

AVALIAÇÃO DO USO DO PÓ DE RETIFICA PARA APLICAÇÃO EM CAMADAS DE PAVIMENTAÇÃO

https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081133

AVERNA; LARISSA BERTHO[1]; MATTEDI; CAROLINA VIEIRA[1]; DE ABREU; VICTOR BARRETO[1]; CONTINI; PAULO VICTO MATIELLO[1]; MARIANI; BRUNA BUENO[1]
[1]CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC.
E-MAIL DO AUTOR CORRESPONDENTE: BRUNABMARIANI@GMAIL.COM

RESUMO: Em virtude do grande consumo de matérias-primas não renováveis para a construção de estradas, tornou-se perceptível a necessidade da utilização de resíduos em camadas de pavimentação. Desta maneira, este trabalho tem como objetivo analisar a aplicabilidade da incorporação do resíduo pó de retífica em camadas de pavimentação. Por meio de ensaios laboratoriais, foi verificado o comportamento do pó de retífica incorporado a um solo de empréstimo. A partir das análises descritas neste artigo, pode-se perceber que o solo estabilizado com a incorporação de 10% do resíduo apresentou características mínimas aceitáveis para aplicação em reforço de subleito e subleito.

PALAVRAS-CHAVES: Pavimentação, pó de retifica, sustentabilidade, resíduos s*ólido*s.

ABSTRACT: Due to the high consumption of non-renewable raw materials for road construction, the need to use waste in pavement layers became noticeable. In this way, this work has as goal to analyze the applicability of the incorporation of the grinding dust, of clutch discs, in layers of pavement. By means of laboratory tests, it was verified the behavior of the grinding dust incorporated in a loan soil. From the analyzes described in this article, it is able to observe that the soil stabilized with the incorporation of 10% of the residue presented minimum acceptable characteristics for application in subgrade and subgrade reinforcement.

KEYWORDS: Pavement, grinding dust, sustainability, solid waste.

1 | INTRODUÇÃO

Os resíduos industriais cada vez mais estão tendo seu devido valor agregado, principalmente pelo setor da construção civil. Essa valoração se deve ao desenvolvimento de estudos para a inclusão dos materiais antigamente considerados afuncionais, promovendo ações sustentáveis. Isto porque, alguns resíduos apresentam potencial de aproveitamento como material de construção para concretos, argamassas e/ou estabilização de solos.

Além disso, por ser grande consumidora de recursos naturais, o setor da construção civil busca maneiras de mitigar esse prejuízo ambiental a partir do reuso de resíduos em suas atividades. A construção de pavimentação para estradas é um serviço que usufrui de grande quantidade de materiais provenientes de fontes naturais. Desta forma, com o intuito de reduzir o uso abusivo da matéria-prima não renovável e dar

uma destinação ambientalmente segura a um resíduo, o objetivo do presente estudo foi analisar a viabilidade da utilização do pó de retifica em camadas de base e/ou sub-base, incorporado ao solo destinado a essas camadas, para pavimentação, empregando o princípio da estabilização química.

O principal componente para a estrutura da pavimentação é o solo, no entanto, os materiais encontrados em campo nem sempre atendem às exigências. Sendo assim, faz-se necessário a correção deste solo (BRITO; PARANHOS, 2017)[1]. A estabilização química, como uma forma de correção do solo, modifica a estrutura do solo por meio da relação química entre o estabilizador e os minerais presentes no solo para assim alcançar os requisitos de projeto (MAKUSA, 2013; MEDINA, 1987 *apud* BRITO; PARANHOS, 2017)[1].

O resíduo em destaque, pó de retifica, dentre tantos outros é proveniente das indústrias automobilísticas. Baseado na ZF Sachs a geração deste resíduo no Brasil em 2016 foi em torno de 40 toneladas/mês (MORELLI; RIBEIRO *et al*., 2019)[2]. Sua origem é decorrente do processo de acabamento por meio de lixas no disco de embreagem em que é composto por fibras metálicas, poliméricas e de vidro, além do envolvido em um banho de borracha com aditivos (RIBEIRO, 2006)[3].

Apesar do pó de retifica apresentar potencial de aproveitamento, recorrentemente tem como destinação a incineração, ocasionando em emissões de poluentes, desta forma não se enquadrando em práticas ambientalmente adequadas como a reutilização e/ou reciclagem (THOMPSON, J.; ANTHONY, H., 2008 apud MORELLI; RIBEIRO et al., 2019)[2].

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado para o desenvolvimento de um projeto de pavimentação no bairro de Stella Mares, Salvador - BA. A região faz parte do litoral da Bahia, e o bairro de Stella Mares fica ao lado da praia e do Parque das Dunas em Salvador. Por se tratar de uma região com solo predominantemente arenoso, foram realizados para o solo local (Figura 1.a), ensaios de determinação da composição granulométrica de agregado, segundo a norma ABNT NBR NM 248/2003[4] e de determinação da massa específica, segunda as normas DNER-ME 194/98[5] e ABNT NBR 16916:2021[6], os quais evidenciaram módulo de finura de 2,47% e massa específica de 2,60 g/cm³.

Os dados obtidos caracterizam um solo granular, comprovando a necessidade de utilização de material de empréstimo para a composição das camadas da pavimentação, visto que, as areias não apresentam adequada resistência mecânica no estado compactado. Isto ocorre porque os solos arenosos são muito permeáveis e apresentam comportamento drenante, assim, a compressibilidade nas areias ocorrerá rapidamente devido à alta permeabilidade, fazendo com que as areias sofram, então, uma deformação causada pela distorção das partículas e pelo movimento relativo de rolamento, e escorregamento entre as mesmas (CUNHA, 2012) [7].

O material utilizado como empréstimo (Figura 1.b) foi um solo disponível em jazida próxima à região de projeto. Este solo foi investigado por meio dos ensaios de caracterização apresentados na Tabela 1.



a)



b)

Figura 1: a) Solo arenoso; b) Solo de empréstimo

Fonte: Os autores.

Ensaio	Norma/Método
Determinação do Limite de Liquidez	ABNT NBR 6457/2016[8] e ABNT NBR 6459/2016[9]
Determinação do Limite de Plasticidade	ABNT NBR 6457/2016[8] e ABNT NBR 7180/2016[10]
Compactação do Solo	ABNT NBR 7182/2016[11]
Índice de Suporte Califórnia (ISC)	ABNT NBR 9598/2016[12]
Compressão Diametral	ABNT NBR 7222/2011[13]

Tabela 1 - Ensaios para caracterização do solo de empréstimo.

Fonte: Os autores.

O resíduo dos discos de embreagem, ou pó de retífica, foi o material escolhido para aplicar nas bases e sub-bases da pavimentação com o objetivo de torná-la mais sustentável. Percebeu-se pelo manuseio do material que ele apresenta comportamento elástico. Por esta razão a mistura do solo de empréstimo com o pó de retifica não obteve consistência necessária para a realização dos ensaios de limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP). Dito isto, os ensaios de LL e LP foram feitos apenas para o solo de empréstimo puro.

Foram analisadas amostras do solo de empréstimo puro e da mistura do solo com resíduo, a partir dos ensaios de Índice Suporte Califórnia e Tração por Compressão Diametral. A Figura 2 apresenta o aspecto do resíduo pó de retífica e da mistura solo-resíduo.



a)



b)

Figura 2: a) Resíduo Pó de retífica; b) Mistura solo-resíduo

Fonte: Os autores.

A partir dos resultados do ensaio de compactação foi possível determinar uma umidade ótima para o ensaio, entretanto a presença do resíduo de pó de retífica afetou o comportamento da mistura e homogeneização para o processo de compactação. A mistura com o resíduo foi iniciada com 16% de umidade e adicionado água até 20% com intervalos de 2%. Com umidades superiores não foi possível obter trabalhabilidade para a realização do ensaio.

Para o ensaio de compressão diametral, foram moldados três corpos de prova cilíndricos (CP), de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, para cada dosagem, sendo com 0% e 10% de pó de retífica), compactados em três camadas iguais. Os corpos de prova foram submetidos à cura até a idade de 7 dias, para então serem submetidos ao rompimento por compressão diametral.

3 | RESULTADOS

Os ensaios de limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP) apresentaram como resultado os valores descritos na Tabela 2 abaixo. A tabela também apresenta o índice de plasticidade, que representa a diferença dos valores entre LL e LP.

Resultados dos Ensaios	
Limite de Liquidez (%)	61,90
Limite de Plasticidade (%)	30,48
Índice de Plasticidade (%)	31,42

Tabela 2: Resultados sobre limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade

Fonte: Os autores.

A partir dos ensaios de LL e LP podemos classificar o solo como argiloso de média plasticidade. Já o ensaio de compactação do solo obteve como umidade ótima o valor de 20,7%.

A Tabela 3 apresenta os resultados de expansibilidade e resistência Índice Suporte Califórnia (ISC), para o solo puro e para o solo misturado com 10% de resíduo.

Teor de resíduo incorporado ao solo	Expansibilidade (%)	ISC (%)
0%	3,27	12,37
10%	2,93	3,00

Tabela 3: Resultados do ensaio de ISC.

Fonte: Os autores.

Nota-se na Tabela 3, que há uma redução significativa da resistência Índice Suporte Califórnia do solo com inserção de 10% de resíduo. Isso se deve, provavelmente, há porosidade da mistura solo-resíduo no estado compactado, devido a maior granulometria do resíduo (AKBARIMEHR, ESLAMI, AFLAKI, 2020) [14].

A resistência ISC apresentada pelo solo-resíduo, indica que a mistura não poderá ser aplicada em camadas de base e sub-base, que exigem resistências mínimas de 80% e 20% segundo o Manual do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) [15], respectivamente. Contudo, seu uso pode ser recomendado para aplicações em reforço de subleito e/ou subleito, por serem camadas que requerem resistência ISC menores (2%) [15].

Os resultados de resistência à compressão diametral para o solo puro e para solo homogeneizado com 10% de resíduo, são apresentados na Tabela 4. É possível observar que o solo sem incorporação de resíduo apresentou resistência à compressão diametral duas vezes maior que a mistura solo-resíduo, evidenciando novamente a redução de resistência do solo com a inserção do resíduo.

Teor de resíduo incorporado ao solo	Resistência à Compressão Diametral (MPa)
0%	45,12 ± 3,56
10%	14,12 ± 2,60

Tabela 4. Resistência à compressão diametral dos corpos de prova de solo puro e mistura solo-resíduo.

Fonte: Os autores.

O dimensionamento das camadas da rodovia foi realizado a partir do método informado pelo DNIT, que visa proteger o subleito do solo contra a geração de

deformações plásticas excessivas durante o período de uso da rodovia. Para o dimensionamento das camadas é necessário encontrar o número N, o qual é calculado de acordo com a norma. Os valores de tráfego e dimensões da rodovia necessários ao cálculo, foram obtidos através de valores médios das rodovias existentes na cidade de Salvador e podem ser observadas na Tabela 5.

Dados da rodovia	
Tipo de Pavimento	Semi-flexivel
Fluxo em média (*Vm*)	1000 Veículos / dia
Quantidade de vias	Mão dupla (2)
Veículos de 2 Eixos	70 %
Veículos de 3 Eixos	24 %
Veículos de 4 Eixos	6 %
Período de Projeto (P)	10 anos

Tabela 5: Classificação e Informações da Rodovia

Fonte: Própria.

De acordo com a tabela de revestimento asfáltico do manual de pavimentação do DNIT de 2006[15], o valor da espessura da camada de revestimento, além do material, pode ser determinado pelo valor do Número N, que foi calculado de $1{,}33 \times 10^7$. Adotando-se assim uma espessura de 100 mm de concreto asfáltico para o revestimento.

Com base nos dados fornecidos pelos ensaios foi possível identificar a altura de cada camada, sendo que a mistura de solo-resíduo pôde ser utilizada com o subleito. Com os valores de ISC e o número N obtido tornou-se viável dimensionar a altura útil de cada camada através do Manual de Pavimentação IPR 176 do DNIT de 2006[14]. Sendo compreendido que todo dimensionamento é realizado com base no substrato anterior de cima para baixo, e foi inicializada a partir da camada de revestimento asfáltico pois é a única conhecida. A Tabela 6 a seguir mostra os resultados das alturas de cada camada do projeto de pavimento.

Tipo de Solo	ISC (%)	Mistura	Função	Espessura (cm)
Brita Graduada	100,0	100% Brita	Base	15
Solo Brita	60,0	70% Solo / 30% Brita	Sub-Base	15
Solo Argiloso	12,5	100% Solo	Ref Subleito	35
Solo-resíduo	3,0	90% Solo / 10% pó de retífica	Subleito	---

Tabela 6: Tabela dos resultados do Dimensionamento

Fonte: Própria.

4 | CONCLUSÃO

Baseando-se em ensaios laboratoriais o presente estudo investigou propriedades geotécnicas de misturas de um solo argiloso e deste mesmo solo contendo resíduo de borracha. Diante dos resultados apresentados, foi possível chegar às seguintes conclusões:

- É possível preservar matérias-primas naturais substituindo-se parcialmente solos argilosos por misturas de solo com resíduo pó de retifica, para aplicação de reforço de subleito e/ou subleito, por serem camadas que requerem resistência ISC menores;
- As misturas solo-resíduo não apresentaram resistência ISC que validem seu uso em camadas de base e sub-base de pavimentações;
- As resistências à compressão diametral apresentam uma queda com a incorporação de 10% de pó de retífica;
- O dimensionamento de pavimentação apresentado demonstrou a viabilidade do uso da mistura solo-resíduo como subleito, apresentando um pavimento com espessura total de 75 cm.

Apesar dos resultados de resistências para as misturas solo-resíduo inviabilizarem seu uso em camadas de base e/ou sub-base, é importante ressaltar que outras dosagens não foram testadas, não sendo possível prever o comportamento da mistura com o aumento ou decréscimo de resíduo. Desta forma, ensaios complementares devem ser realizados para confirmar sua limitação.

REFERÊNCIAS

1. BRITO, Laís Costa; PARANHOS, Haroldo da Silva. Estabilização de Solos. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento.** Edição 06. Ano 02, Vol. 01. pp 425-438. Setembro de 2017. ISSN:2448-0959.

2. MORELLI; RIBEIRO *et al*. Efeito retardador do pó de retífica e sua influência nas propriedades físico-mecânicas e reológicas das matrizes cimentícias. **Revista IBRACON de estruturas e materiais**, v. 12, n. 3, p. 498-500, 2019.

3. RIBEIRO, D.V. **Influência da adição de pó de retífica em uma matriz de cimento de fosfato de magnésio.** Dissertação de Mestrado, São Carlos; UFSCar, 2006.

4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 248/2003:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

5. DNER-ME 194/98 - Determinação da massa específica de agregados por meio do frasco Chapman.

6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16916/2021**: Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

7. CUNHA, C. L. S. **Estudo das características de compressibilidade unidimensional e plasticidade de misturas de argila e areia.** Dissertação de Mestrado, Vitória-ES. UFES, 2012.

8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6457/2016**: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6459/2016**: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.

10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7180/2016**: Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7182/2020**: Solo - Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2020.

12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9598/2016:** Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7222/2011: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

14. AKBARIMEHR; ESLAMI; AFLAKI. Geotechnical behaviour of clay soil mixed with rubber waste. **Journal of Cleaner Production**, Volume 271, 20 October, 2020.

15. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE. **Manual de Pavimentação – IPR 719, 3. Ed**, 2006, Rio de Janeiro.