

AVALIAÇÃO DA DEFORMAÇÃO PERMANENTE DO SUBLEITO DE VIAS NÃO PAVIMENTADAS DA MICROREGIÃO DE MOSSORÓ/RN

Wendel Silva Cabral ⁽¹⁾

Suely Helena de Araújo Barroso ⁽²⁾

Universidade Federal do Ceará - UFC

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transporte - PETRAN

RESUMO

Em estradas não pavimentadas o subleito tem uma importante função no comportamento global da estrutura do pavimento, em que a Deformação Permanente (DP) se apresenta como um dos fenômenos mais relevantes no estudo do comportamento dessa estrutura. Portanto, este artigo avalia a viabilidade técnica do uso de solos locais em camadas de estruturas de rodovias não pavimentadas localizadas na microrregião de Mossoró/RN, por meio da realização de ensaios triaxiais de carga repetida para a obtenção dos valores de DP. Para tanto, utilizou-se um solo presente nas rodovias estaduais RN014 e RN015. Além disto, foram realizados ensaios de caracterização para a obtenção dos índices geotécnicos do material. Concluiu-se que, de acordo com os dados obtidos, o solo em estudo oferece boa resistência quando submetido ao acúmulo de cargas, apresentando um bom comportamento como material de subleito de rodovias de baixo volume de tráfego.

ABSTRACT

In unpaved roads, the subgrade has an important function in the overall behavior of the pavement structure, in which Permanent Deformation (DP) presents itself as one of the most relevant phenomena in the study of the behavior of this structure. Therefore, this article evaluates the technical feasibility of the use of local soils in layers of unpaved road structures located in the micro region of Mossoró/RN, by means of triaxial repeated load tests to obtain the values of DP. For this purpose, a soil was used in the state highways RN014 and RN015. In addition, characterization tests were carried out to obtain the geotechnical indexes of the material. It was concluded that, according to the data obtained, the soil under study offers good resistance when submitted to the accumulation of loads, presenting a good behavior as a subgrade material of low traffic highways.

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O crescimento acentuado nas micro e macrorregiões socioeconômicas do país resulta no incremento do número de veículos de carga, aumentando as solicitações impostas às estruturas e exigindo, por consequência, uma tolerância maior do pavimento às novas configurações de carregamento com o aumento em número e em porte dos veículos em operação.

Embora o maior interesse das pesquisas seja na malha rodoviária pavimentada, há a necessidade de também estabelecer critérios e estudos para a gerência de vias não pavimentadas. Em muitos casos as rodovias não pavimentadas representam o único meio de trafegabilidade para diferentes setores econômicos e sociais nas mais diversas localidades do país. De acordo com Ribeiro (2007), no território brasileiro a malha não pavimentada é maior que a pavimentada da ordem de aproximadamente 9 (nove) vezes e sua importância para o setor rodoviário é tão grande quanto as malhas mais estruturadas. Aproximadamente 1.364.511 km (78,07%) das rodovias do Brasil são não pavimentadas, conforme dados da CNT (2018), tornando-se fundamental o desenvolvimento de estudos voltados para essas vias.

Nesse processo, a decrescente oferta de solos com parâmetros mecânicos adequados para a execução de tais estruturas, torna-se também outro agravante. Conforme Machado *et al.* (2003), a falta de solos com características geotécnicas apropriadas, exigidas pelos órgãos rodoviários para a construção de estradas, torna-se um dos grandes entraves para o setor de transportes no Brasil. Observa-se que volumes maiores de cargas são transportados, com maior frequência, com distâncias cada vez mais longas e através de vias com diversos defeitos

funcionais e estruturais, exigindo que as estradas pavimentadas e não pavimentadas sejam transitáveis em qualquer época do ano.

A maior parte das rodovias não pavimentadas são vias de baixo volume de tráfego o que possibilita o dimensionamento de estruturas mais econômicas. Porém, o método tradicional utilizado no Brasil (DNIT, 2006) não é um procedimento mais racional para o dimensionamento de pavimentos, tendo em vista não considerar o efeito dinâmico das cargas oriundas dos veículos. Ao empregar esse método, pode-se resultar na extrapolação das dimensões das camadas do pavimento, o que pode conduzir ao cálculo de estruturas pouco econômicas (SILVA *et al.*, 2011).

Os métodos de dimensionamento mecanístico-empíricos, os quais se baseiam na resposta estrutural e nos modelos de desempenho da estrutura do pavimento, começam a ganhar notoriedade no cenário nacional diante da iminência de aprovação do novo método de dimensionamento brasileiro. Tais modelos utilizam parâmetros de Módulo de Resiliência (MR) e de Deformação Permanente (DP) para previsão do comportamento mecânico dos materiais utilizados na pavimentação.

Para um melhor entendimento do comportamento estrutural dos materiais empregados no pavimento e para auxiliar no dimensionamento mais adequado à realidade de cargas impostas ao pavimento, o estudo do MR, módulo elástico obtido com carregamento dinâmico, e da DP, cujo somatório acumulado nas camadas favorece significativamente o defeito do afundamento de trilha-de-roda, torna-se bastante relevante. Segundo Guimarães (2009), o estudo da DP deve ser feito para diferentes configurações de cargas que solicitam o pavimento, incluindo-se os veículos pesados.

Entende-se por DP, o somatório dos afundamentos verticais permanentes no revestimento e em camadas subjacentes causados pelo carregamento (tensão) aplicado na superfície do pavimento. Para a obtenção dos valores da deformação, os materiais do pavimento devem ser ensaiados por meio de estudos de laboratório em que as condições de carga, frequentemente experimentadas pelos materiais no campo, são simuladas a partir dos ensaios triaxiais de carga repetida. Rodrigues (1997) afirma que um modo de se obter um dimensionamento menos conservador contra deformações plásticas, em comparação aos métodos tradicionais de dimensionamento, é se prever o afundamento da trilha de roda que deve ocorrer durante o período de projeto, por meio do somatório das deformações em cada camada ou subcamada.

Diante deste contexto, esta pesquisa apresenta uma avaliação da viabilidade técnica do uso de solos locais, em camadas da estrutura de rodovia não pavimentada localizada na microrregião de Mossoró/RN, por meio de ensaios triaxiais de carga repetida para a obtenção dos valores de DP. Este estudo foi realizado a partir de coletas, ensaios e análises dos valores obtidos de deformabilidade, com a finalidade de caracterizar o comportamento do solo do subleito da rodovia estadual RN014 e RN015 que interliga a BR304 a BR437, os municípios de Mossoró e Baraúna, além de comunidades e propriedades rurais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

A área em análise foi à microrregião de Mossoró que contempla seis municípios (Mossoró,

Baraúna, Tibau, Grossos, Areia Branca e Serra do Mel). A jazida de coleta da amostra de solo e as rodovias não pavimentadas em estudo estão inseridas nos municípios de Mossoró e Baraúna, localizado na coordenada de latitude 5° 26' 14" Sul e longitude 36° 97' 69" Oeste (ver Figura 1). Esse solo é do tipo Cambissolo háplico, sendo um material de perfil geológico calcarenito apresentando textura de média a fina.

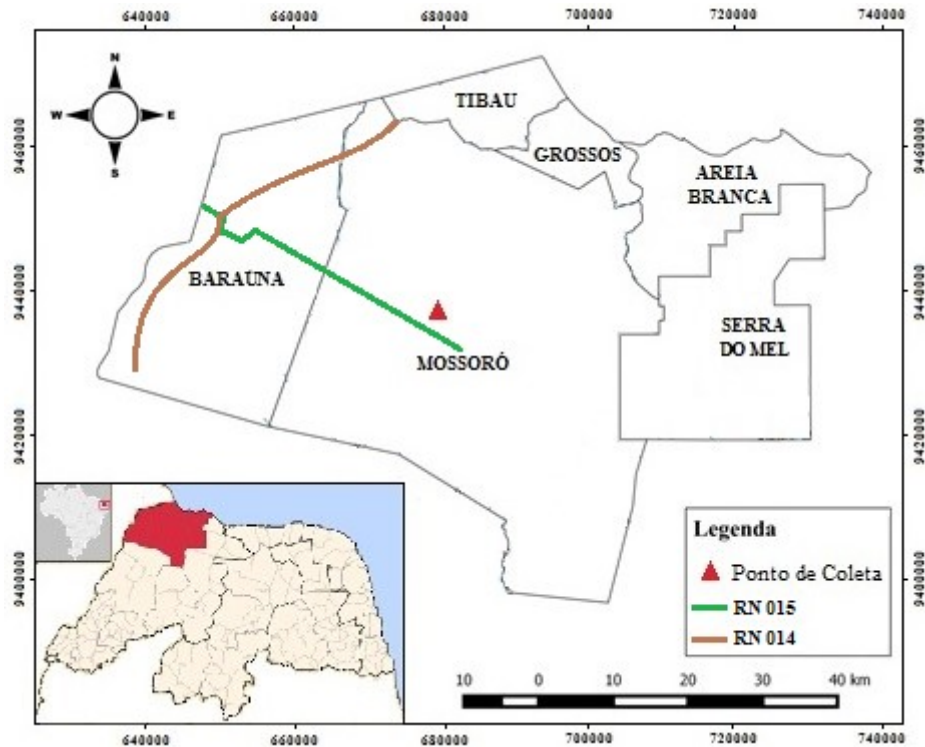


Figura 1: Localização da jazida de coleta e das rodovias não pavimentadas

Segundo levantamento em projetos rodoviários dessa localidade, o solo Cambissolo está presente em subleitos das rodovias estaduais RN014 e RN015, além da BR's 437, parte da BR 405 e da duplicação da BR 304 do trecho urbano do município de Mossoró, ocorrendo na parte sul e oeste da microrregião. Ainda de acordo com os projetos consultados, a classe de solo, conforme o sistema rodoviário de classificação da AASHTO (*American Association of State Highways and Transportation Officials*), também chamada de HRB ou TRB, normatizados pela AASHTO M145 (1973), esse solo se enquadra no grupo A-2-6.

2.2. Métodos

2.2.1. Preparação de Amostras e Ensaios Mecânicos Convencionais

Em laboratório, o solo foi submetido aos procedimentos de preparo, conforme a norma DNER–ME 041/94. Na etapa seguinte, realizaram-se os ensaios de caracterização física, como análise granulométrica (NBR 7181), massa específica (NBR 6508), os limites de liquidez (NBR 6459) e plasticidade (NBR 7180), além dos ensaios mecânicos convencionais, tais como os ensaios de compactação (NBR 7182), CBR e expansão (DNER – ME 049-94), na energia intermediária.

Em seguida, realizou-se a homogeneização de amostras com aproximadamente 4 kg de solo,

na umidade ótima, e colocada em sacos plásticos hermeticamente fechados para seu armazenamento por 24 horas em câmara úmida adaptada. Após esse período uma porção da amostra foi retirada e levada imediatamente para compactação mecânica em cilindro tripartido de dimensões de 10 cm de largura e 20 cm de altura, com energia intermediária de compactação, para a realização do ensaio triaxial de cargas repetidas. As técnicas de moldagem dos corpos-de-prova e preparo do equipamento de ensaio foram semelhantes ao método de ensaio para obtenção do MR (DNIT 134/2010 – ME).

2.2.2. Ensaio com Carregamento Dinâmico

2.2.2.1. Módulo de Resiliência

Foi avaliada a característica resiliente do solo para compreender o comportamento elástico das camadas granulares dos pavimentos da região, e, a partir disso, realizar um dimensionamento mecanístico-empírico de uma estrutura de pavimento. Os valores de MR foram obtidos por meio da realização do ensaio triaxial de carga repetida, conforme a norma do DNIT 134/2010 – ME, e os dados experimentais foram analisados através da técnica de regressão não linear.

O software para realização dos cálculos e determinação do modelo que representou mais satisfatoriamente o solo ensaiado foi o LAB Fit. Observou-se esse melhor enquadramento por meio dos coeficientes de correlação (R^2) dos modelos com relação aos dados reais de deformação elástica obtidos nos ensaios.

2.2.2.2. Deformação Permanente

Após a compactação das amostras de solo no cilindro tripartido, os corpos de prova foram colocados no equipamento triaxial e submetidos ao ensaio para determinação dos parâmetros de deformabilidade. Utilizou-se como pares de tensão confinante e desvio os valores apresentados na Tabela 1, numa frequência de carregamento de 1 Hz (pulso de 0,1 segundo é seguido de um tempo de repouso de 0,9 segundo ou 60 ciclos por minuto).

Tabela 1: Relação das tensões utilizadas nos ensaios triaxiais de cargas repetidas

Ensaio	Tensão (KPa)		N
	σ_d	σ_3	
1	40		
2	80		
3	120	40	
4	160		
5	80		
6	160	80	10.000
7	240		
8	320		
9	120		
10	240	120	
11	360		
12	480		

Utilizou-se o método de ensaio triaxial de carga cíclica normatizado pela norma europeia BS EN 13286-7:2004. Essa técnica pode ser utilizada para uma avaliação rápida da DP produzidos por diferentes níveis de carregamento, haja vista que após a escolha dos valores dos pares de tensão são aplicadas cargas de 10.000 ciclos em cada ensaio. Destaque-se que na época da realização da presente pesquisa não existia no Brasil nenhuma norma estabelecida oficialmente, mas somente um projeto que estava em discussão. Em junho de 2018, foi publicada uma norma pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

De acordo com a Tabela 1, foi adotado pares de tensões com relações (σ_d/σ_3) de 1, 2, 3 e 4 com a tensão confinante (σ_3) constante para cada valor de tensão desvio (σ_d) em 3 conjuntos de ensaios, totalizando 12 experimentos realizados. Esse procedimento foi adotado com o intuito de abranger diferentes simulações de cargas nesse material, de forma a avaliar o comportamento do solo e a sua real capacidade estrutural.

Concluídos todos os processos operacionais preparatórios, iniciou-se o ensaio com a eliminação da folga entre o pistão e o cabeçote no topo do corpo de prova garantindo total contato, com os LVDT's (Transdutores de Deslocamentos) iniciando, automaticamente, o registro das leituras em um intervalo previamente fixado, caracterizando o acúmulo das deformações ao longo do ensaio. A Figura 2 apresenta as principais etapas do ensaio, mostrando a desmoldagem do corpo de prova, instalação dos LVDT's, o equipamento triaxial e o programa de controle dos ensaios.



Figura 2: Etapas do ensaio

A execução dos ensaios triaxiais propriamente dita foi realizada de modo sequenciado, sendo composto por quatro experimentos (ou aplicações de carga) distintos no mesmo corpo de prova, através de combinações estabelecidas de tensões desvio e confinantes, porém, mantendo-se as demais condições impostas inalteradas, somando-se doze ensaios ao final do estudo. Em cada ensaio (ou par de tensões) foi aplicado 10.000 ciclos, totalizando 120.000 carregamentos. Esse procedimento buscou simular diferentes perfis de cargas (veículos) com o tempo de uso da estrada por meio do acréscimo da intensidade da energia vertical sob o revestimento.

Finalizado cada experimento (σ_d/σ_3), além de modificar a tensão desvio (σ_d) também se subtraiu a DP final resultante do ciclo concluído na altura do corpo de prova, para iniciar o ciclo seguinte. Esse procedimento simula o comportamento real sob o aspecto da DP do solo depois de submetido às solicitações de carga com determinadas características, e que na mudança do perfil do carregamento, ou seja, na mudança das combinações de tensões essa ocorrência é considerada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Classificação, Caracterização dos Materiais e Ensaio Mecânicos Convencionais

O material apresentou valores de LL, LP e IP, respectivamente, de 24,2%, 15,61% e 8,55%. Após o ensaio granulométrico por peneiramento no solo, sua composição apresentou 66% de areia fina e média e 29 de argila e silte. Os percentuais passados nas peneiras são mostrados na Figura 3. Com base nesses resultados a amostra foi classificada na AASHTO como A-4.

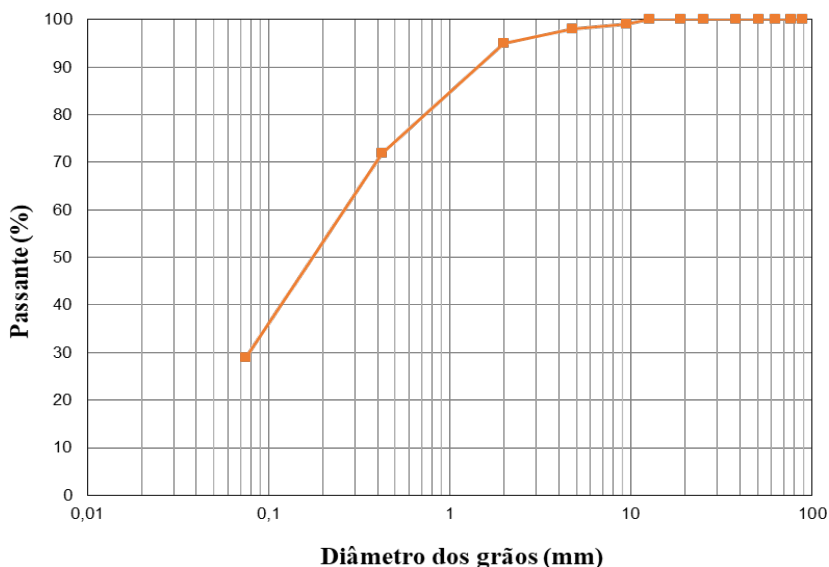


Figura 3: Curva de granulometria

No ensaio de compactação, obteve-se 12,5% de umidade ótima e 1,38 g/cm³ de densidade aparente seca máxima, de acordo com Figura 4. Além disso, o solo apresentou um valor de CBR de 11,3% e uma expansão de 0,09%. Esse valor de CBR, para efeito de subleito, é considerado de comportamento intermediário e expansão muito baixa conforme DNIT (2006).

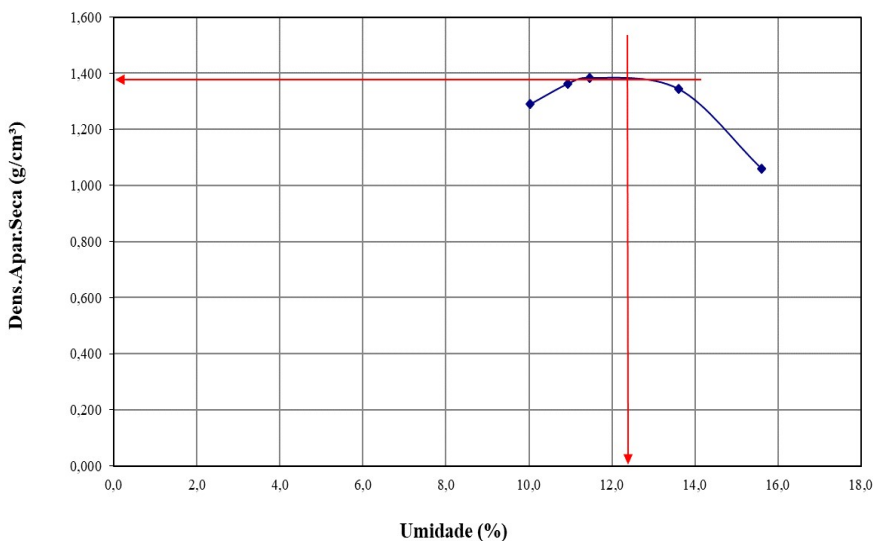


Figura 4: Curva de compactação

3.2. Ensaios com Carregamento Dinâmico

3.2.1 Módulo de Resiliência

O comportamento resiliente do material demonstrou uma significativa variação nos primeiros ciclos de aplicação de carga e um acomodamento nos ciclos finais. Esse desempenho reflete uma situação próxima da realidade quando as camadas do pavimento são submetidas à ação das cargas, evidenciando que durante o uso a estrutura absorverá tais tensões até um determinado período, passando por uma estabilização resiliente até atingir um enrijecimento ao longo do período de operação do pavimento.

Com a realização do ensaio do Módulo de Resiliência, determinou-se um modelo de estimativa da variação do MR em função do estado de tensão (σ_d e σ_3). Foram testados modelos como o Composto ($MR = K_1 \cdot \sigma_3^{k_2} \cdot \sigma_d^{k_3}$), Guimarães ($MR = K_1 \cdot \sigma_3^{k_2} \cdot \sigma_d^{k_3} \cdot N^{k_4}$), Combinado ($MR = [k_1 + k_2 \cdot (k_3 - \sigma_d^{k_2})] \cdot \sigma_3^{k_3}$) e da AASHTO ($MR = k_1 \cdot \theta^{k_2} \cdot \tau_{oct}^{k_3}$).

Observa-se que o modelo composto apresentou um melhor enquadramento acerca do comportamento resiliente do material. O maior valor de R^2 (0,8632) da expressão que considera a relação σ_d/σ_3 possibilitou a obtenção do modelo mais representativo do MR. Conforme a Equação 1, esse modelo possibilita a análise do comportamento do solo em estudo, no uso em camadas granulares de pavimento, no tocante ao enrijecimento durante o carregamento do tráfego.

$$MR = 141,79\sigma_3^{0,01974} \cdot \sigma_d^{-0,5567} \quad (1)$$

em que MR : Módulo de Resiliência [MPa];
 σ_3 : tensão de confinamento [KPa];
 σ_d : tensão desvio [KPa];

3.2.2 Deformação Permanente

São apresentados os resultados dos doze experimentos realizados para obtenção da DP, com suas respectivas condições de aplicação de tensões, teor de umidade ótima de compactação e número de ciclos. Na Tabela 2 são mostrados os valores da deformação permanente total para observar taxas de acúmulo e desaceleração do afundamento irreversível e, a partir disso, avaliar a viabilidade de uso do solo ensaiado.

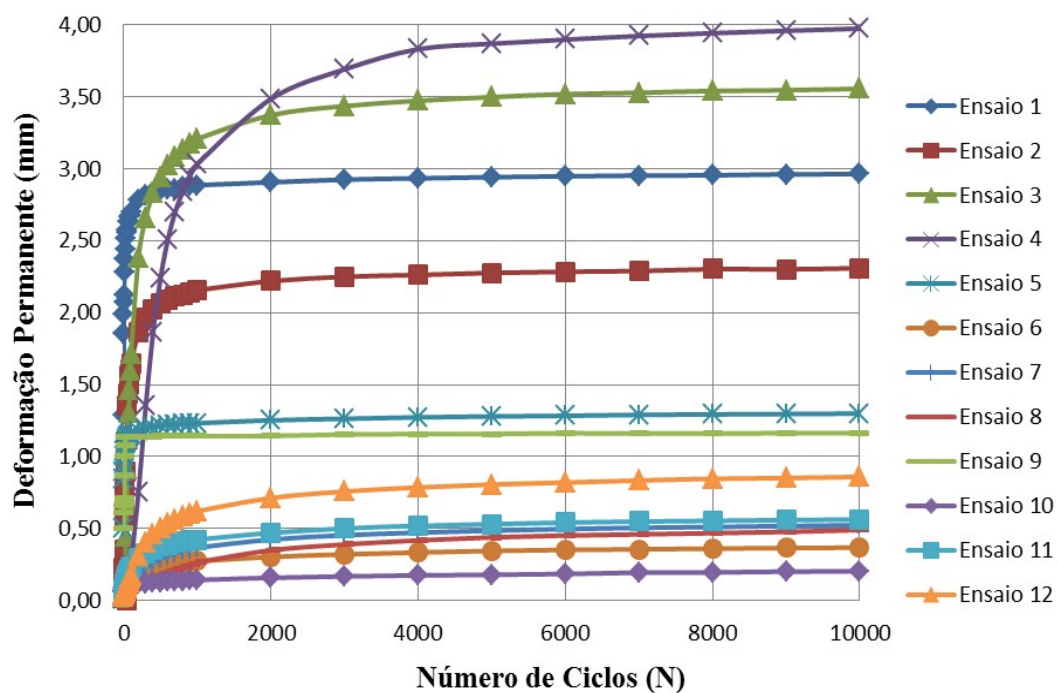
Nessa mesma tabela são apresentadas as deformações da primeira carga aplicada (ϵ^1), o acumulado até 6.000 aplicações (ϵ^{6000}), com o ensaio concluído (ϵ^{10000}), além do percentual do afundamento acumulado em 60% do ciclo de aplicação de carga ($\epsilon^{6000}/\epsilon^{10000}$) e o restante desses acúmulos ($1 - \epsilon^{6000}/\epsilon^{10000}$) para uma avaliação do momento em que a deformação inicie o comprometimento da estrutura.

Devido à baixa resistência do solo à aplicação de elevadas cargas nas amostras compactadas, consequentemente, ocasionando o rompimento de corpos de prova antes do fim dos ciclos de carregamento, também foi adotado relações (σ_d/σ_3) de 0,5; 1,5; 2 e 2,5 entre os ensaios 5 e 12, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Deformação Permanente total e suas relações de acúmulo e desaceleração

Ensaio	Tensão (KPa)		σ_d/σ_3	ε^1 (mm)	ε^{6000} (mm)	ε^{10000} (mm)	$\varepsilon^{6000}/\varepsilon^{10000}$ (%)	$1-\varepsilon^{6000}/\varepsilon^{10000}$ (%)
	σ_d	σ_3						
1	40		1	1,288	2,941	2,962	99,3	0,7
2	80	40	2	0,026	2,276	2,309	98,6	1,4
3	120		3	0,015	3,497	3,555	98,4	1,6
4	160		4	0,010	3,868	3,973	97,4	2,6
5	80	80	1	0,499	1,279	1,299	98,5	1,5
6	120		1,5	0,043	0,345	0,368	93,8	6,3
7	160		2	0,043	0,486	0,524	92,7	7,3
8	200		2,5	0,034	0,439	0,490	89,6	10,4
9	60	120	0,5	0,501	1,157	1,163	99,5	0,5
10	120		1	0,063	0,179	0,204	87,7	12,3
11	180		1,5	0,052	0,531	0,563	94,3	5,7
12	240		2	0,025	0,806	0,859	93,8	6,2

O acúmulo total de DP se concentrou em todos os ensaios realizados nas primeiras 6.000 aplicações de carga, mostrando que após esse período as misturas tendem a se estabilizar, ou seja, com 60% das cargas programadas aplicadas o corpo de prova apresenta uma deformabilidade quase irreversível em sua estrutura original. Nesse período, quase todos os cenários mostraram uma deformação acumulada superior a 90%, com exceção dos ensaios 8 e 9 que apresentam decréscimos mais lentos no afundamento, necessitando de ciclos maiores daqueles utilizados nesta pesquisa para uma maior estabilização. A Figura 5 mostra a variação dessa deformação.

**Figura 5: Variação da Deformação Permanente Acumulada**

De acordo com os valores da Figura 5, o solo oferece boa resistência quando submetido ao acúmulo de cargas, proporcionando desempenho apropriado na utilização em camadas de pavimento, principalmente quando são aplicadas altas e médias intensidades de cargas. Observa-se que quando se adota relações de pares de tensões (σ_d/σ_3) altas, ensaios 3 e 4, esse material tende a apresentar maiores afundamentos. O risco de danos na estrutura do pavimento constituído desse solo é bastante reduzido quando a tensão confinante é elevada, indicando sua forte influência no comportamento desse material.

No tocante aos valores admissíveis para afundamento total e surgimento de trilha-de-roda a deformação irreversível de 3,973 mm, pior cenário obtido (ensaio 4), representa 31,8% do afundamento total aceitável na estrutura do pavimento. Segundo Guimarães (2009), 12,5 mm é a deformação limite total do pavimento para um desempenho satisfatório. Portanto, se esse material for utilizado em camadas de um pavimento tipo que apresente 20 cm de espessura, submetido às condições de tensões adotados nos experimentos, pode-se considerar que todo o somatório de afundamentos nas superfícies das camadas não comprometerá a qualidade do pavimento, devido aos baixos valores de DP.

Nota-se que esse solo apresenta melhor desempenho quando as relações de tensões (σ_d/σ_3) estão entre 1 e 1,5. Constatou-se que as deformações nas simulações dos ensaios 10 (0,204 mm) e 6 (0,368 mm) foram as menores obtidas após a aplicação dos ciclos de cargas totais, indicando que se o tráfego projetado para um pavimento com camadas granulares compostas por esse solo apresentar condições de carga (tensões) semelhantes às seguidas nos ensaios citados, o comportamento dessa estrada será satisfatório.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho aqui desenvolvido permitiu verificar que, para o solo investigado, o maior acúmulo de deformabilidade ocorreu, em geral, nos primeiros ciclos de carga (N), tendendo ao acomodamento no decorrer da aplicação dos carregamentos durante o restante do ensaio. Com 60% das cargas aplicadas no subleito característico da microrregião de Mossoró/RN mais de 90% da deformação já foi registrada, com exceção dos ensaios com as maiores relações de tensões. Sendo assim, o solo do subleito em estudo apresentou condições mecânicas favoráveis para ser utilizado em pavimentos de rodovias de baixo volume de tráfego, pois os dados obtidos de DP para níveis baixos e médios de intensidade de carregamento apresentaram valores inferiores aos limites mínimos considerados como adequados.

O material oferece resistência satisfatória quando submetido ao acúmulo de cargas, proporcionando desempenho apropriado na utilização em camadas de pavimento, mesmo quando aplicadas altas e médias intensidades de cargas. Observa-se que quando se adota relações de pares de tensões (σ_d/σ_3) altas, ensaios 3 (3,555 mm) e 4 (3,973 mm), esse material tende a apresentar maiores afundamentos, porém sem atingir o afundamento total admissível na estrutura (12,5 mm). O risco de danos na estrutura do pavimento constituído desse solo é bastante reduzido quando a tensão confinante é elevada, indicando sua forte influência no comportamento desse material.

Espera-se que o estudo aqui desenvolvido possa auxiliar na melhor análise de estruturas de rodovias de baixo volume de tráfego quanto ao estabelecimento de critérios de falhas estruturais, como é o caso da deformação permanente. É por essas rodovias que grande parte das riquezas nacionais são transportadas e são essas estruturas, se bem dimensionadas, que

permitem melhorar as condições de acesso aos serviços essenciais básicos de uma população (saúde, educação, transporte, etc). Então, é imprescindível que técnicas mais racionais de engenharia possam também ser aplicadas ao projeto desses pavimentos para que, assim, se possam desenvolver as regiões mais pobres e com recursos orçamentários mais limitados.

Agradecimentos

Os agradecimentos são devidos: (i) À FUNCAP pela bolsa de doutorado concedida ao primeiro autor; (ii) à Petrobras pelo apoio financeiro através da Rede Temática de Asfaltos; (iii) à Universidade Federal do Ceará (UFC), através do Laboratório de Mecânica dos Pavimentos (LMP) e (iv) à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (1984) *NBR 7180 – Solo – Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro/RJ.
- ABNT (1984d) *NBR 7181 – Solo – Análise Granulométrica*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1986) *NBR 7182 – Solo – Ensaio de Compactação*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1984a) *NBR 6508 – Grãos de Solo que Passam na Peneira de 4,8 mm – Determinação da Massa Específica*. Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1984b) *NBR 6459 – Solo – Determinação do Limite de Liquidez*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- AASHTO (1973) M 145: *Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes*. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- BS EN 13286-7:2004 – *Unbound and Hydraulically Bound Mixtures - Part 7: Cyclic Load Triaxial Test for Unbound Mixtures*. British Standard.
- CNT (2018). *Boletim estatístico*. Confederação Nacional do Transporte, Brasília. Disponível em: <http://www.cnt.org.br>. Acesso em: 02 março 2018.
- DNER-ME 041/94. *Solos – Preparação de Amostras de Solos para Ensaios de Caracterização*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Brasília.
- DNER-ME 049/94. *Solos – determinação do Índice de Suporte California utilizando amostras não trabalhadas*. Rio de Janeiro, 1994.
- DNIT (2006). *Manual de pavimentação*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 3.ed. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 274p.
- DNIT 134/2010- ME. *Pavimentação: solos – determinação do módulo de resiliência: método de ensaio*. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
- Guimarães, A. C. R., 2009. *Um Método Mecânico-Empírico para a Previsão da Deformação Permanente em Solos Tropicais Constituintes de Pavimentos*. Tese de Doutorado, Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ.
- Machado, C. C.; Pereira, R. S.; Pires, J. M. M. Influência do tratamento térmico do resíduo sólido industrial (grits) na resistência mecânica de um latossolo para pavimentos de estradas florestais. *Revista Árvore*, v. 27, n. 4, p. 543- 550, 2003.
- Ribeiro, F. R. S, (2007). *Concepção de Método Simplificado de Levantamento e Análise de Defeitos em Vias Não-Pavimentadas*. Fortaleza, 2007. Dissertação de Mestrado – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 151 fls.
- Rodrigues, R. M. (1997). *Prediction of fatigue cracking on flexible highway pavements. Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics*. Balkema, Rotterdam. pp. 381 - 385.
- Silva, T. O.; Carvalho, C. A. B.; Lima, D. C., Calijuri, M. L.; Machado, C. C.; Oliveira, T. M. Influência do tráfego de veículos comerciais em rodovias vicinais não pavimentadas: estudo de caso aplicado à VCS 346, Viçosa, MG. *Rev. Árvore*, Jun 2011, vol.35, no.3, p.539-545. ISSN 0100-6762.

(1) Wendel Silva Cabral (wendel@det.ufc.br)

(2) Suelly Helena de Araújo Barroso (suely@det.ufc.br)

Departamento de Engenharia de Transportes/Laboratório de Mecânica dos Pavimentos
Campus do Pici - Bloco 703 - 60455-760 Tel: +55 (85) 3366-9488 (Ramal 209)
Fortaleza, Ceará