

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE MISTURAS ASFÁLTICAS UTILIZANDO SEIXO COMO AGREGADO PÉTREO.

Tiago Bauer Filasco (1), Luiz Renato Steiner (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) *tiago-bf@hotmail.com*, (2) *luizsteiner@unesc.net*

RESUMO

A malha rodoviária pavimentada no país é muito pequena, apenas 12,3% da extensão rodoviária nacional. Por isso há uma extensa malha a ser pavimentada, necessitando de enormes quantidades de materiais pétreos, tendo em vista que o agregado representa aproximadamente 94% das misturas asfálticas. A variedade de agregados passíveis de utilização nos revestimentos asfálticos é muito grande. Contudo, cada utilização requer agregados com características específicas e isso inviabiliza muitas fontes potenciais. Deste modo, buscou-se, neste estudo, analisar o comportamento de misturas asfálticas utilizando-se seixo *in natura* (seixo bruto) e britado, como agregado pétreo e tendo como referência uma mistura com agregado de rocha basáltica britada, extraída de uma jazida de Bom Jardim da Serra, SC. A composição granulométrica utilizada no estudo foi enquadrada na Faixa “C” do DEINFRA, para misturas asfálticas densas. A metodologia adotada para misturas asfálticas foi a Marshall, que visa buscar o teor de ligante ideal, atendendo os requisitos estabelecidos pela norma DNIT 031/2006-ES. O cimento asfáltico, utilizado nas misturas, foi o CAP 50/70. Foram moldados três corpos de provas para cada um dos cinco teores de ligantes adotados para o estudo de cada mistura. Na mistura de referência chegou-se a um teor de 4,0%. Quanto à mistura de seixo britado, o teor foi de 7,3%. A mistura de seixo bruto não atendeu ao requisito de volume de vazios e conseqüentemente não se chegou a um teor ideal. Após determinado o teor de projeto para as misturas britadas, foram moldados mais três corpos de prova para cada mistura a fim de realizar o ensaio de resistência a tração por compressão diametral, tendo como resultado 1,4 MPa para a mistura com o agregado de referência e 1,0 MPa para a mistura com o seixo britado, ambos superiores ao mínimo exigido pela norma. Deste modo, por não atender um requisito da norma o seixo bruto não é indicado no uso como agregado de misturas asfálticas. Se o mesmo for britado, atende os requisitos estabelecidos, porém com elevado teor de ligante.

Palavras-Chave: *Misturas Asfálticas, Agregados, Seixo, Dosagem Marshall.*

1. INTRODUÇÃO

A malha rodoviária pavimentada do Brasil é muito pequena, tendo aproximadamente 25 km de rodovias pavimentadas para cada 1000 Km² de área, o que corresponde a apenas 12,3 % da extensão rodoviária nacional (CNT, 2016). Portanto, há ainda muitas estradas que necessitam de revestimento asfáltico para possibilitar o acesso aos municípios ou povoados, permitindo o desenvolvimento, o conforto e a melhor qualidade de vida da população (SANT'ANA, 2009, p. 25).

Os pavimentos são estruturas de múltiplas camadas, sendo o revestimento a camada que recebe diretamente as cargas dos veículos, deve ser impermeável tanto quanto possível, por causa da ação climática. Também destinado a melhorar a superfície de rolamento quanto às condições de conforto e segurança, além de resistir ao desgaste aumentando a durabilidade da estrutura (SENÇO, 2007, p. 20). Por estes motivos, para que seja bem dimensionada a estrutura desta camada, deve se estudar todas as variáveis e todos os materiais que a constituem.

Segundo Bernucci et al. (2006, p.157):

Na maioria dos pavimentos brasileiros usa-se como revestimento uma mistura de agregados minerais, de vários tamanhos, podendo também variar quanto à fonte, com ligantes asfálticos que, de forma adequadamente proporcionada e processada, garanta ao serviço executado os requisitos de impermeabilidade, flexibilidade, estabilidade, durabilidade, resistência à derrapagem, resistência à fadiga e ao trincamento térmico de acordo com o clima e o tráfego previsto para o local.

A maioria dos ligantes utilizados nos revestimentos é de cimento asfáltico de petróleo (CAP), o qual é obtido a partir de processos de refinamento do petróleo cru, sendo muito viscoso e tendo consistência sólida a semissólida em temperaturas ambientes. Possui geralmente boa aderência aos agregados, além de apresentar propriedades como impermeabilidade, flexibilidade, relativa durabilidade e grande resistência a maior parte dos ácidos, sais e álcalis, além de ser insolúvel em água (BALBO, 2007, p.111).

No que diz respeito ao agregado a norma ABNT NBR 9935/2011, o define como “material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para produção de argamassas e de concreto”.

O Manual de Pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT, 2006, p.78) define os agregados utilizados em pavimentação como naturais ou artificiais, o primeiro é utilizado como encontrado na natureza,

como o pedregulho e o seixo rolado, o segundo necessita de uma transformação física ou química do material natural para sua utilização como a escoria e a argila expandida.

As propriedades das misturas asfálticas quentes são significativamente influenciadas por propriedades da combinação de agregados. Dentre essas, a forma do agregado gráudo, a qual deve ser aproximadamente cúbica e livre de partículas muito alongadas ou lamelares. Os agregados gráudos e miúdos de texturas rugosas e arestas vivas (angularidade) tendem a desenvolver mais atrito interno e melhor adesividade passiva que os arredondados de textura lisa (SOUZA, 2007, P.30).

A granulometria dos agregados desempenha um fator determinante nas misturas asfálticas, pois o esqueleto mineral representa em torno de 94% da composição da mistura. Uma distribuição granulométrica bem dosada é um dos principais pontos para a elaboração de uma mistura asfáltica apresentar um bom desempenho a curto, médio e longo prazo.

“A variedade de agregados passíveis de utilização nos revestimentos asfálticos é muito grande. Contudo, cada utilização em particular requer agregados com características específicas e isso inviabiliza muitas fontes potenciais”. (BERNUCCI, et al., 2006, p. 116). Como visto anteriormente pouca rodovia é pavimentada e para se confeccionar um pavimento, muito material pétreo é demandado. Tendo em vista que vários fatores podem fazer o material não ser aproveitado por não atenderem as características necessárias para utilização em pavimentação. Há a necessidade de realizar ensaios a fim de encontrar fontes de material pétreo cabíveis de serem utilizados.

Diante disto, busca-se neste estudo avaliar o comportamento físico e mecânico de misturas asfálticas utilizando o seixo como agregado pétreo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir, são apresentados os materiais utilizados na pesquisa, bem como a metodologia e os procedimentos de ensaio empregados em laboratório, conforme as normas e especificações vigentes.

2.1 MATERIAIS

Para elaboração das misturas asfálticas foram utilizados os seguintes materiais: CAP 50/70 como ligante asfáltico e três tipos de agregados, descritos abaixo.

2.1.1 Agregados

Os agregados utilizados neste estudo foram coletados de três lugares distintos. O seixo utilizado *in natura* foi retirado manualmente do leito do rio Mampituba, que faz divisa entre os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. O seixo britado foi fornecido pela empresa Transmac Comércio e Transportes Ltda. ME, localizada em Sanga das Pedras, Morro Grande, SC. Estes seixos, segundo Gustavo Simão, são de rochas da Formação Serra Geral, desta forma, os seixos são compostos por diferentes rochas ou mesmos diferentes níveis dentro destas mesmas rochas, a porção predominante dos seixos é de rocha vulcânica, principalmente basaltos, (Informação verbal)¹. O terceiro agregado é oriundo de uma jazida localizada em Bom Jardim Da Serra, SC, fornecido pela empresa CONFER Construtora Fernandes Ltda., situada em Criciúma, SC. Este é proveniente de rocha sã e predominantemente composto por basalto. Por ser muito utilizado em pavimentações da região o mesmo será denominado como agregado de referência. A Figura 1 apresenta na parte superior o seixo bruto e na parte inferior o seixo britado ambos secos e retidos nas peneiras de 1/2", 3/8", #4 e #10.

¹ Gustavo Simão, Geólogo do Setor de Projetos Ambientais do Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas (IPAT) da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC).

Figura 1: Seixo retido nas respectivas peneiras.



Fonte: Do Autor (2017).

2.1.2 Ligante Asfáltico

O ligante asfáltico (Figura 2) utilizado em todas as misturas é o CAP 50/70 da Refinaria Alberto Pasqualini (REFAP), localizada em Canoas, Rio Grande do Sul e fornecido pela empresa SETEP CONSTRUÇÕES S.A, localizada na cidade de Criciúma, Santa Catarina.

Figura 2: CAP 50/70.



Fonte: Do Autor (2017).

2.2 MÉTODOS

A metodologia da pesquisa consistiu na moldagem de corpos de prova cilíndricos de concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ), dosadas por meio da metodologia Marshall cuja granulometria se enquadra na Faixa “C” do Departamento Estadual de Infraestrutura (DEINFRA). Foram moldadas três misturas asfálticas, uma utilizando como agregado pétreo o seixo britado, outra o seixo Bruto e outra o basalto britado.

2.2.1 Caracterização dos materiais

A seguir serão mostrados os ensaios de caracterização do ligante asfáltico e dos agregados empregados neste trabalho.

2.2.1.1 Agregados

Os ensaios para caracterizar os agregados naturais foram executados no Laboratório de Mecânica dos Solos e Asfalto (LMSA), do Instituto de Engenharia e Tecnologia (IDT), da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Os ensaios realizados foram:

- Granulometria (DNER-ME 083/98);
- Absorção (DNER-ME 081/98);
- Índice de forma (NBR 7809/2005);
- Equivalente de Areia (DNER-ME 054/97);
- Determinação da abrasão Los Angeles (DNER-ME 035/98)
- Adesividade (DNER-ME 078/94);
- Densidade Real e aparente dos grãos (DNER-ME 084/95 e DNER-ME 085/94).

2.2.1.2 Ligante Asfáltico

As características do cimento asfáltico de petróleo (CAP 50/70) são provenientes do laboratório REFAP/OT/QP, localizado na Avenida Getúlio Vargas, Canoas, RS. Sendo realizados os seguintes ensaios:

- Penetração (NBR 6576/2007);

- Viscosidade Brookfield (NBR 15184/2005);
- Ponto de amolecimento (NBR 6560/2008);
- Ductilidade (NBR 6293/2001);
- Índice de suscetibilidade térmica (DNER-ME 204/95);
- Solubilidade em tricloroetileno (NBR 14855/2002), e;
- Ponto de fulgor (NBR 11341/2014).

2.2.2 Dosagem das misturas

Para poder comparar os resultados, a composição granulométrica obtida do seixo britado foi enquadrada dentro da Faixa “C” do DEINFRA. Para cada mistura foram moldados quinze corpos de prova, sendo três corpos de prova para cada um dos cinco teores de ligante.

2.2.3 Resistência a tração por compressão diametral

Após a definição do teor ótimo de ligante foram moldados três corpos de prova para cada mistura estudada (seixo bruto, seixo britado e basalto britado). Uma vez moldados, os mesmos foram submetidos ao ensaio de determinação da resistência à tração diametral, especificado pela norma DNIT 136/2010 – ME.

2.2.4 Cantabro

Após a definição do teor ótimo de ligante foram moldados três corpos de prova para cada mistura estudada (seixo bruto, seixo britado e basalto britado). Uma vez moldados, os mesmos foram submetidos ao ensaio especificado pela norma DNER - ME 383/99 que determina o desgaste por abrasão de misturas asfálticas, empregando a máquina de abrasão Los Angeles sem as esferas de aço, com intuito de verificar se o agregado com formato arredondado interferia no desgaste de abrasão Cantabro.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentadas as análises e as discussões dos resultados experimentais obtidos em ensaios de laboratório como caracterização de materiais, dosagem de misturas pela metodologia Marshall e ensaios mecânicos das misturas em estudo.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A seguir serão mostrados os resultados obtidos nos ensaios de caracterização dos agregados e do ligante asfáltico, empregados neste trabalho.

3.1.1 Agregados

Para comparação entre os agregados utilizados, os mesmos terão a mesma composição granulométrica obtida através da granulometria (DNER-ME 083/98) de três frações selecionadas do seixo britado: brita 3/4" (19 mm), pedrisco (9,5 mm) e pó de pedra (4,8 mm), os resultados da granulometria podem ser vistos na tabela 1.

Tabela 1: Granulometria do seixo britado.

Peneiras		Material Passante (%)		
Malha	mm	Brita 3/4"	Pedrisco	Pó de Pedra
3/4"	19,1	100	100	100
1/2"	12,7	40,01	100	100
3/8"	9,5	10,67	100	100
#4	4,8	0,07	9,51	99,37
#10	2,0	0,07	0,57	61,90
#40	0,42	0,07	0,52	30,44
#80	0,18	0,07	0,51	16,68
#200	0,075	0,07	0,41	9,36

Fonte: Do Autor (2017).

Na Tabela 2, estão apresentados os demais ensaios de caracterização dos agregados utilizados nas misturas.

Tabela 2: Caracterização física dos agregados das misturas.

Ensaio		Referência	Seixo Britado	Seixo Bruto
Abrasão Los Angeles (%)		10,4	11,3	17,4
Equivalente de areia (%)		73	71	71
Índice de Forma (%)	Cúbica	81	61	79
	Lamelar	14	31	15
	Alongada	5	7	5
	Alongada-Lamelar	0	1	1
Adesividade		Satisfatório	Satisfatório	Satisfatório
Absorção (%)		0,8	2,6	3,8
Densidades (g/cm ³)		-	-	-
Agreg. Graudo	Real	3,039	2,970	2,761
	Aparente	2,971	2,752	2,497
Agreg. Miúdo	Real	2,968	2,958	2,789
Agreg. Fino	Real	2,932	2,830	2,830*

* Uso do agregado fino proveniente do seixo britado.

Fonte: Do Autor (2017).

Pode se constatar que todos os agregados no ensaio de adesividade obtiveram resultado satisfatório, pois não apresentaram deslocamento da película do ligante asfáltico nos agregados.

O ensaio de desgaste por abrasão Los Angeles mostrou que o seixo bruto tem um desgaste de 17,4%, maior que os desgastes do seixo britado e do agregado da mistura de referência, 11,3% e 10,4%, respectivamente. Isso, provavelmente, acontece devido ao seixo ser heterogêneo e por não ter sofrido nenhum processo mecânico de britagem, que reduziria as rochas mais frágeis em partículas menores e, como consequência, não estariam presentes no ensaio. Porém, como a norma DNIT 031/2006-ES estabelece valor de abrasão Los Angeles menor que 50%, todos podem ser utilizados nas misturas.

O ensaio de equivalente de areia consiste em determinar a proporção relativa de materiais do tipo argila ou pó em amostras de agregados miúdos (menor que 4,8 mm), no qual os resultados encontrados devem ser de pelo menos 55% para ser utilizado como agregado de concreto asfáltico. Desta forma, todos os agregados obtiveram resultados satisfatórios.

A absorção, que representa a relação entre a massa de água absorvida pelo agregado graúdo após 24 horas de imersão à temperatura ambiente e a massa inicial do material seco, apresentou grande variação de um agregado para o outro. Deste modo, o ensaio indicou que o agregado de referência, que apresentou menor absorção (0,8%), necessitou de menos ligante asfáltico, para que a mistura ficasse mais coesa. Segundo Bernucci (2006, p.142), agregados com elevada porosidade, normalmente indicada pela alta absorção, não devem ser utilizados em misturas asfálticas, pois além de consumir maior quantidade de ligante, podem apresentar porosidade variável conforme a amostragem, o que dificulta estabelecer o teor de ligante adequado.

3.1.2 Ligante asfáltico

Na Tabela 3, são apresentadas as temperaturas ótimas e a faixa de trabalho de aquecimento (controladas em estufas) do ligante e dos agregados, assim como a temperatura de compactação da mistura.

Tabela 3: Temperaturas do ligante asfáltico utilizadas no projeto

Temperaturas	Ótima	Faixa de Trabalho		
Aquecimento do ligante (°C)	155	151,2	-	158,5
Aquecimento dos agregados (°C)	165	165	-	170
Compactação da mistura (°C)	140	138	-	143,5

Fonte: Do Autor (2017).

Os resultados obtidos na caracterização do ligante asfáltico estão apresentados na Tabela 4, os quais se enquadraram dentro das especificações vigentes no Brasil.

Tabela 4: Método, especificação e resultados do CAP 50/70.

Característica	Método	Especificação	Resultado	Unidade
PENETRAÇÃO	NBR 6576	50 a 70	55	0,1 mm
PONTO DE AMOLECIMENTO	NBR 6560	46 min	49,0	°C
VISCOSIDADE BROOKFIELD 135GC-SP21 20RPM	NBR 15185	274 min	278	cp
VISCOSIDADE BROOKFIELD 150GC-SP21	NBR 15185	112 min	156	cp
VISCOSIDADE BROOKFIELD 177GC-SP21	NBR 15185	57 a 285	60	cp
RTFOT PENETRAÇÃO RETIDA	NBR 6576	55 min	65	%
RTFOT AUMENTO DO PONTO DE AMOLECIMENTO	NBR 6560	8 max	2,2	°C
RTFOT DUCTILIDADE A 25 GC	NBR 6293	20 min	>147	cm
RTFOT VARIAÇÃO EM % MASSA	-	-0,5 a 0,5	0,036	%
DUCTILIDADE A 25 GC	NBR 6293	60 min	>147	cm
SOLUBILIDADE NO TRICLOROETILENO	NBR 14855	99,5 min	100,0	% massa
PONTO DE FULGOR	NBR 11341	235 min	>236	°C
INDICE DE SUSCETIBILIDADE TÉRMICA	-	-1,5 a 0,7	-1,2	N/A

Fonte: REFAP/OT/QP – PETROBRAS (2017)

3.2 DOSAGEM DAS MISTURAS ASFÁLTICAS

3.2.1 Composição granulométrica

Como mencionado anteriormente, a composição granulométrica foi a mesma para todos os três agregados, sendo a granulometria obtida do seixo britado composta por 62% de pó de pedra, 27% de pedrisco e 11% de brita 3/4", resultando numa granulometria que se enquadrou dentro da Faixa "C" do DEINFRA, conforme mostrado na Tabela 5.

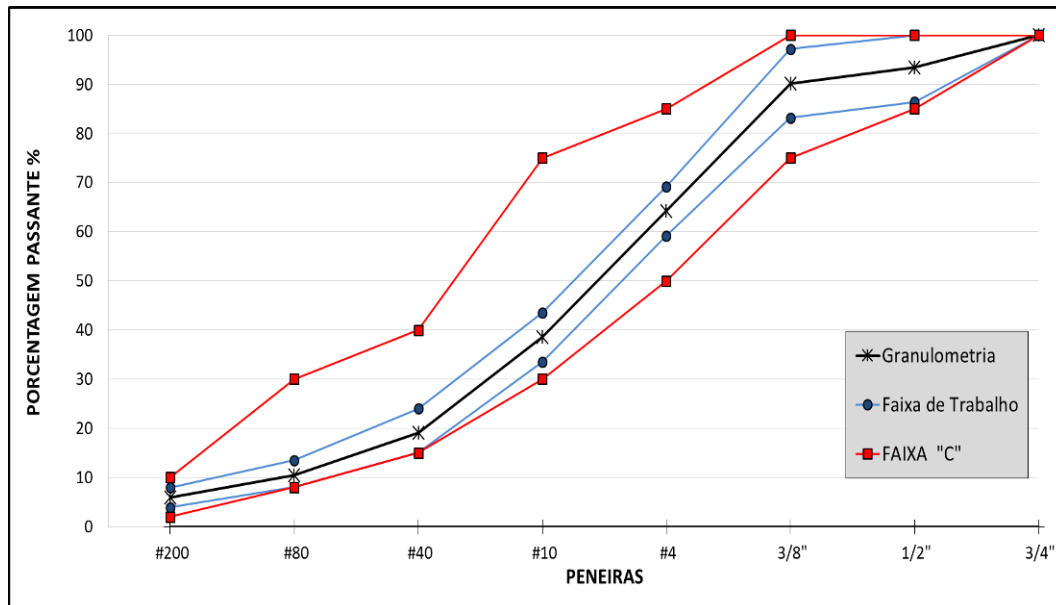
Tabela 5: Composição granulométrica (Seixo britado).

Peneira	Brita 3/4"	11,00%		27,00%		62,00%		Projeto (% passante)	Especificação	
		% Pass.	% Comp.	% Pass.	% Comp.	% Pass.	% Comp.			
mm	Malha							Granulometria Encontrada	Faixa de Trabalho	CAUQ FAIXA "C"
19,1	3/4"	100,00	11,00	100,00	27,00	100,00	62,00	100,0	100,0 - 100,0	100,0 - 100,0
12,7	1/2"	40,01	4,40	100,00	27,00	100,00	62,00	93,4	86,4 - 100,0	85,0 - 100,0
9,5	3/8"	10,67	1,17	100,00	27,00	100,00	62,00	90,2	83,2 - 97,2	75,0 - 100,0
4,8	#4	0,07	0,01	9,51	2,57	99,37	61,61	64,2	59,2 - 69,2	50,0 - 85,0
2,0	#10	0,07	0,01	0,57	0,15	61,90	38,38	38,5	33,5 - 43,5	30,0 - 75,0
0,42	#40	0,07	0,01	0,52	0,14	30,44	18,88	19,0	15,0 - 24,0	15,0 - 40,0
0,18	#80	0,07	0,01	0,51	0,14	16,68	10,34	10,5	8,0 - 13,5	8,0 - 30,0
0,075	#200	0,07	0,01	0,41	0,11	9,36	5,81	5,9	3,9 - 7,9	2,0 - 10,0

Fonte: Do Autor (2017).

A Figura 3 mostra que a curva granulométrica da faixa de trabalho se enquadra dentro da faixa “C” do DEINFRA.

Figura 3: Curva granulométrica da faixa de trabalho.



Fonte: Do Autor (2017).

O seixo bruto, por não possuir quantidade suficiente de material passante na malha #80, precisou ser complementado com material proveniente do seixo britado para se enquadrar nesta granulometria.

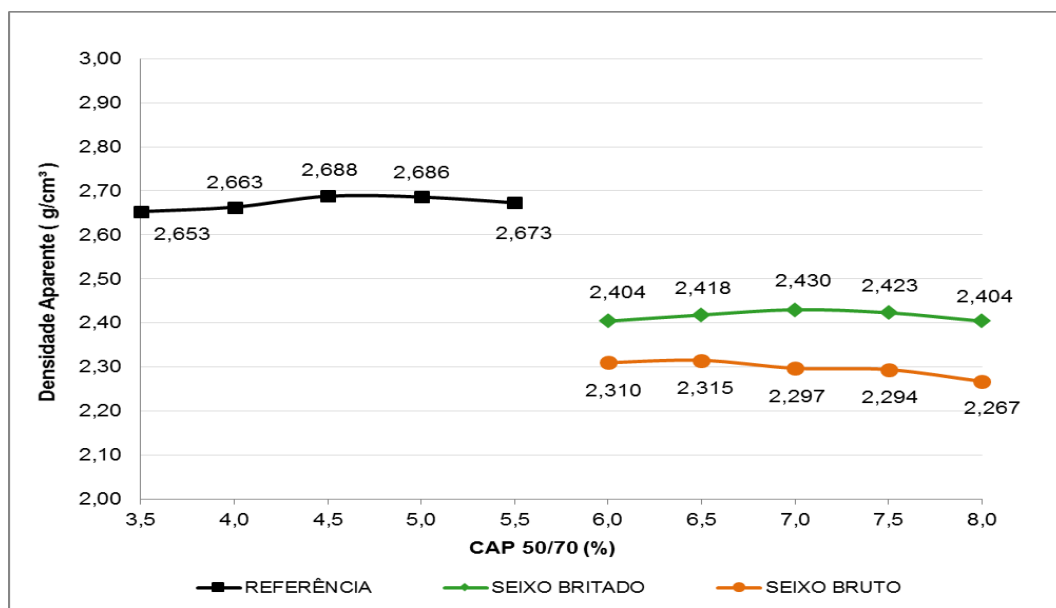
3.2.2 Dosagem Marshall

Para cada agregado (seixo bruto, seixo britado e basalto) três corpos de prova para cada teor de ligante adotado foram moldados. Para o agregado de referência, de menor absorção (0,8%), foram adotados teores de 3,5; 4,0; 4,5; 5,0 e 5,5% de CAP 50/70. Para o seixo bruto e seixo britado os teores de CAP foram de 6,0; 6,5; 7,0; 7,5 e 8,0%. Após definição dos teores, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio Marshall, com o objetivo principal de definir a melhor porcentagem de ligante, que atenda as especificações de estabilidade, volume de vazios (Vv) e relação betume vazios (RBV) em cada uma das misturas asfálticas. A média dos resultados dos três corpos de prova de cada teor de ligante obtidos do ensaio Marshall para

cada mistura com seu respectivo agregado, estão apresentados nas figuras 4, 5, 6, 7, 8 e 9.

Na Figura 4, a mistura com o agregado de referência apresentou a maior densidade aparente, tendo todos os resultados acima de 2,650 g/cm³, chegando ao máximo, com 4,7% de CAP 50/70 e com densidade aparente de 2,690 g/cm³. O seixo britado apresentou maior densidade aparente (2,430 g/cm³) com 7,1%, enquanto que o seixo bruto chega a máxima densidade (2,320 g/cm³) com 6,4%.

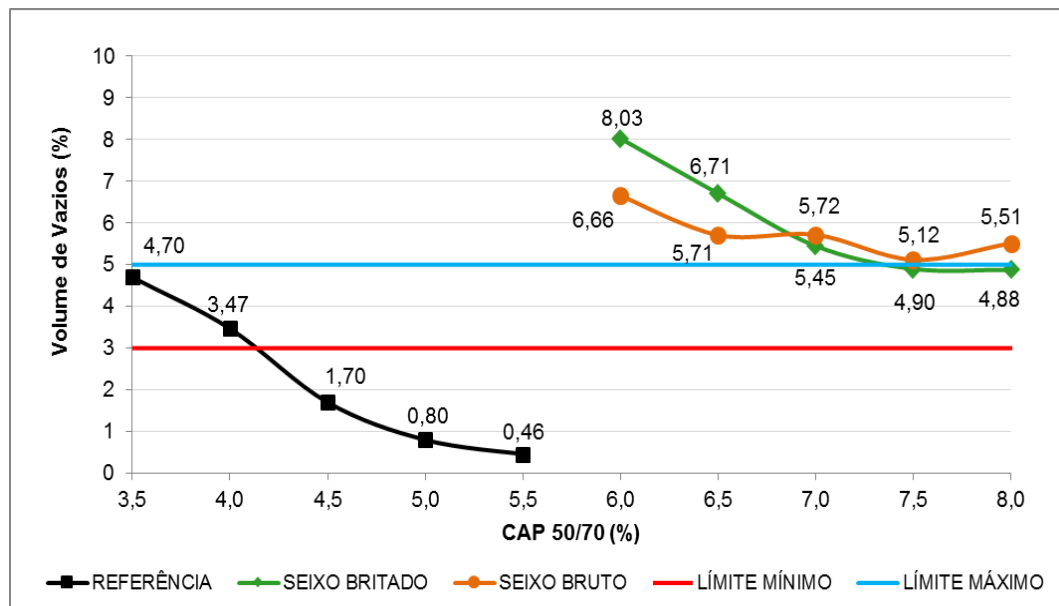
Figura 4: Densidade aparente (g/cm³), em função do teor de CAP.



Fonte: Do Autor (2017).

Na Figura 5 são apresentados os valores dos volumes de vazios (Vv) das misturas em função do teor de ligante adotado. A norma DNIT 031/2006-ES estabelece valores de 3,0 a 5,0% de volume de vazios para camada de rolamento. A mistura com agregado de referência apresentou Vv abaixo do limite máximo da norma, já com 3,5% de ligante e chegando ao Vv mínimo com apenas 4,1%, isto porque o agregado possui absorção baixa (0,8%). A mistura com seixo britado apresentou 5% de volume de vazios somente com 7,3% de CAP. Já a mistura com seixo bruto não atingiu o limite determinado pela norma, pois a alta absorção e elevada porosidade do agregado elevava o consumo de ligante, que com 8%, o CAP estava exsudando durante a compactação do corpo de prova, grudando o soquete, inviabilizando o ensaio.

Figura 5: Volume de vazios (%).

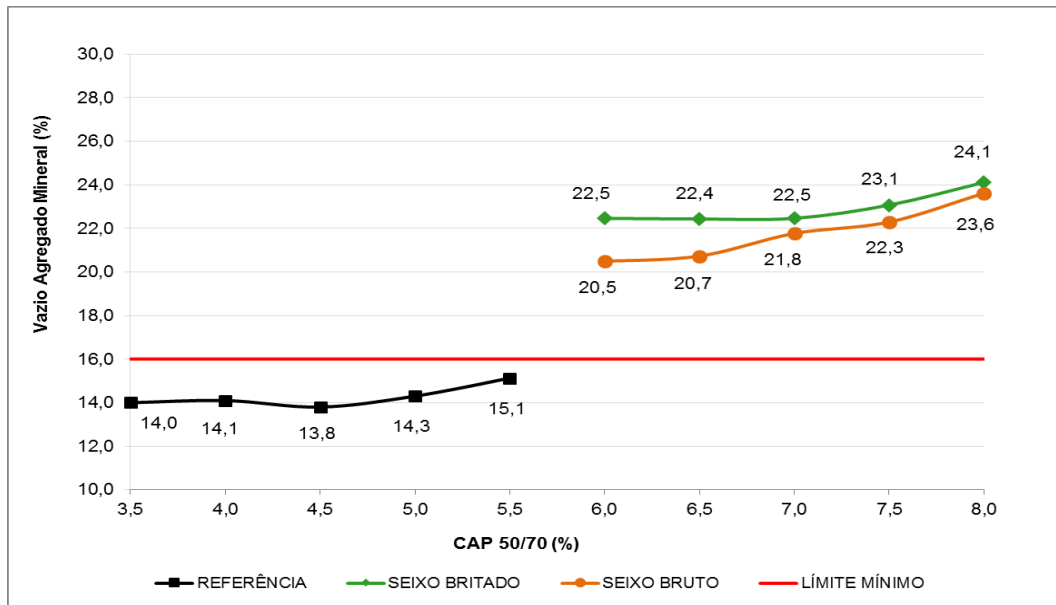


Fonte: Do Autor (2017).

A Figura 6, mostra os resultados dos vazios do agregado mineral (VAM) o qual segundo a norma DNIT 031/2006-ES estabelece um valor mínimo definido através do tamanho nominal máximo (TNM) do agregado. Neste caso, o TNM é de 12,7 mm o que estabelece um VAM mínimo de 16%. Deste modo, o agregado da mistura de referência apresentou todos os valores abaixo do mínimo. Todos os valores de VAM das misturas com seixo apresentaram valores satisfatórios. A norma sugere que se pode atender a VAM mínima ou atender as especificações da relação betume/vazios.

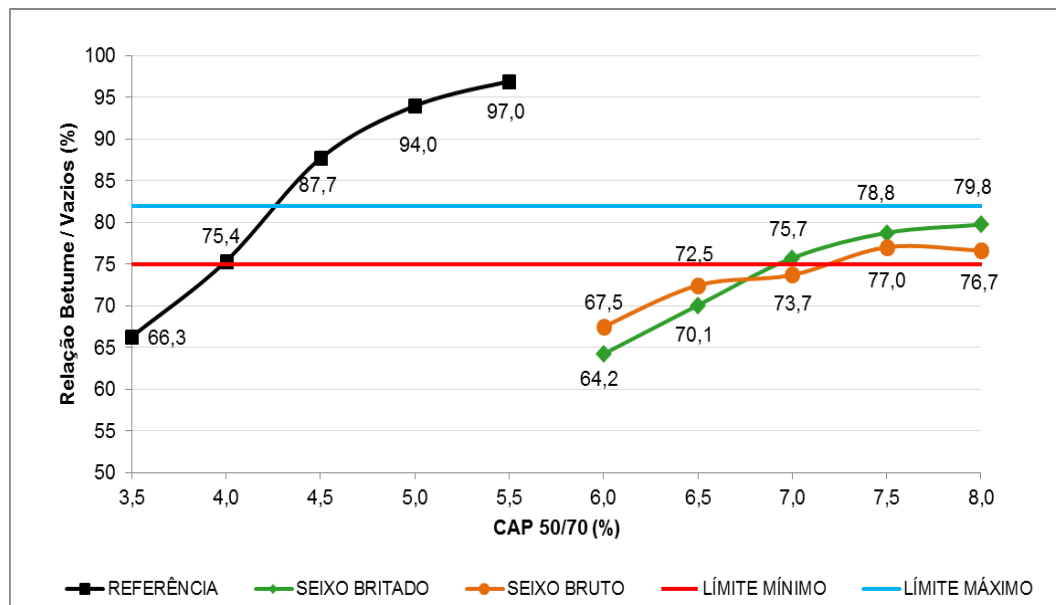
A Figura 7 mostra os resultados da relação betume/vazios (RBV) das misturas e os limites especificados pelo DNIT. A mistura com o agregado de referência atingiu os limites com teor de 3,9 e 4,2% de ligante. Para o seixo britado o limite mínimo foi atingido com 6,9% e não chegando ao limite máximo, o mesmo aconteceu com o seixo bruto que atingiu o mínimo com 7,2% de ligante. Esta grande diferença de teores necessários para que alcance o RBV mínimo, entre a mistura com agregado de referência e as misturas com seixo, se deve ao fato do seixo possuir absorção elevada, constatado na caracterização dos agregados por meio da absorção de água.

Figura 6: Vazio do agregado mineral (%), em função do teor de CAP.



Fonte: Do Autor (2017).

Figura 7: Relação betume/vazios (%), em função do teor de CAP.

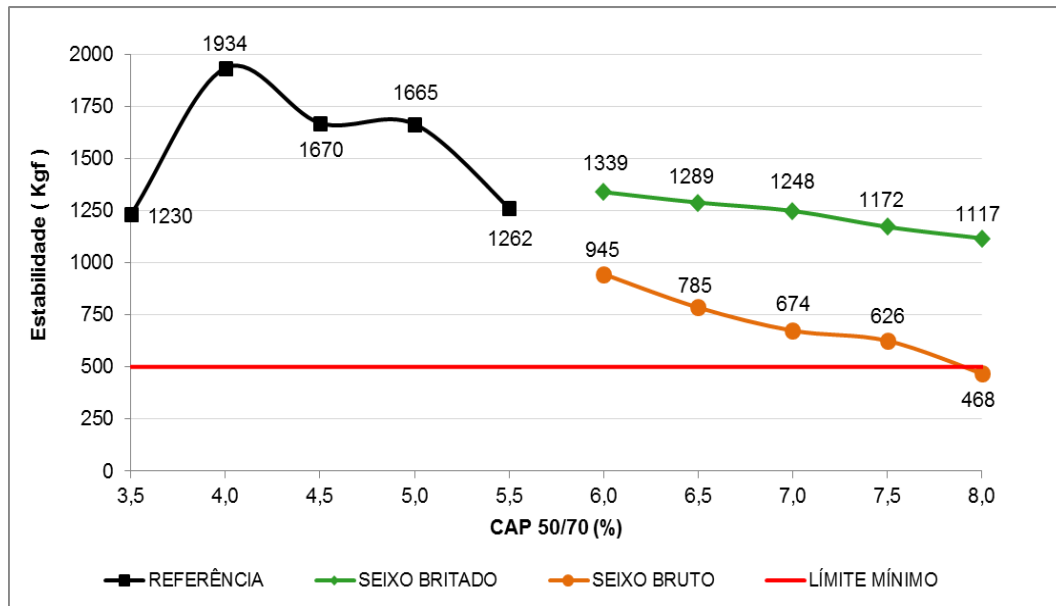


Fonte: Do Autor (2017).

A Figura 8 apresenta a média dos valores obtidos de estabilidade das misturas estudadas para cada teor de ligante adotado. A norma (DNIT 031/2006-ES) estabelece o valor de estabilidade mínimo de 500 Kgf. O seixo bruto, a partir de 7,9% de ligante apresentou valor que não atendeu o mínimo exigido. Neste ensaio, pode também ser observado que os agregados britados apresentaram valores maiores, devido ao melhor intertravamento dos agregados, promovida pela

granulometria de formato cúbico com as arestas dos agregados menos arredondadas, obtidas no processo de britagem. O melhor teor de ligante em função da estabilidade é de 4,0% para a mistura de referência e de 6,0% para as misturas com seixo.

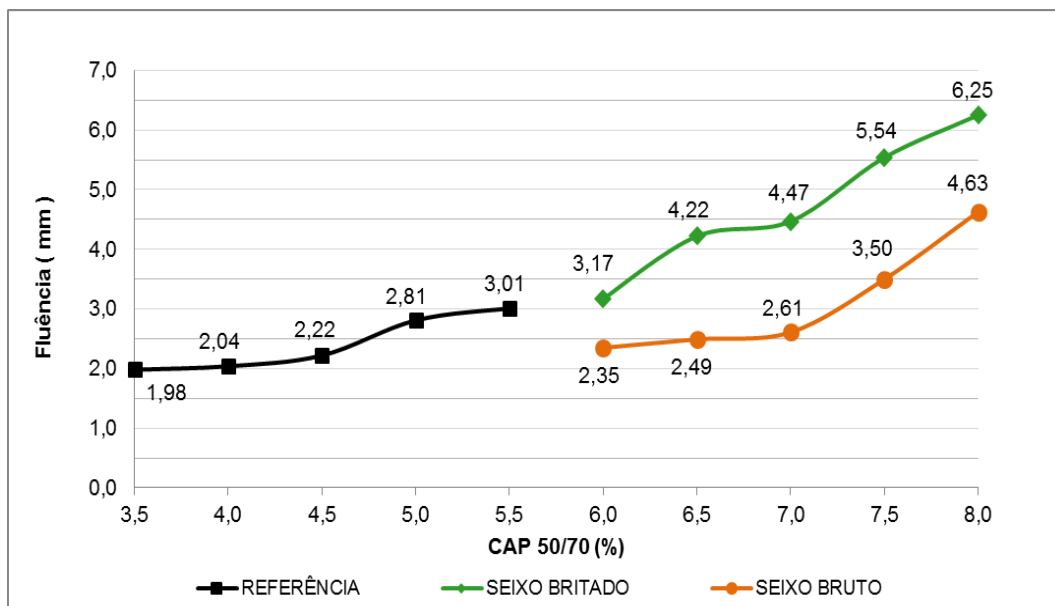
Figura 8: Estabilidade (Kgf), em função do teor de CAP.



Fonte: Do Autor (2017).

A Figura 9 mostra os valores médios, em milímetros, de fluência das misturas. A norma do DNIT não especifica valores para fluência, mas se pode observar que a mistura de referência e o seixo bruto apresentaram valores menores, isto se explica devido os dois apresentarem, segundo o índice de forma, agregados graúdos na forma mais cúbica (aproximadamente 80%), o que melhora o entrosamento entre as partículas dos agregados, deixando a mistura menos deformável.

Figura 9: Fluência (mm), em função do teor de CAP.



Fonte: Do Autor (2017).

Com os resultados, obtidos no ensaio Marshall, foram determinados os teores de projeto para cada mistura asfáltica, buscando atender requisitos de estabilidade, volume de vazios e relação betume/vazios, estabelecidos pela norma DNIT 031/2006-ES. Deste modo, o teor de projeto para a mistura com agregado de referência foi de 4,0%. Para a mistura utilizando seixo britado o teor de ligante foi de 7,3%. A mistura que utilizou o seixo bruto como agregado, não apresentou teor de ligante cujo volume de vazios estivesse dentro do limite estabelecido. Deste modo não houve um teor de CAP, para esta mistura, que atendesse todas as especificações do DNIT.

3.2.3 Resistência à tração por compressão diametral

Para a determinação da resistência à tração, foram moldados três corpos de prova para o teor de projeto da mistura de referência e mais três para a mistura com seixo britado, seguindo a norma DNIT 136/2010 – ME: Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral. Os resultados estão apresentados na Tabela 6, a qual mostra que a mistura com agregado de referência resistiu 40% mais a tração do que a mistura com seixo britado. A mistura com seixo britado apresentou resistência de 1,0 MPa, sendo superior ao mínimo (0,65 MPa), estabelecido pela norma DNIT 031/2006-ES. Esta diferença pode estar relacionada na forma de como

o seixo britado se apresentou como partícula fraturada, pois muitos agregados graúdos apresentaram uma das faces arredondadas, ou seja, não ocorreu o fraturamento e essa falta de irregularidade permitiu uma maior mobilidade entre partículas, diminuindo o intertravamento, deixando menos estável e resistente a mistura asfáltica.

Tabela 6: Resistência à tração por compressão diametral.

	Referência	Seixo Britado	Resistência mínima
Resistência à Tração (Mpa)	1,4	1,0	0,65

Fonte: Do Autor (2017).

3.2.4 Cantabro

Para este ensaio foram moldados três corpos de provas nos teores de projeto estabelecidos, pela metodologia Marshall, tanto para a mistura com o agregado de referência quanto para a mistura com seixo britado. Este ensaio seguiu a norma DNER - ME 383/99 que define o desgaste por abrasão das misturas na máquina de abrasão Los Angeles sem a carga abrasiva (esferas). Neste ensaio a média do desgaste do peso da mistura de referência foi de 6,1%, enquanto que na mistura com seixo britado o desgaste foi de apenas 3,9%, devido, provavelmente, ao alto teor de ligante consumido na mistura com seixo, o que melhora a coesão do sistema. A norma não especifica valor máximo de desgaste, apenas diz que os valores individuais não devem diferir de $\pm 20\%$ do valor médio, o que neste ensaio não ocorreu.

4 CONCLUSÕES

- O agregado de referência apresentou os melhores resultados alusivo à caracterização do agregado, devido a sua forma de extração e pelo maior controle do material britado.
- O seixo bruto apresenta absorção elevada (3,8%), indicando que o agregado é muito poroso o que faz aumentar o consumo de ligante para que a mistura fique coesa.

- Apesar de um teor de ligante elevado, a mistura com seixo britado apresentou resultados satisfatórios em todos os ensaios realizados.
- A mistura asfáltica com o agregado de referência resultou num teor de 4,0% de ligante, enquanto que a mistura com seixo britado necessitou de 7,3% para que fossem atendidos os requisitos de estabilidade, volume de vazios e relação betume/vazios.
- Deste modo, a única forma, mesmo que com um consumo elevado de Ligante, de utilizar o seixo como agregado pétreo nas misturas asfálticas seria passando por processo de britagem.

Sugestões para trabalhos futuros:

- Fazer uma análise de custos para verificar a viabilidade econômica da construção dos revestimentos asfálticos utilizando o seixo.
- Dosagem Marshall utilizando na composição granulométrica frações de seixo bruto e de basaltos britados.
- Analisar o seixo britado como agregado em composições asfálticas com granulometria mais finas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935/2011:** Agregados-Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 6293/2001:** Materiais betuminosos - Determinação da ductilidade. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 6560/2008:** Materiais betuminosos - Determinação do ponto de amolecimento - Método do anel e bola. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 6576/2007:** Materiais asfálticos - Determinação da penetração. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 7809/2005:** Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 11341/2014:** Derivados de petróleo - Determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto Cleveland. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 14855/2002:** Materiais betuminosos - Determinação da solubilidade em tricloroetileno. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 15184/2005:** Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional. Rio de Janeiro, 2005.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica:** materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558 p.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação asfáltica:** formação básica para Engenheiros. Rio de Janeiro: Abeda, 2008. 504 p.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 043/95:** Misturas betuminosas a quente – ensaio Marshall. Rio de Janeiro, 1995.

_____. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 035/98:** Agregados – determinação da abrasão “Los Angeles”. Rio de Janeiro, 1998.

_____. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 054/97:** Equivalente de areia. Rio de Janeiro, 1997.

_____. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 078/94:** Agregado graúdo – adesividade a ligante betuminoso. Rio de Janeiro, 1994.

_____. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 081/98:** Agregados - determinação da absorção e da densidade do agregado graúdo. Rio de Janeiro, 1998.

_____. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 083/98**: Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1998.

_____. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 084/95**: Agregado miúdo – determinação da densidade real. Rio de Janeiro, 1995.

_____. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 085/94**: Material finamente pulverizado – determinação da massa específica real. Rio de Janeiro, 1994.

_____. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 383/99**: Desgaste por abrasão de misturas betuminosas com asfalto polímero - ensaio Cantabro. Rio de Janeiro, 1999.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa De Rodovias** Disponível em:
<http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br//PDFs/Resumo_Principais_Dados_Pesquisa_CNT_2016_FINAL.pdf> acesso em 26 de março de 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação**. 3ª edição. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **DNIT 031/2006-ES**: Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico – Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, 2006.

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

SANT'ANA, Walter Canales. **Contribuição ao estudo de solo-emulsão em pavimentos de rodovias de baixo volume de tráfego para o estado do Maranhão**. 2009. 342p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil).

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de técnicas de pavimentação**. 2 ed. São Paulo: PINI, 2007.

SOUZA, João Batista de Queiroz. **Comportamento de misturas asfálticas a quente com agregados provenientes de jazidas de seixo no estado do Pará**. 2007. 403 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.