

## ESTUDO DE VIABILIDADE DO USO DE RESÍDUO PET EM OBRA RODOVIÁRIA

### **Luiz Eduardo Maia Pinto**

Aluno de graduação do curso de engenharia civil da UFPB

### **Ricardo Almeida de Melo\***

Professor do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba. Engenheiro civil com doutorado em engenharia civil, na área de transportes. Desenvolve pesquisas na área de pavimentação sobre materiais, projeto e gerência de pavimentos.

### **Sérgio Ricardo Honório de Assis**

Aluno de graduação do curso de engenharia civil da UFPB; técnico de laboratório

**Endereço\*:** Universidade Federal da Paraíba/Centro de Tecnologia/Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Campus I, Cidade Universitária, João Pessoa/PB. CEP 58051-900. Fone: (83) 3216-7355. e-mail: ricardo@ct.ufpb.br

### **RESUMO**

O uso de resíduos sólidos como materiais para obras rodoviárias e pavimentação têm intensificado. Os motivos para o crescente uso são econômicos e sócio-ambientais, pela necessidade de redução dos custos de construção e do passivo existente no meio ambiente, por conta de deposições irregulares dos resíduos sólidos. Dessa forma, esse trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade do emprego de resíduo de plástico PET em obras rodoviárias. O material analisado foi um solo usado na execução de aterros, durante as obras de duplicação da BR-101/NE, trecho do estado do Paraíba. Do solo coletado, cinco amostras foram retiradas e submetidas a ensaios de caracterização, compactação e Índice de Suporte Califórnia. Em seguida, substituíram-se, em massa, frações da amostra total de solo por resíduos de PET (0,25% a 4,0%) e foram conduzidos novos ensaios de compactação e ISC. Após, análise comparativa foi efetuada para comparar os resultados obtidos para o solo puro e as misturas solo-resíduo. Desse modo, pode-se concluir que as adições de resíduos de PET melhoraram as propriedades do solo, em especial na resistência mecânica, representada pelo índice de suporte Califórnia, o que evidencia que o uso de resíduos sólidos em obras rodoviárias pode ser viável tecnicamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** resíduos de PET; rodovia; construção; aterro.

## **INTRODUÇÃO**

O uso de resíduos sólidos como materiais para obras rodoviárias e pavimentação têm intensificado. Os motivos para o crescente uso são econômicos e sócio-ambientais, pela necessidade de redução dos custos de construção e do passivo existente no meio ambiente, por conta de deposições irregulares dos resíduos sólidos.

Muitos materiais empregados em obras rodoviárias têm custo elevado e estão se tornando escassos, desse modo, o setor tem grande potencial para absorver vários tipos de resíduos sólidos, à exemplo do resíduo PET, seja execução de camadas de sub-base e base (Prasad *et al.*, 2009) ou em revestimento (Hassani *et al.*, 2005).

O politereftalato de etileno, conhecido comumente como PET, é um polímero termoplástico do tipo poliéster formado a partir da reação do ácido tereftálico e o etileno glicol. O primeiro uso desse material foi na indústria têxtil, na década de 40 na Inglaterra; após o PET passou a ser usado como matéria-prima para embalagens de bebida. O PET proporciona alta resistência mecânica e química, e, além disso, é mais leve e mais barato que outros materiais de embalagens convencionais. Essas características fazem com que o PET seja bastante empregado em diversos produtos (ABIPET, 2007).

O PET, tal qual a grande maioria dos plásticos, é visto como um dos maiores responsáveis pelos prejuízos causados ao meio ambiente devido à deposição irregular, uma vez que o seu processo de decomposição demora séculos. No entanto, as possibilidades de reaproveitamento desse material são enormes. A sua transformação em novos materiais ou produtos incluem a produção de fibras multifilamento (fabricação de cordas) e monofilamento (produção de fios de costura); a moldagem de produtos para o setor de autopeças, lâminas para termo-formadores e formadores a vácuo, embalagens de detergentes; embalagens secundárias e terciárias de alimentos; tecidos, carpetes, paletes, entre outros (FORLIN e FARIA, 2002). No Brasil, foram recicladas 231 mil toneladas de PET em 2007, montante que representa 53,5 % de todo o consumo brasileiro (ABIPET, 2009).

Nesse estudo, o objetivo foi avaliar a influência da adição de resíduo de plástico PET nas propriedades físicas e mecânicas de um solo empregado em obras rodoviárias. O método de trabalho consistiu em levantamento e consulta de bibliografia, coleta de solo usado em obra de aterros rodoviários, coleta de resíduo de plástico PET em indústria de reciclagem, realização de ensaios em laboratório com solo puro e misturas de solo-resíduo PET, e análises de resultados.

A partir da literatura consultada, pode-se constatar a viabilidade técnica do uso de resíduos de PET em obras rodoviárias. Em estudo elaborado por Hassani *et al.* (2007), frações de agregados convencionais (20 % a 60 %) foram substituídos por resíduos de plástico PET em misturas de concreto asfáltico. No estudo pode-se constatar que os resíduos melhoram as propriedades das misturas asfálticas: redução da fluência e incremento da estabilidade.

Em Prasad *et al.* (2009), foram feitas misturas de resíduos de PET com solo típico local (*murrum*) e com cinza volante. Pode-se constatar que adições de resíduos de plástico, da ordem de 0,30 % e 0,40 %, incrementam a resistência mecânica (em termos de índice suporte Califórnia) em misturas com *murrum* e cinza volante, respectivamente, para emprego de camadas de sub-base. Os resultados podem ser vistos na Tabela 1. Ainda, ensaios de carregamento de dinâmico foram realizados e permitem comprovar a eficiência das adições de resíduos nas misturas.

**Tabela 1 – Ganho de índice de suporte Califórnia em função de adições de resíduos PET. Fonte: Prasad *et al.* (2009)**

Material	ISC (%)
<i>Murrum</i> (solo puro)	8,00
Mistura <i>Murrum</i> + 0,30% de resíduo de PET	16,42
Cinza volante (pura)	4,00
Mistura cinza volante + 0,40% de resíduo de PET	10,81

## MÉTODO DE TRABALHO

De início, uma revisão de literatura foi efetuada, de forma a coletar fontes que consistiram no arcabouço teórico do trabalho. Conforme a literatura, estudos comprovam os benefícios trazidos às obras rodoviárias, quando são adicionados resíduos de plástico aos materiais usados na pavimentação (Prasad *et al.*, 2009; Hassani *et al.*, 2005).

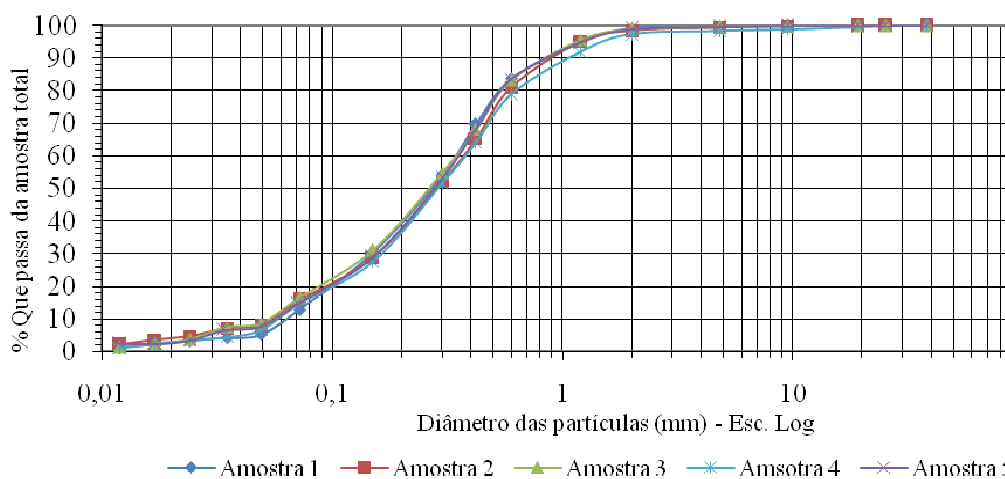
Após, os materiais necessários ao estudo foram coletados. O solo usado foi obtido em jazida próxima à BR-101, no trecho do estado da Paraíba; o resíduo de plástico PET foi cedido por uma indústria de reciclagem existente no estado. Dos materiais coletados, cinco amostras de solo puro foram selecionadas e cinco misturas de solo-resíduo (em porcentagens entre 0,25 % e 4 %) foram preparadas para a realização de ensaios.

Essas amostras foram, então, submetidas a ensaios de caracterização física (granulometria e limites de Atteberg) e de resistência mecânica (compactação e índice de suporte Califórnia) segundo as normas da ABNT. Os resultados obtidos foram analisados de acordo com as normas vigentes do DNIT (DNER. ME 122/94, 082/94, 051/94, 129/94, 049/94) para verificar a viabilidade do uso do solo puro e das misturas solo-resíduo em obra rodoviária.

## RESULTADOS OBTIDOS

### Caracterização física dos materiais puros

A Figura 1 mostra as curvas granulométricas obtidas para as cinco amostras de solo puro. De acordo com os resultados, pode-se constatar que o solo é uma areia silto-argilosa, que consiste em material que pode ser usado em obra rodoviária.



A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios de limites de *Atteberg* (limite de liquidez e de plasticidade), bem como índice de plasticidade e a análise estatística que foi realizada.

**Tabela 2 – Limites de liquidez e de plasticidade e índice de plasticidade das amostras de solo**

	AMOSTRA				$\bar{x}$	$\sigma$	$x_{\min}$	$x_{\max}$
	1	2	3	4				
Limite de liquidez – <i>LL</i> (%)	26,2	24,9	23,8	22,0	24,2	1,78	21,5	27,0
Limite de Plasticidade – <i>LP</i> (%)	16,8	18,4	15,3	16,1	16,6	1,30	18,6	18,6
Índice de Plasticidade – <i>IP</i> (%)*	9,4	6,5	8,5	5,9	7,6	1,63	5,1	10,1

$$*IP = LL - LP$$

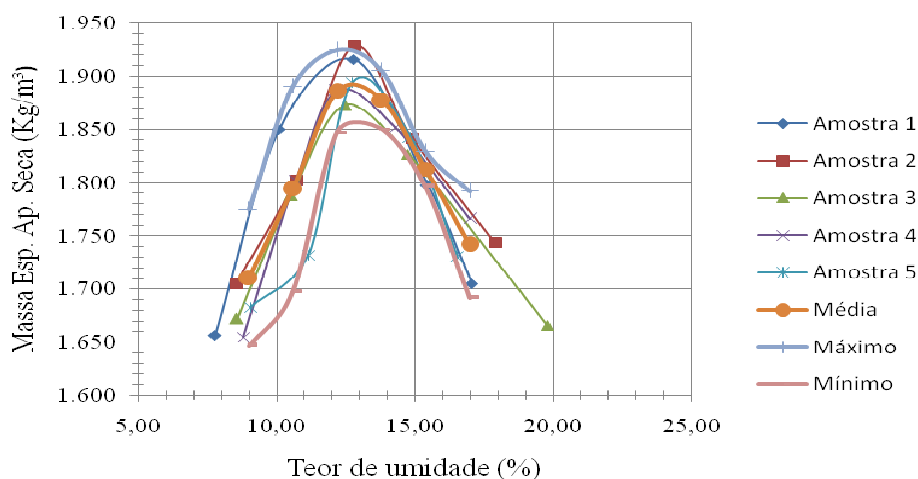
A Tabela 3 mostra o resumo da granulometria do resíduo de PET usado no estudo. Pode-se constatar que o material encontra-se em uma faixa granulométrica semelhante à da areia grossa, com um teor de finos muito baixo.

**Tabela 3 – Resumo da granulometria (valores aproximados) para o resíduo de PET**

Diâmetro do grão	Porcentagem
Pedregulho ( $d > 2,00$ mm)	22 %
Areia Grossa ( $0,42$ mm $< d \leq 2$ mm)	72 %
Areia Fina ( $0,074$ mm $< d \leq 0,42$ mm)	6 %
Silte + Argila ( $d \leq 0,074$ mm)	0 %

### Resistência mecânica do solo puro

O ensaio de compactação tem como objetivo eliminar os vazios presentes no solo pela expulsão do ar. A compactação é executada de maneira que se atinja a maior massa específica do solo, e, conseqüentemente, maior estabilidade e resistência, em relação a um teor de umidade ótimo. O ensaio foi realizado usando-se o cilindro pequeno e o soquete grande, compreendendo três camadas e nove golpes em cada uma delas. A Figura 2 mostra as curvas de compactação para cada uma das amostras.



**Figura 2 – Curvas de compactação para as amostras de solo puro**

Com os resultados obtidos nas curvas de compactação foi realizada uma análise estatística, cujos resultados estão na Tabela 4.

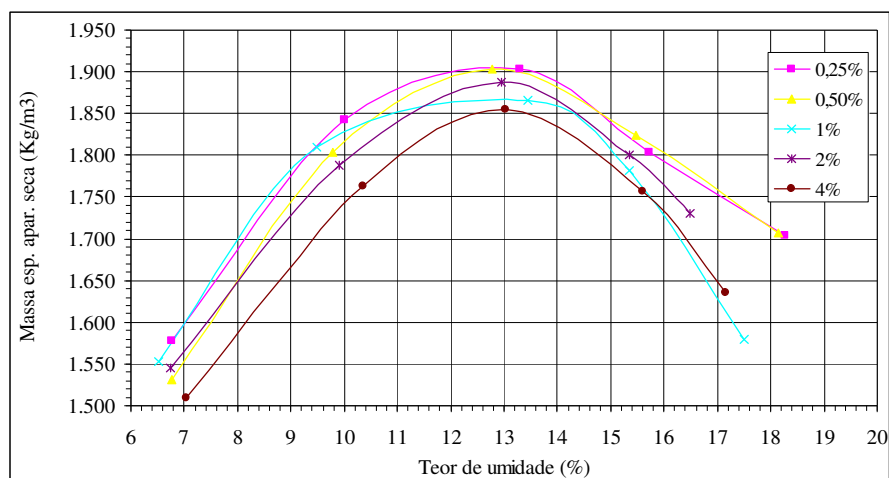
**Tabela 4 – Análise estatística do ensaio de compactação para cinco amostras de solo**

	AMOSTRA					$\bar{x}$	$\sigma$	$x_{m\acute{a}x}$	$x_{m\acute{i}n}$
	1	2	3	4	5				
Massa esp. seca máxima (Kg/m <sup>3</sup> )	1.925	1.930	1.875	1.890	1.900	1.904	23,3	1.940	1.868
Umidade ótima (%)	13,7	13,0	12,7	12,5	13,0	13,0	0,46	13,7	12,2

Dos resultados obtidos na Tabela 4, foram usados os valores médios da massa específica seca máxima e umidade ótima, 1,904 Kg/m<sup>3</sup> e 12,2 %, respectivamente, para moldagem de um corpo de prova de solo, que foi submetido ao ensaio de índice de suporte Califórnia.

### Resistência mecânica das misturas solo-resíduo

Após, ensaios de compactação foram realizados para misturas solo-resíduo (porcentagens entre 0,25 e 4) na energia normal, com o cilindro pequeno e o soquete grande, compreendendo três camadas e nove golpes em cada uma delas. A Figura 3 mostra as curvas de compactação para cada uma das amostras.



**Figura 3 – Curvas de compactação para as amostras de solo-resíduo**

A partir dos resultados mostrados na Figura 3, os teores ótimos de umidade e as massas específicas secas máximas foram obtidos, cujos resultados estão apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5 – Resultados dos ensaios de compactação para misturas solo-resíduo**

Porcentagem de resíduo (%)	0,25	0,5	1	2	4
Teor ótimo de umidade (%)	12,8	13,0	13,2	13,2	13,0
Massa específica seca máxima (Kg/m <sup>3</sup> )	1.905	1.900	1.870	1.880	1.860

Com os resultados obtidos na Tabela 5, cinco corpos de prova de mistura solo-resíduo foram moldados e submetidos ao ensaio de índice de suporte Califórnia. Os resultados obtidos estão na Tabela 6.

**Tabela 6 – Resultados dos ensaios de índice de suporte Califórnia para misturas solo-resíduo (em valores aproximados)**

Porcentagem de resíduo (%)	0	0,25	0,5	1	2	4
ISC (%)	3	10	10	10	4	1

De acordo com os resultados obtidos na Tabela 5, pode-se constatar que a adição de resíduo PET no solo proporcionar um ganho de resistência em relação ao solo puro, com exceção para a mistura solo com 4 % de resíduo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos nesse estudo conclui-se que a adição de resíduo PET pode melhorar as propriedades de um solo usado em obra rodoviária, em especial no que diz respeito à resistência mecânica ou índice de suporte Califórnia.

No caso específico do solo em estudo, o qual foi usado na construção de aterro na rodovia BR-101 (Paraíba), o resíduo PET usado nas misturas solo-resíduo (porcentagem entre 0,25 e 2,0) contribuiu para o aumento do índice de suporte Califórnia, sendo superior ao valor mínimo de ISC que é da ordem de 2% (DNER: ES 282/97).

Dessa forma, pode-se concluir os efeitos positivos da adição de resíduo PET em solo usado em obra rodoviária, quanto à melhoria de propriedades físicas e mecânicas, além de se contribuir para redução do impacto causado pela deposição desse tipo de resíduo no meio ambiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABIPET. Página principal (*home*). Associação Brasileira da Indústria do PET, 2009 <http://www.abipet.org.br/>. Acesso em 30-07-2009.
2. DNER. ME 122/94. Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Método de referência e método expedito. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro.
3. \_\_\_\_\_. ME 049/94. Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro.
4. \_\_\_\_\_. ME 051/94. Análise Granulométrica. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro.
5. \_\_\_\_\_. ME 082/94. Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro.
6. \_\_\_\_\_. ME 129/94 – Solo – Compactação utilizando amostras não trabalhadas. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro.
7. \_\_\_\_\_. ES 282/97: Terraplenagem – aterros. Rio de Janeiro, 1997. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro.
8. Forlin, F. J. e Faria, J. A. F. Considerações sobre a reciclagem de embalagens plásticas. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 12 (1), p 1-10, 2002.
9. Hassani, A.; Ganjidoust, H.; Maghanaki A.A. Use of plastic waste (poly-ethylene terephthalate) in asphalt concrete mixture as aggregate replacement. *Waste management and research*, n. 23, p 322-327, 2005.
10. Prasad, D. S. V.; Raju, G. V. R. P.; Kumar, M. A. Utilization of Industrial Waste in Flexible Pavement Construction. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, v.14, n. 4, 2009.