resultados obtidos, nenhuma das amostras foi aceita em todos os critérios de aprovação. A mistura ALARC est. 40% apresentou melhor comportamento nos resultados, exceto no valor de contração que foi acima do limite máximo recomendado.

Já as amostras ALARC de 20 e 30% excederam nos limites de contração e apresentaram valores de mini-CBR abaixo do admissível.

Tabela 15. Critérios de aceitação

PROPRIEDADES	MÉTODO DE ENSAIO	CONDIÇÃO DESEJÁVEL	ALARC est. 20%	ALARC est. 30%	ALARC est. 40%
Grupo MCT	M5 e M8	LG; LA; LA	LG	LG	LG
Capacidade de Suporte Mini-CBR	M2	≥ 40%	29	39	48
Expansão sem sobrecarga	M2	≤ 0,3%	0,28	0,22	0,14
Relação RIS	-	≥ 50%	52	62	54
Perda de Suporte por Imersão PSI	-	≤ 50%	48	38	46
Contração Atial - Ct	M3	0,1% a 0,5%	2,33	1,87	1,64
Coefficiente de Sorção	M4	$10^{-2}$ a $10^{-4}$ cm/min <sup>1/2</sup>	$1,56 \times 10^{-3}$	$4,00 \times 10^{-3}$	$6,00 \times 10^{-3}$
Coefficiente de Permeabilidade	M4	$10^{-6}$ a $10^{-9}$ cm/s	$1,26 \times 10^{-4}$	$3,16 \times 10^{-4}$	$2,22 \times 10^{-4}$

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme os critérios de aceitação da metodologia MCT, referente a propriedades mecânicas e hídricas das amostras compactadas na energia intermediária de compactação mini-Proctor, nenhuma das misturas foi aceita em todos os critérios. Este fato se deve a elevada contração apresentada pelas três misturas, fato não esperado e que se questiona a confiabilidade dos ensaios executados.

Desse modo, a mistura ALARC est. 40% apresentou os melhores resultados quando comparada as misturas ALARC est. 20 e 30%, excedendo somente nos valores de contração. Todas as misturas encontraram-se na região satisfatória para a utilização em camadas de pavimentos, porém, a mistura ALARC est. 40% encontra-se na interface entre a região recomendável e satisfatória. Seria necessário que o ensaio de contração fosse refeito e efetuada sua respectiva curva de contração em função dos teores de umidade de compactação para a comparação dos resultados obtidos.

## 5. REFERÊNCIAS

ABRECON (2017). **Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção e Demolição**. Disponível em: <<http://www.abrecon.org.br/>>. Acesso em: 25 mar. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 2016a. 12p.

\_\_\_\_\_. **NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 2016b. 9p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016d. 7p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7181: Solo – análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016e. 16p.

BRAGATO, G. A. **Análise de misturas de solo argiloso laterítico e resíduo de construção civil estabilizado para uso em pavimentos econômicos**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2017.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. In: 61º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 358., 2015, [São Paulo, SP]. **Anais eletrônicos**.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 307 de 5 de julho de 2002**. Diário oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF.

CNT - Confederação Nacional do Transporte. (2016). **Pesquisa CNT de Rodovias**. Brasília, p.399, il.

COUTO, J.B. (2009). **Estudo de misturas de solo-agregado em bases e sub-bases rodoviárias do Rio Grande do Sul: caracterização de laboratório e execução de trecho experimental**. Dissertação Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 163 f.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2006). **Manual de Pavimentação**. Disponível em: <[https://www1.dnit.gov.br/arquivos\\_internet/ipr/ipr\\_new/manuais/Manual\\_de\\_Pavimentacao\\_Versao\\_Final.pdf](https://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentacao_Versao_Final.pdf)>. Acesso em: 13 mar. 2017

\_\_\_\_\_. (2015). **Sistema Nacional de Viação – SNV 2015**. Disponível em: <<https://www.dnit.gov.br/sistema-nacional-de-viacao/sistema-nacional-de-viacao>>. Acesso em: abr. 2017.

\_\_\_\_\_. DNIT-ES 098/2007: **Pavimentação – base estabilizada granulometricamente com utilização de solo laterítico – Especificações de serviço**. Rio de Janeiro, 2007, 7p.

\_\_\_\_\_. DNIT-ES 141/2010: **Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2010, 9p.

FRIGO J.P.; SILVEIRA, D.S. **Educação ambiental e construção civil: práticas de gestão de resíduos em Foz do Iguaçu-PR**. Monografias Ambientais. 2012; 9(9): 1938-1952.

FORTES, R. M. et al. (2002). **Método das Pastilhas para identificação expedita de solos tropicais**, Congresso Rodoviário Português, Lisboa, Portugal, Anais eletrônicos.

SACHO, S. D. e PFEIFFER, S. C. (2015). **Diagnóstico da destinação dos resíduos sólidos classe A da construção civil em Goiânia/GO**. VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Porto Alegre, RS. Anais eletrônicos.

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos**. São Paulo: Ed. McGraw-Hill do Brasil Ltda. 1977. 509 p.

VILLIBOR, D. F. e NOGAMI, J. S. (2009). **Pavimentos econômicos: Tecnologia do uso dos Solos Finos Lateríticos**. São Paulo: Arte & Ciência, 295 p. il.