

# ESTUDO COMPARATIVO ENTRE A DENSIDADE MÁXIMA MEDIDA E A DENSIDADE MÁXIMA TEÓRICA

## **Larissa Montagner de Barros**

Acadêmica de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
larissa\_montagner@hotmail.com

## **Douglas Martins Mocelin**

Acadêmico de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
douglas.martins.m@hotmail.com

## **Clara Ravazzolo Lucena**

Acadêmica de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
clravazzolo@gmail.com

## **Gracieli Bordin Colpo**

Mestranda de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
gracieli.colpo@ufrgs.br

## **Prof. DSc. Jorge Augusto Pereira Ceratti**

Professor do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.  
jorge.ceratti@ufrgs.br

**Resumo.** *O presente trabalho desenvolveu uma comparação entre a densidade máxima medida (DMM) e a densidade máxima teórica (DMT) de três projetos desenvolvidos em laboratório, observando a variação entre as duas. Foi possível observar, ainda, a variação do percentual de volume de vazios correspondente para cada densidade.*

**Palavras-chave:** Densidade máxima medida. Densidade máxima teórica. Volume de vazios.

## **1. INTRODUÇÃO**

O volume de vazios de uma mistura asfáltica é de grande importância na hora de desenvolvermos um projeto de mistura asfáltica, pois quando o volume de vazios é demasiado acaba provocando o desgaste prematuro do pavimento e quando em baixa porcentagem pode causar a exsudação do ligante que sem espaço para se deslocar entre os vazios da mistura acaba ficando na superfície e diminui a aderência dos pneus com o pavimento. Com isto, o cálculo da DMM e DMT é importante, pois a partir

destes são feitos os cálculos do volume de vazios da mistura.

## **2. OBJETIVO DA PESQUISA**

O objetivo geral do trabalho foi realizar uma comparação entre a densidade máxima medida (DMM) calculada através do método do Rice e a densidade máxima teórica (DMT) calculada através de uma ponderação entre a porcentagem de ligante e agregados utilizados na mistura de três projetos realizados em laboratório e, assim verificar qual a variação entre as duas densidades.

## **3. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS**

### **3.1. Análise dos dados**

A partir de três projetos realizados em laboratório com agregados basálticos e cimento asfáltico de petróleo (CAP) 50/70 onde foi aplicado o método de Marshall, um dos mais utilizados no Brasil para compactação de corpos de prova, foi selecionado os dados referentes à densidade máxima medida que foi obtida pelo método

do Rice calculado a partir das misturas já prontas e os dados das volumetrias dos corpos de prova, também foram selecionados os dados referentes as porcentagem de agregados e ligantes e suas respectivas densidades para o cálculo da densidade máxima medida onde estes dados são utilizados em uma ponderação.

### 3.2. Densidade máxima teórica (DMT)

A partir das densidades dos agregados e do CAP e as suas respectivas porcentagens na mistura asfáltica, a DMT foi calculada de acordo com a norma brasileira NBR 12891 (ABNT, 1993). Equação 1:

$$DMT = \frac{100}{\left(\frac{\%a}{G_a} + \frac{\%Ag}{G_{Ag}} + \frac{\%Am}{G_{Am}} + \frac{\%f}{G_f}\right)}$$

Onde:

DMT = densidade máxima teórica;  
%a = porcentagem de mistura asfáltica;  
%Ag, %Am, %f = porcentagem de agregado graúdo, agregado miúdo e fíler respectivamente, expressas em relação à massa total da mistura asfáltica.

G<sub>a</sub>, G<sub>Ag</sub>, G<sub>Am</sub> e G<sub>f</sub> = massas específicas reais do asfalto, do agregado graúdo, do agregado miúdo e do fíler, respectivamente.

As massas específicas reais do asfalto e do agregado miúdo foram determinadas pelo picnômetro. Já as do agregado graúdo e do fíler foram através do cesto metálico e do Frasco de Le Chatelier, respectivamente.

Salienta-se, que nestes projetos específicos a densidade do fíler foi determinada juntamente com a densidade do agregado miúdo no picnômetro, pois foram realizados ensaios onde comprovamos que não há diferença significativa no cálculo em conjunto ou separadamente destas densidades.

### 3.3. Densidade máxima medida (DMM)

A DMM foi determinada de acordo com a norma brasileira NBR 15619, utilizando o procedimento do Rice. Determinou-se a densidade máxima medida (DMM) pela aplicação da equação 2, conforme a norma brasileira NBR 15619, 2008.

$$DMM = \frac{B}{(B+A-C)} \times 0,99707$$

Onde:

DMM: densidade máxima medida, expressa em gramas por centímetros cúbicos (g/cm<sup>3</sup>);  
A: massa do Kitasato com volume completo com água, expresso em gramas (g);

B: massa da amostra seca ao ar, expressa em gramas (g);

C: massa do recipiente contendo a amostra submersa em água, expressa em gramas (g);

Nota: a constante 0,99707 refere-se à densidade da água a 25°C expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm<sup>3</sup>).

### 3.2. Densidade aparente

Além da obtenção da DMT e da DMM, determinou-se também a densidade aparente das amostras compactadas conforme a NBR 15573/2013 segue a equação 3:

$$Dap = \frac{Ms}{(Ms_{sub} - M_{sub})}$$

Onde:

Dap = densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>)

Ms = massa do corpo de prova compactado na condição de superfície seca, g.

MS<sub>sub</sub> = massa do corpo de prova compactado na condição superfície seca após ficar submerso por 4 minutos, g.

M<sub>sub</sub> = massa do corpo de prova compactado na condição de superfície submersa em água, g;

### 3. RESULTADOS

A partir das amostras das misturas, determinou-se a DMT, DMM, Dap, porcentagem de volume de vazios determinado pela DMT (% VvDMT) e pela DMM (% VvDMM) para cada porcentagem de CAP estudada de cada projeto. As tabelas 1, 2, e 3 trazem os dados de cada projeto.

#### Projeto 1: Março 2010

Tabela 1: Dados de referentes ao projeto 1.

Projeto 1 - Março 2010					
% Lig.	%VvDMT	DMT	% VvDMM	DMM	Dap
4	7.2	2.622	5.9	2.585	2.434
4.5	5.8	2.601	4.1	2.557	2.451
5	3.8	2.581	1.9	2.531	2.483
5.5	3.1	2.560	1.5	2.520	2.482
6	2.6	2.540	1.2	2.503	2.474

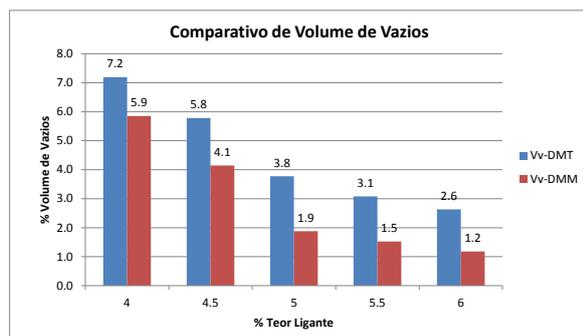


Figura 1: Comparativo Volume de Vazios DMM e DMT.

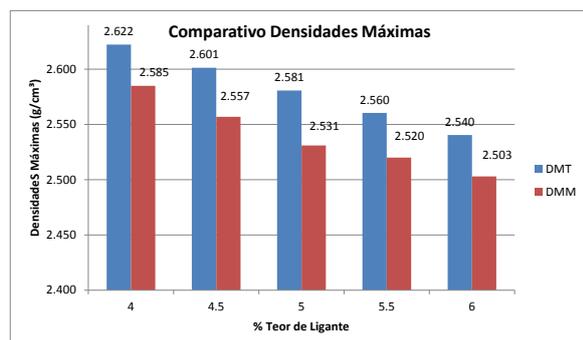


Figura 2: Comparativos de densidades DMM e DMT

#### Projeto 2: Novembro 2010

Tabela 2: Dados de referentes ao projeto 2.

Projeto 2 - Novembro 2010					
% Lig.	%VvDMT	DMT	%VvDMM	DMM	Dap
3.5	7.1	2.639	5.3	2.591	2.453
4	7.5	2.618	5.8	2.572	2.423
4.5	7.3	2.597	5.9	2.558	2.408
5	5.2	2.577	3.5	2.531	2.443
5.5	4.2	2.556	2.5	2.511	2.448

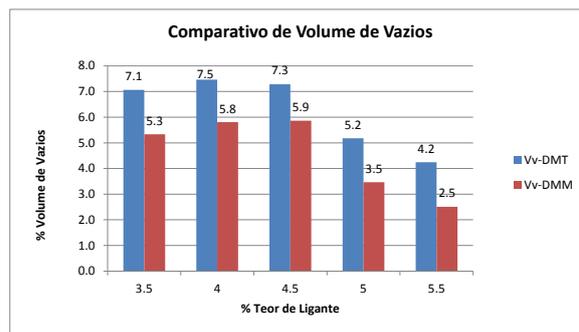


Figura 3: Comparativo Volume de Vazios DMM e DMT.

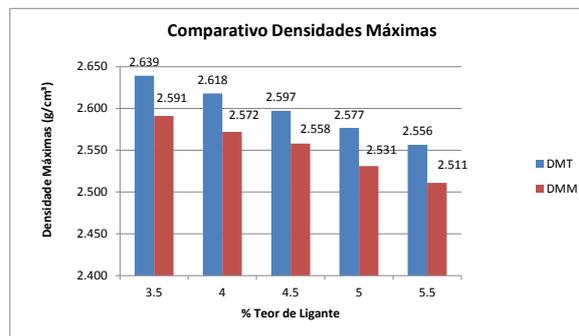


Figura 4: Comparativos de densidades DMM e DMT.

#### Projeto 3: Maio 2011

Tabela 3: Dados de referentes ao projeto 3.

Projeto 3 - Maio 2011					
% Lig.	%VvDMT	DMT	%VvDMM	DMM	Dap
3.5	10.2	2.752	8.8	2.710	2.472
4	8.4	2.728	6.9	2.683	2.498
4.5	7.1	2.704	5.1	2.647	2.513
5	5.3	2.680	3.9	2.640	2.538
5.5	4.2	2.657	2.9	2.619	2.544

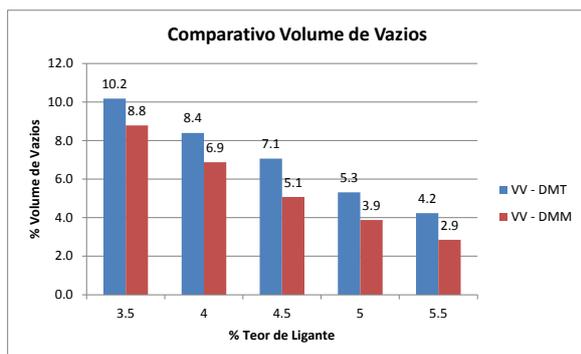


Figura 5: Comparativo Volume de Vazios DDM e DMT.

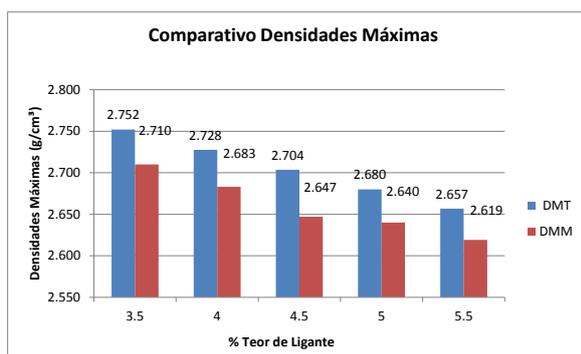


Figura 6: Comparativos de densidades DMM e DMT.

#### 4. CONCLUSÕES

Através das figuras 1, 2, 3, 4, 5, e 6 foi possível visualizar que nos três projetos estudados a DMT obtida e o percentual de vazios relativo a ela é mais elevado que do que os valores obtidos com a DMM. Isto remete ao fato da DMM representar as condições reais das propriedades da mistura, pois a mesma é obtida diretamente da mistura asfáltica e não a partir de uma composição dos agregados e ligantes que compõem a mistura, representando a absorção real que existe entre agregados e ligantes. Além de que o método da DMT por envolver procedimentos individuais para sua determinação que é feita através de uma ponderação pode carregar erros acumulativos em seu cálculo.

#### 5. REFERÊNCIAS

BERNUCCI B. L.; et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros.

Rio de Janeiro – Brasil: PETROBRAS : ABEDA, 2006.

VASCONCELOS, L. K.; SOARES, B. J. Efeito da densidade máxima teórica e da densidade aparente do corpo de prova compactado na dosagem de misturas asfálticas. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 36., 2005, Curitiba/PR.

THOMAS, T.; et al. Comparação da densidade máxima teórica e densidade máxima medida e sua influência na dosagem de misturas asfálticas a quente. In: II ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA CIVIL, 2013, Santa Maria/RS.

MARQUES, G. L. O. de. Utilização do módulo de resiliência como critério de dosagem de mistura asfáltica; efeito da compactação por impacto e giratória. Tese (Programa de pós-graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, 2004. 215p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15619: Misturas asfálticas- Determinação da massa específica medida em amostras não compactadas. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12891: Dosagem de misturas betuminosas pelo método Marshall – Procedimento. 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15573: Misturas asfálticas- Determinação da densidade aparente e da massa específica aparente de corpos de prova. 2012