

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE GOIÁS Uni-ANHANGUERA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO COMPARATIVO DA ADESIVIDADE DO LIGANTE
BETUMINOSO AOS AGREGADOS E DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO
POR COMPRESSÃO DIAMETRAL ENTRE CBUQ CONVENCIONAL E
O ASFALTO MORNO.**

**FERNANDA RIBEIRO DE ASSIS
LEANDRO BARBOSA FREITAS**

GOIÂNIA
Novembro/2018

**FERNANDA RIBEIRO DE ASSIS
LEANDRO BARBOSA FREITAS**

**ESTUDO COMPARATIVO DA ADESIVIDADE DO LIGANTE
BETUMINOSO AOS AGREGADOS E DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO
POR COMPRESSÃO DIAMETRAL ENTRE CBUQ CONVENCIONAL E
O ASFALTO MORNO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário de Goiás – Uni-ANHANGUERA, sob orientação do Professor Especialista Murilo Faria Cezar, como requisito parcial para obtenção do título de bacharelado em Engenharia Civil.

GOIÂNIA
Novembro/2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

FERNANDA RIBEIRO DE ASSIS, LEANDRO BARBOSA FREITAS.

ESTUDO COMPARATIVO DA ADESIVIDADE DO LIGANTE BETUMINOSO AOS
AGREGADOS E DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL
ENTRE CBUQ CONVENCIONAL E O ASFALTO MORNO.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora como requisito parcial
para obtenção do Bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário de Goiás - Uni-
ANHANGUERA, defendido e aprovado em 09 de NOVEMBRO de 2018 pela banca
examinadora constituída por:



Prof.º. Esp. Murilo Faria César

Orientador



Prof.ª. Me. Raquel Franco Bueno

Membro



Prof.ª. Ma. Cristiane Roldan de Carvalho Nascimento

Membro

RESUMO

A malha rodoviária brasileira tem quase um milhão e setecentos quilômetros, porém, apenas 12,1% encontram-se pavimentados. De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre (DNIT), o déficit de pavimentação nas rodovias federais, estaduais e municipais é de 10,8%, 43,7% e 92,2% do revestimento. Esses dados demonstram a importância e a motivação para o desenvolvimento deste estudo, que visa identificar as melhores tecnologias aplicadas à execução de revestimentos asfálticos, com o intuito de melhorar a qualidade, a durabilidade, a resistência mecânica e, conseqüentemente, aumentar a vida útil do pavimento. O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo comparativo da adesividade do ligante betuminoso aos agregados e da resistência à tração por compressão diametral entre o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) e o asfalto morno. Com isso busca-se comparar a capacidade adesiva do ligante aos agregados tanto na utilização do Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) – sem aditivo na produção do CBUQ – quanto na aditivação do CAP na produção do asfalto morno. Depois de realizados os ensaios para determinar as características dos agregados coletados – como análise de granulometria e densidade –, fixou-se como parâmetros para a produção de um corpo de prova de 1,2 kg a composição proporcional de 20% de brita 1, pesando 232 g, 30% de brita 0, pesando 348 g, 30% de pó de brita, pesando 348 g, e 20% de areia artificial, com 232 g. Para essa composição granulométrica adicionou-se CAP na proporção de 5%. Confrontando os dados obtidos na realização dos ensaios da Norma DNIT 031/2006-ES concluímos que as misturas asfálticas aditivadas com DOPE apresentaram melhor performance do que as com o CBUQ convencional e que as misturas mornas apresentaram desempenho pior que o CBUQ convencional.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimentação. Qualidade. Durabilidade. Aditivo.

1 INTRODUÇÃO

Pesquisar a história da pavimentação nos leva a percorrer a própria história da humanidade, iniciando pelo povoamento dos continentes, pelas conquistas territoriais, pelo intercâmbio comercial, cultural e religioso, pela urbanização e pelo desenvolvimento. Moura (2014) relata que uma das mais antigas estradas pavimentadas da qual se tem conhecimento foi implantada em razão dos pesados trenós que faziam o transporte de cargas elevadas.

A implantação de uma estrada permanente entre Minas Gerais e Rio de Janeiro é uma das mais interessantes páginas da História do Brasil colonial. A origem dessa primeira Estrada de Rodagem do Brasil, que foi a maior obra de engenharia na América Latina em seu tempo, principiou em 7 de agosto de 1852, quando o visionário Mariano Procópio obteve, graças ao decreto do governo imperial nº 1.301, a autorização para a construção e a conservação de duas linhas de estradas. O empreendimento, considerado por muitos como impossível, foi iniciado em 12 de abril de 1856, com a presença e o incentivo de D. Pedro II (DNIT, 2017).

Os sistemas de transportes representam os elementos estruturais da vida econômica e social dos países e proporcionam o deslocamento tanto de cargas quanto de passageiros, realizados por todos os modelos de modais. Ao analisar o sistema viário brasileiro, através da Confederação Nacional do Transporte – CNT (2017) observa-se a maior demanda de uso pelo modal rodoviário. Essa característica faz com que a infraestrutura das estradas assumam importante papel na mobilidade no território nacional. Sendo assim, segundo a pesquisa da CNT (2017), o transporte de aproximadamente 61,1% das cargas e 95% dos passageiros do País é realizado por via rodoviária.

Analisando a grande importância do transporte rodoviário para o Brasil, dados do boletim estatístico da CNT (2017) revelam o baixo percentual de rodovias pavimentadas, tendo o País uma malha total de 1.610.076 km, onde apenas 196.094 km das rodovias são pavimentados, ou seja, 12,2% do total da malha existente.

O asfalto é o mais antigo material utilizado pelo homem. É composto por aglutinantes de consistência variável, na cor pardo-escura ou negra, em que o composto predominante é o betume, recurso que pode ser encontrado na natureza em jazidas ou obtido nas refinarias do petróleo (SENÇO, 2001).

De acordo com Nogueira (1961), existem diversos tipos de revestimento flexível e dentre eles estão: Tratamento Superficial Simples (TSS), Tratamento Superficial Duplo (TSD), Tratamento Superficial Triplo (TST), Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) e Pré-misturado a Frio (PMF).

O CBUQ, também designado como Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ), pode ser considerado a mais comum e tradicional mistura asfáltica a quente empregada no País, utilizada na construção dos revestimentos de pavimentos, incluindo as capas de rolamento e camadas de ligação (BALBO, 2007). Senço (2001) define o CAUQ como o produto resultante da mistura a quente de um ou mais agregados minerais e cimento asfáltico de petróleo, espalhado e comprimido a quente, sendo usado como camada de regularização ou como revestimento.

A grande maioria das estradas pavimentadas em uso é construída com revestimento de concreto asfáltico, sendo projetadas e executadas para suportar as mais variadas e pesadas cargas de tráfego. Com isso, o CBUQ se sobressai aos demais tipos de revestimento (BARBER GREENE, 1963). Observa-se que, por ser o revestimento flexível mais utilizado em obras de pavimentação, constantemente novas tecnologias estão sendo estudadas com o objetivo de aperfeiçoar suas propriedades tecnológicas e reduzir os impactos negativos que ele pode causar ao meio ambiente e à saúde humana. Sendo assim, a incorporação de aditivos e polímeros promovem alterações de determinadas propriedades do revestimento asfáltico, criando produtos com novas características e nomenclaturas como, por exemplo, o asfalto borracha, o asfalto permeável e também o asfalto morno. (BARBER GREENE, 1963).

O estudo do asfalto morno foi iniciado na Europa em 1997, com a finalidade de cumprir as metas do Protocolo de Kyoto. Trata-se de misturas asfálticas produzidas em temperaturas mais baixas em relação ao CBUQ convencional, o que conseqüentemente reduz o gasto com combustível, as emissões de gases poluentes e a exposição dos trabalhadores aos fumos durante o processo de usinagem ou aplicação da mistura. (BALBO, 2007).

Segundo BALBO (2007) o asfalto morno oferece as mesmas propriedades do CBUQ, porém, com redução de temperatura de fabricação e aplicação na ordem de 25°C a 30°C da mistura quente. Tem em si um impacto positivo não só para o meio ambiente, mas também para o consumo energético. Apresenta vários benefícios para a sua aplicação e execução, resultando em uma maior viabilidade em relação ao CBUQ, como, por exemplo, melhoria do ambiente de trabalho na pavimentação, aumento da saúde e segurança dos trabalhadores, menor envelhecimento do asfalto, menor dificuldade de aplicação em épocas

ou locais com climas mais frios/inverno, menor envelhecimento do ligante asfáltico, maior vida útil do pavimento, entre outras vantagens.

Pela possibilidade de vantagens mediante a redução de temperatura de aquecimento da mistura asfáltica, justifica-se o objetivo deste trabalho de realizar um estudo comparativo da adesividade do ligante betuminoso aos agregados e da resistência à tração por compressão diametral, entre o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) e o asfalto Morno.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta etapa do trabalho, apresenta-se os materiais e os métodos de todos os ensaios executados no laboratório da Distribuidora Brasileira de Asfalto (Disbral),¹ onde foram produzidos os corpos de prova e realizados os respectivos ensaios de adesividade do ligante betuminoso aos agregados e a determinação da resistência à tração por compressão diametral. Como referências obrigatórias de estudo foram utilizadas as normas DNIT XXX/2016-ES,² DNER-ME 078/94 e a norma revisada DNIT 136/2017-ME.

A Pedreira Izaíra (Figura 1) foi selecionada para o estudo e está localizada na Avenida Sibipiruna – s/n, Jardim Verde Vale, Aparecida de Goiânia-GO. Para a realização dos ensaios, atendendo ao prescrito na DNER-PRO 120/97, foram coletadas amostras de areia artificial, pó de brita, brita 0 e brita 1 (Figura 2).



Figura 1. Pedreira Izaíra.
Fonte: Autoral (2018).



Figura 2. Material coletado.
Fonte: Autoral (2018).

O processo de redução de amostra de agregados foi feito no laboratório através do equipamento separador mecânico de amostras, conforme instruído na DNER-PRO 199/96 (Figura 3). Os aparelhos utilizados foram as peneiras de malha nºs 1”, 3/4”, 1/2”, 3/8”, 4mm, 10mm, 40mm, 80mm, 200mm e fundo (Figura 4), uma estufa para secar toda a umidade de 60°C a 160°C, prensa mecânica, uma balança com capacidade de 5 kg, espátula de aço inoxidável, cápsula de porcelana com cabo, bécker de vidro, picnômetro, bandejas para colocar as amostras, tubo de ensaio, cronômetro, separador mecânico, cilindros de molde, prensa de compressão diametral, cesta metálica, placa de papel e o aparelho Rice Test.

¹ A Distribuidora Brasileira de Asfalto (Disbral) entrou no mercado asfáltico no dia 31 de outubro de 1991, com uma fábrica localizada na cidade de Aparecida de Goiânia-GO e uma filial em Minas Gerais, no Distrito Industrial de Sarzedo.

² Minuta de Norma do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT), que define a sistemática a ser empregada na execução de camada do pavimento flexível, pela confecção de misturas asfálticas mornas.

É de extrema importância conhecer toda a composição mineralógica dos agregados a serem utilizados em obras de pavimentação. Em virtude disso, após a separação das amostras dos agregados foi realizado o ensaio de granulometria, que consiste no peneiramento do material por uma sequência de peneiras pré-estabelecidas, a fim de se obter, em termos percentuais, a quantidade de material retido em cada uma delas, conforme norma DNER-ME 083/98.



Figura 3. Método de Quarteamento.
Fonte: Autoral (2018).



Figura 4. Peneiras para Ensaio de Granulometria.
Fonte: Autoral (2018).

De acordo com Ceratti e Reis (2010), a distribuição granulométrica dos agregados influi efetivamente no comportamento dos revestimentos asfálticos, pois influencia em quase todas as propriedades, incluindo rigidez, estabilidade, durabilidade, permeabilidade, trabalhabilidade, resistência à fadiga e à deformação permanente, etc.

Depois de determinada a granulometria, foi feita a análise do equivalente de areia, conforme DNER-ME 054/97, que fixa os requisitos para a determinação do equivalente de areia de agregados miúdos (Figura 5). Em seguida, foram realizados os ensaios para encontrar a densidade real dos agregados graúdos (Figura 6) e dos agregados miúdos (Figura 7), segundo as normas DNER-ME 081/98 e DNER-ME 084/95, respectivamente.



Figura 5. Equivalente de areia.
Fonte: Autoral (2018).



Figura 6. Densidade do agregado graúdo.
Fonte: Autoral (2018).



Figura 7. Densidade do agregado miúdo.
Fonte: Autoral (2018).

Conhecidos todos os resultados dos ensaios descritos anteriormente referentes à granulometria e às densidades das amostras coletadas, foi possível analisar e determinar a composição granulométrica ideal da mistura de agregados para a confecção dos corpos de prova que foram utilizados na realização dos testes de determinação do percentual de CAP que gerou o melhor resultado conforme padrões preconizados pela norma DNIT 031/2006-ES. Foram analisados e testados graficamente (Figura 8) vários percentuais de agregados, sendo que o total de material foi calculado para a confecção de um corpo de prova de 1,160 kg. Assim sendo, chegamos à composição ideal de brita 1 = 20%, brita 0 = 30%, pó de brita = 30% e areia artificial = 20%, como mostra a Tabela 1 a seguir.

Tabela 1. Composição da mistura.

Peneiras		A	B	C	D	Mistura
ASTM	mm	20,00%	30,00%	30,00%	20,00%	Total
1"	25,00	20,00	30,00	30,00	20,00	100,00
3/4"	19,00	19,86	30,00	30,00	20,00	99,86
1/2"	12,50	9,94	29,45	30,00	20,00	89,39
3/8"	9,50	2,47	23,50	30,00	20,00	75,97
Nº 4	4,75	0,28	6,26	29,89	19,55	55,99
Nº 10	2,00	0,23	1,23	25,42	13,89	40,77
Nº 40	0,42	0,2	0,52	12,87	4,37	17,96
Nº 80	0,18	0,16	0,41	8,23	1,52	10,32
Nº 200	0,075	0,1	0,23	3,99	0,49	4,82

A - BRITA 3/4" (#1)

B - BRITA 3/8" (#0)

C - PO DE BRITA

D - AREIA ARTIFICIAL

PEDREIRA IZAIRA - GOIANIA- GO

Fonte: Disbral (2018).

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

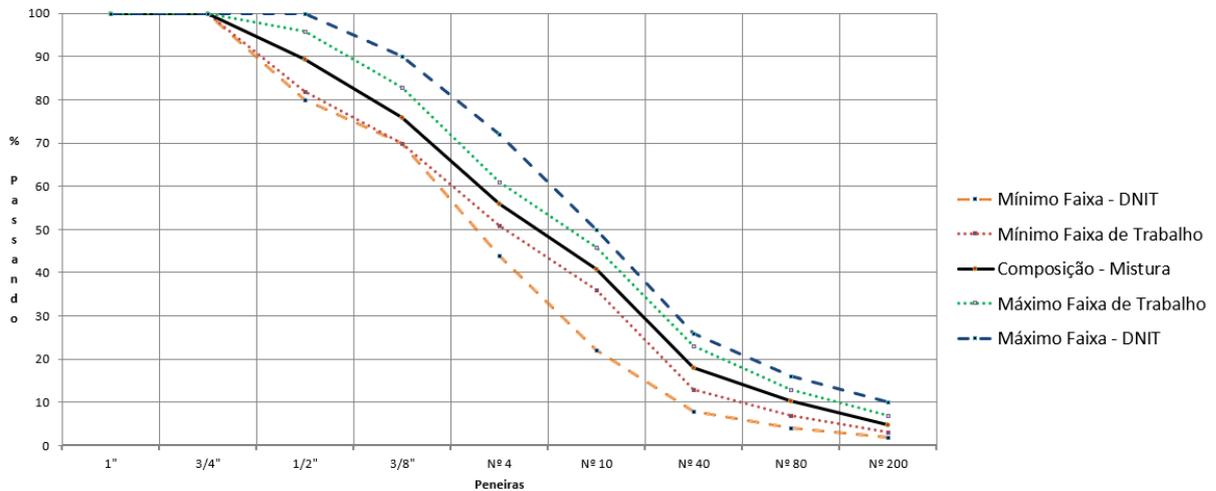


Figura 8. Gráfico para determinação da Composição Granulométrica.
Fonte: Disbral (2018).

Após definidos os parâmetros percentuais dos agregados, iniciou-se a moldagem dos corpos de prova de CBUQ, onde foram moldadas 3 (três) amostras para cada percentual de ligante, sendo eles: 4,0%; 4,5%; 5,0%; 5,5% e 6,0%. No total, foram moldados 15 (quinze) corpos de prova, com diferentes porcentagens de ligante, para análise posterior. A moldagem dos corpos de prova seguiu as etapas atendendo ao prescrito na norma DNER-ME 043/95, relativa à dosagem de misturas betuminosas a quente pelo método Marshall,³ na qual os agregados foram aquecidos na estufa a 160°C e o CAP a 150°C. Após a mistura desses dois componentes, a massa asfáltica resultante foi novamente à estufa até estabilizar na temperatura de 139°C para a compactação. O corpo de prova foi moldado no Compactador Marshall (Figura 9) por meio da colocação dessa mistura asfáltica dentro do cilindro molde, que foi golpeado 75 (setenta e cinco) vezes em cada face.

Os corpos de prova ficaram em repouso até atingirem a temperatura ambiente, quando foram extraídos dos cilindros de molde (Figura 10). Em seguida, foram tomadas as medidas da altura e do diâmetro do corpo de prova, o peso a seco e o peso submerso em água.

³ É norma técnica que apresenta os procedimentos para a determinação da estabilidade e da fluência de misturas betuminosas de cimento asfáltico ou alcatrão, a quente, para uso em pavimentação, por meio de aparelhagem Marshall (DNER-ME 043/95).



Figura 9. Compactação na Prensa Marshall.
Fonte: Autoral (2018).



Figura 10. Extração do corpo de prova.
Fonte: Autoral (2018).

Em seguida, foram imersos em água a 60°C, como determina a norma, para, depois, serem rompidos na prensa Marshall (Figura 11). Com os dados obtidos, e as devidas correções realizadas, chegou-se à estabilidade Marshall para cada corpo de prova moldado com diferentes teores de ligante.



Figura 11. Prensa Marshall manual para rompimento dos corpos de prova.
Fonte: Autoral (2018).

Foram realizadas novas misturas asfálticas que não foram compactadas e deixadas em repouso até atingir a temperatura ambiente para a realização do Rice Test,⁴ conforme preconiza a NBR 15619:2016 para determinação da densidade das misturas asfálticas. Os agregados foram aquecidos na estufa a 160°C, o CAP a 150°C, foi feita a homogeneização da mistura e depois colocada nas bandejas, misturando até atingir a temperatura ambiente, sem que os agregados se grudem um no outro. Novamente, foram feitas 5 (cinco) proporções de ligante, sendo: 4,0%; 4,5%; 5,0%; 5,5% e 6,0%. O Rice Test consistiu na pesagem do agregado dentro do recipiente. Em seguida, adicionou-se água até cobrir o agregado e iniciou-se o procedimento de vácuo para retirada do ar nos espaços vazios (Figura 12). Depois dessa etapa o recipiente foi completado com água em sua totalidade e pesado novamente, tendo sido removido todo o agregado de dentro do recipiente. Ele foi preenchido somente com água e novamente pesado.



Figura 12. Aparelho do Rice Test.

Fonte: Autoral (2018).

Com a obtenção de todos os dados oriundos dos testes acima mencionados, foi possível, pelo preenchimento de uma planilha eletrônica disponibilizada pela Disbral (Tabela 2), analisar os números, relacionando-os com os parâmetros definidos pela norma DNIT 031/2006-ES (Tabela 3), de maneira a definir qual o teor ótimo para confecção de massa asfáltica de acordo com os materiais disponíveis. Chegou-se à definição de que o teor de 5% de ligante foi a melhor opção ante os resultados observados. Sendo assim, partiu-se para a confecção dos corpos de prova aditivados, objetos de estudo deste trabalho.

⁴ É um aparelho completo que permite a determinação da máxima densidade em misturas betuminosas sob condições específicas. Possui indicadores digitais para controlar o ensaio e outro para controle de velocidade de vibração da mesa de agitação orbital (Norma ASTM D 2041).

Tabela 2. Planilha para análise dos resultados.

MISTURA BETUMINOSA		CORPO DE PROVA	ALTURA		DIAMET.		PESOS (gr.)		VOLUME (dm ³)	DENSIDADE (g/dm ³)		VAZIOS (%)	V.C.B. (%)	VAM (%)	R.B.V. (%)	ESTABILIDADE					FLUÊNCIA
DOSAGEM DE TEOR DE LIGANTE	DENSIDADE DOS AGREGADOS		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	S		
	g/dm ³		Nº	mm	mm	Ao ar	Imerso	C - D	C - E	Teórica (Rice Test)	%	%	%	%	Leitura da Prensa	Constante da Prensa	Kgf	Fator Correção	LEITURA CORRIGIDA	R. 2,54 (mm)	
4,00	2,797	01	63,08	101,00	1207,90	705,60	502,30	2,405		7,423	9,61	17,03	56,42	310	1,9856	616	1,04	638	2,50		
		02	62,90	101,00	1206,30	704,50	501,80	2,404	2,598	7,454	9,61	17,06	56,31	320	1,9856	635	1,04	661	2,50		
		03	64,01	101,00	1208,50	706,40	502,10	2,407		7,340	9,62	16,96	56,72	300	1,9856	596	1,01	603			
	MÉDIA				—	—	—	2,405	2,598	7,406	9,611	17,017	56,480	—	—	—	—	634	2,50		
4,50	2,797	01	62,90	101,00	1212,90	714,90	498,00	2,436		5,499	10,54	16,04	65,71	320	1,9856	635	1,04	661	3,00		
		02	62,55	101,00	1213,10	715,00	498,10	2,435	2,577	5,502	10,54	16,04	65,70	340	1,9856	675	1,05	709	3,00		
		03	62,63	101,00	1213,50	712,90	500,60	2,424		5,943	10,49	16,43	63,83	310	1,9856	616	1,05	645			
	MÉDIA				—	—	—	2,432	2,577	5,501	10,538	16,039	65,705	—	—	—	—	672	3,00		
5,00	2,797	01	62,13	101,00	1221,90	725,30	496,60	2,461		3,679	12,29	15,97	76,96	430	1,9856	854	1,06	907	3,50		
		02	62,55	101,00	1219,80	721,20	498,60	2,446	2,555	4,231	12,22	16,45	74,28	410	1,9856	814	1,05	855	3,50		
		03	62,13	101,00	1220,70	722,20	498,50	2,449		4,141	12,23	16,37	74,71	430	1,9856	854	1,06	907			
	MÉDIA				—	—	—	2,452	2,555	4,017	12,25	16,264	75,32	—	—	—	—	890	3,50		
5,50	2,797	01	62,13	101,00	1225,90	729,60	496,30	2,470		2,590	11,88	14,47	82,09	470	1,9856	933	1,06	991	4,00		
		02	62,20	101,00	1223,90	727,10	496,80	2,464	2,536	2,847	11,84	14,69	80,62	430	1,9856	854	1,06	905	4,00		
		03	62,23	101,00	1229,2	730,9	498,30	2,467		2,720	11,86	14,58	81,34	460	1,9856	913	1,06	968			
	MÉDIA				—	—	—	2,467	2,536	2,719	11,86	14,579	81,35	—	—	—	—	955	4,00		
6,0	2,797	01	62,20	101,00	1232,40	736,20	496,20	2,484		0,841	11,94	12,78	93,42	420	1,9856	834	1,06	884	4,50		
		02	63,01	101,00	1233,01	737,01	496,00	2,486	2,505	0,752	11,95	12,70	94,08	410	1,9856	814	1,04	845	4,50		
		03	61,70	101,00	1231,7	735,4	496,30	2,482		0,917	11,93	12,85	92,86	430	1,9856	854	1,07	917			
	MÉDIA				—	—	—	2,484	2,505	0,837	11,94	12,778	93,45	—	—	—	—	882	4,50		

Fonte: Disbral (2018).

Tabela 3. Tabela de dados normativos da norma DNIT 031/2006-ES.

Norma DNIT 031 / 2006 - ES	
Porcentagens de Vazios (%)	3 a 5
R.B.V	75 - 82
Estabilidade Mínima (Kgf)	500 Kgf
Resistência à Tração por Compressão Diametral estática a 25°C, mínima, Mpa.	0,65
Procedência	Localização
Pedreira Izaíra	Goiânia - GO

Fonte: Disbral (2018).

A NBR DNIT 031/2006 estabelece que em obras de pavimentação asfáltica podem ser utilizados os ligantes Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP) 30/45, 50/70 ou 85/100. Decidiu-se realizar todos os ensaios utilizando o ligante CAP 50/70, por ser o mais solicitado comercialmente e, sendo assim, suficiente para a avaliação da adesividade do ligante betuminoso aos agregados e a determinação da resistência à tração das misturas asfálticas.

Os aditivos surfactantes utilizados no desenvolvimento deste trabalho foram os DOPEs, que são aditivos melhoradores de adesividade, das marcas Home e Aminocap, e os aditivos para misturas mornas das marcas Home e MWV, que podem ser encontrados no mercado nacional. Os aditivos surfactantes possuem a capacidade de alterar as propriedades superficiais e interfaciais dos líquidos, reduzindo a tensão superficial na interface ligante asfáltico/agregado, é incorporado diretamente ao ligante asfáltico, contribuindo com o

processo da adesão ao agregado mesmo com temperaturas de trabalho inferiores às convencionais (Minuta de norma DNIT XXX/2016-ES).

Deu-se prosseguimento ao trabalho após análise dos materiais nos ensaios anteriores. Novos corpos de prova foram moldados seguindo as mesmas normativas anteriores, com a mesma composição granulométrica e teor de CAP de 5%. Foi incorporado aditivo tipo DOPE e mistura morna ao CAP, na proporção de 0,07% e 0,4% respectivamente, e moldados três corpos de prova para cada tipo de aditivo e fabricantes diferentes. Sendo assim, doze moldagens foram realizadas, pois foram testados dois tipos de DOPE e dois tipos de mistura morna. Nos ensaios realizados com o aditivo DOPE, as temperaturas de aquecimento do CAP, do agregado e da compactação foram as mesmas utilizadas para a confecção do CBUQ, sendo de 160°, 150° e 139°, respectivamente. Já para a mistura morna, obedecendo à minuta de norma para misturas mornas – que preconiza a redução de no mínimo 25° em relação à mistura quente convencional –, as temperaturas foram diminuídas linearmente na ordem de 30° para cada etapa do processo, sendo: 130° para o CAP, 120° para os agregados e 109° para a compactação.

Primeiro foi realizado o ensaio de determinação da resistência à tração por compressão diametral, conforme norma DNIT 136/2017. Após a cura do material, procedeu-se à ruptura dos corpos de prova (Figura 13) e os resultados obtidos foram lançados em uma planilha eletrônica para tabulação e análise dos dados.



Figura 13. Prensa de Compressão Diametral.
Fonte: Autoral (2018).

Finalizados os testes de compressão diametral, iniciaram-se os ensaios de adesividade conforme NBR 6300/2009. Procedeu-se à separação de 300 g de agregado graúdo retido na peneira de 1/2" para cada ensaio, que foram devidamente lavados em água corrente para a retirada do material pulverulento aderido na superfície dos agregados. Posteriormente, o material foi levado à estufa para secagem e aquecimento. Enquanto isso, o ligante também foi aquecido até atingir as temperaturas de trabalho estipuladas para cada tipo de aditivo a ele adicionado, sendo: CBUQ convencional e CBUQ aditivado com DOPE aquecidos a 160°, enquanto as misturas mornas, a 130°. Em seguida, após o atingimento da temperatura ideal de trabalho, os componentes foram misturados até que o agregado ficasse completamente coberto pelo ligante betuminoso. A mistura foi colocada em uma cesta metálica e deixada em repouso para esfriar (Figura 14) para que, então, fosse dado continuidade ao ensaio, que consistiu em colocar a cesta com os agregados em água aquecida durante três minutos. Transcorrido esse intervalo de tempo, deu-se início à análise visual da mistura ainda dentro da água, para verificar se houve deslocamento da película betuminosa, em seguida espalhando o material sobre uma placa de papel para análise da superfície dos agregados quanto à permanência do ligante no agregado ou não (Figura 15).



Figura 14. Agregado coberto por ligante.
Fonte: Autoral (2018).



Figura 15. Agregado após ensaio.
Fonte: Autoral (2018).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos pela execução dos ensaios referentes à determinação da adesividade do ligante betuminoso aos agregados e da resistência à tração por compressão diametral possibilitaram a análise comparativa do comportamento da massa asfáltica destinada para pavimentos flexíveis. Após a realização de todos os ensaios para determinar as características dos agregados coletados como análise de granulometria e densidade, fixou-se como parâmetro para a produção de um corpo de prova com aproximadamente 1,2 kg a composição proporcional de 20% de brita 1, pesando 232 g, 30% de brita 0, pesando 348 g, 30% de pó de brita, pesando 348 g, e 20% de areia artificial, pesando 232 g (Figura 16).



Figura 16. Composição Proporcional de Agregados.

Fonte: Autoral (2018).

Para essa composição granulométrica, adicionou-se CAP na proporção de 5%, ou seja, 61,1 g de ligante para a produção da massa asfáltica. As misturas classificadas como “quentes”, como CBUQ e CBUQ aditivado com DOPE, tiveram seus agregados aquecidos a 160°, o CAP a 150° e a massa asfáltica já misturada, aquecida a 139°, para tornar possível a realização do procedimento de compactação. Já para as misturas mornas os agregados foram aquecidos a 130°, o CAP aditivado a 120° e a massa asfáltica já misturada a 109°.

Os corpos de prova foram produzidos, devidamente curados e rompidos diametralmente, e seus dados compilados em tabela eletrônica (Tabela 4) e analisados conforme parâmetros estabelecidos pela norma DNIT 136/2017-ME. Os dados apresentados na tabela referem-se à média aritmética dos valores obtidos de três corpos de prova. A instrução normativa define como valor de resistência, o resultado da equação: $\sigma_R = \frac{2F}{\pi \cdot D \cdot H}$, onde σ_R é a resistência à tração em MPa, F é a carga de ruptura lida na prensa em N, D é diâmetro do corpo de prova em mm e H é a altura do corpo de prova em mm.

Tabela 4. Tabela de resultados do ensaio de Compressão diametral.

Mistura Asfáltica	% ASF.	D (CM)	H (CM)	F (LEIT.P.)	Resistência à Tração
DOPE AMINOCAP	5,00	10,08	6,21	580	5,9
DOPE HOME	5,00	10,23	6,26	530	5,27
CBUQ	5,00	10,1	6,23	550	5,56
MISTURA MORNA MWV	5,00	10,18	6,29	430	4,28
MSTURA MORNA HOME	5,00	10,19	6,29	390	3,87

Fonte: Autoral (2018).

Diante dos dados obtidos, observou-se que as misturas mornas apresentaram os menores valores de resistência à compressão diametral em relação às outras amostras.

Finalizados os ensaios acima descritos, procedeu-se à análise de adesividade do ligante betuminoso aos agregados, atendendo ao prescrito na norma NBR 6300/2009. Para todas as amostras foi utilizado o teor de 10,35g CAP para a mistura em 300 g de agregado. Para as misturas aditivadas foram adotados os parâmetros de 0,07% de DOPE em relação ao CAP e de 0,4% de aditivo para mistura morna. Após a realização dos ensaios, percebeu-se o deslocamento de película betuminosa em todas as amostras analisadas, algumas em maior proporção do que as outras. A análise desse ensaio foi visual tanto na observação da camada de CAP que se desprendeu dos agregados após a exposição ao calor e ficou depositada acima da água onde a mistura fica mergulhada (Figura 17), devido à diferença de densidade dos líquidos, quanto na observação da parcela do CAP que permaneceu aderida aos agregados depois da retirada de dentro da água e de sua exposição sobre uma placa de papel.

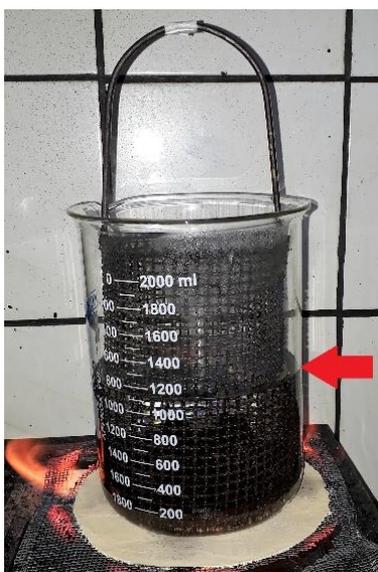


Figura 17. Ensaio de adesividade.

Fonte: Autoral (2018).

Foi adotado como parâmetro de comparação o CBUQ convencional e os resultados observados estão listados na Tabela 5 e nas Figuras 18 e 19, na ordem do que apresentou menor deslocamento de película betuminosa para o que teve maior deslocamento de película, ou seja, da amostra que apresentou resultado mais satisfatório para a menos satisfatório.

Tabela 5. Resultados do ensaio de adesividade.

Misturas	Resultados
CBUQ - DOPE Aminocap	Satisfatório
CBUQ - DOPE Home	Insatisfatório
CBUQ	Satisfatório
MISTURA MORNA - MWV	Satisfatório
MISTURA MORNA - Home	Insatisfatório

Fonte: Autoral (2018).



Figura 18. Resultados do ensaio de adesividade.

Fonte: Autoral (2018).



Figura 19. Resultados do ensaio de adesividade.

Fonte: Autoral (2018).

4 CONCLUSÃO

Finalizados os ensaios propostos nesse trabalho, cuja finalidade foi comparar o desempenho quanto à adesividade do ligante betuminoso aos agregados e a resistência à tração por compressão diametral, foi observado que nos resultados obtidos pela realização dos ensaios de adesividade, a mistura morna aditivada com o produto da marca MWV apresentou o melhor resultado entre todas as misturas analisadas. Confrontando os dados resultantes da realização dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral, concluiu-se que as misturas asfálticas aditivadas com DOPE apresentaram as melhores performances, o CBUQ convencional apresentou resultado mediano entre as amostras e as misturas mornas apresentaram as menores resistências. Diante dos resultados coletados, percebeu-se que, apesar do bom desempenho da adesividade do CAP da mistura morna aos agregados, essas mesmas misturas mornas apresentaram as menores resistências à tração. Essa constatação contrariou a expectativa de que uma boa aderência do CAP aos agregados consequentemente promoveria maior resistência.

O resultado esperado deste trabalho era a obtenção de maior resistência à tração por parte do asfalto morno em relação ao CBUQ convencional, em razão do menor grau de aquecimento do CAP pois, consequentemente, reduziria a perda de componentes importantes, como o malteno, que se volatiliza quando exposto a altas temperaturas e é um importante componente, capaz de contribuir para a resistência e durabilidade do pavimento, porém, os resultados encontrados não confirmaram essa suposição inicial. Tal verificação chamou a atenção para o resultado da compactação dos corpos de prova. Desse modo, analisadas as tabelas de resultados foi possível verificar que os corpos de prova das misturas mornas apresentaram as maiores alturas médias após o processo de compactação.

Concluiu-se, então, que houve um prejuízo no processo de compactação dos corpos de prova das misturas mornas, ocasião na qual percebeu-se que o material foi compactado, mas não foi bem adensado. Podendo os resultados terem sido influenciados pelo índice de vazios obtido em cada amostra após o processo de compactação. Essa constatação sugere que o bom adensamento e a coesão dos grãos são decisivos para a resistência final do pavimento, portanto, faz-se necessário a análise de mais parâmetros para determinar o desempenho de um pavimento asfáltico para rolamento. Sugere-se a realização dos ensaios conforme prescrito na Norma DNIT 031/2006-ES para que seja possível uma análise mais complexa e assertiva,

pois esta norma objetiva estabelecer a sistemática a ser empregada na produção de misturas asfálticas para a construção de camadas do pavimento de estradas de rodagem, onde a determinação da resistência à tração por compressão diametral é uma das etapas dessa norma de serviço, que também prescreve ensaios de análise de índice de vazios, relação betume/vazios e análise de estabilidade Marshall.

Por esse motivo, sugere-se que os estudos sejam continuados a partir dessa ótica, primando pelo bom adensamento da mistura. Outras faixas de temperatura de aquecimento da mistura morna também devem ser testadas, inclusive com diferentes decréscimos de temperatura para cada etapa e componente do processo. Para este trabalho foi testado o decréscimo linear de 30° em cada uma das etapas do ensaio. Propõe-se, por exemplo, uma redução de 30° para o agregado, somente 20° para o ligante, entre outras variações. Outra percepção pertinente diz respeito à composição química dos agregados, que, a depender da carga elétrica dos átomos, pode otimizar ou prejudicar a aderência do CAP, influenciando diretamente na adesividade. Em vista disso, existe a possibilidade de que a carga elétrica de determinado agregado anule ou otimize a ação de um determinado aditivo. Por esse motivo, sugere-se que sejam realizados testes com outros tipos de agregados que ocorrem na região, como o granilite e o calcário, para a confirmação de uma mistura ótima que apresente os melhores resultados. Para este trabalho foram utilizadas amostras de micaxisto.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR 7211:2009**. Agregados para Concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR 15619**. Misturas Asfálticas – Determinação da Densidade Máxima Teórica e da Massa Específica Máxima em Amostras não Compactadas. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____. **NBR 6300**. Emulsões Asfálticas Catiônicas – Determinação da Resistência à Água (Adesividade) em Agregados Graúdos. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

BARBER GREENE. **Manual de Pavimentação Betuminosa**. São Paulo: Barber Greene, 1963.

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: Materiais, Projeto e Restauração**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobrás/Abeda, 2008. 504p.

BUTTLER, A. M. **Concreto com Agregados Graúdos Reciclados de Concreto – Influência da Idade de Reciclagem nas Propriedades dos Agregados e Concretos Reciclados**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

CERATTI, J. A. P. et al. **Dosagem de Concreto Asfáltico**. Rio de Janeiro: Instituto Pavimentar, 2010.

CNT – **Confederação Nacional de Transporte**. Disponível em: <http://anuariodotransporte.cnt.org.br/2017/Rodoviario/1-6-1-/Transporte-nacional>. Acesso em: 29 de outubro de 2018.

COSTA, M. J. **Avaliação do Uso da Areia Artificial em Concreto de Cimento Portland: Aplicabilidade do Método de Dosagem**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil- Unijuí, 2005.

Departamento Nacional de Estradas e Rodagem – DNER.

_____. **Norma DNER 043/1995 – ME**. Misturas Betuminosas a Quente – Ensaio Marshal.

_____. **Norma DNER 054/1997 – ME**. Agregados – Equivalente de Areia.

_____. **Norma DNER 078/1994 – ME**. Agregado Graúdo – Adesividade a Ligante Betuminoso.

_____. **Norma DNER 083/1998 – ME**. Agregados – Análise Granulométrica.

_____. **Norma DNER 084/1995 – ME.** Agregado Miúdo – Determinação da Densidade Real.

_____. **Norma DNER 120/1997 – PRO.** Coleta de Amostras de Agregados.

_____. **Norma DNER 199/1996 – PRO.** Redução de Amostra de Campo de Agregados para Ensaio de Laboratório.

_____. **Norma DNER 138/1994 – ME.** Misturas Betuminosas – Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Pavimentação.** IPR/DNIT/ABNT, Publicação 719. Rio de Janeiro: DNIT, 2017.

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

_____. **Norma DNIT 136/2017 – ME.** Pavimentação Asfáltica – Misturas Asfálticas – Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral. Método de Ensaio. Rio de Janeiro: DNIT, 2017.

_____. **Norma DNIT 043/1995 – ME.** Pavimentação Asfáltica – Misturas Asfálticas – Misturas Betuminosas a Quente – Ensaio Marshal. Método de Ensaio. Rio de Janeiro: DNIT, 1995.

MELLO, D. **Avaliação da Adição de Evotherm no Comportamento de Misturas Asfálticas em Laboratório e no Desempenho em Campo.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

MOTTA, L.M.G. **Considerações a Respeito de Pavimentos e Tráfegos em Vias Urbanas.** In: Reunião De Pavimentação Urbana, 6ª. Santos. Anais. Santos, Associação Brasileira de Pavimentação, Santos. 1995.

MOTTA, R. S. **Estudo de Misturas Asfálticas Mornas em Revestimentos de Pavimentos para Redução de Emissão de Poluentes e de Consumo Energético.** Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

MOURA, Edson de. **Transporte e Obras de Terra.** Movimento de Terra e Pavimentação. Apostila de Projeto de Pavimentos. São Paulo, 2014

NOGUEIRA, C. **Pavimentação: Projeto e Construção.** Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1961.

PETRUCCI E, G. R. **Concreto de Cimento.** Globo, São Paulo, 1998.

SENÇO, W. **Pavimentação.** São Paulo: Grêmio Politécnico, 1979.

_____. **Manual de Técnicas de Pavimentação.** São Paulo: Pini, 1997.

_____. **Manual de Técnicas de Pavimentação.** vol. 2. 2. ed. São Paulo: Pini, 2001.

DECLARAÇÃO E AUTORIZAÇÃO

Eu, Fernanda Ribeiro de Assis, portadora da Carteira de Identidade nº 5868459, emitida pelo SSP-GO, inscrita no CPF sob nº 049.072.781-60, residente e domiciliada na Rua Pirapitinga Qd. 13 Lt. 08 – Bairro Goiá, na cidade de Goiânia, estado de Goiás, telefone celular (62) 99347-9580, e-mail: fernanda.tecnica@outlook.com, declaro, para os devidos fins e sob pena da lei, que o Trabalho de Conclusão de Curso: ESTUDO COMPARATIVO DA ADESIVIDADE DO LIGANTE BETUMINOSO AOS AGREGADOS E DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL ENTRE CBUQ CONVENCIONAL E O ASFALTO MORNO, é uma produção de minha exclusiva autoria e que assumo, portanto, total responsabilidade por seu conteúdo.

Declaro que tenho conhecimento da legislação de Direito Autoral, bem como da obrigatoriedade da autenticidade desta produção científica. Autorizo sua divulgação e publicação, sujeitando-me ao ônus advindo de inverdades ou plágio e uso inadequado de trabalhos de outros autores. Nestes termos, declaro-me ciente que responderei administrativa, civil e penalmente nos termos da Lei 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, que altera e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

Pelo presente instrumento autorizo o Centro Universitário de Goiás, Uni-ANHANGUERA a disponibilizar o texto integral deste trabalho tanto na biblioteca, quanto em publicações impressas, eletrônicas/digitais e pela internet. Declaro ainda, que a presente produção é de minha autoria, responsabilizo-me, portanto, pela originalidade e pela revisão do texto, concedendo ao Uni-ANHANGUERA plenos direitos para escolha do editor, meios de publicação, meios de reprodução, meios de divulgação, tiragem, formato, enfim, tudo o que for necessário para que a publicação seja efetivada.

Goiânia 09 de Novembro de 2018.



Fernanda Ribeiro de Assis

DECLARAÇÃO E AUTORIZAÇÃO

Eu, Leandro Barbosa Freitas, portador da Carteira de Identidade nº 3905833, emitida pelo SSP-GO, inscrito no CPF sob nº 993.636.311-68, residente e domiciliado na Rua Getúlio de Sá Qd.71A Lt.03 - Conjunto Morada Nova, na cidade de Goiânia, estado de Goiás, telefone celular (62) 9 8418-7594, e-mail: leandrof28@gmail.com, declaro, para os devidos fins e sob pena da lei, que o Trabalho de Conclusão de Curso: ESTUDO COMPARATIVO DA ADESIVIDADE DO LIGANTE BETUMINOSO AOS AGREGADOS E DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL ENTRE CBUQ CONVENCIONAL E O ASFALTO MORNO, é uma produção de minha exclusiva autoria e que assumo, portanto, total responsabilidade por seu conteúdo.

Declaro que tenho conhecimento da legislação de Direito Autoral, bem como da obrigatoriedade da autenticidade desta produção científica. Autorizo sua divulgação e publicação, sujeitando-me ao ônus advindo de inverdades ou plágio e uso inadequado de trabalhos de outros autores. Nestes termos, declaro-me ciente que responderei administrativa, civil e penalmente nos termos da Lei 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, que altera e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

Pelo presente instrumento autorizo o Centro Universitário de Goiás, Uni-ANHANGUERA a disponibilizar o texto integral deste trabalho tanto na biblioteca, quanto em publicações impressas, eletrônicas/digitais e pela internet. Declaro ainda, que a presente produção é de minha autoria, responsabilizo-me, portanto, pela originalidade e pela revisão do texto, concedendo ao Uni-ANHANGUERA plenos direitos para escolha do editor, meios de publicação, meios de reprodução, meios de divulgação, tiragem, formato, enfim, tudo o que for necessário para que a publicação seja efetivada.

Goiânia 09 de Novembro de 2018.



Leandro Barbosa Freitas

ESTUDO COMPARATIVO DA ADESIVIDADE DO LIGANTE BETUMINOSO AOS AGREGADOS E DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL ENTRE O CBUQ CONVENCIONAL E O ASFALTO MORNO.

ASSIS, Fernanda Ribeiro¹; FREITAS, Leandro Barbosa²; CEZAR, Murilo Faria³

¹Estudante do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Goiás – Uni-ANHANGUERA. ²Estudante do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Goiás – Uni-ANHANGUERA. ³Professor, Especialista, Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Goiás Uni-ANHANGUERA.

A malha rodoviária brasileira tem quase 1,7 milhões de quilômetros, porém apenas 12,1% encontram-se pavimentadas. De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre (DNIT), o déficit da pavimentação nas rodovias federais, estaduais e municipais é de 10,8%, 43,7% e 92,2% do revestimento, esses dados demonstram a importância e a motivação para o desenvolvimento deste estudo, que visa à identificação de melhores tecnologias aplicadas à execução de revestimentos asfálticos, com o intuito de melhorar a qualidade, a durabilidade, a resistência mecânica e consequentemente aumentar vida útil do pavimento. O objetivo do trabalho foi realizar um estudo comparativo da adesividade do ligante betuminoso aos agregados e da resistência à tração por compressão diametral, entre o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) e o asfalto morno, a fim de comparar a capacidade adesiva do ligante aos agregados, tanto na utilização do Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), sem aditivo na produção do CBUQ quanto na aditivação do CAP na produção do asfalto Morno. Depois de realizado os ensaios para determinação das características dos agregados coletados como, análise de granulometria e densidade, fixou-se como parâmetros para a produção de um corpo de prova de 1,2 Kg, a composição proporcional de 20% de brita 1 pesando 232g, 30% de brita 0 pesando 348g, 30% de pó de Brita pesando 348g e 20% de areia artificial pesando 232g. Para esta composição granulométrica, adicionou-se CAP na proporção de 5%. Confrontando os dados obtidos pela realização dos ensaios da Norma DNIT 031/2006-ES chegamos à conclusão que as misturas asfálticas aditivadas com DOPE apresentaram melhor performance que o CBUQ convencional, e que as misturas mornas apresentaram desempenho pior que o CBUQ convencional.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimentação. Qualidade. Durabilidade. Aditivo.

