

ANÁLISE DE TÉCNICA DE MISTURA ASFÁLTICA TIPO CONCRETO ASFÁLTICO USINADO A QUENTE COM UTILIZAÇÃO DE ESCÓRIA COMO AGREGADO MIÚDO

Tauane Barbosa dos Santos
Victor Manuel de Queiroz Lourenço
Universidade Federal De Sergipe
Faculdade Pio Décimo

RESUMO

O presente trabalho visou analisar e estudar a viabilidade técnica da escória proveniente da produção do cobre como agregado em misturas asfálticas após ter sido utilizada como material abrasivo em jateamento de tanques. Utilizou-se o método de dosagem Marshall para obtenção do teor de projeto. Para o teor encontrado, moldaram-se corpos de prova para os ensaios mecânicos: estabilidade Marshall, resistência à tração por compressão diametral (RTCD), módulo de resiliência (MR), desgaste Cântabro e creep estático. Verificou-se, também, a fadiga, a partir da relação módulo de resiliência/ resistência à tração (MR/RT). Conclui-se, que a escória tem potencial para ser utilizado com tal fim, quando analisado física e mecanicamente.

ABSTRACT

The present work aimed at analyzing and studying the technical viability of the slag coming from the production of copper as an aggregate in asphalt mixtures after being used as abrasive material in tank blasting. The Marshall dosage method was used to obtain the design content. For the content found, specimens were prepared for the mechanical tests: Marshall stability, diametral compression tensile strength (RTCD), resilience modulus, wear Cantabro and static creep. Fatigue was also verified from the ratio resilience modulus/ tensile strength (MR/RT). It is concluded that slag has the potential to be used for this purpose, when analyzed physically and mechanically.

1. INTRODUÇÃO

Diante da carência do país em rodovias pavimentadas, seja para escoamento da produção agrícola, turismo e até mobilidade urbana, mais de 84% da malha rodoviária nacional ainda não é pavimentada, segundo dados da Confederação Nacional de Transporte (CNT, 2017). Em 1950 o modal rodoviário representava apenas 38% do transporte de cargas no Brasil, atualmente esse número aumentou para 61,1% com exceção do transporte de minério de ferro que ocorre por ferrovias, ainda segundo dados da Confederação Nacional de Transporte (CNT, 2017). Esses dados mostram a importância da malha rodoviária nacional para a economia do país.

Perante o contexto, novas misturas asfálticas estão sendo estudadas, analisadas e avaliadas para aplicação rodoviária, visando uma melhora na pavimentação brasileira, apoiada no tripé economia, segurança e qualidade.

Com a escassez de recursos financeiros para aplicação nos mais diversos setores econômicos e da necessidade de proteção ambiental, torna-se viável o uso de técnicas e materiais alternativos. A escória, por exemplo, é um subproduto da fundição de minério de cobre, um passivo ambiental problemático, devido à presença de material tóxico a saúde humana e ao meio ambiente.

Utilizando práticas como os 5R's – Reduzir, repensar, reutilizar, reciclar e recusar – a escória é utilizada no processo de jateamento de tanques, como material abrasivo, anulando assim o consumo de areia, conseqüentemente reduzindo o impacto ambiental posterior. Porém, como essa aplicação reduz apenas a granulometria da escória sem reduzir sua massa, esse processo não é uma destinação definitiva, somente uma forma de reaproveitamento. Os despojos após o jateamento, necessitam de gerenciamento que na maioria das vezes requer um processo mais

complexo e elaborado.

Assim, percebeu-se a alternativa de empregar rejeitos dessa natureza como material constituinte de misturas asfálticas, trazendo benefícios característicos à incorporação e ao reaproveitamento de resíduos como a possibilidade de redução dos recursos naturais explorados e a oferta de uma nova forma de destinação, contribuindo assim para a redução do impacto ambiental gerado pelos descartes indiscriminados.

Apesar da utilização de escória de cobre residual do processo de jateamento em pavimentos ser uma possível solução para atenuar o problema da disposição desse resíduo, cabe salientar que a inclusão da escória de cobre em misturas asfálticas pode também melhorar suas características técnicas.

Dessa forma, o presente trabalho visa uma análise da viabilidade técnica do agregado proveniente do jateamento de tanques em substituição parcial do convencionalmente utilizado em Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ), com vistas à aplicação em camadas de rolamento de rodovias, por meio de ensaios mecânicos estabelecidos na literatura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Brasil mesmo sendo majoritariamente um país rodoviário e possuir uma das maiores malhas rodoviárias do mundo, segundo a Confederação Nacional de Transporte (CNT, 2017), têm apenas cerca de 15,6% da extensão total de sua malha rodoviária pavimentada, com 212.085 Km pavimentados, enquanto que 1.351.520 Km ainda não são pavimentados e 157.309 Km correspondem a rodovias planejadas.

Algumas regiões, cujas constituições geológicas são desprovidas de formações rochosas, tem suas condições agravadas, devido à ausência de material convencional suficiente para construção e manutenção dos pavimentos, já que os incentivos para investimento se tornam ainda menores. No Brasil, os casos mais críticos de escassez de jazidas de rochas estão localizados em municípios dos estados do Acre, Amazonas e Pará (Cabral, 2011).

Ciências Cobre (2010) considera a reciclagem de fundamental importância para o meio ambiente, onde surge como importante alternativa para o resíduo produzido na fabricação cobre. A reciclagem deste metal permite economizar energia e cuidar do meio ambiente. Então, com a preocupação atual para não agredir o meio ambiente, muitas indústrias, ao invés de simplesmente descartarem em aterros os resíduos gerados, estão buscando alternativas sustentáveis de gerenciamento destes. Diante desse cenário, algumas indústrias de cobre, por exemplo, já estão utilizando a escória deste metal para a produção de concreto, sendo substituto de 5% a 15% do cimento.

Porém, tal medida permanece restrita a pequena porcentagem. Nos EUA, um dos maiores geradores de escória de cobre, a reutilização é pouco praticada. No Brasil também não é muito reutilizada, apenas uma parte do que é produzido é mandado para utilização em estaleiros. Mas felizmente há países que utilizam uma parte maior da escória produzida, como o Canadá que utiliza 45% da escória do cobre na construção de lastro de ferrovias e aterros. Além do Canadá, 43% das necessidades do cobre na Europa são supridas pela reciclagem do cobre encontrado em equipamentos eletrônicos e eletrodomésticos, tendo por objetivo reciclar 4 quilos por ano. (CIÊNCIAS COBRE, 2010)

Embora seja um processo que exija equipamentos mais requintados e, por conseguinte, maior custo inicial, a limpeza com jateamento abrasivo constitui o procedimento mais completo para a remoção de ferrugem, carepa de laminação, tinta antiga e outros contaminantes, pois, além de naturalmente deixar o substrato diretamente no metal, proporciona grande rendimento de execução e notável rugosidade na superfície jateada, favorecendo a ancoragem da película de tinta a ser aplicada (NUNES E LOBO, 1998; GENTIL, 2003).

Com o aumento do custo dos materiais de construção, notavelmente derivados do petróleo, e redução da disponibilidade de materiais naturais, aliado as novas exigências e limitações impostas na construção e manutenção de pavimentos, é imperativo que novos pesquisadores busquem materiais que possam apresentar bom desempenho com custo relativamente baixo.

Utilizando-se das práticas do 5R's (reduzir, repensar, reaproveitar, reciclar, recusar), a adição de escória de cobre em misturas asfálticas se mostra uma solução viável, afim de se destinar de forma definitiva esse rejeito da siderurgia, que já passou pelo processo de reaproveitamento, sendo usado como material abrasivo no jateamento de tanques de exploração de petróleo.

Segundo Anjos (2015), a escória de cobre, que é o resíduo do processo de produção de cobre, após ser utilizada no jateamento e perder seu potencial abrasivo, normalmente, é direcionada para aterros controlados.

Após a utilização da escória no processo de jateamento como material abrasivo, a mesma perde o seu poder de abrasão, sendo então inutilizável para o processo, voltando assim a ser um passivo ambiental que pode ainda oferecer riscos à saúde humana e ao meio ambiente. Com isso, busca-se um destino definitivo para esse material, sendo então proposto como parte constituinte de misturas asfálticas.

Diversos são os trabalhos encontrados na literatura sobre o reaproveitamento de cobre em suas camadas. No entanto, o reaproveitamento deste, após utilização como material abrasivo, não se apresenta com frequência, o que motivou o presente estudo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O agregado não convencional utilizado nesse estudo foi a escória obtida a partir do processo de fabricação do cobre e utilizada como abrasivo em serviços de jateamento a seco no tanque de armazenamento de hidrocarboneto, durante a etapa de preparação de superfícies de aço para aplicação de nova pintura. Tal agregado foi coletado na Unidade de Negócios de exploração e Produção da Bahia (UN-BA) - Petrobras, localizada no município de São Sebastião do Passé/BA, sendo informado que os rejeitos da exploração podem ser considerados como rejeitos perigosos devido a possível presença de hidrocarbonetos.

De acordo com os resultados obtidos nas análises químicas de toxicidade e solubilidade, a escória de cobre analisada não é tóxica e não é inerte, ou seja, deve ser classificada como Classe II-A – não perigosos e não inertes, de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004a).

A metodologia idealizada para o desenvolvimento desta pesquisa contemplou a dosagem das misturas asfálticas, preparação de amostras para ensaios mecânicos, e uma análise racional dos resultados obtidos dos ensaios realizados com os materiais separadamente e com as misturas

asfálticas contendo os dois tipos de agregado.

As características físicas da escória de cobre se encontram na Tabela 1.

Tabela 1: Características do agregado não convencional.

Massa específica real (g/cm ³)	Absorção (%)	Equivalente de areia (%)
3,615	0,5	70,0

Fonte: Elaborado pelo autor.

O ligante asfáltico empregado nesse trabalho foi o CAP 50/70, fornecido pela Brasquímica, localizada na cidade de Candeias/BA. As propriedades do ligante se encontram descritas na Tabela 2.

Tabela 2: Características do material asfáltico.

Ponto de Amolecimento (C°)	Ponto de fulgor (C°)	Adesividade	Viscosidade (cP)	Temperatura de moldagem (C°)
55	362	Satisfatória	180,50	152

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para essa pesquisa foram utilizados agregados convencionais de origem granítica, com dimensões variando entre graúdo (25 mm), intermediário (9,5 mm) e miúdo (4,8 mm), provenientes da Pedreira Dinâmica, localizada no município de Itabaiana – SE.

A caracterização se apresenta ilustrado na Tabela 3.

Tabela 3: Características do agregado convencional.

Agregado	Massa específica real (g/cm ³)	Massa específica aparente (g/cm ³)	Absorção (%)	Resistência a abrasão Los Angeles (%)	Índice de forma	Equivalente de areia (%)
Miúdo	2,89	-	-	-	-	60,8
Intermediário	2,66	2,50	2,40	25	2,6	-
Graúdo	2,68	2,59	1,18	25	2,6	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Confeccionou-se uma mistura asfáltica enquadrada na Faixa C do DNIT. O traço do concreto asfáltico utilizado nessa pesquisa foi obtido por meio da metodologia Marshall, e os valores se encontram na Tabela 4.

Tabela 4: Traço em massa da mistura asfáltica.

Item	Massa (g)	%
Agregado graúdo	145,86	12,22
Agregado intermediário	538,56	45,12
Pó de pedra	201,96	16,92
Escória de cobre	235,62	19,74

CAP 50/70	71,6	6,00
-----------	------	------

Fonte: Elaborado pelo autor.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados e análises das propriedades mecânicas das misturas asfálticas, foram obtidos por meio do ensaio de estabilidade Marshall, desgaste Cântabro, resistência à tração por compressão diametral, módulo de resiliência, creep estático e avaliação indireta de vida de fadiga.

Dessa forma, os valores obtidos nessa pesquisa foram comparados com os números obtidos em mistura asfáltica padrão confeccionada com agregados convencionais. Para tal, utilizou-se como referência os resultados da pesquisa de Lourenço (2015).

Para que uma mistura asfáltica seja considerada adequada, a dosagem para o uso em camadas de rolamento, faz-se necessário a medida da estabilidade, como parte do método de dosagem Marshall.

Tabela 5: Resultados de estabilidade Marshall.

Ensaio de caracterização	Métodos de ensaios	Resultados		
		DNIT	Presente pesquisa	Lourenço (2015)
Estabilidade Marshall	DNER-ME 043/95	Min. de 500 kgf	937,52 kgf	1468,7kgf

Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor encontrado para a mistura da presente pesquisa foi abaixo do valor encontrado por Lourenço (2015) com agregado convencional, porém apresentou grandezas cerca de 2 vezes maiores que o valor mínimo estipulado pela especificação do DNIT 031/2006 – ES, de 500 kgf.

Devido ao comportamento da escória de cobre em misturas asfálticas ser pouco conhecido, para aplicação em camadas de rolamento, faz-se indispensável uma análise do comportamento do material quanto ao desgaste por abrasão, uma vez que o mesmo estará sujeito a esse tipo de solicitação causado pela ação direta do tráfego.

A Tabela 6 apresenta os resultados de desgaste Cântabro.

Tabela 6: Resultados de desgaste Cântabro.

Ensaio de caracterização	Métodos de ensaios	Resultados		
		DNIT	Presente pesquisa	Lourenço (2015)
Desgaste Cântabro	DNER-ME 383/99	Máx. de 25%	1,63%	2,21%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Da Tabela 6, observa-se que a mistura contendo a escória de cobre apresentou valores menores que as misturas contendo apenas agregado convencional. Este resultado era previsível, já que se esperava desse material mais consistência que a brita convencionalmente utilizada.

Para fins de pavimentação é de crucial importância o conhecimento da resistência à tração do material, uma vez que o pavimento está sob influência de tensões de tração em toda passagem de carregamento. A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 7: Resultados de resistência à tração por compressão diametral.

Ensaio de caracterização	Métodos de ensaios	Resultados		
		DNIT	Presente pesquisa	Lourenço (2015)
RTCD	DNIT 136/2010 - ME	Min.de 0,65 MPa	1,00 MPa	1,014 Mpa

Fonte: Elaborado pelo autor.

Da Tabela 7, observa-se que a RTCD para a mistura da presente pesquisa foi similar ao valor obtido por Lourenço (2015). Entretanto, ambos os valores superaram o mínimo exigido pelo DNIT, de 0,65.

Para a obtenção do módulo de resiliência da mistura, utilizou-se a carga (F) de 950N, sendo assim 12% do valor da carga de ruptura obtida no ensaio de RTCD. O coeficiente de Poisson adotado foi 0,30. A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 8: Resultados do módulo de resiliência.

Ensaio de caracterização	Métodos de ensaios	Resultados			
		DNIT	Bernucci et al (2008)	Presente pesquisa	Lourenço (2015)
MR	NBR 16018/ASTM D4123-82	-	2.000 a 8.000 MPa	4.013 Mpa/4.137 Mpa	4989,3 Mpa

Fonte: Elaborado pelo autor.

Esse é um parâmetro que não se tem valores mínimos ou máximos estabelecidos por norma, já que depende do material empregado e da finalidade de aplicação. Porém, quando analisado com a mistura padrão os valores do módulo de resiliência se encontram de acordo com os valores obtidos em outras misturas asfálticas.

Segundo Bernucci et. al. (2008), alguns autores apontam a razão entre o módulo de resiliência e a resistência à tração como um bom indicador da vida de fadiga de misturas asfálticas. Tal relação agrega informações de resistência e rigidez, sendo mais desejável um valor pequeno da razão, visto que com frequência se almeja a baixa rigidez para se evitar a elevada absorção de tensões que resultam no trincamento prematuro do revestimento, e a alta resistência à tração, uma vez que em geral uma maior resistência na ruptura também é associada a uma maior resistência à fadiga.

Tabela 9: Relação da vida de fadiga.

RT (MPa)	MR (MPa)	MR/RT
1	4.013	4.013

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise indireta de vida de fadiga mostrou que a mistura com escória apresentou comportamento semelhante a mesma análise feita para misturas com agregados convencionais, como se observa em Pinheiro et al (2003), Alencar (2008), Ribeiro (2011) e Lourenço (2015) que obtiveram como resultado, respectivamente, 3.759,79, 3.388,64, 4.286,36, 4.691,07.

As deformações permanentes, irreversíveis nas trilhas de rodas figura entre os principais defeitos da camada superficial do revestimento asfáltico, devido o pavimento ter características visco-elasto-plástico. Portanto, faz-se indispensável uma análise do comportamento do material, por meio do creep estático, quanto a sua deformação permanente, uma vez que o mesmo estará sujeito a deformações causadas pela ação direta do tráfego.

Tabela 10: Análise da deformação permanente.

Amostras	Carregamento (Mpa)	Deslocamento Final (mm)	Taxa de Recuperação (%)	Deformação Plástica (%)
Presente pesquisa	0,1	0,29	40	0,47
Presente pesquisa	0,4	0,42	47	0,67
CAUQ - Souza (2010)	0,1	0,52	9,62	1,04

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com relação ao creep estático, foram analisadas mistura asfálticas com adição de escória com diferentes cargas aplicadas, foi visto que além de ter maior deformação o de carga 0,4 MPa apresentou uma recuperação elástica relativa de 47% e com a carga de 0,1 MPa a recuperação elástica foi de 40%. Assim, mesmo com a alteração dos carregamentos, obteve-se uma recuperação aproximadamente equivalente. Quando comparado aos resultados de uma mistura padrão de Souza (2010), confeccionada com agregados convencionais, observou-se que a mistura com escória apresentou resistência a deformação superior.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto ao longo do trabalho, mostrou-se possível a realização da dosagem de mistura asfáltica com a utilização da escória após ser utilizada como material abrasivo para jateamento de tanques. Com relação as análises mecânicas, as propriedades analisadas se mostraram satisfatórias, atendendo as exigências normativas.

Em suma, é possível concluir com este trabalho que a escória de cobre residual do processo de jateamento é de uso promissor na pavimentação, porem, por ter sido classificado como material não perigoso e não é inerte, faz-se necessário uma análise mais especifica da real possibilidade de contaminação por parte do resíduo, após aplicado como CAUQ.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANJOS, M.A.G. **Aplicação da granalha batida de cobre como substituto parcial do aglomerante e como agregado miúdo em concreto de cimento Portland.** São Cristóvão: Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Sergipe, 2015.
- BERNUCCI, L. B., et al. **Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros.** Rio de Janeiro: PETROBRAS & ABEDA, 2008.
- CABRAL, G. L. L., **Utilização do agregado artificial de argila calcinada em obras de pavimentação e aperfeiçoamento da tecnologia.** Rio de Janeiro: Tese (Doutorado em Engenharia Civil) –Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

- CASER, G. C. **Influência do tipo de abrasivo de jateamento no desempenho de esquemas de pintura sobre aço carbono**. Vitória-ES: Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Espírito Santo, 2008.
- CIÊNCIAS COBRE – **Ação do cobre no meio ambiente**, 2010. Disponível em: <http://cienciascobre.blogspot.com.br/>. Acesso em: 06/10/2016
- DNER-ME 043/95: **Misturas betuminosas a quente – Ensaio Marshall**. DNER, Rio de Janeiro, 1995.
- DNER-ME 383/99: **Desgaste por abrasão de misturas betuminosas – Ensaio Cântabro**. DNER, Rio de Janeiro, 1999.
- DNIT-ES 091/2006: **Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico – Especificação de serviço**. DNIT-Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2006.
- DNIT-ME 136/2010: **Misturas Asfálticas – Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2010.
- GENTIL, V. Revestimentos: Limpeza e Preparo de superfícies. **CORROSÃO**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. Cap. 21.
- GRIPPI, S. **Lixo, reciclagem e sua história: guia para prefeituras brasileiras**. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.
- LOURENÇO, V. M. Q. **Estudos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição de Sergipe para utilização em mistura asfáltica tipo CAUQ**. São Cristóvão: Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Sergipe, 2015.
- NUNES, L. P.; LOBO, A. C. O. Preparação de superfície metálica para pintura. **Pintura Industrial na Proteção Anticorrosiva**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. Cap. 5.
- RABELO, R.R. **Estudo da estabilidade de estocagem do cap 50/70 modificado com resíduo industrial e avaliação da sua influência em mistura do tipo CAUQ dosada pelos métodos Marshall e Superpave**. 2016. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2016.
- RESENDE, C. M. A. **Estudo da viabilidade de incorporação de escória de cobre como agregado fino em produtos de construção**. 2009. 134 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas de Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.
- SANTOS, R.L. **Aplicação da escória de cobre batida como substituta do agregado em argamassas de assentamento e de contrapiso autonivelante**. 2016. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2016.
- SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação**. São Paulo: Pini, 1997.
- SPECHT P.; LUCIANO. **Avaliação de Misturas Asfálticas com Incorporação de Borracha Reciclada de Pneus**. Tese (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.