



26º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 49ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPV)

COMPORTAMENTO RESILIENTE DOS MATERIAIS UTILIZADOS NO PAVIMENTO DO AEROPORTO DE DOURADOS/MS

*Camila Antunes Martins¹; Luisa Carla de Alencar Menezes¹; Ana Carolina Duarte Bona¹;
Priscila Oliveira Folly¹; Antônio Carlos Rodrigues Guimarães¹*

RESUMO

Os aeroportos desempenham um papel fundamental no fortalecimento da economia de um país, sendo essenciais para o comércio internacional, turismo e investimentos. O pavimento aeroportuário deve apresentar desempenho estrutural adequado às demandas operacionais, assegurando uma superfície capaz de suportar as atividades aeroportuárias e conferir segurança e conforto aos usuários. A integração dos princípios da mecânica dos pavimentos no projeto e dimensionamento tem se tornado cada vez mais comum, permitindo uma previsão mais precisa do comportamento das diferentes camadas do pavimento diante das tensões e deformações às quais são submetidas. Este estudo visa analisar o comportamento resiliente do solo do subleito no aeroporto regional de Dourados/MS, com o objetivo de avaliar sua viabilidade para uso. A caracterização dos solos revelou características típicas de solos tropicais, indicando sua adequação para as condições locais. Os ensaios realizados no equipamento triaxial dinâmico para determinação do Módulo de Resiliência (MR) demonstraram que o solo possui valores médios que o qualificam como um material apropriado para o emprego como material de subleito do aeroporto de Dourados. Verifica-se, também, que a determinação do MR dos materiais empregados nas camadas dos pavimentos pode contribuir significativamente para a melhoria da infraestrutura aeroportuária, aumentando assim a eficiência e durabilidade da rede de aeroportos da região.

PALAVRAS-CHAVE: Módulo de Resiliência; Pavimento Aeroportuário; Solo Fino Laterítico.

ABSTRACT

Airports play a fundamental role in strengthening a country's economy, being essential for international trade, tourism, and investments. Airport pavement must exhibit adequate structural performance to meet operational demands, ensuring a surface capable of supporting airport activities while providing safety and comfort to users. The integration of pavement mechanics principles into design and dimensioning has become increasingly common, allowing for a more precise prediction of the behavior of different pavement layers under the stresses and deformations they are subjected to. This study aims to analyze the resilient behavior of subgrade soil at the regional airport of Dourados/MS, with the goal of evaluating its suitability for use. Soil characterization has revealed typical characteristics of tropical soils, indicating its suitability for local conditions. Tests conducted on the dynamic triaxial equipment to determine the Resilience Module (MR) have shown that the soil has average values qualifying it as an appropriate material for use as subgrade at the Dourados airport. It is also evident that determining the MR of materials used in pavement layers can significantly contribute to the improvement of airport infrastructure, thereby enhancing the efficiency and durability of the airport network in the region.

KEY WORDS: Resilient Modulus; Airport Pavement; Lateritic Fine Soil.

¹ Instituto Militar de Engenharia, camilaantunes@ime.eb.br; luisacarlaam@hotmail.com; anabona@ime.eb.br; priscilafolly123@gmail.com; guimaraes@ime.eb.br.

INTRODUÇÃO

Os aeroportos desempenham um papel crucial no fortalecimento da economia nacional, impulsionando o comércio internacional, o turismo e os investimentos. Segundo dados da Agência Nacional de Aviação Civil, o setor aéreo brasileiro registrou um aumento significativo de



aproximadamente 15% no número de passageiros em 2023 em comparação com o ano anterior, alcançando a marca de 112 milhões de passageiros (ANAC, 2023).

A gestão aeroportuária demanda investimentos substanciais em infraestrutura, especialmente na construção e manutenção de pavimentos, cuja qualidade e conservação desempenham um papel fundamental na prevenção de possíveis acidentes aéreos decorrentes de irregularidades excessivas. Entretanto, é comum que os recursos financeiros disponíveis para essa manutenção sejam insuficientes diante das demandas identificadas (SHAHIN, 2005).

Diante dessa realidade, onde a condição dos pavimentos nos aeroportos é crucial para garantir a segurança e o conforto durante as viagens aéreas, torna-se evidente a necessidade de investimentos e pesquisas voltadas para a melhoria da qualidade desses pavimentos no Brasil. Esses esforços são essenciais para o avanço do país, podendo resultar na construção de novos pavimentos com durabilidade e desempenho otimizados, contribuindo para um sistema aeroportuário mais eficiente e competitivo.

A fase de projeto e dimensionamento desempenha um papel fundamental na garantia de uma longa vida útil para os pavimentos, minimizando a necessidade de intervenções de manutenção, como destacado por Spada (2003). Portanto, é necessário empregar métodos de dimensionamento que considerem o comportamento real das camadas geotécnicas, como os ensaios de módulo de resiliência para solos e camadas granulares.

Medina e Motta (2005) enfatizam a importância do sublastro na qualidade da via para a operação segura e confortável dos veículos ferroviários. Durante a fase de projeto, é essencial melhorar o sublastro ou buscar materiais que possam corresponder melhor à capacidade de carga da via, pois o sublastro é de difícil acesso para reparos posteriores.

No que diz respeito às camadas do pavimento aeroportuário, o comportamento mecânico da camada de sublastro é de suma importância, devendo apresentar rigidez e capacidade de suporte adequadas para resistir às tensões provocadas pelo tráfego de aeronaves, sem deformações plásticas excessivas que possam comprometer a integridade estrutural do pavimento.

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar o comportamento resiliente do solo proveniente do subleito do Aeroporto Regional de Dourados/MS. Para isso, foram realizados ensaios no equipamento triaxial dinâmico para determinação do Módulo de Resiliência (MR).

PAVIMENTO AEROPORTUÁRIO

O pavimento é uma construção que sucede a etapa de preparação do solo e tem como principal propósito resistir e distribuir as cargas verticais geradas pelo tráfego, melhorando as condições de rolamento para assegurar segurança e conforto, além de suportar as cargas horizontais, garantindo uma superfície durável para a circulação (NBR 7207, 1982).

No contexto aeroportuário, o pavimento assume uma importância ainda maior devido às demandas específicas do tráfego de aeronaves. Os pavimentos de aeroportos devem ser projetados para suportar cargas excepcionalmente pesadas, como as geradas por aeronaves de grande porte durante as fases de decolagem e pouso. Além disso, eles devem garantir condições de segurança para as operações



aeroportuárias, incluindo resistência ao deslizamento e eficiente drenagem para prevenir a formação de poças de água que possam comprometer a aderência dos pneus das aeronaves.

A complexidade do pavimento aeroportuário demanda considerações técnicas detalhadas, desde a seleção de materiais adequados até um dimensionamento estrutural preciso, além da necessidade de manutenção regular para preservar a integridade da superfície de rolamento ao longo do tempo. No que diz respeito à escolha dos materiais, Guimarães (2009) destaca que as propriedades mecânicas dos materiais utilizados nas diversas camadas dos pavimentos, como o Módulo de Resiliência (MR), são influenciadas por uma série de fatores. Isso inclui a condição de carregamento e o estado de tensão a que estão sujeitos, a natureza do solo, que envolve sua origem, composição e estrutura, e o estado físico do solo, que é determinado pelo teor de umidade e pela massa específica seca.

Módulo de Resiliência

Entende-se por resiliência a capacidade de um material retornar à sua forma e posição original após o cessar do carregamento (KLINCEVICIUS, 2011). O módulo de resiliência, portanto, é uma das propriedades mecânicas que influenciam o desempenho dos materiais a serem utilizados nas camadas do pavimento.

Dessa forma, o emprego do módulo de resiliência (MR) é um dos principais parâmetros na definição da qualidade dos materiais que serão aplicados na construção de pavimentos, sobretudo a característica resiliente do material que constitui o subleito.

A aplicação de carga durante o ensaio é de um pulso com um tempo de duração de 0,1 segundo de carregamento e repouso de 0,9 segundo. O procedimento decorre da aplicação de dezoito pares de tensões, onde a tensão confinante (σ_3) é dada pela pressão de ar dentro da câmara e tensão solicitante (σ_1) por célula de carga, conforme exemplificado na Figura 1.

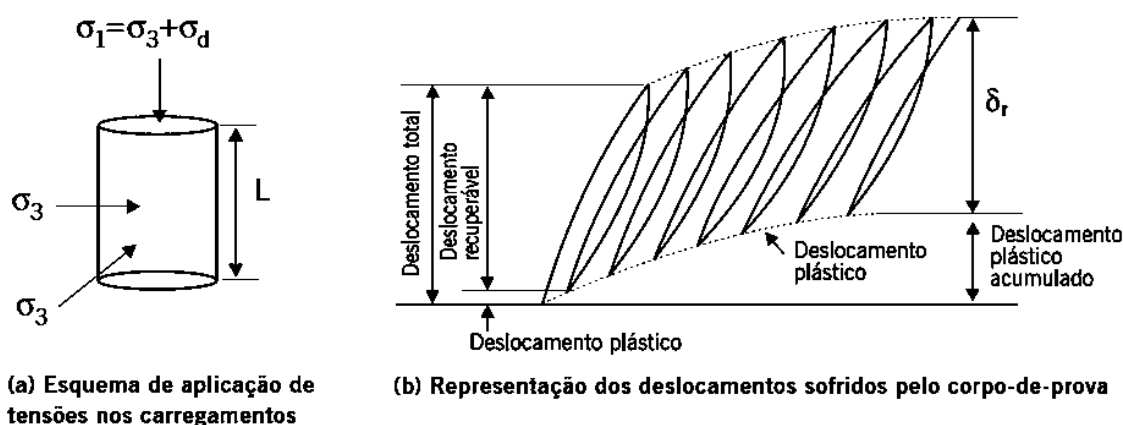


Figura 1. Tensões aplicadas e deslocamentos no ensaio de carga repetida (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Assim, ao se aplicar a Lei de Hooke generalizada, o módulo de resiliência pode ser calculado pela razão entre as tensões transientes verticais e a deformação recuperável, conforme é dado pela Equação 1.



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

Onde:

$\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$ = tensão desvio aplicada repetidamente no eixo axial;

ε_r = deformação específica axial resiliente (recuperável), mm/mm. Sendo: $\varepsilon_r = \delta_r/L$, isto é, deslocamento recuperável (δ_r) pela altura ou espessura (L) do corpo-de-prova submetido às tensões.

Dessa forma, o Módulo de Resiliência (MR) é representado na forma de modelos matemáticos que buscam correlações empíricas entre o valor obtido com o estado de tensões aplicadas. Dentre os fatores que afetam o módulo de resiliência do solo, indicam-se a constituição mineralógica, textura e plasticidade do solo, umidade, grau de saturação, densidade e estado de tensões (GOMES, 2018).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o presente estudo foi analisando um solo proveniente do subleito do Aeroporto Regional de Dourados, localizado no município de Dourados/MS. Durante a coleta pode-se observar o aspecto argiloso e fino do material de acordo com o exposto na Figura 2.



Figura 2. Solo laterítico em seu local de origem no aeroporto de Dourados/MS.

Após a coleta das amostras a parti, procedeu-se à realização de ensaios de caracterização no Laboratório de Solos do Instituto Militar de Engenharia, situado no Rio de Janeiro/RJ. Foram conduzidos os seguintes ensaios: análise granulométrica (DNER-ME 051/94), classificação MCT (DNER-ME 256/94 e DNER-ME 258/94), determinação da densidade real (DNER-ME 084/95), e dos limites de liquidez e plasticidade (DNER-ME 122/94 e DNER-ME 082/94, respectivamente). Os resultados desses ensaios estão resumidos na Tabela 1.

Tabela 1. Carcaterização do solo estudado.

Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)	Densidade Real (g/cm^3)	Umidade Ótima (%)	MEAS (g/cm^3)	Classificação MCT
51,3 0	31,00	2,77	27,40	1,60	LG'

No que diz respeito à granulometria do solo estudado, observa-se presença majoritária de argila sendo está de 69%, 31% de silte e 1% para areia fina (Figura 3).

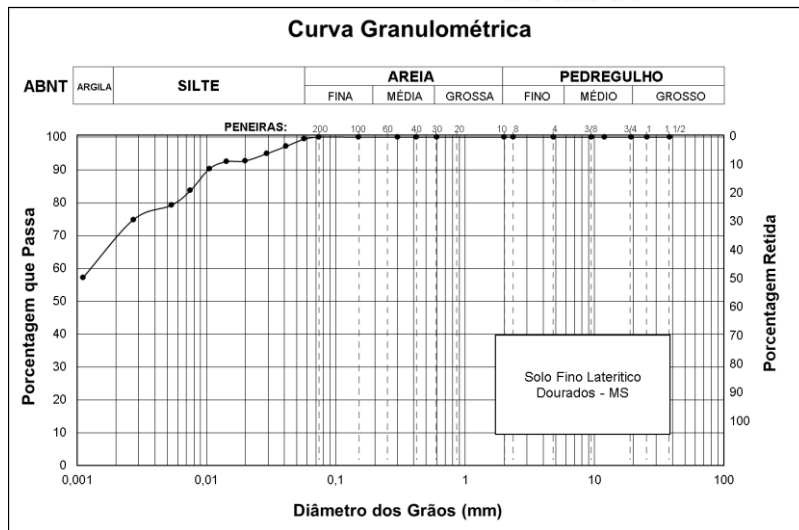


Figura 3. Granulometria por peneiramento e sedimentação do solo.

Após realizada a caracterização granulométrica do material, procedeu-se a utilização do equipamento triaxial de cargas repetidas para a realização dos ensaios de Módulo de Resiliência (MR). O ensaio para determinação do MR foi realizado em concordância com a norma DNIT 134/2018 – ME. Foram adotados corpos de prova com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura e estes foram compactados na energia Proctor Modificada. Os pares de tensões aplicados neste estudo são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Tensões empregadas nos ensaios.

Ciclo	Tensão Confinante (MPa)	Tensão Desvio (MPa)
1	0,021	0,022
2	0,021	0,041
3	0,021	0,062
1	0,035	0,036
2	0,035	0,072
3	0,035	0,107
1	0,050	0,052
2	0,050	0,102
3	0,050	0,151
1	0,070	0,072
2	0,070	0,141
3	0,070	0,215
1	0,105	0,107
2	0,105	0,219
3	0,105	0,334
1	0,139	0,142
2	0,139	0,295



Ciclo	Tensão Confinante (MPa)	Tensão Desvio (MPa)
3	0,139	0,442

A análise do comportamento resiliente foram realizadas com base nos modelos para obtenção do Módulo de Resiliência (MR) apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Modelos de enquadramento do MR utilizados no presente trabalho.

Modelos	Autores
$Mr = k_1 \left(\frac{\sigma_3}{P_a} \right)^{k_2}$	DUNLAP (1963)
$Mr = k_1 \left(\frac{\sigma_{sum}}{P_a} \right)^{k_2}$	SEED <i>et al.</i> , (1967)
$Mr = k_1 P_a \left(\frac{\sigma_{sum}}{P_a} \right)^{k_2} \left(\frac{\sigma_d}{P_a} \right)^{k_3}$	UZAN (1985)
$Mr = k_1 P_a \left(\frac{\sigma_{sum}}{P_a} \right)^{k_2} \left(\frac{\tau_{oct}}{P_a} \right)^{k_3}$	WITCZAK e UZAN (1988)
$Mr = k_1 \left(\frac{\sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2 \sigma_3 + \sigma_3 \sigma_1}{\tau_{oct}} \right)^{k_2}$	JOHNSON <i>et al.</i> , (1986)
$Mr = k_1 \left(\frac{\left(\frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \right)}{\sigma_d} \right)^{k_2}$	TAM e BROWN (1988)
$Mr = k_1 P_a \left(\frac{\sigma_3}{P_a} \right)^{k_2} \left(\frac{\sigma_d}{P_a} \right)^{k_3}$	PEZO (1993)
$Mr = k_1 \left(\frac{\sigma_3}{P_a} + 1 \right)^{k_2} \left(\frac{\sigma_d}{P_a} + 1 \right)^{k_3}$	HOPKINS <i>et al.</i> , (2001)
$Mr = k_1 P_a \left(\frac{\sigma_3}{P_a} + 1 \right)^{k_2} \left(\frac{\sigma_d}{P_a} + 1 \right)^{k_3}$	NI <i>et al.</i> , (2002)
$Mr = k_1 P_a \left(\frac{\sigma_{sum}}{P_a} + 1 \right)^{k_2} \left(\frac{\tau_{oct}}{P_a} + 1 \right)^{k_3}$	NCHRP1-37A (2004)
$Mr = k_1 P_a \left(\frac{\sigma_{sum}}{P_a} \right)^{k_2} \left(\frac{\sigma_d}{P_a} + 1 \right)^{k_3}$	NCHRP1-28A (2004)
$Mr = k_1 P_a \left(\frac{\sigma_{sum}}{P_a} + 1 \right)^{k_2} \left(\frac{\sigma_d}{P_a} + 1 \right)^{k_3}$	OOI <i>et al.</i> , (2004)



RESULTADOS E DISCUSSÕES

O módulo de resiliência, uma propriedade mecânica do solo obtida por meio de ensaios triaxiais de carga repetida, serve para avaliar sua rigidez. Para o solo laterítico investigado neste estudo, os resultados do Módulo de Resiliência variaram de 156 a 258 MPa, conforme detalhado na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados do módulo de resiliência do solo laterítico estudado.

Ciclo	Tensão Confinante (MPa)	Tensão Desvio (MPa)	Módulo Resiliente (MPa)
1	0,021	0,022	157,6
2	0,021	0,041	156,3
3	0,021	0,062	156,4
1	0,035	0,037	179,1
2	0,035	0,072	181,7
3	0,035	0,107	181,0
1	0,050	0,052	199,3
2	0,050	0,102	197,4
3	0,050	0,151	195,4
1	0,070	0,072	216,6
2	0,070	0,141	213,0
3	0,070	0,215	210,4
1	0,105	0,107	236,0
2	0,105	0,219	234,2
3	0,105	0,334	239,2
1	0,140	0,142	258,9
2	0,140	0,295	256,8
3	0,140	0,442	247,6

A Figura 4 exibe o gráfico representando a distribuição dos módulos de resiliência obtidos no ensaio em relação à tensão desvio e à tensão confinante.

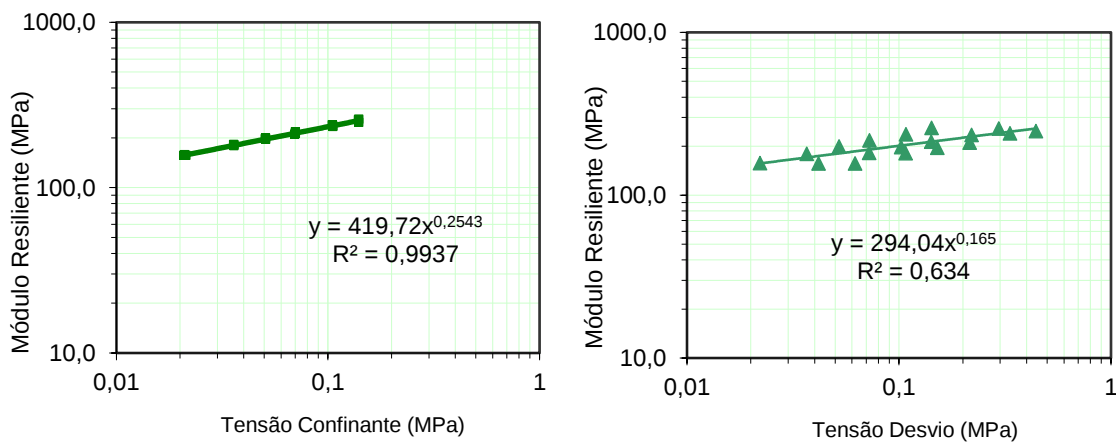


Figura 4. Módulos de resiliência obtidos no ensaio em função da tensão desvio e da tensão confinante para o solo laterítico.



Nota-se um alto coeficiente de correlação (R^2) de 0,9952 para o gráfico em relação à tensão confinante, indicando que o material possui características finas, como evidenciado no ensaio de granulometria. Além disso, foram realizadas análises do módulo de resiliência em outros modelos encontrados na literatura, os quais estão detalhados na Tabela 12 e foram analisados usando o programa STATISTICA. O objetivo dessa análise foi determinar qual modelo melhor representa o comportamento resiliente do material.

Percebe-se, por meio dos dados apresentados na Tabela 5, um excelente resultado para todos os modelos cujo os valores de R^2 foram superiores a 0,95. Resultado bem superior em relação aos calculados para os modelos de MR em função apenas da tensão confinante, como apresentado na Figura 4.

Tabela 5. Resultado dos modelos de enquadramento do MR.

Modelos	Autores	(R^2)	Constantes de Regressão
$Mr = k_1 \left(\frac{\sigma_3}{P_a} \right)^{k_2}$	DUNLAP (1963)	0,9968	$k_1 = 233,677$ $k_2 = 0,2337$
$Mr = k_1 \left(\frac{\sigma_{sum}}{P_a} \right)^{k_2}$	SEED <i>et al.</i> , (1967)	0,9529	$k_1 = 159,682$ $k_2 = 0,2107$
$Mr = k_1 P_a \left(\frac{\sigma_{sum}}{P_a} \right)^{k_2} \left(\frac{\sigma_d}{P_a} \right)^{k_3}$	UZAN (1985)	0,9963	$k_1 = 1,3210$ $k_2 = 0,4197$ $k_3 = -0,1674$
$Mr = k_1 P_a \left(\frac{\sigma_{sum}}{P_a} \right)^{k_2} \left(\frac{\tau_{oct}}{P_a} \right)^{k_3}$	WITCZAK UZAN (1988)	e 0,9963	$k_1 = 1,1646$ $k_2 = 0,4197$ $k_3 = -0,1674$
$Mr = k_1 \left(\frac{\sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2 \sigma_3 + \sigma_3 \sigma_1}{\tau_{oct}} \right)^{k_2}$	JOHNSON <i>et al.</i> , (1986)	0,9540	$k_1 = 49,967$ $k_2 = 0,2296$
$Mr = k_1 P_a \left(\frac{\sigma_3}{P_a} \right)^{k_2} \left(\frac{\sigma_d}{P_a} \right)^{k_3}$	PEZO (1993)	0,9975	$k_1 = 2,3559$ $k_2 = 0,2669$ $k_3 = -0,0129$
$Mr = k_1 \left(\frac{\sigma_3}{P_a} + 1 \right)^{k_2} \left(\frac{\sigma_d}{P_a} + 1 \right)^{k_3}$	HOPKINS <i>et al.</i> , (2001)	0,9829	$k_1 = 147,254$ $k_2 = 0,6789$ $k_3 = -0,02056$
$Mr = k_1 P_a \left(\frac{\sigma_3}{P_a} + 1 \right)^{k_2} \left(\frac{\sigma_d}{P_a} + 1 \right)^{k_3}$	NI <i>et al.</i> , (2002)	0,9829	$k_1 = 1,4725$ $k_2 = 0,6789$ $k_3 = -0,02056$
$Mr = k_1 P_a \left(\frac{\sigma_{sum}}{P_a} + 1 \right)^{k_2} \left(\frac{\tau_{oct}}{P_a} + 1 \right)^{k_3}$	NCHRP1-37A (2004)	0,9949	$k_1 = 1,1612$ $k_2 = 0,5402$ $k_3 = -0,4077$



$Mr = k_1 P_a \left(\frac{\sigma_{sum}}{P_a} \right)^{k_2} \left(\frac{\sigma_d}{P_a} + 1 \right)^{k_3}$	NCHRP1-28A (2004)	0,9921	$k_1 = 1,6607$ $k_2 = 0,58251$ $k_3 = -0,2550$
$Mr = k_1 P_a \left(\frac{\sigma_{sum}}{P_a} + 1 \right)^{k_2} \left(\frac{\sigma_d}{P_a} + 1 \right)^{k_3}$	OOI <i>et al.</i> , (2004)	0,9957	$k_1 = 1,1891$ $k_2 = 0,05589$ $k_3 = -3056$

Comparando com outros valores de MR encontrados na literatura, o solo laterítico estudado nesta pesquisa mostra valores similares aos relatados por Souza (2021) e Almeida (2022), mas inferiores aos apresentados por Sanchez (2021), conforme mostrado na Tabela 6.

Tabela 6. Valores de MR encontrados na literatura.

Autores	Módulo de resiliência (Mpa)
SOUZA (2021)	145 - 205
ALMEIDA (2022)	167,33
SANCHEZ (2021)	288

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise dos ensaios realizados no equipamento triaxial de cargas repetidas, foi possível verificar que o material proveniente do subleito do pavimento do aeroporto regional de Dourados apresentou Módulo de Resiliência variando entre 156 e 258 MPa. Esses valores apresentam consistência com a faixa apresentada por Gomes *et al.* (2018), que varia entre 153 e 536 MPa. Esse resultado também está em conformidade com os valores encontrados para esse solo em estudos anteriores conduzidos por Guimarães (2009) e Lima (2020) e evidencia a boa resposta elástica do material.

A análise dos MRs obtidos por modelos distintos existentes na literatura permitiu constatar que a tensão confinante exprime influência significativa para um enquadramento próximo a 1, diferente de modelos sem a tensão citada acima ou com ela em segundo plano.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pelo suporte fornecido para a realização do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC (2023). Anuário do Transporte Aéreo. 153 p. Brasília. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/dados-e-estatisticas/mercado-do-transporte-aereo/panorama-do-mercado/anuario-transporte-aereo>. Estudo Transporte e Economia – Transporte Aéreo de Passageiros.
- ALMEIDA, B. D. Influência da adição de areia no comportamento mecânico de base de solo pedregulhoso laterítico – Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2022.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1982). NBR 7207: Terminologia e classificação de pavimentação. Rio de Janeiro.



- Bernucci, L. B.; Motta, L. M. G. da.; Ceratti, J. A. P.; Soares, J. B (2008). Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. 1. ed. Rio de Janeiro: Petrobrás: ABEDA, 504 p.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER (1994). DNER-ME 051: Solos – análise granulométrica. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER (1994). DNER-ME 082: Solos – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER (1995). DNER-ME 084: Agregado miúdo – determinação da densidade real. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER (1994). DNER-ME 122: Solos – determinação do limite de liquidez – método de referência. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER (1994). DNER-ME 256: Solos compactados com equipamento miniatura – determinação da perda de massa por imersão. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER (1994). DNER-ME 258: Solos compactados com equipamento miniatura – mini-MCV. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNIT (2018). DNIT 134-ME: Pavimentação –Solos –Determinação do módulo de resiliência. Rio de Janeiro.
- GOMES, M. S.; GUIMARÃES, A. C. R.; MARQUES, M. E. S. Estudo da influência do tipo de finos no comportamento resiliente de solos tropicais para uso em pavimentos. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais. v.9, n.5, p.78-87.
- Guimarães, A. C. R (2009). Um método mecanístico-empírico para a previsão da deformação permanente em solos tropicais constituintes de pavimentos. 367 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. Mecânica dos pavimentos. 2 ed. Rio de Janeiro: UFRJ, 2005.
- KLINCEVICIUS, M. G. Y. Estudo de propriedades, de tensões e do comportamento mecânico de lastros ferroviários. 156 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- Shahin, M. Y. (2005). *Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots*. 2ª Ed. Chapman & Hall, New York, USA.
- SOUSA, M. A. da S. Contribuição ao estudo de solos tropicais para uso na pavimentação rodoviária. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.
- SPADA, J. L. G. Uma abordagem de mecânica dos pavimentos aplicada ao entendimento do mecanismo de comportamento tensão-deformação da via férrea. Tese (Doutorado em ciências em engenharia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003, 200 p.