

# **ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO PÉTREO DE MISTURAS ASFÁLTICAS PELO RESÍDUO DE BORRACHA ORIUNDO DA RECAPAGEM DE PNEU**

**Gabriela Pires da Silva<sup>1</sup>**

**Bruna Calabria Diniz<sup>2</sup>**

**Adriéli Raquel da Silva Räder<sup>3</sup>**

**Diego Menegusso Pires<sup>4</sup>**

**José Antônio Santanna Echeverria<sup>5</sup>**

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ

Departamento de Ciências Exatas e Engenharias – DCEENG

<sup>1</sup>Engenheira Civil graduada pela Unijuí

<sup>2</sup>Engenheira Civil graduada pela Unijuí

<sup>3</sup>Engenheira Civil graduada pela Unijuí

<sup>4</sup>Acadêmico de Engenharia Civil – Unijuí, Bolsista PET

<sup>5</sup>Engenheiro Civil, Analista de Infraestrutura do DNIT, Docente do Curso de Engenharia Civil Unijuí

## **RESUMO**

O aumento do volume de resíduos sólidos vem intensificando a preocupação com a destinação final desses materiais, desse modo, a incorporação do resíduo de pneu em pavimentos betuminosos torna-se uma boa alternativa para a reciclagem e reutilização desse material. O estudo apresentado consiste na análise laboratorial das propriedades do asfalto borracha via a seco. Foram substituídos teores de 0,7% e 1,5% de fração do pó de pedra pela borracha miúda e graúda (a ser especificada posteriormente no artigo). Para as misturas em análise foram realizados ensaios de estabilidade, fluência, resistência à tração por compressão diametral, adesividade (metodologia de Lottman modificado) e módulo de resiliência. As misturas apresentaram resultados muito próximos à mistura de referência, onde em alguns ensaios com adição de borracha mostraram-se com melhores desempenhos. As misturas com teores menores de borracha, ou seja, 0,7% de borracha apresentaram melhores resultados que as misturas de 1,5% de borracha.

## **ABSTRACT**

The increase in the volume of solid waste has intensified the concern with the final destination of these materials, thus, the incorporation of the tire residue into bituminous pavements becomes a good alternative for the recycling and reuse of this material. The present study consists of the laboratory analysis of rubber dry asphalt properties. Substituted contents were 0.7% and 1.5% fraction of rock dust by the girl and Graúda rubber (to be specified later in the article). For the mixtures under analysis, tests of stability, creep, tensile strength by diametrical compression, adhesiveness (modified Lottman methodology) and resilience modulus were performed. The mixtures presented results very close to the reference mixture, where in some tests with addition of rubber showed better performances. Mixtures with lower rubber contents, ie 0.7% rubber provided better results than the 1.5% rubber mixtures.

## **1. INTRODUÇÃO**

O pneu é um material fundamental e insubstituível em nosso cotidiano, tanto no transporte de pessoas quanto no de cargas. Entretanto, estes pneus causam grandes problemas, quando descartados de modo incorreto, pois são volumosos, logo, devem ser armazenados de forma a evitar riscos de incêndio e proliferação de mosquitos. Muitos desses pneus são dispostos em aterros sanitários causando problemas devido a terem uma degradação muito lenta (DIAS, 2005).

Segundo Tonelli (2014), o aproveitamento correto dos pneus no asfalto borracha é apontado como ideal para vias de grande tráfego por propiciar maior durabilidade, diminuição de ruídos e melhorar a aderência dos pneus ao pavimento. O uso da borracha de pneu demonstra um

aumento de 5% do valor da pavimentação, mas este valor é compensado pela maior durabilidade do asfalto.

As aplicações do asfalto-borracha são utilizadas tanto em pavimentos novos como em restaurações. Sendo que a adição da borracha moída de pneu ao cimento asfáltico convencional, tem sido uma das melhores soluções para a disposição dos milhões de pneus descartados anualmente. Assim sendo, a utilização desse material melhora o desempenho estrutural do concreto asfáltico e aumenta a vida útil do revestimento (ROSENO, 2005).

O processo de incorporação do agregado-borracha pode ser via úmido ou via a seco. No caso da via a seco a mistura ocorre junto ao agregado, para posteriormente ser adicionado o ligante, não ocorrendo a fusão da borracha com o cimento asfáltico (ROSENO, 2005). Dias (2005) indica que a metodologia a seco apresenta maiores benefícios devido ao custo inicial de aplicação ser menor, não requerendo modificações nas usinas de asfalto.

## **2. METODOLOGIA**

O estudo consiste na análise laboratorial das propriedades do asfalto borracha por via a seco, tratando-se da incorporação de um determinado percentual de borracha de pneu, em substituição de parte do agregado miúdo, na mistura asfáltica. As misturas asfálticas que compõem este trabalho foram enquadradas na faixa C do DNIT (DNIT – ES 031/2006), as quais foram designadas como mistura referência, mistura com 0,7% de borracha miúda (0,7%BM), mistura com 0,7% borracha graúda (0,7%BG), mistura com 1,5% de borracha miúda (1,5%BM) e mistura com 1,5% de borracha graúda (1,5%BG). O ensaio utilizado para obtenção da massa específica do resíduo obedeceu ao preconizado pela NBR NM 23/2000, o mesmo foi adaptado, tendo em vista que não existem normas para ensaios com esse resíduo.

Todas as misturas constituíram-se basicamente de agregados graúdos, agregados miúdos, cal dolomítica e ligante asfáltico (CAP 50/70), diferindo-se pelo teor em substituição de borracha, e pelo tipo de borracha. Foi utilizada a metodologia Marshall para moldagem de todos os corpos de provas (CPs), com um teor de 4% de CAP para cada mistura. O teor de ligante asfáltico utilizado foi escolhido a partir da mistura referência (sem incorporação do resíduo). A moldagem dos CPs seguiu o prescrito pela normativa DNER 217/2001.

Os ensaios mecânicos a que foram submetidos os corpos de prova foram: estabilidade, fluência, resistência à tração por compressão diametral, adesividade e módulo de resiliência. O ensaio do módulo de resiliência seguiu o prescrito pela DNIT-ME 135/2010, no qual foram moldados 6 corpos de prova para cada mistura, totalizando 30 corpos de prova.

Para o ensaio de resistência à tração por compressão diametral seguiu-se o preconizado pela normativa do DNER – ME 138/1994. A análise desses corpos de prova foi realizada através da média de 3 CPs, moldados com 75 golpes em cada face a temperatura de compactação de 150°C.

A realização do ensaio de Lottman Modificado, se deu através da norma NBR 15617 (2015), o qual teve os corpos de prova moldados pela Metodologia Marshall, com volume de vazios que fica-se entre 6 e 8%. Para que esse volume de vazios fosse atingido, os CPs foram moldados com o número de 30 golpes em cada face. Cada mistura tinha um grupo de 6 CPs que foram,

subdivididos em dois grupos, o primeiro sem condicionamento (Rt1) e o segundo com condicionamento (Rt2).

## 2. DESENVOLVIMENTO

A seguir são apresentados os materiais que compõe a mistura asfáltica em estudo e a porcentagem constituinte de cada material. A partir do conhecimento da granulometria dos materiais, foram estabelecidas cinco misturas as quais tiveram por finalidade atender a Faixa C (camada destinada ao rolamento) do DNIT – ES 031/2006. As misturas tiveram como materiais integrantes a brita 1 ½”, brita ¾”, brita 3/8”, pó de pedra, CAP 50/70, cal e borracha de pneu que só não esteve presente na mistura referência. Todas tiveram como base o peso do material constituinte do corpo de prova de 1200g, utilizando-se 50g de CAP, ou seja, um teor de 4% de CAP na mistura. O teor utilizado foi estabelecido pela metodologia marshall, onde foram moldados corpos de prova com diferentes teores (4%, 4,5%, 5%, 5,5% e 6%) todos sem incorporação do resíduo (somente mistura referência), apresentando melhores resultados nas propriedades para a porcentagem de 4%.

### 2.1 Materiais utilizados

Para composição da mistura asfáltica foram utilizados: agregados minerais (miúdos e graúdos), cal dolomítica, borracha reciclada de pneu e o cimento asfáltico de petróleo (CAP 50/70).

A amostra dos agregados pétreos que foram analisados para compor a mistura foram brita 1 ½”, brita ¾”, brita 3/8” e o pó de pedra, todos os agregados provieram de rocha basáltica. Os agregados foram coletados na unidade de produção do município de São Luiz Gonzaga, RS. O resíduo utilizado na pesquisa é oriundo do processo de recapagem de pneus, originário da empresa Hoff localizada na cidade de Ijuí-RS. Foram submetidos aos ensaios, corpos de prova com substituição de 0,7% e 1,5% do pó de pedra pela borracha graúda e miúda, conforme Figura 1.



**Figura 1:** Resíduo da recapagem de pneu

O processo de geração do resíduo em estudo é explicado por Hoff (2018), onde é realizado por meio de uma máquina de duplo cilindro (Figura 2) para a realização da raspagem simultânea de pneus, onde todo o procedimento é robotizado sendo capaz de garantir o ângulo de raspagem com precisão (Figura 3). Durante o processo, o material produzido é aspirado e passa por um vasto encanamento acoplado à um sistema de exaustão de pó e fumaça. As

diversas frações granulométricas são separadas no decorrer do processo de aspiração do material. O material com formato em fibras é depositado até ser acumulado para posteriormente ser levado à um destino adequado ou dada uma aplicação adequada para o mesmo (Figura 4).



**Figura 2:** Máquina duplo cilindro



**Figura 3:** Sistema robotizado



**Figura 4:** Depósito do resíduo

No presente trabalho, denominou-se como “borracha graúda” o subproduto passante peneira #10 e retido na peneira #30, e denominou-se como “borracha miúda” o subproduto passante na peneira #30 e retido no fundo. A massa específica do resíduo foi de  $1,152\text{g/cm}^3$  para a parte graúda, e a massa específica da parte miúda correspondeu a um valor mais baixo,  $1,189\text{g/cm}^3$ .

## **2.2 Misturas realizadas**

Foram estabelecidos cinco diferentes misturas para análise: mistura de referência, 0,7% borracha miúda, 0,7% borracha graúda, 1,5% borracha miúda e 1,5% borracha graúda. Em sequência serão especificadas individualmente.

### *2.1.1. Referência*

Para a mistura dita como referência, traçou-se uma mistura que estivesse o mais próximo possível com a Faixa C do DNIT. A mistura está representada na Tabela 1.

**Tabela 1: Composição da mistura referência**

% MISTURA		1,50%	20%	20%	57%	1,50%
PENEIRA	mm	BRITA 1 1/2"	BRITA 3/4"	BRITA 3/8"	PÓ DE PEDRA	CAL
1"	25,40	1,5	20,00	20,00	57	1,50
3/4"	19,10	0,076	19,36	20,00	57	1,50
1/2"	12,70	0,045	4,65	20,00	57	1,50
3/8"	9,50	0,024	0,248	18,96	57	1,50
n° 4	4,80	0,021	0,086	0,534	54,395	1,50
n° 10	2,00	0,021	0,086	0,252	36,395	1,50
n° 40	0,42	0,021	0,084	0,24	18,08	1,50
n° 80	0,18	0,020	0,084	0,24	11,129	1,41
n° 200	0,08	0,020	0,084	0,24	4,617	1,00
Frações	<b>BRITA 1 1/2"</b>	<b>BRITA 3/4"</b>	<b>BRITA 3/8"</b>	<b>PÓ DE PEDRA</b>	<b>CAL</b>	<b>TOTAL</b>
%	1,50%	20,00%	20,00%	57,00%	1,50%	100%

**2.1.2. Mistura com 0,7% de borracha de pneu miúda**

Para a mistura com 0,7% de borracha miúda foi realizada a substituição do pó de pedra pela borracha de pneu. A substituição desse resíduo deu-se na peneira n° 80, n° 200 e fundo, fazendo então a substituição de 9g de borracha de pneu para moldagem de cada CP com 1200g. A percentagem de cada material pode ser observada na Tabela 2.

**Tabela 2: Composição da mistura 0,7% BM**

% MISTURA		1,50%	20%	20%	56,3%	1,50%	0,70%
PENEIRA	mm	BRITA 1 1/2"	BRITA 3/4"	BRITA 3/8"	PÓ DE PEDRA	CAL	BOR. M.
1"	25,40	1,5	20,00	20,00	57	1,500	0,70
3/4"	19,10	0,076	19,36	20,00	57	1,500	0,70
1/2"	12,70	0,045	4,65	20,00	57	1,500	0,70
3/8"	9,50	0,024	0,248	18,96	57	1,500	0,70
n° 4	4,80	0,021	0,086	0,534	54,395	1,500	0,70
n° 10	2,00	0,021	0,086	0,252	36,395	1,500	0,70
n° 40	0,42	0,021	0,084	0,24	18,08	1,495	0,64
n° 80	0,18	0,020	0,084	0,24	11,129	1,414	0,60
n° 200	0,08	0,020	0,084	0,24	4,617	0,996	0,59
Frações	<b>BRITA 1 1/2"</b>	<b>BRITA 3/4"</b>	<b>BRITA 3/8"</b>	<b>PÓ DE PEDRA</b>	<b>CAL</b>	<b>BORRACHA</b>	<b>TOTAL</b>
%	1,50%	20,00%	20,00%	56,30%	1,50%	0,7%	100%

**2.1.3. Mistura com 0,7% de borracha de pneu graúda**

Seguindo o mesmo procedimento da mistura anterior, mas com substituição do material da peneira n° 40. A diferença da mistura anterior, além da peneira em substituição, é a granulometria da borracha. A percentagem de cada material pode ser observada na Tabela 3.

**Tabela 3: Composição da mistura 0,7% BG**

% MISTURA		1,50%	20%	20%	56,3%	1,50%	0,70%
PENEIRA	mm	BRITA 1 1/2"	BRITA 3/4"	BRITA 3/8"	PÓ DE PEDRA	CAL	BG
1"	25,40	1,5	20,00	20,00	57	1,500	0,70
3/4"	19,10	0,076	19,36	20,00	57	1,500	0,70
1/2"	12,70	0,045	4,65	20,00	57	1,500	0,70
3/8"	9,50	0,024	0,248	18,96	57	1,500	0,70
n° 4	4,80	0,021	0,086	0,534	54,395	1,500	0,70
n° 10	2,00	0,021	0,086	0,252	36,395	1,500	0,70
n° 40	0,42	0,021	0,084	0,24	18,08	1,495	0,13
n° 80	0,18	0,020	0,084	0,24	11,129	1,414	0,00
n° 200	0,08	0,020	0,084	0,24	4,617	0,996	0,00
Frações	<b>BRITA 1 1/2"</b>	<b>BRITA 3/4"</b>	<b>BRITA 3/8"</b>	<b>PÓ DE PEDRA</b>	<b>CAL</b>	<b>BORRACHA</b>	<b>TOTAL</b>
%	1,50%	20,00%	20,00%	56,30%	1,50%	0,7%	100%

#### 2.1.4. Mistura com 1,5% de borracha de pneu miúda

Para esta mistura utilizou-se uma porcentagem de 1,5% de borracha de pneu, a qual teve a substituição de 18g do pó de pedra. Nesta mistura foi realizada a substituição nas peneiras n° 40, n° 80, n° 200 e fundo. A porcentagem de cada material pode ser observada na Tabela 4.

**Tabela 4:** Composição da mistura 1,5% BM

% MISTURA		1,50%	20%	20%	55,5%	1,50%	1,50%
PENEIRA	mm	BRITA 1 1/2"	BRITA 3/4"	BRITA 3/8"	PÓ DE PEDRA	CAL	BM
1"	25,40	1,5	20,00	20,00	57	1,500	1,50
3/4"	19,10	0,076	19,36	20,00	57	1,500	1,50
1/2"	12,70	0,045	4,65	20,00	57	1,500	1,50
3/8"	9,50	0,024	0,248	18,96	57	1,500	1,50
n° 4	4,80	0,021	0,086	0,534	54,395	1,500	1,50
n° 10	2,00	0,021	0,086	0,252	36,395	1,500	1,50
n° 40	0,42	0,021	0,084	0,24	18,08	1,495	1,37
n° 80	0,18	0,020	0,084	0,24	11,129	1,414	1,29
n° 200	0,08	0,020	0,084	0,24	4,617	0,996	1,27
Frações	BRITA 1 1/2"	BRITA 3/4"	BRITA 3/8"	PÓ DE PEDRA	CAL	BORRACHA	TOTAL
%	1,50%	20,00%	20,00%	55,50%	1,50%	1,50%	100%

#### 2.1.4. Mistura com 1,5% de borracha de pneu graúda

Na composição desta mistura seguiu-se a mesma porcentagem da mistura anterior, diferenciando uma da outra a granulometria da borracha e as peneiras utilizadas para substituição do pó de pedra, as quais foram a peneira n° 10 e n° 40. A porcentagem de cada material pode ser observada na Tabela 5.

**Tabela 5:** Composição da mistura 1,5% BG

% MISTURA		1,50%	20%	20%	55,5%	1,50%	1,50%
PENEIRA	mm	BRITA 1 1/2"	BRITA 3/4"	BRITA 3/8"	PÓ DE PEDRA	CAL	BG
1"	25,400	1,500	20,000	20,000	57,000	1,500	1,500
3/4"	19,100	0,076	19,360	20,000	57,000	1,500	1,500
1/2"	12,700	0,045	4,650	20,000	57,000	1,500	1,500
3/8"	9,500	0,024	0,248	18,960	57,000	1,500	1,500
n° 4	4,800	0,021	0,086	0,534	54,395	1,500	1,500
n° 10	2,000	0,021	0,086	0,252	36,395	1,500	1,500
n° 40	0,420	0,021	0,084	0,240	18,080	1,495	0,267
n° 80	0,180	0,020	0,084	0,240	11,129	1,414	0,000
n° 200	0,080	0,020	0,084	0,240	4,617	0,996	0,000
Frações	BRITA 1 1/2"	BRITA 3/4"	BRITA 3/8"	PÓ DE PEDRA	CAL	BORRACHA	TOTAL
%	1,50%	20,00%	20,00%	55,50%	1,50%	1,50%	100%

### 2.3 Moldagem dos corpos de prova

Para moldagem dos corpos de prova salienta-se que o material pétreo constituinte da mistura foi condicionado à temperatura de 170°C pelo tempo de 24 horas antes da moldagem e o ligante asfáltico condicionado à temperatura de 160°C (10°C a menos que os agregados pétreos a fim de que não ocorra a oxidação do CAP).

A mistura asfáltica foi lançada nos moldes em três camadas de alturas iguais, tendo-se o cuidado de inserir na primeira o material mais fino, na segunda agregados pétreos de maior dimensão, e na terceira material mais fino. Preconizou-se por esse procedimento devido ao melhor associação ou preenchimento do corpo de prova. Cada uma das três camadas foi adensada com 20 golpes efetuados com uma barra metálica fina, tomando-se o cuidado de não adensar a camada inferior.

### 3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Serão apresentados os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados com as cinco misturas em estudo.

#### 3.1 Ensaio de Estabilidade e Fluência

A norma DNER-ME/043 dita que a fluência deve estabelecer-se numa faixa de 8 a 16/0.01in, enquanto a estabilidade tem como valor mínimo 500Kfg. Já para a relação estabilidade/fluência, a *Dirección Nacional de Vialidad* (1998), refere-se os valores desta relação entre 53,34 a 101,6kg/0,01in. Os resultados referentes à estabilidade das misturas em estudo podem ser observados na Figura 5.

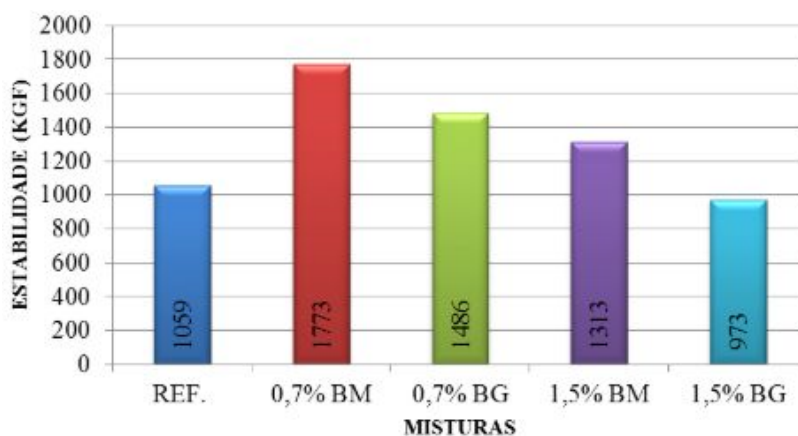


Figura 5: Estabilidade (kgf)

Todas as misturas obtiveram resultados maiores que o mínimo para a estabilidade, onde pode ser observado, que quanto maior a porcentagem de borracha menor a estabilidade. Nota-se um aumento da estabilidade das misturas asfálticas com a adição do resíduo oriundo do processo de recapagem de pneu comparadas com a referência para as misturas 0,7%BM, 0,7%BG e 1,5%BM. Esse aumento pode ser resultante de uma possível melhoria da coesão entre as partículas de agregados pétreos e o resíduo de pneu, ocasionando uma melhoria quanto à resistência ao cisalhamento e melhor intertravamento entre as partículas. A Figura 6 apresenta os resultados referentes aos valores obtidos para a fluência das misturas.

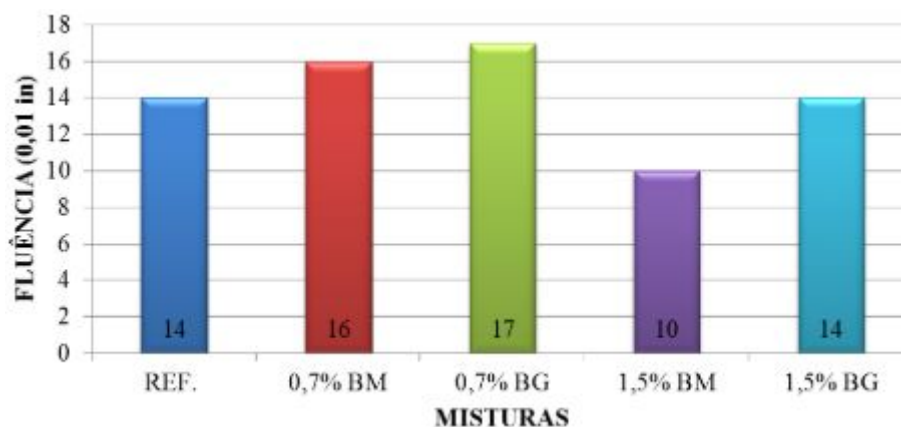
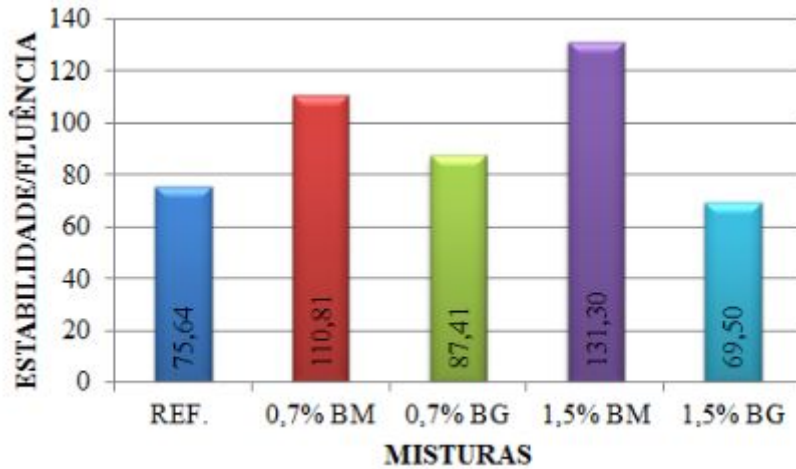


Figura 6: Fluência (0,01in)

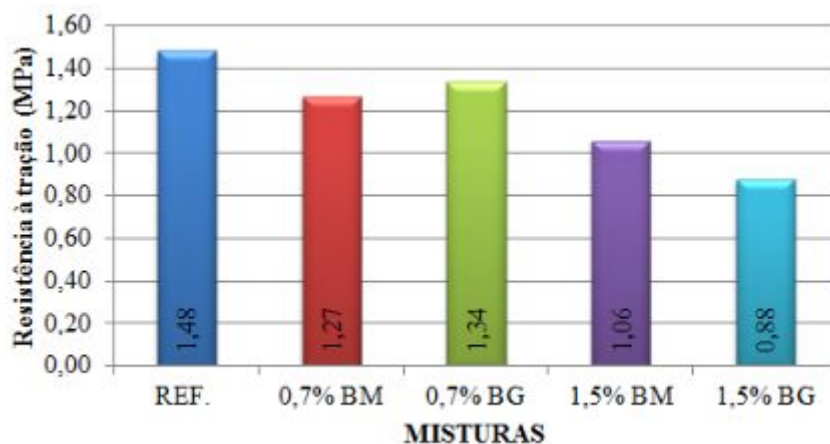
Quanto à fluência, destaca-se um pequeno aumento dos valores para os teores de 0,7% BM e BG, para o teor de 1,5% BG nota-se um comportamento semelhante ao referência. Portanto, destaca-se uma possível melhoria quanto ao potencial plástico da mistura asfáltica.



**Figura 7:** Relação estabilidade/fluência

Para os valores mínimo correspondentes a estabilidade, a totalidade dos resultados foi bastante superiores a 500 kgf. Para fluência, teve-se a mistura 0,7%BG que não se enquadrou entre 8/0,01in e 16/0,01in. Apesar disso, apenas as misturas referência, 0,7%BG e 1,5%BG seguiram os princípios da *Dirección Nacional de Vialidad* (1998) que indica valores para relações entre 53,34 e 101,6kg/0,01in. Ressalta-se uma possível melhoria da mistura asfáltica quanto aos valores de estabilidade para as amostras (0,7%BM, 0,7%BG e 1,5%BM). Quanto aos valores obtidos para fluência, ressalta-se uma possível melhoria para as amostras 0,7%BM e 1,5%BG.

A Figura 8 apresenta os resultados referentes aos ensaios de resistência à tração realizados com as misturas em estudo.



**Figura 8:** Resistência à tração por compressão diametral

Através do ensaio de resistência a tração pode-se ressaltar que as todas as misturas obtiveram



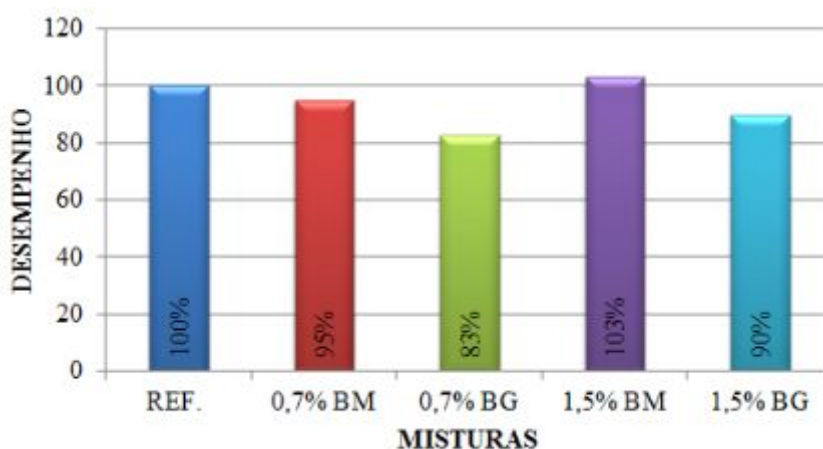
valores menores que a mistura referência, fato este para ambas as borrachas, graúda e miúda, tendo a mistura com maior diferença da mistura referência o valor de 0,6 MPa. A mistura que apresentou a maior resistência a tração, depois da mistura referência, foi a mistura 0,7%BG com valor de 1,34 MPa, a mistura 1,5%BG obteve os menores valores. Todas as misturas atendem a resistência a tração, apresentando resultados satisfatórios.

A Tabela 6 demonstra a média dos valores obtidos para cada mistura e cada grupo relativos ao ensaio de Adesividade pela metodologia de Lottman Modificado.

**Tabela 6:** Resultado Adesividade - Metodologia de Lottman Modificado

Sem condicionamento		Com condicionamento		RRt (%)
MISTURAS	Média Rt1 (MPa)	MISTURAS	Média Rt2 (MPa)	
Referência	0,68	Referência	0,68	100
0,7% BM	0,56	0,7% BM	0,54	95
0,7% BG	0,57	0,7% BG	0,48	83
1,5% BM	0,51	1,5% BM	0,52	103
1,5% BG	0,56	1,5% BG	0,50	90

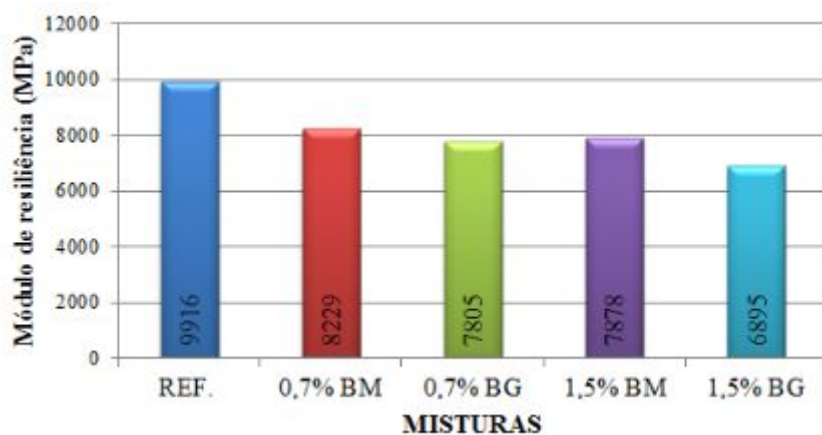
Para melhor visualização dos resultados é apresentada a Figura 9.



**Figura 9:** Desempenho Adesividade - Metodologia de Lottman Modificado

Constata-se que para o ensaio de adesividade pela metodologia de Lottman modificado, a mistura que obteve um melhor desempenho foi a mistura 1,5%BM (103%), seguido da mistura 0,7%BM (95%). As misturas com borracha graúda tiveram menor desempenho que a borracha miúda, onde o teor de borracha também influenciou no resultado, onde os maiores teores (1,5%) obtiveram maior desempenho para o ensaio de adesividade. Observa-se um bom comportamento para as todas as misturas, que chegaram a valores muito próximos do referência ou até mesmo superiores.

Bernucci *et al.* (2008), relatam que os valores para o módulo de resiliência podem ser considerados na faixa de 2.000 a 8.000 MPa, para misturas de concreto asfáltico submetidas a ensaio à 25°C. Os resultados obtidos para esse ensaio são apresentados na Figura 10.



**Figura 10: Módulo de Resiliência**

Analisando os resultados obtidos pelo ensaio, pode-se observar que as misturas que ficaram na faixa considerada, foram 0,7%BG, 1,5%BM e 1,5%BG. Já os valores das misturas referência e 0,7%BM, ficaram acima da faixa recomendada. Para o módulo de resiliência foi observado que as misturas que ficaram na faixa entre 2.000 e 8.000 MPa, foram 0,7%BG, 1,5%BM e 1,5%BG. Já os valores das misturas referência e 0,7%BM, ficaram acima da faixa recomendada.

Os resultados para o módulo de resiliência foram altos, o que pode ser explicado pelo mesmo autor, onde observam que os módulos de resiliência das misturas asfálticas variam ao longo do tempo em razão do envelhecimento do ligante asfáltico, ocasionando o enrijecimento deste e resultando no aumento de rigidez dos revestimentos (BERNUCCI *et al.*, 2008).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As misturas apresentaram resultados adequados, afinal ficaram muito próximos ao de referência, onde em alguns ensaios com adição de borracha mostraram-se com os melhores desempenhos. As misturas com teores menores de borracha, ou seja, 0,7% de borracha proporcionaram melhores resultados que as misturas de 1,5% de borracha.

Tendo em vista os aspectos ambientais que envolvem o assunto, o objetivo principal da incorporação de borracha em misturas asfálticas está relacionada a melhorias das propriedades mecânicas e funcionais dos materiais de pavimentação. Este trabalho mostrou que a incorporação de borracha de pneus pode ser uma alternativa viável para a reciclagem desses resíduos, mas há muito a ser estudado e analisado ainda.

Para pesquisas futuras aponta-se a ideia de realização de ensaios mais ligados ao desempenho da mistura asfáltica como a resistência à fadiga e à deformação permanente. Evidencia-se também a necessidade de maiores estudos futuros quanto ao gasto econômico relacionado à preparação desse resíduo para fins de incorporação na mistura asfáltica e a economia quanto à substituição do material pétreo pelo resíduo de recapagem de pneu.

## **Agradecimentos**

Os autores desta pesquisa agradecem ao MEC pelo PET (Programa de Educação Tutorial), de modo a proporcionar além de bolsas, a oportunidade de trabalhar em pesquisas e no desenvolvimento de atividades, agregando ao acadêmico grande gama conhecimento. Ao Laboratório de Engenharia Civil (LEC) da UNIJUÍ. Ao GEPPASV (Grupo de Estudos e Pesquisas em Pavimentação e Segurança Viária) da UFSM (Universidade Federal de Santa Maria).

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica, Rio de Janeiro, 2000. 12 p.
- \_\_\_\_\_. NBR 15617: Misturas asfálticas – Determinação do dano por umidade induzida, Rio de Janeiro, RJ, 2015. 5p.
- BERNUCCI, Leidi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti da.; CERATTI, Jorge Augusto; SOARES, Jorge Barbosa. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobrás: ABEDA, 2008. 501 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 043: Misturas betuminosas a quente - Ensaio Marshall – Método de ensaio, 1995, Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dner-me043-95.pdf>> Acesso em: 02 abr. 2017.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE. DNIT 031-ES: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico – Especificação de serviço, Rio de Janeiro – RJ, 2006.
- \_\_\_\_\_. DNIT 135-ME: Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio, Rio de Janeiro – RJ, 2010. Disponível em < [http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNIT135\\_2010\\_ME.pdf](http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNIT135_2010_ME.pdf)> Acesso em 05 mai.2017.
- DIAS, Márcia Rodrigues. Utilização de mistura asfáltica com borracha pelo processo da via-seca Execução de um trecho experimental urbano em Porto Alegre - RS, 2005. 136 f. Dissertação de Pós-Graduação – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- DIRECCIÓN NACIONAL DE VIALIDAD. Bases y carpetas de mezclas preparadas em caliente- Pliego de especificaciones técnicas, Buenos Aires, 1998.
- HOFF, Centro de Serviços Hoff BTS (2018) Tecnologia robotizada. Disponível em:<[www.hoff.com.br](http://www.hoff.com.br)> Acesso em 09 set. 2018.
- TONELLI, Ana Flávia. Pneus Inservíveis: como retirar do meio ambiente um dos passivos ambientais mais preocupantes da atualidade? Pneus e Cia., Belo Horizonte, ano 6, n. 40, p. 14-18, jul./ago. 2014.
- ROSENO, Jôfran Lima. Avaliação de uma mistura asfáltica porosa com agregados calcários e asfalto-borracha, 2005. 184 f. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

---

Gabriela Pires da Silva ([gabrielapires@outlook.com](mailto:gabrielapires@outlook.com))

Bruna Calabria Diniz ([bbrunadiniz@hotmail.com](mailto:bbrunadiniz@hotmail.com))

Adriéli Raquel da Silva Räder ([adri\\_rader@hotmail.com](mailto:adri_rader@hotmail.com))

Diego Menegusso Pires ([diego.mssso@hotmail.com](mailto:diego.mssso@hotmail.com))

José Antônio Santana Echeverria ([jose.echeverria@unijui.edu.br](mailto:jose.echeverria@unijui.edu.br))

Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ

Rua do Comércio, 3000 – Bairro Universitário, Ijuí-RS, 98700-000