

Avaliação da Resistência à Tração da Mistura Solo-cimento Portland-RoadCem®

Levi D'Araújo Nogueira

Grupo de Geotecnia/UFAM, Manaus, Brasil, levidaraujo.n@gmail.com

Paulo Victor de Carvalho Figueiredo

Grupo de Geotecnia/UFAM, Manaus, Brasil, paulovcarvalho15@gmail.com

Cláudia Ávila Barbosa

Grupo de Geotecnia/UFAM, Manaus, Brasil, claudiaavila.eng@gmail.com

Consuelo Alves da Frota

Grupo de Geotecnia/UFAM, Manaus, Brasil, cafrota@ufam.edu.br

RESUMO: A região Amazônica, por sua singular localização e características próprias, depara-se constantemente com desafios na prática da Engenharia. Um deles é a enorme dificuldade na obtenção de material pétreo para o emprego na construção civil, uma vez que o substrato rochoso encontra-se, em geral, abaixo de uma espessa camada de material argiloso, a qual age como obstáculo e, em certos casos, impossibilita a extração pétrea. Tal realidade suscita a busca por materiais e tecnologias alternativas que aproveitem os recursos disponíveis na região. Nesse contexto, analisou-se o comportamento geotécnico da mistura solo-cimento Portland-RoadCem®. O material natural característico da região é proveniente do Campus da Universidade Federal do Amazonas em Manaus, e sua escolha tem como objetivo avaliar seu desempenho para aplicação em subcamadas de pavimentos. A participação do cimento Portland CP II E32 tem como objetivo aumentar a rigidez da mistura, tornando-a mais resistente e, assim, acrescer sua capacidade de suporte. O aditivo RoadCem®, formado pela composição de metais alcalinos e zeólitas, por sua vez, tem a finalidade de solucionar o grave problema da excessiva umidade natural dos solos regionais, como também melhorar as características mecânicas da composição. Evita-se, assim, empréstimo, transporte e descarte de material, de acordo com as condições técnicas-econômicas e, sobretudo, ambientais. Neste trabalho, foram caracterizados o material e as misturas. Para o solo “in natura”, determinou-se a massa específica dos grãos (NBR 6508 – 88), a granulometria (NBR 7181-84), o limite de liquidez (NBR 6459/84), o limite de plasticidade (NBR 7180/84), e os parâmetros de compactação na energia intermediária (NBR 7182-86). As composições foram submetidas aos ensaios de limite de liquidez (NBR 6459/84) e limite de plasticidade (NBR 7180/84), e compactação na energia intermediária (NBR 7182-86). Na avaliação do desempenho mecânico, determinou-se a resistência à tração por compressão diametral, segundo as recomendações da norma DNIT 136/2010-ME, tanto para o solo natural quanto para as misturas. Nestas composições participarão o cimento e ao RoadCem®, de acordo com as porcentagens de 13,25% e 0,13%, respectivamente. Os resultados mostraram um aumento da RT das misturas estudadas relativo ao material natural.

PALAVRAS-CHAVE: Solo, Resistência à Tração, Cimento Portland, Amazônia, RoadCem®

1 INTRODUÇÃO

A prática da Engenharia Geotécnica na Amazônia se caracteriza por demandar constantemente a busca por novos materiais e soluções técnicas que se adequem à realidade da região. Na construção e manutenção de estradas, o principal desafio está em se encontrar matéria-prima que atenda aos parâmetros técnicos e, ao mesmo tempo, não comprometa a viabilidade econômica do projeto por conta dos custos de transporte e logística.

Por isso, a técnica de estabilização tem sido largamente empregada na melhoria de solos destinados à construção de estradas. Vogt (1967) citado por Balbo (1996) define estabilização como a técnica de melhorar as propriedades naturais do solo, de forma a torná-lo mais adequado a uma determinada aplicação, por meio da adição de outro material. Dependendo do método, a estabilização pode ser mecânica, onde se aplica uma correção granulométrica, ou físico-química, com a participação de materiais como cimento e cal, entre outros.

No caso da estabilização química, o aditivo produz alterações na estrutura do solo, melhorando suas propriedades físicas e mecânicas, possibilitando seu emprego na pavimentação. Os aditivos químicos utilizados podem ser desde produtos industrializados, até subprodutos e resíduos industriais. (FRANÇA, 2003).

Um dos materiais usados na estabilização química de uso bastante difundido é o cimento Portland. Por meio da reação de hidratação, o cimento preenche os vazios do solo, envolvendo as partículas e criando, assim, uma matriz que fixa os grãos não aderidos. Tal processo, além de aumentar a resistência da mistura, a torna menos sensível às mudanças de umidade, diminuindo os esforços de tração e compressão no interior da massa de solo. (LILLEY 1971 e KÉZDI 1979 citados por BALBO 1996)

Outros aditivos também podem ser incorporados à mistura solo+cimento, de forma a realçar as vantagens proporcionadas pelo uso do cimento Portland, além de possibilitar o emprego dessa técnica em ambientes com umidades elevadas e de difícil controle de

parâmetros técnicos em campo. Esse é o caso do *RoadCem®*, um estabilizante químico desenvolvido para aplicação em construção de estradas e outras obras de terra, com a prerrogativa de, junto com o cimento ou outro material pozolânico, proporcionar capacidade de suporte para qualquer tipo de solo. Ressaltando-se o seu diferencial de poder ser aplicado em um amplo intervalo de umidade, sem prejuízo na resistência final da mistura. (ROJI, et al 2010)

Nesse contexto, analisou-se neste trabalho a mistura de solos naturais, em geral, não adequados à pavimentação, com cimento Portland e o aditivo *RoadCem®*. Teve-se como objetivo, verificar o desempenho das misturas sob o ponto de vista mecânico. Para tal, determinou-se a resistência à tração por compressão diametral.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O solo natural, proveniente do campus da Universidade Federal do Amazonas, na cidade de Manaus, foi inicialmente caracterizado. Determinando-se a massa específica dos grãos (NBR 6508 – 88), a textura pelos ensaios de granulometria por peneiramento e sedimentação, segundo as recomendações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 7181-84), além do índice de plasticidade, a partir dos ensaios de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade, balizados pelas NBR 6459/84 e NBR 7180/84, respectivamente. Também foram calculados os parâmetros de compactação na energia intermediária (NBR 7182-86) e sua resistência à tração por meio do ensaio de compressão diametral (DNIT 136/2010-ME).

Segundo o guia básico de uso do o cimento Portland CP II E, este material é formado de 94% a 56% de clínquer+gesso e 6% a 34% de escória, podendo ou não ter adição de material carbonático no limite máximo de 10% em massa. Ainda de acordo com a citada orientação, dentre as diversas aplicações desse material tem-se a mistura solo-cimento.

Utilizou-se também o aditivo *RoadCem®*,

material formado pela composição de metais alcalinos e zeólitas que, atuando no processo de hidratação do cimento, melhora o processo de cristalização, formando estruturas cristalinas que melhoram a resistência e flexibilidade das camadas estabilizadas.

Tais aditivos foram misturados ao material “in natura”. A dosagem das misturas seguiu as instruções fornecidas pelo fabricante do *RoadCem®* que recomenda as seguintes quantidades para os solos da região: 2,20 kg/m³ de *RoadCem®* e 220,00 kg/m³ de cimento Portland (MARJANOVIC et al, 2009 e 2010). Tais quantidades representam em termos percentuais, respectivamente, 0,13% e 13,25%, levando-se em consideração a massa específica aparente seca máxima resultante do ensaio de compactação.

Em um primeiro momento, misturou-se ao solo apenas o cimento Portland CPII – E32 na dosagem descrita acima. Posteriormente, acrescentou-se o aditivo *RoadCem®*, acompanhando o prescrito pelo fabricante.

Para ambas a mistura solo-cimento Portland e a mistura solo-cimento Portland - *RoadCem®*, realizaram-se os ensaios de Limite de Liquidez (NBR 6459/84) e Limite de Plasticidade (NBR 7180/84), além do ensaio de compactação na energia intermediária (NBR 7182-86).

Quanto ao comportamento mecânico do solo e das misturas, determinou-se a Resistência à Tração (RT) por meio do ensaio de compressão diametral (DNIT 136/2010-ME). Os corpos-de-prova foram moldados para diferentes teores de umidade, e submetidos a cura por um período de 7 dias.

Durante este período, umidificava-se a superfície dos corpos-de-prova, uma vez ao dia, por meio de um *spray*. Ao final dessa fase, os corpos-de-prova foram submetidos ao ensaio mecânico.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A massa específica dos grãos foi determinada para o solo natural, de acordo com a NBR 6508/88, obtendo-se o valor de 2,67 g/cm³.

Por meio dos ensaios de granulometria por peneiramento e sedimentação, seguindo-se a NBR 7181-84, encontrou-se a textura do solo natural. A Figura 1 mostra a curva granulométrica obtida para o solo, que apresentou a seguinte composição: 3,18% areia, 23,87% silte e 72,89%.

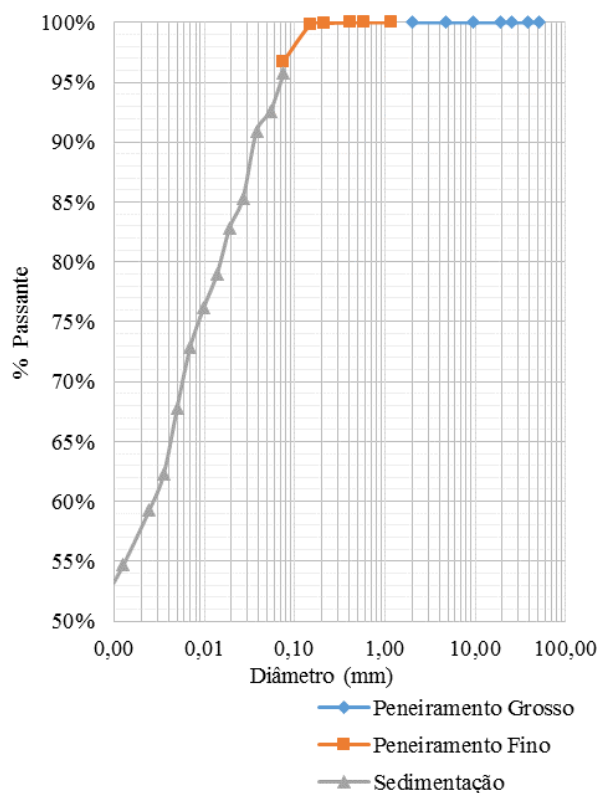


Figura 1. Curva Granulométrica.

Realizaram-se os ensaios de Limite de Liquidez (NBR 6459/84) e Limite de Plasticidade (NBR 7180/84) para o solo e para as misturas solo + cimento *Portland* (13,25%). Os resultados, presentes na Tabela 2, revelam a diminuição do Índice de Plasticidade após o acréscimo do cimento.

Tabela 2. Índices de Plasticidade

Material	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Solo	80	40	40
Solo + 13,25% Cimento	51	38	13

Realizou-se também o ensaio de compactação na energia intermediária, seguindo as recomendações da norma NBR 7182-86, para o solo natural, e as misturas solo + cimento Portland (13,25%), e solo + cimento Portland

(13,25%) + *RoadCem*® (0,13%) Os resultados apresentados na Figura 2, mostram: a) com a incorporação do cimento ao solo natural, observou-se o aumento da massa específica aparente seca máxima e a diminuição da umidade ótima em comparação com os resultados para o solo natural, que antes eram, respectivamente, de 1,35 g/cm³ e 34% e passaram a ser de 1,42 g/cm³ e 32,5%; b) adição do *RoadCem*® à mistura também gerou aumento da massa específica aparente seca máxima e diminuição da umidade ótima em relação a mistura de solo + cimento, apresentando massa específica aparente seca máxima de 1,45 g/cm³ e umidade ótima de 28,5%.

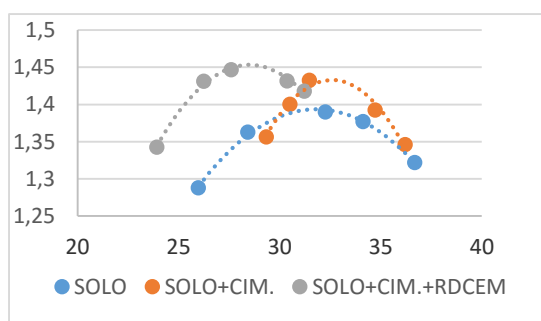


Figura 2. Curvas de Compactação

Para analisar o desempenho mecânico tanto do solo quanto das misturas (solo + cimento Portland 13,25% e solo + cimento Portland 13,25% + *RoadCem*® 0,13%) executou-se o ensaio de resistência à tração. Os corpos de prova foram moldados nos teores de umidade referentes ao primeiro valor do ramo seco, à umidade ótima e ao último valor do ramo úmido, alusivos as curvas mostradas. Respeitante a cura dos corpos de prova, simulou-se a situação de campo, umidificando-se a mistura diariamente por 7 dias. Os resultados desse experimento são mostrados na Tabela 3.

CORPO	COMPOSIÇÃO	σ_r
CP-01	SOLO NATURAL	0,45
CP-03	SOLO + CIM.	0,70
CP-04	SOLO + CIM.	0,70
CP-05	SOLO + CIM.	0,70
CP-06	SOLO + CIM.	0,75
CP-07	SOLO + CIM.	0,75
CP-22	SOLO + CIM. + RDCEM	0,55
CP-23	SOLO + CIM. + RDCEM	0,70

Tabela 3. Resultados do ensaio de Resistência à Tração

Moraes *et al* estudaram um solo residual de arenito estabilizado com cimento. Notaram que a resistência à compressão diametral aumentou linearmente com o acréscimo do teor de cimento incorporado à mistura. Além disso, a redução da porosidade do material acarretou ganhos de resistência, independentemente da quantidade do aditivo incluído.

Em relação aos teores de umidade, BOSZCZOWSKI (2008) constatou que, para os solos analisados, a ruptura ocorria de forma frágil para baixos teores de umidade, enquanto para valores mais elevados a ruptura acontecia na forma dúctil, levando a maiores deformações para se atingir a resistência máxima.

Na pesquisa em pauta observou-se que, para a mistura solo + 13,25% cimento Portland, o aumento no teor de umidade ocasionou ganho de resistência à tração, dentro do intervalo verificado (de 28% a 36%). Respeitante à mistura solo + 13,25% cimento Portland + 0,13% *RoadCem*, também notou-se semelhante comportamento. Portanto, os resultados se mostraram coerentes alusivos aos encontrados

na literatura, uma vez que houve aumento de resistência com o acréscimo de cimento à mistura e quando se elevou o teor de umidade dos corpos-de-prova, dentro do intervalo estudado, que foi de 24% a 32%.

Merece também destaque o trabalho de Wu (2015) com misturas solos argilosos + cimento Portland + *Roadcem*. Encontrou valores similares aos determinados nesse estudo desenvolvido com solos de Manaus, particularmente referente a resistência à tração para 7 dias de cura. Ressalta-se ainda que a adição do *RoadCem* às misturas não alterou significativamente as resistências à tração para as umidades analisadas. Vale ressaltar que não se seguiu as orientações laboratoriais do fabricante no que tange os procedimentos laboratoriais de ensaios. Etapa ainda a ser realizada. Optou-se por simular as condições encontradas e executadas em campo, com condições de umidade e temperatura características da região.

4 CONCLUSÕES

A técnica de estabilização com cimento, há muito utilizada para melhorar as características de solos a fim de utilizá-los em pavimentação se mostrou eficaz, diminuindo o índice de plasticidade do solo em natura e aumentando sua resistência à tração. Notou-se também que, de acordo com os resultados do ensaio de compactação na energia intermediária, a mistura solo + cimento Portland (13,25%) apresentou uma maior massa específica aparente seca máxima e menor umidade ótima comparada aos resultados obtidos para o solo natural. A mistura solo + cimento Portland (13,25%) + *RoadCem*® (0,13%) também indicou aumento da massa específica aparente seca máxima e diminuição da umidade ótima. Em relação ao desempenho mecânico, pode-se constatar aumento da RT após a incorporação do cimento e ganhos progressivos à medida em que se acresceu o teor de umidade dos corpos-de-prova. Todavia, não foi possível observar, diferenças significativas no parâmetro de resistência após o acréscimo do *RoadCem* à mistura. Contudo, esse é o início do projeto.

Novos ensaios serão realizados, visando dar continuidade ao estudo, notadamente levando-se em conta um intervalo de umidade mais amplo, diferentes dosagens dos materiais e, em particular com uma maior participação do *RoadCem*®.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa e auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

- ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Guia básico de utilização do cimento portland*. 7.ed. S.,o Paulo, 2002. 28p. (BT-106)
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459, Solo – *Determinação do Limite de Liquidez*. Rio de Janeiro, 1984. 6p.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6508, *Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica*. Rio de Janeiro, 1988. 8p.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180, Solo – *Determinação do Limite de Plasticidade*. Rio de Janeiro, 1984. 5p.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181-84, Solo: *Análise Granulométrica*, (1984).
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182-86, Solo: *ensaio de compactação*, (1986).
- BALBO, J.T. (1996). *Alguns conceitos diferenciadores dos materiais estabilizados com cimento*. 7ª Reunião Anual de Pavimentação Urbana, São José dos Campos, SP, pp. 275-294.
- BOSZCZOWSKI, R. B. *Avaliação de propriedades mecânicas e hidráulicas de um perfil de alteração de granito-gnaiss de Curitiba*, PR / Roberta Bomfim Boszczowski; orientador: Tácio Mauro P. de Campos – Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Civil, 2008.
- DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURAS DE TRANSPORTES. DNIT 136, *Pavimentação asfáltica – Mistura asfáltica – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 2010. 6p.
- FRANÇA, F.C. (2003). *Estabilização química de solos para fins rodoviários: estudo de caso com o produto “RBI Grade 81”*, Viçosa, MG, 104p.
- MORAES, R.Z; FESTUGATO, L.; CONSOLI, N. C. *Resistência à compressão diametral de solo*

- artificialmente cimentado reforçado com fibras de polipropileno*. Porto Alegre, RS, 5p.
- Marjanovic, C.E.G. Egyed, P. de La Roij, R. de La Roij. *RoadCem® A. Pavement Construction using PowerCem*, Civil engineering, Netherlands, 2009
- Marjanovic, C.E.G. Egyed, P. de La Roij, R. de La Roij. *RoadCem® Lab Manual for Amazon Clay*, Civil Engineering, Netherlands, 2010.
- WU, P. *Cement Stabilized Materials with Use of RoadCem® Additive*, Section of Pavement Engineering, Delft University of Technology, Netherlands, 2015