

Investigação do comportamento mecânico de misturas solo-brita com utilização de solo com baixo suporte e diferentes graduações de brita calcária.

Douglas Ribeiro Oliveira

Centro Universitário de Patos de Minas, Patos de Minas, Brasil, douglasro@unipam.edu.br

Nancy Tiemi Isewaki

Centro Universitário de Patos de Minas, Patos de Minas, Brasil, nancyti@unipam.edu.br

André Luís Alves de Oliveira

Centro Universitário de Patos de Minas, Patos de Minas, Brasil, andreoliveira@unipam.edu.br

Thaís Isabela Simão Kardec

Centro Universitário de Patos de Minas, Patos de Minas, Brasil, thaiskardec@unipam.edu.br

RESUMO: O pavimento flexível é composto por camadas sucessivas denominadas subleito, base e revestimento, compostas pelo solo local, por um solo granular conhecido popularmente como cascalho e por concreto asfáltico, respectivamente. Os solos que compõem o subleito são protegidos da deformação proveniente de cargas através da colocação de camadas de materiais mais rígidos como os cascalhos, porém, solos com menores capacidades de suporte exigem ainda o reforço promovido por estabilização granulométrica, pela ação aglomerante de materiais como cimento, cal, betume ou pela incorporação de material granular, visando atenuar a influência dos carregamentos no subleito e evitar patologias no pavimento. Entretanto, atualmente, enfrentam-se problemas ligados à disponibilidade de jazidas de cascalhos e materiais granulares, bem como dificuldades para obtenção de licenciamento ambiental para exploração. Ainda, a região de Patos de Minas-MG é conhecida por apresentar solo silto-argiloso com baixos índices de suporte. Assim, ficam prejudicados o dimensionamento e a execução de pavimentos flexíveis, exigindo a substituição do material disponível, seu reforço, ou sua proteção por camadas mais espessas de material com maior capacidade portante. Trata-se nesse trabalho da avaliação de comportamento mecânico através do Índice de Suporte Califórnia (ISC) de uma mistura solo-brita com pequenas porcentagens de brita calcária. O intuito específico do estudo é investigar o consumo requerido de material granular para elevação da capacidade de suporte do solo de modo a garantir sua utilização como reforço de subleito, ou sub-base, almejando assim a menor relação brita/solo com ISC superior a 20%. Foram realizados ensaios de compactação, granulometria, limite de liquidez e plasticidade de modo a caracterizar o solo empregado. As misturas foram obtidas utilizando-se agregado calcário com diâmetros máximos ($D_{máx}$) 12,5 e 19 mm. Cada graduação compôs a mistura solo-brita com percentuais em massa de 5, 10, 15, 35 e 50% em relação ao solo na umidade ótima. Utilizou-se também uma graduação com o maior empacotamento obtido para as duas britas com percentuais de 10, 20 e 30%. Verificou-se que o aumento da capacidade de suporte do solo foi uma relação logarítmica para o agregado com diâmetro máximo 19 mm, e relações lineares para as demais misturas, todas fortemente correlacionadas ao teor de incorporação do material. Percebeu-se que a composição do agregado com maior empacotamento levou ao índice ISC desejado com a menor relação brita/solo, mostrando-se a mais viável.

PALAVRAS-CHAVE: Solo-brita, Subleito, Pavimento flexível, Índice de Suporte Califórnia.

1 INTRODUÇÃO

As rodovias são obras de infraestrutura de transportes que além de sua função lógica de integrar dois pontos, promovem o desenvolvimento socioeconômico dos municípios através do escoamento da produção. Verifica-se atualmente no Brasil um crescimento dos investimentos públicos e privados em obras de infraestrutura rodoviária, a fim de melhorar as condições de mobilidade, e garantir o escoamento da produção, sobretudo agrícola, pelo modal rodoviário até os portos para exportação. Deve-se considerar também que os avanços tecnológicos permitiram evolução considerável no desempenho e segurança dos veículos, além do aumento na capacidade de carga. Assim têm-se fluxos de veículos cada vez mais intensos, com cargas maiores, exigindo pavimentos mais resistentes e eficientes.

O projeto de pavimentos flexíveis para maiores capacidade portante e resistência à fadiga, exige o dimensionamento de camadas de maior espessura e com materiais de características técnicas mais nobres, de modo a proteger o subleito das deformações oriundas dos carregamentos. Regiões nas quais os solos apresentam baixos Índices de Suporte Califórnia, requerem cuidados especiais no projeto da estrutura dos pavimentos, para que as cargas provenientes do tráfego sejam atenuadas sem prejuízos à camada de subleito.

A proteção do subleito é garantida em projeto através do dimensionamento de camadas de base e sub-base mais espessas, tradicionalmente compostas por materiais naturais tais como cascalhos lateríticos, seixos de rio, ou composições de materiais britados, as quais demandam estudos específicos de dosagem e da qualidade do produto final. Porém, é cada vez mais recorrente em centros urbanos a escassez de materiais naturais e britados, devido ao aumento na distância das jazidas e às dificuldades para licenciamento de áreas de extração.

Soma-se às dificuldades de obtenção destes materiais, a baixa capacidade de suporte do solo

da região de Patos de Minas, tipicamente silto-argiloso de colorações amarela e vermelha majoritariamente. Com objetivo de minimizar o consumo de materiais granulares para bases e sub-bases, o trabalho pretende a análise de reforço de subleito com baixos percentuais de brita, com avaliação baseada nos Índices de Suporte Califórnia obtidos experimentalmente.

Um solo com baixo ISC foi reforçado com percentuais crescentes de três tipos de agregados. Utilizou-se agregado calcário para concreto com $D_{máx}$ de 19 mm e de 12,5 mm, e ainda estudou-se a melhor relação entre os dois agregados permitindo a criação do terceiro tipo de agregado, o qual apresenta menor índice de vazios.

2 METODOLOGIA

O presente estudo foi efetuado no laboratório de Mecânica dos Solos e Fundações do Centro Universitário de Patos de Minas - Unipam. Foram realizados ensaios de caracterização do solo com baixa capacidade portante e dos agregados calcários com graduações de 12,5 e 19 mm. Estudou-se ainda qual a melhor proporção dos agregados para execução de uma mistura com o menor índice de vazios.

Por fim estudou-se a capacidade de suporte de três misturas solo-brita em diferentes percentuais, através do ISC.

2.1 Caracterização do solo

O ensaio de granulometria foi realizado através do peneiramento normatizado pela NBR 7181 (ABNT, 1984c) objetivando caracterizar os diferentes tamanhos das partículas, e definir a composição percentual de pedregulho, areia, silte e argila, de acordo com as dimensões padronizadas na NBR 6502 (ABNT, 1995). O peneiramento pode ser conferido na Figura 1.

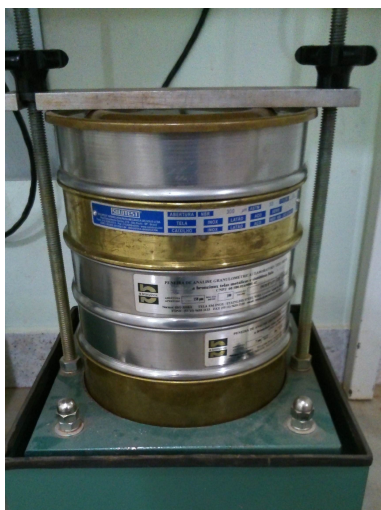


Figura 1. Composição granulométrica por peneiramento

O ensaio de limite de liquidez (LL) normatizado pela NBR 6459 (ABNT, 1984a) foi realizado com 8 diferentes umidades de modo a obter uma tendência linear mais precisa. O limite de plasticidade (LP) foi efetuado em conformidade com a NBR 7180 (ABNT, 1984b). Os equipamentos para os ensaios são visualizados na Figura 2.

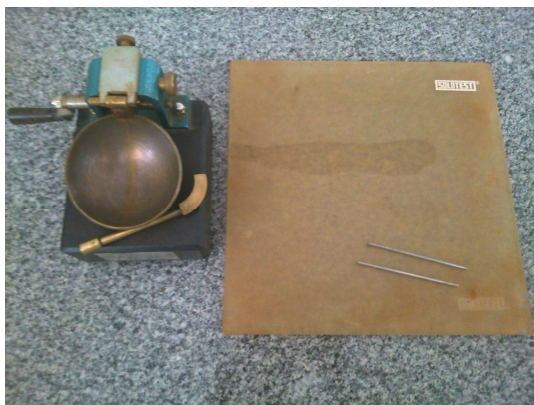


Figura 2. Aparelho Casagrande e Placa de vidro com gabaritos para determinação de LL e LP.

Realizou-se também o ensaio de compactação e de ISC do solo de modo a descobrir o teor de umidade ótima, e a capacidade portante do material caracterizado.

O ensaio de compactação foi efetuado sem reuso de solo, com secagem prévia até a umidade higroscópica, como determina o item 5.2 da NBR 7182 (ABNT, 1986). O ISC foi obtido através do ensaio padronizado pela NBR 9895 (ABNT, 1987). Na Figura 3 pode ser notado o cilindro compactado dentro do tanque de imersão.



Figura 3. Compactação e imersão do cilindro de ISC.

2.2 Caracterização dos agregados

Foram realizados ensaios de massa específica, massa unitária e determinação da mistura de agregados com maior densidade, ensaio conhecido como empacotamento.

A massa específica foi mensurada através do método de empuxo hidrostático normatizado pela NBR NM 53 (ABNT, 2009). A massa unitária por sua vez foi determinada de acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2006) pela relação entre a massa e o volume que esta ocupa no estado solto. A relação serve para a conversão de massa em volume ou vice-versa, e é importante em obras que utilizam método volumétrico para proporcionamento dos materiais. A determinação da massa unitária pode ser verificada através da Figura 4.



Figura 4. Determinação da massa unitária

A determinação do maior peso, ou do maior empacotamento foi efetuada de modo a descobrir a relação percentual ideal para a mistura dos dois agregados ensaiados. São seguidos os mesmos princípios da determinação da massa unitária, realizando os ensaios para diferentes percentuais de mistura dos agregados.

2.3 Procedimento das misturas

Foram efetuadas misturas com adição de 5, 10, 15, 35 e 50% de agregados com dimensão de 19 e 12,5 mm em relação à massa de solo na umidade ótima. Para o agregado obtido do empacotamento foram realizadas misturas com adição de 10, 20 e 30%.



Figura 5. Mistura do solo e agregados

A adoção da umidade ótima do solo como relação para os percentuais de agregados deve-se à baixa absorção percebida para os agregados, e de modo a não alterar o teor de umidade da fração de finos das misturas, causando divergências entre os resultados de ISC.

O ISC foi realizado de acordo com as determinações da NBR 9895 (ABNT, 1987) para um cilindro de cada mistura.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo analisado, segundo a NBR 6502 (ABNT, 1995) tem 2,7% de pedregulho, 18% de areia e 79,3% de argila e silte, que não podem ser discriminados pelo método do peneiramento. A distribuição pode ser visualizada no Gráfico 1.

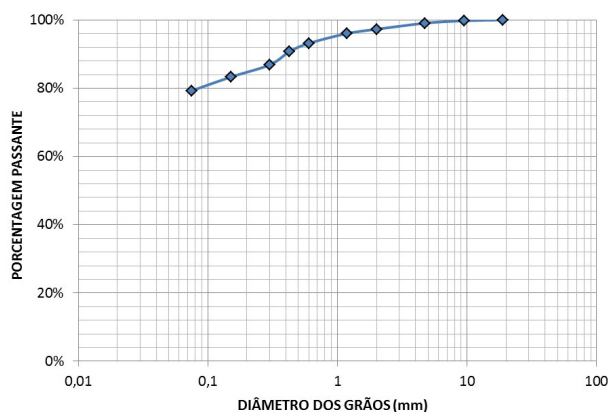


Gráfico 1. Distribuição granulométrica do solo

O LL e o LP encontrados foram 38,3% e 36% respectivamente, resultando IP de 2,3%. Abaixo no Gráfico 2 visualizam-se os pontos de umidade que serviram à determinação do limite de liquidez.

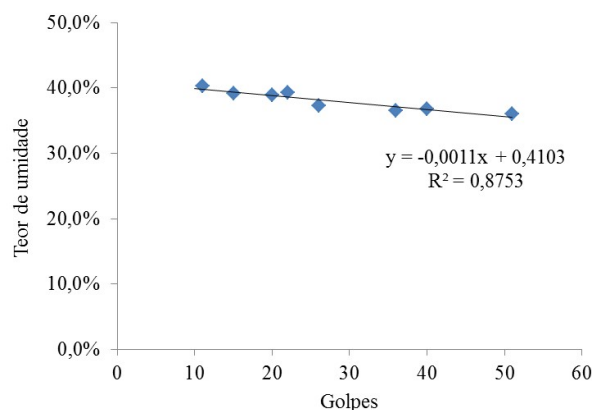


Gráfico 2. Determinação do limite de liquidez

Com os dados obtidos, o solo foi classificado através do Sistema Unificado de Classificação de Solos e no Sistema Rodoviário de Classificação. Esses dois sistemas baseiam-se nos resultados de laboratório, LL, LP, IP e percentual de material passante nas peneiras de 2, 0.42 e 0.075 mm (mesh 10, 40 e 200).

O Sistema Unificado de Classificação de Solos foi criado pelo engenheiro Arthur Casagrande e considera como principais referências os valores de limite de liquidez, índice de plasticidade e a granulometria do solo. Primeiramente os solos são separados em dois grupos, graduação grossa e fina, de acordo com a porcentagem passante na peneira nº200.

O material estudado apresentou 79,3 % de material passante na peneira nº 200, o que o caracterizou como material fino. Tendo como

base os valores de LL de 38,3%, IP de 2,3%, e a carta de plasticidade de Casagrande, o solo recebe a denominação ML ou CL, característica de solos silto-argilosos com baixa plasticidade, ou de argilas magras, ambos com baixa compressibilidade, pouca coesão e alta permeabilidade, de acordo com Brasil (2006).

O Sistema Rodoviário de acordo com Brasil (2006) reúne os solos em grupos e subgrupos, em função dos índices granulométricos, limites de consistência e do índice de grupo (IG), visando conceituar o comportamento do solo para o uso em subleito de pavimento flexível.

Com percentuais passantes de 97.3%, 90.7%, e 79.3%, nas peneiras 10, 40 e 200, respectivamente, e IG calculado de 8, o solo foi classificado como solo siltoso no Grupo A4, e tem comportamento previsto como subleito de sofrível a mau.

A umidade ótima obtida para o solo foi de 28,5% e o ISC de apenas 2,5%. Souza (1981) cita que materiais com ISC de 2% devem ser substituídos na espessura mínima de 1 m, em vez de serem protegidos pelo dimensionamento.

Os agregados analisados tiveram massas unitárias de 1380 e 1400 kg/m³; massas específicas de 2720 kg/m³; e absorções de 0,3 e 0,4%, para as dimensões máximas de 19 mm e 12,5 mm respectivamente. O proporcionamento da mistura de agregados com maior densidade revelou o percentual de 50% de cada dimensão, como pode ser verificado através do pico de densidade no Gráfico 3.

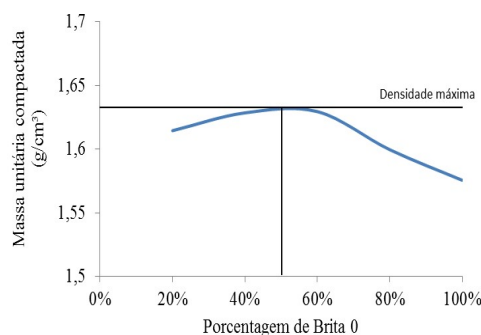


Gráfico 3. Análise do percentual de mistura mais densa.

A adoção do parâmetro almejado de ISC igual a 20% leva em conta o método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNER, no qual é determinado que ainda que o

ISC da sub-base seja superior a 20%, a espessura do pavimento para sua proteção deve ser calculada como se o mesmo fosse 20% (SOUZA, 1981).

De acordo com o método de obtenção das espessuras demonstrado em Souza (1981), ao substituir um material de subleito com ISC 3% por um reforço, ou sub-base com ISC 20%, pode-se reduzir a espessura total do pavimento em 70 cm para solicitações de N igual a 10⁶.

Fica evidenciado que a execução de um reforço com pequenas incorporações de material granular se mostra mais viável que a utilização de até 70 cm de espessura de materiais mais nobres, e que a remoção, substituição de até 1 m de espessura de subleito.

Buscando os resultados de ISC de 20%, as análises das misturas demonstraram correlações fortes ($r^2 > 90\%$) com o percentual de agregado. A adição de agregado com Dmáx de 12,5 mm (brita 0) resultou uma relação linear crescente, vista no Gráfico 4, com ISC estimado de 20% para um teor de 43% de agregado.

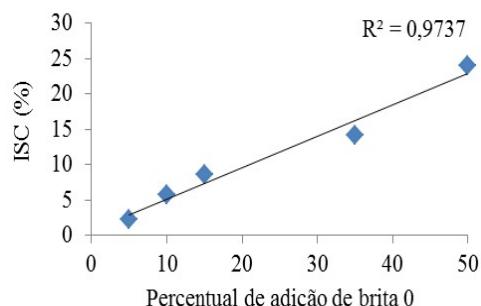


Gráfico 4. ISC em função do teor de agregado 12,5 mm

A adição de agregado de Dmáx 19 mm demonstrou comportamento logarítmico. O ISC de 20% é estimado para adição de 16,5% de agregado, porém a tendência dos dados sugere que a adição de mais agregado não influencia proporcionalmente os resultados de ISC.

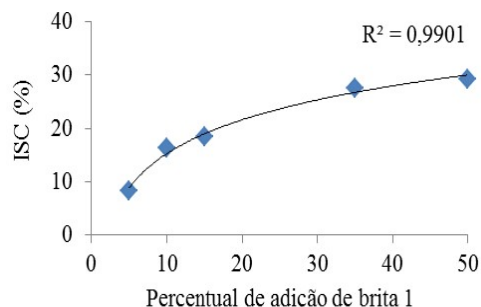


Gráfico 5. ISC em função do teor de agregado 19 mm

Os ensaios da mistura do solo com o agregado composto pelas duas britas resultou em uma tendência linear com alteração acentuada dos valores de suporte em relação aos teores de agregado. O índice de ISC 20% é estimado para adições de 22%.

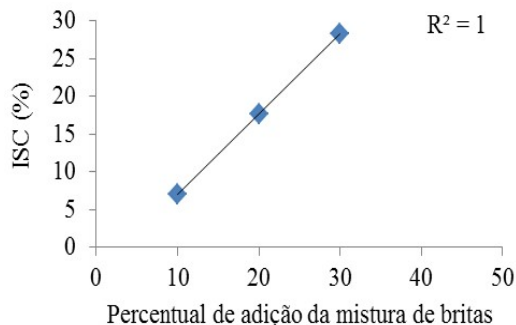


Gráfico 6. ISC em função do teor de agregado empacotado

Assim, os resultados demonstram que as três misturas de solo brita propostas atingiram o CBR mínimo de 20% para utilização em subleito ou sub-base. No entanto, apenas o acréscimo de Dmax 12,5mm e da composição dos dois agregados apresentaram comportamentos lineares, ou seja, valores maiores de ISC diretamente proporcionais ao acréscimo de agregado.

4 CONCLUSÕES

Através dos estudos de caracterização, verificou-se que o solo analisado é do tipo ML ou CL, pelo método Unificado, e Solo do Grupo A-4, pelo método Rodoviário, apresentando características de solos siltosos, de qualidade sofrível a mau para serem utilizados em subleitos, o que foi comprovado pelo ISC, que resultou em ISC de 2,5%.

Pode-se perceber com o estudo, que a partir das misturas com acréscimo de brita em diferentes proporções, o solo da região conseguiu atingir valores de suporte adequados para reforço de subleito ou subbase, com baixos percentuais de adição de material granular, ou seja, apresentaram ISC > 20%.

Foi possível também entender que não houve relação do ISC com o D_{máx} dos agregados, e que o menor índice de vazios leva a ganhos de

resistência mais acentuados em função do percentual de adição.

Portanto, para utilizar o solo estudado como reforço de subleito, ou sub-base, alcançando o índice almejado de ISC > 20%, o agregado brita calcária de D_{máx} 19 mm se mostrou mais vantajoso, pois foi necessário acréscimo de apenas 16,5%. Porém para maiores valores de ISC, o agregado ideal é a composição de brita/solo de menor índice de vazios, obtida através do empacotamento, sendo necessário acréscimo de 22% para o ISC de 20%.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Laboratório de Tecnologia de Materiais de Construção Campus I do Unipam, aos seus colaboradores, responsáveis e ao Centro Universitário de Patos de Minas, que permitiram e contribuíram com a pesquisa realizada.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459. *Solo - Determinação do limite de liquidez*, 2016.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6502. *Rochas e solos*, 1995.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180. *Solo- Determinação do limite de plasticidade*, 2016.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181. *Solo - Análise granulométrica*, 1988.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7182. *Solo - Ensaio de compactação*, 1988.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9895. *Solo - Índice de Suporte Califórnia*, 1987.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 45. *Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios*, 2006.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 53. *Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água*, 2009.
- Brasil. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. *Manual de Pavimentação*. 3. ed. - Rio de Janeiro, 2006, 274 p.
- Souza, M.L. *Método de projeto de pavimentos flexíveis*. 3. ed. Rio de Janeiro, IPR., 1981.