



UEPB

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VIII
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE - CCTS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

NATHÁLIA DE OLIVEIRA AZEVEDO

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MISTURAS ASFÁLTICAS
PURAS E MODIFICADAS COM O POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)**

**ARARUNA
2016**

NATHÁLIA DE OLIVEIRA AZEVEDO

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MISTURAS ASFÁLTICAS
PURAS E MODIFICADAS COM O POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Pavimentação
Asfáltica.

Orientador: Prof. Dr. Laércio Leal dos Santos.
Coorientador: Prof. Dr. José de Arimatéia Almeida e Silva.

**ARARUNA
2016**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

A994e Azevedo, Nathália de Oliveira
Estudo das propriedades mecânicas de misturas asfálticas puras e modificadas com o politeraftalato de Etileno (pet) [manuscrito] / Nathalia de Oliveira Azevêdo. - 2016.
22 p. : il. color.

Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Tecnologia e Saúde, 2016.
"Orientação: Dr. Laércio dos Santos Leal, Departamento de Engenharia Civil".
"Co-Orientação: José de Arimatéia Almeida e Silva

1. Pavimentação. 2. Reciclagem. 3. Asfalto. I. Título.
21. ed. CDD 625.8

NATHÁLIA DE OLIVEIRA AZEVEDO

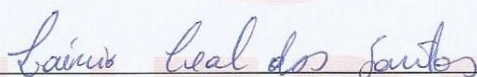
ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS MISTURAS PURAS E
MODIFICADAS COM O POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil da Universidade
Estadual da Paraíba, como requisito à
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Civil.

Área de concentração: Pavimentação
Asfáltica.

Aprovada em: 30/05/2016.

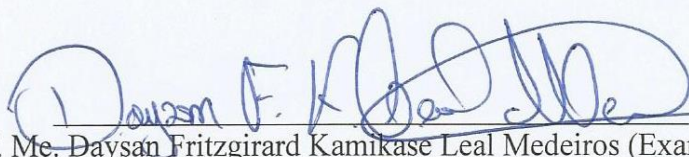
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Laércio Leal dos Santos (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Daniel Baracuy da Cunha Campos (Examinador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Me. Daysan Fritzgirard Kamikase Leal Medeiros (Examinador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Aos meus pais, pelo carinho e dedicação, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela guia, benção, força e saúde durante todo o meu caminho.

Aos meus pais, Edson e Telma, e meus irmãos Edinho, Daniel, Larissa e Matheus, que são a base de tudo, sempre me apoiando nos momentos difíceis, com amor, incentivo e fé depositada.

Ao meu professor orientador, Laércio Leal dos Santos, e o coorientador José de Arimatéia Almeida e Silva, por compartilhar experiências e conhecimentos para a realização deste trabalho.

Ao Laboratório de Engenharia de Pavimentos – LEP/UFCG e a todos os profissionais dessa instituição envolvidos nesta pesquisa.

Ao meu colega e futuro companheiro de profissão, Daniel Beserra Costa, pelo conhecimento, apoio e paciência em todo o processo de elaboração deste trabalho.

Aos professores e funcionários do Curso de Engenharia Civil da UEPB, em geral, que me auxiliaram ao longo desses cinco anos.

Aos colegas de classe, em especial, Kássia Sinhorelli e Renata Farias, pela amizade, apoio e companheirismo durante todo o curso e por estarem ao meu lado em todos os momentos.

Aos meus chefes João Carlos Pina, Pedro Pina, Jorge Bastos, Greta Correa e minha colega de trabalho, Flávia Andrade, pela primeira oportunidade profissional e compreensão da minha ausência em determinados momentos.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, os meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	8
2.1	Materiais.....	8
2.1.1	<i>Agregados Graúdos</i>	8
2.1.2	<i>Agregados Miúdos</i>	9
2.1.3	<i>Fíler</i>	9
2.1.4	<i>Politeraftalato de Etileno - PET</i>	10
2.1.5	<i>CAP</i>	10
2.2	Métodos.....	11
2.2.1	<i>Adição de PET ao Ligante</i>	11
2.2.2	<i>Dosagem Superpave</i>	12
2.2.3	<i>Ensaio de Tração Indireta por Compressão Diametral (RT)</i>	13
2.2.4	<i>Ensaio de Módulo de Resiliência (MR)</i>	13
2.2.5	<i>Ensaio de Deformação pelo Critério Diametral (Flow Number)</i>	15
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	17
3.1	<i>Agregados Graúdos</i>	17
3.2	<i>Agregados Miúdos</i>	17
3.3	<i>Politeraftalato de Etileno - PET</i>	17
3.4	<i>CAP</i>	18
3.5	<i>Resistência à Tração Indireta por Compressão Diametral (RT)</i>	18
3.6	<i>Módulo de Resiliência (MR)</i>	19
3.7	<i>Ensaio de Deformação pelo Critério Diametral (Flow Number)</i>	19
4	CONCLUSÃO	20
	ABSTRACT	20
	REFERÊNCIAS	21

ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MISTURAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS COM O POLITERAFTALATO DE ETILENO (PET)

AZEVEDO, Nathália de Oliveira¹

RESUMO

Devida a exigência do tráfego e por questões de conforto e segurança, os pavimentos comuns muitas vezes não conseguem ter um bom desempenho em relação as suas deformações. Nessa situação, a procura pelo aumento da durabilidade do pavimento levou a uma crescente demanda por ligantes asfálticos modificados por polímeros. Diante disso, esse trabalho tem como objetivo a verificação do comportamento mecânico das misturas asfálticas puras e com adição de PET, para possível emprego em asfaltos especiais, assim como reduzir a concentração desse polímero no meio ambiente. O modelo de dosagem utilizado foi o *Superpave* e o teor de PET usado para adição foi de 5% relativo ao volume de asfalto. A metodologia adotada no trabalho foi a realização dos ensaios: Resistência à Tração por Compressão Diametral (RT), Módulo de Resiliência (MR) e *Flow Number*, sendo todas as amostras submetidas ao processo de compactação *Superpave* (amassamento). Os resultados obtidos no ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral (RT) foram de 1,22 MPa para a mistura com o CAP puro e 1,41 Mpa para a mistura com o CAP modificado; no ensaio de e Módulo de Resiliência (MR), foram obtidos 8,138 Mpa para a mistura pura e 14,216 MPa para a mistura modificada; já no ensaio de Flow Number, o número de ciclos médio para a mistura pura foi de 1644 e 1318 para a mistura adicionada de PET. De acordo com os resultados obtidos nos ensaios de Resistência à Tração por Compressão Diametral (RT) e Módulo de Resiliência (MR), a mistura modificada apresentou melhoria de 15,57% e 74,67%, respectivamente, quando comparada a mistura pura. O ensaio de *Flow Number* não mostrou bons resultados para a mistura modificada. Diante desses resultados, foi verificado que o PET pode ser um polímero reciclado com finalidade de melhorar as propriedades mecânicas de misturas asfálticas a serem utilizadas na dosagem de pavimentos especiais, sendo necessária a realização de mais ensaios para total comprovação.

Palavras-Chave: Pavimentação. Reciclagem. Asfalto.

1 INTRODUÇÃO

O processo de industrialização e o crescimento da população, principalmente nos países em desenvolvimento, é uma das formas mais violentas da relação do homem com o meio ambiente. Apesar das riquezas e do avanço da economia, esse processo trouxe consigo muitos problemas ambientais, como por exemplo, a geração de resíduos.

A reciclagem vem se tornando um método eficaz e bastante defendido para a recuperação dos resíduos sólidos. Esse método pode, quando possível, transformar aquilo que

¹ Aluna de Graduação em Engenharia Civil na Universidade Estadual da Paraíba – Campus VIII.
Email: nathalia.oliveiraa@hotmail.com

é descartado pela população em matéria-prima para outros materiais. Além de ajudar na preservação do meio ambiente, com a redução de extração de matéria-prima, a reciclagem reduz custos com estocagens e tratamento dos resíduos, gerando grandes economias para as empresas.

Por apresentar alta disponibilidade e baixo custo de aquisição, insere-se nesse cenário a crescente utilização de resíduos poliméricos, principalmente o PET, nas obras da engenharia de pavimentação. (SILVA, J. A. A., 2015)

De acordo com o Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE) – uma organização sem fins lucrativos – só em 2012, 55% das embalagens de PET de origem pós-consumo foram efetivamente recicladas, totalizando 331 mil toneladas de embalagens reaproveitadas. Ainda segundo a associação, a taxa de crescimento anual da reciclagem do PET tem variado de 1,5% a 2,0%, o que rendeu ao Brasil o segundo lugar na reciclagem desse material em 2011 com um percentual de 59,0%, perdendo apenas para o Japão, que alcançou 77,9%.

Para a maioria das aplicações rodoviárias, os asfaltos convencionais têm bom comportamento, satisfazendo plenamente os requisitos necessários para o desempenho adequado das misturas asfálticas sob o tráfego e sob as condições climáticas. No entanto, para condições de volume de veículos comerciais e peso por eixo crescente, ano a ano, em rodovias especiais ou nos aeroportos, em corredores de tráfego pesado canalizado e para condições adversas de clima, com grandes diferenças térmicas entre inverno e verão, tem sido cada vez mais necessário o uso de modificadores das propriedades dos asfaltos (BERNUCCI, L. B., et al., 2010).

A adição de resíduos poliméricos em Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP), entre eles o Politereftalato de Etileno (PET) micronizado pós-consumo, pode ser uma alternativa técnica viável para aumentar as suas propriedades mecânicas em termos reológicos, a exemplo do aumento da rigidez, visto que ele é um plastômero, devendo proporcionar uma maior susceptibilidade das misturas asfáltica a fadiga e conseqüentemente aumento da vida útil de pavimentos em regiões com clima tropical com temperaturas elevadas (SILVA, J. A. A., 2015).

Neste contexto, o presente trabalho busca o estudo do comportamento mecânico das misturas asfálticas puras e adicionadas de Politereftalato de Etileno, ou PET, oriundo da

empresa “Depet Reciclagem”, visando sua aplicação em pavimentos de alto desempenho e também reduzir os impactos que esse material causa no meio ambiente.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

2.1.1 Agregado Graúdo

Para as misturas asfálticas realizadas neste trabalho, foram utilizados os agregados britados, de origem granítica, com diâmetros de 25,0 mm, 19,0 mm e 12,5 mm (Figura 1), disponibilizados pelo 1º Grupamento de Engenharia do Exército Brasileiro e avaliados segundo normas indicadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Ensaios de caracterização dos agregados graúdos.

Ensaios	Metodologia
Análise Granulométrica dos Agregados por Peneiramento	ME 083/98 do DNIT
Massa Específica Real dos Agregados	ME 195/97 do DNIT
Desgaste Abrasão “Los Angeles”	ME 035/98 do DNIT
Absorção	ME 195/97 do DNIT
Índice de Forma	ME 086/94 do DNIT

Figura 1 – Ilustração dos agregados graúdos: (a) brita 25,0mm, (b) brita 19,0mm e (c) brita 12,5mm.



Fonte: Disponível em (a) www.pedreirasbahia.com.br; (b) www.britastomazelli.com.br;
 (c) www.cimentonacional.com.br.

2.1.2 Agregado Miúdo

Os agregados miúdos empregados nessa pesquisa foram areia média e pó de pedra (Figura 2), disponibilizados pelo 1º Grupamento de Engenharia do Exército Brasileiro e avaliados segundo normas indicadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Ensaios de caracterização dos agregados miúdos.

Ensaios	Metodologia
Análise Granulométrica dos Agregados por Peneiramento	ME 083/98 do DNIT
Massa Específica Real dos Agregados	ME 195/97 do DNIT
Equivalente de Areia	ME 054/97 do DNIT
Absorção	ME 195/97 do DNIT

Figura 2 – Ilustração dos agregados miúdos: (a) areia média e (b) pó de pedra.



Fonte: Disponível em (a) www.debaita.com.br; (b) www.inderp.com.br.

2.1.3 Fíler

Por proporcionar melhor desempenho às propriedades mecânicas das misturas asfálticas, foi optado pelo uso da cal, do tipo hidratada da marca Megaó, como material de enchimento (fíler), como ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Ilustração da cal hidratada.

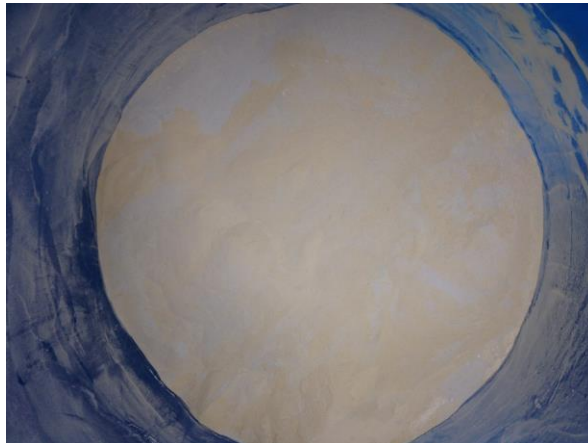


Fonte: Disponível em www.ibitiramacimentos.com.br.

2.1.4 Politereftalato de Etileno – PET

O PET adicionado ao CAP foi do tipo micronizado, com grânulos entre 0,6 e 0,074mm, adquirido na indústria “Depet Reciclagem” localizada no município de Campina Grande – PB e avaliado segundo a norma ASTM D 1921-12. A Figura 4 mostra o PET utilizado nesse trabalho.

Figura 4 – Politereftalato de etileno (PET) utilizado nessa pesquisa.



Fonte: Foto do Autor.

2.1.5 CAP

O ligante asfáltico utilizado nessa pesquisa foi o CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo do tipo 50/70 (Figura 5), disponibilizado pelo 1º Grupamento de Engenharia do Exército Brasileiro e avaliado segundo normas indicadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Ensaios de caracterização do CAP.

Ensaios	Metodologia
Penetração	NBR 6576
Ponto de Fulgor	NBR 5765
Ponto de Amolecimento	NBR 6560
Viscosidade Saybolt Furol	MB 326
Viscosidade Brookfield (135 °C, 150 °C e 177 °C)	NBR 15184
Densidade	NBR 6568

Figura 5 – Ilustração do CAP 50/70.



Fonte: Disponível em www.nta-asfaltos.com.br.

2.2 Métodos

2.2.1 Adição do PET ao Ligante

O processo para adição do modificador PET ao CAP foi combinado a partir de técnicas de mistura com rotações de 2000 rpm sob temperatura de 165°C, e com um tempo de mistura de 2 horas, em um misturador de asfalto Modelo 722D com Capacidade para 3 litros, como apresenta a Figura 6.

Figura 6 - Misturador de cimentos asfálticos modelo 722D – LEP/UFCG.



Fonte: SILVA, J. A. A., 2015.

2.2.2 Dosagem Superpave

A Dosagem *Superpave* foi realizada segundo a Norma ASTM D 6925-08 com corpos de prova compactados utilizando o Compactador Giratório (*Superpave Giratory Compactor – SGC*), conforme Figura 7.

Figura 7 – Compactador Giratório (Superpave Giratory Compactor – SGC) – LEP/UFCG.



Fonte: SILVA, J. A. A., 2015.

2.2.3 Ensaio de Tração Indireta por Compressão Diametral (RT)

O ensaio de Tração Indireta por Compressão Diametral foi conduzido segundo a Norma do DNIT ME 136/010, onde as amostras foram compactadas por amassamento e, posteriormente, foi determinada a carga de ruptura dos corpos de prova.

O equipamento utilizado foi uma prensa mecânica ligada a um macaco hidráulico, que aplicava a carga, e um extensômetro, o qual media o deslocamento que o corpo de prova sofria com a aplicação da tensão. Com a medida do deslocamento, a partir de uma correlação com a constante do anel que envolvia o extensômetro, se obtia o valor para a RT.

Nesta etapa foram moldados seis (6) corpos de prova (CP's) correspondentes às misturas asfálticas: Mistura Convencional (3 CP's) e Mistura Modificada com 5% de PET (3 CP's), compactadas por amassamento (SGC).

De acordo com a Figura 8, pode-se observar o equipamento utilizado para a realização deste ensaio.

Figura 8 – Prensa mecânica utilizada para o ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral.



Fonte: SILVA, J. A. A., 2015.

2.2.4 Ensaio de Módulo de Resiliência (MR)

Determinado o valor da força aplicada pelo ensaio da Resistência à Tração (RT), a carga utilizada para o ensaio de Módulo de Resiliência foi equivalente a 10% da RT determinada, como especificado em norma.

O ensaio foi realizado com temperatura de 25°C na prensa UTM-25, disponível no Laboratório de Engenharia de Pavimentos (LEP) – UFCG, de acordo com a Norma ASTM D 4123-82. Sensores LVDT's (Figura 9) foram utilizados para medir o deslocamento diametral

recuperável no plano transversal ao plano da aplicação da carga, num intervalo de 0,1s de aplicação e 0,9s de repouso.

Figura 9 – Ilustração dos sensores LVDT's.



Fonte: Disponível em www.directindustry.com.

Nesta etapa foram moldados seis (6) corpos de prova (CP's) correspondentes às misturas asfálticas: Mistura Convencional (3 CP's) e Mistura Modificada com 5% de PET (3 CP's), compactadas por amassamento (SGC) no teor ótimo de ligante determinado.

Nesse ensaio, os corpos de prova foram submetidos a um pré-carregamento de 50 ciclos para estabilização. Após a aplicação dessa carga, tem-se mais 5 ciclos de carregamento até que o ensaio termine. Em cada ciclo, é registrado um valor para a MR e o seu valor final para o corpo de prova é a média dos 5 ciclos de carregamento.

De acordo com a Figura 10, pode-se observar o equipamento utilizado para a realização deste ensaio.

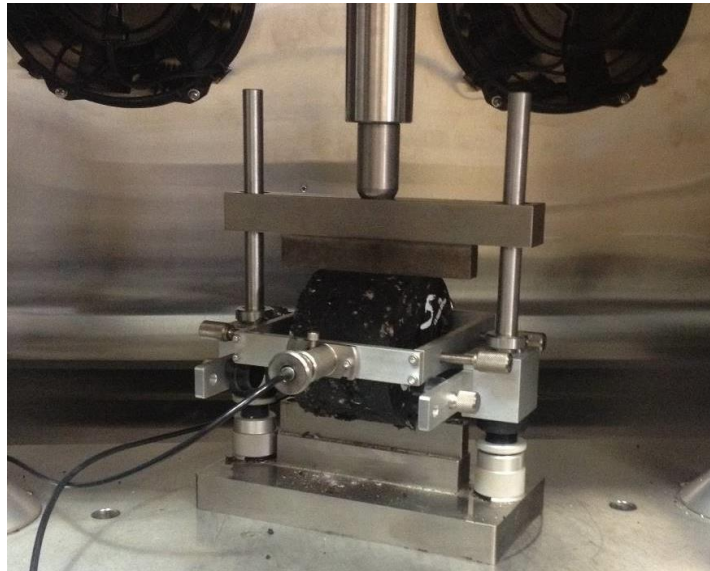
Figura 10 – Equipamento utilizado no ensaio de Módulo de Resiliência – Prensa UTM-25.



Fonte: Foto do Autor.

A Figura 11 mostra a metodologia de aplicação das cargas no ensaio de MR, bem como os sensores LVDT's utilizados.

Figura 11 – Metodologia de aplicação das cargas no ensaio de Módulo de Resiliência e utilização dos LVDT's.



Fonte: Foto do Autor.

2.2.5 Ensaio de Deformação pelo Critério Diametral (Flow Number)

O ensaio foi realizado com a temperatura de 60°C, adaptado a partir do Apêndice B do *Report 465 do Nacional Cooperative Highway Research Program (NCHRP)*, na prensa UTM-25, adaptada com suporte para ensaio de *Flow Number*.

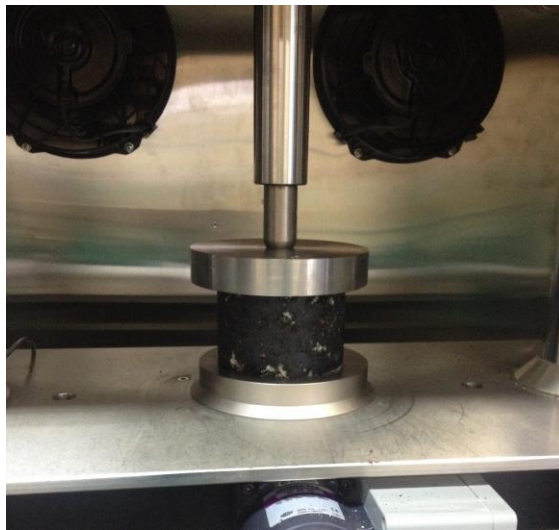
Um sensor contido no pistão de aplicação de cargas foi utilizado para alimentar o software *UTS005 1.47 Simple Performance Flow Test* e medir a deformação diametral no plano transversal ao plano da aplicação da carga axial tipo Haversine (senoidal), num intervalo de 0,1s de aplicação e 0,9s de repouso.

Nesta etapa foram moldados seis (6) corpos de prova (CP's) cilíndricos com 100 mm de diâmetro e 63,5 mm de altura (corpo de prova Marshall), correspondentes às misturas asfálticas: Mistura Convencional (3 CP's) e Mistura Modificada com 5% de PET (3 CP's), compactadas por amassamento (SGC) no teor ótimo de ligante determinado; onde foram submetidos a uma tensão de 205 kPa (5 kPa para tensão de contato + 200 kPa para tensão de aplicação) para que o *Flow Point* fosse atingido.

O *Flow Point* é o ponto onde o corpo de prova passa da zona elástica para a zona plástica, ou seja, é o número de ciclos onde o corpo de prova deixa de ter uma deformação elástica para ter uma deformação permanente.

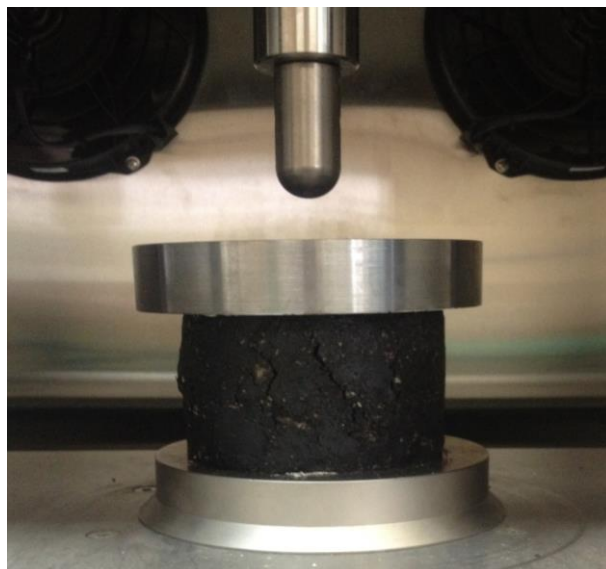
O critério de parada considerado foi a deformação de 50.000 *microstrains* ou 10000 ciclos. De acordo com as Figuras 12 e 13, pode-se observar o método da aplicação das cargas e a amostra depois do ensaio.

Figura 12 – Método de aplicação das cargas no ensaio de Flow Number.



Fonte: Foto do Autor.

Figura 13 – Vista da amostra após o ensaio.



Fonte: Foto do Autor.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Agregados Graúdos

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados obtidos a partir dos ensaios para caracterização dos agregados graúdos.

Tabela 4 - Resultados e normas utilizadas para a caracterização dos agregados graúdos.

Ensaio	Resultados 25,0 mm	Resultados 19,0 mm	Resultados 12,5 mm	Metodologia
Análise Granulométrica dos Agregados por Peneiramento	*	*	*	ME 083/98 do DNIT
Massa Específica Real dos Agregados	2,742 g/cm ³	2,747 g/cm ³	2,755 g/cm ³	ME 195/97 do DNIT
Desgaste Abrasão “Los Angeles”	36,1%	34,3%	23,0%	ME 035/98 do DNIT
Absorção	0,32%	0,39%	0,45%	ME 195/97 do DNIT
Índice de Forma	0,90%	0,85%	0,73%	ME 086/94 do DNIT

* Vide Figura 14.

3.2 Agregados Miúdos

Na Tabela 5 estão apresentados os resultados obtidos a partir dos ensaios para caracterização dos agregados miúdos.

Tabela 5 - Resultados e normas utilizadas para a caracterização dos agregados miúdos.

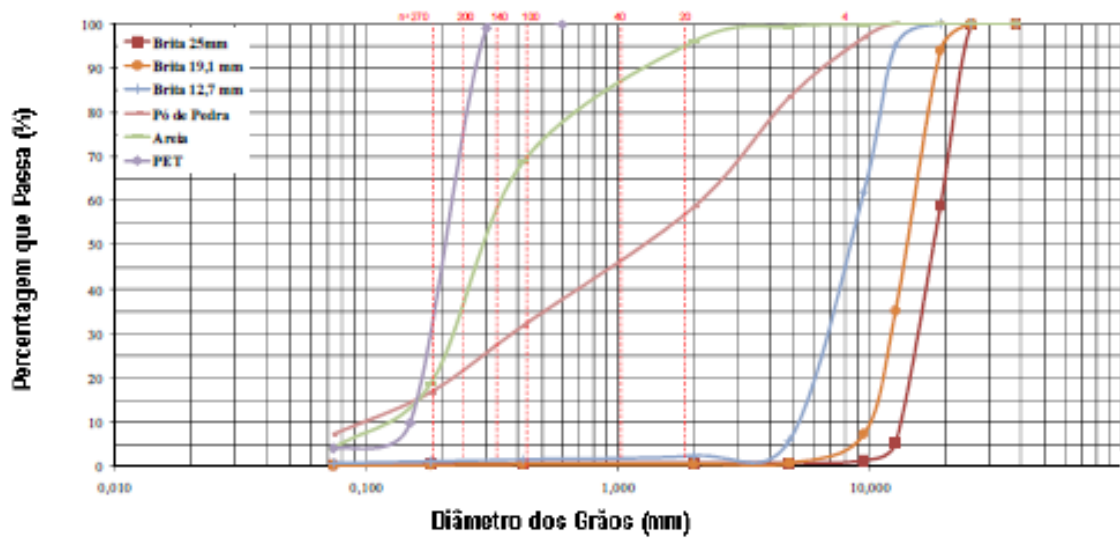
Ensaio	Resultados Areia	Resultados Pó de Pedra	Metodologia
Análise Granulométrica dos Agregados por Peneiramento	*	*	ME 083/98 do DNIT
Massa Específica Real dos Agregados Equivalente de Areia	2,543 g/cm ³	2,435 g/cm ³	ME 195/97 do DNIT
Absorção	80,96%	64,90%	ME 054/97 do DNIT
	0,04%	0,08%	ME 195/97 do DNIT

* Vide Figura 14.

3.3 Politeraftalato de Etileno - PET

A Figura 14 demonstra a distribuição granulométrica de todos os agregados ensaiados, inclusive a granulometria do PET.

Figura 14 - Curva granulométrica dos constituintes da mistura asfáltica (Agregados e PET).



Fonte: SILVA, J. A. A., 2015.

3.4 CAP

A Tabela 6 apresenta um quadro resumo dos resultados obtidos para o CAP utilizado na pesquisa, bem como as normas utilizadas.

Tabela 6 - Resultados e normas utilizadas para a caracterização do CAP.

Ensaio	Resultados	Metodologia
Penetração 0,1mm (100g, 5s a 25°C)	52,90	NBR 6576
Ponto de Fulgor (°C)	320,00	NBR 5765
Densidade (g/cm³)	1,020	NBR 6568
Ponto de Amolecimento (°C)	39,6	NBR 6560
Viscosidade Saybolt Furol (Segundos, a 135°C)	310	MB 326
Viscosidade Brookfield, 135 °C (cP)	377,50	NBR 15184
Viscosidade Brookfield, 150 °C (cP)	187,00	NBR 15184
Viscosidade Brookfield, 177 °C (cP)	68,50	NBR 15184

3.5 Resistência à Tração por Compressão Diametral (RT)

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados obtidos a partir dos ensaios de Resistência a Tração por Compressão Diametral Indireta com os corpos-de-prova moldados nos teores de CAP de projeto pelo procedimento da compactação e dosagem *Superpave* para as misturas em estudo.

Tabela 7 - Resultados obtidos no ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral.

	Resistência à Tração (MPa)
CAP Puro	1,22
CAP Modificado - 5% PET	1,41

É importante destacar que a adição de PET aumentou o valor encontrado para a RT em 15,57%, tendo o melhor resultado obtido pela mistura com o CAP modificado.

Os valores da Resistência à Tração, para todas as misturas, apresentaram valores satisfatórios, pois indicaram valores acima de 0,65 MPa, conforme estabelecido em norma.

3.6 Módulo de Resiliência (MR)

Na Tabela 8 estão apresentados os resultados do ensaio de Módulo de Resiliência para as misturas asfálticas em estudo.

Tabela 8 - Resultados obtidos no ensaio de Módulo de Resiliência.

	Módulo de Resiliência (MPa)
CAP Puro	8,138
CAP Modificado - 5% PET	14,216

De acordo com a análise das propriedades mecânicas, a mistura que apresentou o melhor desempenho, conforme dosagem *Superpave*, foi a mistura com o CAP modificado, com um resultado 74,67% superior à mistura com o CAP puro.

3.7 Ensaio de Deformação pelo Critério Diametral (Flow Number)

Na Tabela 9 estão apresentados os resultados do ensaio de *Flow Number* para as misturas asfálticas em estudo.

Tabela 9 - Resultados obtidos no ensaio de Flow Number.

	Nº de Ciclos Médio
CAP Puro	1644
CAP Modificado - 5% PET	1318

Diante desses resultados, observa-se um melhor desempenho mecânico, quanto à deformação permanente, na mistura pura.

No entanto, essa análise pode estar associada à adaptação do equipamento para a realização desse ensaio, visto que as leituras das deformações não foram coletadas por sensores LVDT's, e sim, pelo deslocamento do pistão de aplicação de cargas. Além disso, segundo o Apêndice B do *NCHRP*, o corpo de prova utilizado seria de 15,00cm e o utilizado nesse trabalho foi de 6,35cm. Erros operacionais também podem ter influenciado nos resultados.

4. CONCLUSÕES

A mistura modificada com adição de 5% de PET apresentou incrementos de 15,57% e 74,67% em relação às propriedades mecânicas como Resistência à Tração por Compressão Diametral (RT) e Módulo de Resiliência (MR), respectivamente, quando comparada à mistura pura.

Quanto ao ensaio de *Flow Number*, não foi possível detectar melhorias quanto ao comportamento mecânico das misturas asfálticas modificadas, sendo necessária a elaboração de novos ensaios com ferramentas sem adaptação que possam proporcionar uma melhoria na qualidade dos dados obtidos e uma melhor análise desses resultados.

Diante do exposto, o PET, com origem pós-consumo, pode ser capaz de conferir ao CAP melhorias nas suas propriedades mecânicas, tais como resiliência, fadiga e resistência à tração, para os revestimentos asfálticos projetados com esse aditivo, onde se viu necessária a realização de outros ensaios para total comprovação dessa utilização.

STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES MIX ASPHALT MODIFIED WITH POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET)

ABSTRACT

Due to the requirement of the traffic and the comfort and security issues, common flooring often fail to perform well against its deformations. In this situation, the demand for increased pavement durability led to a growing demand for asphalt binders modified by polymers. Therefore, this study aims to check the mechanical behavior of pure asphalt mixtures and with addition of PET, for possible use in special asphalts, as well as reduce the concentration of this polymer in the environment. The dosage model used was the Superpave and PET content was used for addition of 5% relative to the volume of asphalt. The methodology used in the

study was the tests: Tensile Strength by Diametral Compression, Resilience Module and Flow Number, and all samples submitted to the Superpave compaction process (kneading). The results obtained in the test Tensile Strength by Diametral Compression were 1.22 MPa for mixing with the pure CAP and 1.41 MPa for blending with the modified CAP; Resiliency and the Test Module, were obtained 8.138 MPa for pure mixing and 14.216 MPa for the modified mixture; In the Flow Number test, the average number of cycles for pure mixture 1644 and 1318 added to the mixture of PET. According to the results obtained from tests for Tensile Strength by Diametral Compression and Resilience Module, the modified mixture showed improvement of 15.57% and 74.67%, respectively, when compared to pure mixture. The Flow Number test showed good results for the modified mixture. Given these results, it was found that PET can be a recycled polymer purpose of improving the mechanical properties of asphalt mixtures to be used in dosage special floors, being necessary to perform further testing to full proof.

Keywords: Recycling. Modified Asphalt. Flow Number.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM D 1921-12*: Standard test methods for particle size (Sieve Analysis) of plastic materials. West Conshohocken, PA, 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM D 6925-08*: Preparation and determination of the relative density of hot mix. West Conshohocken, PA, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 5765*: Asfaltos diluídos – determinação do ponto de fulgor – Vaso aberto tag. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 6560*: Materiais Betuminosos - Determinação do ponto de amolecimento – Método do anel e bola. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 6568*: Emulsões asfálticas - Determinação do resíduo de destilação. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 6576*: Materiais asfálticos - Determinação da penetração. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 14950*: Materiais betuminosos – Determinação da viscosidade Saybolt Furol. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 15184*: Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional. Rio de Janeiro, 2004.

BERNUCCI, L. B., et al. *Pavimentação asfáltica*: Formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro, 2008, 475 p.

CEMPRE: Compromisso Empresarial para Reciclagem. Disponível em: <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/8/pet>. Acesso em: 24/04/2016.
DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE. *DNIT ME 035/98*: Agregados - Determinação da abrasão “Los Angeles”. Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE. *DNIT ME 054/97*: Equivalente de areia. Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE. *DNIT ME 083/98*: Agregados - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE. *DNIT ME 086/94*: Agregados – Determinação do índice de forma. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE. *DNIT ME 136/010*: Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE. *DNIT ME 195/97*: Agregados - Determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo. Rio de Janeiro, 1997.

SILVA, J. A. A. Utilização do politeraftalato de etileno (PET) em misturas asfálticas. 2015. 141 f. Tese – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

WITCZAK, M. W., et al. National Cooperative Highway Research Program - Report 465: *Simple performance test for Superpave mix design*. Washington, 2002.