

ANÁLISE DO CBR DE SUB-BASE ARGILOSA ESTABILIZADA GRANULOMETRICAMENTE COM MATERIAL GRANULAR E RESÍDUOS DE PAVIMENTOS

**BRUNO CONDE PASSOS^{1*}; JULIANE ANDRÉIA FIGUEIREDO MARQUES²;
CARLLA RAFAELLA BARROS DE ANDRADE³; ENZO GONÇALVES YULITA⁴; JOÃO FELIPE BARBOSA
BAÍA⁵**

¹Graduando em Engenharia Civil, CTEC, UFAL, Maceió-AL, bcondepastos@gmail.com;

²Dr. em Engenharia Civil, Prof. Adj. CTEC, UFAL, Maceió-AL, julianemarques@hotmail.com;

³Mestranda em Engenharia Civil, CTG, UFPE, Recife-PE, carlla.rafaella@hotmail.com;

⁴Graduando em Engenharia Civil, CTEC, UFAL, Maceió-AL, egyulita@hotmail.com;

⁵Graduando em Engenharia Civil, CTEC, UFAL, Maceió-AL, joaofelipeufal@gmail.com

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

RESUMO: O presente trabalho trata da análise do comportamento e das características mecânicas de solos considerando misturas com adição de resíduo de pavimento fresado e areia. O solo estudado foi usado como material de sub-base da obra de duplicação da AL-220, onde o mesmo foi classificado segundo a classificação HRB como um solo argiloso A-6. Inicialmente este solo apresentou ISC igual a 17,5% e IG igual a 3, valores fora dos padrões brasileiros determinados pelo DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) para ser utilizado como material de sub-base. Com o objetivo de melhorar a capacidade de suporte do solo, foram feitas misturas de solo e areia e misturas de solo, areia e resíduo. De cada mistura coletou-se duas amostras e fez-se os ensaios de granulometria, compactação, limites de Attenberg e índice de suporte Califórnia. As amostras, classificadas como pedregulho siltoso A-2-4, tiveram ISC acima de 20% e IG igual a 0. Verificou-se que a medida em aumentava a proporção de areia ou resíduo, o ISC também aumentava. O uso dos resíduos de pavimentos fresados é benéfico à obra e ao meio ambiente, pois evita-se que os mesmos sejam descartados na natureza.

PALAVRAS-CHAVE: Material fresado, estabilização, reforço, rodovias.

CBR VERIFICATION OF SUB-BASE MADE OF GRANULOMETRICALLY STABILIZED CLAY SOIL WITH GRANULAR MATERIAL AND RESIDUES OS PAVEMENTS

ABSTRACT: This work deals with the behavior and the mechanical characteristics of soils considering mixtures with addition of a residue generated from milled pavement and sand. The studied soil was used as a sub-base material for the construction of the duplication of AL-220. This soil was classified, according to HRB classification, as a clay soil A-6. Initially, this soil had CBR equals to 17.5% and IG equals to 3. These values are outside the Brazilian standards to be used as a sub-base material determined by DNIT (National Department of Transport Infrastructure). In order to improve the capacity of soil support, it was made some mixtures. These mixtures were: soil and sand mixtures and soil, sand and residue mixtures. Two samples were collected from each mixture and with it were performed the following tests: granulometry, compaction, Attenberg limits and California support index. The samples that were classified as silty boulder A-2-4, had CBR above 20% and IG equal to 0. It was verified that within the increasing of the proportion of sand or residue, it increases the CBR as well. The use of the residues of milled floors is beneficial to the constructions and to the environment, because it keeps the residues to be discarded in nature.

KEYWORDS: Milled Material, stabilization, reinforcement, highways.

INTRODUÇÃO

Pavimento é uma estrutura destinada a resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego, melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança e resistir aos esforços horizontais (desgaste), tornando mais durável sua superfície (Gonçalves, 1999). Segundo Senço (2007), os pavimentos são classificados em rígidos e flexíveis, onde os flexíveis são compostos por camada superficial asfáltica apoiada sobre as demais camadas do pavimento: base, sub-base, reforço e regularização do subleito. E estas são constituídas por matérias granulares, solos e misturas.

Os materiais utilizados em pavimentação estão cada vez mais escassos e de difícil acesso no meio ambiente, assim a exploração desses materiais pode gerar custos extras às obras de infraestrutura e degradar a região explorada (Araújo & Barroso, 2007). Desta forma, a utilização dos solos locais passa a ser uma alternativa interessante, porém, alguns possuem grandes quantidades de partículas finas (silte e argila), que os tornam inadequados para esse fim, isso ocorre devido às interações desfavoráveis entre suas partículas e a água causando efeitos negativos como diminuição da coesão e problemas relacionados à expansão e contração, reduzindo assim sua resistência. Fundamentado nisso faz-se necessário à procura de soluções que causem menor degradação ao meio ambiente e garanta que o solo apresente as propriedades exigidas para serem usados em camadas de pavimentação. Nesse caso, a estabilização do solo passa a ser uma alternativa que pode viabilizar seu uso, uma vez que algumas de suas características físicas e mecânicas são alteradas. Segundo Teixeira (2014), a estabilização pode ser alcançada de diversas formas tais como: mecânica, com a estabilização granulométrica ou com a variação da energia de compactação e a química, através da adição de produtos como cal, cimento, materiais asfálticos e aditivos específicos. A estabilização granulométrica, pode ser realizada incorporando-se materiais naturais, como areia, ou materiais alternativos, ao solo natural, isso altera sua granulometria e resulta no aumento da capacidade de suporte e estabilidade.

A utilização dos resíduos de pavimento flexível reciclado (fresado) é outra opção viável para melhoria das características do solo para uso em pavimentação, pois se utiliza de materiais existentes na própria rodovia para a estabilização. O processo de fresagem é conceituado como corte de uma ou mais camadas do pavimento, com espessuras pré-determinadas, por meio de processo mecânico visando a restauração de pavimentos (Bonfim, 2000). O grande desafio é dar um destino razoável a esse material, que por muito tempo foi considerado um rejeito da construção civil e que normalmente são descartados em aterros ou em bota-foras, determinados pela fiscalização da obra. Para reaproveitamento deste material, é necessário fragmentá-lo afim de se obter uma determinada granulometria, faz-se a mistura ou não, com outros materiais e aplica-se em uma nova camada.

O reaproveitamento de resíduo fresado, que é constituído de seixo rolado ou pedra britada, areia, filler (pó de pedra ou cimento) e cimento asfáltico de petróleo (CAP), para produção de um novo pavimento resulta em redução do custo, energia e matéria prima (o que reduz a degradação do ambiente).

Neste trabalho foram utilizadas misturas entre resíduo fresado, areia e solo argiloso que após serem feitas avaliações das propriedades físicas desses materiais, foi avaliada as propriedades mecânicas do solo e das misturas de solo-areia e solo-areia-resíduo fresado, e com isso foi possível verificar a influência dos materiais utilizados no melhoramento do solo. Um dos benefícios desta mistura é característica de estabilização do solo. Este método de estabilização melhora as propriedades do solo pelo aspecto técnico, pois torna-o qualificado a cumprir as determinações do projeto. Pode-se afirmar que esse método tem como propósitos primordiais o ganho de resistência, a redução da deformação em decorrência do tráfego, a diminuição da compressibilidade e o prolongamento da vida útil (Dias et al., 2015).

MATERIAL E MÉTODOS

O solo analisado foi proveniente da jazida Gunga, localizada as margens da AL 101 no município de Barra de São Miguel. Este material foi usado como material de sub-base da obra de duplicação da AL 220, no trecho que liga Barra de São Miguel a São Miguel dos Campos. A obra foi executada em consórcio pelas empresas ENGEMAT - Engenharia de Materiais Ltda. e L. Pereira & Cia. Ltda. que concedeu acesso a obra, aos materiais e ao laboratório.

Foram coletadas 14 amostras (Tabela 1), sendo de 7 composições diferentes. Onde, inicialmente foram feitos ensaios laboratoriais de caracterização e resistência em amostras compostas totalmente pelo solo (Figura 1a), as amostras 1 e 2. Os ensaios consistiram em: Granulometria (ABNT, 2017), Compactação com energia de proctor intermediária (ABNT, 2016), Limite de Liqueidez (ABNT, 2017),

Limite de Plasticidade (ABNT, 2016) e Índice de Suporte Califórnia (ABNT, 2017). Como a amostra composta somente pelo solo da jazida não oferecia as características especificadas para sub-base, onde o IG (Índice de Grupo) tem que ser igual a zero e o ISC (Índice de Suporte Califórnia) tem que apresentar valor maior ou igual a 20 segundo o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), algumas adições em diferentes proporções de material granular foram feitas para tornar o material menos plástico e com uma capacidade de suporte maior.

Assim, as amostras que foram ensaiadas em seguida eram misturas do solo com areia (Figura 1b), onde para cada proporção diferente foram ensaiadas duas amostras. Desta forma, as proporções escolhidas para compor as amostras de 3 a 8 (solo e areia) podem ser observadas na Tabela 1.

Além das misturas envolvendo apenas o solo argiloso e a areia, também foi utilizado o resíduo fresado do asfalto (Figura 1c) da pista já existente para aumentar ainda mais a capacidade de suporte do solo. As amostras de 9 a 14 tiveram esse resíduo em sua composição, e a proporção escolhida pode ser observada na Tabela 1.

Figura 1. Materiais utilizados nas misturas.

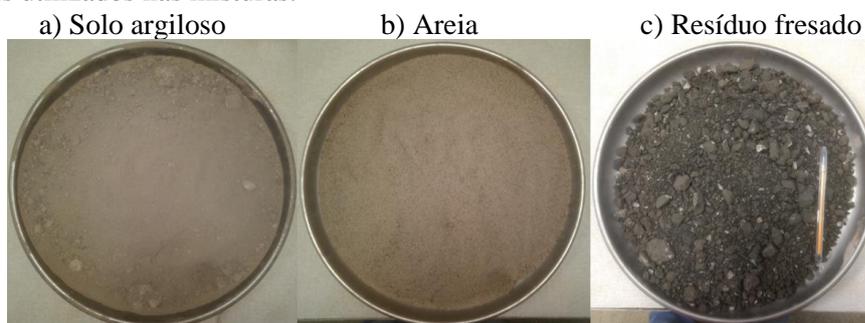


Tabela 1. Amostras ensaiadas.

Amostra	Composição
1 e 2	Solo Argiloso (100%)
3 e 4	Solo Argiloso (90%) + Areia (10%)
5 e 6	Solo Argiloso (80%) + Areia (20%)
7 e 8	Solo Argiloso (65%) + Areia (35%)
9 e 10	Solo Argiloso (55%) + Areia (35%) + resíduo fresado (10%)
11 e 12	Solo Argiloso (65%) + Areia (20%) + resíduo fresado (15%)
13 e 14	Solo Argiloso (60%) + Areia (20%) + resíduo fresado (20%)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

- Solo Argiloso – Amostra 1 e 2

Os resultados dos ensaios das amostras 1 e 2 pode classificar o material como um solo argiloso A-6, no sistema HRB. A média dos limites de liquidez (LL) e índices de plasticidade (IP) das duas amostras foram respectivamente 37,3% e 11,85% e assim o índice de grupo (IG) foi 3. O solo apresentou uma densidade máxima de 1887 g.dm⁻¹ e umidade ótima de 13,8%, em média. O Índice de Suporte Califórnia (ISC) médio foi de 17,5% e a expansão igual a 0,1%.

Apesar do solo apresentar dados satisfatórios, o solo sozinho não pode ser utilizado como material de sub-base, pois o mesmo não apresentou a capacidade de suporte mínima exigida e por se tratar de um solo argiloso, a plasticidade do material elevou o IG para além do permitido, onde para o DNIT (2006) o material a ser usado na sub-base tem que ter IG igual a 0 e apresentar ISC maior ou igual a 20%. Portanto o material para ser utilizado como material de sub-base fica condicionado a uma estabilização granulométrica e/ou química.

- Solo Argiloso + Areia – Amostras de 3 a 8

A areia utilizada nessa etapa da estabilização granulométrica foi uma areia lavada adquirida próximo a uma Jazida na praia do Francês, no município de Marechal Deodoro. Isoladamente, a areia foi submetida apenas ao ensaio de granulometria, onde apresentou-se como um solo granular A-1-b.

Os resultados e classificações dos ensaios realizados com as amostras compostas por solo argiloso acrescida de areia estão expostos na Tabela 2. Como já foi dito anteriormente, para cada mistura de

solo/areia foram feitas duas amostras, assim os valores apresentados na Tabela 2 são as médias entre os respectivos pares de amostra de uma mesma proporção.

Tabela 2. Resultado dos ensaios das amostras compostas por solo argiloso e areia

	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Amostra 6	Amostra 7	Amostra 8
	Solo Argiloso (90%) + Areia (10%)		Solo Argiloso (80%) + Areia (20%)		Solo Argiloso (65%) + Areia (35%)	
Classificação HRB	A-2-4		A-2-4		A-2-4	
LL (%)	20,5		N/L		N/L	
IP (%)	N/P		N/P		N/P	
IG	0,0		0,0		0,0	
Dens. Máx. (g/dm²)	1982,0		1987,0		2001,0	
Umidade ótima (%)	11,0		10,3		9,9	
ISC (%)	21,0		27,0		31,0	
Expansão (%)	0,1		0,0		0,0	

Como pode-se observar, a medida em que aumenta a quantidade de areia na mistura, também aumenta o ISC, isto ocorre devido ao aumento da variedade das dimensões das partículas presentes na amostra, reduzindo os vazios, forçando um maior entrosamento entre os grãos, o que resulta na melhoria da capacidade de suporte do solo quando compactado. Além disso, a presença da areia no solo argiloso torna-o menos plástico, reduzindo o IG à 0, tornando-o apto a ser usado na sub-base.

- Solo Argiloso + Areia + Material Fresado – Amostras de 9 a 14

Não houve nenhum ensaio de caracterização ou resistência somente com o resíduo fresado, porém visualmente via-se considerável parte graúda e deficiência de finos. Os resultados e classificações das misturas de solo com areia e resíduos estão apresentados na Tabela 3, e assim como na Tabela 2, os valores apresentados aqui nesta tabela são as médias entre os resultados dos respectivos pares de amostra.

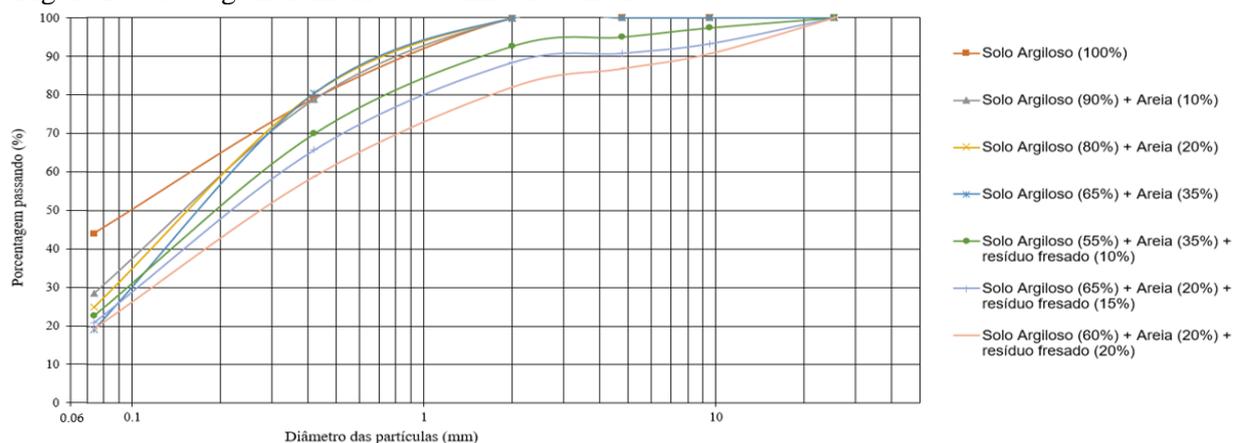
Tabela 3. Resultado dos ensaios das amostras compostas por solo argiloso, areia e resíduo fresado

	Amostra 9	Amostra 10	Amostra 11	Amostra 12	Amostra 13	Amostra 14
	Solo Argiloso (55%) + Areia (35%) + resíduo fresado (10%)		Solo Argiloso (65%) + Areia (20) + resíduo fresado (15%)		Solo Argiloso (60%) + Areia (20%) + resíduo fresado (20%)	
Classificação	A-2-4		A-2-4		A-2-4	
LL (%)	N/L		N/L		N/L	
IP (%)	N/P		N/P		N/P	
IG	0		0		0	
Dens. Máx. (g/dm²)	1965		2002,0		2006,0	
Umidade ótima (%)	11,4		9,8		9,7	
ISC (%)	26		29		30	
Expansão (%)	0,0		0,0		0,0	

Assim como nas misturas de solo com areia, quanto maior a quantidade de resíduo, maior o ISC, porém o ganho com adição de resíduo se mostrou menor do que os ganhos da mistura de solo e areia, mas ainda assim, qualquer uma das amostras com resíduos atendia as especificações do DNIT (2006) e poderia ser usada como material de sub-base.

Por fim, como foi falado anteriormente, o melhoramento da capacidade de suporte do solo estudado se deu devido a uma estabilização granulométrica, ou seja, ao adicionar um material grosso, como a areia e o resíduo fresado, em um solo argiloso torna a amostra mais bem graduada, diminui a quantidade de finos e aumenta sua capacidade de suporte, observa-se isso no Figura 2, onde as curvas melhores graduadas apresentam um ISC maior que as curvas mal graduadas e observa-se também a queda da quantidade de finos da amostra de solo puro para as amostras misturadas.

Figura 2. Curvas granulométricas das misturas ensaiadas.



CONCLUSÃO

Após serem feitas avaliações das propriedades físicas do solo obtido na Jazida Gunga e avaliado as propriedades mecânicas das misturas, pode-se chegar à conclusão que a estabilização mecânica com adição de areia ou de areia mais resíduo ao solo argiloso se mostrou bastante eficiente. As amostras estabilizadas não somente atingiram os valores prescritos em norma como os superaram. Sendo assim, a técnica de estabilização abordada nesse trabalho traz benefícios às obras de pavimentação não somente pelo ganho de capacidade de carga, mas também pelo lado econômico pois dá a possibilidade de usar uma jazida mais próxima ao trecho, mesmo que seu solo isoladamente não atenda a capacidade de carga de projeto. Outra vantagem é que o reaproveitamento do material fresado para estabilização mecânica de solos usados em camadas de pavimentos promove a sustentabilidade, pois além de preservar a jazida, evita que estes resíduos sejam descartados na natureza.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459. Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. NBR 7180. Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. NBR 7181. Solo - Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 2017.
- _____. NBR 7182. Solo - Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro, 2016.
- _____. NBR 9895. Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC) – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2017.
- Araújo, A.; Barroso, S. H. A. O uso da técnica de solo-cal para melhoramento das propriedades tecnológicas de um solo da região do baixo Jaguaribe no estado do Ceará. In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 21, 2007, Rio de Janeiro - RJ.
- Bernucci, L.; Motta, L. G.; Ceratti, J. A. P.; Soares, J. B. Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros. 1.ed. Petrobrás: ABEDA. Rio de Janeiro – RJ, 2008. 504p.
- Bonfim, V. Fresagem de Pavimentos Asfálticos. 1.ed. Fazendo Arte. São Paulo – SP, 2000. 111p.
- Dias, P. S.; Pinto, I. E.; Costa, G. Contribuição ao estudo de materiais fresados incorporados a um solo argiloso siltoso para o uso em camadas de pavimentos flexíveis. In: Reunião Anual de Pavimentação, 44, 2015, Foz do Iguaçu – PR.
- DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, IPR 719. Manual de Pavimentação. 3.ed. Rio de Janeiro – RJ, 2006. 278p.
- Gongalves, F. J. P. O desempenho dos pavimentos flexíveis – notas de aula. p.149. 1999. Disponível em: <http://lci.upf.tche.br/~pugliero>. Acesso em: 10 abril 2018.
- Senço, W. Manual de Técnicas de Pavimentação. 2.ed. Pini. São Paulo – SP, 2007. 764p.
- Teixeira, I. Estabilização de um solo laterítico argiloso para utilização como camada de pavimento. Campinas: UNICAMP, 2014. 137f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil na área de Transportes)