



Estudo da Viabilidade de Uso da Areia do Horto de Juazeiro do Norte – CE em Obras de Pavimentação

Mateus Evangelista da Silva¹, Sávilla Vieira Costa¹, João Barbosa de Souza Neto¹, Ana Patrícia Nunes Bandeira¹, Vinícius de Sousa Santos¹

¹Centro de Ciências e Tecnologia– Universidade Federal do Cariri (UFCA) – Juazeiro do Norte – CE – Brasil

{95.mateusevangelista,savillacosta}@gmail.com, {joao.barbosa, ana.bandeira}@ufca.edu.br, vinicius.kol@hotmail.com

Abstract. *The different layers that make up the structure of a pavement require characteristics capable of meeting the requesting efforts arising from vehicular traffic. The present work aims to present the results of physical and mechanical characterization tests of a sand from the city of Juazeiro do Norte / CE, obtained through: granulometric analysis tests (before and after compaction), compaction, CBR and shear direct. The comparison between the grain size curves of the natural material and after compaction indicated grain breakage in the process. The samples submitted to the direct shear test showed higher peaks of shear stress when compacted with modified energy, compared to the results obtained for the intermediate energy, as expected. Sand samples showed CBR values of 36.1% and 49.9%, when compacted in Intermediate and Modified Proctor energies, respectively, without expansion. According to the results obtained, it was concluded that the tested Areia do Horto can be used as a pavement sub-base, when compacted in intermediate or modified energy; and its use as a base is conditioned to the study of its behavior when subjected to stabilization processes and light traffic.*

Resumo. *As diferentes camadas que compõem a estrutura de um pavimento exigem características capazes de atender aos esforços solicitantes oriundos do tráfego de veículos. O presente trabalho tem como objetivo apresentar resultados de ensaios de caracterização física e mecânica de uma areia proveniente do Município de Juazeiro do Norte / CE, obtidos por meio de: ensaios de análise granulométrica (antes e após a compactação), compactação, CBR e cisalhamento direto. A comparação entre as curvas granulométricas do material natural e após a compactação indicou quebra de grãos no processo. As amostras submetidas ao ensaio de cisalhamento direto apresentaram maiores picos de tensões cisalhantes quando compactadas com energia modificada, comparando-se aos resultados obtidos para a energia intermediária, como era de se esperar. As amostras da Areia apresentaram valores de CBR de 36,1% e 49,9%, quando compactadas nas energias Proctor Intermediária e Modificada respectivamente, sem expansão. De acordo com os resultados obtidos, concluiu-se que a Areia do Horto ensaiada poderá ser empregada como sub-base de pavimentos, quando compactada na energia intermediária ou modificada; e sua utilização como base fica condicionada ao estudo do seu comportamento quando submetido a processos de estabilização e tráfego leve.*



1. Introdução

As areias e rochas empregadas na construção civil são extraídas na natureza e são recursos não renováveis. A relação entre a quantidade de reservas existentes e aquelas realmente disponíveis para uso é impactada por fatores externos à geologia. Dessa forma, “Apesar da ocorrência de volume considerado de solos granulares na região semiárida do Nordeste, com ocorrências de solos de comportamento laterítico em algumas localidades. Em alguns casos, a distância entre a jazida e o local da obra torna a utilização do material inviável, sendo necessário analisar as características dos materiais disponíveis que se encontram mais próximo da obra.

Caputo (2015) destaca que o procedimento de compactação dos solos, intenciona a melhoria de suas características, não apenas em relação à resistência, mas também nos aspectos de permeabilidade, absorção de água e compressibilidade. Alguns materiais apresentam significativo ganho de resistência com o aumento da energia de compactação, medida através de ensaios de CBR; no entanto, em materiais friáveis, elevadas energias podem provocar a quebra dos grãos.

A integridade e a quebra das partículas podem provocar mudanças de tensões, interferindo em outras propriedades dos solos granulares, tais como: resistência à compressão, forma da curva tensão-deformação, dissipação de poro-pressão e permeabilidade. Por essa razão é importante identificar e quantificar as implicações que a quebra de grãos provoca nas propriedades dos solos (LADE et al., 1996).

Na Região do Cariri, Sul do Ceará, é comum a utilização, em obras rodoviárias, de uma areia residual de rochas graníticas-gnaissica. No município de Juazeiro do Norte, localizado nesta região, o material granular (areia residual), conhecido regionalmente como Areia do Horto, pelo motivo de ser oriundo do bairro e colina denominados de Horto, é bastante utilizado nas camadas de pavimentos. O bairro do Horto caracteriza-se, geologicamente, por rochas granitoides formadas essencialmente por mica, quartzo e feldspato. A composição mineralógica do solo e a natureza das partículas têm levado a questionamentos quanto à viabilidade técnica desse material em obras de pavimentação, visto que as partículas apresentam compor um material friável, presumindo-se assim tratar-se de material pouco resistente às cargas ao qual o pavimento está submetido e aos esforços de compactação durante a execução dos pavimentos.

Este trabalho apresenta resultados de um estudo realizado com a Areia do Horto, no que se refere aos parâmetros de resistência ao cisalhamento e aos efeitos da possível quebra de grãos quando submetida à compactação, com vista na análise da viabilidade quanto à utilização do material, em aterros reforçados e em camadas de base e sub-base de pavimentos rodoviários.

2. Referencial Teórico

2.1. Importância do estudo dos solos em obras de pavimentação

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (2006) considera todos os tipos de materiais, orgânicos ou inorgânicos, não consolidados ou parcialmente cimentados, que podem ser encontrados na superfície terrestre como solo.



Para Roque (2017), o solo, por possuir fundamental importância nas obras de engenharia, afinal sobre ele estarão assentes grandes estruturas, é fundamental que este atenda às solicitações exigidas.

Conforme Muñetón (2013), os avanços na indústria e o crescimento populacional observados atualmente, demandam uma infraestrutura que apresente maior qualidade, atendendo aos critérios técnicos de funcionalidade, segurança, durabilidade e conforto do usuário e que, além disso, possa produzir um menor impacto ambiental e econômico, sendo inegável por esse ponto de vista, a importância de se utilizar materiais de boa qualidade em obras de infraestrutura rodoviária.

Ainda de acordo com Muñetón (2013), o principal problema encontrado na exigência técnica em obras de infraestrutura rodoviária está na baixa disponibilidade de materiais adequados em locais de exploração, com reduzido impacto ambiental e custo.

Nesse sentido, para uma utilização adequada e desenvolvimento seguro de projetos de engenharia, é evidente a necessidade de se compreender as características e a previsão das propriedades dos solos adotados para cada tipo de obra.

2.2. O pavimento rodoviário

Segundo o DNIT (2006), o pavimento rodoviário pode ser definido como uma superestrutura formada pela combinação de camadas com espessura finita, dispostas sobre a infraestrutura ou terreno de fundação denominado subleito, e o classifica em três diferentes grupos: flexíveis, semi-rígidos e rígidos.

De acordo com Pereira (2012), as camadas constituintes de uma seção típica de pavimentos são: subleito, leito ou regularização do subleito, reforço do subleito, sub-base, base e revestimento.

As camadas do pavimento devem ser projetadas de tal modo que resistam às cargas atuantes na superfície de rolamento, sendo as camadas mais externas, aquelas que devem apresentar melhores propriedades mecânicas e, portanto, materiais de melhor qualidade, por serem estas camadas as responsáveis por suportar mais intensamente as cargas provenientes do tráfego. Portanto, é de fundamental importância o estudo e conhecimento das propriedades dos materiais a serem utilizados em cada camada do pavimento em uma obra de infraestrutura rodoviária.

2.3. Estudo de materiais para pavimentação

Com os ensaios geotécnicos são obtidas as propriedades necessárias para a determinação da qualidade dos materiais a serem utilizados em obras de pavimentação. As propriedades mais relevantes são a granulometria do material e suas características mecânicas (Compactação, Índice de Suporte Califórnia).

A ABNT NBR 7181 (2016) normaliza a análise granulométrica, expressando através da curva granulométrica do material, a quantificação e distribuição de cada mineral que constitui o solo. Segundo Pinto (2006) quando melhor for a distribuição granulométrica das areias, maior será seu ângulo de atrito, ocasionado pelo melhor entrosamento entre as partículas. Fator que interfere de forma positiva na resistência ao cisalhamento da areia.



A compactação consiste na densificação do material por meio da aplicação de determinada energia mecânica, objetivando melhorar suas propriedades através de um rearranjo das partículas e redução dos vazios existentes, ocasionado pela expulsão do ar. Como resultado se obtém o aumento da densidade, da resistência ao cisalhamento e da capacidade de suporte do material, além de promover a redução da permeabilidade, da contração e da compressibilidade. A partir do ensaio de compactação é obtido a curva de compactação, que é determinada pela relação entre massa específica seca e teor de umidade do solo. Para Vargas (1997) a natureza do solo interfere nos parâmetros de massa específica e umidade, determinados no ensaio de compactação.

Para Terzagui (1996), a resistência ao cisalhamento do solo determina a sua capacidade de suporte, sendo definida como a máxima tensão que o solo suporta sem que ocorra ruptura, como também a limitação das deformações excessivas. Essa ruptura, geralmente ocorre devido ao fenômeno de cisalhamento (PINTO, 2006).

Segundo o DNIT (2006), em relação a estruturas de pavimentos rodoviários, é possível evitar a deformação plástica de um subleito, sob ação da carga atuante no pavimento, ao limitar as tensões de cisalhamento que atuam, a valores compatíveis com sua resistência cisalhante.

Segundo o DNIT (2006), o ensaio de CBR consiste em determinar a relação entre a pressão necessária para penetração de um pistão em um corpo de prova compactado e a pressão necessária para produzir a mesma penetração em uma brita padronizada. O índice de Suporte Califórnia é uma combinação indireta da coesão com o ângulo de atrito do solo, sendo obtido a partir do gráfico de pressão versus penetração. Esse ensaio é fundamental para determinação de parâmetros essenciais no dimensionamento de pavimentos (CBR e expansão), permitindo avaliar características dos materiais e adequação às diferentes camadas dos pavimentos.

De acordo com Baptista (1980) o ensaio CBR é um método empírico, baseado em diversas experiências, tanto em campo como em laboratório, que comprovam sua eficácia. Diferentes metodologias de dimensionamento de pavimentos têm utilizado o CBR, em obras de pavimentação em todo o mundo.

3. Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento deste trabalho foram coletadas amostras deformadas de solo proveniente de uma jazida na Colina do Horto do município de Juazeiro do Norte / CE (Figura 1). Após a coleta, as amostras (Areia do Horto) foram acondicionadas em sacos plásticos e conduzidas até o Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal do Cariri (UFCA), onde foram realizados os ensaios.

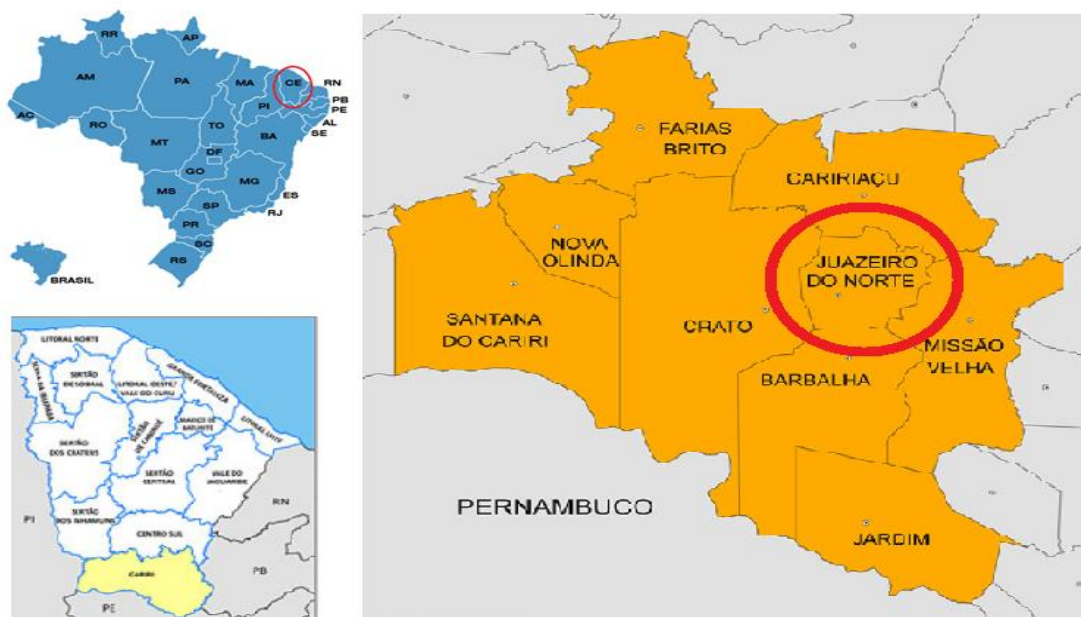


Figura 1. Localização da região de retirada das amostras – Juazeiro do Norte-CE (IPECE, 2019)

A caracterização física do material granular foi realizada a partir dos ensaios de análise granulométrica (ABNT NBR 7181, 2016), de massa específica real dos grãos (ABNT NBR 6458, 2016) e da análise do limite de liquidez (ABNT 6459, 2016) e plasticidade (ABNT 7180, 2016). A preparação das amostras seguiu a norma ABNT NBR 6457 (2016).

Para o estudo do comportamento mecânico, foram realizados ensaios de compactação (ABNT NBR 7182, 2016) nas energias Intermediária e Modificada, por se tratar de um estudo voltado para utilização em camadas de base e sub-base de pavimentos rodoviários. As compactações nas duas energias, foram realizadas com reuso e sem reuso do solo. Após os ensaios de compactação foi realizada uma nova análise de distribuição granulométrica nas amostras com reuso, a fim de verificar se houve significativa quebra de grãos devido à energia de compactação.

Também foram realizados ensaios para determinação do Índice de Suporte California (CBR), segundo a ABNT NBR 9895 (2016); os corpos de prova deste ensaio foram moldados com teores de umidades ótimas obtidos nos ensaios de compactação sem reuso nas energias intermediária e modificada.

Os parâmetros de resistência ao cisalhamento foram obtidos a partir de ensaios de cisalhamento direto realizados em corpos de prova compactados nas condições ótimas obtidas no ensaio de compactação sem reuso, seguindo a metodologia básica apresentada pela norma ASTM D3080M (2011). Os ensaios foram realizados em corpos de prova inundados e na umidade ótima de compactação. As tensões normais aplicadas nos ensaios de resistência foram de 50 kPa, 150 kPa e 300 kPa, adequadas à utilização final do material. Os corpos de prova foram rompidos com velocidade de cisalhamento de 0,06 mm/min, sendo adotado um deslocamento horizontal máximo de 10 mm.



4. Resultados e discussões

4.1. Análise granulométrica e classificação

A Tabela 1 resume os resultados das propriedades físicas (análise granulométrica, limites de consistência e classificação) do solo natural e após compactado nas duas energias.

Tabela 1. Propriedades Físicas do Solo

Propriedades	Valor		
	Solo Natural	Solo compactado na energia intermediária	Solo compactado na energia modificada
Limite de Liquidez (%)	NL	-	-
Limite de Plasticidade (%)	NP	-	-
Classificação SUCS	SM-SW	SM	SM
Classificação HRB	A-1-b	A-1-b	A-1-b
Pedregulho (%)	22	20	18
Areia Grossa (%)	44	30	26
Areia Média (%)	18	20	20
Areia Fina (%)	8	15	16
Silte (%)	8	15	20
Argila (%)	0	0	0
Passa #200 (%)	10	18	23

O solo natural foi classificado como SM-SW (Areia Siltosa bem graduada) de acordo com o Sistema Unificado (SUCS). De acordo com a classificação HRB o solo foi classificado como A-1-b (Fragmentos de pedra, pedregulho fino e areia), sendo considerado um solo de excelente a bom quanto às suas características para subleito de pavimentos. Quanto aos índices de consistência, o solo caracteriza-se como NL e NP.

Após compactado nas energias intermediária e modificada, o solo foi classificado como SM (Areia Siltosa) de acordo com o Sistema Unificado (SUCS) e como A-1-b (Fragmentos de pedra, pedregulho fino e areia) de acordo com a classificação HRB, mostrando não ter sofrido alteração em relação a classificação do solo natural.

O solo, após ser compactado na energia intermediária sofreu redução de cerca de 12 pontos no percentual de areia grossa, enquanto os percentuais de areia média, areia fina e silte aumentaram em 2, 7 e 7 pontos percentuais respectivamente. Quando a compactação ocorreu na energia modificada a redução no percentual de areia grossa foi de 18 pontos e os aumentos nos percentuais de areia média e fina foram os mesmos devido a energia intermediária, já a fração silte foi maior, com aumento de 11 pontos em relação ao solo natural; essa variação sugere a quebra de grãos na fração de areia grossa. O aumento da energia de compactação ocasionou em um acréscimo no percentual de finos no material.

A curva granulométrica do solo natural está apresentada na Figura 2, assim como as curvas do solo após serem compactados nas energias intermediária e modificada. Observa-se desta Figura 2 que o solo apresentou alteração dos tamanhos de grãos após processo de compactação, sugerindo quebras de grãos principalmente, na fração de areia grossa.

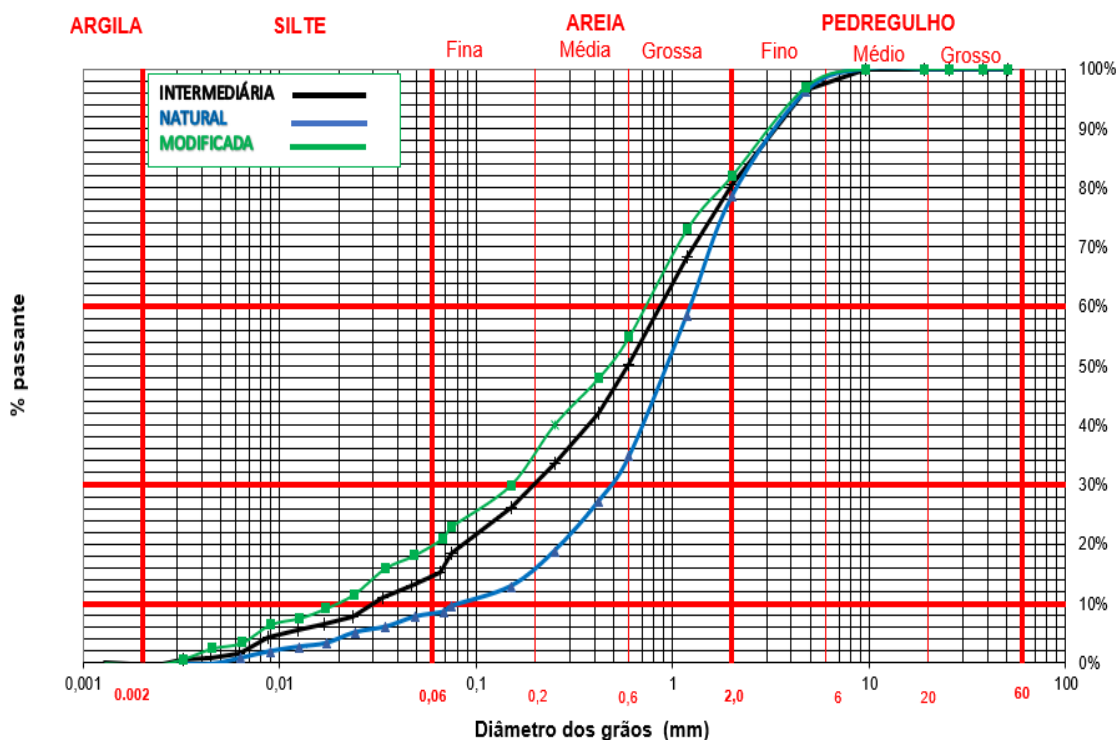


Figura 2. Curvas granulométricas do solo natural e após compactações em diferentes energias

4.2. Ensaios de compactação

As curvas de compactação dos ensaios realizados nas energias intermediária e modificada, com e sem reuso do solo estão apresentadas na Figura 3. A Tabela 2 apresenta as umidades ótimas e densidade seca máxima obtidas.

Tabela 2. Parâmetros de Compactação

Energia de Compactação	Característica do uso do solo			
	Sem Reuso		Com Reuso	
	$\gamma_{\text{sec.max}}$ (kN/m^3)	$W_{\text{ótima}}$ (%)	$\gamma_{\text{sec.max}}$ (kN/m^3)	$W_{\text{ótima}}$ (%)
Energia intermediária	22,0	9,6	22,2	9,0
Energia modificada	22,2	8,4	23,0	8,6

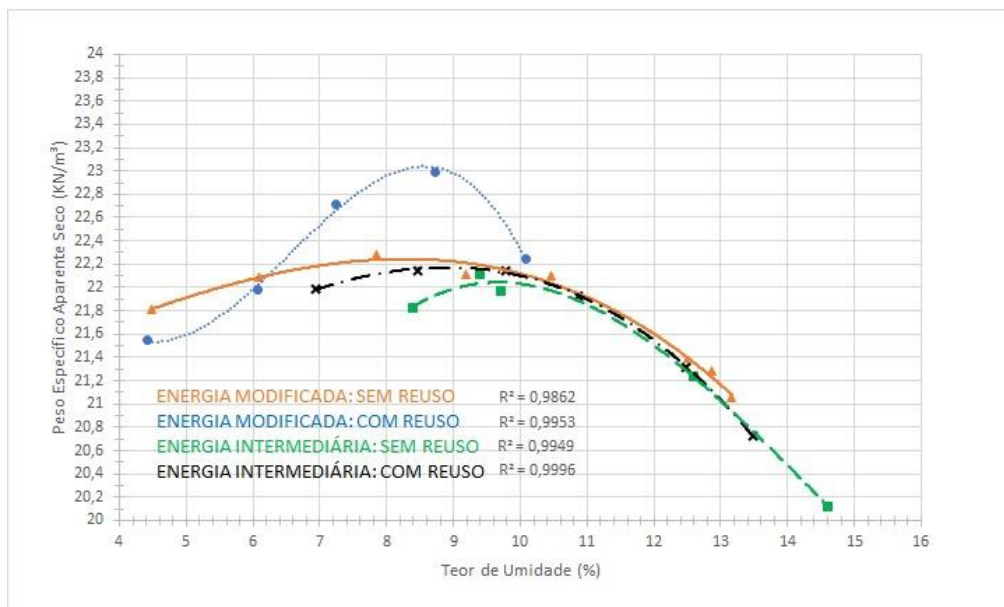


Figura 3. Curvas de compactação nas diferentes energias e manuseio do solo.

Os pares de curvas de compactação das diferentes energias (Figura 3), dos ensaios sem reuso dos materiais, apresentaram comportamentos esperados, com densidade seca maior e teor de umidade ótima menor para a energia modificada. O mesmo ocorreu nos ensaios com reuso dos materiais.

Ao se comparar o peso específico aparente seco máximo ($\gamma_{dm\acute{a}x}$) das amostras ensaiadas sem reuso (Tabela 2), não se observou diferenças significativas, estando o valor em torno de 22 kN/m³, havendo redução na umidade ótima, de 9,6% para 8,4% da energia intermediária para modificada.

Nas amostras ensaiadas com reuso do material, o aumento de $\gamma_{dm\acute{a}x}$ foi maior (de 3,5%), passando de 22,2 kN/m³ para 23,0 kN/m³, nas energias intermediária e modificada respectivamente; a umidade ótima reduziu de 9,0% para 8,6% nessas energias.

A curva de compactação obtida no ensaio realizado na energia modificada, com reuso do material, se destacou entre as demais, apresentando maior densidade seca máxima (23,0 KN/m³) com menor teor de umidade ótima (8,6%). A curva de compactação obtida na mesma energia, sem reuso do material, apresentou reduções de 3,5% no $\gamma_{dm\acute{a}x}$ e 0,2 ponto percentual na umidade ótima, quando se compara com a curva obtida no ensaio com reuso do solo (Figura 3). Embora estes resultados mostrem que o efeito do reuso implicou em mudanças pouco significativas nas características do solo, os ensaios devem ser realizados sem o reuso das amostras, buscando obter os parâmetros de compactação, para elaboração e execução de projetos, com amostras apresentando as mesmas características de como serão utilizadas no campo.

4.3. Índice de Suporte Califórnia (CBR) e Expansão

A tabela 3 resume os resultados encontrados nos ensaios de CBR e expansão realizados no solo.

**Tabela 3. Valores de CBR e de Expansão do Solo**

Energia	γ_d máx (kN/m ³)	w _o (%)	CBR (%)	Expansão (%)
Intermediária	22,0	9,7	36,1	0,0
Modificada	22,2	8,4	49,9	0,0

O solo quando compactado nas condições ótimas do material, na energia intermediária, apresentou CBR de 36,1% na umidade de 9,7% e na energia modificada, apresentou CBR de 49,9% na umidade de 8,4%. De acordo com Rodriguez e Castillo (1976), a capacidade de suporte de um solo depende da umidade e do peso específico aparente seco e, portanto, as condições de compactação podem provocar variação no valor de CBR a depender do tipo de solo. Como previsto, o valor de CBR foi maior para a energia de compactação Proctor Modificada, apresentando um aumento de cerca de 13% em relação à energia intermediária, o que indica que a capacidade de suporte deste solo tende a ser maior à medida que se aumenta a energia de compactação.

O solo apresentou valores de CBR próximos aos previstos pelo Manual de Pavimentação do DNIT (2006), que sugere valores de CBR entre 20 e 40% para solos SW e 10 a 40% para solos SM (Classificação SUCS) e CBR de 20 a mais de 80% para solos A-1-b (Classificação HRB).

Os resultados para expansão foram de 0,0% nos dois ensaios realizados, adequados ao destino final do material como camadas de base e sub-base de pavimentos.

Conforme estabelece o DNIT (2006), podem ser empregados no pavimento os materiais que se enquadrem nas seguintes condições:

- Materiais para reforço do subleito, os que apresentam CBR maior que o do subleito e expansão $\leq 1\%$;
- Materiais para sub-base, os que apresentam CBR $\geq 20\%$, IG=0 e expansão $\leq 1\%$;
- Materiais para base, os que apresentam CBR $\geq 80\%$, expansão $\leq 0,5\%$, limite de liquidez $\leq 25\%$ e índice de plasticidade $\leq 6\%$;

Portanto, o material em estudo se mostra adequado quanto a sua viabilidade para uso em camadas de sub-base conforme resultados encontrados nos ensaios de CBR.

4.4. Resistência ao Cisalhamento

Os parâmetros de resistência obtidos nos ensaios de cisalhamento direto nas amostras de solo compactado, estão representados na Tabela 4 e Figura 4.

Tabela 4. Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento

Condição	Intercepto Coesivo (KPa)		Ângulo de atrito (°)	
	Intermediária	Modificada	Intermediária	Modificada
Umidade ótima	19,5	45,7	37,2	35,3
Inundada	12,9	0,0	33	35,8

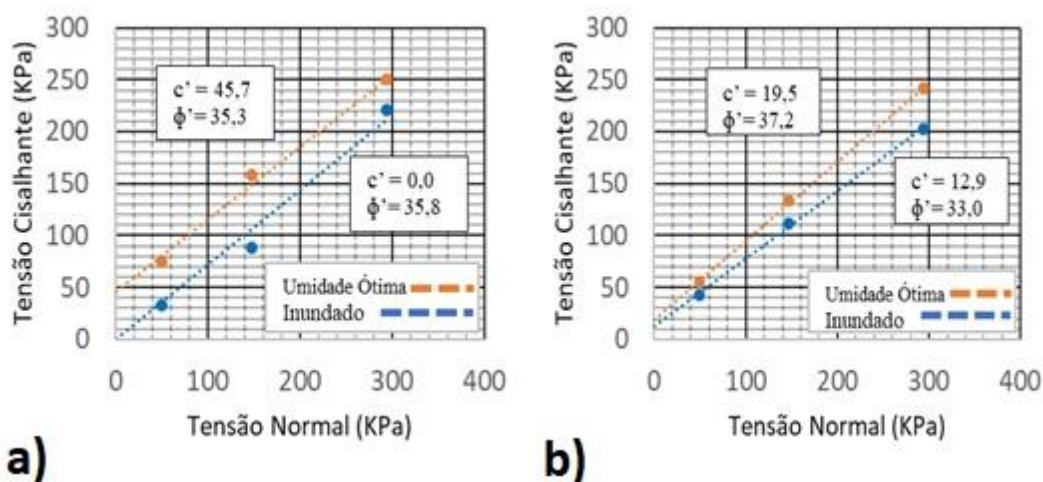


Figura 4. Envoltória de resistência ao cisalhamento: a) Energia Modificada e b) Energia Intermediária

Os ensaios mostraram que, na energia Modificada, o solo compactado apresenta maiores picos em comparação com os parâmetros de resistência obtidos do solo compactado na energia intermediária, o que pode ser atribuído ao aumento na compactação da areia, resultante de um maior entrosamento entre as partículas devido à energia aplicada (Figura 4). Observa-se que as envoltórias de resistências das amostras inundadas estiveram abaixo das envoltórias das amostras na umidade ótima, para as duas energias de compactação.

Para o caso das amostras compactadas com energia modificada, o ângulo de atrito foi maior para a condição saturada ($\phi=35,8^\circ$), embora tenha apresentado variação pouco significativa quando comparado ao valor obtido na condição não saturada ($\phi=35,3^\circ$). A maior variação ocorreu no intercepto de coesão, havendo aumento no valor de c' , de 0,0 kPa para 45,7 kPa, da condição saturada para a não saturada.

A compactação na energia intermediária resultou em um ângulo de atrito $\phi=33,0^\circ$ para a condição saturada, representando redução em relação à condição não saturada ($\phi=37,2^\circ$). O intercepto de coesão sofreu aumento, de 12,9 kPa para 19,5 kPa, da condição saturada para a não saturada.

Considerando que este solo vem sendo bastante utilizado na região, apresentando comportamento razoável para tráfego leve em vias locais. Os resultados encontrados nos ensaios de Resistência ao Cisalhamento, aliados aos valores de CBR obtidos, constata a viabilidade do uso deste material em camadas de sub-base de pavimentos e em aterros rodoviários.

5. Conclusão

Baseado no Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis (DNIT, 2006), o solo estudado pode ser empregado como sub-base, quando compactado adequadamente tanto na energia intermediária quanto na modificada. A utilização em camadas de base dependerá do comportamento mecânico deste material quando submetido a processos de estabilização. Ressalta-se que na região onde foi coletada a amostra do solo em estudo, diversas jazidas podem ser encontradas, sendo importante a realização de ensaios para



verificação dos parâmetros do solo, visto que pode haver grandes variações devido à presença de minerais micáceos.

Referências

- American Society for Testing and Materials. ASTM D3080 (2011). Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6457 (2016). Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6458 (2016). Grãos de Pedregulho Retidos na Peneira de Abertura 4,8 mm – Determinação da Massa Específica, da Massa Específica Aparente e da Absorção de água. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459 (2016). Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180 (2016). Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181 (2016). Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7182 (2016). Solo – Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9895 (2016). Solo – Índice de Suporte Califórnia: método de ensaio. Rio de Janeiro.
- Baptista, C. F. N. (1980). Pavimentação. Tomo I – Ensaio fundamentais para a pavimentação; dimensionamentos dos pavimentos flexíveis. 4ª ed. Porto Alegre: Globo.
- Departamento Nacional de Infraestrutura De Transportes – DNIT (2006). Manual de Pavimentação. Rio de Janeiro.
- Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. IPECE (2019). Ceará em Mapas. <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/11/139x.htm>. Janeiro.
- Lade, P. V., Yamamuro, J. A. e Bopp, P. A. (1996). Significance of particle crushing in granular materials. *Journal of Geotechnical Engineering*, 122 (4), p. 309-316.
- Muñetón, C. M. G. (2013). Avaliação Geotécnica de um Perfil de Solo Tratado Biotecnologicamente para fins de Pavimentação. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília.
- Pereira, K. L. A. (2012). Estabilização de um Solo com Cimento e Cinza de Lodo para Uso em Pavimentos. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- Pinto, C. S. (2006). Curso Básico de mecânica dos Solos em 16 aulas, 3ª Ed. São Paulo Oficina de textos.
- Rodriguez, A. R., Castillo, D. D. (1976). La Ingeniería de Suelos em las Vías Terrestres – Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas. Editorial Limusa, México.



Roque, P. F. B. (2017). Uso de Materiais Alternativos para Melhoria de Solos em Pavimentação. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília.

Terzaghi, K., Peck, R. B. e Mesri, G. (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice, 3 ed. Wiley-Interscience.

Vargas, M. (2015). Introdução à mecânica dos solos, ed da Universidade de São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, SP, Brasil.

Vargas, M. (1977). Introdução à Mecânica dos Solos. Megraw Hill do Brasil, São Paulo, SP.