

43ª RAPv – REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO E 17º ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA

Maceió, AL - 29 de julho a 01 de agosto de 2014.

MELHORAMENTO DE SOLOS PARA CAMADAS DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS COM MATERIAL FRESADO E ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA

Adriano Loureiro Corrêa¹; Sandro Moreira Braga²; Marcos Fábio Porto de Aguiar³; Francisco Heber Lacerda de Oliveira⁴; Fernando Feitosa Monteiro⁵ & José Ciro Pinheiro Neto⁶

RESUMO

O presente artigo tem por objetivo apresentar a reutilização dos resíduos de fresagem como uma alternativa técnica e economicamente viável em camadas de sub-base e base de pavimentos rodoviários, por meio de misturas de solo com cimento e cal. Foram realizadas avaliações das propriedades físicas dos materiais, bem como uma avaliação das propriedades mecânicas das misturas solo, material fresado, cal e cimento. Com base no experimento realizado, foi misturado ao solo o material fresado – RAP da rodovia BR-222, num trecho localizado no Estado do Ceará, nas proporções de 0%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40% e 45% em relação ao peso do solo, sendo adotado um teor fixo de 40% de RAP para adição de estabilizante químico das misturas, haja vista a mesma apresentar maior valor de ISC. Na mistura SOLO + 40% de RAP foram adicionados cal e cimento nos teores de 2%, 3%, 4% e 5%. Entretanto, na adição da cal, a mistura não apresentou grandes valores de ISC, quando comparados com o solo sem mistura e as misturas SOLO + RAP, havendo uma redução dos valores de ISC. Na adição de cimento, a mistura ocorreu um ganho significativo aos valores de ISC, quando comparados com o solo sem mistura e para as misturas SOLO + RAP. Os melhores resultados de ISC obtidos com adição de cimento variaram entre 127% e 173%, compatível com a especificação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT para uso de camadas de base e sub-base de pavimentos rodoviários.

PALAVRAS-CHAVE: pavimentos; fresado; melhoramento; solos, reciclagem.

ABSTRACT

This paper aims to present the reuse of waste milling as a technically and economically viable alternative layered sub - base and base pavements, by mixtures of soil with cement and lime. Assessment of physical properties of the materials were made as well as a review of the mechanical properties of soil mixtures, milled materials, lime and cement. Based on the experiment, soil was mixed with the milled material - RAP BR- 222 highway, a stretch located in the state of Ceará, in the weight proportions 0%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40% e 45% of soil, being adopted a fixed content of 40 % RAP to any chemical stabilizer mixtures, given it presents higher ISC. In the mix SOLO RAP + 40% lime and cement were added in concentrations of 2%, 3%, 4% e 5%. However, the addition of lime, the mixture did not show large values of ISC when compared with pure soil and soil + RAP mixtures, with a reduction of the ISC values . In addition concrete, mixture had a significant gain values ISC, when compared with pure soil and the soil + RAP mixtures. The best results obtained with the addition of ISC cement ranged between 127 % and 173 % compliant with the National Department of Transport Infrastructure - DNIT to use layers of base and sub - base of roadway pavements.

KEY WORDS: pavements, milling, improvement, soils, recycling.

¹ Aluno de graduação do curso superior Tecnólogo em Estradas do Instituto Federal Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE. Departamento de Construção Civil. Av. Treze de Maio, 2081 - Benfica CEP: 60040-215 - Fortaleza - Ceará E-mail: adrianolc192@gmail.com

² Analista de Infraestrutura de Transportes do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. Av. Deputado Paulino Rocha, 281 - Bairro Cajazeiras. CEP: 60.864-310. Fortaleza. Ceará. E-mail: sandrombraga@yahoo.com.br

³ Professor efetivo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - IFCE. Avenida Treze de Maio, 2081 - Benfica, Fortaleza - CE, CEP 60040-531; Professor da Universidade de Fortaleza – UNIFOR. Av. Washington Soares, 1321, Edson Queiroz. CEP 60.811-905. Fortaleza. Ceará. E-mail: marcosfpa@hotmail.br

⁴ Professor Auxiliar da Universidade de Fortaleza - UNIFOR. Centro de Ciências Tecnológicas. Av. Washington Soares, 1321, Edson Queiroz. CEP 60.811-905. Fortaleza. Ceará. E-mail: heberoliveira@unifor.br

^{5,6} Aluno de graduação em Engenharia Civil da Universidade de Fortaleza - UNIFOR. Centro de Ciências Tecnológicas. Av. Washington Soares, 1321, Edson Queiroz. CEP 60.811-905. Fortaleza. Ceará. E-mail: fernandofm91@hotmail.com e ciropinheiro1992@gmail.com

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A fresagem de pavimentos asfálticos é, nos dias atuais, uma das técnicas constantemente aplicadas no processo de manutenção e restauração do sistema rodoviário como parte do processo de restauração de pavimentos deteriorados, em especial com o objetivo de solucionar problemas frequentemente encontrados, como a elevação do greide das estradas, além de atenuar a propagação de trincas e evitar o alteamento dos dispositivos de drenagem (BONFIM, 2007).

Segundo DNIT (2006b), a reciclagem dos pavimentos apresenta-se como uma solução para muitos problemas e oferece inúmeras vantagens em relação à utilização convencional de materiais virgens como a conservação de agregados, ligantes e de energia, a preservação do meio ambiente e a restauração das condições geométricas existentes da pista de rolamento.

O trecho escolhido para a realização desta pesquisa foi definido pelo fato de o coautor ter atuado como fiscal do mesmo, fazendo parte integrante do quadro técnico do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT, para acompanhamento das obras de Melhoramento e Restauração/Reabilitação da Rodovia BR-222/CE, tendo acesso à vasta documentação e ensaios da obra. Tendo como empresa projetista a firma RNR Consultoria de Engenharia Ltda, contratada para elaborar o Projeto Executivo da referida obra, no trecho conforme Tabela 1 (BRAGA, 2014).

Tabela 1: Trecho da Obra de Restauração da BR-222/CE (Braga, 2014)

| | |
|----------------|--|
| Trecho | Fortaleza – Div. CE/PI |
| Subtrecho | Entr. CE.341 (Croatá) – Entr. CE.243 (Itapajé) |
| Segmento | Km 64,3 – Km 122,8 |
| Extensão Total | 58,5 km |
| Lote | 01 |
| CódigoPNV | 222BCE0070 a 222BCE0090 |

O referido projeto foi concebido segundo o procedimento do DNER (1994b) para período de projeto de 10 anos e como complementação, o reforço do pavimento foi também dimensionado segundo o procedimento do DNER (1979), (BRAGA, 2014).

OBJETIVO

Este artigo objetiva apresentar alternativas de melhorias para analisar a capacidade de suporte das misturas de solo, material fresado e aglomerante – cal e cimento – para aplicação em camadas de base e sub-base de pavimentos rodoviários.

REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Este item tem por objetivo nortear o assunto considerando as conceituações teóricas de acordo com a literatura técnica e científica atual.

Pavimento Rodoviário

O pavimento rodoviário classifica-se tradicionalmente em dois tipos básicos: flexíveis e rígidos. Mais recentemente há uma tendência de usar a nomenclatura pavimentos de concreto de cimento Portland e pavimentos asfálticos, respectivamente, para indicar o tipo de revestimento do pavimento (BERNUCCI, et al., 2006).

O pavimento, em razão da importância do transporte no complexo da atividade socioeconômica, dentro de uma perspectiva de longo prazo deve apresentar permanentemente um desempenho satisfatório (DNIT, 2006b).

Pavimento Flexível

Os pavimentos flexíveis são aqueles em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas. Podem ser pavimentos constituídos por uma base de brita ou por uma base de solo pedregulhoso, revestida por uma camada asfáltica (DNIT, 2006a).

Pavimento Rígido

Os pavimentos rígidos são formados, predominantemente, por camadas que trabalham sensivelmente à tração. Exemplo típico são os pavimentos de concreto de cimento (SOUZA, 1980). Os pavimentos de concreto-cimento são aqueles em que o revestimento é uma placa de concreto de cimento Portland. Nesses pavimentos a espessura é fixada em função da resistência à flexão das placas de concreto e das resistências das camadas subjacentes (BERNUCCI, et al., 2006).

Materiais de Pavimentação

Neste item são apresentados os materiais de uso mais frequente em pavimentação e serão feitas algumas referências a esses materiais (DNIT, 2006a).

Solo

Os solos originam-se da decomposição de rochas, juntamente com as ações de agentes químicos e físicos fragmentando os blocos de rochas e formando os diferentes tipos de solos. Algumas das características que diferem os tipos de solos são: o tamanho das partículas, sua constituição mineralógica, seu comportamento na presença da água e do ar. A partir das dimensões das partículas de solo elas são classificadas em pedregulho, areia, silte e argila (PINTO, 2006).

Existem diversos sistemas de classificação de solos, dentre estes o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS); o sistema do *Transportation Research Board* (T.R.B.); e o sistema Miniatura

Compactada Tropical (M.C.T.). O T.R.B. ainda é muito empregado e tem como proposta estabelecer uma hierarquização para os solos do subleito a partir da realização de ensaios simples e realizados de forma corriqueira: a análise granulométrica por peneiramento e a determinação dos limites de liquidez em de plasticidade (CHAVES, 2000).

Brita Graduada Simples

A brita graduada simples é um dos materiais granulares mais largamente utilizados no país como base e sub-base de pavimentos asfálticos. Consiste em um material com distribuição granulométrica bem-graduada, conferindo uma boa resistência, com Índice de Suporte Califórnia - ISC normalmente elevado, da ordem de 60% a maiores que 100% (BERNUCCI, et al., 2006).

Cal

Em termos de pavimentação rodoviária, a cal mais empregada é a cal hidratada, substituindo a cal virgem devido à facilidade no seu uso, visto que, embora esta última possua maior teor de óxidos de cálcio e magnésio, apresenta ainda o menor preço comercial (AZEVEDO, 2010).

A cal hidratada oferece vantagens tendo um melhor manuseio, e por ser um produto pronto para utilização. Deve-se utilizar cal de qualidade comprovada, pois defeitos na sua fabricação podem reduzir a sua eficiência (RIPPER, 1995).

Cimento

Material que atinge alta resistência por meio de calcinação de calcários moles e argilosos. O cimento possui características como trabalhabilidade, moldabilidade, alta durabilidade, resistência a cargas e ao fogo e pode ser utilizado em grandes barragens, em estradas ou edificações, em pontes, tubos de concreto ou telhados (ABCP, 2014).

Material Fresado (RAP - Pavimento Asfáltico Regenerado)

Consiste no material obtido através da fresagem do pavimento asfáltico em sua totalidade ou parcialmente, que não apresenta mais propriedades de suporte ao pavimento, podendo este ser aproveitado no melhoramento do suporte de outra camada do pavimento (BERNUCCI, et al., 2006).

Bases e Sub-bases estabilizadas

As bases e sub-bases estabilizadas são materiais granulares ou solos que recebem adição de cimento, cal ou outro aditivo, de forma a proporcionar um acréscimo significativo de rigidez do material natural e um aumento da resistência à compressão e à tração. Há ainda misturas asfálticas e solo-asfalto que se destinam à camada de base e que poderiam ser classificadas como coesivas. Nesse caso, a ligação entre agregados ou partículas é dada pelo ligante asfáltico, sendo a resistência à tração bastante superior aos solos argilosos, e por isso, são enquadrados em classe diferente dos solos e dos materiais cimentados (BERNUCCI, et al., 2006).

Solos Melhorados Com Cimento

O solo melhorado por cimento é obtido quando são utilizados pequenos teores de cimento, percentuais baixos na ordem de 3%, visando primordialmente à modificação do solo, sendo assim considerado flexível (SOUZA, 1980).

Considera-se que o solo melhorado por cimento é empregado principalmente para alterar a plasticidade e melhorar a trabalhabilidade de certos solos em pista ou para atender as especificações granulométricas (BERNUCCI, et al., 2006).

Solo Melhorado Com Cal

Mistura de solo, cal e água a fim de modificar sua plasticidade e sensibilidade à água, podendo ser adicionado na mistura cinza volante. Esta mistura é considerada um material flexível (BERNUCCI et al, 2008).

Ensaio

Neste capítulo são apresentados alguns ensaios necessários para a análise das propriedades mecânicas do solo e das misturas realizadas.

Compactação

Pode-se entender compactação como o procedimento manual ou mecânico para reduzir o volume de vazios, aumentando assim a resistência do solo e tornando-o mais estável. A compactação de um solo também visa melhorar suas características quanto à resistência, permeabilidade, compressibilidade e absorção d'água. Determina-se neste ensaio a umidade ótima, peso específico máximo úmido e seco do solo (CAPUTO, 1996).

Índice de Suporte Califórnia (ISC)

Ensaio que se determina as propriedades expansivas do material e o índice de suporte califórnia, índice esse que consiste na comparação percentual de resistência a penetração do material utilizado com uma resistência padrão (CAPUTO, 1996).

MATERIAIS E CLASSIFICAÇÕES

Os materiais utilizados na pesquisa e nos ensaios foram solos de jazida, material fresado (RAP), cal hidratada e cimento Portland. A fresagem destaca-se como a principal técnica de remoção de revestimentos antigos de Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ), utilizada na manutenção rodoviária com pavimento flexível. A fresagem serve para reciclagem ou regularização da superfície de rolamento devolvendo-lhe as condições de conforto e segurança necessárias ao tráfego de veículos (RODRIGUES et al, 2008).

O RAP foi obtido do Programa de Restauração da Rodovia BR-222/CE e foi classificado como A-1B, de acordo com a classificação TRB, Tabela 02, enquanto o solo foi obtido da mesma jazida utilizada

para a obra a uma profundidade de 1,50m evitando a contaminação e interferência dos materiais orgânicos nos resultados (BRAGA, 2014).

Tabela 2: Classificação do RAP da Obra de Restauração da BR-222/CE

| AMOSTRA | GRANULOMETRIA (% QUE PASSA NAS PENEIRAS) | | | | | | IG | CLASSIF. HRB |
|------------------|--|------|------|-------|-------|--------|----|--------------|
| | 1" | 3/8" | Nº 4 | Nº 10 | Nº 40 | Nº 200 | | |
| RAP - AMOSTRA 01 | 100 | 83 | 68 | 57 | 26 | 6 | 0 | A-1-B |
| RAP - AMOSTRA 02 | 100 | 84 | 70 | 57 | 25 | 5 | 0 | A-1-B |
| RAP - AMOSTRA 03 | 100 | 84 | 69 | 58 | 27 | 6 | 0 | A-1-B |
| RAP - AMOSTRA 04 | 100 | 85 | 70 | 58 | 24 | 5 | 0 | A-1-B |
| RAP - AMOSTRA 05 | 100 | 84 | 68 | 56 | 23 | 4 | 0 | A-1-B |

O solo da jazida foi classificado, de acordo com o sistema TRB, como A-2-4, como demonstra a Tabela 3:

Tabela 3: Classificação do Solo de jazida utilizado na Obra de Restauração da BR-222/CE

| AMOSTRA | LIMITES FÍSICOS | | GRANULOMETRIA (% QUE PASSA NAS PENEIRAS) | | | | | | IG | CLASSIF. TRB |
|-------------------------------|-----------------|----|--|------|------|-------|-------|--------|----|--------------|
| | LL | LP | 1" | 3/8" | Nº 4 | Nº 10 | Nº 40 | Nº 200 | | |
| SOLO SEM MISTURA - AMOSTRA 01 | NL | NP | 100 | 99 | 94 | 84 | 55 | 25 | 0 | A-2-4 |
| SOLO SEM MISTURA - AMOSTRA 02 | NL | NP | 100 | 99 | 95 | 85 | 57 | 23 | 0 | A-2-4 |
| SOLO SEM MISTURA - AMOSTRA 03 | NL | NP | 100 | 97 | 91 | 82 | 51 | 21 | 0 | A-2-4 |
| SOLO SEM MISTURA - AMOSTRA 04 | NL | NP | 100 | 97 | 93 | 83 | 56 | 24 | 0 | A-2-4 |
| SOLO SEM MISTURA - AMOSTRA 05 | NL | NP | 100 | 97 | 93 | 84 | 54 | 22 | 0 | A-2-4 |

A escolha dos aglomerantes em específico da cal hidratada foi devido a suas propriedades para estabilização de solos finos enquanto o cimento Portland foi escolhido devido ao seu grande uso na construção de rodovias (QUEIROZ et al., 2011).

MÉTODOS

Foram coletadas amostras em campo dos materiais solo de jazida, RAP, cimento e cal para os ensaios necessários, seguindo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT e do Departamento Nacional de Estradas e Rodagem – DNER. Primeiramente foram analisadas as granulometrias do solo de jazida de acordo com a norma DNER (1994d e 1998). Em seguida foi preparado o material para a compactação conforme ABNT (1988) e foi realizado o ensaio de compactação, conforme DNER (1994a) para determinação da umidade ótima do material analisado. Após obtenção dos resultados foi preparado o material para o ensaio de ISC, conforme DNER (1994c), para obtenção da resistência à penetração das misturas analisadas.

SOLO+RAP

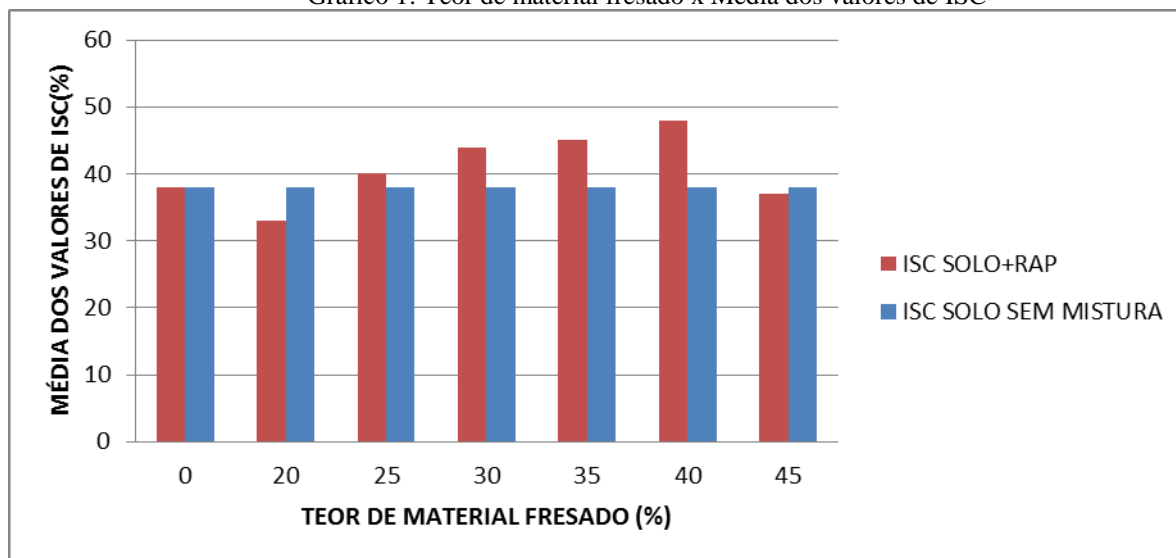
Foram realizadas adições de RAP nas proporções de 0%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40% e 45% ao solo de jazida referente ao peso total do solo para obter-se o comportamento das misturas em relação à amostra de solo. Segue a Tabela 4 com a granulometria da mistura SOLO + RAP nas proporções fixadas acima e a sua classificação de acordo com método TRB (BRAGA, 2014).

Tabela 4: Classificação das amostras das misturas de SOLO+RAP

| AMOSTRA | LIMITES FÍSICOS | | GRANULOMETRIA (% QUE PASSA NAS PENEIRAS) | | | | | | IG | CLASSIF. TRB |
|--------------------------|-----------------|----|--|------|------|-------|-------|--------|----|--------------|
| | LL | LP | 1" | 3/8" | Nº 4 | Nº 10 | Nº 40 | Nº 200 | | |
| SOLO+20%RAP - AMOSTRA 01 | NL | NP | 100 | 95 | 88 | 78 | 49 | 19 | | A-2-4 |
| SOLO+25%RAP - AMOSTRA 02 | NL | NP | 100 | 94 | 87 | 77 | 47 | 18 | | A-2-4 |
| SOLO+30%RAP - AMOSTRA 03 | NL | NP | 100 | 94 | 86 | 76 | 46 | 18 | | A-2-4 |
| SOLO+35%RAP - AMOSTRA 04 | NL | NP | 100 | 93 | 85 | 74 | 44 | 17 | | A-2-4 |
| SOLO+40%RAP - AMOSTRA 05 | NL | NP | 100 | 92 | 83 | 73 | 43 | 16 | | A-2-4 |
| SOLO+45%RAP - AMOSTRA 06 | NL | NP | 100 | 92 | 82 | 72 | 41 | 15 | | A-2-4 |

Foram realizados os ensaios de compactação e ISC para 5 amostras de solo sem mistura e para todas as proporções citadas anteriormente, obtendo-se o valor do ISC do solo sem mistura igual a 38%. Observou-se que a proporção de 60% SOLO + 40% RAP foi a mistura que obteve o melhor ISC, no valor de 48%, conforme o Gráfico 1, comparando-os com o valor do ISC do solo sem mistura (BRAGA, 2014).

Gráfico 1: Teor de material fresado x Média dos valores de ISC



Os valores da massa específica, umidade ótima e expansão das amostras de solo sem mistura e 60%SOLO+40%RAP estão expressos na Tabela 5:

Tabela 5: Resultado dos ensaios de compactação de solo sem mistura e da mistura 60% SOLO+40% RAP

| AMOSTRA | MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA MÁXIMA (g/cm ³) | UMIDADE ÓTIMA (%) | EXPANSÃO (%) |
|-------------------|--|-------------------|--------------|
| SOLO SEM MISTURA | 2,080 | 9,4 | 0,06 |
| SOLO 60% + MF 40% | 2,029 | 7,9 | 0,00 |

Sendo assim, utiliza-se esta proporção para os ensaios com as misturas de SOLO + RAP + CAL e SOLO + RAP + CIMENTO.

SOLO+RAP + CAL

Foi utilizada a aglomerante cal, misturando-a a proporção obtida no ensaio citado acima e foram adotadas as proporções de 2%, 3%, 4% e 5% de aglomerante em relação ao peso total da mistura 60% SOLO + 40% RAP.

Foram executados os ensaios de compactação e ISC, utilizando para o ensaio de compactação o método B - energia intermediária para todas as proporções (2%, 3%, 4% e 5%). Colocaram-se os corpos de prova imersos em água durante 04 (quatro) dias para analisar a expansão das misturas. Verifica-se que as variações dos valores de massa específica, umidade ótima e expansão foram poucas. Seguem os resultados na Tabela 6:

Tabela 6: Resultados dos ensaios com diferentes teores de Cal

| TEORES DE CAL (%) | UMIDADE (%) | MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA MÁXIMA (g/cm ³) | UMIDADE ÓTIMA (%) | ISC (%) | EXPANSÃO (%) |
|-------------------|-------------|--|-------------------|-----------|--------------|
| 2 | 3,5 | 1,928 | 7,6 | 21 | 0,09 |
| | 5,5 | 2,000 | | | |
| | 7,6 | 2,063 | | | |
| | 9,6 | 2,010 | | | |
| | 11,7 | 1,946 | | | |
| 3 | 3,6 | 1,945 | 7,7 | 27 | 0,07 |
| | 5,6 | 2,010 | | | |
| | 7,7 | 2,063 | | | |
| | 9,7 | 2,010 | | | |
| | 11,8 | 1,940 | | | |
| 4 | 3,7 | 1,945 | 7,8 | 32 | 0,06 |
| | 5,7 | 2,015 | | | |
| | 7,8 | 2,077 | | | |
| | 9,8 | 2,011 | | | |
| | 11,8 | 1,948 | | | |
| 5 | 4,1 | 1,924 | 8,4 | 35 | 0,08 |
| | 6,1 | 1,995 | | | |
| | 8,1 | 2,065 | | | |
| | 10,2 | 2,065 | | | |
| | 12,2 | 2,002 | | | |

SOLO+RAP + CIMENTO

Foi utilizado o aglomerante cimento Portland, misturando-o a proporção obtida no ensaio citado acima e foram adotadas as proporções de 2%, 3%, 4% e 5% de aglomerante em relação ao peso total da mistura 60% SOLO + 40% RAP.

Foram executados os ensaios de compactação e ISC, utilizando para o ensaio de compactação o método B - energia intermediária para todas as proporções (2%, 3%, 4% e 5%). Colocaram-se os corpos de prova imersos em água durante 04 (quatro) dias para analisar a expansão das misturas. A variação dos valores de massa específica e umidade ótima foram poucas e não houve expansão. Seguem os resultados dos ensaios na Tabela 7.

Tabela 7: Resultados dos ensaios com diferentes teores de Cimento

| TEORES DE CIMENTO (%) | UMIDADE (%) | MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA MÁXIMA (g/cm ³) | UMIDADE ÓTIMA (%) | ISC (%) | EXPANSÃO (%) |
|-----------------------|-------------|--|-------------------|------------|--------------|
| 2 | 3 | 1,916 | 7,1 | 127 | 0,00 |
| | 5 | 1,986 | | | |
| | 7,1 | 2,034 | | | |
| | 9,1 | 2,019 | | | |
| | 11,2 | 1,955 | | | |
| 3 | 3,3 | 1,922 | 8,2 | 143 | 0,00 |
| | 5,3 | 1,964 | | | |
| | 7,3 | 2,000 | | | |
| | 9,4 | 1,996 | | | |
| | 11,4 | 1,929 | | | |
| 4 | 3,4 | 1,963 | 8,2 | 145 | 0,00 |
| | 5,4 | 1,986 | | | |
| | 9,5 | 2,006 | | | |
| | 9,6 | 1,988 | | | |
| | 11,6 | 1,921 | | | |
| 5 | 3,1 | 1,904 | 8,2 | 173 | 0,00 |
| | 5,1 | 1,956 | | | |
| | 7,2 | 2,007 | | | |
| | 9,2 | 2,004 | | | |
| | 11,3 | 1,940 | | | |

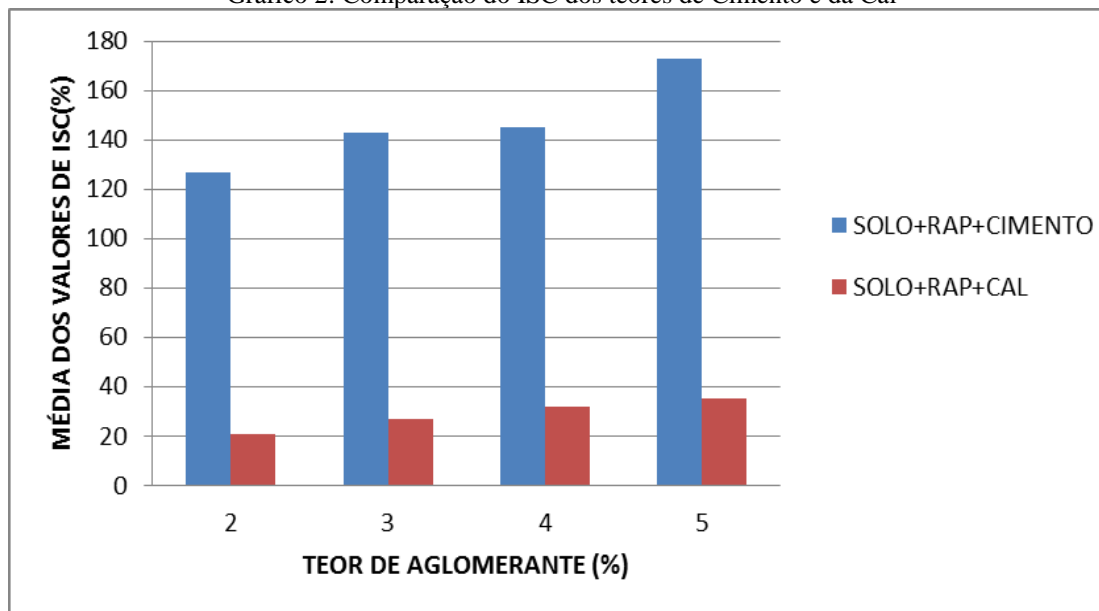
Para comparação, segue abaixo a Tabela 8 com os valores de ISC e expansão, segundo método B, ambos na energia Proctor intermediário, adotado pelo DNIT para solos melhorados com cimento (QUEIROZ, et al. 2011).

Tabela 8: Tabela de referência DNIT para ISC de solos melhorados com Cimento. QUEIROZ, et al. 2011.

| CAMADA DO PAVIMENTO | ISC | EXPANSÃO |
|---------------------|-------|----------------|
| SUB-BASE (2010b) | ≥ 30% | MÁXIMA DE 1,0% |
| BASE (2010a) | ≥ 80% | MÁXIMA DE 0,5% |

Pode-se observar no Gráfico 2 que os valores de capacidade de suporte (ISC) considerando o emprego de aglomerantes nas proporções de 2%, 3%, 4% e 5%, variaram respectivamente para a mistura de SOLO+RAP+CAL seguindo os valores de 21%, 27%, 32% e 35% e para a mistura de SOLO+RAP+CIMENTO foram verificados 127%, 143%, 145% e 173%.

Gráfico 2: Comparação do ISC dos teores de Cimento e da Cal



CONCLUSÕES

Dentro das proporções analisadas conclui-se que ao adicionar o material fresado (RAP) ao solo de jazida na proporção de 60%SOLO+40%RAP obtêm-se a maior capacidade de suporte da mistura com ISC igual a 48%. Já a mistura com proporção de 80%SOLO+20%RAP mostrou-se ser a que obteve a menor resistência com ISC equivalente a 33%.

Observa-se que os valores de capacidade de suporte (ISC) da mistura SOLO+RAP+CAL, em relação ao valor encontrado para o solo sem mistura, que apresentou ISC igual a 38%, obtiveram uma diminuição, divergindo assim das expectativas iniciais e constatando-se a inviabilidade da utilização da aglomerante cal com a mistura SOLO+RAP nas camadas de base por apresentar valores inferiores ao valor do ISC do solo de jazida.

Conforme foi observado, ao adicionar o aglomerante cimento Portland, os valores de ISC, em relação ao valor encontrado para o solo sem mistura, partindo da adição de 2% de cimento Portland encontram-se valores elevados sendo satisfatório para a utilização em camadas de base.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP, <<http://www.abcp.org.br/>>. Acesso em 29 de maio de 2014, as 09:37.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, NBR-6457. “**Amostra de Solos – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**”. Rio de Janeiro, 1988.

AZEVEDO, A. L. C., “**Estabilização de solos com adição de cal: um estudo a respeito da reversibilidade das reações que acontecem após a adição de cal**”. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. NUGEO. 2010.

BERNUCCI, L. B., MOTTA, L. M. G., CERATTI, J. A. P., SOARES, J. B., “**Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**”. Petrobrás. ABEDA. Rio de Janeiro, 2006.

BONFIM, V. “**Fresagem de Pavimentos Asfálticos**”. São Paulo: Fazendo Arte, 2007.

BRAGA, S. M., “**Melhoramento de Solos para Camadas de Pavimentos Rodoviários com Material Fresado e Estabilização Química**”, Monografia (Pós-graduação), UNICID, Fortaleza 2014.

CAPUTO, H. P., “**Mecânica dos solos e suas aplicações**”. Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A. Rio de Janeiro, 1996.

CHAVES, F. J., “**Caracterização Geotécnica de Solos da Formação Barreiras da Região Metropolitana de Fortaleza para Aplicação em Obras Rodoviárias**”. Tese (Mestrado). COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. 2000.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, DNER-ME 162/94. “**Solos - Ensaio de compactação em amostras trabalhadas**”. Rio de Janeiro, 1994a.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, DNER PRO 269/94: “**Projeto de Restauração de pavimentos flexíveis – TECNAPAV**”. Rio de Janeiro. 1994b.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, DNER PRO 011/79: “**Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis**”. Rio de Janeiro. 1979.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, DNER ME 049/94: “**Solos: Determinação do índice de suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas**”. Rio de Janeiro. 1994c.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, DNER-ME 080/94: **“Solos: análise granulométrica por peneiramento”**. Rio de Janeiro. 1994d.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, DNER-ME 083/98: **“Agregados: Análise granulométrica”**. Rio de Janeiro. 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, DNIT 142/2010 – ES: **“Pavimentação – Base de solo melhorado com cimento”**, Rio de Janeiro. 2010a.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, DNIT 140/2010 – ES: **“Pavimentação – Sub-base de solo melhorado com cimento”**, Rio de Janeiro. 2010b.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, DNIT: **“Manual de Pavimentação”**, Rio de Janeiro. 2006a.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, DNIT: **“Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos”**, Rio de Janeiro. 2006b.

PINTO, C. S., **“Curso básico de Mecânica dos solos em 16 aulas”**. 3ª edição, São Paulo: Oficina de textos, 2006.

QUEIROZ, F. A., BEJA, I. A., LUCENA, A. E. F. L., RODRIGUES, J. K. G., **“Utilização de Material Fresado para Aplicação em Camadas Estabilizadas de Base e Sub-Base de Pavimentos Rodoviários”**. Revista Pavimentação (ABPv), Rio de Janeiro, Ano VI, nº 21, p. 32 – 41, jun./jul./ago.2011.

RIPPER, E., **“Manual prático de materiais de construção”**. Editora PINI Ltda., 1995.

RODRIGUES, J. K. G; MORAIS, C. A. S; LUCENA, A. E. F. L; LUCENA, L. C. F. L. **“Manual, Avaliação e Restauração de Pavimentos de Vias Urbanas”**. Campina Grande, 2008.

SOUZA, M. L., **“Pavimentação Rodoviária”**. Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A., DNER-IPR. Rio de Janeiro, 1980.