

Massa específica aparente solta de solos com comportamento laterítico e não laterítico

Apparent loose specific mass of soils with lateritic and non lateritic behavior

Masa específica suelta aparente de suelos con comportamiento laterítico y no laterítico

Luiza Yashima Alduino

Graduanda, UNESP-FEIS, Brasil
luiza.alduino@unesp.br

Gabriel Souza Lopes

Graduando, UNESP-FEIS, Brasil.
gabriel.s.lopes@unesp.br

Jairo Salim Pinheiro de Lima

Professor Doutor, UNESP-FEIS, Brasil.
jairo.lima@unesp.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho é determinar a massa específica solta de solos de comportamento laterítico e não laterítico utilizáveis em pavimentação rodoviária. A massa específica solta é um parâmetro para determinar o volume solto dos materiais transportados em serviços de terraplenagem. O volume solto impacta no número de viagens, com reflexos em condicionantes ambientais para a obra. Dentre os ensaios realizados, destacam-se: a granulometria e os limites físicos para determinar a classificação Transportation Research Board (TRB) e os ensaios mini-MCV e perda de massa por imersão, para a classificação MCT. O ensaio de compactação foi realizado na energia do Proctor normal. Para medir a massa específica solta foram adotados diferentes teores de umidade e moldes com diferentes tamanhos, formas e materiais. Com base nos dados, é possível afirmar que os solos de comportamento laterítico resultam maiores valores de massa específica solta (e seca) e, portanto, menor empolamento. Desta forma, solos de comportamento laterítico requerem menor número de viagens que os solos de comportamento não laterítico para transportar volumes semelhantes.

PALAVRAS-CHAVE: Massa específica solta. Solo laterítico. Solo não laterítico.

ABSTRACT

The objective of this work is to determine the loose specific mass of lateritic and non-lateritic soils usable in road paving. Loose specific mass is a parameter to determine the loose volume of materials transported in earthmoving services. The loose volume impacts the number of trips, with reflections on environmental constraints for the work. Among the tests carried out, the following stand out: granulometry and physical limits to determine the Transportation Research Board (TRB) classification and the mini-MCV tests and mass loss by immersion, for the MCT classification. The compaction test was performed at normal Proctor power. To measure the loose specific mass, different moisture contents and molds with different sizes, shapes and materials were adopted. Based on the data, it is possible to state that soils with lateritic behavior result in higher values of loose (and dry) specific mass and, therefore, less blistering. In this way, soils with lateritic behavior require fewer trips than soils with non-lateritic behavior to transport similar volumes.

KEYWORDS: Loose specific mass. Lateritic soil. Non lateritic soil.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es determinar la masa específica suelta de suelos lateríticos y no lateríticos utilizables en la pavimentación de carreteras. La masa específica suelta es un parámetro para determinar el volumen suelto de materiales transportados en los servicios de movimiento de tierras. El volumen suelto impacta en el número de viajes, con reflejos en las limitaciones ambientales para el trabajo. Entre los ensayos realizados destacan: granulometría y límites físicos para determinar la clasificación del Transportation Research Board (TRB) y los ensayos mini-MCV y pérdida de masa por inmersión, para la clasificación MCT. La prueba de compactación se realizó a potencia Proctor normal. Para medir la masa específica suelta se adoptaron diferentes contenidos de humedad y moldes con diferentes tamaños, formas y materiales. Con base en los datos, es posible afirmar que los suelos con comportamiento laterítico resultan en mayores valores de masa específica suelta (y seca) y, por lo tanto, menos ampollamiento. De esta forma, suelos con comportamiento laterítico requieren menos viajes que suelos con comportamiento no laterítico para transportar volúmenes similares.

PALABRAS CLAVE: Masa específica suelta. suelo laterítico. Suelo no laterítico.

1 INTRODUÇÃO

O transporte rodoviário é o meio mais utilizado no Brasil para transportar passageiros e cargas. A Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2023) confirma que as rodovias brasileiras respondem por 64,86% do transporte de cargas e 92,2% dos passageiros. O País possui extensa malha rodoviária, mas apenas 12,4% das vias são pavimentadas. A malha rodoviária brasileira tem 1.720.909 km, dos quais 213.500 km são pavimentados e outros 1.350.100 km são de estradas de terra (CNT, 2023).

Na construção rodoviária, a pavimentação é um dos componentes de maior valor (LIMA, 2003). Esses serviços tornaram-se muito produtivos, considerando o aumento tecnológico e, de acordo com RICARDO e CATALANI (1990), exige grandes investimentos para a utilização de equipamentos eficientes que substituam o trabalho manual.

Para a construção de rodovias é imprescindível o transporte dos solos, seja de jazidas distantes do local da obra ou de áreas de empréstimo próximas. Os materiais em pavimentação podem apresentar três características principais quanto a sua estrutura: natural, empolado ou compactado. Cada um destes “estados” implica em condições típicas de umidade e massa específica. Assim, os materiais podem apresentar massa específica natural – quando in natura nas jazidas e áreas de empréstimos; empolada – quando são transportados, destorroados, umedecidos e homogeneizados; compactada – quando submetidos aos efeitos da compactação. Nos três casos, o fator determinante é o volume de vazios.

No caso do material solto, objeto deste estudo, o volume de vazios de ar incorporado ao solo implica em significativo aumento de volume. Este acréscimo é chamado de empolamento e cada solo apresenta propriedades típicas. O conceito de empolamento, portanto, está relacionado à massa específica solta do material. A massa específica solta permite calcular o volume solto dos materiais empregados em pavimentação. Este volume solto – também chamado de volume pago - é determinante para o cálculo do número de viagens para transportar o material desde a sua origem até o local da obra.

O volume solto, relacionado à massa específica solta e à espessura solta da camada a ser compactada, corresponde à espessura compactada (desta camada) resultante do dimensionamento da estrutura do pavimento. Porém, de maneira geral, os indicadores obtidos nos ensaios de compactação (massa específica aparente seca máxima e teor ótimo de umidade) são mais frequentes nas análises para determinar propriedades de interesse à pavimentação.

O presente estudo visa determinar a massa específica solta de solos de comportamento laterítico e não laterítico, e estudar a influência do teor de umidade na determinação do seu valor. A variação no teor de umidade busca refletir as condições operacionais em campo durante a escavação e o transporte dos solos. Como resultados, estimam-se tornar mais eficientes os serviços de planejamento de terraplenagem e de logística na obra, além de reduzir custos e otimizar o tempo de serviço e de operação das máquinas e equipamentos.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral desse estudo é determinar a massa específica solta de solos com comportamento laterítico e não laterítico utilizáveis em pavimentação rodoviária.

3 METODOLOGIA

3.1 Classificação dos solos

As amostras de solos foram coletadas na região de Ilha Solteira, SP e transportadas até o Laboratório de Estradas e Pavimentação, onde foram realizados os ensaios. Dentre os ensaios, destacam-se: a granulometria (NBR 7181, 2016) e os limites físicos normatizados pela NBR 6459 (2016) e NBR 7180 (2016), para a classificação Transportation Research Board (TRB), proposta pela American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). A classificação MCT indica o comportamento laterítico ou não laterítico dos solos. Para a classificação MCT adotaram-se os ensaios mini-MCV (DNER-ME 258, 1994) e perda de massa por imersão (DNER-ME 256, 1994).

3.2 Compactação das amostras de solos

O ensaio de compactação é definido na NBR 7182 (1986). Neste trabalho, a energia empregada corresponde à Proctor normal. A compactação visa determinar o teor ótimo de umidade e a massa específica aparente seca máxima dos solos utilizados em pavimentação rodoviária. O teor ótimo de umidade tem relação com as condições de umidade adotadas em campo durante a construção. A massa específica aparente seca máxima serve como parâmetro para avaliar os ganhos na qualidade dos diferentes materiais após a compactação e também para determinar o volume solto das amostras.

3.3 Determinação da massa específica solta

A massa específica solta do solo foi determinada em dois conjuntos de corpos-de-prova com tamanhos, formas e materiais diferentes. As amostras foram testadas com diferentes teores de umidade, de modo a traduzir condições encontráveis em campo durante as atividades de escavação e transporte dos materiais. De maneira geral: teor de umidade natural – caracterizado pela umidade higroscópica; e teores de umidade na mesma escala do ensaio de compactação (incluindo o teor ótimo).

Os procedimentos para determinar a massa unitária do solo em estado solto estão descritos nas normas técnicas NBR 7251 (1982), NBR 16972 (2021), DNER-ME 152 (1995) e DNER-ME 153 (1997).

Os testes foram realizados em três conjuntos de moldes com diferentes formas, tamanhos e materiais, de modo a permitir avaliar os resultados e tornar os procedimentos mais práticos, fáceis e rápidos. Os moldes cúbicos com tamanhos normais e menores estão definidos na norma NBR 7251 (1982). Neste caso, os moldes foram construídos com madeira e metal. Esta norma, contudo, foi substituída pela NBR 16972 (2021), que recomenda molde cilíndrico. Como no caso anterior, foram empregados moldes cilíndricos com tamanhos diferentes (normal e

menor). As formas cilíndricas foram construídas de PVC. A Figura 1 mostra os tipos de moldes e as suas dimensões. O molde 1 fabricado com madeira, o molde 2 é de metal e o molde 3 de PVC.

Figura 1 – Moldes para medir a massa específica solta dos solos.

MOLDE 1	DIMENSÕES	MOLDE 2	DIMENSÕES	MOLDE 3	DIMENSÕES
	Base : 32 cm Largura : 32 cm Altura 15 cm		Base : 32 cm Largura : 32 cm Altura 15 cm		Diâmetro: 22,1 cm Altura 26,8 cm
	Base : 32 cm Largura : 32 cm Altura 20 cm		Base : 32 cm Largura : 32 cm Altura 20 cm		Diâmetro: 26,3 cm Altura 28,3 cm

Fonte: Autoria própria, 2023.

A Figura 2 ilustra uma etapa do ensaio realizado no molde 1, em que o solo foi despejado com a altura de queda controlada, a fim de evitar inconsistências nos resultados. Após o despejo fez o nivelamento, de modo que todo o volume do molde fosse utilizado para abrigar o solo ensaiado, permitindo assim o cálculo da massa específica solta.

Figura 2 – Molde 1 em ensaio para obtenção da massa específica solta.



Fonte: Autoria própria, 2023.

4 RESULTADOS

Foram testados dois tipos de solos (de comportamento laterítico e de comportamento não laterítico), de acordo com a sistemática MCT. Estas amostras também foram submetidas à classificação TRB. Além das classificações, as amostras foram compactadas com a energia do Proctor normal. Os dados geotécnicos, bem como os valores ótimos para o teor de umidade e massa específica aparente seca máxima estão resumidos na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados dos experimentos.

Dados geotécnicos	Solo de comportamento laterítico	Solo de comportamento não laterítico
Limite de liquidez (%)	35,8	20,13
Limite de plasticidade (%)	25,8	50
Classificação TRB	A-4-4	A-7-6
Classificação MCT	LA'	NS'
Massa específica aparente seca máxima (g/cm ³)	1,954	1,465
Teor de umidade ótima (%)	12,3	28,25

Fonte: Autoria própria, 2023.

As amostras de solos foram previamente preparadas, umedecidas com teores determinados, homogeneizadas manualmente e estocadas por 24 horas. Este “repouso” visa melhorar a qualidade de integração dos materiais.

Os procedimentos para medir a massa específica solta (ρ) dos solos estão descritos nas normas NBR 7251 (1982) e NBR 16972 (2021). Como referência aos dados do ensaio de compactação, foram também calculadas as massas específicas soltas secas (ρ_d) em todos os ensaios.

Com a intenção de reproduzir condições operacionais em campo no momento da exploração (escavação e transporte), os solos foram testados também com diferentes teores de umidades, além da umidade natural. A escala de variação para os teores de umidades é a mesma adotada nos ensaios de compactação: de 6 a 18% para o solo de comportamento laterítico; e de 10 a 40% para o solo de comportamento não laterítico.

A Tabela 2 resume os resultados para o solo de comportamento laterítico, em ensaios realizados com moldes menores. Neste caso, w indica o teor de umidade do material e M refere-se à massa de material para o volume do molde.

Tabela 2 – Massa específica solta para os moldes menores (solo de comportamento laterítico).

w (%)	MOLDE 1				MOLDE 2				MOLDE 3			
	M (g)	V (cm ³)	ρ (g/cm ³)	ρ_d (g/cm ³)	M (g)	V (cm ³)	ρ (g/cm ³)	ρ_d (g/cm ³)	M (g)	V (cm ³)	ρ (g/cm ³)	ρ_d (g/cm ³)
0	17865,700	15360,00	1,164	1,163	17848,633	15360,00	1,166	1,162	11317,267	10280,381	1,171	1,101
6	19317,200	15360,00	1,257	1,186	19310,633	15360,00	1,256	1,186	12752,433	10280,381	1,244	1,170
12	14001,433	15360,00	0,916	0,814	14108,700	15360,00	0,920	0,820	10055,300	10280,381	0,973	0,873
12,3	14516,577	15360,00	0,949	0,842	14579,692	15360,00	0,951	0,845	10510,982	10280,381	1,017	0,910
18	24304,300	15360,00	1,569	1,341	23528,533	15360,00	1,526	1,298	19168,933	10280,381	1,857	1,580

Fonte: Autoria própria, 2023.

A Figura 3 ilustra as massas de solo de comportamento laterítico empregadas nos diferentes moldes com as menores dimensões.

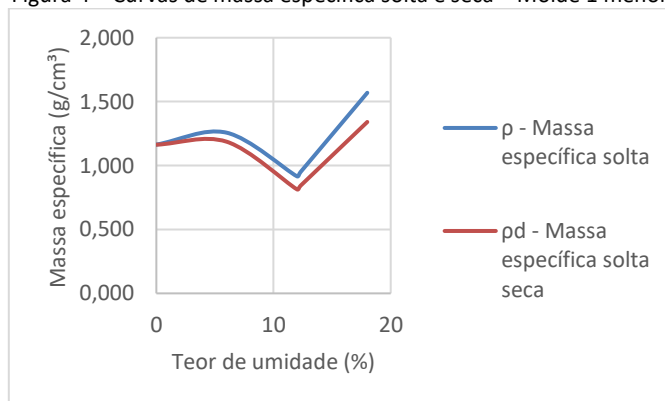
Figura 3 – Massa total dos solos em cada molde menor.



Fonte: Autoria própria, 2023.

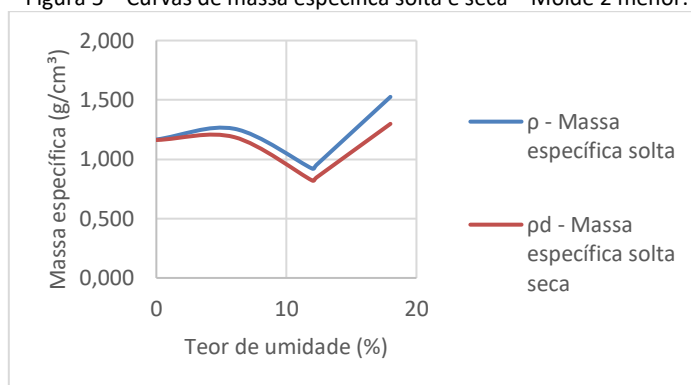
Os gráficos das Figuras 4, 5, e 6 ilustram as medidas das massas específicas soltas (umedecidas e secas) correspondentes ao solo de comportamento laterítico, utilizando os moldes menores.

Figura 4 – Curvas de massa específica solta e seca – Molde 1 menor.



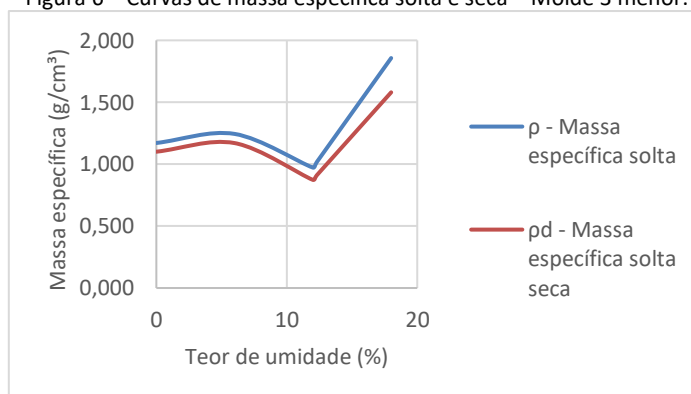
Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 5 – Curvas de massa específica solta e seca – Molde 2 menor.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 6 – Curvas de massa específica solta e seca – Molde 3 menor.



Fonte: Autoria própria, 2023.

A mesma sequência anterior foi replicada na segunda série de ensaios, porém com os moldes com dimensões maiores. A Tabela 3 resume os resultados medidos nesta etapa.

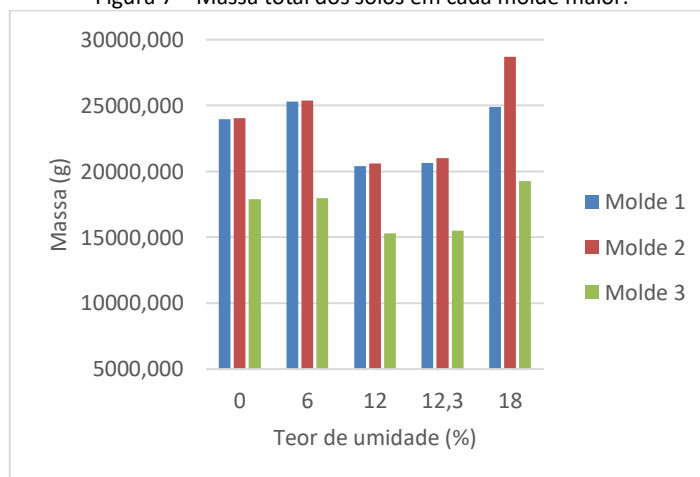
Tabela 3 – Massa específica solta para os moldes maiores (solo de comportamento laterítico).

w (%)	MOLDE 1				MOLDE 2				MOLDE 3			
	M (g)	V (cm ³)	ρ (g/cm ³)	ρ_d (g/cm ³)	M (g)	V (cm ³)	ρ (g/cm ³)	ρ_d (g/cm ³)	M (g)	V (cm ³)	ρ (g/cm ³)	ρ_d (g/cm ³)
0	23948,300	20480,00	1,169	1,169	24032,333	20480,00	1,173	1,173	17886,433	15374,033	1,163	1,163
6	25309,133	20480,00	1,236	1,166	25384,600	20480,00	1,239	1,169	17984,533	15374,033	1,170	1,104
12	20411,900	20480,00	0,997	0,890	20596,733	20480,00	1,006	0,898	15306,667	15374,033	0,996	0,889
12,3	20636,945	20480,00	1,008	0,897	21002,922	20480,00	1,026	0,913	15505,528	15374,033	1,009	0,898
18	24912,800	20480,00	1,216	1,031	28720,500	20480,00	1,402	1,188	19283,900	15374,033	1,254	1,063

Fonte: Autoria própria, 2023.

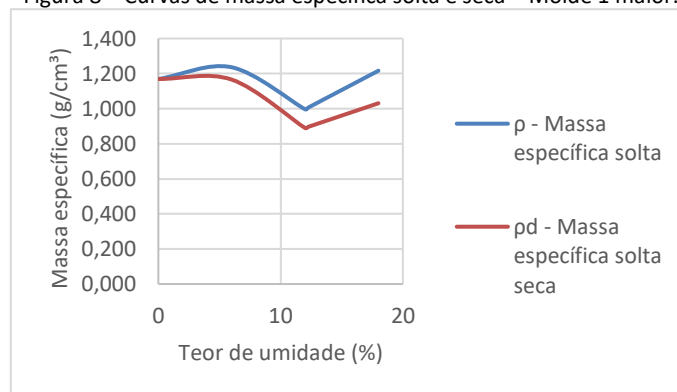
A Figura 7 mostra a massa total de solo de comportamento laterítico empregada em cada molde maior, relativa ao teor de umidade empregada no solo. Os gráficos das Figuras 8, 9 e 10 representam as medidas das massas específicas soltas (umedecidas e secas) para o solo de comportamento laterítico, utilizando os moldes maiores.

Figura 7 – Massa total dos solos em cada molde maior.



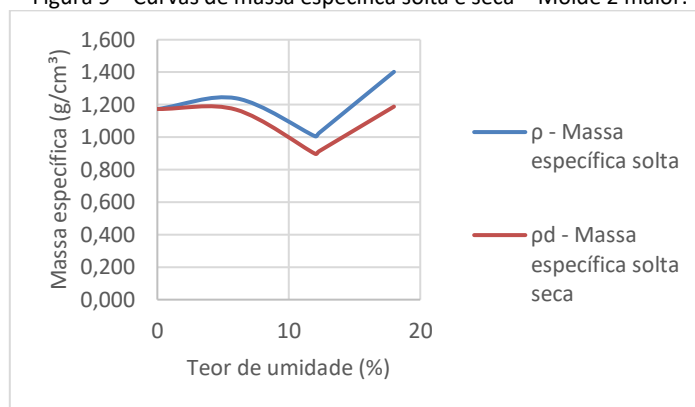
Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 8 – Curvas de massa específica solta e seca – Molde 1 maior.



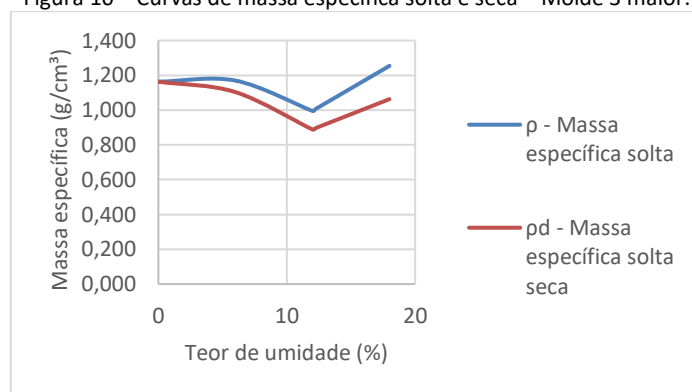
Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 9 – Curvas de massa específica solta e seca – Molde 2 maior.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 10 – Curvas de massa específica solta e seca – Molde 3 maior.



Fonte: Autoria própria, 2023.

A mesma rotina empregada no solo de comportamento laterítico foi replicada, mas, desta vez, empregando a amostra de solo de comportamento não laterítico. Os dados estão resumidos na Tabela 4. Observar que não há medições correspondentes ao molde 3 quando teor de umidade é 40%. Neste caso, o solo está em estado “pastoso” dificultando o manejo e a aplicação correta no molde. Tal lacuna se repete também na Tabela 5, para os moldes maiores.

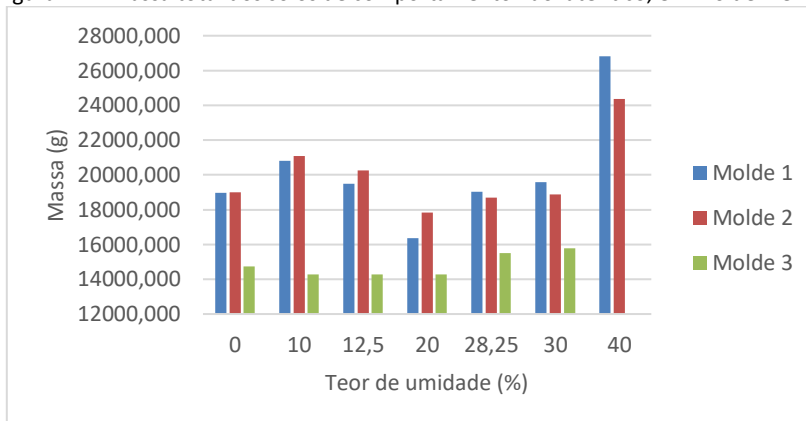
Tabela 4 – Massa específica solta para os moldes menores (solo de comportamento não laterítico).

w (%)	MOLDE 1				MOLDE 2				MOLDE 3			
	M (g)	V (cm³)	ρ (g/cm³)	ρd (g/cm³)	M (g)	V (cm³)	ρ (g/cm³)	ρd (g/cm³)	M (g)	V (cm³)	ρ (g/cm³)	ρd (g/cm³)
0	14355,600	15360,00	0,935	0,935	14502,067	15360,00	0,969	0,944	10420,133	10280,381	1,007	1,014
10	16182,933	15360,00	1,041	0,958	15909,433	15360,00	1,032	0,942	10152,500	10280,381	1,003	0,898
12,5	13664,167	15360,00	0,886	0,791	15193,475	15360,00	0,991	0,879	9885,117	10280,381	0,995	0,855
20	12717,233	15360,00	0,840	0,690	13045,600	15360,00	0,857	0,708	9082,967	10280,381	0,973	0,736
28,25	13600,327	15360,00	0,877	0,690	13773,883	15360,00	0,893	0,699	11342,669	10280,381	0,992	0,860
30	13787,650	15360,00	0,885	0,690	13928,367	15360,00	0,901	0,698	11822,000	10280,381	1,143	0,885
40	19539,733	15360,00	1,277	0,909	19510,167	15360,00	1,278	0,907	-	-	-	-

Fonte: Autoria própria, 2023.

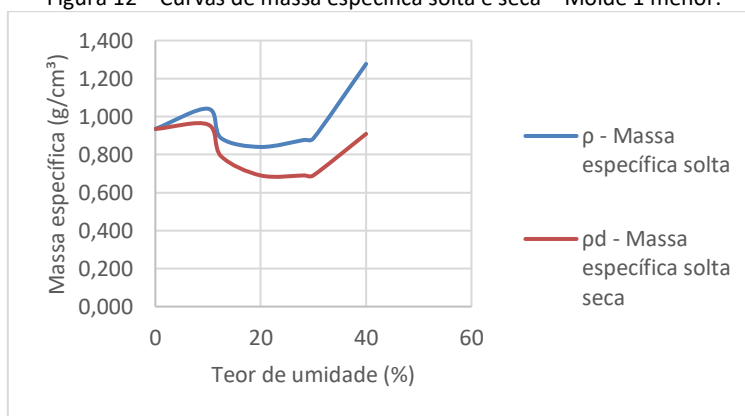
A Figura 11 indica a massa total de solo de comportamento não laterítico empregada em cada molde menor, relativa ao teor de umidade. Os gráficos das Figuras 12, 13 e 14 ilustram as medidas das massas específicas soltas (umedecidas e secas) para o solo de comportamento não laterítico, utilizando os moldes menores.

Figura 11 – Massa total dos solos de comportamento não laterítico, em molde menor.



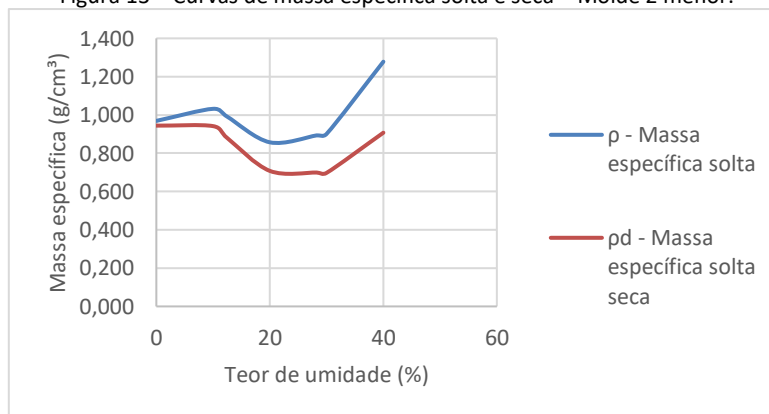
Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 12 – Curvas de massa específica solta e seca – Molde 1 menor.



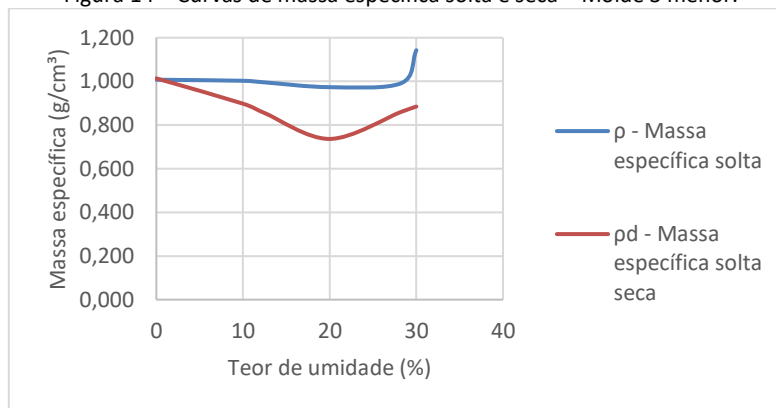
Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 13 – Curvas de massa específica solta e seca – Molde 2 menor.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 14 – Curvas de massa específica solta e seca – Molde 3 menor.



Fonte: Autoria própria, 2023.

As mesmas medições foram repetidas com o mesmo solo, mas agora com os moldes maiores. Os dados estão apresentados na Tabela 5.

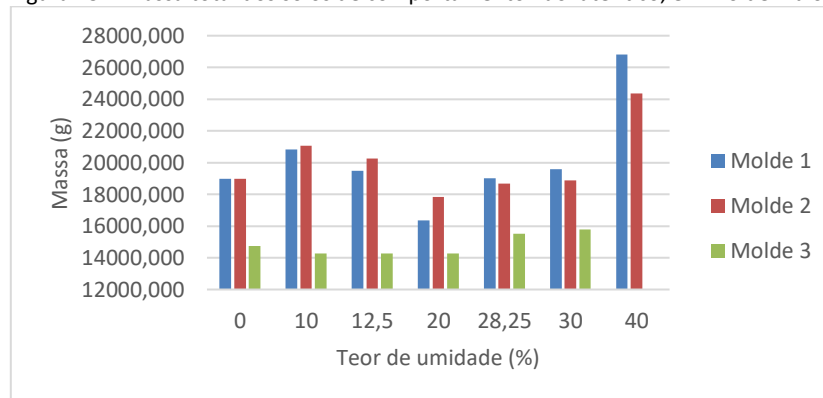
Tabela 5 – Massa específica solta para os moldes maiores (solo de comportamento não laterítico).

w (%)	MOLDE 1				MOLDE 2				MOLDE 3			
	M (g)	V (cm³)	ρ (g/cm³)	ρd (g/cm³)	M (g)	V (cm³)	ρ (g/cm³)	ρd (g/cm³)	M (g)	V (cm³)	ρ (g/cm³)	ρd (g/cm³)
0	18974,733	20480,00	0,927	0,927	18984,733	20480,00	0,927	0,927	14736,167	15374,033	0,959	0,959
10	20810,933	20480,00	1,016	0,924	21069,300	20480,00	1,029	0,935	14278,533	15374,033	0,929	0,844
12,5	19485,467	20480,00	0,951	0,846	20257,267	20480,00	0,962	0,879	14275,175	15374,033	0,929	0,825
20	16369,200	20480,00	0,799	0,666	17821,167	20480,00	0,870	0,725	14265,100	15374,033	0,928	0,773
28,25	19022,620	20480,00	0,929	0,724	18691,487	20480,00	0,913	0,712	15508,870	15374,033	0,968	0,787
30	19585,467	20480,00	0,956	0,736	18876,100	20480,00	0,922	0,709	15772,700	15374,033	1,026	0,789
40	26822,900	20480,00	1,310	0,936	24373,000	20480,00	1,190	0,850	-	-	-	-

Fonte: Autoria própria, 2023.

A Figuras 15 refere-se às medidas das massas (umedecidas e secas) de solo de comportamento não laterítico em cada molde maior.

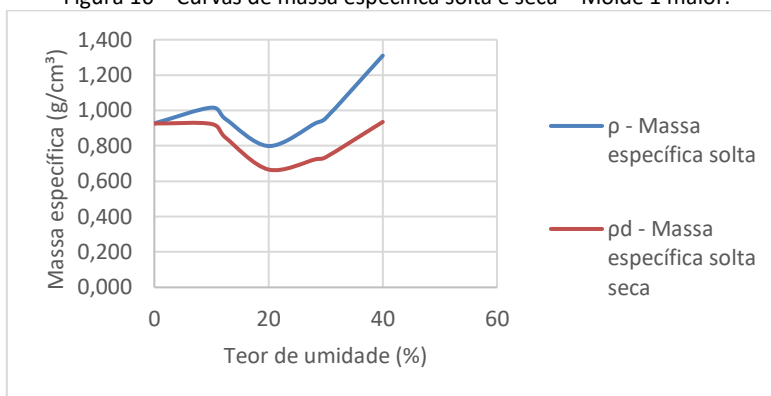
Figura 15 – Massa total dos solos de comportamento não laterítico, em molde maior.



Fonte: Autoria própria, 2023.

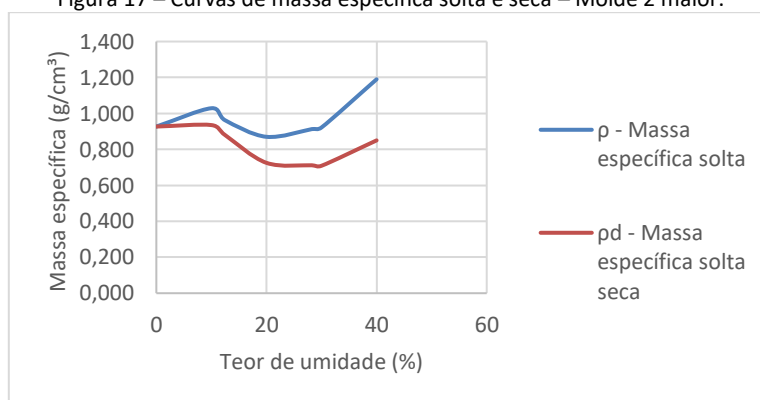
Os gráficos das Figuras 16, 17, 18 ilustram as medidas das massas específicas soltas (umedecidas e secas) para o solo de comportamento não laterítico, utilizando os moldes maiores.

Figura 16 – Curvas de massa específica solta e seca – Molde 1 maior.



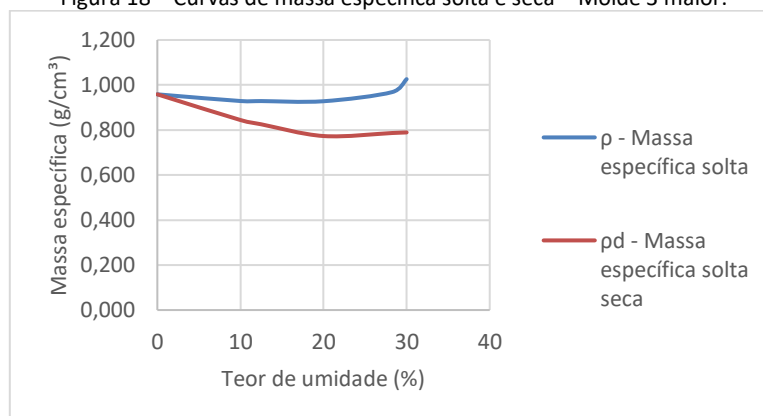
Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 17 – Curvas de massa específica solta e seca – Molde 2 maior.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 18 – Curvas de massa específica solta e seca – Molde 3 maior.



Fonte: Autoria própria, 2023.

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos permitem concluir que é possível medir a massa específica solta de solos de comportamento laterítico e não laterítico empregando moldes com diferentes formas, tamanhos e materiais. E, da mesma forma, que variações no teor de umidade importam nos resultados.

Durante os ensaios, observou-se que o molde cilíndrico foi o mais adequado para a realização das medições, uma vez que apresentou menor volume em relação aos demais moldes utilizados, o que permitiu o uso de menor quantidade de massa de solo. Cabe destacar que,

mesmo com a substituição da norma, foram testados os moldes com formatos cúbicos a fim de verificar a melhor opção para os propósitos do estudo em questão.

Em relação ao solo de comportamento laterítico, observa-se que a massa específica solta (ρ) do material aumentou conforme o aumento da umidade, diminuiu na umidade ótima e voltou a aumentar. A massa específica dos solos em todas as configurações de ensaios manteve comportamento similar. Isso é justificado porque o solo de comportamento laterítico apresenta características uniformes, ou seja, a tendência é que os ensaios se repliquem (e mesmo que os valores alterem, o gráfico mantém o mesmo comportamento). No solo de comportamento não laterítico a dispersão é relevante, sobretudo no intervalo de umidade entre 10 e 30%.

No teor de umidade igual a 12,3%, a massa específica do solo de comportamento laterítico ficou muito próxima à da massa específica da água. Desta forma, pode-se sugerir que quase todo o volume das caixas foi preenchido pelo solo nessa umidade, que corresponde ao teor de umidade ótima do material laterítico.

Analisando-se o solo de comportamento não laterítico, no ponto de umidade igual a 10%, notou-se que a massa específica do solo ficou muito próxima à massa específica da água, indicando que o volume das caixas foi preenchido pelo solo nessa umidade. Este fato decorre da grande quantidade de matéria orgânica presente nesse solo, que pode ter absorvido água nesse primeiro estágio de aumento de umidade.

Além disso, foi esperado que a massa específica solta do material aumentasse conforme o aumento da umidade e em alguns pontos nota-se o contrário. Um dado que pode explicar tal está relacionado à compactação pelo peso próprio do material. A primeira camada de material solto recebe o peso das demais camadas, resultando em compactação pelo próprio peso do material, mesmo preservando as rotinas de preenchimento dos moldes.

Cabe destacar que as medições foram conduzidas com variação no teor de umidade do solo. Durante a exploração é possível que o solo esteja mais ou menos úmido, o que pode afetar suas propriedades físicas e mecânicas e também o volume solto, com implicações sobre o número de viagens.

No solo de comportamento laterítico, os valores da massa específica solta e da massa específica solta seca foram todos superiores àqueles da amostra do solo de comportamento não laterítico: variando-se o teor de umidade, a forma, o tamanho e o material do molde. Assim, é possível deduzir que para transportar o mesmo volume de solos de comportamento não laterítico, o número de viagens será maior que para os solos de comportamento laterítico.

Por fim, observa-se que o comportamento das curvas para os solos no estado solto é similar à curva de controle de umidade na relação entre o mini-MCV versus teor de umidade, na sistemática de classificação MCT. Ambas têm concavidade voltada para baixo no caso dos solos de comportamento laterítico e, para cima, no caso dos solos de comportamento não laterítico.

A análise dos resultados permite observar e compreender a variação da massa específica solta dos solos resultante do empolamento e da variação de umidade. Esta análise pode contribuir para o planejamento das atividades de exploração e determinar com precisão o número de viagens para movimentar grandes volumes de solos até o local da obra. Este planejamento implica diretamente nos custos e nos impactos ambientais da obra.

6 REFERENCIAS

NORMA BRASILEIRA. **NBR 7181: Solo – Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro. 2016. 13p.

NORMA BRASILEIRA. **NBR 7180: Determinação do Limite de Plasticidade**. Rio de Janeiro. 2016. 3p.

NORMA BRASILEIRA. **NBR 6459: Determinação do Limite de Liquidez**. Rio de Janeiro. 2016. 6p.

NORMA BRASILEIRA. **NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro. 2016. 9p.

NORMA BRASILEIRA. **NBR 7251: Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária**. Rio de Janeiro. 1982. 3p.

NORMA BRASILEIRA. **NBR 16972: Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios**. Rio de Janeiro. 2021. 6p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 258/94: Solos compactados com equipamento miniatura – Mini-MCV**. 1994. 14p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 256/94: Solos compactados com equipamento miniatura – determinação da perda de massa por imersão**. 1994. 6p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 152/95: Agregado em estado solto – determinação da massa unitária**. 1995. 3p.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES – CNT. **Boletins estatísticos CNT**. Boletim Unificado – fevereiro de 2023. CNT. Brasília, DF. 34p.