

DOSAGEM DE PRÉ-MISTURADO A FRIO COM INSERÇÃO DE ESCÓRIA DE ACIARIA COMO AGREGADO

DOSAGE OF COLD PRE-MIXED WITH INSERTION OF STEEL SLAG AS AGGREGATE

Juliana de Paula Rezende¹, Tales Moreira de Oliveira², Maicon de Ávila Fernandes³, Bruno Henrique Campos⁴,
Sabrina Andrade Rocha⁵, Douglas Henrique Santos Sousa⁶

¹Pós-graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, UFV. Email: jupaulaprod@gmail.com

²Professor Mestre da Universidade Federal de São João Del Rei, UFSJ. Email: talesciv@gmail.com

^{3,4,5,6}Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de São João Del Rei, UFSJ. Emails:
maiconavila89@gmail.com, brunocampos6@hotmail.com, sabrina-andrade@outlook.com, douglashssousa@gmail.com

RESUMO

O acúmulo de resíduos industriais gerados pelas siderúrgicas torna crescente a preocupação com questões de preservação ambiental, bem como com o desenvolvimento econômico sustentável. Nesse contexto, esta pesquisa consistiu na dosagem de pré-misturado a frio com inserção de escória de aciaria como agregado e emulsão de ruptura rápida (RR) como ligante. Foram realizados os ensaios Estabilidade Marshall e Resistência à tração por compressão diametral para averiguar a viabilidade desse agregado siderúrgico em substituição ao agregado convencional. Verificou-se a ocorrência de reações, provavelmente químicas, que impediram um entrosamento adequado entre o agregado siderúrgico e o ligante. Portanto, os resultados dos ensaios realizados não se mostraram satisfatórios devido à falta de aderência entre o ligante e os agregados siderúrgicos, inviabilizando o seu uso como agregado em misturas asfálticas a frio, salvo na possibilidade de utilização de aditivos que promovam a afinidade físico/química na interface ligante/agregado corrigindo a deficiência de aderência entre o ligante e os agregados. Outro fator que pode ter interferido no insucesso dessa mistura foi a utilização de emulsão de ruptura rápida (RR), sendo mais indicadas, no caso de pré-misturado a frio, emulsões de rupturas lenta (RL) ou média (RM).

Palavras-chave: Pavimento, Pré-misturado a frio, Escória de aciaria, agregado siderúrgico.

ABSTRACT

The accumulation of industrial waste generated by the steelmakers raises concerns about environmental preservation issues as well as sustainable economic development. In this context, this research consisted in the dosing of cold pre-mixed with insertion of steel slag as aggregate and emulsion of rapid rupture (RR) as binder. We performed the Marshall Stability and Tensile Strength tests by diametral compression to verify the viability of this steel aggregate in substitution of the conventional aggregate. It was verified the occurrence of reactions, probably chemical, that prevented an adequate bonding between the steel aggregate and the binder. Therefore, the results of the tests performed were not satisfactory due to the lack of adhesion between the binder and the steel aggregates, making it impossible to use as aggregate in cold asphalt mixtures, except in the possibility of using additives that promote physical / chemical affinity in the binder / aggregate interface correcting the adhesion deficiency between the binder and the aggregates. Another factor that may have interfered with the failure of this mixture was the use of Rapid Break Emulsion (RR), with slower emulsions (RL) or Medium (RM) Emulsions being preferred in case of cold premixing.

Keywords: Pavement, Cold pre-mixed, Steel slag, Steel aggregate.

1. INTRODUÇÃO

Conforme Senço (2008), pavimento é a estrutura construída sobre a terraplenagem, destinado tanto técnica quanto economicamente a resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego e distribuí-los, melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança e resistir aos esforços horizontais (desgaste), tornando mais durável a superfície de rolamento.

Os pavimentos, constituídos por material asfáltico ou concreto, são estruturalmente classificados em flexíveis, rígidos, semi-rígidos ou compostos. O pavimento flexível, constituído por material

asfáltico e agregado (gráúdo e miúdo), é usualmente o mais utilizado no Brasil e no mundo. De acordo com o manual de pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), no pavimento flexível, todas as camadas estão submetidas a deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, deste modo, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas (DNIT, 2006).

A maioria das rodovias pavimentadas no Brasil é constituída de pavimentos com revestimentos asfálticos. Os esforços provocados pelas cargas atuantes nestes pavimentos induzem o desenvolvimento de deformações elásticas ou resilientes e de deformações irreversíveis ou permanentes. As deformações elásticas repetidas geradas pelo tráfego são responsáveis pela ruptura por fadiga da mistura asfáltica, que provoca o surgimento e a evolução das trincas observadas nos revestimentos. As deformações permanentes acumuladas são responsáveis pelo afundamento de trilhas de rodas que se manifesta na superfície de rolamento (MEDINA e MOTTA, 2015).

A seleção de agregados destinados ao emprego em revestimentos asfálticos está relacionada à sua disponibilidade, custo e qualidade, bem como ao tipo de aplicação. Estudos publicados na literatura mostram a importância das propriedades dos agregados no que se refere ao comportamento mecânico de misturas asfálticas (BESSA; CASTELO BRANCO; SOARES, 2012; BESSA et al., 2014).

Segundo Senço (2008), o emprego dos agregados em pavimentação destina-se a misturas betuminosas, concreto de cimento, base de calçamentos, lastros de obras e outros. Podem se apresentar, para esses fins, resultantes de rochas fragmentadas em britadores, seixos rolados encontrados nos leitos atuais dos rios e em antigos leitos, em jazidas resultantes de alterações de rocha, e de escórias de alto-forno.

Os ligantes asfálticos são materiais termossensíveis e, ao serem empregados numa mistura com agregados, comprometem a resposta mecânica do conjunto pela variação não somente da amplitude, frequência e duração do carregamento, mas, principalmente, pela variação da temperatura. Segundo o DNIT (2006) quando os agregados e ligantes utilizados nas misturas asfálticas, permitem que o seu espalhamento seja feito a temperatura ambiente, denomina-o de revestimento Pré-Misturado a Frio.

Por definição os pré-misturados a frio (PMF) consistem em misturas usinadas de agregados gráúdos, miúdos e de enchimento, misturados com emulsão asfáltica de petróleo (EAP) à temperatura ambiente (BERNUCCI *et al.*, 2006). Segundo a Abeda (2001), as principais vantagens dessa técnica são:

- Utilização de equipamentos simples de usinagem e aplicação a frio;
- Trabalhabilidade à temperatura ambiente, sem necessidade de aquecimento dos materiais empregados;
- Possibilidade de trabalhar com agregados miúdos;
- Possibilidade de utilizar agregados britados provenientes de quase todos os tipos de rocha, devido à adesividade das emulsões catiônicas;
- Alta produtividade, possibilitando a estocagem do PMF para posterior aplicação, em serviços de tapa buracos;
- Baixo consumo de energia térmica e elétrica envolvida durante as operações de transporte, manuseio, estocagem e aplicação dos materiais (cerca de 60% a 70% da energia total consumida pelas misturas asfálticas à quente);
- Elevada capacidade de suporte às grandes deflexões das camadas subjacentes, sem fissurar ou trincar;
- Reduzida emissão de gases tóxicos e/ou poluentes melhorando as condições de saúde, segurança e preservando o meio ambiente.

Grandes quantidades de resíduos industriais são geradas pelas siderúrgicas, o que torna crescente a preocupação com o desenvolvimento econômico sustentável. Devido ao gradual esgotamento de recursos naturais e efeitos negativos que a extração de agregados para a construção de pavimentos pode causar ao meio ambiente, busca-se aproveitar estes resíduos produzidos em grande escala em obras

rodoviárias. Tal alternativa tem se mostrado bastante vantajosa, pois além de reduzir custo e degradação ambiental, reduz gastos com estocagem e tratamento e agrega valor aos rejeitos.

A escória é um resíduo siderúrgico gerado na fabricação do aço, o qual é dividido em dois tipos: de alto-forno e de aciaria. Quando a escória de aciaria recebe tratamento adequado para uso em obras civis, desde o controle da expansão até a britagem em tamanhos diversos e adequados ao uso que se pretende, passa a ser denominada de agregado siderúrgico. Se trata de um insumo de baixo custo de aquisição podendo ser utilizado como material alternativo para as camadas de pavimento.

Segundo o DNER (1994), a escória de aciaria, para ser empregada como agregado na pavimentação asfáltica, deve atender aos seguintes requisitos e limites:

- Granulometria: [...] deve-se manter na proporção de 40% na faixa de até 1,27 cm (1/2”) e 60% na faixa de 1,27 cm a 5,08 cm (2”) de abertura nominal e deve atender à granulometria de projeto;
- Massa específica: de 3 g/cm³ a 3,5 g/cm³, determinada pela ABNT (2009) NM 53.
- As propriedades características do agregado siderúrgico são (RAMOS, 2015):
- Elevada resistência mecânica, aliada a uma textura rugosa e a uma morfologia de alta cubicidade, favorecendo resistência a maior tração e, conseqüentemente, maior atrito;
- Estrutura física caracterizada por uma elevada densidade e porosidade acentuada;
- Coloração predominante cinza clara;
- Elevada resistência a variações climáticas e à abrasão, ocasionando menor desgaste e, conseqüentemente, maior permeabilidade;
- Alta estabilidade com longa durabilidade (vida) para todas as aplicações;
- Inexistência de material orgânico, atuando como inibidor natural para a vegetação;
- Intertravamento automático, produzindo uma superfície estável (excelente tração), em virtude de seu formato cúbico;
- Alto peso específico, proporcionando elevada resistência a movimentos laterais.
- Conforme Branco (2004), os principais usos da escória de aciaria são:
- Estabilização de solos;
- Matéria Prima para produção de cimento;
- Nas próprias siderúrgicas, tanto como material reciclado ou como protetor do revestimento refratário dos fornos;
- Agregado na produção de concreto, por possuir alta resistência à compressão e durabilidade à abrasão;
- Construção de lastros no leito de ferrovias, por possuir alta massa específica;
- Utilização na infra e superestrutura rodoviária, bem como em forma de cascalho em vias não pavimentadas para evitar a formação de poeira;
- Outros fins, tais como: execução de aterros, construção de peças de quebra-mar, contenção sendo utilizada na fabricação de gabiões, etc.

Este trabalho visa verificar a viabilidade técnica dos resíduos siderúrgicos adicionados às misturas asfálticas na função de agregado para confecção de revestimentos de pavimento flexível. Para isso, foram analisadas misturas asfálticas usinadas a frio por meio da obtenção de parâmetros mecânicos através de ensaios de laboratório.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

O agregado utilizado nesse trabalho foi a escória de aciaria, proveniente de forno elétrico, em substituição aos agregados miúdos e graúdos oriundos de pedreiras, tradicionalmente utilizados. O

ligante asfáltico empregado foi a emulsão de ruptura rápida RR-1C, em substituição as emulsões de ruptura lenta (RL) ou ruptura média (RM), tradicionalmente utilizadas em pré-misturados a frio.

2.2. Métodos e Procedimentos

Adiante, serão apresentados todos os métodos utilizados para a caracterização da emulsão asfáltica, assim como para a caracterização da escória de aciaria. Após essas determinações, foi realizado o ensaio Marshall e o ensaio de Resistência à tração por compressão diametral para a obtenção dos parâmetros necessários na definição da viabilidade do agregado siderúrgico, como agregado para misturas asfálticas.

Para a utilização da escória de aciaria nesta pesquisa, foi necessária a desagregação da mesma, devido aos "grumos" presentes em sua composição. Esse procedimento foi necessário, principalmente, na determinação de sua granulometria, de maneira que o material se enquadrasse nos limites superior e inferior da faixa C especificada na norma DER/PR (2005) ES-P 23.

2.2.1. Caracterização da Emulsão Asfáltica

Para a caracterização da emulsão asfáltica foram realizados os ensaios descritos abaixo:

- Ensaio de viscosidade Saybolt Furol de acordo com ABNT (2007b) NBR-14491 - Emulsões asfálticas – determinações da viscosidade Saybolt-Furol;
- Densidade e massa específica pelo uso de picnômetro conforme a DNER (1996) – ME 193 – Materiais Betuminosos Líquidos e Semissólidos – Determinação da densidade e da massa específica;
- Ensaio de resíduo por evaporação conforme prescrição da ABNT (2007a) NBR 14376 Emulsões asfálticas – Determinação do resíduo asfáltico por evaporação – Método expedito.

2.2.2. Caracterização da Escória de Aciaria

A classificação da escória de aciaria foi realizada através dos seguintes procedimentos:

- Peneiramento seguindo as instruções da norma DNER (1998a) – ME 083 Agregados – Análise granulométrica.
- Ensaio de massa específica do agregado miúdo segundo a norma DNER (1998b) – ME 194 Agregados – determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman;
- Ensaio de massa específica do agregado graúdo e absorção obedecendo ao DNER (1997) – ME 195 Agregados – determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo.

2.2.3. Caracterização da mistura

A caracterização da mistura betuminosa foi realizada por meio dos ensaios descritos abaixo:

- Ensaio de Resistência à tração por compressão diametral segundo procedimentos descritos na norma DNER (1994c) – ME 138;
- Ensaio Marshall de acordo com os procedimentos da norma DNER (1994b) – ME 107.

Foram confeccionados 15 corpos de prova, sendo 3 para cada um dos teores de ligante estudados. Todos os procedimentos realizados seguiram, rigorosamente, a norma DNER (1994b) – ME 107 - mistura betuminosa a frio, com emulsão asfáltica – ensaio Marshall.

Com base na faixa granulométrica C predefinida para este estudo, determinou-se o teor ótimo de ligante para a mistura em análise. A partir desse valor encontrado foram traçadas retas verticais nos gráficos dos parâmetros volumétricos e mecânicos determinados em função do teor de asfalto obtendo-se assim os dados referentes a uma mistura dimensionada para o teor ótimo de ligante.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Caracterização da Emulsão Asfáltica

3.1.1. Ensaio de viscosidade Saybolt-Furol

O resultado deste ensaio determina o tempo, em segundos, para que 60 ml de amostra escoe em fluxo contínuo, através de um orifício de dimensões padronizadas sob condições especificadas na ABNT (2007b) NBR 14491. A Tabela 1 fornece o tempo gasto para o completo escoamento de duas amostras de emulsão a temperatura de 50°C.

Tabela 1: Viscosidade	
Amostra	Tempo (s)
1	7,55
2	8,25

O tempo marcado no ensaio está de acordo com o estipulado pela DNIT (2013) - EM 165, que indica para a emulsão RR-1C, o tempo máximo de 90 segundos de viscosidade a 25°C.

3.1.2 Determinação da densidade e da massa específica pelo uso de picnômetro

A densidade, segundo a DNER (1996) – ME 193, é a relação de massa de um dado volume de material a 25°C ou 15,6°C, para a de igual volume de água destilada à mesma temperatura.

A Tabela 2 apresenta a massa específica e a densidade da emulsão asfáltica obtidas de acordo com o protocolo prescrito na norma citada acima para duas amostras de emulsão.

Tabela 2: Massa específica e densidade da emulsão			
Massas do picnômetro	1	2	Média
Massa Vazio (g)	26,330	25,330	25,830
Massa cheio de água (g)	55,190	52,524	53,865
Massa com 1/3 de emulsão (g)	35,710	34,290	35,000
Massa com 1/3 de emulsão + 2/3 de água (g)	56,680	55,570	56,125
Densidade da emulsão	1,189	1,511	1,350
Massa específica (g/cm ³)	1,184	1,504	1,344
Massa específica da água (g/cm ³)		0,996	

Os resultados obtidos para massa específica e para densidade da emulsão foram maiores do que esperados, já que a temperatura de 25°C a massa específica é de aproximadamente 1 g/cm³.

3.1.3 Ensaio de resíduo por evaporação

Neste ensaio a emulsão é aquecida, de forma branda e com agitação contínua a fim de evitar a ocorrência de respingos, até a total evaporação da água (ou da água e solvente) e, no decorrer do ensaio, observa-se a formação de uma fase pastosa devido a essa evaporação. O ensaio deverá ser interrompido no momento em que esta fase pastosa se transforma em um fluido de superfície espelhada, constituído pelo resíduo asfáltico. Logo após, a amostra deve ser pesada.

A Tabela 3 mostra o valor encontrado para o teor de Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) contido na emulsão utilizada em estudo para duas amostras de emulsão.

Tabela 3: Teor de CAP presente na emulsão

Tempo (h)	Massa 1 (g)	Massa 2 (g)	Média (g)	Teor de CAP (%)
0	50,270	50,420	50,345	
2	22,120	22,460	22,290	44,200
3	22,020	22,400	22,210	

A porcentagem de CAP presente na emulsão asfáltica em estudo está abaixo da estabelecida pela DNIT (2013) - EM 165, que determina para emulsão do tipo RR-1C o valor mínimo de CAP de 62%.

3.2. Caracterização da Escória de Aciaria

3.2.1. Granulometria

Trabalhou-se com a classe C, pré-misturado a frio semi-aberto ou semi-denso (PMFSD), conforme o item 5.3.1 da especificação técnica DER/PR (2005) ES-P 23.

Segundo a DER/PR (2005) ES-P 23, PMFSD é a mistura asfáltica executada à temperatura ambiente, em usina apropriada, composta de agregados minerais de granulometria descontínua e emulsão asfáltica, espalhada e compactada a frio, com volume de vazios nos limites de 10 a 20%.

Realizou-se a análise granulométrica de acordo com a DNER (1998a) – ME 083. Os resultados estão apresentados na Figura 1 e Tabela 4.

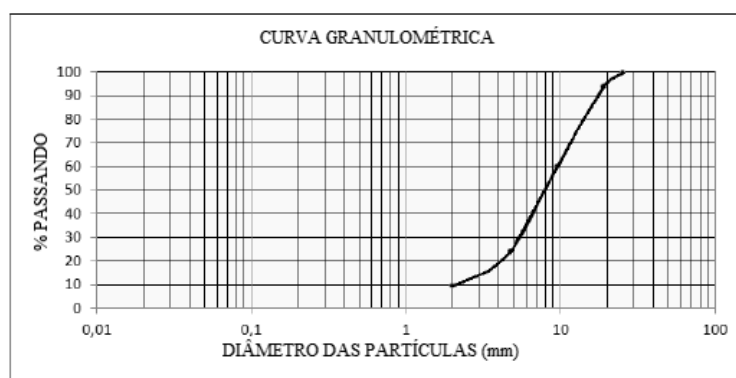


Figura 1: Curva granulométrica do agregado utilizado na mistura e os limites superior e inferior da Faixa C

Tabela 4: Granulometria da amostra de agregados

Peneira	Massa (g)	% Retida	% Passa
1"	25,400	0,0	100,000
3/4"	19,100	276,0	94,021
3/8"	9,520	155,5	60,320
4	4,760	166,5	24,236
10	2,000	680,0	9,508
200	0,074	439,0	0,000
Massa Total (g):		4614	

Verificou-se que a curva granulométrica do agregado siderúrgico se enquadrava nos limites inferiores e superiores da Faixa C, de acordo com a norma DER/PR (2005) ES-P 23.

3.2.2. Ensaio de massa específica do agregado miúdo

A massa específica do agregado miúdo é obtida através da leitura fornecida pelo frasco Chapman sendo que o volume em m³ é dado pelo conjunto água-agregado miúdo.

Com base nas etapas estabelecidas pela DNER (1998b) – ME 194, obtive os seguintes resultados para a massa específica da escória de aciaria segundo a Tabela 5.

Tabela 5: Massa específica do agregado miúdo					
Agregado Miúdo	Frasco com água		Massa do agregado (g)	Volume do conjunto (cm³)	Massa específica (g/cm³)
	Volume (cm³)	Massa (g)			
Amostra 1	300,00	556,25	487,06	435,30	3,60
Amostra 2	300,00	556,58	506,50	442,40	3,56
Massa Específica Média (g/cm³)					3,58

3.2.3. Ensaio de massa específica e absorção do agregado graúdo

Por meio dos valores de massa, pode-se calcular a massa específica na condição seca, a massa específica na condição saturada com a superfície seca e a absorção que mede o aumento da massa do agregado devido ao preenchimento dos seus poros por água, expresso como percentagem de sua massa seca.

$$\gamma = \frac{A}{B - C} \quad (1)$$

Em que:

γ : massa específica do agregado na condição seca [g/cm³];

A: massa da amostra, após a secagem na estufa e resfriamento à temperatura ambiente (massa seca em estufa) [g];

B: massa da amostra na condição saturada com a superfície seca [g];

C: massa da amostra imersa em água (massa hidrostática) [g];

Para este ensaio é recomendado, por norma, o uso de peneiras com abertura de 4,8 mm e 2,4 mm, mas se necessário podem ser utilizados outras peneiras.

Na Tabela 6 se encontram os valores de massa específica e de absorção do agregado graúdo da escória de aciaria.

Tabela 6: Massa específica e absorção do agregado graúdo					
Agregado Graúdo	Massa Seca (g)	Massa Hidrostática (g)	Massa seca em estufa (g)	Massa específica seca γ (g/cm³)	Absorção (%)
1	3106,17	2152,20	3036,26	3,18	2,30
		Tara do recipiente			694,20
		Recipiente + agregado			2846,40

3.3. Caracterização da Mistura

3.3.1. Ensaio Marshall

Foram confeccionados 15 corpos de prova, sendo 3 para cada um dos teores de ligante estudados. Os teores de resíduo (CAP) utilizados foram iguais a 3,03%, 3,37%, 3,71%, 4,06%, 4,41% para os traços 1, 2, 3, 4 e 5 respectivamente. Os teores correspondentes de emulsão para os traços 1, 2, 3, 4 e 5 foram iguais a 4,74%, 5,23%, 5,81%, 6,36% e 6,90% respectivamente.

A Tabela 7 fornece os valores médios das características dos corpos de prova para cada teor de CAP adotado.

Tabela 7: Dados médios dos corpos de prova

Traço	Massa específica aparente (g/cm ³)	Densidade Máxima Teórica (g/cm ³)	Vazios (%)	Vazios cheios com betume (%)	Vazios no agregado mineral (%)	Relação Betume-Vazios (%)	Estabilidade (Kgf)	Fluência (mm)	Tração (Kgf/cm ³)
1	2,290	3,085	25,810	5,140	30,950	16,600	339,400	5,560	3,260
2	2,340	3,070	23,630	5,920	29,550	20,040	331,700	5,160	3,050
3	2,339	3,058	24,520	6,420	30,940	21,450	391,900	5,030	3,510
4	2,320	3,044	23,730	6,970	30,700	22,750	261,000	5,950	2,220
5	2,350	3,032	22,340	7,600	29,940	25,370	279,800	5,560	2,360

Para a obtenção do teor ótimo de ligante para a mistura em análise, foi feita uma comparação entre as médias das especificações encontradas na DER/PR (2005) ES-P 23, como mostra a Tabela 8, e o teor de ligante para cada valor das características a serem alcançadas. A partir do valor encontrado foram traçadas retas verticais em cada um dos gráficos dos parâmetros volumétricos e mecânicos para a aquisição dos dados referentes a uma mistura dimensionada para o teor ótimo de ligante.

A Tabela 9 mostra os valores coletados para cada característica da mistura referentes a uma mistura dimensionada para o teor ótimo de ligante.

Tabela 8: Teor ótimo encontrado

Características	Limites	Média	Valor de teor de ligante encontrado no gráfico (%)
Índice de Vazios (%)	10 - 20	15	-
Estabilidade (Kgf)	≥ 300	-	3,71
Fluência (mm)	2,0 – 4,5	3,25	4,06
Teor de Emulsão (%)	4,5 – 6,5	5,5	-
Teor ótimo encontrado (%)			3,90

Tabela 9: Valores encontrados para o Teor ótimo do CAP

Teor ótimo (%)	Massa específica aparente (g/cm ³)	Índice de vazios (%)	Vazios no agregado mineral (%)	Relação Betume-Vazios (%)	Estabilidade (Kgf)	Fluência (mm)	Tração (Kgf/cm ³)
3,90	2,29	24,30	31,00	21,10	339,00	5,75	3,85

Observou-se que o valor da Estabilidade Marshall, encontrado para o teor ótimo de CAP, atendeu à exigência prescrita pela norma de apresentar estabilidade mínima de 300 kgf para 75 golpes.

3.3.2. Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

A Tabela 10, a seguir, mostra o resultado obtido no ensaio de Tração por compressão diametral para cinco corpos de prova.

Tabela 10: Tração por compressão diametral

Corpos de prova	Altura média (cm)	Estabilidade (Kgf)	Diâmetro (cm)	Tração (Kgf/cm ²)
1	6,56	339,60		3,26
2	6,86	331,70		3,05
3	7,03	391,90	10,10	3,51
4	7,40	261,00		2,22
5	7,46	279,80		2,36

Em posse dos valores de Resistência à tração citados por Medina e Motta (2005) para misturas a quente destinadas a capa asfáltica, observou-se que os valores obtidos (Tabela 10) foram mais adequados para a função de binder, uma vez que para a função de capa a resistência à tração do PMF foi baixa.

A Figura 2, a seguir, mostra as etapas realizadas durante o ensaio.



Figura 2: Etapas realizadas durante os ensaios

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

4.1. Corpo de Prova

Como especificado no DNER (1994b) – ME 107, após 24 horas em estufa a uma temperatura de 60°C e após 2 horas em temperatura ambiente ocorreu a extração do corpo de prova, Figura 3. Pode-se observar na Figura 2 (etapas c e d) que não ocorreu uma mistura íntima entre a escória e o agregado. Esse fato se deu devido a escória apresentar em sua composição aditivos químicos capazes de retrain o ligante, conclusão que pode ser definitiva por meio da realização do ensaio de adesividade (DNER (1994a) - ME 078).

Outro fator que pode ter interferido no insucesso dessa mistura foi a utilização de emulsão RR-1C, sendo mais indicada emulsões de rupturas lenta (RL) ou média (RM).



Figura 3: Corpo de Prova

4.2. Teor de Ligante

O teor de emulsão asfáltica ótimo encontrado no Ensaio Marshall (Tabela 9) apesar de ter ficado dentro da faixa estabelecida pela norma DER/PR ES-P 23/05, como é observado na Tabela 8, não proporcionou um recobrimento satisfatório do agregado pela emulsão asfáltica.

4.3. Mistura

Durante a preparação da mistura observou-se um endurecimento muito rápido da emulsão acrescentada aos agregados. Assim, houve dificuldade na homogeneização da mistura durante a agitação mecânica. Esse evento pode ser explicado pelo uso de emulsão de ruptura rápida, ao invés das tradicionais indicadas para pré-misturados a frio. Em serviços de pré-misturado a frio, cuja emulsão recomenda é a do tipo média RM ou RL, a ruptura se inicia logo após a mistura da emulsão com os materiais pétreos que compõem o traço, concluindo-se após alguns minutos. Ao utilizar a emulsão de ruptura rápida a ruptura se inicia com o contato da emulsão com a superfície dos agregados e se conclui em poucos minutos, dificultando uma perfeita homogeneização da mistura, ocasionando um recobrimento insatisfatório da mistura.

Outro fator que pode ter interferido no insucesso da mistura é devido ao comportamento termoviscoso do ligante asfáltico, pois a medida da viscosidade está relacionada com a força de atração das moléculas. Como a viscosidade é inversamente proporcional à temperatura, quanto maior a temperatura, menos viscoso é o líquido. Durante a execução dos ensaios a temperatura ambiente do laboratório estava baixa, por consequência a emulsão mostrou-se mais viscosa e isso pode, também, justificar o endurecimento mais rápido.

5. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que não ocorreu a completa reação entre os componentes da mistura confeccionada na pesquisa. De acordo com o comportamento vislumbrado ao longo dos ensaios verificou-se a ocorrência de reações, provavelmente químicas, não identificadas por este trabalho, que impediram um entrosamento adequado entre o agregado siderúrgico testado e a emulsão utilizada. Sugere-se então a utilização de aditivo dope que tem como finalidade promover a afinidade físico/química na interface ligante/agregado, corrigindo a deficiência de aderência entre os ligantes e os agregados.

Outro fator que pode ter influenciado no insucesso da mistura foi o uso de emulsão de ruptura rápida, ao invés das tradicionais indicadas para pré-misturados a frio (RL ou RM). Ao utilizar a emulsão de ruptura rápida a ruptura se inicia com o contato da emulsão com a superfície dos agregados e se conclui em poucos minutos, dificultando uma perfeita homogeneização da mistura.

Com relação à dosagem Marshall, observou-se que, quanto à estabilidade Marshall os corpos de prova atenderam à exigência de apresentarem estabilidade mínima de 300 kgf para 75 golpes de acordo com a norma DER/PR ES-P 23/05.

Com relação ao comportamento do material submetido ao ensaio de Resistência à tração por compressão diametral, concluiu-se que os resultados foram consideravelmente inferiores aos das misturas a quente apresentados por Medina e Motta (2005) destinadas a capa asfáltica. Sendo assim, os resultados do pré-misturado a frio, indicaram que esse material é mais indicado para ser utilizado na função de binder (camada de ligação posicionada imediatamente abaixo da capa) que requer uma menor resistência.

Em vista disso, os resultados aqui preliminares, não impedem a possibilidade de uso desta escória de aciaria em pré-misturado a frio. Portanto, essa pesquisa poderá contribuir para o enriquecimento do banco de dados referentes ao uso de escória de aciaria em misturas asfálticas, estimulando a adoção desses agregados siderúrgicos na pavimentação.

AGRADECIMENTOS

DTECH/UFSJ, Grupo de Pesquisa em Infraestrutura de Transportes e Obras Geotécnicas – INFRAGEO e FAPEMIG.

6. REFERÊNCIAS

ABEDA. Manual Básico de Emulsões Asfáltica. Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto -. Soluções para Pavimentar sua Cidade, Rio de Janeiro, 2001.

ABNT NBR NM 53 - Agregados – Determinação da absorção e da massa de agregado graúdo – Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2009.

ABNT NBR 14376 – Emulsões asfálticas – Determinação do resíduo asfáltico por evaporação (método expedito), Rio de Janeiro, 2007a.

ABNT NBR 14491 – Emulsões asfálticas - Determinação da viscosidade Saybolt-Furol, Rio de Janeiro, 2007b.

BERNUCCI, L. B., Motta, L. G., Ceratti, J. A. e Soares, J.B. Pavimentação Asfáltica - Formação Básica para Engenheiros. (4º Edição), Rio de Janeiro, Petrobras, 2006.

BESSA, I. S.; CASTELO BRANCO, V. T. F.; SOARES, J. B. Evaluation of different digital image processing software for aggregates and hot mix asphalt characterizations. Construction and Building Materials, 2012.

BESSA, I. S.; CASTELO BRANCO, V. T. F.; SOARES, J. B.; NOGUEIRO NETO, J. A. Aggregate Shape Properties and Their Influence on the Behavior of Hot-Mix Asphalt. Journal of Materials in Civil Engineering, 2014.

BRANCO, V.T.F.C. Caracterização de Misturas Asfálticas com o Uso de Escória de Aciaria como Agregado. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2004.

DER/PR Pavimentação: Pré-Misturado A Frio. Departamento De Estradas de Rodagem do Estado do Paraná. DER/PR – ES-P 23 –18p, 2005.

DNER Agregado graúdo – adesividade a ligante betuminoso. Departamento Nacional de Estradas De Rodagem, DNER – ME 078 – Rio de Janeiro, 1994a.

DNER Mistura betuminosa a frio, com emulsão asfáltica – ensaio Marshall. Departamento Nacional de Estradas De Rodagem. DNER – ME 107 - Rio de Janeiro, 1994b.

DNER Misturas betuminosas - determinação da resistência à tração por compressão diametral. Departamento Nacional de Estradas De Rodagem. DNER – ME 138 – Rio de Janeiro, 1994c.

DNER Materiais Betuminosos Líquidos e Semi – Sólidos - Determinação da densidade e da massa específica. Departamento Nacional de Estradas De Rodagem. DNER – ME 193 – Rio de Janeiro, 1996.

DNER Agregados – Determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo. Departamento Nacional de Estradas De Rodagem. DNER – ME 195 – Rio de Janeiro, 1997.

DNER Agregados – Análise Granulométrica. Departamento Nacional de Estradas De Rodagem. DNER - ME 083 –, Rio de Janeiro, 1998a.

DNER Agregados – Determinação da Massa Específica de Agregados Miúdos por Meio do Frasco Chapman. Departamento Nacional de Estradas De Rodagem. DNER – ME 194 – Rio de Janeiro, 1998b.

DNIT Emulsões asfálticas para pavimentação – Especificação de material. Departamento Nacional de Infra-Estrutura De Transportes. DNIT – EM - 165 - Rio de Janeiro, 2013.

DNIT Manual de Pavimentação. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, (3ª Edição), Rio de Janeiro, 2006.

MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. Mecânica dos pavimentos. 3ª edição, Rio de Janeiro, Interciência, 638p, 2015.

RAMOS F. M. II Workshop de Sustentabilidade do Setor Siderúrgico Brasileiro. Apresentação Multiserv, 2008.

RAMOS F. M. Da aciaria para o pavimento. Portal Metálica da Construção Civil- <<http://www.metalica.com.br/da-aciaria-para-o-pavimento>> acesso 27/10/2017.

SENÇO, W. Manual de técnicas de pavimentação. (2ª edição), Editora PINI Ltda, São Paulo, 2008.

THOMAZ, E. C. S. Escória de alto forno Parte 1 – Fabricação – Notas de Aula, IME – Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2012.