

ESTUDO DA ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE POLIETILENO TEREFALATO (PET) COMO AGREGADO ALTERNATIVO PARA MISTURAS ASFÁLTICAS

Gleyciane Almeida Serra
Antonio Carlos Rodrigues Guimarães
Virlene Leite Silveira
Ayrton Mendes dos Santos Barros
Instituto Militar de Engenharia
Ana Carolina da Cruz Reis
CEFET- MG

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo avaliar o comportamento de misturas asfálticas usinadas a quente com substituição parcial do agregado miúdo por material triturado oriundo de garrafa PET nas proporções de 1%, 2% e 3%. Foram confeccionados corpos de prova para obtenção da estabilidade Marshall, resistência à tração (RT) e módulo de resiliência (MR). Como resultados, foram encontrados valores de RT dentro dos padrões da norma. Já os valores de MR indicaram uma alta rigidez da mistura em todas as misturas analisadas, porém os traços com adição de PET apresentaram maior flexibilidade em relação ao traço sem adição. A pesquisa mostrou que a adição de material PET é satisfatória quando adicionado a baixas porcentagens. Logo, comprovou-se a viabilidade do uso de PET como material alternativo em misturas asfálticas, minimizando os problemas com a disposição do resíduo na natureza, sem comprometer a eficácia das propriedades mecânicas do pavimento.

ABSTRACT

The present work aims to evaluate the influence of different percentages of PET plastic waste replacing part of the conventional small aggregate with the following percentages: 1%, 2% and 3%, per recycled aggregate from PET bottles. The preparation of specimens was performed for the Marshall's stability, tensile strength (TS) and resilience modulus (RM). As result, the values of TS were within the standards. However, RM values indicated a high stiffness of the mixture in all the analyzed mixtures, but the mixture with the addition of PET showed greater flexibility in relation to the mixture without addition. The research showed that the addition of PET material is satisfactory, when is added with low percentages. Therefore, it was proved the viability of using PET as an alternative material in Hot Mixture Asphalt (HMA), minimizing the problems with the process arrangement in nature waste, without compromising the mechanical properties efficiency of the pavement.

1. INTRODUÇÃO

Desde o momento em que pesquisas começaram a apontar significativas mudanças nas condições climáticas e prever a escassez de recursos naturais, tornou-se preocupação a nível mundial reduzir os impactos causados pelo homem ao ambiente. Diante deste cenário, o setor da construção civil, que consome grande quantidade de recursos naturais e gerador potencial de resíduos, não se abstém das preocupações ambientais. Isto justifica o interesse dos pesquisadores em desenvolver materiais alternativos, assim como reaproveitar resíduos para a construção.

Dentre os que vêm sendo estudados, cita-se as garrafas de Polietileno Tereftalato (PET). A indústria de líquidos cada vez mais opta pelo uso de garrafas plásticas para o armazenamento de seus produtos, devido à segurança e eficiência que o material oferece. Por essa razão, e pela tendência da sociedade de aumentar o consumo desses produtos, o destino correto para essa quantidade de resíduos plásticos é de grande preocupação.

O uso de resíduos como agregados na pavimentação minimiza, por si só, dois problemas recorrentes na construção civil. O primeiro deles é a disposição do resíduo gerado,

responsáveis pela contaminação do solo, rios e lençóis freáticos. O outro é o esgotamento dos recursos naturais, já que os agregados convencionais são provenientes de jazidas, onde é necessário desmatar grandes áreas para obter a sua extração.

Segundo Araújo et al. (2016), mais de 95% da malha rodoviária do Brasil é constituída por algum tipo de mistura asfáltica e mais da metade desses pavimentos apresentam manifestações patológicas antes do tempo previsto em projeto (Figura 1). Como forma de minimizar os defeitos prematuros nos pavimentos, vem sendo estudada a incorporação de materiais alternativos à mistura, visando também escolhas mais econômicas e sustentáveis.



Figura 1: Pavimento com manifestação patológica.

A incorporação de polímeros no ligante já vem sendo executada por concessionárias no Brasil (Bernucci et al., 2010). Essa prática tem como finalidade produzir um asfalto mais resistente à deformação permanente e com maior aderência entre o pneu e o pavimento. Entretanto, a eficiência varia conforme as propriedades físicas e mecânicas e a quantidade adotada, uma vez que se tem uma grande variedade de materiais a serem inseridos.

É interessante ressaltar que o PET possui característica termoplástica compatível com o ligante asfáltico, permitindo então ser aquecido e resfriado sem perdê-la. Foi pensando nessa possibilidade que outros autores estudaram a inserção do PET na mistura. Moghaddam e Karim (2012) obtiveram resultados positivos ao incorporar o PET no reforço de misturas do tipo Matriz Asfáltica Pétreo (SMA).

De acordo com o estudo realizado por Arão (2016), o PET triturado e passante na peneira de 2 mm obteve resultados positivos quando acrescentados em pequenas porcentagens. Silva (2013) afirma que é possível a adição de até 5% do PET sem que supere os parâmetros volumétricos preconizados pelas normas, ganhando assim uma flexibilidade da mistura. Portanto são esperadas melhorias na durabilidade e qualidade do pavimento.

Nesse sentido, esta pesquisa propõe a incorporação de resíduos de PET triturados como substituição parcial do agregado miúdo na mistura asfáltica, a fim de desenvolver um pavimento mais econômico e sustentável.

2. POLIETILENO TEREFALATO (PET)

As indústrias de líquidos gasosos são aquelas que mais consomem o PET para o armazenamento de seus produtos. O baixo custo de produção, resistência, impermeabilidade a gases e líquidos, durabilidade, entre tantos outros benefícios desse produto, impulsionam cada vez mais a produção de garrafas PET. Através da Figura 2 é possível perceber o crescente consumo de PET com o passar dos anos.

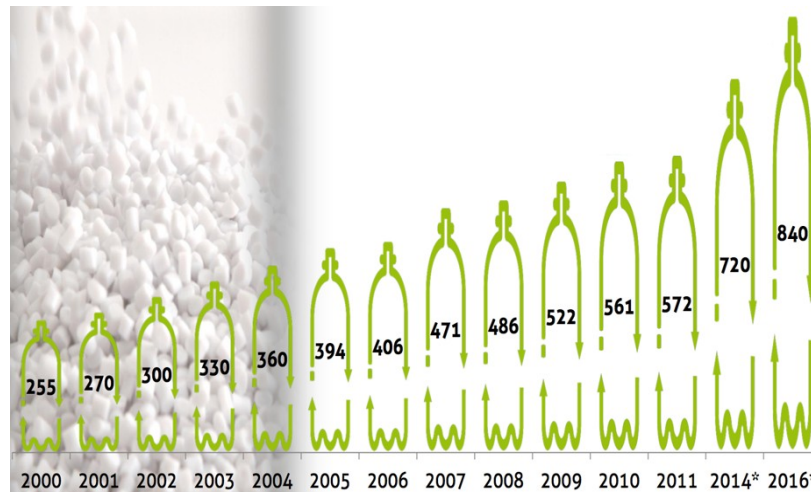


Figura 2: Consumo de PET no Brasil, em kilotonelada. Fonte: ABIPET e Petroquímica Suape (2016)

Embora o PET apresente inúmeras vantagens, há um problema bastante preocupante, dado que ele não é um material biodegradável. De acordo com Moura et al. (2015), a durabilidade do PET é ainda mais estendida devido a fatores como a resistência a umidade e aos produtos químicos adicionados na fabricação do material. Estima-se que o processo de decomposição do PET leva pelo menos 100 anos.

O PET é um polímero artificial, também conhecido como poliéster ou fibra, proveniente da condensação induzida por um catalisador. De maneira geral, o PET se dá pela polimerização entre um ácido e um álcool, cuja proporção dos grupos carboxila do ácido e dos grupos hidroxila do álcool é a mesma. Durante esse processo, há eliminação de água ou metanol, dependendo da reação química (Santos, 2008). O polímero sintético possui alta resistência mecânica, estabilidade térmica e química, podendo melhorar a flexibilidade, a adesividade e a resistência à variação térmica do pavimento. Contudo a reciclagem desse polímero traz uma proposta mais rentável aos asfaltos modificados

3. METODOLOGIA

3.1. Métodos

O presente trabalho foi dividido em três etapas: a primeira constituiu a fase de caracterização dos materiais estudados; a segunda baseou-se na dosagem e teor ótimo de uma mistura asfáltica de referência (sem o uso do PET) e com o uso de PET, enquanto a terceira, nos ensaios mecânicos.

Foram realizados ensaios de caracterização física dos materiais, que são apresentados pela tabela 1, juntamente com as suas respectivas normas.

Tabela 1: Relação de ensaios realizados e suas respectivas normas

MATERIAL	ENSAIOS	NORMAS
PET	Granulometria	DNER-ME 083/98.
Brita 0	Granulometria	DNER-ME 083/98
Brita 1	Densidade Real	DNER-ME 195/97
	Densidade Aparente	DNER-ME 081/98
Pó de Pedra	Densidade Real	DNER-ME 194/98

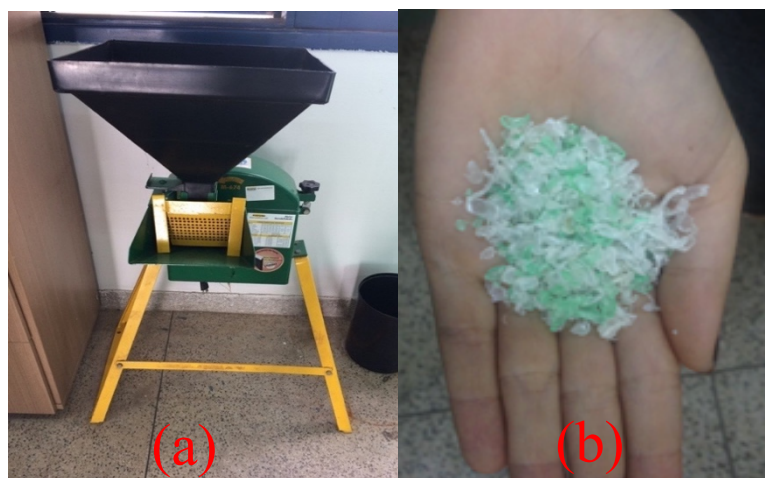
Para estudo das propriedades mecânicas da mistura asfáltica com polietileno de tereftalato foram dosados corpos de prova com 3 teores de PET, 1%, 2% e 3% e um traço de referência, sem o uso do PET. Os corpos de prova foram preparados e compactados com um soquete manual padronizado, conforme as especificações do ensaio Marshall na norma DNER-ME 043/95. As normas adotadas para a realização dos ensaios mecânicos são apresentadas pela tabela 2.

Tabela 2: Normas utilizadas para realização dos ensaios mecânicos

ENSAIOS	NORMAS
Estabilidade Marshal	DNIT-ME 043/95
Módulo de Resiliência	DNIT-ME 135/2010
Resistência a Tração	DNIT-ME 136/2010

3.2. Materiais

O polímero usado é resultado da trituração de garrafas PET pós-consumo, as quais foram devidamente higienizadas e a granulometria foi obtida por meio de um triturador de lâminas, conforme apresenta a Figura 3a. A Figura 3b apresenta o resultado visual do material triturado. Observou-se que o material sofreu um aumento de temperatura devido ao atrito entre o material e as lâminas do equipamento, resultando na opacidade e encolhimento dos fragmentos de PET triturado. A substituição de 1%, 2% e 3% de pó de brita por resíduos PET foi realizada através da proporção do volume, por se tratar de um material com densidade relativamente inferior aos demais agregados



Figuras 3: (a) Triturador de lâminas e (b) PET triturado

Os demais agregados utilizados, que compõem a mistura asfáltica, são provenientes da mina Malvina da Granorte, na cidade de Perizes – MA. Foram coletados materiais de diferentes pontos das pilhas de brita 1, brita 0 e pó de brita. O material foi caracterizado em laboratório através dos ensaios de granulometria e o ensaio de densidade real e aparente. A Tabela 3 apresenta os resultados do ensaio de granulometria de acordo com a norma DNER-ME 083/98.

Tabela 3: Granulometria dos agregados e do PET

PENEIRA	BRITA 1	BRITA 0	PÓ DE PEDRA	PET
1''	100,00	100,00	100,00	100,00
3/4''	91,97	100,00	100,00	100,00
1/2''	11,95	94,10	100,00	100,00
3/8''	1,38	68,82	100,00	100,00
nº 4	0,40	1,90	95,24	79,61
nº 10	0,40	0,69	67,62	20,25
nº 40	0,40	0,64	28,00	0,00
nº 80	0,38	0,42	18,00	0,00
nº 200	0,00	0,00	13,94	0,00

As densidades reais dos agregados foram da ordem de 2,750 g/cm³ a 2,830 g/cm³, sendo ensaiados conforme a norma DNER-ME 195/97, para agregado graúdo, e DNER-ME 194/98, para o agregado miúdo. O Concreto Asfáltico de Petróleo (CAP) apresentou densidade real de 1,02 g/cm³. Já a densidade aparente foi realizada apenas para o agregado graúdo, conforme a norma DNER-ME 081/98. Os valores de densidade real e aparente estão expressos na Tabela 4.

Tabela 4: Densidade real e aparente dos agregados

AGREGADO	BRITA 1	BRITA 0	PÓ DE BRITA	CAP 50/70
Densidade Real(g/cm ³)	2,83	2,80	2,75	1,02
Densidade Aparente(g/cm ³)	2,88	2,76	-	-

Por fim, o ligante adotado na pesquisa foi o CAP 50/70, comumente utilizado na região, fornecido pela Brasquímica Produtos Asfálticos Ltda, empresa localizada no estado da Bahia, e encontra-se dentro dos parâmetros preconizados pela Agência Nacional de Petróleo (ANP).

4. RESULTADOS

Conhecendo a granulometria dos agregados, foram dosadas misturas de acordo com a faixa C especificada na norma DNIT 141/2010 – ES. A fim de comparação, foi executado um traço de referência de concreto asfáltico a quente convencional, composto por 60% de pó de brita, 35% de brita 0 e 5 % de brita 1. Esses valores são apresentados na Tabela 5 e podem ser melhor visualizados na Figura 4, através do gráfico da curva granulométrica com os percentuais adotados de cada agregado.

Tabela 5: Enquadramento granulométrico na faixa C

PENEIRA (POL)	PENEIRA (MM)	BRITA 1	BRITA 0	PÓ DE PEDRA	FAIXA C		CURVA
					MÍN.	MÁX.	
1"	38,00	5,00	35,00	60,00	-	-	100,00
3/4"	25,00	5,00	35,00	60,00	-	-	100,00
3/4"	19,00	4,60	32,94	60,00	100,00	100,00	99,60

PENEIRA		BRITA 1	BRITA 0	PÓ DE BRITA	FAIXA C		CURVA
(POL.)	(MM)				MÍN.	MÁX.	
1/2"	12,70	0,60	22,34	60,00	80,00	100,00	93,53
3/8"	9,50	0,02	1,90	60,00	70,00	90,00	82,41
n.º 4	4,80	0,02	0,69	57,14	44,00	72,00	57,83
n.º 10	2,00	0,02	0,24	40,57	22,00	50,00	40,83
n.º 40	0,42	0,02	0,22	16,81	8,00	26,00	17,15
n.º 80	0,18	0,02	0,15	10,81	4,00	16,00	10,97
n.º 200	0,07	0,00	0,00	8,36	2,00	10,00	8,36

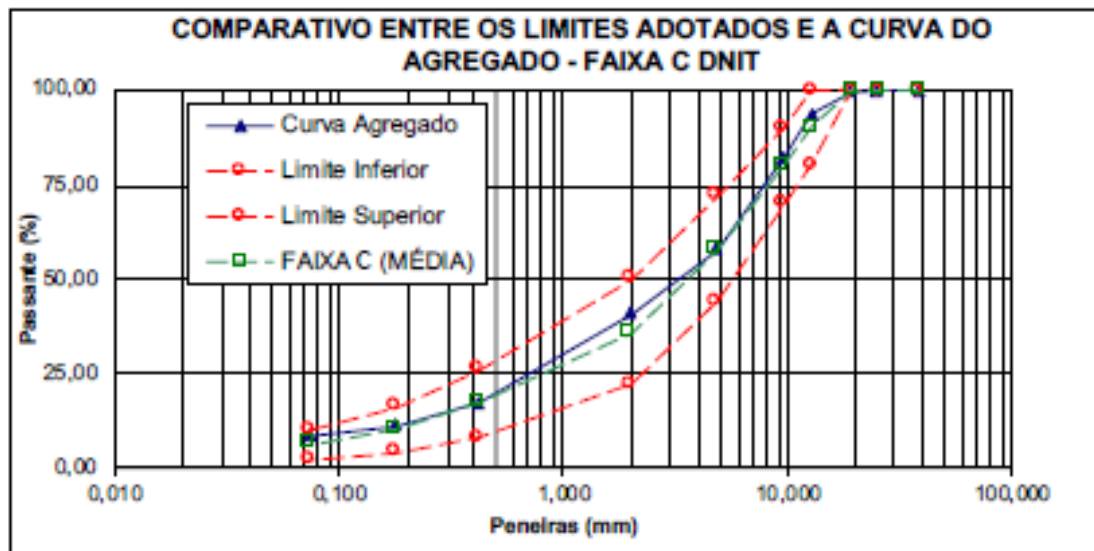


Figura 4: Enquadramento granulométrico na faixa C

A Tabela 6 apresenta a média dos resultados do volume de vazios (V_v), da relação betume e vazios (RBV), do volume de agregados minerais (VAM) e da estabilidade Marshall realizada para os teores de 4%, 4,5% e 5% de ligante. Esses valores foram definidos de forma aleatória para definir o teor ótimo.

Tabela 6: Parâmetros volumétrico e estabilidade Marshall (Limites DNIT-ES 031/2006)

TRAÇO	TEOR DE CAP (%)	V_v (%) 3,0 a 5,0%	RBV (%) 75,0 a 82,0 %	ESTABILIDADE (kgf) Mínimo de 500,00 kgf	VAM (%) Mín. 15,00%
Traço I	4,0	5,0	65,7	1051,7	14,5
Traço II	4,5	4,1	72,4	1197,4	14,8
Traço III	5,0	3,7	76,7	1330,7	15,7

O teor ótimo encontrado para o traço referência (ou PET 0%) foi de 4,7% de CAP que corresponde ao volume de vazios de 4%. Após a determinação da dosagem dos agregados e do teor ótimo de ligante da mistura de referência, foram confeccionados novos traços com substituição do pó de brita por 1%, 2% e 3% de resíduo PET triturado.

Foram verificados os parâmetros volumétricos e estabilidade. A Tabela 7 apresenta a média de 3 CPs de cada mistura com os resultados da análise das propriedades volumétricas e de estabilidade. Também é possível analisar os resultados através dos gráficos de Volume de vazios, Relação Betume Vazios e Vazios do Agregado Mineral (Figura 5, 6 e 7).

Tabela 7: Parâmetros volumétrico e estabilidade Marshall

TRAÇO	TEOR DE CAP (%)	Vv (%) 3,0 a 5,0%	RBV (%) 75,0 a 82,0 %	ESTABILIDADE (kgf) Mínimo de 500,00 kgf	VAM (%)
PET 0%	4,7	4,7	70,5	1005,7	15,8
PET 1%	4,7	3,4	77,2	1120,8	14,7
PET 2%	4,7	3,2	77,9	1133,0	14,5
PET 3%	4,7	3,5	76,1	1083,9	14,8

A norma estabelece que os valores mínimo e máximo de volume de vazios (Vv) adequados para as misturas asfálticas em camada de rolamento sejam respectivamente de 3% e 5%. Conforme visualizado na Figura 5, os resultados foram satisfatórios em todas as misturas e apresentam pequenas variações devido à baixa porcentagem de PET nas misturas. De acordo com Silva et al. (2013), há uma tendência para o aumento do volume de vazios em misturas com adição de PET, devido à massa específica do PET ser inferior à do agregado convencional, resultando em misturas menos densas, o que não foi visualizado neste estudo, talvez pela pequena quantidade de PET adicionada.

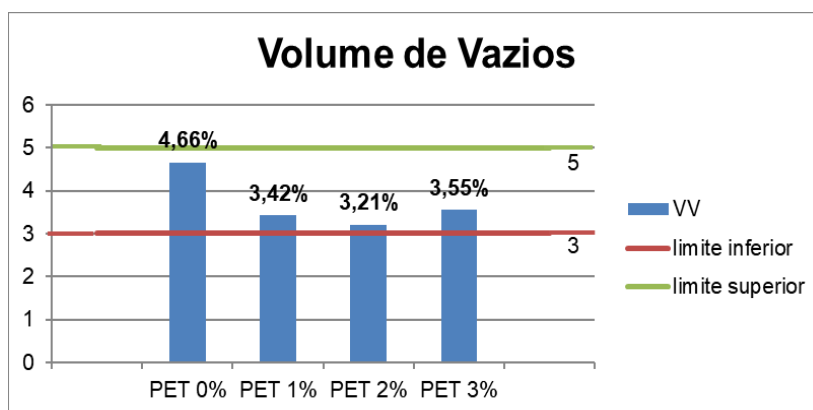


Figura 5: Média de volume de vazios das misturas (%)

O concreto asfáltico deve satisfazer ao requisito da relação de betume vazio (RBV) para camada de rolamento entre 75% e 82%. Conforme a Figura 6, o RBV das misturas com adição de PET apresenta valores dentro da faixa recomendada por norma. Entretanto, a mistura padrão apresenta valores inferiores ao limite citado anteriormente. O valor do RBV é decorrente da relação entre o Vv e VAM, podendo ter sido influenciada pela compactação manual das misturas.

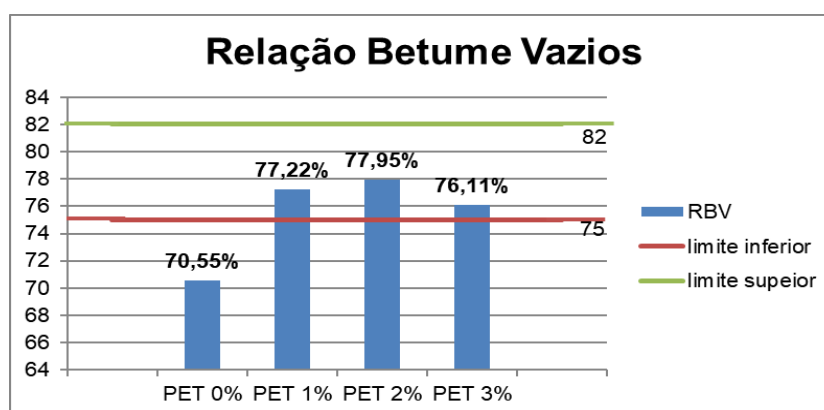


Figura 6: Média de RBV das misturas (%)

A norma DNIT-ES 031/06 estabelece como parâmetro mínimo de vazios dos agregados minerais (VAM) um valor de 15% para misturas que apresentam tamanho nominal dos agregados passantes na peneira 3/4". De acordo com esse requisito somente o traço sem adição de PET se enquadra ao parâmetro da norma, conforme a Figura 7. As misturas com adição de PET possuem VAM inferior ao limite da norma, porém bem próximos deste limite.

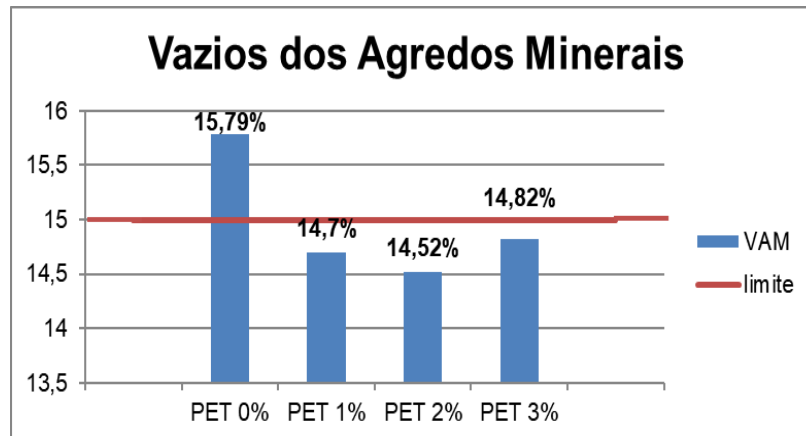


Figura 7: Média de VAM das misturas (%)

A Estabilidade tem valores superiores a 500 kgf, que é o valor mínimo indicado na norma. A Estabilidade diminui em função da quantidade de PET incorporada na mistura, porém as misturas com adição do resíduo apresentaram resultados melhores que a mistura padrão, comprovando que há uma melhoria na resistência do concreto asfáltico ao se adicionar PET. Contudo, essa melhoria é pouco expressiva devido à pequena porcentagem de PET adicionada, conforme Figura 8.

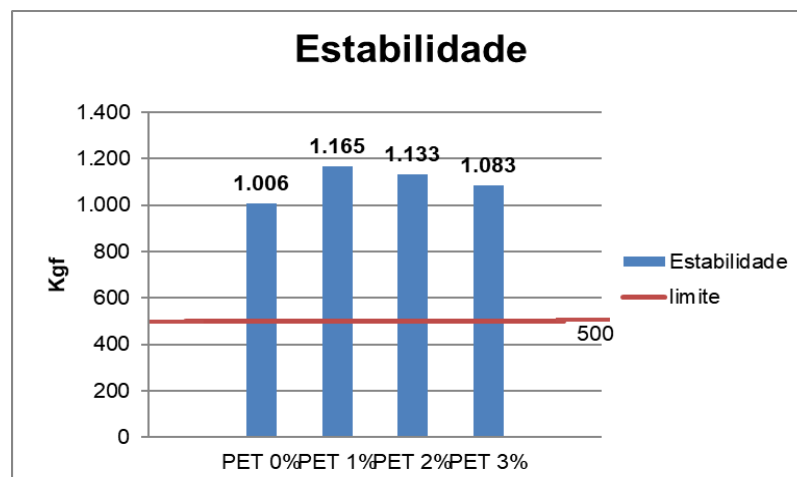


Figura 8: Média dos resultados de Estabilidade das misturas (%)

A Tabela 9 é resultado da média dos valores obtidos nos ensaios de módulo de resiliência, executado conforme a norma DNIT 135/2010, de resistência à tração, prescrito na norma DNIT- ME 135/2010, e da relação MR/RT.

Tabela 9: Propriedades mecânicas

TRAÇO	MÓDULO DE RESILIÊNCIA (MPa)	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPa)	MR/RT (MPa)
PET 0%	10046	1,46	6880,82
PET 1%	8840	1,18	7491,52
PET 2%	9448	1,43	6606,99
PET 3%	10056	1,55	6487,74

Ao analisar os resultados é possível observar que o traço base possui MR superior aos resultados esperados para uma mistura asfáltica da faixa C, conforme Figura 9. Segundo Bernucci et al. (2010), misturas asfálticas flexíveis devem obter valores de módulo de resiliência na faixa de 2.000 a 8.000 MPa. A alta rigidez da mistura pode ter sido consequência da granulometria adotada. Foi escolhido um traço com alta porcentagem de pó de brita, e nenhuma adição de areia, o que contribui para o fechamento da mistura, tornando o esqueleto mineral rígido. A rigidez das misturas diminuiu com a adição de PET, como já era esperado.

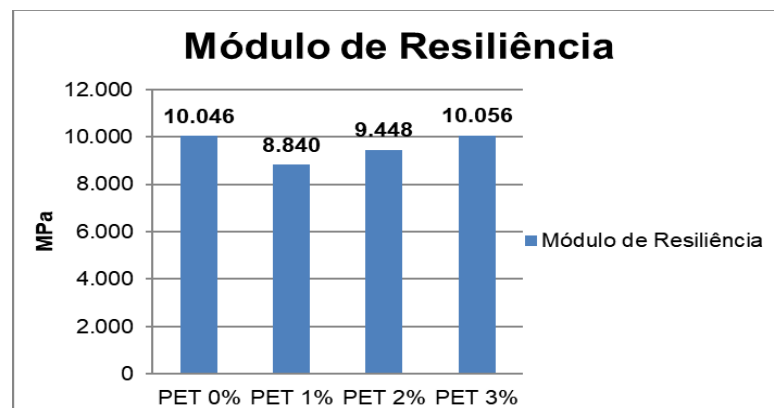


Figura 9: Gráfico dos resultados de MR

A resistência à tração de todas as misturas apresentou valores acima de 0,65 MPa, logo se encontram dentro dos limites estabelecidos na norma. As misturas com adição de PET possuem valores de RT característicos. É possível perceber que há um pequeno aumento do RT com a adição de 3% do resíduo triturado, conforme apresentado na Figura 10. A resistência à tração deve se manter acima de 0,65 Mpa (DNIT, 2006). Logo, os valores médios de RT estão dentro do limite da norma.

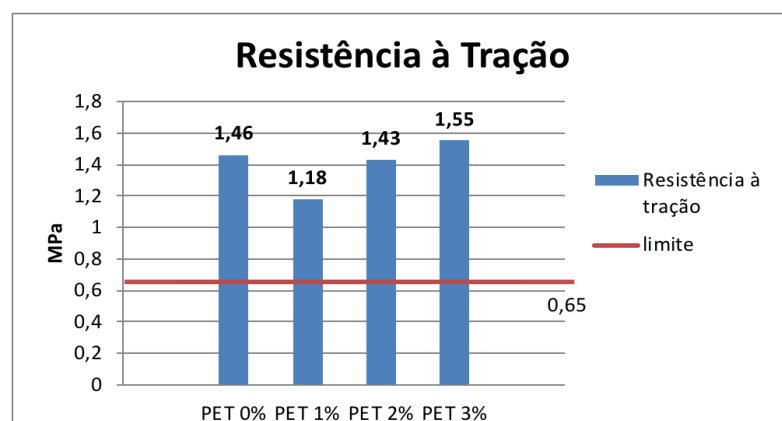


Figura 10: Gráfico dos resultados de RT

Nos estudos realizados por SILVA (2008), os valores de MR e RT de misturas com adição de 2,5%, 5%, 7,5%, 10,5% e 12,5% de PET, decresciam à medida que a porcentagem de PET aumentava. Contudo, era esperado que os valores de MR e RT fossem menores que os do traço com adição de PET. Portanto, é preciso analisar melhor para saber o que provocou essa disparidade de valores.

5. CONCLUSÕES

Ao avaliar o comportamento das misturas asfálticas a quente com adição de 1%, 2% e 3% de PET, pode-se inferir que a inserção do PET como agregado alternativo na pavimentação é promissora. Esta é uma excelente alternativa aos asfaltos modificados por polímeros, pois além de dar destino ao resíduo que vem causando problemas ao meio ambiente, ainda é uma opção de baixo custo e de fácil emprego aos locais que não possuem infraestrutura para modificação de ligantes.

Os valores de MR do traço sem adição de PET mostrou que a mistura possui alta rigidez, com valores próximos aos característicos para pavimentos semirrígidos. Essa característica pode estar relacionada a quantidade de pó de brita inserida na mistura. Entretanto, os traços em que se adicionou PET apresentaram valores de MR aceitáveis, constatando que a incorporação de PET na mistura beneficiou a flexibilidade e resistência à fadiga.

Nos ensaios de RT, a mistura com 1% de PET apresentou valores de RT menor que o traço convencional. Já a mistura com 2% de PET apresentou valor um pouco menor que o traço convencional. Apesar disso todas as misturas obtiveram valores acima do preconizado em norma. As misturas com PET indicam um aumento do RT em função do aumento de PET triturado, porém não podemos afirmar essa relação sem que haja um estudo com outras proporções de PET.

A granulometria do PET pode ter influenciado na qualidade dos resultados, já que quanto maiores os grãos de PET, maior é a dificuldade de incorporá-los à mistura, podendo em alguns casos misturar melhor que em outros. Contudo, é preciso realizar mais ensaios que confirmem os valores encontrados, assim como estudar a influência da granulometria do PET na mistura. Outro fator contribuinte para a variação dos resultados é o tipo de compactação. A compactação manual não nos garante a uniformidade na moldagem dos corpos de prova, sendo mais aconselhável realizar a compactação com o auxílio de um compactador giratório.

Para a confirmação da hipótese desse estudo, ensaios adicionais devem ser realizados para a comprovação e melhor compreensão do comportamento do material. Dentre esses podemos citar ensaios para testar a deformação permanente e vida de fadiga, análise química e reológica do polietileno tereftalato.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arao, M. (2016) *Inserção de polietileno tereftalato em misturas asfálticas*. 45a Reunião Anual de Pavimentação e 19o Encontro Nacional de Conservação Rodoviária. Distrito Federal.
- Araújo, M. A., Santos, M. J. P., Pinheiro, H. P., Cruz, Z. V. (2016) *Análise Comparativa de Métodos de Pavimentação – Pavimento Rígido (concreto) x Flexível (asfalto)*. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo Do Conhecimento, ANO 1. VOL. 10, Pp. 187-196 – ISSN.2448-0959.
- Bernucci, L. B.; Motta, L. M. G.; Ceratti, J. A. P. e SOARES, J. B (2010) *Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros*, 1a Edição PETROBRAS/ABEDA, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (2006) *ES 31/06. Pavimentos flexíveis - Concreto*

- asfáltico*. Rio de Janeiro.
- DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (1998) *ME 083/98. Agregados - análise granulométrica*. Rio de Janeiro.
- DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes, (1997) *ME 195/97. Agregados - determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo*. Rio de Janeiro.
- DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (1998) *ME 194/98. Agregados - determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman*. Rio de Janeiro.
- DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (1998) *ME 081/98. Agregados - determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo*. Rio de Janeiro.
- DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (1995) *ME 043/95. Misturas betuminosas a quente - ensaio Marshall*. Rio de Janeiro.
- DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (2010) *ME 135/10. Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas - Determinação do módulo de resiliência*. Rio de Janeiro, 2010.
- DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (2010) *ME 136-10. Resistência à Tração*. Rio de Janeiro.
- Moghaddam, T. B.; Karim, M. R. (2012) *Properties of SMA mixtures containing waste polythylene terephthalate*. World Academy of Science, Engineering and Technology.
- Moura, R. G., Lopes, P. L., Silva, L. V. & Baldez, P. P. (2015). *Logística reversa das garrafas pet, sua reciclagem e a redução do impacto ambiental*. XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão, Rio de Janeiro.
- Santos, A. C (2008) *Estudo da reciclagem do politereftalato de etileno - PET pós-consumo e de suas propriedades, quando submetido à radiação ionizante*. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. (Dissertação de Mestrado)
- Silva, J. A. A.; Rodrigues, J. K. G.; Lucena, L. C.; Lucena, A. E.; Patricio, J. D (2013) *Estudo da utilização do politereftalato de etileno (PET) para compor as misturas asfálticas dos revestimentos rodoviários*. 42a Reunião Anual de Pavimentação e 16o Encontro Nacional de Conservação Rodoviária. Gramado.

Gleyciane A. Serra (gleyciakira@gmail.com)
Antonio Carlos R. Guimarães (guimaraes@ime.eb.br)
Ayrton M. dos S. Barros (ayrton.mendes@hotmail.com)
Instituto Militar de Engenharia - IME
Praça Gen. Tibúrcio, 80 – Urca – Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Ana Carolina da C. Reis (anacarolina@cefetmg.br)
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET- MG
Av. Amazonas, 5253 – Nova Suíssa – Belo Horizonte; MG; Brasil.