

## COMPORTAMENTO HIDRÁULICO E MECÂNICO DE UMA MISTURA ASFÁLTICA ABERTA ENQUADRADA COMO CAMADA POROSA DE ATRITO

**Daniel Schneider**

**Gabriela Thaís Lehen Mendes**

**Carolina Becker Porto Fransozi**

**João Rodrigo Guerreiro Mattos**

Universidade do Vale do Taquari  
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas

### RESUMO

Este artigo apresenta um estudo de dosagem para Camada Porosa de Atrito (CPA), que tem como característica a redução de água sobre o pavimento, resultando na diminuição dos riscos de hidroplanagem. A CPA é uma mistura asfáltica a quente aberta na qual a principal característica é a grande quantidade de vazios. O objetivo da pesquisa é determinar para quais teores de asfalto uma mistura asfáltica aberta atende aos critérios da CPA. Para isso, adaptou-se uma composição granulométrica adotada por Oliveira (2003), utilizando ligante asfáltico modificado por polímero AMP 55/75 nos teores de 3,0%, 3,5%, 4,0%, 4,5%, 5,0%, 5,5% e 6,0%. Foram executados ensaios para a determinação do volume de vazios, resistência à tração por compressão diametral e desgaste por abrasão – Ensaio Cantabro, realizaram-se também ensaios de permeabilidade e módulo de resiliência. Os resultados permitiram concluir que apenas as misturas com teores de asfalto de 4,0% e 4,5% enquadraram-se como CPA.

### ABSTRACT

This paper presents a dosage for Porous Friction Course (PFC), which has as a characteristic the reduction of water on the pavement, resulting in the reduction of hydroplaning risks. PFC is an open hot mix asphalt blend in which the main characteristic is the large amount of voids. The aim of the research is to determine for which asphalt content an open asphalt mixture meets the criteria of PFC. For this, a granulometric composition adopted by Oliveira (2003) was adapted, using polymer modified asphalt PMA 55/75 in the contents of 3.0%, 3.5%, 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5% and 6%. Tests were carried out for the determination of void volume, measurement of tensile strength by diametral compression test and wear resistance - Cantabro test, also carried out permeability and resilience modulus tests. The results showed that only the mixtures with asphalt contents of 4.0% and 4.5% were classified as PFC.

### 1. INTRODUÇÃO

O Brasil, por ser um país tropical, tem como fenômeno meteorológico chuvas de grande intensidade, com grande precipitação em curto intervalo de tempo, resultando na formação de lâmina d'água sobre a pista. Essa característica pode provocar o fenômeno da hidroplanagem, que se constitui de uma situação em que, ao trafegar sobre uma pista coberta por lâmina d'água, perde-se a aderência entre o pneu e a pista e o veículo deixa de responder às manobras determinadas pelo condutor (VARDANEGA JUNIOR, 2009).

Em questionário realizado por Vardanega Junior (2009) nos postos de pedágio localizados na rodovia BR 290 (Santo Antônio da Patrulha) e rodovia BR 290/116 (Eldorado do Sul), 55% dos condutores da amostra disseram já ter hidroplanado, porém sem configurar um acidente, 2,5% hidroplanaram e tiveram danos materiais e 2,5% hidroplanaram e tiveram danos corporais. Dos fatores apontados pelos condutores quando questionados sobre quais circunstâncias podem contribuir para a hidroplanagem; cada condutor apontou, em média, 5,8 fatores, sendo que 80% apontaram a utilização de pneus com elevado desgaste (carecas), 75% apontaram o acúmulo de água sobre a pista de rodagem (camada de água superior a 10 cm), 75 apontaram poças de água de chuva em irregularidades do pavimento (trilha de roda), 75% apontaram acionamento brusco dos freios do veículo, 60% apontaram chuva forte, 60% apontaram exercer velocidades superiores a 80km/h e 58% apontaram pista com fina lâmina

de água.

Percebe-se que, dentre os fatores mais comuns relacionados à hidroplanagem, três estão ligados à responsabilidade do condutor e quatro ligados ao ambiente de rodagem, com foco no acúmulo de água na pista e chuva de intensa precipitação. Como uma alternativa para redução do acúmulo de água sobre a pista tem-se os concretos asfálticos drenantes. Esse tipo de revestimento constitui-se de uma camada inferior, densa e impermeável, e, sobreposta a essa, uma camada porosa.

A camada porosa tem como principal característica sua composição granulométrica aberta que, devido ao elevado índice de vazios interconectados e à declividade transversal da pista, possibilita a rápida infiltração e drenagem da água da chuva (ROSENO, 2005). Para o autor, além de reduzir quase na totalidade os riscos de hidroplanagem, as camadas porosas melhoram a visibilidade em condições de chuva e reduzem os níveis de ruídos provocados pelos veículos.

O elevado índice de vazios confere necessidades especiais a esse tipo de mistura; visando conferir estabilidade ao corpo estrutural do agregado faz-se necessária a utilização de ligantes modificados por polímeros (ROSENO, 2005). Objetivando aliar essas funcionalidades com a durabilidade da mistura, pesquisas relacionadas à pavimentação drenante estão cada vez mais avançadas (DUMKE, 2005).

Segundo estudo realizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), em 2001, com valores corrigidos para abril de 2003, os acidentes de trânsito nas áreas urbanas das 49 aglomerações brasileiras estudadas resultaram em custos de aproximadamente R\$ 5,3 bilhões, valor esse ainda maior se considerado os acidentes em rodovias. Dos inúmeros gastos que um acidente implica para a sociedade, o total de 85% corresponde a apenas três desses, são eles: perda de produção, que implica no afastamento da vítima de suas atividades produtivas, representando 42,8%; custos médico-hospitalares, tais como resgate e reabilitação, representando 16% e danos aos veículos, presente quase na totalidade dos acidentes, representando 28,8% (IPEA, 2003).

Tendo em vista os grandes prejuízos gerados à comunidade, a presente pesquisa justifica-se na contribuição ao desenvolvimento de tecnologia com potencial na redução dos acidentes de trânsito. Dessa forma, o objetivo principal deste estudo é verificar como o teor de ligante interfere no comportamento hidráulico e mecânico da dosagem de uma mistura asfáltica aberta para que a mesma se enquadre como uma camada porosa de atrito.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Material

A composição granulométrica adotada neste estudo foi adaptada a partir da pesquisa de Oliveira (2003). A composição enquadra-se na Faixa V da especificação de serviço DNER-ES 386 (1999). Visando suprir a carência de material fino no agregado utilizado, acrescentou-se cal hidratada à composição da mistura através da substituição de parte do pó por cal. A Tabela 1 apresenta a composição granulométrica da mistura.

**Tabela 1:** Composição granulométrica da mistura

| Peneira          | Percentual<br>passando<br>(%) | Teor de asfalto (%)            |          |          |          |          |          |          |
|------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                  |                               | 3,0                            | 3,5      | 4,0      | 4,5      | 5,0      | 5,5      | 6,0      |
|                  |                               | <b>Traço para moldagem (g)</b> |          |          |          |          |          |          |
| <b>3/4"</b>      | 100,0                         |                                |          |          |          |          |          |          |
| <b>1/2"</b>      | 81,5                          | 215,34                         | 214,23   | 213,12   | 212,01   | 210,9    | 209,79   | 208,68   |
| <b>3/8"</b>      | 69,1                          | 144,34                         | 143,59   | 142,85   | 142,1    | 141,36   | 140,62   | 139,87   |
| <b>4</b>         | 29,6                          | 459,78                         | 457,41   | 455,04   | 452,67   | 450,3    | 447,93   | 445,56   |
| <b>10</b>        | 13,4                          | 188,57                         | 187,6    | 186,62   | 185,65   | 184,68   | 183,71   | 182,74   |
| <b>40</b>        | 5,9                           | 87,3                           | 86,85    | 86,4     | 85,95    | 85,5     | 85,05    | 84,6     |
| <b>80</b>        | 4,1                           | 20,95                          | 20,84    | 20,74    | 20,63    | 20,52    | 20,41    | 20,3     |
| <b>200</b>       | 3,3                           | 9,31                           | 9,26     | 9,22     | 9,17     | 9,12     | 9,07     | 9,02     |
| <b>Passante</b>  |                               | 15,11                          | 15,01    | 15,02    | 14,92    | 14,82    | 14,72    | 14,62    |
| <b>Cal</b>       |                               | 23,30                          | 23,20    | 23,00    | 22,90    | 22,80    | 22,70    | 22,60    |
| <b>Cap 55/75</b> |                               | 36,00                          | 42,00    | 48,00    | 54,00    | 60,00    | 66,00    | 72,00    |
| <b>Total</b>     |                               | 1.200,00                       | 1.200,00 | 1.200,00 | 1.200,00 | 1.200,00 | 1.200,00 | 1.200,00 |

Os agregados utilizados, a saber: pó de pedra, brita 3/8" e brita 3/4", foram obtidos da britagem de rocha basáltica, situada no município de Estrela/RS. A cal hidratada é da marca Dagoberto Barcellos, linha Primor Extra, e tem como função melhorar a aderência da mistura asfáltica. Quanto às densidades, as britas 3/8" e 3/4" apresentam densidade de 2,95 g/cm<sup>3</sup>, pó de pedra 2,85 g/cm<sup>3</sup> e cal 2,30 g/cm<sup>3</sup>.

Optou-se por usar uma ligante asfáltico modificado por polímeros (AMP 55/75), visando proporcionar melhor desempenho mecânico na mistura asfáltica. O AMP 55/75 é modificado por polímero SBS e fornecido pela Greca Asfaltos.

## 2.2. Método

Para a realização deste estudo foram moldados corpos de prova Marshall com teores de asfalto de 3%, 3,5%, 4%, 4,5%, 5%, 5,5% e 6%, com os quais se determinou o volume de vazios, permeabilidade, módulo de resiliência e resistência à tração. Devido à presença de ensaio destrutivo, moldaram-se novos corpos de prova, com teores de 3%, 3,5%, 4%, 4,5% e 5%, para a determinação do desgaste por abrasão; os teores de asfalto de 5,5% e 6%, por apresentarem volume de vazios que não atendem à especificação de serviço DNER-ES 386 (1999), não foram refeitos. Visando atender às exigências da especificação DNER-ME 043 (1995) foram executados 3 corpos de prova para cada teor de asfalto analisado.

### 2.2.1. Dosagem Marshall

Os agregados e ligantes foram devidamente misturados nas temperaturas adequadas e posteriormente deu-se início do processo de moldagem. A moldagem deu-se à temperatura de 150°C, em molde também pré-aquecido em estufa na mesma temperatura. Após acomodar a mistura através da aplicação de 15 fortes golpes de espátula em seu entorno e 10 fortes golpes em seu centro, foram aplicados pelo equipamento 75 golpes em cada uma das faces do corpo de prova. Depois de compactados, os corpos de prova foram cuidadosamente retirados do molde e colocados sobre superfície lisa e plana, onde permaneceram à temperatura ambiente por, no mínimo, 12 horas. Utilizando-se paquímetro digital, os corpos de prova tiveram suas

dimensões aferidas para verificação de suas alturas e diâmetros.

### 2.2.2. Densidade aparente e máxima teórica

Seguindo a especificação DNER-ME 117 (1994, p. 2), e os critérios para corpos de prova com volume de vazios superior a 10%, os mesmos foram totalmente envoltos por fita adesiva e então aplicada parafina fluidificada sobre toda a superfície de forma a impermeabilizá-los. Com a parafina já seca, os corpos de prova, individualmente, foram pesados imersos em água, à temperatura ambiente. Foram coletados, individualmente, os pesos dos corpos de prova secos; após a aplicação da fita adesiva; da fita adesiva utilizada; dos corpos de prova após a aplicação da parafina e dos corpos de prova imersos em água. De posse dos dados, foi possível determinar a densidade aparente. A Figura 1 mostra como ficaram os corpos de prova envoltos pela parafina.



**Figura 1:** Aparência dos corpos de prova envoltos na parafina

A determinação da densidade máxima teórica (DMT), definida pela norma de dosagem de misturas asfálticas ABNT NBR 12891, é dada em função das massas específicas reais dos materiais que constituem a mistura asfáltica e dos percentuais que esses representam da mistura total (ABNT NBR 12891 *apud* BERNUCCI et al., 2008). De posse das massas específicas de todos os materiais, e suas representatividades na mistura asfáltica, foi possível a determinação da DMT.

### 2.2.3. Volume de vazios

*Asphalt Institute* *apud* Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT, 2014) define o volume de vazios ( $V_v$ ) como a porcentagem de vazios de ar ( $V_a$ ) na amostra compactada. Por ser o método usualmente utilizado no país, o cálculo foi realizado segundo a NBR 12891 da ABNT (EQUAÇÃO 1).

$$V_v = \frac{(DMT - d)}{DMT} \times 100 \quad (1)$$

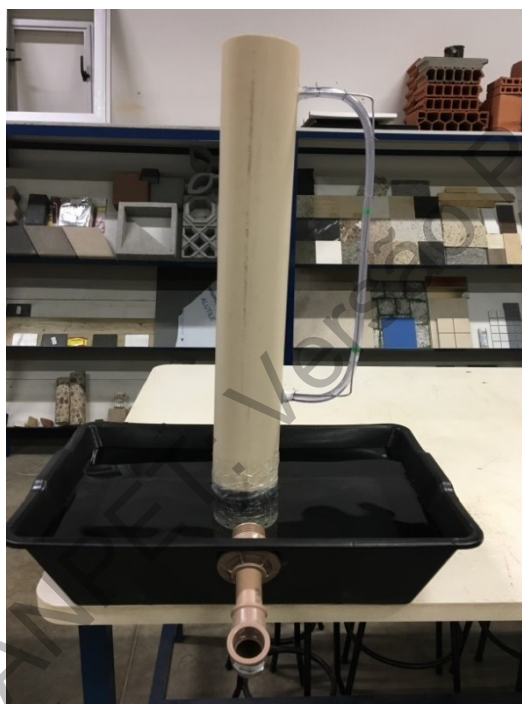
em que  $V_v$ : volume de vazios;  
 $DMT$ : densidade máxima teórica;  
 $d$ : densidade aparente.

### 2.2.4. Permeabilidade

Para a realização do ensaio de permeabilidade nos corpos de prova desenvolveu-se um permeâmetro similar ao modelo EMPA, o qual já foi utilizado em trabalhos anteriores

(OLIVEIRA, 2003; ROSENO, 2005) e baseia-se nas especificações europeias para ensaios de permeabilidade em amostras de misturas porosas CEN PR-12697-19-A (OLIVEIRA, 2003). Este ensaio determina a capacidade de percolação de água no sentido vertical, restringindo, através de vedação das laterais do corpo de prova, o fluxo horizontal.

O equipamento foi então colocado em recipiente especial, adaptado com extravasor, e se adicionou água até imersão total do corpo de prova. Seguiu-se adicionando água no permeâmetro até que houvesse o equilíbrio do sistema, esse era atingido quando a coluna de água visualizada no tubo de acrílico ligado ao corpo do permeâmetro permanecia estável. Atingido o equilíbrio, encerrava-se a adição de água. No tubo de acrílico há duas marcas distantes 20 cm uma da outra. Atingida a marca superior, com o auxílio de um cronômetro, media-se o tempo até a coluna de água alcançar a marca inferior.



**Figura 2:** Ensaio de permeabilidade

A determinação da permeabilidade vertical deu-se pela Equação 2 (CEN PR-12697-19-A apud Oliveira, 2003).

$$k = 2,3 \times \frac{aH}{St} \times \left[ \log \left( \frac{h_0}{h_1} \right) \right] \quad (2)$$

em que  $k$ : permeabilidade vertical [cm/s];  
 $a$ : área da seção transversal do tubo [cm<sup>2</sup>];  
 $H$ : altura da amostra [cm];  
 $S$ : área da seção transversal da amostra [cm<sup>2</sup>];  
 $t$ : tempo para o fluxo entra as duas marcas [s];  
 $h_0$ : altura da água na marca superior do tubo [cm];  
 $h_1$ : altura da água na marca inferior do tubo [cm].

### 2.2.5. Resistência à tração por compressão diametral

Os corpos de prova, com suas dimensões já aferidas, foram levados à estufa por um período de 2 horas numa temperatura de  $25^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ . Na sequência, cada corpo de prova foi retirado da estufa e sua superfície cilíndrica assente sobre dois frisos metálicos, curvos em uma de suas faces e com comprimento igual ao do corpo de prova. Os pratos da prensa metálica aplicavam uma compressão no corpo metálico que o mantinha estático. Após seu correto posicionamento, aplicou-se uma carga progressivamente de forma que o corpo de prova se deformasse numa velocidade de  $0,8 \pm 1$  mm/s, até ocorrer sua ruptura. Com a carga de ruptura obtida ( $F$ ) foi calculada a resistência à tração do corpo de prova por compressão diametral através da Equação 3.

$$\sigma_R = \frac{2F}{100\pi DH} \quad (3)$$

em que  $\sigma_R$ : resistência à tração [MPa];  
 $F$ : carga de ruptura [N];  
 $D$ : diâmetro do corpo de prova [cm];  
 $H$ : altura do corpo de prova [cm].

### 2.2.6. Módulo de resiliência

Medina e Motta (2015) definem o termo resiliência como “energia armazenada num corpo deformado elasticamente, a qual é devolvida quando cessam as tensões causadoras das deformações”. DNER-ME 133 (1994), especifica que o módulo de resiliência é expresso pela Equação (4).

$$MR = \left( \frac{\sigma_t}{\varepsilon_t} \right) \quad (4)$$

em que  $MR$ : módulo de resiliência [MPa];  
 $\sigma_t$ : tensão de tração [MPa];  
 $\varepsilon_t$ : deformação específica recuperável.

Para a realização do ensaio, os corpos de prova foram inicialmente acondicionados a uma temperatura de  $25^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ . O ensaio foi realizado em equipamento com sistema eletrônico de coleta dos dados que já converte as leituras realizadas pelos LVDTs (Transformador diferencial variável linear) em valores digitais, os quais são transferidos para um computador onde são visualizados os resultados. O valor da carga vertical aplicada diametralmente foi de 10% da resistência à tração, numa frequência de 60 ciclos por minuto, duração de 0,10 segundo, por 15 vezes (15 pulsos); então ajustava-se novamente os transdutores de modo que suas leituras de deslocamento zerassem e aplicava-se novamente a carga por 5 vezes (5 pulsos), fazendo-se então a média dessas 5 leituras e fornecendo o módulo de resiliência. O corpo de prova foi então submetido a um giro de  $90^{\circ}$  em relação à posição inicial e repetiu-se o processo. Foi calculada a média para os dois eixos de aplicação de carga ( $0^{\circ}$  e  $90^{\circ}$ ).

### 2.2.7. Desgaste por abrasão – Ensaio Cantabro

A determinação do desgaste por abrasão de misturas betuminosas com asfalto polímero é determinada pelo Ensaio Cantabro, regido pela especificação DNER-ME 383 (1999). O corpo de prova foi pesado e colocado no tambor da máquina Los Angeles, limpo e sem as esferas. Fechado o tambor, o equipamento realizou 300 revoluções, a uma velocidade de 30 r.p.m, à

temperatura de 25°C; o corpo de prova foi então retirado do tambor e pesado. Através do peso do corpo de prova antes e após o ensaio, foi possível determinar o percentual de desgaste da mistura.

### 3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### 3.1. Resultados volumétricos

Analisando a Figura 3, percebe-se que há, de forma geral, um aumento da densidade aparente com o aumento do teor de ligante. Isso faz sentido do ponto de vista que ao adicionar mais ligante, a mistura asfáltica tende a possuir menos vazios. Exceção aplica-se ao teor de asfalto de 4,5%, o qual foge à tendência dos demais e apresenta uma densidade aparente inferior aos demais teores. Salienta-se que os corpos para o teor de 4,5% foram refeitos por, aparentemente, ter ocorrido algum problema na moldagem, mas novamente deram densidade mais baixa. Por isso, manteve-se os resultados obtidos nas análises.

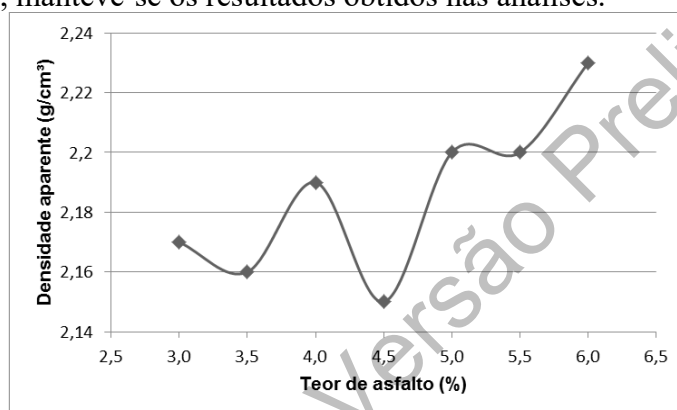


Figura 3: Densidade aparente em função do teor de asfalto

Já a Figura 4 mostra os valores encontrados para a densidade teórica. Por considerar as massas específicas de cada material e suas respectivas proporções sem adotar os vazios presentes na mistura, além do ligante ser menos denso que os agregados, os valores de densidade máxima teórica apresentaram comportamento contrário aos valores da densidade aparente: o valor da densidade máxima teórica decresceu com o aumento do teor de asfalto.

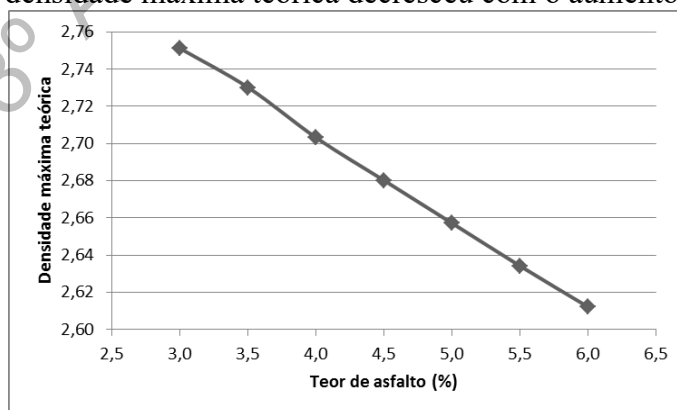


Figura 4: Densidade máxima teórica em função do teor de asfalto

De posse dos valores das densidades aparente e teórica, obteve-se os resultados para o volume de vazios, apresentados na Figura 5. Conforme esperado, houve diminuição no volume de vazios com o aumento do teor de asfalto, sendo o maior valor encontrado para o teor de 3,0% e o menor para o teor de 6,0%. O teor de 4,5%, por depender da densidade aparente, também

apresentou comportamento que foge à tendência. As amostras com teores de asfalto de 3,0%, 3,5%, 4,0% e 4,5% atendem ao critério da especificação: volume de vazios maior que 18%.

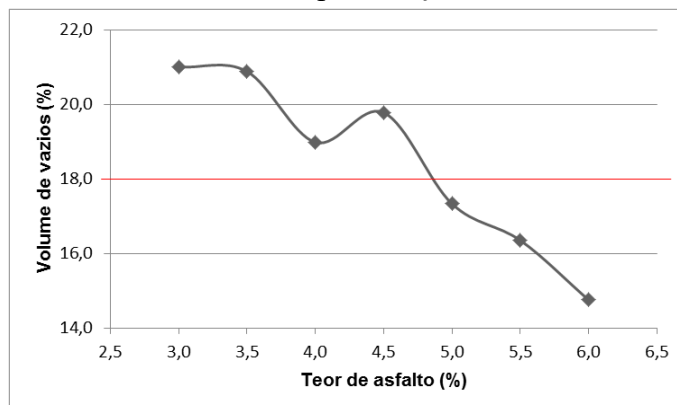


Figura 5: Volume de vazios em função do teor de asfalto

### 3.2. Resultados hidráulicos

Já os resultados para permeabilidade são apresentados na Figura 6. As maiores permeabilidades encontradas foram para os teores de asfalto de 3,5% e 4,5%, sendo que os valores encontrados para os teores de asfalto de 3,0% e 4,5% fogem à linha de tendência.

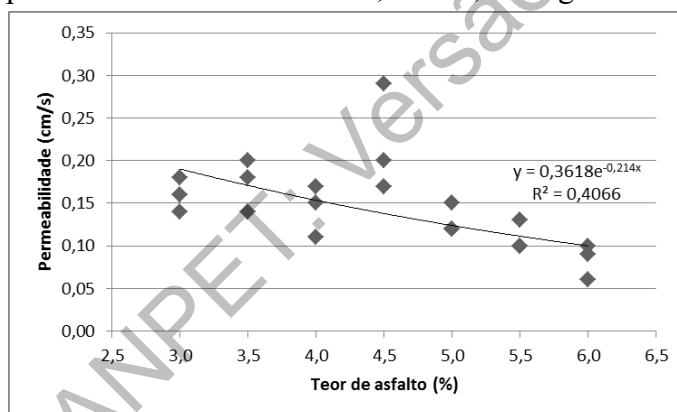


Figura 6: Permeabilidade em função do teor de asfalto

A Figura 7 relaciona o volume de vazios com a permeabilidade. Nele percebe-se que há coerência entre esses valores, havendo uma tendência de aumento da permeabilidade com o aumento do volume de vazios, como era o esperado.

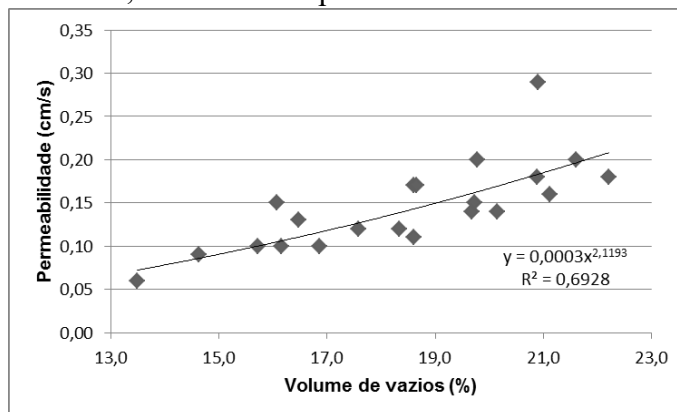


Figura 7: Permeabilidade em função do volume de vazios



### 3.3. Resultados mecânicos

Embora sua principal característica seja sua capacidade drenante, é de suma importância que a CPA também seja resistente ao tráfego; somente a combinação desses fatores tornará o emprego desse tipo de mistura vantajoso. Dessa forma apresenta-se a seguir os resultados obtidos para resistência à tração, módulo de resiliência e desgaste por abrasão – Ensaio Cantabro.

Com relação à resistência à tração por compressão diametral, a Figura 8 expõe os valores obtidos. Os resultados encontrados não apresentaram uma orientação definida, logo, sua linha de tendência apresenta ínfima confiabilidade. Atribui-se esse fato ao elevado volume de vazios das misturas, o qual pode conferir uma não homogeneidade a essas, propiciando a formação de regiões mais frágeis que interferem em diferentes proporções nos resultados.

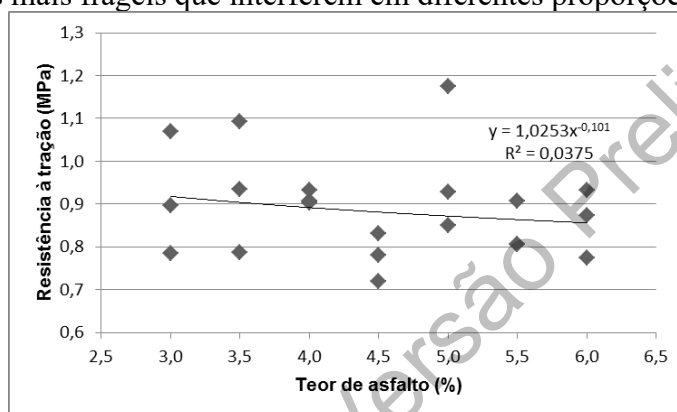


Figura 8: Resistência à tração por compressão diametral em função do teor de asfalto

Quanto ao módulo de resiliência, a Figura 9 expõem os resultados obtidos. Embora os resultados encontrados para cada amostra de um mesmo teor sejam demasiadamente dispersos, pode-se atribuir uma linha de tendência a esses valores, a qual decresce com o aumento do teor de asfalto: quanto maior a quantidade de ligante, mais flexível será a mistura, logo, maior será sua deformação elástica e conseqüentemente menor será seu módulo de resiliência. Quanto à dispersão, mais uma vez acredita-se que essa se deva à grande quantidade de vazios na mistura.

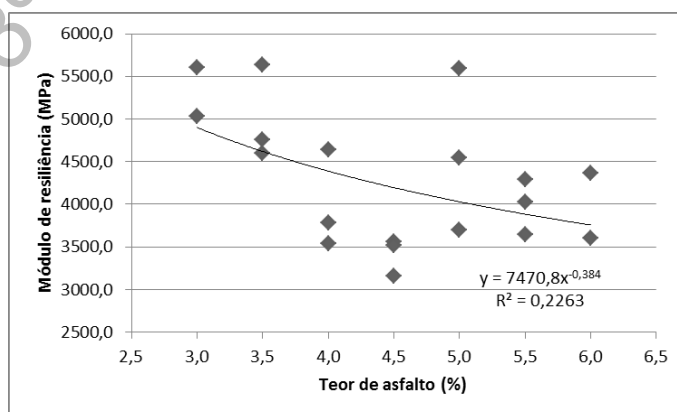


Figura 9: Módulo de resiliência em função do teor de asfalto

Utiliza-se a relação MR/RT como critério indicador do adequado balanço entre flexibilidade e resistência de misturas asfálticas (Soares *apud* Oliveira, 2003); A Figura 10 apresenta os resultados dessa. Ainda para o autor, quanto menor o valor dessa relação, melhor deverá ser o

desempenho da mistura quanto à fadiga, logo, estima-se que as misturas com teor de asfalto a partir de 4% apresentem um melhor comportamento à fadiga.

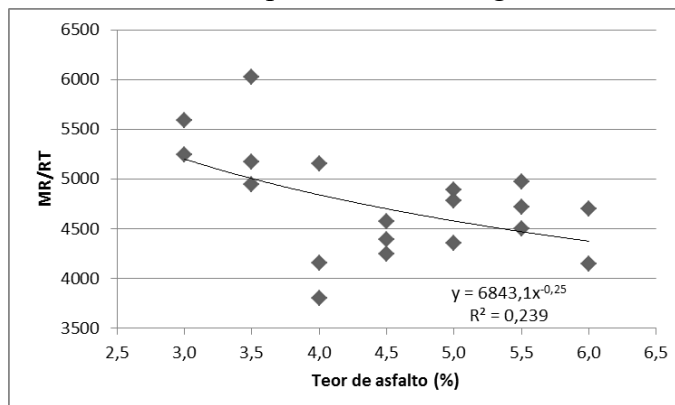


Figura 10: Relação MR/RT em função do teor de asfalto

Por fim, a Figura 11 traz os resultados do desgaste por abrasão – Ensaio Cantabro. Conforme esperado, o desgaste das amostras diminuiu com o aumento do teor de asfalto, apresentando uma linha de tendência bem definida. Observa-se que, quanto maior o teor de asfalto, menor é a diferença na redução do desgaste por abrasão com relação ao teor de asfalto anterior; dos teores de 3,0% para 3,5% houve uma redução média de 12,28% no desgaste por abrasão, enquanto dos teores de 5,5% para 6,0% houve redução de 2,67%. As amostras com teores de asfalto de 4,0%, 4,5% e 5,0% atenderam ao critério da especificação: desgaste por abrasão – Ensaio Cantabro máximo de 25%.

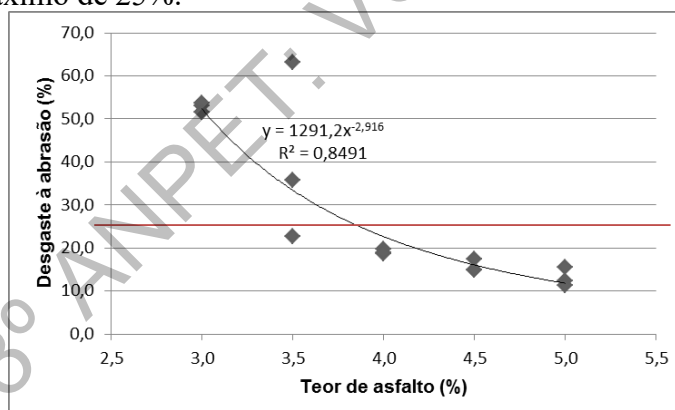


Figura 11: Desgaste por abrasão em função do teor de asfalto

Ao analisar a tendência dos resultados para relação MR/RT e de desgaste por abrasão, percebe-se que quanto maior o teor de asfalto, melhor será a durabilidade e resistência da mistura. Tal fato é relevante, visto que um dos grandes problemas das misturas de CPA é o envelhecimento devido ao alto volume de vazios, então uma das de reduzir este problema é elevando um pouco o teor de asfalto da mistura projetada.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste estudo objetivou determinar, com base nos critérios presentes na especificação de serviço DNER-ES 386 (1999), para quais teores de asfalto uma mistura asfáltica aberta enquadra-se como CPA. Seu desenvolvimento possibilitou a análise do comportamento de parâmetros volumétricos, hidráulicos e mecânicos da mistura asfáltica nos diferentes teores de asfalto.

Partindo-se dos resultados obtidos e da análise desses, chegou-se às seguintes considerações:

- i) Não é apenas o volume de vazios o fator determinante no comportamento da mistura quanto à permeabilidade, é necessário que esses vazios sejam eficazes para que contribuam ao escoamento da água. As amostras com teor de asfalto de 3,0% apresentaram volume de vazios superior às de 3,5%, porém permeabilidade inferior; conclui-se que a razão entre vazios eficazes e ineficazes nas amostras com 3,0% possa ser inferior às amostras com teor de 3,5%. A maior presença de vazios ineficazes pode estar atribuída à baixa quantidade de asfalto, a qual não consegue formar uma película que envolva na totalidade os agregados e acaba concentrando-se em regiões que obstruem a comunicação entre os vazios, logo, impedindo a passagem de água;
- ii) O alto volume de vazios presente nas misturas pode conferir uma não homogeneidade a essas, propiciando a formação de regiões mais frágeis, as quais interferem em diferentes proporções nos resultados quanto à resistência mecânica, fazendo com que esses não tenham uma orientação bem definida nem apresentem uma linha de tendência confiável;
- iii) O módulo de resiliência também apresentou resultados dispersos, justificando-se novamente o fato à grande quantidade de vazios na mistura. As amostras com teor de asfalto de 4,0% apresentaram os menores valores para a relação MR/RT, logo, pode-se dizer que essa apresentou o melhor comportamento quanto à fadiga;
- iv) O desgaste à abrasão das amostras diminuiu com o aumento do teor de asfalto, apresentando uma linha de tendência bem definida. Quanto maior o teor de asfalto, menor foi a diferença na redução do desgastaste à abrasão com relação ao teor de asfalto anterior; dos teores de 3,0% para 3,5% houve uma redução média de 12,28% no desgaste à abrasão, enquanto dos teores de 5,5% para 6,0% houve redução de 2,67%;
- v) Apenas as amostras com teores de asfalto de 4,0% e 4,5% enquadram-se como CPA. Enquanto o teor de asfalto de 4,0% conferiu uma maior resistência à tração, o teor de 4,5% garantiu menor desgaste por abrasão. Quanto ao volume de vazios, as amostras com teor de asfalto de 4,5% apresentaram melhores resultados.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). Avaliação de métodos de dosagem de misturas asfálticas e sua relação com as propriedades mecânicas. 2014. Disponível em <[http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/12571/Relatorios\\_de\\_Pesquisa\\_\\_\\_RDT.html](http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/12571/Relatorios_de_Pesquisa___RDT.html)>. Acesso em: 20 mai. 2016.
- ASPHALT INSTITUTE. Asphalt overlays for highway and street rehabilitation. Lexington: 1983.
- BALBO, José Tadeu. Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 043: Misturas betuminosas a quente - ensaio Marshall. Método de Ensaio. Rio de Janeiro: DNER, 1995.
- BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 095 - EM: Cimentos asfálticos de petróleo. Especificação de Material. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.
- BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 117: Mistura betuminosa - determinação da densidade aparente. Método de Ensaio. Rio de Janeiro: DNER, 1994.
- BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 136 - ME: Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas - Determinação da resistência à tração por compressão diametral. Método de Ensaio. Rio de Janeiro: DNIT, 2010.

- BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 133: Misturas betuminosas - determinação do módulo de resiliência. Método de Ensaio. Rio de Janeiro: DNER, 1994.
- BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 383: Desgaste por abrasão de misturas betuminosas com asfalto polímero – ensaio Cantabro. Rio de Janeiro: DNER, 1999.
- BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ES 386: Pavimentação – pré-misturado a quente com asfalto polímero – camada porosa de atrito. Rio de Janeiro: DNER, 1999.
- BERNUCCI, Liedi B. et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRÁS/ABEDA, 2008.
- BOTELHO, F. V. C.; SANTOS FILHO, F. P. Viabilidade de Execução de Asfalto Drenante com o uso de calcário do DF. Estágio Supervisionado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2002.
- CAMPOS, Octavio de Souza. Análise do comportamento de trecho piloto de revestimento poroso com asfalto modificado por polímero. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica, USP, São Paulo, 1998.
- DUMKE, Marilan Pedro. Concreto asfáltico drenante com fibras de celulose, ligante modificado por polímero e asfalto-borracha. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2005.
- FAURE, B. et al. Techniques nouvelles de couches de roulement – les enrobés drainants. Bulletin de Liaison de Laboratoire des Ponts et Chaussées, n. 172, 1991.
- GRECA ASFALTOS. Disponível em: <<http://www.grecaasfaltos.com.br/menu-esquerda-produtos-asfaltos-flexpave>>. Acesso em: 25 mai. 2016.
- HOMEM, Tiago da Rosa. Comportamento de misturas asfálticas porosas com ligantes modificados por polímeros e adição de fibras. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil). Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2002.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Impactos Sociais e Econômicos dos Acidentes de Trânsito nas Aglomerações Urbanas. Relatório. IPEA, Brasília, 2003.
- MEDINA, Jacques de. MOTTA, Laura M.G. Mecânica dos pavimentos. 3.ed. Rio de Janeiro, 2015.
- OLIVEIRA, Carlos Gustavo Macedo. Estudo de propriedades mecânicas e hidráulicas do concreto asfáltico drenante. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.
- PINTO, Salomão; PINTO, Isaac Eduardo. Pavimentação asfáltica: conceitos fundamentais sobre materiais e revestimentos asfálticos. Rio de Janeiro: Grupo Editora Nacional, 2015.
- PINTO, Salomão; PREUSSLER, Ernesto. Pavimentação rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis. Rio de Janeiro: Synergia, 2010.
- PORTO, H. G. Pavimentos Drenantes. São Paulo: D & Z Computação Gráfica e Editora, 1999.
- ROSENO, Jôfran Lima. Avaliação de uma mistura asfáltica porosa com agregados calcários e asfalto-borracha. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2005.
- SENÇO, Wlastermiller de. Manual de técnicas de pavimentação. 2. ed. ampl. v. I. São Paulo: Pini, 2007.
- VARDANEGA JUNIOR, Luiz Ison. Hidroplanagem: caracterização e análise da incidência em rodovias. Monografia (Graduação em Engenharia). Departamento de Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2009.

---

Daniel Schneider (xineider@hotmail.com)  
Gabriela Thaís Lehnen Mendes (gabriela.lehnen@gmail.com)  
Carolina Becker Porto Fransozi (carolinabecker@univates.br)  
João Rodrigo Guerreiro Mattos (joao.mattos@univates.br)  
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade do Vale do Taquari  
Rua Avelino Talini, 171 – Lajeado, RS, Brasil