

GESTÃO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL: APROVEITAMENTO DO RESÍDUO OLEOSO EM REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS

Paulo Roberto Barreto Torres¹
Christian Rafael Ziegler²
Alexandre de Souza Júnior³
Larissa Freitas Farias⁴

RESUMO

A procura por processos produtivos de pavimentação asfáltica eficientes associados aos cuidados com o meio ambiente é uma preocupação crescente no mundo. Os resíduos oleosos resultantes dos processos de Exploração e Produção (E&P) do petróleo, com destaque para os “cascalhos de perfuração”, quando não tratados adequadamente tornam-se prejudiciais ao meio ambiente. Conectando a busca das indústrias petrolíferas, por tecnologias disponíveis para a reincorporação dos resíduos e/ou um local adequado para o descarte desse material, com a pavimentação asfáltica uma alternativa é o reaproveitamento através da transformação desse rejeito em subproduto para as misturas asfálticas. Este trabalho estuda o comportamento do resíduo oleoso originário da perfuração de poço de petróleo utilizado como fíller na mistura para pavimentos asfálticos nos teores de 3,0; 3,5; 4,0; 4,5 e 5,0 %. Foi realizado em laboratório a dosagem Marshall a fim de determinar o teor ótimo de ligante asfáltico que foi de 5,3% para posterior realização dos ensaios mecânicos: Estabilidade Marshall, Resistência à tração por compressão diametral, Lottman modificado e Módulo de resiliência. Os resultados encontrados indicam que o teor de 4,0 % do resíduo oleoso pode ser utilizado nas misturas asfálticas mornas sem prejudicar seu desempenho, alcançando o objetivo de destinação adequada para o resíduo oleoso.

Palavras-chave: Resíduos oleosos; Fíller; Pavimentação.

INTRODUÇÃO

A construção civil está relacionada com a infraestrutura de um país fazendo com que ela seja um dos índices de desenvolvimento de uma nação, sendo a pavimentação parte desse parâmetro. De acordo com a Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2015) das rodovias pavimentadas no Brasil 12,5% são considerados de estado ótimo, 30,2% bom, 34,9% regular, 16,1% ruim e 6,3% péssimo. Dentre as causas apontadas para esta situação estão o

¹ Mestrando do Curso de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, paulobarretot@gmail.com;

² Mestrando do Curso de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, crziegler1@hotmail.com;

³ Mestrando do Curso de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, alexandrejr5@hotmail.com;

⁴ Mestranda do curso de Gestão e Regulação de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, larissafreitasfarias@gmail.com;

volume de tráfego elevado, bem como cargas transportada acima do admissível por lei (SILVA *et al.*, 2013).

O aumento do tráfego e das variações climáticas, tornou-se necessário o uso de agentes modificadores para melhorar o desempenho das misturas asfálticas. Com isso, a busca por itens que sejam eficazes e gerem menor impacto ao meio ambiente vem estimulando pesquisas sobre produtos provenientes de resíduos com agentes modificadores como polímeros, aditivos e resíduos industriais. A adição destes podem resultar na diminuição dos custos de manutenção do pavimento, na redução do consumo energia e também minimizar a poluição ambiental (MOTHÉ, 2009).

A preocupação com o meio ambiente e a escassez de recursos naturais tem motivado a sociedade a procurar alternativas alinhadas com novos conceitos e técnicas de crescimento sustentável, pois atualmente, a sustentabilidade das atividades econômicas tem sido um dos principais desafios enfrentados pela humanidade. Assim as indústrias petrolíferas vêm preocupando os ambientalistas devido à enorme quantidade de resíduos gerados, que estão sendo lançados no ecossistema sem nenhum processo de tratamento para eliminar ou reduzir seus constituintes presentes (MOTA *et al.*, 2011). A exploração dos recursos naturais desencadeia um processo de contínua degradação, visto que são produzidos resíduos não aproveitados lançados indiscriminadamente ao meio ambiente (DOS ANJOS & NEVES, 2011).

Nesse cenário a indústria da construção juntamente com a indústria petrolífera tem crescido se tornando um dos principais setores da economia mundial. Conseqüentemente, foram sendo liberados cada vez mais petróleo, seus derivados e resíduos oleosos ao meio ambiente, formados durante as etapas de produção, transporte e de refino de petróleo (PIRES, 2004). Dessa maneira nasce uma preocupação paralela a esse desenvolvimento, voltada aos problemas causados ao meio ambiente e aumentando a necessidade de encontrar solução para que essas atividades sejam menos ofensivas ao ambiente. Dentre os resíduos produzidos chama atenção o “cascalho de perfuração”, produzidos em larga escala, é constituído de partículas de rocha impregnadas com fluido de perfuração.

Na atividade de perfuração de poços tem-se que o cascalho gerado ao perfurar o poço é carregado pelo fluido de perfuração para fora do poço. Assim, ao utilizar um fluido de perfuração base óleo, tem-se a contaminação do cascalho por constituintes desse fluido. O cascalho seco, depois de separado do fluido, é classificado como resíduo classe I, ou seja,

resíduo perigoso, não podendo ser descartado sem tratamento prévio (ONWUKWE & NWAKAUDU, 2012).

A quantidade de cascalho gerada na perfuração depende de algumas variáveis, tais como, diâmetro e profundidade do poço e fluido usado na perfuração devido a quantidade de poços que são perfurados e o contínuo aumento da profundidade dos poços tem-se um aumento cada vez maior da quantidade de cascalho a ser descartado (BALL *et al.*, 2011).

Nesse panorama, o uso desse resíduo como matéria-prima secundária vem sendo cada vez mais estudado. Assim, seguindo essa linha de raciocínio, o presente artigo apresenta como alternativa o reaproveitamento desse rejeito como fíller das misturas asfálticas, variando as quantidades incorporadas e analisando os seus efeitos nas propriedades mecânicas das misturas asfálticas. A introdução deverá conter resumo teórico sobre o tema, apresentação da pesquisa, justificativa implícita, objetivos, síntese metodológica e resumo das discussões e resultados da pesquisa, além de apresentar uma síntese conclusiva acerca do trabalho desenvolvido.

METODOLOGIA

MATERIAIS

- Ligante Asfáltico

O ligante asfáltico utilizado nessa pesquisa, foi fornecido pela PETROBRAS e de acordo com seu grau de penetração foi classificado como CAP 50/70.

- Agregados

Nessa pesquisa foram empregados os agregados: brita 19mm, brita 9,5 mm e pó de pedra, todos de origem granítica, além de areia. Todos os agregados foram obtidos em jazidas da cidade de Campina Grande – PB. As propriedades físicas destes foram determinadas por meio da realização dos ensaios de massa específica do agregado graúdo e miúdo de acordo com as normas DNIT-ME 081/98 e DNIT-ME 084/95, respectivamente e granulometria dos agregados graúdos e miúdos segundo a DNIT-ME 083/98.

- Resíduo Oleoso (RO)

O Resíduo Oleoso (RO) utilizado foi proveniente da perfuração de poços de petróleo da unidade de Taquipe da PETROBRAS no Estado da Bahia, e originalmente em forma de cascalhos, foi submetido aos processos de trituração, destorroamento e peneiramento, para a obtenção de partículas com dimensões menores que 0,075 mm, adicionadas como fíller na

mistura asfáltica e atuando como material de enchimento na mistura. Para a sua caracterização física foi utilizada a norma do DNIT-ME 084/95 para a determinação da massa específica e a norma DNIT - ME 083/98 para a determinação da distribuição do tamanho dos grãos.

MÉTODOS

- Dosagem da Mistura

A aplicação de revestimentos asfálticos deve ser precedida por ensaios que permitam a obtenção do teor ótimo de ligante asfáltico a ser utilizado na mistura, para que a mesma se enquadre dentro de especificações destinadas a evitar problemas precoces no pavimento como a desagregação prematura da mistura, por falta de ligante, ou superfícies escorregadias e deformáveis, pelo seu excesso.

Após obtenção das curvas granulométricas características dos materiais foi utilizado o método analítico para determinação dos teores de cada material na mistura, com o objetivo de enquadrá-la na faixa “C” do DNIT, descrita na especificação de serviço do DNIT - ME 031/2006 para pavimentos flexíveis. Nesta etapa, a mistura de agregados foi considerada como 100%, e as porcentagens do ligante devem ser referentes a este percentual, foram moldados três corpos de prova para cada teor de ligante seguindo o método de Dosagem Marshall e compactados em uma única camada com 75 golpes por face.

- Determinação das Propriedades Mecânicas da Mistura

Para a determinação das propriedades mecânicas da mistura asfáltica foram realizados os ensaios de Resistência à tração por compressão diametral, Estabilidade Marshall, Módulo de resiliência e Lottman modificado. Para cada ensaio foram moldados três corpos de prova variando o teor do resíduo oleoso de 3,0% a 5,0%, com exceção do ensaio o de Módulo de Resiliência que foram moldados 3 corpos de prova com o teor 5,3% de ligante e 4,0 % de resíduo oleoso, denominando-se de mistura A.

- Resistência à Tração por Compressão Diametral

O ensaio de Resistência à tração tem por finalidade determinar a tensão máxima que a mistura asfáltica pode suportar até o momento da sua ruptura, em uma temperatura de 25°C, seguindo os métodos da norma do DNIT – ME 136/2010, onde o corpo de prova foi posicionado horizontalmente e as cargas opostas foram aplicadas diametralmente a uma velocidade de $0,8 \pm 0,1$ mm/s, provocando o aparecimento de tensões de tração uniformes ao seu diâmetro.

- Estabilidade Marshall

O ensaio de Estabilidade Marshall tem como objetivo avaliar qual a carga necessária para o corpo de prova perder a estabilidade, deslocamento ou quebra de agregados, utilizando a norma do DNIT – ME 043/95. Seguindo a norma, os corpos de prova foram levados a um banho aquecido a temperatura de 60°C durante um tempo de 30 minutos. Após esse tempo estes foram colocados em um molde de compressão e rompidos numa prensa com anel dinamométrico. Assim, foi aplicada uma carga diametral até o rompimento do corpo de prova (BALBO, 2011).

- Ensaio Lottman Modificado

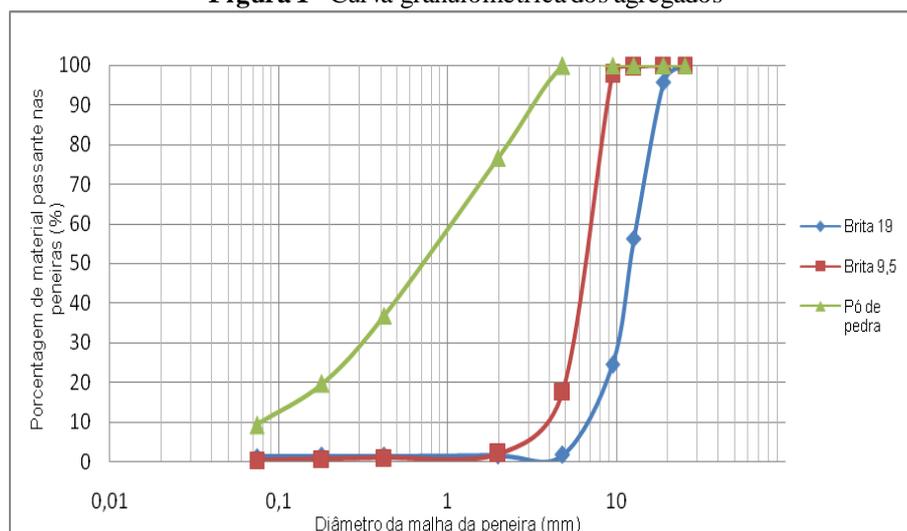
Segundo Lucena (2009) o ensaio de Lottman modificado é utilizado para avaliar a capacidade mecânica da mistura asfáltica a partir do potencial deslocamento de sua película de ligante, sob a ação deletéria da água em ciclos de temperaturas baixas e intermediárias, por isso também é conhecido como ensaio de “dano por umidade induzida”, ou de sensibilidade à umidade. O ensaio seguiu a metodologia determinada na AASHTO T 283. Foram moldados trinta corpos de prova com volume de vazios de $7\% \pm 1\%$ e depois foram separados em dois grupos: um condicionado e outro não. Ambos os grupos foram submetidos ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral após o grupo condicionado ser submetido a ciclos de gelo e degelo. A análise foi feita pela razão entre as resistências à tração das amostras previamente condicionadas (RTu) e das amostras sem condicionamento (RT) que fornece a relação (em porcentagem) da resistência à tração – RRT

RESULTADOS E DISCUSSÃO

- **Caracterização Física dos Agregados**

Do ensaio de granulometria por peneiramento, realizado com os agregados graúdos e miúdo, obteve-se como resultado a curva granulométrica dos agregados, conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1 - Curva granulométrica dos agregados



As britas apresentaram distribuição aberta, o que indica presença reduzida ou ausência de partículas com dimensões menores que 0,075mm, justificada pela sua distribuição uniforme. Para suprir a necessidade de finos, foram utilizados como agregado miúdo o pó de pedra que apresentou distribuição bem graduada e o resíduo oleoso (RO) como material de enchimento, que possui partículas com dimensões menores que 0,075mm. A partir destes resultados foram estabelecidas as proporções dos agregados graúdos e miúdos, de acordo com as especificações da Faixa granulométricas “C” preconizadas pelo DNIT.

A Tabela 1 apresenta os resultados das massa específicas para os agregados em estudo.

Tabela 1 - Massa específica dos agregados da mistura
MASSAS ESPECÍFICAS DOS AGREGADOS

Agregado	Massa Específica (g/cm ³)
Brita 19,0	2,647
Brita 9,5	2,662
Pó de Pedra	2,525
Resíduo Oleoso	2,340

Os agregados graúdos, provenientes de rocha granítica apresentaram valores de massa específica com pouca variação. Apesar do pó de pedra ter a mesma formação que as britas, este apresentou valor inferior, o que pode ser explicado pelo fato deste material ser proveniente de jazida diferente e possuir dimensões menores. O valor obtido para o ligante 50/70, segundo literatura foi de 1,207 g/cm³.

- Dosagem da Mistura

Com a utilização do método analítico para elaboração do traço inicial para misturas asfálticas, obteve-se o traço representado na Figura 2, que se enquadra entre o limite mínimo e

máximo para faixa C do DNIT. Na Tabela 2 apresenta-se o teor de cada material presente na mistura.

Figura 2 - Traço desenvolvido para as misturas asfálticas na faixa C do DNIT

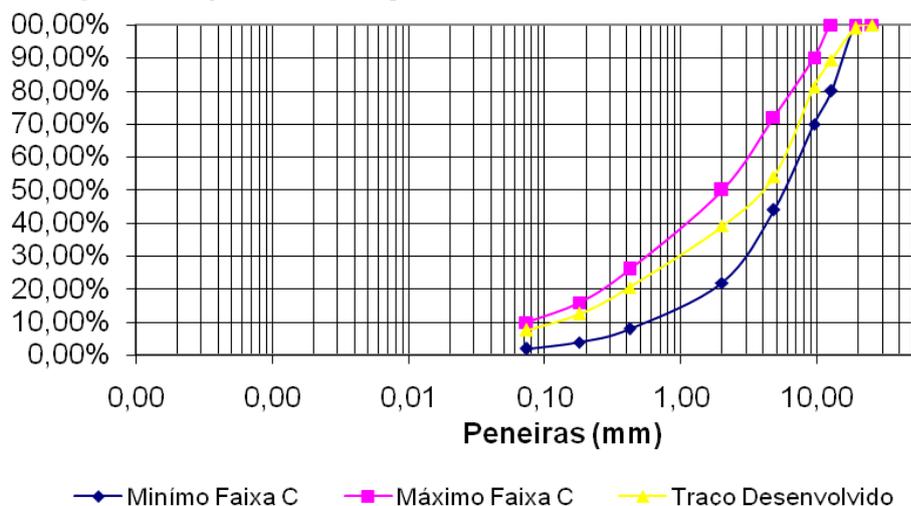


Tabela 2 - Porcentagem dos materiais na mistura

Material	Teor na mistura (%)
Brita 19,0	24,0
Brita 9,5	27,0
Pó de Pedra	46,0
Resíduo Oleoso	3,0

Após determinação do traço inicial, foram feitas correções para adição do ligante na mistura, para a moldagem dos corpos de prova. Para cada teor de ligante, entre 3,5% e 5,5%, os teores iniciais sofreram modificações proporcionais, conforme apresentado na Tabelas 3.

Tabela 3 - Dosagem dos corpos de prova

Material	Distribuição do material na mistura asfáltica (%)				
Ligante	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50
Brita 19	23,16	23,04	22,92	22,80	22,68
Brita 9,5	26,06	25,92	25,79	25,65	25,51
Pó de Pedra	44,38	44,16	43,93	43,70	43,47
Fíller (RO)	2,90	2,88	2,86	2,85	2,84

Após a moldagem dos corpos de prova, obtiveram-se os parâmetros volumétricos, Volume de Vazios (Vv) e a Relação Betume-Vazios (RBV), que são fatores determinantes para a escolha do teor ótimo para a mistura. As Figuras 3 e 4 mostram, respectivamente, a diminuição do Vv da mistura de acordo com o aumento do teor de ligante e o crescimento da Relação Betume-Vazios, pois os vazios que “desapareceram” foram preenchidos exatamente com o betume que a cada teor vai aumentando na mistura.

Figura 3 - Gráfico Vv x Teor de Ligante

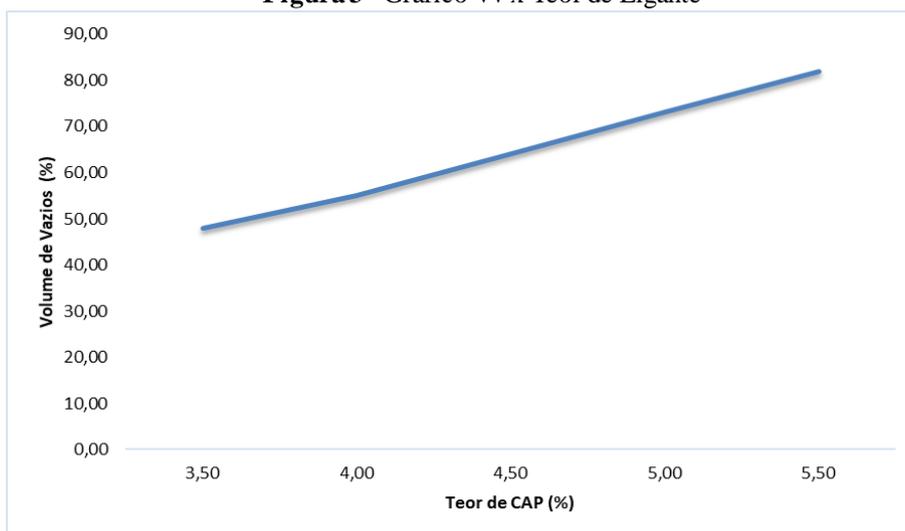
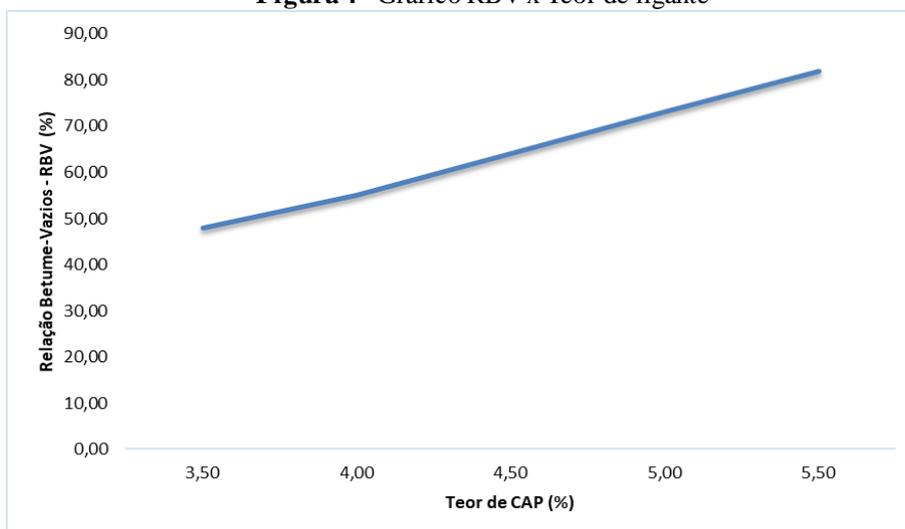


Figura 4 - Gráfico RBV x Teor de ligante



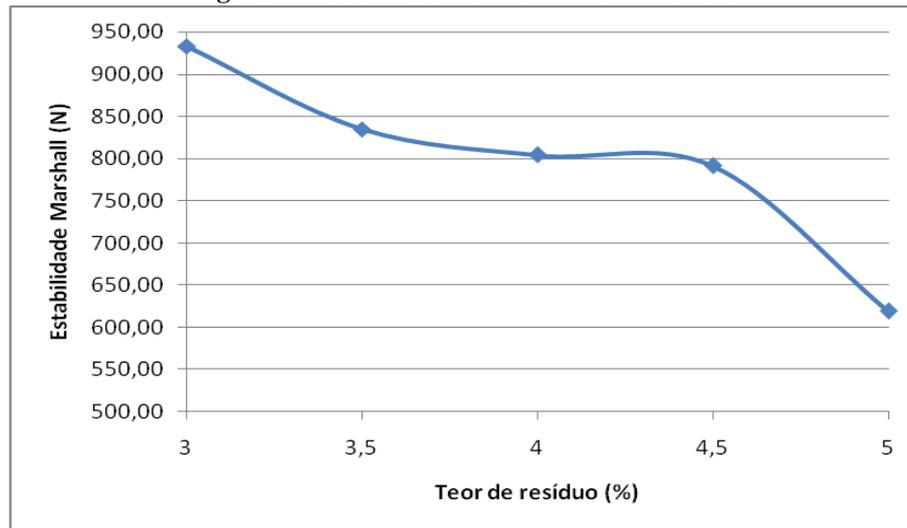
A partir da interseção das linhas de tendência desses gráficos, determinou-se o teor ótimo para a mistura. Esse teor deve se enquadrar nos valores limite para o Vv que é 3% a 5% e RBV que deve ficar entre 75% e 82% determinados para a faixa C do DNIT. Assim, fixou o teor 5,3% de ligante para a mistura como sendo o mais adequado. A partir da escolha desse teor foram moldados corpos de prova variando o teor de resíduo oleoso (RO) para a análise das propriedades mecânicas.

- Determinação das Propriedades Mecânicas da Mistura

- Estabilidade Marshall

Foi realizado o ensaio de Estabilidade Marshall variando o teor de resíduo na mistura entre 3% e 5%. A Figura 5 mostra os resultados obtidos.

Figura 5 - Estabilidade Marshall x Teor de resíduo

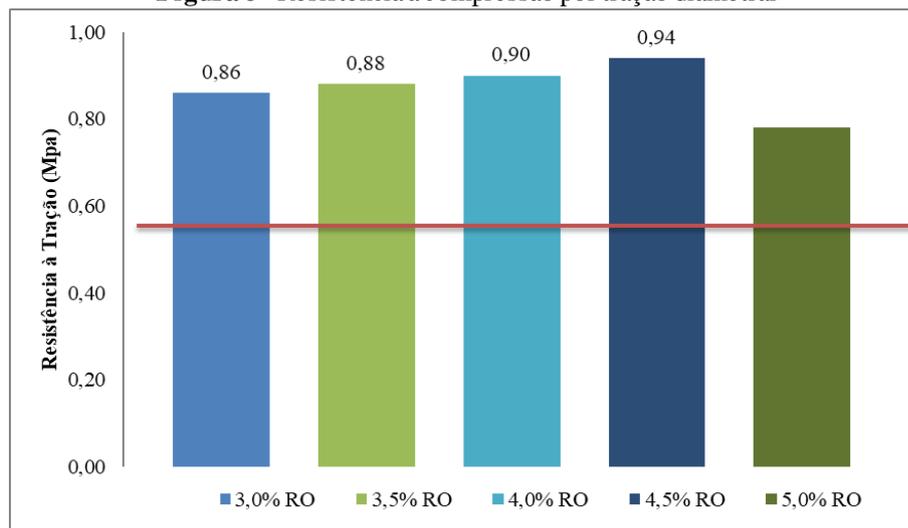


Quanto a estabilidade pode-se dizer que a mesma foi satisfatória, pois o limite mínimo estabelecido pelo DNIT foi de 500 N. Porém, decresceu proporcionalmente com aumento do teor de resíduo na mistura. A perda de estabilidade pode ser justificada pelo aumento da quantidade de finos da mistura a medida que se adicionou o resíduo oleoso.

- Resistência a compressão por tração diametral

A Figura 6 ilustra os resultados da resistência à compressão por tração diametral.

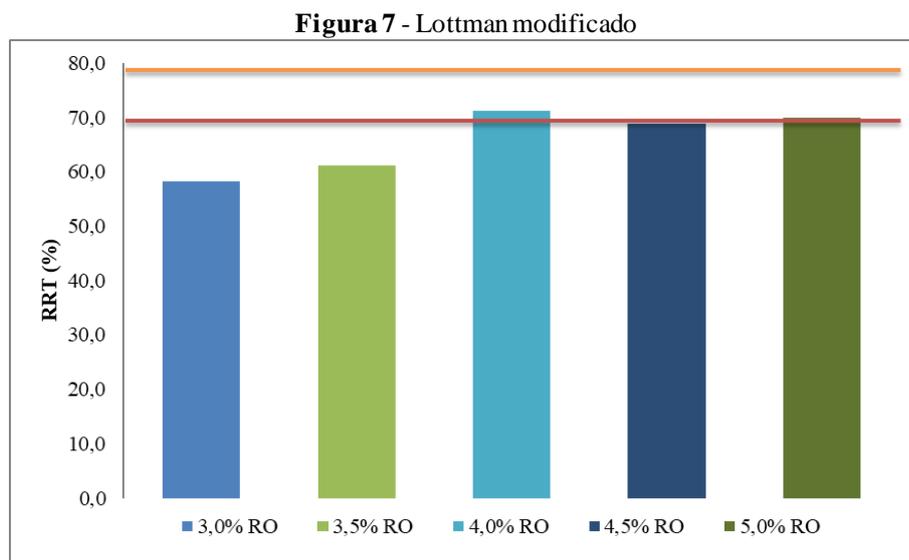
Figura 6 - Resistência a compressão por tração diametral



Obsevou que a máxima tensão média de compressão de 0,939 MPa foi obtida para a mistura com adição do teor de 4,5% de Resíduo Oleoso. A partir deste teor ocorreu uma diminuição significativa nos valores da tensão média de compressão. Porém para todos os percentuais analisados os valores obtidos foram superiores ao limite mínimo de 0,65MPa estabelecido pelo DNIT.

- Lottman modificado

Os resultados do ensaio de sensibilidade à umidade - Lottman modificado - são apresentados na Figura 7, com o parâmetro do RRT.



A MP 8 -01 da AASTHO estabelece o limite mínimo para RRT de setenta por cento (70%). Observou-se que a mistura asfáltica utilizando o teor de 4,0% de resíduo oleoso é a mais resistente à perda de resistência após o condicionamento e a única que atingiu o mínimo exigido pela norma, com uma pequena diferença para as misturas de 4,5 e 5,0% que apresentam valores bem próximos, 68 e 69%, respectivamente, enquanto as misturas utilizando 3,0 e 3,5% do resíduo oleoso apresentaram valores muito abaixo do desejado. A diminuição da resistência à tração após o condicionamento – indução de umidade na amostra – é dado como um parâmetro para identificar a susceptibilidade da mistura ao deslocamento da película asfáltica do agregado (perda de adesividade), considerando o efeito deletério da água (GAMA, 2016).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dosagem Marshall apresentou resultados satisfatórios tendo sido determinado para o teor ótimo de ligante o valor 5,3%, um pouco elevado, porém aceitável em virtude de ter sido obtido a partir de um resíduo. Este comportou-se de maneira satisfatória nos ensaios, não comprometendo o desempenho da mistura.

Dos ensaios realizados observando-se a variação do teor de resíduo na mistura, chega a conclusão que a mistura com o teor de 4,0% de resíduo é a que melhor se comporta em relação aos dados encontrados para as propriedades mecânicas, sendo que esta foi a única que

atingiu o mínimo exigido pela norma no ensaio de Lottman modificado e nos demais ensaios apresentou valores compatíveis com aqueles estipulados pelas normas vigentes.

Com os resultados encontrados durante toda a pesquisa foi possível verificar eficiência da incorporação do resíduo oleoso (RO). Este fato está ligado diretamente a uma melhora no meio ambiente, pois irá promover um descarte adequado evitando ser despejado na natureza. Essa incorporação também será traduzida em ganhos econômicos já que diminui os custos efetivos para a produção da mistura asfáltica além de incorporar valor a um material que seria descartado.

Apesar da mistura ter apresentando propriedades adequadas para sua utilização na pavimentação asfáltica é necessário a realização de estudos mais aprofundados para assegurar a viabilidade do uso deste resíduo na pavimentação que seria substituto de insumos como a cal e o cimento, que possuem preço bastante elevado em relação ao resíduo e, principalmente, um destino seguro e ecologicamente correto para esse material.

REFERÊNCIAS

AASHTO MP 8-01: **Standard specification for designing Stone Matrix Asphalt (SMA)**. American Association of State Highway and Transportation Officials. USA. 2005.

AASHTO T 283/2007 – **Standard Method of Test for Resistance of Compacted Bituminous Mixture to Moisture Induced Damage**. American Association of State Highway and Transportation Officials. EUA. 2007.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica** – materiais, projeto e restauração. São Paulo, Oficina de Textos, 2011.

BALL, A. S.; STEWART, R. J.; SCHLIEPHAKE, K.; A review of the current options for the treatment and safe disposal of drill cuttings. **Journal Waste Management & Research**, v.30, p. 457-473, 2011.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G. DA, CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2007.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT - **Relatório Gerencial: Pesquisa CNT de rodovias**. Brasília, 2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES - DNIT -ME 043/95 – **Misturas betuminosas a quente: ensaio Marshall**. Rio de Janeiro 1995.

_____. DNIT - ME 084/95 – **Agregado miúdo – determinação da densidade real**. Rio de Janeiro. 1995.

_____. DNIT - ME 081/98 – **Determinação da absorção e da densidade do agregado graúdo**. Rio de Janeiro. 1998.

_____. DNIT - ME 083/98 – **Agregados: Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro. 1998.

_____. DNIT - ME 031/2006 – **Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico: Especificação de serviço**. Rio de Janeiro. 2006.

_____. DNIT - ME 136/2010 – **Misturas asfálticas: Determinação da resistência à tração por compressão diametral**. Rio de Janeiro. 2010.

DOS ANJOS, C. M.; NEVES, G. A. **Utilização do resíduo de caulim para a produção de blocos solo-cal**. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2011.

GAMA, D. A. **Efeito da adição de polímeros reativo, não-reativo e ácido polifosfórico e suas combinações nas propriedades de ligantes asfálticos**. 2016. Tese de doutorado – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

LUCENA, L. C. DE F. L. **Verificação da influência do uso de resíduos industriais como filler em misturas asfálticas sob o efeito de presença d'água**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2009.

MOTA, J. D.; OLIVEIRA, D. de F.; TRAJANO, M. F.; SANTIAGO, N. de O.; SILVA, A. P. de A. **Aproveitamento dos resíduos de granito e caulim como materiais aditivos na produção de tijolos ecológicos**. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2011.

MOTHÉ, M. G. **Estudo do comportamento de ligantes asfálticos por reologia e análise térmica**. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2009.

ONWUKWE, S. I.; NWAKAUDU, M. S. Drilling Wastes Generation and Management Approach. **International Journal of Environmental Science and Development**, v.3, n.3, p.252-257, 2012.

PIRES, P. J. M., **Desenvolvimento de um sistema de dessorção térmica in situ para remediação de materiais contaminados por hidrocarbonetos de petróleo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Rio de Janeiro. 2004.

SILVA, H.M.R.D. **Caracterização do Mástique Betuminoso e da Ligação Agregado-Mástique. Contribuição para o estudo do comportamento das misturas betuminosas**. Tese (Doutorado). Universidade do Minho. Portugal. 2006.

SILVA, S. A. T., VIDAL, P. J. F., HOLANDA, A. S., *et al.*, “Análise viscoelástica de pavimentos asfálticos utilizando elementos finitos e infinitos”, **Transportes**, n. 21, v. 3, p. 5-13, 2013.