



DOSAGEM DE MISTURAS ASFÁLTICAS TIPO AAUQ FABRICADOS COM BORRACHA E PÓ DE PEDRA NA FRAÇÃO AREIA

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.6.23.I-002>

Arthur Henrique Moizinho*, Joel Carlos Moizinho, Adriano Frutuoso da Silva

*Engenheiro Civil, ahmoizinh@2hotmail.com

RESUMO

No Estado de Roraima há dificuldade de exploração de jazidas de agregados para pavimentação, quer seja por estas estarem situadas em áreas de preservação ambiental, ou a grande distância do local da obra, onerando os gastos com transportes. Misturas asfálticas alternativas, por exemplo, com uso de pó de pedra basáltica pode se tornar bastante viável na confecção de concretos asfálticos à quente para estradas de baixo volume de tráfego, além do aproveitamento de um resíduo da britagem de rochas. Neste trabalho foi proposto fazer a caracterização do pó de pedra basáltica, da borracha e avaliar misturas betuminosas fabricadas desses materiais e ligante asfáltico tipo CAP 50/70, visando a determinação de um traço ideal com potencial de aplicação em campo. Para caracterizar os materiais pó de pedra e borracha foram realizados os ensaios de equivalente de areia, determinação da massa específica e análise granulométrica. O pó de pedra e a borracha apresentaram, respectivamente, massas específicas de $26,4 \text{ kN/m}^3$ e $9,0 \text{ kN/m}^3$, o equivalente de areia foi de 98%, sendo classificada como do tipo grossa e sem impurezas, portanto apta ao uso em concretos do tipo Areia-Asfalto. Analisou-se a granulometria da borracha triturada, que apresentou dimensão máxima e módulo de finura, respectivamente, de 4,75 mm e 2,73, caracterizando-a como grossa, na zona utilizável superior. A dimensão máxima característica do pó de pedra foi de 4,75 mm e o módulo de finura 2,92, caracterizando-a como areia média grossa, zona ótima do módulo de finura, faixa 4 da NBR 7211. A areia enquadrou-se na Faixa A, possibilitando a determinação da composição da mistura asfáltica. Para determinar o traço ideal da mistura pó de pedra (fração areia), borracha de pneus moída (mantida a proporção fixa de 60g em todos os traços), filer pó de pedra passando na peneira 0,075mm e cimento asfáltico de petróleo, foi proposto a metodologia Marshall. O ligante asfáltico das misturas variou entre 6% a 10%. No total, foram realizados a confecção de 45 corpos de prova. O teor “ótimo” para mistura AAUQ foi de 10%, que conferiu à mistura estabilidade de 3,05 kN, volume de vazios de 6,44% e relação betume-vazios de 75,02%, resistência à tração 0,22 MPa e desgaste Cântabro de 0,7%.

PALAVRAS-CHAVE: AAUQ, Pó de pedra, Misturas asfálticas, Asfalto borracha

ABSTRACT

In the State of Roraima, it is difficult to exploit deposits of aggregates for paving, either because they are located in areas of environmental preservation, or at a great distance from the work site, increasing transport costs. Alternative asphalt mixtures, for example, with the use of basalt stone powder, can become quite viable in the manufacture of hot asphalt concrete for roads with low traffic volume, in addition to the use of residue from rock crushing. In this work, it was proposed to characterize the basaltic stone dust, rubber and evaluate bituminous mixtures manufactured from these materials and asphalt binder type CAP 50/70, aiming to determine an ideal mix with potential for application in the field. To characterize the stone powder and rubber materials, sand equivalent tests, specific mass determination and granulometric analysis were carried out. Stone dust and rubber had, respectively, specific masses of 26.4 kN/m^3 and 9.0 kN/m^3 , the equivalent of sand was 98%, being classified as coarse and without impurities, therefore suitable for use in sand-asphalt type concretes. The granulometry of the crushed rubber was analyzed, which presented a maximum dimension and fineness modulus, respectively, of 4.75 mm and 2.73, characterizing it as coarse, in the upper usable zone. The maximum characteristic dimension of the stone powder was 4.75 mm and the fineness modulus 2.92, characterizing it as medium coarse sand, optimum fineness modulus zone, range 4 of NBR 7211. Range A, making it possible to determine the composition of the asphalt mix. To determine the ideal mixture of stone powder (sand fraction), ground tire rubber (a fixed proportion of 60g was maintained in all mixtures), stone powder filler passing through a 0.075mm sieve and petroleum asphalt cement, it was proposed to Marshall methodology. The asphalt binder of the mixtures ranged from 6% to 10%. In total, 45 specimens were made. The “optimal” content for the AAUQ mixture was 10%, which gave the mixture stability of 3.05 kN, void volume of 6.44% and bitumen-void ratio of 75.02%, tensile strength of 0.22 MPa and Cantabrian wear of 0.7%.

KEY WORDS: AAUQ, Stone powder, Asphalt mixes, Asphalt rubber



INTRODUÇÃO

No Brasil, o modal rodoviário é o que possui a maior participação na matriz de transporte, concentrando, aproximadamente, 61% da movimentação de mercadorias e 95% da de passageiros (CNT, 2019). Segundo a 23ª edição da Pesquisa CNT de Rodovias, verifica-se que apenas 213.453 quilômetros de rodovias federais são pavimentados, o que corresponde a 12,4% da extensão total. A região Norte figura em último, com apenas 9.708 km, o que representa 14,9% da extensão total.

Além do mais, no estado de Roraima há dificuldade de exploração de jazidas de agregados para pavimentação, quer seja por estas estarem situadas em áreas de preservação ambiental, ou a grande distância do local da obra, onerando os gastos com transportes. Misturas asfálticas alternativas, por exemplo, com uso de pó de pedra basáltica, tipo AAUQ, podem ser bastante viáveis na confecção de concretos asfálticos à quente. Visto que, o revestimento tipo AAUQ é indicado para rodovias de menor tráfego de veículos, e por possuir uma quantidade considerável de ligante asfáltico e agregados de pequenas dimensões, a sua execução deve ser feita com maior cautela (IBP, 1999).

De acordo com Beduschi (2014), o acréscimo da borracha de pneus na pavimentação pode proporcionar melhorias para a sociedade e o meio ambiente. Os benefícios ambientais gerados pela utilização da borracha de pneus são inúmeros além da redução do número de pneus descartados, reduz consequentemente a poluição visual, focos de criação de insetos como *Aedes Aegypti*, depósito de pneus que geram riscos de incêndio incontroláveis e também a diminuição de assoreamento de rios e lagos causado em parte pelo indevido descarte de pneus.

Dessa forma, objetiva-se neste trabalho desenvolver uma mistura asfáltica tipo AAUQ com o emprego de pó de pedra basáltica na fração areia e borracha triturada, visando à determinação do traço ótimo por meio da metodologia Marshall. Todos os resultados obtidos serão confrontados com os valores especificados pela norma DNIT 032/2005 – ES, que estabelece os limites aceitáveis para volume de vazios, RBV, estabilidade e fluência da mistura asfáltica. Pretende-se que os resultados apresentados neste estudo possam contribuir com o desenvolvimento de novos materiais para uso em pavimentos no estado de Roraima, diminuindo os custos, além do aproveitamento de um resíduo da britagem de rochas e da borracha, mitigando danos ambientais.

OBJETIVO DA PESQUISA

Determinar o traço ótimo de misturas betuminosas tipo Areia Asfalto Usinada à Quente (AAUQ), fabricada com pó de pedra na fração areia, borracha triturada e ligante asfáltico tipo CAP 50-70.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados ao longo da pesquisa e mostrados nas Figuras 1a, 1b e 1c, foram pó de pedra, borracha triturada e ligante betuminoso CAP 50/70.



1a - Pó de Pedra



1b- Borracha



1c - CAP

Figura 1: a, b e c – Materiais usados na pesquisa.

A borracha foi adquirida através da recicladora Rio Limpo localizada no estado do Amazonas. Em seguida, transportado e armazenado de forma adequada no laboratório do NUPENG/UFRR. O pó de basalto, cedido pela Usina de Asfalto da Prefeitura Municipal de Boa Vista (PMBV), sendo este proveniente da pedreira localizada no bairro Monte Cristo, Município de Boa Vista-RR. Após sua coleta, o pó de basalto foi devidamente acondicionado, transportado e armazenado no laboratório do NUPENG/UFRR. O ligante asfáltico utilizado foi o CAP 50/70, produzido pela Refinaria Isaac Sabbá (REMAN) em Manaus e fornecido pela Usina de Asfalto da Prefeitura Municipal de Boa Vista (PMBV), já devidamente caracterizado respeitando as normas da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Foram realizados ensaios de caracterização física do pó de pedra e da borracha triturada. Os ensaios e as respectivas normas encontram-se na Tabela 1.



Tabela 1. Ensaios de caracterização física e mecânica dos agregados graúdos e miúdos

ENSAIO	NORMA TÉCNICA	NÚMERO DE AMOSTRAS
EQUIVALENTE DE AREIA	DNIT-ME 54/97	3
MASSA ESPECÍFICA DO PÓ DE PEDRA	ABNT NBR NM 52	3
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO PÓ DE PEDRA	ABNT NBR NM 248	3
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA BORRACHA	DNER-ME 083/98	3

De acordo com a norma DNIT 032/2005 – ES, a mistura Areia-Asfalto Usinada à Quente deve respeitar as tolerâncias no que diz respeito à granulometria, estando dentro dos limites de uma das faixas (A ou B) presentes no Quadro 1.

Quadro 1. Designação e tamanho nominal dos agregados

Designação		A	B	Tolerâncias
Tamanho Nominal		4,75 mm	2,0 mm	
Peneiras		Porcentagem total passando (por peso)		
Nome	Abertura mm			
(38 pol.)	9,5 mm	100	-	-
(nº 4)	4,75 mm	80 – 100	100	± 5%
(nº 10)	2,00 mm	60 – 95	90 – 100	± 4%
(nº 40)	0,42 mm	16 – 52	40 – 90	± 4%
(nº 80)	0,18 mm	4 – 15	10 – 47	± 3%
(nº 200)	0,075 mm	2 – 10	0 – 7	± 2%
Emprego		Revestimento	Revestimento	-
Cimento Asfáltico % sobre o total da Mistura		6 - 12	7 – 12	± 0,3%

Fonte: DNIT 032/2005 – ES.

Após a caracterização dos materiais, realizou-se a separação dos materiais constituintes da mistura asfáltica tipo AAUQ satisfazendo a Faixa A da norma DNIT 032/2005 ES para a dosagem dos materiais. A porcentagem de borracha utilizada foi de 3%, conforme a literatura de pesquisas com a borracha em misturas asfálticas. Como material de enchimento, filer, utilizou-se Pó de pedra na fração areia. O ligante betuminoso utilizado nas misturas asfálticas foi CAP 50/70, o qual foi separado em gramas de acordo com o valor especificado, variando de 6% a 10%. Com isso, os materiais foram separados seguindo as seguintes dosagens, em massa. A Tabela 2 apresenta a composição em massa de cada traço pesquisado.

Tabela 2. Composição em massas dos materiais para confecção dos corpos de prova

MATERIAL / TEOR DE CAP	6,0%	7,0%	8,0%	9,0%	10,0%
CAP	72 g	84 g	96 g	108 g	120g
BORRACHA	60 g				
AGREGADO	1068 g	1056 g	1044 g	1032 g	1020 g
MASSA TOTAL	1200 g				

Para dosagem da mistura asfálticas foram confeccionados 45 corpos de provas, sendo nove para cada teor de CAP adotado. A mistura constituída por 1200g apresentou enquadramento na média da faixa A proposta pela ES 031/2006 DNIT. O teor ótimo de cimento asfáltico das misturas foi obtido por meio da análise de alguns parâmetros dos



concretos asfálticos e de acordo com a ES 032/2005 DNIT, como: estabilidade; fluência; relação betume/vazios (RBV); percentagem de vazios (VV); vazios do agregado mineral (VAM) e massa específica aparente dos corpos de prova moldados. A Figura 2 apresenta os corpos de prova de areia-asfalto usinado à quente resultante. A Tabela 3 mostra os ensaios realizados e a quantidade de corpos de provas confeccionados, a partir dos corpos de provas moldados de acordo com a metodologia Marshall.

Tabela 3. Ensaios mecânicos para caracterização de misturas asfálticas

Ensaio	Norma Técnica	Número de amostras
Ensaio Marshall	DNER-ME 043/95	15
Resistência à Tração por Compressão Diametral	DNIT-ME 136/2018	15
Desgaste Cântabro	DNER-ME 383/99	15

As Figuras 2 a, b e c, apresentam procedimentos realizados na confecção das misturas asfálticas nos diferentes teores de CAP adotados na pesquisa.



2 a: Mistura dos agregados com a borracha



2 b: Pesagem dos agregados com o CAP

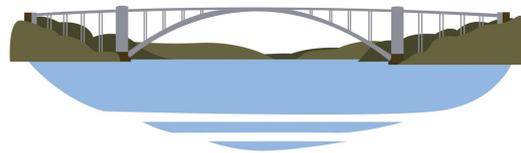


2 c: Aferição da temperatura de compactação



2 d : Compactação dos corpos de provas

Para a determinação dos parâmetros Marshall (Volume de vazios, relação betume vazios, estabilidade e fluência), os corpos de provas, após resfriamento a temperatura ambiente, foram pesados ao ar e também imerso em água, visando determinar a densidade aparente e vazios nas misturas. Para determinação da resistência à tração foram anotadas as medidas do diâmetro e da altura, em quatro posições diametricamente opostas, considerando-se para efeito de cálculo a média destas medidas.



Para o valor da estabilidade a carga necessária para produzir o rompimento do corpo de prova foi então corrigida de acordo com a altura do corpo de prova através da multiplicação pelo fator de correção, sendo obtida pela equação 1.

$$f = 927,23 * h^{-1,64} \quad \text{equação (1)}$$

Em que:

f: fator;

H: altura do corpo de prova, em cm.

Para o ensaio Cântabro as amostras foram pesadas antes e após procedimento do ensaio. A Figura 3 a, b e c, mostra apresenta corpos de provas após processo de compactação e desforma.



3 a: CP compactado

3 b: Extração do CP

3 c: Corpo de prova

Figura 3: Corpos-de-prova de AAUQ obtidos

A resistência a tração foi determinada por meio da equação 2.

$$RT = \frac{2F}{100\pi DH} \quad \text{equação (2)}$$

Em que:

RT = Resistência a tração (MPa)

F= Força de rompimento do corpo de prova (N);

D= Diâmetro médio do corpo de prova (cm);

H = Altura média do corpo de prova (cm).

O ensaio Cântabro foi realizado segundo os procedimentos determinados pela norma DNER-ME 383/99, que permite avaliar o desgaste por abrasão sofrido por um corpo de prova “Marshall” de uma mistura betuminosa quando submetido a trezentas rotações no interior da máquina “Los Angeles” a uma velocidade de 30 a 33 rpm, sem a presença das esferas de aço. O objetivo do ensaio consistiu na determinação da perda de massa por desgaste obtida pela diferença do peso inicial e o peso final do corpo de prova após a execução das rotações sobre o material compactado. O desgaste Cântabro foi determinado com o uso da equação 3.

$$DC = \frac{P1}{P2} \times 100 \quad \text{equação (3)}$$

Em que:

DC = Desgaste Cântabro (%)

P1 = peso do corpo de prova ao ar;



P2 = peso do corpo de prova após trezentas revoluções na máquina “Los Angeles”.

As Figuras 4 a, b e c mostram, respectivamente, aspectos da realização dos ensaios de estabilidade Marshall, Resistência à tração e desgaste Cântabro das misturas pesquisadas.

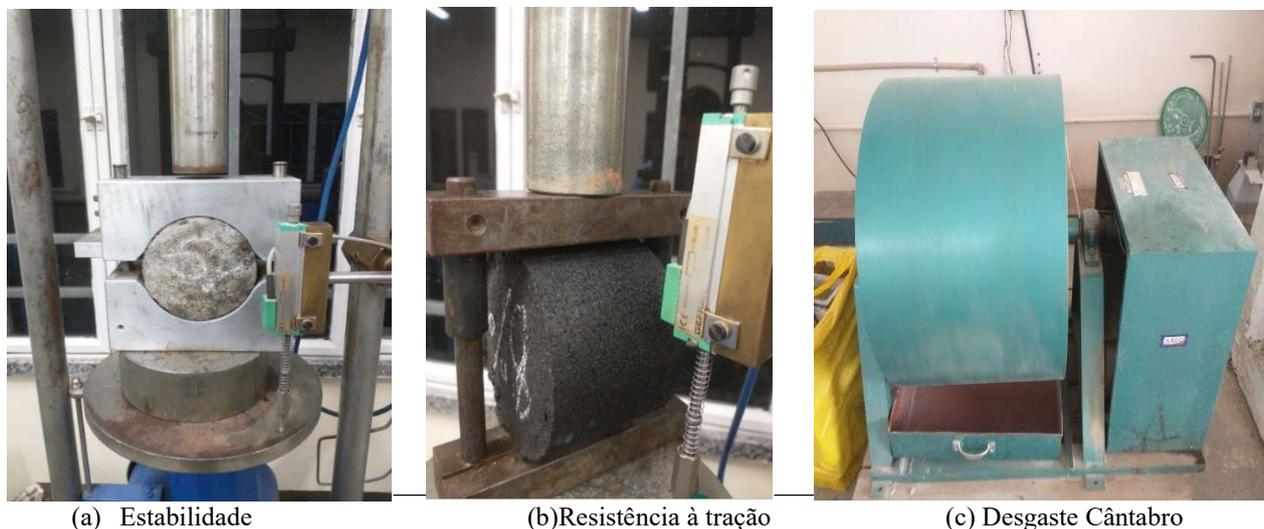


Figura 4: Ensaio de estabilidade, resistência à tração e desgaste Cântabro

RESULTADOS

A Tabela 4 apresenta as faixas granulométricas A e B, sugeridas pelo DNIT 032/2005 – ES, para misturas asfálticas do tipo AAUQ, além da composição granulométrica obtida por peneiramento, da mistura de agregados (pó de pedra e borracha) do material usado nos traços da pesquisa.

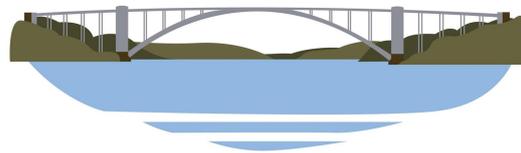
Tabela 4. Análise granulométrica da mistura de pó de pedra e borracha

Designação		A	B	Tolerâncias	Valor obtido
Tamanho Nominal		4,75 mm	2,0 mm		
Peneiras		Porcentagem total passando (por peso)			
Nome	Abertura mm				
(38 pol.)	9,5 mm	100	-	-	100
(n° 4)	4,75 mm	80 – 100	100	± 5%	99,46
(n° 10)	2,00 mm	60 – 95	90 – 100	± 4%	84,99
(n° 40)	0,42 mm	16 – 52	40 – 90	± 4%	24,45
(n° 80)	0,18 mm	4 – 15	10 – 47	± 3%	12,22
(n° 200)	0,075 mm	2 – 10	0 – 7	± 2%	5,81

Analisando os dados da Tabela 4, temos que a granulometria da mistura de agregados enquadra-se melhor na faixa A prescrita pelo DNIT 032/2005 – ES, apresentando um tamanho nominal de 4,75 mm e módulo de finura 2,73. Este enquadramento confere ao agregado um material bem graduado, quando usado em uma mistura asfáltica, torna-a mais densa, ou seja, reduz os vazios, tornando a mistura asfáltica mais estável aos efeitos de carga e intempéries. A Figura 5 apresenta a curva granulométrica da mistura de agregados e sua disposição em relação aos limites inferior e superior da faixa A, já mencionada anteriormente.

O módulo de finura obtido para o agregado miúdo foi igual a 2,73, que segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005), está dentro do módulo de finura de Zona Ótima.

A média do resultado de três ensaios de equivalente de areia foi de aproximadamente 98%, indicando uma areia com poucas impurezas, ou seja, com reduzida porcentagem de argilas, podendo ser classificada, segundo esse ponto de vista, como areia pura. De acordo com a norma DNIT 031/2006-ES, o equivalente de areia necessário para que o agregado componha uma mistura asfáltica deve ser igual ou superior a 55%, portanto, a areia (pó de pedra) utilizada neste estudo atende às especificações de materiais do citado órgão, e desta forma, por este critério estaria apta a ser usada



em misturas asfálticas. O resultado era esperado uma vez que se trata de um produto obtido da fragmentação de rochas basálticas, portanto sem presença de argila na sua composição.

A massa específica do pó de pedra basáltica foi de 2640 kg/m³, valor semelhante para materiais de enchimento utilizados em misturas asfálticas de acordo com os valores obtidos na literatura para outros materiais de diferentes tipos. Com isso obteve-se o peso específico do pó de pedra, sendo este igual a 26,4 kN/m³. Léo (2018) obtiveram o valor de 28,73 kN/m³.

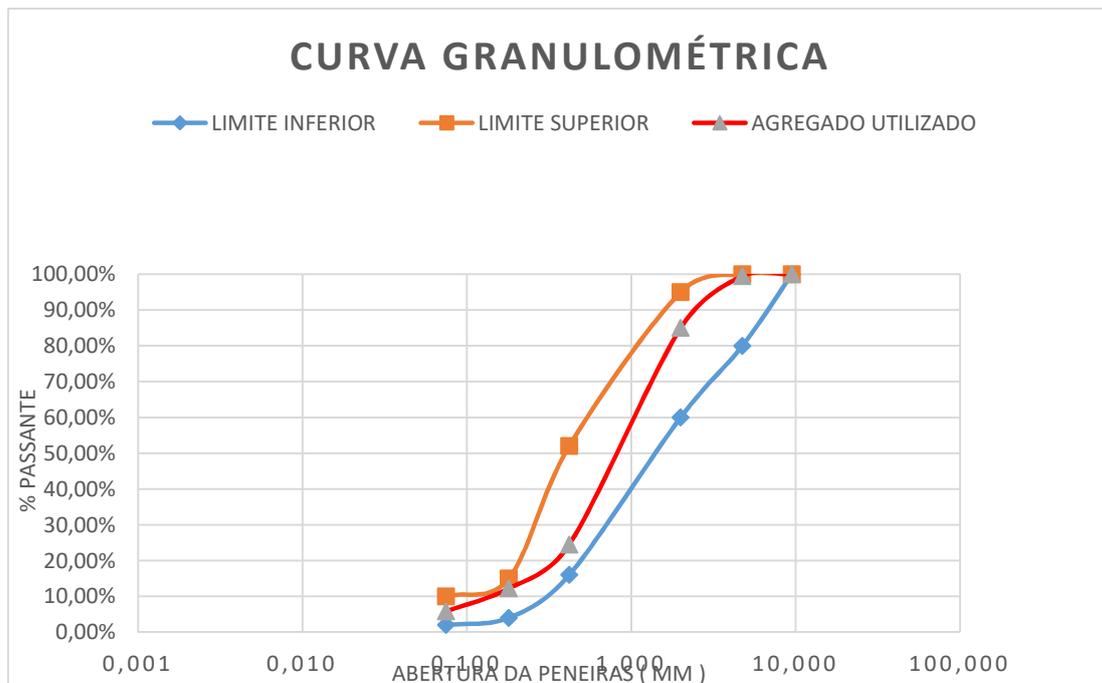


Figura 5: Composição granulométrica dos agregados

CARACTERIZAÇÃO DAS MISTURAS ASFÁLTICAS

O Quadro 1 apresenta os resultados de peso específico aparente, peso específico real, volume de vazios, relação betume vazios, estabilidade e fluência, em função do teor de ligante asfáltico, obtida para as misturas asfálticas pesquisadas seguindo a metodologia Marshall.

Quadro 1. Resultados dos parâmetros Marshall para mistura asfáltica

ENSAIO MARSHALL						
% CAP	Peso específico aparente (kN/m ³)	Peso específico real (kN/m ³)	V.v	R.B.V.	Estabilidade (N)	Fluência
			Porcentagem de vazios (%)	Rel. Betume Vazios (%)	Corrigida (kgf)	leitura (mm)
6%	1,95	2,21	11,90%	49,12	547,07	2,77
7%	1,94	2,19	11,06%	54,75	525,53	4,73
8%	1,93	2,16	10,13%	59,26	467,20	7,13
9%	1,91	2,13	10,21%	62,30	364,13	8,50
10%	1,97	2,10	6,44%	75,02	305,84	9,23

Analisando os dados do quadro, o peso específico real da mistura diminui com o aumento do teor de CAP, o que é esperado uma vez que mais ligante ocupa o espaço do agregado com peso específico maior do que este. A esperada redução de vazios na mistura também ocorre com o aumento do CAP, pois o CAP tende a ocupar os vazios da



mistura Como resultado, a fração de vazio do betume aumenta com o CAP. Com relação à estabilidade, nota-se que o teor de ligante asfáltico ideal produz maior resistência à deformação, pois à medida que o teor de asfalto aumenta ele passa a atuar como lubrificante, diminuindo o atrito entre os agregados e direcionando a mistura para diminuição do valor da estabilidade.

Conforme visto na norma DNIT 032/2005 - ES, a mesma estabelece que os parâmetros Marshall mínimos de aceitação de misturas asfálticas. Apenas para o teor de 10% de asfalto, no traço, a mistura apresentou valores de Estabilidade 3,05 kN (> 3,0 kN), volume de vazios 6,44% (3% - 8%) e relação betume vazios 75,02% (65% - 82%) compatíveis com o exigidos na especificação citada.

Dessa forma, o traço ideal determinado nesta pesquisa que garante uma mistura asfáltica durável seria composto por 87% de pó de pedra, 3% de borracha e 10% de ligante asfáltico, em massa. O que corresponde a 1020 gramas de agregados, 60 gramas de borracha e 120 gramas de CAP.

Para a mistura com 10% de teor de concreto asfáltico a RBV foi igual a 75,02%, próximo ao encontrado por Lédo (2018) para uma mistura de 85% de areia, 5% de pó de pedra e 10% de ligante asfáltico, em massa, igual a 73,2% valor também semelhante ao encontrado por Bento e Camapum de Carvalho (2006) para uma mistura com 90% de areia, 7% de betume e 3% cal, igual a 74,9%.

Conforme o DNIT (2006), a estabilidade consiste na resistência a elasticidade ou deformação do pavimento que é garantido pelo intertravamento entre os grãos que compõem a mistura asfáltica. Verifica-se que, todas as outras misturas com apresentam valores além do mínimo especificado por norma, de 3,0 kN (DNIT 032/2005 – ES).

A diminuição da resistência para as misturas com teores maiores de ligante asfáltico se dá pelo fato de que o ligante asfáltico atua como lubrificante das partículas, o que ocasiona uma diminuição da capacidade de carga com a perda de atrito grão a grão. Constata-se por meio dos resultados obtidos que, por mais um teor de ligante confira à mistura máxima estabilidade, este pode não ser o teor “ótimo” para a mesma.

A fluência é o deslocamento vertical do corpo de prova quando atinge a carga máxima. Era de se esperar que a mistura asfáltica com teor de ligante de 6% com a presença do filer apresentasse baixa fluência, visto que se apresentou mais resistente. De acordo com a especificação DNIT 032/2005 – ES, as misturas tipo AAUQ devem apresentar fluência entre 2,0 e 4,5 mm. Com isso, verifica-se que as misturas e 6% e atendem à especificação, resultando em misturas asfálticas com deformações aceitáveis e com baixa probabilidade de trincas prematuras

O Quadro 2 apresenta os resultados da resistência à tração em função do teor de ligante asfáltico usado nas misturas pesquisadas. O resultado considerado representa a média aritmética de três ensaios realizados para cada teor adotado.

Quadro 2. Ensaio de Resistência à Tração para mistura

ENSAIO RT						
CORPOS DE PROVA	DIÂMETRO	ALTURA	FORÇA DE RUPTURA (N)	RESISTÊNCIA A TRAÇÃO (MP _a)	RESISTÊNCIA A TRAÇÃO MÉDIA (MP _a)	
6%	6.1	101,33	76,13	5184	0,428	0,43
	6.2	101,24	75,59	5130	0,427	
	6.3	101,5	75,73	4560	0,43	
7%	7.1	101,37	73,56	3390	0,289	0,29
	7.2	101,45	75,27	3560	0,297	
	7.3	101,36	77,20	2200	0,285	
8%	8.1	101,59	73,63	2740	0,273	0,28
	8.2	101,32	72,37	3220	0,280	
	8.3	101,61	74,00	3280	0,278	
9%	9.1	100,76	75,13	2370	0,199	0,23
	9.2	101,08	72,80	2970	0,257	
	9.3	97,62	70,98	2100	0,193	
10%	10.1	101,59	72,92	2490	0,214	0,22
	10.2	101,33	71,58	2620	0,230	
	10.3	101,11	71,98	3290	0,229	



Para concreto asfáltico tipo CAUQ a resistência à tração mínima, segundo DNIT 031/2006 - ES é de 0,65 MPa. Entretanto, a especificação DNIT 032/2005 - ES não traz referência sobre um valor mínimo exigido para resistência à tração de misturas do tipo AAUQ. De acordo com a literatura a resistência à tração está compatível, com valores obtidos para misturas asfálticas tipo AAUQ. No teor ótimo de 10% de CAP a mistura AAUQ apresentou resistência à tração de 0,22 MPa, compatível para esse tipo de mistura.

A resistência à tração de uma mistura asfáltica é importante porque o revestimento resiste às tensões de tração causadas pela ação do tráfego nas fibras da camada subjacente. Diante disso, as misturas asfálticas devem ter resistência à tração suficiente para evitar a fadiga prematura do pavimento.

No projeto de pavimentação, é necessário levar em consideração ambos os fatores (deformação permanente e fissuração por fadiga) para produzir uma mistura mais forte e resistente a ambos os tipos de degradação, aumentando assim a vida útil e o bem-estar do público.

O Quadro 3 apresenta os resultados do ensaio de desgaste Cântabro em função do teor de asfalto usado em cada mistura com o pó de pedra e a borracha.

Quadro 3. Resultado do ensaio Cântabro da mistura

ENSAIO CÂNTABRO					
CORPOS DE PROVA		PESO NO AR (kg)	PESO APÓS (12 MIM) (kg)	PESO AR / PESO APÓS	MÉDIA
6%	6.1	1,0866	0,9217	15,18%	16,62%
	6.2	1,1399	0,9733	14,62%	
	6.3	1,107	0,885	20,05%	
7%	7.1	1,1755	1,0376	11,73%	11,67%
	7.2	1,1736	1,0368	11,66%	
	7.3	1,1721	1,0359	11,62%	
8%	8.1	1,1811	1,176	0,43%	1,19%
	8.2	1,185	1,169	1,35%	
	8.3	1,193	1,1715	1,80%	
9%	9.1	1,191	1,1848	0,005205709	0,56%
	9.2	1,1863	1,1833	0,002528871	
	9.3	1,188	1,1839	0,003451178	
10%	10.1	1,1906	1,1838	0,005711406	0,70%
	10.2	1,1906	1,1813	0,007811188	
	10.3	1,1959	1,1868	0,007609332	

O desgaste Cântabro foi originalmente desenvolvido para avaliar misturas asfálticas porosas, com porcentagem de vazios elevadas em relação as misturas asfálticas densas. Para misturas porosas o desgaste Cântabro máximo aceitável é de 25%. Diversas pesquisas com misturas densas têm utilizado esse ensaio para avaliar a capacidade da mistura de resistir ao atrito e avaliar a coesão da mesma.

Observou-se que o desgaste da mistura diminui com o aumento do ligante betuminoso utilizado, o que já é esperado, pois quanto mais ligante as partículas de agregado melhor participam e a mistura torna-se mais maleável, resiste ou absorve melhor choques em amostras de quedas e fricções que ocorrem dentro da máquina "Los Angeles".

Os desgastes Cântabro observados para as misturas foram considerados muito baixo, mostrando a flexibilidade e a coesão das misturas com AAUQ. Todos os traços apresentaram valores de desgaste inferior ao exigido para misturas porosas.

Aldigueri e Bernucci (2002) obtiveram valores variando de 2% a 6% para misturas asfálticas tipo AAUQ utilizando três tipos de ligantes asfálticos.

CONCLUSÕES



Ampliar o conhecimento sobre a utilização de misturas asfálticas tipo AAUQ em obras de pavimentação no Estado de Roraima é de extrema importância para o desenvolvimento do estado. Nesta pesquisa foram consideradas as propriedades físicas e mecânicas dos materiais aplicados na obra. Ademais, depois de analisar os resultados obtidos com o método proposto no estudo, concluiu-se que:

Para todos os teores de CAP a mistura tipo AAUQ apresentou baixo valor de desgaste Cântabro em relação ao limite de 25% estabelecido na norma DNER-ME 383/99.

O pó de pedra basáltico foi enquadrado na Faixa A (DNIT 032/2005 – ES), apresentando equivalente de areia 98% tipo pura. A dimensão máxima característica do pó de pedra foi de 4,75 mm e o módulo de finura 2,92, caracterizando-a como areia média grossa, zona ótima do módulo de finura, faixa 4 da NBR 7211.

Analisou-se a granulometria da borracha por meio da norma DNIT-ME 083/98, a borracha apresentou dimensão máxima e módulo de finura, respectivamente, de 4,75 mm e 3,21, caracterizando-a como grossa, na zona utilizável superior.

O teor “ótimo” para mistura AAUQ foi de 10%, que conferiu à mistura estabilidade de 3,05 kN, volume de vazios de 6,44% e relação betume-vazios de 75,02%, resistência à tração 0,22 MPa e desgaste Cântabro de 0,7%.

O traço de AAUQ final que atende a especificação DNIT 032/2005 – ES ficou constituído de 87% de Pó de pedra, 3% de borracha e 10% de ligante asfáltico (CAP).

Portanto, as misturas asfálticas do tipo AAUQ, quando dosadas de acordo com a normas vigentes, com o acréscimo de borracha se toma uma alternativa para rodovias de tráfego leves, como por exemplo as vicinais. Além do mais, reduz o descarte inadequado de pneus inservíveis no meio ambiente o que acarreta na preservação do mesmo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aldigueri, D. R.; Bernucci, L. B. Desempenho de Misturas de Areia Asfalto Usinadas a Quente com o Uso de Ligantes mais consistentes. Transportes, São Paulo, v. 10, n.1, p. 70-86, 2002.
2. Camapum de Carvalho, J.; Bento, P. F. Resistência à tração de areia asfalto usinada a quente (AAUQ) com adição de fibras metálicas. In: V Jornada Luso-Brasileiras de Pavimentos: Políticas e Tecnologias, 2006, Recife. Anais do V Jornada Luso-Brasileiras de Pavimentos: Políticas e Tecnologias, 2006. Trabalho V-026.
3. Confederação Nacional de Transporte CNT. Relatório gerencial. Brasília: CNT: SEST: SENAT, 2019. 213 p.
4. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, 17 de março de 2005. Estabelece normas e padrões para qualidade das águas, lançamentos de efluentes nos corpos receptores e dá outras providências
5. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT. DNIT 032/2005 – ES. Pavimentos flexíveis – Areia-Asfalto a quente – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2005. 12 p.
6. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT. NORMA DNIT 031/2006 – ES. Pavimentos flexíveis–Concreto asfáltico. Rio de Janeiro, RJ, 2006.
7. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. Manual de pavimentação. Publicação IPR – 719. Ministério dos Transportes. Rio de Janeiro, 2006.
8. Lédo, Byatriz cordeiro. Mistura asfáltica tipo AAUQ com uso de pó de pedra basáltica como filer. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Roraima. Boa Vista, 91 p. 2018
9. Instituto Brasileiro de Petróleo – IBP. Informações básicas sobre materiais asfálticos. Rio de Janeiro: IBP, 1999.