

COMPORTAMENTO MECÂNICO DE MATERIAIS DE PAVIMENTAÇÃO CONTENDO RESÍDUOS DA MINERAÇÃO DE FERRO

Antonio Carlos Rodrigues Guimarães¹, Carmen Dias Castro² e Márcio Leandro Alves de Arêdes³

¹Instituto Militar de Engenharia, Seção de Engenharia de Fortificação e Construção, Praça General Tibúrcio 80, 22290-270, Rio de Janeiro, Brasil.

²Instituto Militar de Engenharia, Seção de Engenharia de Fortificação e Construção, Praça General Tibúrcio 80, 22290-270, Rio de Janeiro, Brasil.

email: carmendc14@gmail.com <http://www.ime.eb.mil.br/pt/>

³Instituto Militar de Engenharia, Seção de Engenharia de Fortificação e Construção, Praça General Tibúrcio 80, 22290-270, Rio de Janeiro, Brasil.

Sumário

O rompimento da barragem de resíduos de mineração do ferro, em Mariana/MG, foi responsável pela maior tragédia ambiental do Brasil, em 2015. Antes e, logo após, foram realizados estudos para aproveitamento do resíduo arenoso em pavimentação asfáltica. Assim, objetivou-se avaliar o comportamento mecânico de misturas asfálticas aplicando o resíduo em substituição ao agregado miúdo nas misturas asfálticas do tipo Concreto Asfáltico, visando seu uso na camada de rolamento de um pavimento rodoviário. Fez-se a dosagem Marshall de três misturas asfálticas e ensaios mecânicos caracterizados, além da determinação do teor ótimo pelo método de dosagem Superpave conduzida em duas destas misturas. Concluiu-se que o resíduo pode ser utilizado em misturas asfálticas.

Palavras-chave: Resíduos, concreto asfáltico, solo estabilizado.

1 INTRODUÇÃO

As mudanças ocorridas na natureza estão diretamente associadas à evolução da sociedade. Os recursos naturais eram utilizados de forma descontrolada sem preocupações em relação a uma possível escassez das fontes naturais e, ainda, o conceito de sustentabilidade era considerado contrário ao desenvolvimento. No entanto, esse cenário rapidamente trouxe malefícios, o que culminou com a adoção de critérios e diretrizes para limitar a extração e o uso de matérias-primas [1].

Sabe-se, ainda, que as sociedades desenvolvidas precisam da indústria para produzir energia e bens que mantenham seu estilo de vida. Entretanto, as atividades industriais geram diversos tipos de resíduos, com diferentes características, os quais são originados das mais distintas atividades dos ramos industriais, tais como o metalúrgico, químico, petroquímico, mineração, alimentício, entre outros [2].

Deve-se, principalmente, levar em consideração aspectos que ocasionam preocupações voltadas para as repercussões que podem ter sobre a saúde humana e sobre o meio ambiente (solo, água, ar e paisagens). Os resíduos perigosos, produzidos especialmente pela indústria, são particularmente preocupantes, pois, quando incorretamente gerenciados, tornam-se uma grave ameaça ao meio ambiente, necessitando, assim, de um tratamento especial [3].

O gerenciamento de resíduos tem-se transformado, nas últimas décadas, em um dos temas ambientais mais complexos. O número crescente de materiais e substâncias identificados como perigosos e a geração desses

resíduos em quantidades expressivas têm exigido soluções mais eficazes e investimentos maiores por parte de seus geradores e da sociedade da forma geral. Além disso, com a industrialização crescente dos países ainda em estágio de desenvolvimento, esses resíduos passam a ser gerados em regiões nem sempre preparadas para processá-los ou, pelo menos, armazená-los adequadamente.

A procura por uma finalidade útil aos resíduos provenientes da produção industrial tem sido uma preocupação constante por parte das empresas que se dedicam a estas atividades, de ambientalistas, bem como órgãos de controle e instituições de pesquisas, interessados na preservação do meio ambiente [4]. Assim, encontrar uma solução para a destinação e utilização dos resíduos, bem como, verificar na prática a real aplicabilidade dos mesmos como um material reaproveitável, é uma maneira mais desejável que a disposição em aterros, área esta que pode ser empregada para outros fins mais nobres e evitar possíveis grandes catástrofes, a exemplo do ocorrido em novembro de 2015, com o rompimento da barragem da mineradora Samarco em Mariana-MG, caracterizando o maior desastre ambiental ocorrido no Brasil (Figura 1).



Fig.1. Rompimento da barragem em Mariana – MG

Fonte:<http://exame.abril.com.br/negocios/noticias/desastre-em-mg-gerou-prejuizo-de-r-5-8-bi-para-a-samarco>

Deste modo, pesquisar e gerar um novo destino para os resíduos, em geral, mostra-se como uma alternativa bastante viável, visto que os fatores de custos com transporte e armazenamento serão atenuados e, além disso, tem-se um ganho considerável com relação à preservação do meio ambiente. Atreladas a esta ideia, diversas instituições de ensino em parceria com empresas privadas estão buscando novos projetos de pesquisas com vistas para o reaproveitamento dos resíduos. Assim, uma opção é a aplicação dos mesmos como agregados alternativos para a pavimentação asfáltica, que é largamente utilizada na malha de transportes brasileira.

Com o alto e crescente volume de resíduos que são gerados pela produção de minério de ferro no Brasil, muitas mineradoras estão pesquisando maneiras mais sustentáveis para sua disposição. Assim, uma opção de amenizar os impactos ambientais provocados pela mineração é a utilização dos resíduos como agregados alternativos para pavimentação asfáltica, ou seja, uma maneira de aplicação ecologicamente correta nas infraestruturas de transporte.

A sustentabilidade é um tema atual para gerência de pavimentos em todo o mundo [5]. Nesse sentido, o principal objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento mecânico de misturas asfálticas utilizando resíduo do beneficiamento do minério de ferro em substituição do agregado miúdo nas misturas asfálticas do tipo concreto asfáltico (CA), visando seu emprego na camada de rolamento de um pavimento rodoviário.

Assim, foi realizada uma dosagem Marshall de três misturas asfálticas e os ensaios mecânicos caracterizados pelo módulo de resiliência e de vida de fadiga à tensão controlada e, também, foi feita a determinação do teor ótimo pelo método de dosagem *Superpave* conduzida em duas destas misturas para a obtenção dos Índices de Compactação e do comportamento mecânico pelo valor de *Flow Number*.

2 RESÍDUO DE MINERAÇÃO

A construção de estradas e estruturas de concreto consome milhões de toneladas de agregados [6]. Nesse sentido, a engenharia rodoviária tem sido alvo de grandes projetos de pesquisas que apontam a viabilidade técnica do uso de agregados reciclados e de rejeitos, podendo ser oriundos da construção civil, indústria siderúrgica, de mineração, entre outras.

Desta forma, um número considerável de materiais e tecnologias inovadoras está sendo explorado para determinar a sua adequação para a concepção, construção e manutenção de pavimentos [7]. Devido a isso, é de extrema importância o desenvolvimento de técnicas que sejam eficazes para construir pavimentos com menor custo de transportes, mantendo a qualidade de forma adequada.

Recentemente, as tecnologias relacionadas ao meio ambiente estão ganhando força em todos os setores, sendo que quanto mais combinarem custo, qualidade e desempenho com a consciência ambiental, melhor será a sua aceitação no mercado e maior será o lucro obtido pelos desenvolvedores. Neste contexto, a elaboração de tecnologias mais baratas e de menor impacto ambiental para pavimentos e a utilização de possíveis resíduos da mineração podem ser tratados em conjunto.

A determinação quanto ao tipo de revestimento asfáltico a ser empregado em uma rodovia é função de critérios técnicos, econômicos, financeiros e também ambientais. Dessa forma, pesquisas envolvendo a utilização de materiais não tradicionais, como o agregado siderúrgico (AS) em substituição ao agregado mineral (AM), dentre outros materiais, estão sendo desenvolvidas no meio acadêmico e por empresas, visando à sua aplicação na área de pavimentação. Estudos realizados, tais como os de [8], [9],[10], [11] e, [12], vêm comprovando a aplicabilidade do AS em camadas de revestimentos asfálticos, seja em misturas asfálticas ou em tratamentos superficiais por penetração.

O volume de resíduos sólidos gerados, incluindo rejeitos das atividades de processamento mineral, é uma das principais preocupações de poluição na indústria de mineração [13]. A indústria mineral brasileira, por exemplo, tem se empenhado na execução de programas de gestão ambiental que priorizam a redução do volume de resíduos, descarte adequado e melhor manutenção e monitoramento de barragens [14]. Entretanto, no Brasil, ainda há uma carência de pesquisas e trabalhos publicados que abordam o uso de resíduo de minério de ferro em pavimentação, em comparação aos resíduos industriais. Nesse sentido, o Instituto Militar de Engenharia é uma das Instituições pioneiras em relação ao desenvolvimento de projetos que abordam este tema, atuando fortemente no avanço para a finalidade destes materiais.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais Utilizados

3.1.1 Minério de Ferro

O resíduo utilizado nesta pesquisa é proveniente da empresa Samarco Mineração S.A, situada no município de Mariana - MG, na região do Quadrilátero Ferrífero. Este material é gerado na etapa de flotação do beneficiamento do minério de ferro na Mina de Mariana e depositado na barragem de Germano, sendo coletado em 24 de outubro de 2014. As amostras foram retiradas a uma distância de 50 metros da crista do barramento, com espaçamento entre pontos de coleta de 100 metros, num total de três furos.

Devido à proximidade da linha freática, foi determinada uma profundidade de 2,0 metros para a retirada das amostras. Após, o material (Figura 2) foi acondicionado em tambores plásticos e, em seguida, transportado e armazenado no Laboratório de Solos do IME.



Fig.2. Amostra do resíduo de minério de ferro utilizado neste trabalho

3.1.2 Agregado Miúdo e Graúdo

Para a realização das misturas, foram utilizados os seguintes agregados: graúdo britado, de origem gnaisse-granítica (brita 1 e brita 0) e o miúdo (areia). Ambos são proveniente do estado do Rio de Janeiro - RJ. Todos os materiais foram submetidos a uma avaliação completa de suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, visando sua aplicação em pavimentação.

3.1.3 Caracterização do Resíduo e dos Agregados

Os ensaios de caracterização dos resíduos e agregados foram realizados segundo a normatização vigente DNER-ME e constaram dos seguintes ensaios: análise granulométrica, perda por abrasão Los Angeles, perda ao choque no aparelho Treton, determinação da absorção e da densidade do agregado graúdo, densidade real do agregado miúdo, adesividade a ligante betuminoso, durabilidade, equivalente de areia e os ensaios AIMS e angularidade graúdo e miúdo que seguiram as normas internacionais AASHTO. Sendo o principal objetivo do principal trabalho avaliar o comportamento mecânico de misturas asfálticas, os resultados de caracterização do resíduo e dos agregados podem ser encontrados em trabalhos anteriormente apresentados pelos autores.

3.1.4 Ligante Asfáltico

Com relação aos ligantes, optou-se pela utilização de um CAP 50/70, fornecido diretamente pela BR Distribuidora S.A. As amostras foram submetidas aos ensaios de caracterização previstos pela ANP (2005) e norma DNIT 095/2006, descritos no Quadro 1. Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Ligantes e Misturas Betuminosas do IME.

Quadro 1. Lista dos ensaios de caracterização do CAP, utilizado nesta pesquisa

ENSAIOS	LIMITES	NORMAS
<i>AMOSTRA VIRGEM</i>		
Penetração @ 100g, 5s, 25°C (0,1mm)	50 a 70	DNIT 155/2010-ME
Ponto de amolecimento (°C)	mín 46	DNIT 131/2010-ME
Viscosidade Brookfield (cP)	a 135°C, SP 21, 20 rpm	mín 274
	a 150°C, SP 21, 50 rpm	mín 112
	a 177°C, SP 21, 100 rpm	57-285
Índice de susceptibilidade térmica	-1,5 a +0,7	NBR 15184:2004

Ponto de fulgor (°C)	mín 235	DNER-ME 148/94
Solubilidade em tricloroetileno	mín 99,5%	NBR 14855:2015
Massa específica e densidade relativa, 25°C	-	NBR 6296:2012
Ductilidade @25°C (cm)	mín 60	DNER-ME 163/98
<i>APÓS RTFOT @163°C, 85min</i>		
Varição em massa	máx 0,5%	ASTM D 2872
Ductilidade @25°C (cm)	mín 20	DNER-ME 163/98
Aumento do ponto de amolecimento (°C)	máx 8	DNIT 131/2010-ME
Penetração retida	mín 55%	DNIT 155/2010-ME

3.1.5 Dosagens das Misturas Asfálticas

Após o processo de caracterização dos materiais e, com a finalidade de dosar e realizar ensaios mecânicos, foram selecionadas três misturas asfálticas. Todas as três misturas foram dosadas segundo o método Marshall e duas destas (M1 e M2) foram, também, utilizadas na dosagem pelo método *Superpave* para fins comparativos. Quanto aos agregados, suas temperaturas foram tomadas como 10°C acima das temperaturas dos ligantes, determinadas nos ensaios de caracterização. O Quadro 2, a seguir, apresenta a nomenclatura das misturas asfálticas utilizadas nessa pesquisa.

Quadro 2. Nomenclatura das misturas asfálticas utilizadas nesta pesquisa

MATERIAL	PERCENTUAL EM MASSA		
	M1	M2	M3
Brita 1	20	15	20
Brita 0	40	65	55
Areia	40	-	8
Resíduo	-	20	17

A faixa granulométrica escolhida para as misturas foi a faixa C do DNIT, conforme a especificação DNIT 031/2006 - ES, independente do método utilizado para dosá-las. As curvas granulométricas foram plotadas em gráficos com escala logarítmica para a abertura das peneiras no método Marshall. Além da faixa de projeto, foram plotados também, as faixas correspondentes aos limites inferior e superior da faixa C, como referência. Para o método *Superpave* a curva granulométrica foi feita com as aberturas das peneiras elevadas à potência 0,45. Assim, foi possível visualizar a linha de densificação máxima e os pontos de controle previstos pela norma AASHTO M323-13. Para o cumprimento de todas as etapas descritas, foi realizado o quantitativo de corpos de prova empregados por etapa sendo necessária a moldagem de 185 corpos de prova, distribuídos conforme o Quadro 3, a seguir.

Quadro 3. Quantitativo de corpos de prova empregados por etapa.

ENSAIOS	Corpo de Prova	Quantidade de CPs	
	(dim. x altura)	Marshall	Superpave
1) Definição do Teor Ótimo	10cm x 6cm	80	20
2) Estabilidade	10cm x 6cm	9	-
3) Módulo de Resiliência (25°C)	10cm x 6cm	15	-
4) Resistência à tração indireta (25°C)	10cm x 6cm	9	-
5) Vida de Fadiga (TC)	10cm x 6cm	30	-
6) <i>Flow Number</i> (60° C) - CP com Vv 7%	10cm x 15cm	-	10
7) Perda por umidade induzida - CP com Vv 7%	10cm x 6cm	-	12
TOTAL		185	

3.2 Ensaios Mecânicos

Os ensaios mecânicos foram divididos em dois grupos: ensaios realizados em misturas dosadas pelo método Marshall (módulo de resiliência – DNIT 135/2010 - ME, resistência a tração estática – DNIT 126/2010 - ME, vida de fadiga) e os ensaios realizados em misturas compactadas pelo método *Superpave* (ensaio uniaxial de cargas repetidas, perda por umidade induzida – AASHTO T 283 -14).

4 RESULTADOS

4.1 Dosagem Marshall

Após a definição das granulometrias das misturas e do ligante, procedeu-se o método Marshall de dosagem de misturas asfálticas M1, M2, M3. Para cada mistura optou-se por variar teores de ligante em 0,5%, procedimento padrão quando se tratando de variação de teores de ligante, sendo, assim utilizado para M1 teores a partir de 4% a 6,5%, M2 e M3 teores de 4,5% a 6,5%. Definidos os teores de projeto, levando-se em consideração os parâmetros de dosagem VV e RBV de cada mistura, foram executados 5 corpos de prova de cada uma delas. Para cada uma das misturas foram realizados os ensaios de estabilidade e resistência à tração indireta, totalizando 15 CPs. O Quadro 4 apresenta os resultados dos ensaios com os teores ótimos de cada.

Quadro 4. Parâmetros finais da dosagem Marshall desta pesquisa

MISTURAS	PARÂMETRO					
	LIGANTE PROJETO %	VV %	RBV %	ESTABILIDADE (kgf)	RT (Mpa)	VAM %
Referência DNIT-ES 031/2006	4,5 - 9,0	3 a 5	75 a 82	> 500	> 0,65	> 15
M1	5,9	3,1	81,4	1710	1,4	16,3
M2	5,6	3,9	76,7	1361	1,5	16,7
M3	5,5	3,1	80,7	1442	1,6	15,7

Todas as misturas atenderam aos critérios estabelecidos na norma DNIT-ES 031/2006 com relação ao percentual do volume de vazios (VV), ao percentual de betume/vazios (RBV), a estabilidade, a resistência à tração indireta e ao percentual de vazios do agregado mineral (VAM). Pode-se observar, pela análise do Quadro 4, que houve um acréscimo de RT nas misturas com resíduo se utilizou o resíduo e a mistura M3 apresentou um valor de resistência à tração maior do que as demais misturas.

Os resultados dos ensaios de módulo de resiliência (MR) e seus respectivos parâmetros estatísticos estão contidos no Quadro 5. O MR médio foi tomado como a média aritmética de todos os resultados obtidos nos ensaios, após a aplicação do Teste de Grubbs, o qual verifica a existência de valores aberrantes dentro de um espaço amostral.

Quadro 5. Tratamento estatístico dos resultados de MR

MISTURA	INTERVALO DE CONFIANÇA (95%) (MPa)	DESVIO PADRÃO (MPa)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	MR MÉDIO (MPa)
M1	5347 a 5883	140	2,5%	5640
M2	4927 a 5421	163	3,2%	5137
M3	5062 a 5773	127	2,4%	5244

A partir dos resultados encontrados no Quadro 5, percebe-se uma redução tanto nos valores de MR quanto nos valores de coeficiente de variação. Pode-se concluir desta forma, que houve um decréscimo de cerca de 9% do valor de MR da mistura M1 (5640 Mpa) em relação a M2 (5137 Mpa) e em relação a M3 (5244 Mpa) a redução foi de 7%. Portanto a mistura M2 é um pouco menos rígida que as outras.

Ensaio de MR em concreto asfáltico contendo 20% de resíduos de telhados (reclaimed asphalt shingle) foram realizados por [15], obtendo valores entre 2873 MPa e 3000 MPa, com teor de ligante variando entre 4 % e 6%.

Também, misturas asfálticas contendo escória de aciaria de arco elétrico e refugo de minas de cobre foram estudadas por [16]. Foram preparadas quatro misturas, sendo a primeira com 100% de agregado de granito - misturas de referência, a segunda com 80% de granito e 20% de refugo de minas de cobre, a terceira com 80% de escória e 20% de refugo e a quarta com 40% de granito, 40% de escória e 20% de refugo de mina de cobre. Foram utilizados 2 tipos de ligantes e 3 situações de envelhecimento: sem nenhum tipo, envelhecimento de curto prazo e de longo prazo.

A situação mais próxima à utilizada neste trabalho - ligante similar e sem envelhecimento - apresentou MR variando entre 3.800 MPa (mistura 1) e 5.000 MPa (misturas 3), sendo que tais valores são similares ao observados na presente pesquisa - entre 5.137 MPa e 5.640 MPa.

Além disso, o comportamento mecânico de misturas asfálticas contendo cacos de vidro (glass cullet) como substituto do agregado fino convencional, apontando para uma melhoria de desempenho, foi investigado por [17]. Neste caso, o material utilizado foi o que mais se aproximou em termos de granulometria do resíduo arenoso desta pesquisa, havendo, porém, um pouco menos de material passante na peneira nº 200: glass cullet apenas 2% e resíduo arenoso 22,7% e ambos com 100% passante na peneira nº 4.

Entretanto, considerando a mesma ordem de grandeza de teor de ligante asfáltico (5,5%) adotada para as misturas contendo resíduo arenoso, o MR observado entre 300 e 900 MPa, considerando uma variação de teor de cacos de vidro entre 0 e 20% apenas, ou seja, bem inferior aos obtidos no presente trabalho.

O ensaio de fadiga foi realizado com 5 níveis de tensão, ajustados em 10%, 20%, 30%, 40% e 45% da resistência à tração indireta (RT). A partir destes resultados foi possível o traçado das curvas de diferença de tensões ($\Delta\sigma$) x número de ciclos necessários à ruptura (N_f). No Quadro 6 estão informados os coeficientes de regressão e de correlação, oriundos da regressão dos pontos das curvas de vida de fadiga em escala exponencial.

Quadro 6. Parâmetros de regressão das curvas de vida de fadiga das misturas

MISTURA	$Nf = a_1 (\Delta\sigma)^{b_1}$			$Nf = k_1 (\varepsilon_r)^{k_2}$		
	a_1	b_1	R^2	K_1	K_2	R^2
M1	3573	-2,676	0,9894	8E-09	-2,676	0,9894
M2	3514	-2,909	0,9650	1E-09	-2,909	0,9650
M3	4370	-2,802	0,9857	3E-09	-2,802	0,9851

Pela análise dos resultados, a partir do Quadro 5, pode-se observar que as misturas apresentaram resultados com pequena dispersão no espaço log-log, visto que as curvas lineares de regressão apresentaram valores de coeficiente de determinação superiores a 90%.

4.2 Método Superpave

A partir dos teores de projeto de cada mistura, compactou-se, utilizando o compactador giratório *Superpave*, 2 corpos de prova a 160 giros para cada uma delas e obteve-se os parâmetros médios de projeto, os quais serão apresentados e comparados a seguir. O Quadro 7 apresenta os valores finais dos traços de projeto com o teor ótimo de cada mistura para a metodologia *Superpave*.

Quadro 7. Resumo das características das misturas.

MISTURA	ESALs ($\times 10^6$)	TIPO	% MATERIAL				
			TEOR DE LIGANTE	BRITA 1	BRITA 0	AREIA	RESÍDUO
M1	0,3 a 3	Médio (rodovia coletora)	5,2	19,0	37,9	37,9	-
M2	3 a 10	Médio a alto (vias principais e rurais)	4,9	14,3	61,8	-	19,0

Para os ensaios uniaxiais de carga repetida para obtenção do valor de *Flow Number* foram compactados 3 corpos de prova para cada mistura. Após a modelagem das curvas de deformação, foram extraídos os valores de *FN*, e a deformação permanente no *FN* ($\varepsilon_p(\text{FN})$), conforme os resultados apresentados no Quadro 8.

Quadro 8. Resultados do ensaio uniaxial de carga repetida (*FN*)

MISTURA	FN (ciclos)			b (microns/mm)		
	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV
M1	327	136	42%	28,6	5,0	17%
M2	350	78	22%	34,6	1,4	4%

Observa-se (Quadro 8) que, a mistura M2 apresentou resistência ao dano por acúmulo de deformações permanentes, com maior valor de *Flow Number*. Além disto, obteve uma maior taxa de acúmulo de deformações na zona secundária, caracterizando uma pequena melhora em relação à mistura base. No Quadro 9 estão apresentados os valores deste ensaio assim como o limite aceitável para este tipo de pavimento.

Quadro 9. Resumo dos valores do ensaio

MISTURA	RT	RTu	RRT(%)	CRITÉRIO
	(MPa)	(MPa)		AASHTO MP 8-01
M1	1,47	1,19	81%	> 70%
M2	1,50	1,12	74%	

Verifica-se que as duas misturas atenderam um valor limite para este ensaio, portanto ambas apresentam pouca sensibilidade à ação deletéria da água.

5 CONCLUSÕES

Diante do apresentado pode-se concluir que a utilização do resíduo do beneficiamento do minério de ferro em misturas asfáltica do tipo Concreto Asfáltico é tecnicamente viável e traz benefícios técnicos, econômicos e principalmente ambientais.

A mistura M2 confeccionada com um teor de 20% de resíduo apresentou características físicas e mecânicas compatíveis com a mistura asfáltica padrão (M1), e própria para ser utilizada em um tráfego de médio a leve, sendo, portanto, aprovada para aplicação prática. Os módulos resilientes das misturas elaboradas com resíduo da mineração do ferro mostraram-se superiores ou similares a módulos de misturas contendo resíduos similares.

Quanto ao Superpave, no ensaio Uniaxial de Cargas Repetidas a mistura com resíduo apresentou uma maior resistência ao dano por acúmulo de deformações permanentes, com um maior valor de *Flow Number*, caracterizando uma pequena melhora em relação à mistura base. Quanto aos ensaios feitos pelo método Marshall, nas características físicas e mecânicas notou-se a diminuição do teor de cap com a aplicação do resíduo, além da melhora do percentual de vazios. Como também foi visto, a redução dos valores MR foi baixa, atrelados a isto, a presença do resíduo não é um indicativo desta perda e sim um conjunto de fatores, como, por exemplo, a alteração da granulometria. Posto isto, conclui-se que a substituição da areia pelo resíduo apresenta um potencial aceitável.

6 AGRADECIMENTOS

A todos os autores que contribuíram para o desenvolvimento e implementação desta pesquisa, análises de resultados e escrita desta pesquisa.

7 REFERÊNCIAS

1. R.S.S. Hood. Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação. Dissertação (Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Porto Alegre, 2006.
2. J. F. Paixão. Relatório de Pesquisa: Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Industriais. IPEA. 2012. 74 f. Brasília, 2012.
3. M. R. L. Tocchetto. Gerenciamento de resíduos sólidos industriais. Curso de especialização em tratamento e disposição final de resíduos sólidos e líquidos. Universidade Federal de Goiás. Goiás, 2009.
4. A. V. Costa; A. G. Gumieri; P.R.G. Brandão. Interlocking concrete blocks produced with sinter feed tailings. *Journal Ibracon Structures and Materials*, v.7, n° 2. São Paulo/SP, 2014.

5. M. Magnon; E. Toraldo; F. Giustozzi; M. Crispino. Recycling practices for airport pavement construction: Valorisation of on-site materials. *Journal Construction and Building Materials*, v.112, p. 59–68. Department of Civil and Environmental Engineering, Transportation Infrastructure. Milan, 2016.
6. H Qasrawi; A. Ibrahim. Effect of bitumen grade on hot asphalt mixes properties prepared using recycled coarse concrete. *Journal: Construction and Building Materials*, v. 121, p. 18-24., 2016.
7. J.M. Beale; You, Zhanping. The mechanical properties of asphalt mixtures with Recycled Concrete Aggregates. *Journal: Costruction and Building Materials*, v. 24, p. 230-235
8. V.T.F. Castelo Branco; E. Masad; D.Little; J.B. Soares; L.M.G.Motta. Caracterização de forma, angularidade e textura de agregado de brita granítica e escórias de aciaria usando o Aggregate Imaging System (AIMS). In: Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 21 2007. Anais. Rio de Janeiro: Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 21, 2007.
9. P. R. R. Loiola. Estudo de Agregados e Ligantes Alternativos para Emprego em Tratamentos Superficiais de Rodovias. Estado do Ceará. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará – UFC. Fortaleza, Ceará, 2009.
10. S. L. O Pereira. Avaliação de Tratamentos Superficiais de Rodovias Através de Análise de Laboratório. Projeto de Graduação. Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Ceará – UFC. Fortaleza, Ceará. 2010.
11. F. L. L. Rocha. Utilização do Agregado Siderúrgico (Escória de Aciaria) em Revestimento Asfáltico Tipo Tratamento Superficial. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto. Minas Gerais. 2011.
12. M. A. G. Vasconcelos. Estudo Sobre o Emprego do Cape Seal em Revestimentos Rodoviários do Estado do Ceará. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará – UFC. Fortaleza, Ceará. 2013.
13. M. Yellishetty; V. Karpe; E.H.Reddy; K.N.Subhash; P.G Ranjith. Reuse of iron ore mineral wastes in civil engineering constructions: A case study. *Journal: Resources, Conservation and Recycling*, v. 52, Issue 11, September 2008, p. 1283-1289. 2008.
14. W. C. Fontes; C.J. Mendes; N.S. Silva; RA.F. Peixoto. Mortars for laying and coating produced with iron ore tailings from tailing dams. *Journal: Costruction and Building Materials*, v. 112, p. 988-995. 2016.
15. E. A. Oluwasola; M. R. Hainine; M.M.A. Aziz. Evaluation of Asphalt Mixtures Incorporating Eletric Arc Furnace Steel Slag and Copper Mine Tailings for Road Construction. *Transportation Geotechnics* 2. 2015.
16. Paulsen, G., Stroup-Gardiner, M.; Epps, J (1987). Recycling Waste Roofing Material in Asphalt Paving Mixtures. *Transportation Research Record* 1115.
17. G. H. Shafabakhsh; Y. Sajed. Investigation of Dynamic Behavior of Hot Mix Asphalt Containing Waste Materials; Case Study: Glass Cullet. *Case Studies in Construction Materials* 1,p. 96 - 103. 2014.