

## ANÁLISE DE MELHORAMENTO DE SOLO COM BRITA E RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO PARA CAMADAS DE PAVIMENTOS NO ESTADO DO CEARÁ

CÁSSIO ADLER VITORINO GONÇALVES LEITE<sup>1</sup>, TARCÍSIO FERREIRA PIMENTEL NETO<sup>1</sup>,  
MARCOS FABIO PORTO DE AGUIAR<sup>1</sup>, FRANCISCO HEBER LACERDA DE OLIVEIRA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) - *Campus* Fortaleza

<sup>2</sup>Universidade de Fortaleza (UNIFOR)

<cassio.adler@gmail.com>, <tarcisioferreira.t@gmail.com>,  
<marcosfpa@hotmail.com>, <heberoliveiracivil@gmail.com>

DOI:10.21439/conexoes.v10i2.795

**Resumo.** O presente trabalho trata da análise do comportamento e das características mecânicas de solos, considerando misturas com adição de asfalto fresado, brita e resíduos de construção e demolição. O solo estudado, de baixa capacidade de suporte, com ISC (Índice de Suporte Califórnia) equivalente a 2,28%, foi adquirido de um trecho da Rodovia CE - 261, na cidade de Icapuí, estado do Ceará. O asfalto fresado, a brita e o resíduo de construção e demolição (RCD) são provenientes da região metropolitana de Fortaleza. Com o objetivo de melhorar a capacidade de suporte do solo, a fim de que possa ser utilizado em camadas de sub-base ou base de pavimentos asfálticos, foram elaboradas 5 misturas com diferentes proporções entre os materiais. O solo foi devidamente classificado de acordo com o sistema TRB (Transportation Research Board), como sendo um pedregulho siltoso (A-2-4). Foram realizados, também, ensaios de caracterização e compactação para o solo e as misturas e também ISC, de acordo com as especificações vigentes do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT). Constatou-se, com o ensaio de ISC, um aumento significativo da capacidade de suporte do solo após adição gradativa de brita, mas não atingindo valores suficientes de capacidade para sub-base de pavimentos. As misturas de solo com asfalto fresado não apresentaram ganhos de capacidade, não apresentando valores satisfatórios para utilização em sub-base. A mistura composta por RCD apresentou um ganho significativo de capacidade de suporte, mostrando valores aceitos para utilização em sub-base.

**Palavras-chaves:** Melhoramento de solo. Resíduo de construção e demolição. Asfalto fresado.

**Abstract.** This work deals with the analysis of the behavior and mechanical properties of soils considering mixtures with added milled asphalt, crushed stone, as well as construction and demolition waste. The soil studied, of low load-bearing capacity, with CBR (California Bearing Ratio) equal to 2.28%, was collected from a stretch of CE-261 State Road, in the city of Icapuí, State of Ceará. The milled asphalt, the crushed stone, and the construction and demolition waste (CDW) are from the metropolitan area of Fortaleza. In order to improve the soil load-bearing capacity, so that it can be used in sub-base layers or base of asphalt pavements, 5 mixtures were prepared with different ratios among the materials. The soil was appropriately rated according to the TRB (Transportation Research Board) system as silty gravel (A-2-4). Characterization and compaction trials with the soils, mixtures, and CBR were also carried out according to the current specifications of the National Department of Transportation Infrastructure (DNIT). It was found out, through the CBR trial, a significant increase of the soil load-bearing capacity after gradual addition of crushed stone, but not reaching sufficient capacity values for the sub-base of pavements. The soil mixtures with milled asphalt had no capacity gains, not showing satisfactory values for its use in the sub-base. A mixture composed of CDW presented a significant gain in the load-bearing capacity, showing values accepted for its use in the sub-base.

**Keywords:** Soil Improvement. Construction and demolition waste. Milled asphalt.

## 1 INTRODUÇÃO

Na pavimentação são utilizados materiais granulares e solos naturais ou estabilizados química ou granulometricamente, na formação das camadas nobres de rodovias que são base, sub-base e reforço do subleito.

Também conhecidos como solos não coesivos, os solos granulares são formados por partículas grossas que são pedras, pedregulhos, cascalhos e areias com diâmetros acima de 0,05 mm. Os materiais estabilizados quimicamente são materiais granulares ou solos que são acrescidos de cimento, cal ou outro aditivo, proporcionando uma rigidez do material natural e um aumento da resistência à compressão e à tração. Os materiais asfálticos se destinam à camada de base e revestimento que podem ser considerados coesivos (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2012). Neste trabalho foram utilizadas misturas de solo com materiais granulares, RCD e asfalto fresado.

Como os materiais para pavimentação estão cada vez mais escassos e de difícil acesso e exploração no meio ambiente, devido a fatores diversos, isso pode gerar custos extras a obra e degradar a região explorada (ARAÚJO; BARROSO, 2007). Fundamentado nisso faz-se necessário a procura de soluções que causem menor degradação ao meio ambiente.

A reciclagem do pavimento flexível é uma opção viável para a restauração na pavimentação, pois se utiliza de materiais existentes na rodovia para a estabilização do solo, utilizando-se até mesmo de asfalto fresado para formar camadas da nova rodovia, obtido através de uma recicladora que atua na granulometria dos grãos, essa estabilização também pode utilizar-se de materiais como agregados finos e graúdos, como brita, pó de pedra, RCD de classe A, que seria de resíduos de concreto e tijolos, assim como também estabilização química com cimento portland e cal (PAULIFRESA, 2012).

As misturas de solo e materiais reciclados, utilizados neste trabalho, formam um comparativo do que é obtido em campo na reciclagem, com a utilização de brita e RCD para que possa atender especificações exigidas em normas.

Balbo (2007) devido à grande dificuldade de materiais que apresentam características adequadas para utilização principalmente em base e sub-base de pavimentos, é cada vez mais constante a utilização de misturas na pavimentação.

A utilização de agregados artificiais na produção de bases granulares e de misturas asfálticas é condicionada ao atendimento das mesmas especificações básicas para os agregados naturais, além de outras exigências específicas.

Além disso, os agregados resultantes de entulhos

de construção podem ser bastante heterogêneos, requerendo estudos específicos, realizados nesse trabalho, como a caracterização de cada material utilizado nas misturas, análise do material adquirido em campo através da reciclagem do pavimento degradado com adição crescente de brita e também com RCD.

Após serem feitas avaliações das propriedades físicas desses materiais, assim como do solo de baixa resistência obtido no trecho da obra e propriedades mecânicas das misturas de solo-fresado, solo-fresado-brita e solo-RCD, alcançando então o objetivo do trabalho que é verificar a influência dos materiais utilizados nas misturas e dos teores crescentes de brita, ao qual através de ensaios laboratoriais, compara-se com aspectos geotécnicos que atendam as especificações de projeto e normas de pavimentação.

## 2 METODOLOGIA

Para realização deste trabalho, após a escolha do material a ser utilizado, foi necessário a coleta em campo, onde o solo foi retirado em uma jazida próxima as estacas 754 e 760 da obra de restauração da rodovia CE-261, na cidade de Icapuí - CE, fornecida pela empresa CR Empreendimentos que também forneceu a brita nas dependências da empresa na rodovia 4º Anel viário, Distrito Industrial 3, Maracanaú - CE. O fresado foi cedido pela empresa de pavimentação Insttale Engenharia situada na rodovia 4º Anel viário, Distrito Industrial 3, Maracanaú - CE. O RCD foi adquirido através da empresa Usifort, que realiza o beneficiamento na cidade de Fortaleza na BR-116, Bairro Cajazeiras.

Inicialmente foram necessários ensaios dos materiais estudados separadamente, para sua caracterização. Foram feitos ensaios laboratoriais com o solo compondo 100% da amostra 1, sendo realizados os ensaios de: Granulometria (DNER, 1994b), Limite de Liquidez (DNER, 1994), Limite de Plasticidade (DNER, 1994a), Densidade Real (DNER, 1994e), Equivalente de Areia (DNER, 1997), Compactação (DNER, 1994d) com a energia proctor intermediária, e ISC - Índice de Suporte Califórnia (DNER, 1994c). O asfalto fresado foi submetido aos ensaios de Percentagem de Betume (DNER, 1994f), Análise Granulométrica (DNER, 1994b) com determinação de faixas granulométricas (DNIT, 2004). A brita foi caracterizada através de ensaios de Abrasão Los Angeles (DNER, 1998) e análise granulométrica dos agregados (ABNT 1987).

Como o solo possui baixa resistência, então para se determinar uma mistura adequada para aplicação em camadas de pavimentação como sub-base (DNIT, 2010a) e base (DNIT, 2010), em questão de capacidade de suporte e expansão, foi preciso fazer uma cres-

cente mistura de solo com material granular que aumente a sua respectiva capacidade de suporte. Então foi formada a primeira mistura, a amostra 2, sendo solo+fresado na proporção de 57% de solo e 43% de fresado de acordo com o peso seco. A partir daí foram realizados ensaios de granulometria, compactação e ISC. Seguindo a mesma metodologia de ensaios e misturas tem-se as amostras 3, 4 e 5 de misturas de solo “fresado” brita que foram destinadas três proporções crescentes de brita para análise. A amostra 3 é formada por 46% de solo, 34% de asfalto fresado e 20% de brita. A amostra 4 de 40% de solo, 30% asfalto fresado e 30% de brita. A amostra 5 foi formada por 34% de solo, 26% de asfalto fresado e 40% de brita (Figura 1). Para complementar foi realizada a amostra 6 com mistura de solo e resíduos da construção e demolição (RCD), em que foram realizados ensaios de compactação e ISC da mistura na proporção de 57% de solo e 43% de RCD, todas as porcentagens de acordo com o peso seco dos materiais



Figura 1: Misturas para ensaios. Fonte: Autor.

Tabela 1: Amostras Ensaeadas

Amostra 01 -Solo (100%)
Amostra 02 - Solo (57%) + Asfalto Fresado (43%)
Amostra 03 - Solo (46%) + Asfalto Fresado (34%) + Brita Corrida (20%)
Amostra 04 - Solo (40%) + Asfalto Fresado (30%) + Brita Corrida (30%)
Amostra 05 - Solo (34%) + Asfalto Fresado (26%) + Brita Corrida (40%)
Amostra 06 - Solo (57%) + Resíduo de Construção e Demolição (43%).

### 3 RESULTADOS E ANÁLISES

A seguir serão apresentados os resultados e análises dos ensaios realizados com os materiais e misturas deste trabalho.

#### 3.1 Solo - Amostra 1

De acordo com os ensaios o solo pôde ser identificado como um pedregulho siltoso A-2-4 considerando o sistema TRB, com uma composição de 6,43% de pedregulho, 67% de areia e 26,57% de finos. O solo apresentou densidade real dos grãos de 2,54 e equivalente de areia igual a 31,58%. Os limites de Atterberg foram: LL igual a 25,16%, LP de 16,36% e o IP de 8,80%. Com esses dados foi possível obter o IG igual a 0, considerando o Sistema Unificado de Classificação de Solos, pode-se classificar o material como um pedregulho siltoso - GM.

A capacidade de suporte do solo é analisada de acordo com o ISC (DNER, 1994c) que fornece o valor do índice de suporte do solo que foi de 2,28% e expansão de 1,47%. De acordo com os ensaios de caracterização, o solo apresentou dados satisfatórios, mas não apresentou capacidade suficiente no ensaio de ISC, dados que demonstram que o solo não é adequado para utilização em base e sub-base de rodovias, (Tabela 1), não atendendo a (DNIT, 2010) e (DNIT, 2010a), portanto fica condicionada a estabilização granulométrica ou química.

Tabela 2: Especificações (DNIT, 2010)

Camadas	ISC (%)	Expansão (%)
Sub-Base	$\geq 20$	$\leq 1,0$
Base	$\geq 60$ para $N < 5 \times 10^6$	$\leq 0,5$
	$\geq 80$ para $N > 5 \times 10^6$	

#### 3.2 Asfalto fresado

O asfalto fresado é um resíduo da demolição de pavimentos das ruas da cidade de Fortaleza, um CAUQ (Concreto Asfáltico Usinado a Quente) de classificação Faixa C (DNIT, 2004), (Figura 2), sendo reciclado por máquinas que degradam seus agregados e ficando assim com grande quantidade de agregado miúdo e pouca quantidade de material graúdo (Figura 3) podendo ser esse um dos motivos da baixa capacidade das misturas que levam o asfalto em sua composição, de acordo com o que foi demonstrado nos ensaios, obteve também um teor de CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) de 8,53% (DNER, 1994f).

#### 3.3 Brita graduada

A brita (Figura 4) comprovadamente um ótimo agregado para estabilização granulométrica de solos e para diversas utilidades na pavimentação (BERNUCCI et al., 2006). Nos ensaios de abrasão Los Angeles mostrou o

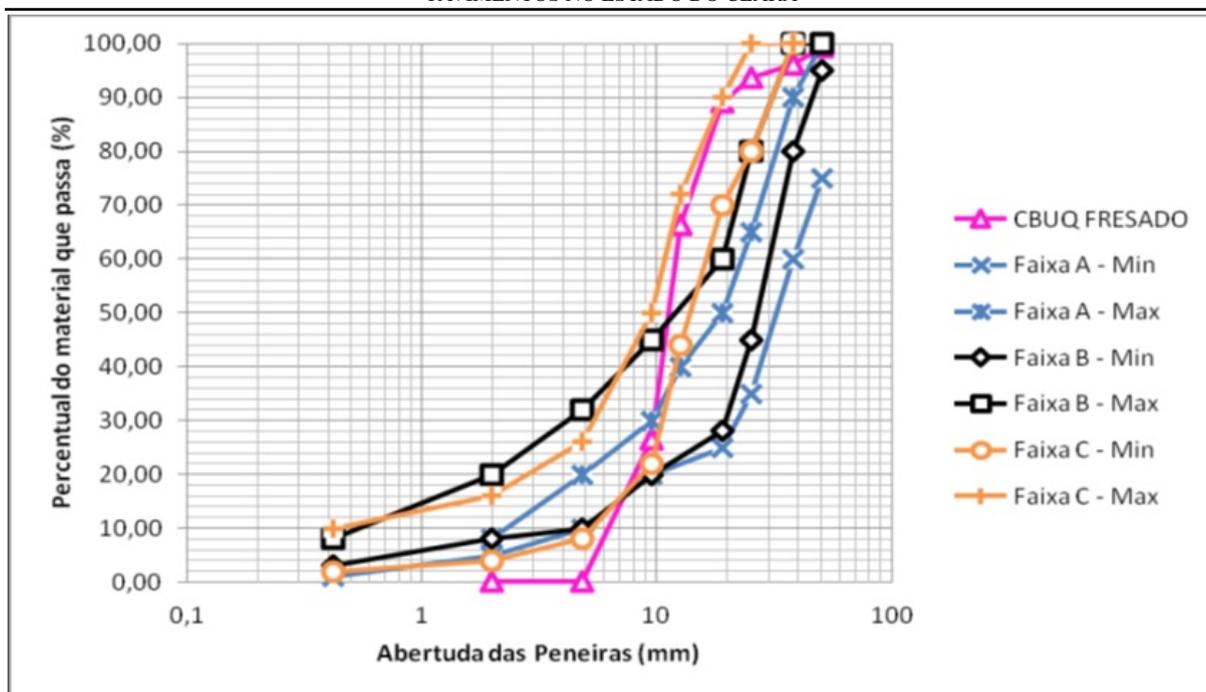


Figura 2: Análise granulométrica do asfalto fresado. Fonte: Autor.

resultado satisfatório de 27% segundo (DNER, 1998). E com boa granulometria comprovada no ensaio granulométrico dos agregados (DNER, 1994b).



Figura 3: Componentes do asfalto fresado sem betume. Fonte: Autor.



Figura 4: Brita graduada. Fonte: Autor.

### 3.4 Amostra 2 - Solo e asfalto fresado

A primeira mistura realizada para análise foi com solo e asfalto fresado (resíduo de demolição de pavimentos), na qual a granulometria (Figura 5) demonstrou possuir considerável parte graúda e enorme deficiência de finos, sendo 21,31% de pedregulho, 11,57% de areia média,

63,05% de areia fina e 4,07% de finos (< 0,42mm de espessura dos grãos), referente ao peso de solo seco.



Figura 5: Análise granulométrica. Fonte: Autor.

No ensaio para suporte do solo e expansão foi realizado ensaio de ISC com a energia de compactação Proctor intermediária e foram obtidos 1,99% para índice de suporte e 0,04% para expansão. A expansão atendeu os requisitos, mas o índice de suporte foi muito abaixo do aceitável para normas de composição de base e sub-base do (DNIT, 2010).

### 3.5 Amostras 3, 4 e 5 - solo natural, asfalto fresado e brita

As análises granulométricas das amostras 3, 4 e 5 demonstraram que os mesmos estavam de acordo com DNIT (2010) para graduação granulométrica, sendo as misturas 3 e 4 enquadradas na faixa C e a mistura 5 na faixa B (Figura 6). Os ensaios de compactação na energia Proctor intermediária foram satisfatórios, pois todos tiveram um ganho de peso específico de acordo com o aumento de brita em suas proporções, os resultados de expansão também seguiram de acordo com (DNIT, 2010), mas todos os ensaios de ISC comprovaram que mesmo com a crescente proporção de brita nas misturas, não foi possível para atender base e sub-base de pavimentação rodoviária.

### 3.6 Amostra 6 - solo natural e RCD

Para uma análise complementar utiliza-se um estabilizante de resíduos de materiais da construção e demolição (RCD), como restos de tijolos, alvenaria, concreto, telha, argamassas e outros componentes da Classe A, formando um material graduado, juntamente com o

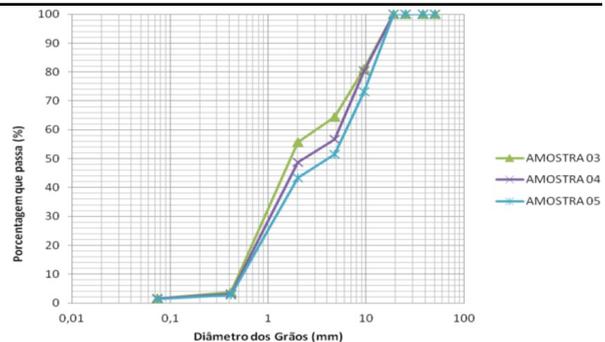


Figura 6: Granulometria das misturas 3, 4 e 5. Fonte: Autor.

solo natural na mesma proporção que a Amostra 2 de 57% de solo e 43% de material estabilizante.

Na determinação da capacidade do solo foi feito o ensaio ISC que obteve o índice de 22,50% e uma expansão de 0,48%. Esses resultados mostraram-se satisfatórios para sub-base do pavimento (DNIT, 2010a). Os dados conclusivos de compactação e ISC das misturas analisadas neste trabalho estão na Tabela 3.

## 4 CONCLUSÃO

O solo puro foi o único que compôs a mistura 1 e foi classificado como um pedregulho siltoso com código A-2-4, de acordo com a classificação TRB, e ao ser submetido ao ensaio de ISC obteve um índice de 2,28%, por ser um solo de graduação densa, com pouco material graúdo e excesso de material fino em sua composição.

Na mistura 2 foi utilizado o asfalto fresado ao qual possui pouco agregado graúdo e areia média, sendo assim classificado na faixa C de análise granulométrica, portanto sendo utilizado com 43% na composição, onde na mistura obteve um resultado não satisfatório de 1,99% de ISC e expansão satisfatória de 0,04%. Sofrendo redução na capacidade em comparação com o solo natural e demonstrando nesse caso não ter utilidade para camadas nobres da pavimentação.

Nas misturas 3, 4 e 5 foram utilizadas fresado e brita em frações crescentes de 20%, 30% e 40%, respectivamente e realizados ensaios de granulometria, compactação e ISC. Esses resultados demonstraram ganho de resistência em comparação a amostra 1. A amostra 3 apresentou 4,49% de ISC, a amostra 4, 9,06% e a amostra 5 apresentou 18,04%, apesar do ganho em capacidade e a expansão ter atendido as normas, não conseguiu chegar a atender as especificações para utilização em base ou sub-base de rodovias, podendo apenas ser utilizado como reforço de sub-leito.

**Tabela 3:** Resumo dos ensaios de compactação e ISC

Amostra	Compactação		ISC	
	Umidade Ótima(%)	Densidade máxima(g/cm <sup>3</sup> )	Expansão(%)	ISC(%)
1 - Solo	14	1,86	1,47	2,28
2 - Solo + 43% fresado	9,6	1,96	0,04	1,99
3 - Solo + fresado + 20% brita	9,9	1,94	0,07	4,49
4 - Solo + fresado + 30% brita	7,2	1,96	0,09	9,06
5 - Solo + fresado + 40% brita	8,1	2,01	0,10	18,04
6 - Solo + 43% RCD	12,20	1,87	0,47	22,50

Na mistura 06, foi usado 43% de RCD, obtidos pela reciclagem de concreto, tijolos e outros materiais, sendo mais viável em zonas urbanas que possuem grande quantidade desses resíduos da construção e desde que exista usina de beneficiamento. Os ensaios de granulometria, compactação e ISC tiveram seus resultados principais obtidos mostrando uma melhoria no suporte do solo, com ISC de 22,50% e expansão de 0,47%, resultados aceitos para sub-base de pavimentos flexíveis.

#### AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao IFCE (Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Estado do Ceará), por fornecer laboratórios e equipamentos para ensaios, aos funcionários do laboratório de solos do IFCE, a CR Empreendimentos por fornecer materiais, solo e brita, a Insttale Engenharia por fornecer asfalto fresado e a Usifort pelo fornecimento de RCD.

#### REFERÊNCIAS

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: *XXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*. [S.l.: s.n.], 2007.

BALBO, J. T. *Pavimentação Asfáltica: Materiais, projetos e Restauração*. São Paulo, 2007.

BERNUCCI, L.; MOTTA, L.; CERATTI, J.; SOARES, J. *Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros*. Rio de Janeiro, 2006.

DNER. *Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER ME 122, Solos - Determinação do limite de liquidez - Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_. *Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER ME 082: Solos - Determinação do limite de plasticidade - Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1994a.

\_\_\_\_\_. *Departamento Nacional de Estradas e Rodagens, DNER-ME 080, Solos - Análise Granulométrica por Peneiramento - Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1994b.

\_\_\_\_\_. *Departamento Nacional de Estradas e Rodagens, DNER-ME 049, Solos-Determinação do Índice de Suporte Califórnia Utilizando Amostras não Trabalhadas - Método de ensaio*. [S.l.], 1994c.

\_\_\_\_\_. *Departamento Nacional de Estradas e Rodagens, DNER-ME 162, Solos-Ensaio de Compactação Utilizando Amostras Trabalhadas - Método de ensaio*. [S.l.], 1994d.

\_\_\_\_\_. *Departamento Nacional de Estradas e Rodagens, DNER-ME 93, Solos - Determinação da densidade real - Método de ensaio*. [S.l.], 1994e.

\_\_\_\_\_. *Departamento Nacional de Estradas e Rodagens, DNER-ME 53, Misturas Betuminosas - Percentagem de Betume - Método de ensaio*. [S.l.], 1994f.

\_\_\_\_\_. *Departamento Nacional de Estradas e Rodagens, DNER-ME 54, Solos - Equivalente de areia - Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. *Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER ME 035/1998: Agregados - Determinação da abrasão "Los Angeles- Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1998.

DNIT. *Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT ES 031, Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de Serviço*. Brasília, 2004.

\_\_\_\_\_. *Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT ES 141/2010: Pavimentação - Base Estabilizada Granulometricamente*. Brasília, 2010.

\_\_\_\_\_. *Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT ES 139/2010: Pavimentação - Sub-Base Estabilizada Granulometricamente*. Brasília, 2010a.

PAULIFRESA. 2012. Acesso em: 27 de maio de 2012. Disponível em: <[http://www.paulifresa.com.br/samba/index.php?option=com\\_content&view=article&id=117:reciclagem-de-base-com-adicao-ou-nao-de-materiais-como-cimento-brita-cal-etc&catid=45:reciclagem](http://www.paulifresa.com.br/samba/index.php?option=com_content&view=article&id=117:reciclagem-de-base-com-adicao-ou-nao-de-materiais-como-cimento-brita-cal-etc&catid=45:reciclagem)>.

PORTAL SÃO FRANCISCO. 2012. Acesso em: 27 de maio de 2012. Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/meio-ambiente-solo/meio-ambiente-tipos-de-solo.php#ixzz1w5JKfN1d>>.