

Avaliação do Comportamento Resiliente de Duas Argilas e Uma Areia não Lateríticas de Salvador-BA

Nádgyla Layana Tófolo Silva

Estudante de Engenharia Civil, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Brasil, tofolo.nadgyla@hotmail.com

Isabela de Jesus Santos

Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, Brasil, isabela@aluno.ufrb.edu.br.

Jose Anibal Alves Filho

Engenheiro Civil, Foa Construção e Projetos Ltda., Salvador, Brasil, anibaleng@hotmail.com

Mario Sergio de Souza Almeida

Professor, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Brasil, mariosergio73@gmail.com.

Weiner Gustavo Silva Costa

Professor, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Brasil, weiner@ufrb.edu.br

RESUMO: O módulo de resiliência é uma propriedade mecânica dos solos indispensável para análise estrutural de pavimentos. O ensaio triaxial cíclico é o principal método laboratorial para estimar o módulo de resiliência, permitindo um controle preciso das condições da amostra, dos carregamentos aplicados e dos deslocamentos medidos. O conhecimento das propriedades mecânicas e a classificação MCT dos solos na Geotecnia de Pavimentação é cada vez mais importante. Nesse sentido, esse trabalho visou estudar o comportamento resiliente de 3 solos não lateríticos de Salvador-BA. Os materiais, uma areia e duas argilas não lateríticas, caracterizados fisicamente e segundo a classificação MCT, foram ensaiados compactados nos parâmetros ótimos da energia de Proctor normal para determinação do módulo de resiliência em ensaio triaxial dinâmico. Os resultados permitiram avaliar a influência das tensões desvio e confinante no comportamento do módulo de resiliência bem como o comportamento desses materiais como material de subleito num pavimento de referência a partir de análises tensão deformação. Observou-se maior influência da tensão desvio para os solos mais finos e da tensão confinante para o material mais arenoso. Dos resultados obtidos nas análises mecânicas, destaca-se o melhor comportamento dos materiais argilosos não lateríticos comparados ao solo arenoso não laterítico estudado.

PALAVRAS-CHAVE: Resiliência, Solos tropicais, análise mecânica.

ABSTRACT: The resilience modulus is a mechanical property of soils that is essential for the structural analysis of pavements. Cyclic triaxial testing is the main laboratory method for estimating the resilience modulus, allowing precise control of sample conditions, applied loads, and measured displacements. Knowledge the mechanical properties and Brazilian Miniature, Compacted, Tropical (MCT) classification of soils in Paving Geotechnical engineering is increasingly important. In this sense, this work aimed to study the resilient behavior of three non-lateritic soils in the Salvador, BA region. The materials, one sand and two non-lateritic clays, characterized physically and according to the MCT classification, were tested compacted at the optimal parameters of standard Proctor effort to determine the resilience modulus in a dynamic triaxial testing. The results made it possible to evaluate the influence of deviatoric and confining stresses on the behavior of the resilience modulus as well as the behavior of these materials as subgrade material in a reference pavement based on stress-strain analyses. A greater influence of the deviatoric stress was observed for finer soils and of

the confining stress for the sandier material. From the results obtained using the AEMC software, the superior performance of non-lateritic clayey materials compared to the non-lateritic sandy soil studied stands out.

KEYWORDS: Resilience, Tropical soils, mechanistic analysis.

1 INTRODUÇÃO

A avaliação do comportamento resiliente de um solo resulta na determinação do módulo de resiliência (MR), desempenhando um papel crucial na análise estrutural de pavimentos. Essa análise fornece informações essenciais sobre a capacidade que o material tem de resistir e se recuperar de deformações induzidas por carregamentos externos.

A priori se faz necessário a classificação geotécnica do material em estudo, pois permite a análise das propriedades do solo, viabilizando a avaliação de sua adequação para projetos de pavimentação. Essa classificação é essencial para estimar o comportamento do solo sob diferentes condições, contribuindo diretamente para a eficácia e durabilidade das vias construídas sobre ele (VILIBOR; ALVES, 2019).

Concomitantemente, os solos tropicais exibem características únicas em comparação com solos de outras regiões, devido à influência de processos geológicos e/ou pedológicos específicos dessas áreas. Para sua classificação, é essencial recorrer a uma metodologia tecnológica conhecida como MCT (Miniatura, Compactada, Tropical), desenvolvida por Nogami e Villibor. Essa abordagem envolve a compactação e imersão em água de um corpo de prova em escala reduzida, representando as condições que esses solos enfrentam em projetos de obras viárias. (SANTOS, 2006).

Por conseguinte, o método laboratorial utilizado para análise do módulo de resiliência é o ensaio triaxial cíclico, que consiste na aplicação de ciclos de tensões cisalhantes em uma amostra. De acordo com Viana (2007), vários fatores podem influenciar o comportamento de resiliência do solo como, por exemplo, o nível das tensões, a composição granulométrica, a umidade, a densidade e a energia de compactação. Assim, ao compreender a reação provocada por esses fatores, torna-se viável a tomada de decisão.

Segundo Guimarães *et al.* (2024) solos tropicais lateríticos podem apresentar elevada quantidade de fração argila, o que pode intensificar as respostas plásticas. Porém, a presença de sesquióxidos de ferro e alumínio, além de caulinita, proporcionam boas características de coesão ao solo por serem cimentos naturais. Dessa forma, a existência significativa desta fração argila provoca um aumento na resistência do solo quando aplicada no campo. Segundo Fonte *et al.* (2022) as diferenças entre solos lateríticos e não lateríticos envolvem a composição de sua estrutura físico-química e granulometria.

Fonte *et al.* (2022) obtiveram resultados de MR para diversos solos não lateríticos. Desses resultados observa-se maiores valores de k_1 , k_2 e k_3 (coeficiente de ajustes do modelo para o MR) para os solos argilosos não lateríticos em comparação com solos arenosos não lateríticos.

Tabela 1. Coeficientes do modelo de módulo de resiliência – MR e classificação MCT de solos estudados por Fonte *et al.* (2022).

k_1	k_2	k_3	R^2	σ_3	σ_d	e'	c'	MCT
31	0,2	-0,44	0,93	0,103	0,206	1,3257	1,3288	NA'
112	0,36	-0,16	0,78	0,073	0,146	1,1905	1,509	NA'
110	0,36	-0,16	0,78	0,073	0,146	1,1904	1,5078	NA'
365	0,52	-0,16	0,98	0,072	0,146	1,2031	1,508	NA'
432	0,28	0,36	0,73	0,073	0,218	1,203	1,5078	NA'
674	0,6	0,28	0,99	0,038	0,116	1,2749	1,5078	NG'
331	0,08	-0,32	0,83	0,073	0,145	1,4672	2,6575	NG'
211	0,64	0,08	0,92	0,109	0,113	1,2908	1,5078	NG'
202	0,52	0,08	0,89	0,109	0,22	1,2685	1,803	NG'
398	0,64	0,16	0,98	0,072	0,151	1,8577	1,3288	NS'

Segundo Freitas *et al.* (2020), a forma como os dois são utilizados nos subleitos pode afetar o quão resilientes eles são em função do processo de laterização. A durabilidade dos agregados argilosos com

alterações no teor de água é uma das principais distinções entre solos lateríticos e não lateríticos. Os autores observaram para um solo laterítico de subleito valores de MR significativamente maiores, mas o comportamento resiliente foi mais sensível ao teor de água quando comparado ao solo não laterítico.

Desta forma, o propósito deste estudo consistiu na avaliação do comportamento resiliente de 3 solos não lateríticos encontrados na região de Salvador-BA no contexto da Geotecnia de pavimentos. Esses solos foram caracterizados utilizando a metodologia MCT e, além disso, foram compactados corpos de prova nos parâmetros ótimos da energia de Proctor normal. Esses corpos de prova foram então submetidos ao ensaio triaxial de cargas repetidas para determinar o módulo de resiliência, conforme as diretrizes estabelecidas pela DNIT 134/2018. Com essas informações buscou-se avaliar o comportamento desses materiais por meio de uma análise mecanicista em um pavimento de referência utilizando o software AEMC.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de solo foram coletadas, foram provenientes da região próxima da Estação Mussurunga do metrô de Salvador, Bahia. Na Figura 1 são apresentados os pontos de coleta. Trata-se de material de subleito do pavimento rodoviário da região da estação. A amostra identificada como PI-01 foi coletada entre as profundidades de 0,33 a 1,50m, PI-02 entre 0,45 e 1,50m, e PI-03 entre 0,50 e 1,50m. O programa experimental constituiu-se na realização de ensaios de caracterização geotécnica convencional, ensaios para classificação MCT, ensaios Índice Suporte Califórnia (ISC) e Expansão, ensaios de módulo de resiliência, utilizou-se o software AEMC para análise do comportamento mecânico de um pavimento flexível de referência com parâmetros utilizados por Carvalho et al. (2020), considerando os valores de densidade, k_1 , k_2 e k_3 obtidos nos ensaios de módulo de resiliência. O programa experimental foi integralmente desenvolvido no Laboratório de Pavimentação da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB).

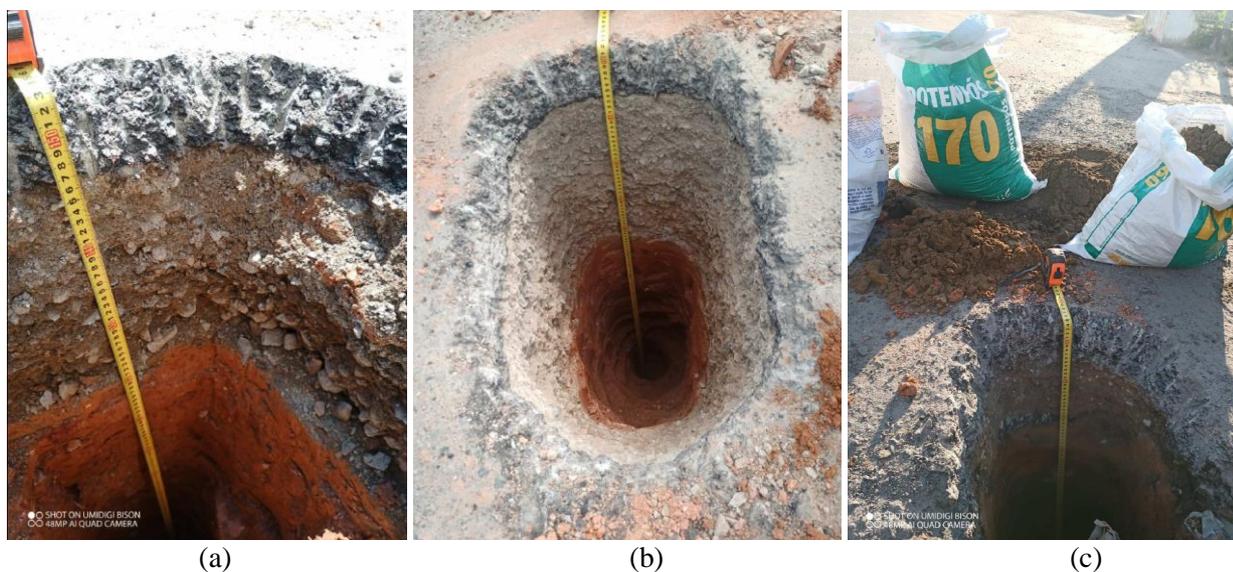


Figura 1. Locais de coleta das amostras: (a) PI-01 (0,33 a 1,50m); (b) PI-02 (0,45 a 1,50m); e (c) PI-03 (0,50 a 1,50m).

As características físicas dos materiais estudados estão apresentadas na Tabela 2. Trata-se de duas argilas de baixa compressibilidade (CL) e uma areia siltosa (SM) segundo o Sistema de Classificação Unificado de Solos. E, segundo a classificação da AASHTO dois solos são A-7-6 e um A-2-4.

Tabela 2. Características das amostras deste estudo.

Amostra	Granulometria (mm) (%Passante)							LL	LP	IP	IG	AASHTO	SUCS
	25,4	9,51	4,75	2	0,42	0,15	0,074						
PI-01	100	99	98	94	81	64	57	43	20	23	10	A-7-6	CL
PI-02	100	100	98	94	82	69	62	48	24	24	12	A-7-6	CL
PI-03	100	100	100	98	83	49	32	19	11	8	0	A-2-4	SM

Os parâmetros ótimos de compactação bem como os valores de CBR e expansão dos materiais compactados na energia de Proctor Normal estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros ótimos de compactação, CBR e expansão dos materiais deste estudo.

Amostra	w _{ót} (%)	ρ _{dmáx} (g/cm ³)	Expansão (%)	CBR
PI-01	19,6	1,69	2,7	4,5
PI-02	22,5	1,620	2,8	4,3
PI-03	10,8	1,942	0	32,4

2.1 Classificação pela Metodologia MCT

O procedimento utilizado para caracterizar os solos segundo a metodologia MCT, envolveu a compactação dos corpos de prova em escala reduzida e a aplicação de energia progressiva para alcançar a máxima massa específica aparente. Este processo é repetido em cinco diferentes teores de umidade, conforme a DNER-ME 259 (DNER, 2023b). Após a compactação, os corpos de prova são imersos em água para a determinação de perda de massa por imersão. Em seguida, são calculados os coeficientes Pi (perda de massa por imersão), c' (coeficiente de argilosidade), d' (coeficiente angular da parte retilínea, utilizado para o cálculo do coeficiente de laterização) e finalmente é determinado o coeficiente e' (coeficiente de laterização). Com base nos valores de c' e e' é possível classificar o solo.

A classificação é dividida em sete áreas representativas de dois grupos distintos: os lateríticos (L) e não lateríticos (NL). O lateríticos são subdivididos em LA (areia laterítica quartzosa), LA' (solo arenoso laterítico), LG' (solo argiloso laterítico), enquanto os não lateríticos incluem NA (areia não laterítica), NA' (solo arenoso não laterítico), NS' (solo siltoso não laterítico) e NG' (solo argiloso não laterítico) (VILIBOR e ALVES, 2019; DNER, 2023a).

2.2 Preparação e Compactação dos materiais

Foram moldados corpos de prova dos solos seguindo as orientações do ME DNIT 443 (DNIT, 2023b), utilizando moldes tripartidos de diâmetro 100 mm e altura 200 mm. Para compactação, utilizou-se 3 amostras com 4 kg, aproximadamente, de cada material. Foram compactados 3 corpos de prova (CP), nos parâmetros ótimos de compactação para a energia Normal de Proctor (Tabela 2) em compactador automatizado.

2.3 Ensaio de Módulo de Resiliência

Foram realizados ensaios de Módulo de Resiliência (MR) nos 3 materiais conforme a norma ME DNIT 134 (DNIT, 2018). Cada CP compactado foi levado para o equipamento triaxial de carga repetida, onde foi submetido ao ensaio de MR para aplicação de diferentes pares de tensões desvio (σ_d) e confinante (σ_3) conforme a norma ME DNIT 134 (DNIT, 2018).

Conforme a norma ME DNIT 134 o teor de umidade medido com o corpo de prova, após o ensaio, pode variar em relação à umidade ótima até ± 1 % para material granular e $\pm 0,5$ % para material fino. A norma ME DNIT 134 estabelece que durante o condicionamento, ou em qualquer outra fase do ensaio, se for alcançada uma deformação permanente acumulada igual ou maior que 5 % da altura do corpo de prova, o ensaio deve ser interrompido e o resultado desconsiderado. E, para os solos de subleito admite-se que o condicionamento seja feito apenas com o primeiro par de tensões ($\sigma_3 = 0,07$ MPa e $\sigma_d = 0,07$ MPa), aplicando 500 repetições. Todos os materiais foram testados no ensaio completo (sequência completa de tensões para fase de condicionamento e 18 pares de tensão para determinação do módulo de resiliência) conforme a norma ME DNIT 134. No caso de deformação acumulada superior a 5% nessa condição, os materiais foram testados na sequência de tensões para determinação do módulo de resiliência para solos de subleito (uma sequência de condicionamento e doze pares de tensões).

O carregamento vertical cíclico foi aplicado na frequência de 1 Hz (60 ciclos de carregamento por minuto). Logo após a finalização do ensaio, cada CP foi pesado e levado à estufa, com temperatura de aproximadamente 110°C por 48 horas ou até a constância da massa, para determinação do teor de umidade.

A relação entre a tensão (σ_d) e a deformação resiliente (ϵ_r) determina o módulo de resiliência para cada par de tensões aplicada, conforme a Equação 1.

$$MR = \frac{\sigma_d}{\epsilon_r} \quad (1)$$

De posse dos MR calculados, para diferentes pares de tensões testados foi possível determinar as constantes de k_1 , k_2 e k_3 do modelo de variação do módulo de resiliência, de acordo com a Equação 2.

$$MR = k_1 \sigma_3^{k_2} \sigma_d^{k_3} \quad (2)$$

Em que MR: Módulo de resiliência [MPa];

k_1 , k_2 e k_3 : coeficientes de regressão constantes;

σ_3 : Tensão confinante [MPa];

σ_d : Tensão desvio [MPa].

2.4 Simulação do Pavimento de Referência

Utilizou-se para o dimensionamento do pavimento de referência, a estrutura do pavimento flexível obtida pelos autores Carvalho et al. (2020), Segundo estes autores esta estrutura foi idealizada empiricamente, com valores considerados como referência para as rodovias federais sob administração do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) no Estado da Bahia, com número de operações do eixo padrão de 80 kN, com $N_{projeto} = 1,6 \times 10^7$ para o *United States Army Corps of Engineers (USACE)* e $N_{projeto} = 5,0 \times 10^6$ para o *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*. As espessuras destas camadas estão listadas na Figura 2, constituído por Base (B), Sub-base (SB) granulares e Subleito (SL), este último utilizado os solos do presente estudo.

Revestimento (R) = 10 cm
Base (B) = 15 cm
Sub-base (SB) = 15 cm
Subleito (SL) = ∞

Figura 2. Pavimento de Referência (adaptado de Carvalho *et al.*, 2020).

2.5 Análise Tensão-Deformação

A partir da estrutura de referência, foram realizadas análises de tensão-deformação com a utilização do software AEMC desenvolvido pelo DNIT, considerando a interface entre as camadas como aderida, a aplicação das cargas foi considerada para um eixo padrão. Os valores de referência de MR e o coeficiente de Poisson das camadas de Revestimento, Base e Sub-base, foram obtidos conforme as normas de projeto de pavimento flexível vigentes no Brasil (DNIT, 2006; DER-SP, 2006), listados na Tabela 4. Para o subleito foram utilizados o valor de coeficiente de Poisson 0,40 adotado também da norma (DER-SP, 2006) e com comportamento não linear utilizando valores de k_1 , k_2 e k_3 obtidos experimentalmente.

Tabela 4. Valores de MR e ν das camadas (DER-SP, 2006).

Camada	ATRIBUTO	
	MR (MPa)	ν
Revestimento	3500	0,30
Base	225	0,35
Sub-base	225	0,35

As leituras para o trincamento à fadiga foram realizadas no centro do eixo ($x = 0$) e no centro de um pneumático do eixo padrão ($x = 16,2$ cm) a fim de utilizar os dados do ponto mais crítico, sendo este identificado no centro do eixo, obtendo-se os valores de deslocamento vertical no topo do revestimento (D), a deformação horizontal de tração na fibra inferior do revestimento (ϵ_{tr}) e a deformação vertical no topo do subleito (ϵ_v). Para o cálculo dos N previstos no topo do revestimento (N_{tr}), fibra inferior do revestimento (N_{ir})

e topo do subleito (N_{sub}) foram utilizadas as Equações 3 a 5. Vale ressaltar que nas Equações 3 e 5 refere-se aos fatores de equivalência de carga da USACE, enquanto a Equação 4 refere-se ao AASHTO.

$$N_{tr} = \sqrt[n]{\frac{10^k}{D}}, \text{ onde } K = 3,01 \text{ e } n = 0,176 \quad (3)$$

$$N_{ir} = kx \left(\frac{1}{\epsilon t}\right)^n, \text{ onde } K = 1,092 \times 10^{-6} \text{ e } n = 3,512 \quad (4)$$

$$N_{sub} = kx \left(\frac{1}{\epsilon v}\right)^n, \text{ onde } K = 6,069 \times 10^{-10} \text{ e } n = 4,762 \quad (5)$$

3 RESULTADOS

3.1 Classificação do solo por MCT

Para a classificar os três solos em estudo, se faz necessário compreender os parâmetros da metodologia MCT. Segundo Nogami e Villibor (1995) citados por Villibor e Alves (2019, p. 61) o coeficiente c está relacionado com a granulometria do solo. Solos da classe laterítico que apresentam c' entre 0 e 0,7 são classificados como areia, entre 0,7 e 1,5 são os solos arenosos, já entre os intervalos de 1,5 e 3 como solos argilosos. Em relação à classe não laterítica, eles associam o coeficiente a coesão de compactação de solo, onde solos com $c' > 1,5$ são argila e solos argilosos coesivos, solos com c' compreendido no intervalo de 1 e 1,5 podem ser constituídos de areia siltosa, argila arenosa, ou areia, enquanto solos com o $c' < 1,0$ são caracterizados como areias e siltes não plásticos.

No que tange ao parâmetro d' de acordo com Nogami e Villibor (1995) citados por Villibor e Alves (2019) as argilas lateríticas, em geral, possuem $d' > 20$ (kg/m³)/%, ao passo que as argilas não lateríticas não atingem esse valor. As areias puras possuem d' baixo, ao passo que as areias finas argilosas tendem a ter d' elevado, ultrapassando 100 (kg/m³)/%.

Além disso, o índice e' indica se o comportamento do solo é laterítico ou não laterítico. Portanto, pode-se proceder à análise dos dados obtidos neste experimento utilizando a Tabela 5.

Tabela 5. Parâmetros e classificação das amostras conforme MCT.

Solo	Parâmetros				Classificação MCT
	c'	d'	P_i	e'	
P01	2,20	14,9	254%	1,57	NG'
P02	1,84	43,9	263%	1,46	NG'
P03	0,84	70,9	125%	1,15	NA'

Portanto, as amostras foram classificadas como solo da classe N, sendo dois desses solos identificados como solos argilosos não lateríticos, caracterizados por elevadas expansões, plasticidade, compressibilidade e contração, tornando-os inadequados para uso em camadas de pavimento nobre. Em contrapartida, a amostra P03 apresentou um valor de c' médio e foi classificada como solo arenoso não laterítico, podendo conter mica e quartzo em sua composição (VILLIBOR; ALVES, 2019).

3.2 Módulo de Resiliência

Os resultados de $MR_{médio}$ dos solos analisados (Tabela 6 e Figura 3) foram superiores a 50 MPA, atendendo ao critério estabelecido IS DNIT 247 (DNIT, 2021), se mostraram apropriados para utilização como camada de subleito rodoviário. Vale salientar todos os corpos de prova foram compactados na energia Proctor normal. Ressalta-se aqui que nenhum dos materiais ensaiados suportaram o ensaio completo, sendo então ensaiados como material de subleito conforme recomendações da ME DNIT 134.

Em termos de valores médios do MR observa-se que não há tanta influência da granulometria do material. O que se pode observar com auxílio da Figura 3 em termos de influência da granulometria é a maior influência da tensão desvio para os solos mais finos (P01 e P02) e da tensão confinante para o material mais arenoso (P03).

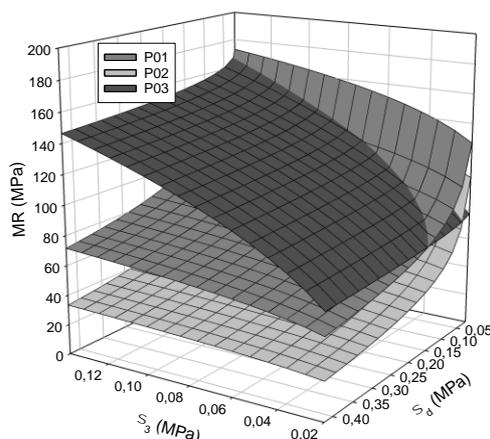


Figura 3. Variação do MR com a tensão confinante e tensão desvio.

Tabela 6. Parâmetros de ajuste do modelo composto para o módulo de resiliência dos materiais.

Amostra	MR _{médio} (MPa)	k ₁	k ₂	k ₃	R ²
P01	97,61	76,16	0,16	-0,29	0,97
P02	64,10	29,44	0,14	-0,46	1,00
P03	95,65	307,85	0,398	-0,045	0,99

3.3 Análise Tensão-Deformação

A (Tabela 7) apresenta os resultados obtidos nas simulações realizadas no software AEMC, para o cálculo da deflexão (D) no topo do revestimento, das deformações de tração na fibra inferior do revestimento em concreto asfáltico (ϵ_{tr}) e vertical no topo do subleito (ϵ_v) e das solicitações admissíveis utilizando as equações listadas anteriormente.

A partir dos resultados obtidos utilizando o pavimento de referência, observa-se que em todos os casos o número de repetições de cargas admissíveis ao dano para deformações verticais de compressão do subleito, foi inferior ao número de solicitações previsto em projeto ($N_{projeto}$).

Tabela 7. Pavimento de referência: Resultado da análise tensão-deformação dos subleitos.

Amostra	ATRIBUTO					
	D (10 ⁻² mm)	ϵ_{tr} (10 ⁻⁵)	ϵ_v (10 ⁻⁵)	N_{tr}	N_{ir}	N_{sub}
P01	40,16	23,6	41,7	$9,76 \times 10^7$	$5,98 \times 10^6$	$7,55 \times 10^6$
P02	44,78	23,9	47,1	$5,26 \times 10^7$	$5,72 \times 10^6$	$4,23 \times 10^6$
P03	54,41	24,3	57,1	$1,74 \times 10^7$	$5,39 \times 10^6$	$1,69 \times 10^6$

Entretanto, destaca-se o material de P01 na análise tensão-deformação, foi o que apresentou números de solicitações admissíveis maiores em relação aos demais subleitos analisados, da ordem $N_{sub} = 7,55 \times 10^6$, $N_{ir} = 5,89 \times 10^6$ e $N_{tr} = 9,76 \times 10^7$, isso indica que o sistema irá demorar mais tempo para sofrer danos em comparação aos demais subleitos para esta configuração de pavimento. Esse material foi o que mais se aproximou dos valores de projeto com relação às deformações verticais de compressão do subleito com valores de solicitação cerca de 30 % menores.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho visou realizar uma análise comparativa de vida útil do pavimento utilizando um pavimento de referência, com auxílio do software AEMC, entre 3 amostras de subleito não lateríticos da cidade de Salvador-Bahia. As amostras foram caracterizadas segundo a metodologia MCT para devida classificação dentre as sete classes e foi determinado o Módulo de Resiliência desses materiais. O objetivo, além da caracterização, foi analisar o comportamento tensão-deformação de uma estrutura de pavimento de referência assentado sobre os diferentes subleitos no AEMC.

Dentre os resultados obtidos no software AEMC, destaca-se o melhor comportamento dos materiais argilosos não lateríticos comparados ao solo arenoso não laterítico estudado. Para estes materiais os resultados apontam para uma vida útil maior dentre os solos analisados. Com isso, para o nível de solicitação de referência aqui estabelecido, seria necessária uma estrutura de pavimento mais robusta para uma maior durabilidade.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), ao Laboratório de Pavimentação da UFRB e a Foa Construção e Projetos Ltda.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carvalho, A. I. S.; Almeida, M. S. De S.; Pedreira, W. J. P.; Costa, W. G. S.; Mateus, M. Do S. C. S. (2020) Influência da Densificação do Solo de Subleito no Desempenho de Pavimentos Flexíveis. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 43, n. 4, p. 253-262. Instituto de Geociências - UFRJ.
- Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes. (2021). *Instrução de Serviço – IS-247: Estudos para Elaboração de Projetos de Implantação usando o Método de Dimensionamento Nacional – MeDiNa*. 1.ed. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias. p. 22.
- Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes. (2018). *DNIT 134/2018 ME – Pavimentação Solos - Determinação do módulo de resiliência*. Rio de Janeiro, 18 p.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2023a). *DNIT 258 - Solos - Compactação em equipamento miniatura - Ensaio Mini-MCV e perda de massa por imersão - Método de ensaio*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2023b). *DNIT 259 - Solos - Classificação de solos finos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos de prova compactados em equipamento miniatura - Classificação*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2023c). *DNIT 443/2023 ME - Solos – Ensaio de compactação utilizando moldes tripartidos*. Brasília-DF, 12 p.
- Fonte, F. S. M.; Donato, M.; Gouveia, B. G.; Santana, C. S. A.; Vieira Da Silva, M. A. (2022) Analysis of the influence of tropical soil classification methods on railway subgrades according to repeated load triaxial (RLT) and light weight deflectometer (LWD) tests. *Case Studies in Construction Materials*. v. 17, p. e01301. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01301>>. .
- Freitas, J. B. de; Rezende, L. R. de; Gitirana Jr., G. de F. N. (2020). Prediction of the resilient modulus of two tropical subgrade soils considering unsaturated conditions. *Engineering Geology*. V. 270, p. 105580. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105580>
- Santos, E. F. (2006) *Estudo comparativo de diferentes sistemas de classificações geotécnicas aplicadas aos solos tropicais*. Dissertação de Mestrado, Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 145 p.
- Viana, H. M. F. (2007). *Estudo do comportamento resiliente dos solos tropicais grossos do interior do Estado de São Paulo*. Tese de Doutorado - Curso de Engenharia Civil - Área de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos / USP, 321 p.
- Villibor, D. F.; Alves, D. M. L. (2019) *Pavimentação de Baixo Custo para Regiões Tropicais: projeto e construção - novas considerações*. Florianópolis: Tribo da Ilha.