

# O EFEITO DA CONSISTÊNCIA DO CAP NO TEOR ÓTIMO E NAS PROPRIEDADES DAS MISTURAS ASFÁLTICAS

**Jorge Barbosa Soares**

Universidade Federal do Ceará - UFC

**Leni Mathias Leite**

Cenpes / Petrobras

**Laura Maria Goretti da Motta**

Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE / UFRJ

**José Valdonel Castelo Branco**

DNER-CE

## RESUMO

É apresentado um estudo sobre a influência da consistência do CAP no seu teor ótimo selecionado de acordo com a dosagem de mistura pelo método Marshall. Três tipos de CAP, classificados por penetração, são considerados: 30/45, 50/60 e 85/100. Estes CAP são ainda classificados de acordo com as especificações SUPERPAVE. São realizados ensaios de resistência à tração estática e módulo de resiliência em misturas asfálticas considerando os três tipos de CAP no teor ótimo. Os resultados deste estudo indicam, para a granulometria considerada, que os CAP com propriedades semelhantes possuem o mesmo teor ótimo, enquanto um menor teor é exigido do CAP menos consistente. Os valores de módulo de resiliência bem como de resistência à tração estática foram superiores para misturas com os CAP mais consistentes.

## ABSTRACT

It is presented a study about the effect of the asphalt viscosity on the optimum asphalt content determined according to the Marshall mix design method. Three types of asphalt cements, classified by penetration, are considered: 30/45, 50/60 and 85/100. The asphalt cements are also classified according to the SUPERPAVE specifications. Resilient modulus and indirect tension tests were performed in asphalt mixtures considering the three asphalt cements in their respective optimum content. The results of this study indicate that, for the aggregate blend considered, the asphalt cements with similar properties have the same optimum content, while a lower content is required from the less viscous asphalt cement. The values of resilient modulus and tension strength were higher for the mixtures with more viscous asphalt cements.

## 1. INTRODUÇÃO

No estado do Ceará, o CAP 50/60 é usado para revestimento de CBUQ. Recentemente, em virtude das elevadas temperaturas em que trabalham os pavimentos do estado, foi proposta a utilização de um ligante mais consistente, o CAP 30/45 (Viana et al., 1996; Soares et al., 1998). Com o propósito de investigar o potencial da utilização deste ligante, uma pista experimental vem sendo monitorada desde Novembro de 1995. No acompanhamento estão sendo observados um trecho com revestimento em CBUQ contendo o CAP 50/60 e outro com revestimento contendo o CAP 30/45. Os resultados mais recentes do acompanhamento são apresentados em Soares et al. (1999).

Para a construção da pista experimental no Ceará, a dosagem Marshall das misturas asfálticas com os dois CAP mencionados, apontou um fato que motivou o presente estudo. O teor ótimo do CAP 30/45 foi 0,5% superior ao teor ótimo do CAP 50/60, mantidas aproximadamente constantes as outras variáveis das misturas asfálticas (tipos de agregado e granulometria, faixa C do DNER). Esta diferença de teor é significativa, visto que este é em geral o intervalo que se emprega na dosagem para preparar os corpos de prova que serão utilizados para obter os pontos para traçado das curvas que ajudam a definir o chamado teor ótimo. A diferença é ainda significativa por ser superior ao intervalo de  $\pm 0,3\%$  admitido na maioria das especificações de serviço de CBUQ (por exemplo, DNER ES 313/97 e DER/PR ES-P 21/91).

Há uma opinião entre alguns profissionais do meio técnico rodoviário de que seria necessário um teor maior de ligante à medida que se utiliza um CAP de maior consistência. Porém esta é uma opinião não fundamentada em pesquisas científicas. Ferreira (1984) cita que um pequeno incremento no teor de ligante 30/45 da ordem de 0,5% formaria um filme mais espesso envolvendo o agregado, aumentando a flexibilidade da mistura e a vida útil do pavimento, mas não apresenta nenhum estudo experimental comprovando estas afirmações. A prefeitura do Município do Rio de Janeiro utiliza o CAP 40 há mais de quinze anos nos pavimentos cariocas e suas misturas betuminosas não empregam maior teor de ligante na mistura do que o CAP 20. Santana (1998) afirma ser necessário um maior teor de asfalto nas misturas quando o asfalto é mais consistente sem, no entanto, comprovar com dados ou referências. A estabilidade é apresentada no citado trabalho como parâmetro comparativo, ou seja, para atingir a mesma estabilidade, uma mistura com um CAP mais consistente exigiria um maior teor deste CAP do que de um CAP menos consistente. Porém, no Brasil, o teor ótimo de asfalto raramente é escolhido a partir da estabilidade, uma vez que este parâmetro no seu valor limite mínimo de especificação geralmente é atendido para vários teores de ligante. Volume de vazios ( $V_v$ ) e relação betume-vazios (RBV) são comumente os dois parâmetros determinantes na seleção do teor ótimo.

A questão da escolha de um teor como “ótimo” não está associada a uma característica intrínseca e determinística que conduza inequivocamente a um único valor possível, mesmo para uma dada granulometria (faixas definidas para cada caso de aplicação do CBUQ, capa ou camada de ligação). Este teor se tornaria menos indeterminado caso se fixasse pelo menos um dos parâmetros, como por exemplo o volume de vazios, como indica a metodologia SHRP (Motta et al., 1996; SHRP, 1994a, 1994b).

Citando somente um contra-exemplo sobre a opinião da necessidade generalizada de maiores teores quanto maior a consistência do CAP, mostra-se nas Tabelas 1 e 2 resultados de Pinto (1991). Em extenso trabalho de comparação da influência do CAP nas propriedades mecânicas relevantes das misturas asfálticas tipo CBUQ, Pinto estudou seis ligantes asfálticos distintos em consistência e em petróleos de origem. Foi utilizado um mesmo agregado granítico, faixa B do DNER (silo quente 3 = 36,7%; silo quente 2 = 21,7%; silo quente 1 = 33% e fíler cimento portland 2,8%), e encontrou-se teores ótimos praticamente iguais para CAP bastante diferentes conforme mostra a Tabela 1. A maior diferença foi de 0,5% entre o CAP mais consistente (atual CAP 40) e o menos consistente (CAP 20).

**Tabela 1:** Características dos ligantes e das misturas estudadas por Pinto (1991)

Amostra	CAP	Origem	Penetração (0,1 mm)	Viscosidade (SSF, 135 °C)	Viscosidade Absoluta (Poise)	Teor Ótimo CAP (%)	Vazios (%)	RBV (%)
1	50/60	RLAM	56	195	2.939	5,8	3,95	77,6
2	50/60	REFAP	52	217	2.593	5,7	3,70	78,4
3	30/45	REDUC	31	226	4.665	5,9	3,74	78,6
4	20/45	REDUC	21	-	12.300	6,1	3,95	78,0
5	55	REPAR	41	240	3.650	6,1	3,97	78,3
6	20	REPLAN	60	190	1.866	5,6	3,94	77,3

No entanto, e é o que mais importa na verdade, os parâmetros mecânicos tiveram variações bastante significativas conforme mostram os valores de módulo de resiliência e de resistência à tração apresentados na Tabela 2. No caso da estabilidade, observe-se que a amostra 1 feita com CAP 50/60 tem praticamente o mesmo valor da mistura 6 que foi feita com CAP 20, e os outros valores são todos maiores com praticamente o mesmo teor. Portanto, este não seria o argumento para justificar maiores teores.

**Tabela 2:** Características mecânicas das misturas estudadas por Pinto (1991)

Amostra	Estabilidade (kgf)	Fluência (mm)	Módulo de Resiliência (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_t$ (25 °C) (kgf/cm <sup>2</sup> )	MR/ $\sigma_t$
1	750	14	40.000	6,46	6.190
2	950	15	41.000	6,37	6.436
3	880	16	60.700	10,63	5.710
4	1.240	16	146.000	19,10	7.640
5	950	16	52.400	10,83	4.838
6	763	18	35.900	8,26	4.340

A fim de verificar a real necessidade de um maior teor do CAP 30/45 em misturas asfálticas comparativamente ao teor do CAP 50/60, de interesse no caso da pesquisa do trecho experimental do Ceará, foi desenvolvido um pequeno estudo sobre o efeito da consistência no teor ótimo, também visando contribuir para o esclarecimento da questão mais geral. A faixa C do DNER foi considerada para os agregados. Além dos dois CAP usados na pista experimental do Ceará, foi incluído um terceiro CAP (85/100) a fim de aumentar o espectro de viscosidade para tornar mais clara qualquer tendência.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DOS CAP

Conforme dados da Tabela 3, os CAP usados atendem as especificações brasileiras regulamentadas pela Agência Nacional de Petróleo (ANP, antigo DNC) conforme Regulamento Técnico do Departamento Nacional de Combustíveis - DNC N°05 de 11/03/93 - REGULAMENTO TÉCNICO DNC N°01/92 - REV 02 (ANP, 1993).

**Tabela 3:** Especificações e resultados dos ensaios nos CAP

Características	Unidades	30/45		50/60		85/100	
		Especificações	Medido	Especificações	Medido	Especificações	Medido
Penetração, (25°C, 100g, 5s)	0,1mm	30 - 45	39	50 - 60	51	85 - 100	100
Índice de Susceptibilidade Térmica, IST		(-1,5) a (+1,0)	-0,60	(-1,5) a (+1,0)	-1,50	(-1,5) a (+1,0)	-1,70
Ponto de Fulgor	°C	235 (min)	276,0	235 (min)	264,0	235 (min)	263,0
Ductilidade ( 25°C, 5 cm/min)	cm	60 (min)	> 150	60 (min)	> 150	100 (min)	> 150
Viscosidade Saybolt-furol a 135°C	s	110 (min)	228	110 (min)	214	85 (min)	137
Visc. Cinemática a 60°C	Poise		2.660		2.329		950
Solubilidade em Tricloroetileno	% peso	99,5 (min)	100,0	99,5 (min)	100,0	99,5 (min)	100,0
<b>EFEITO DO CALOR E AR</b>							
Penetração, % sobre o valor original	%	50 (min)	77	50 (min)	61	47 (min)	69
Varição de Peso	%	1,0 (máx)	0,1	1,0 (máx)	0,4	1,0 (máx)	0,2

Classificou-se os CAP ainda de acordo com as especificações SUPERPAVE, baseadas em propriedades relacionadas ao desempenho dos pavimentos em reposta ao carregamento de tráfego e efeitos climáticos (SHRP, 1994a, 1994b; Motta et al., 1996). Neste estudo, o CAP 30/45 foi classificado como um PG 70-16 (desempenho adequado a temperaturas do pavimento de -16 °C a 70 °C). O CAP 50/60 foi classificado como um PG 64-16. Recentemente, tem sido estudada a inclusão de uma categoria intermediária entre o PG 64- e o PG 70-, o PG 67-, correspondente ao AC-30, muito utilizado nos Estados Unidos (Epps, 1998). O CAP 50/60 da LUBNOR no Ceará se enquadraria nesta nova classe. O CAP 85/100 foi enquadrado como um PG 52-28.

A composição química dos três CAP está apresentada na Tabela 4 e não varia muito com a consistência do CAP. A aromaticidade é praticamente a mesma para os três tipos e se observa um aumento do teor de asfaltenos com o aumento da consistência.

**Tabela 4:** Resultados de análise de amostras de CAP Bachaquero da LUBNOR

Ensaio	Método	CAP 30/45	CAP 50/60	CAP 85/100
Fracionamento SARA, %	IATROSCAN TLC/FID			
Saturados	Cromatografia em	6	7	8,1
Aromáticos	camada fina com	20	28	26
Resinas	deteção por ionização	47	45	47
Asfaltenos	de chama	27	20	18
Carbono aromático, %	NMR – Ressonância nuclear magnética	33,3	33,1	32,9

A Tabela 5 apresenta os resultados das análises relativas às especificações SUPERPAVE dos três tipos de CAP. A viscosidade Brookfield foi realizada com spindle 21 empregando três diferentes taxas de cisalhamento (rotações) indicando que os três ligantes são newtonianos. A viscosidade mais alta a 135°C do CAP 30/45 indica que o mesmo irá requerer temperaturas mais altas de usinagem e compactação que o CAP 50/60.

A classificação do CAP 85/100 como PG 52-28 mostra que o mesmo não é apropriado para ser usado em CBUQ em Fortaleza pois sua resistência à formação de trilhas de roda está limitada a temperatura máxima de pavimento de 52°C sem considerar o tráfego. Nas medições de temperatura realizadas na pista experimental em Fortaleza já se determinaram temperaturas de pavimento superiores a 52°C. Embora a classificação do CAP 30/45 (PG 70-16) seja diferente do CAP 50/60 (PG 64-16), os resultados obtidos revelam que os mesmos são bastante semelhantes quanto às temperaturas de resistência à fadiga e à formação de trincas térmicas.

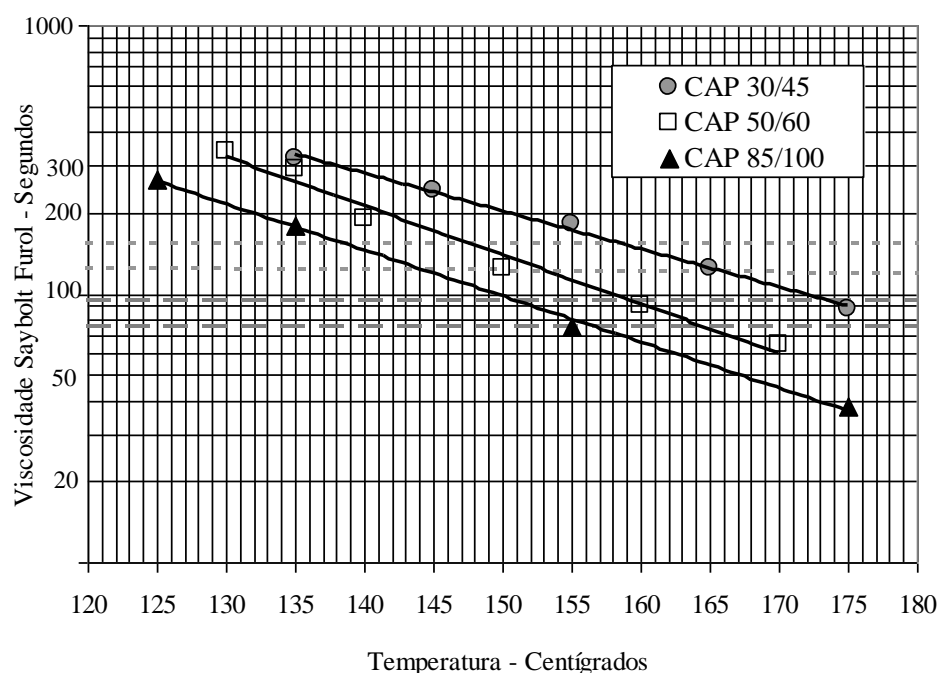
**Tabela 5:** Resultados de análises relativas às especificações SUPERPAVE de amostras de CAP Bachaquero da LUBNOR

Ensaio	CAP 30/45	CAP 50/60	CAP 85/100
Viscosidade @ 135°C, cP			
15 RPM/SP 21	554	466	210
30 RPM/SP 21	545	466	210
60 RPM/SP 21	544	469	211
G*/ sen δ ( 1 kPa mín ) , °C	70 (1,1)	70 (1,1)	58 (1,1)
Após RTFOT			
Perda em massa, % RTFOT	0,41	0,23	0,27
G*/ sen δ [2,2 kPa mín] , °C	70 (2,4)	64 (4,1)	52 (4,4)
Após RTFOT / PAV			
G* sen δ ( 5 MPa máx ) , °C	25 (4,1)	25 (4,9)	19 (3,8)
BBR			
Temperatura, °C	-6	-6	-18
S=300 MPa máx,	117	186	296
m=0,3 mín	0,38	0,38	0,36
Grau de Desempenho	70-16	64-16	52-28

Os três CAP são de classe S de acordo com o gráfico de Heukeulom (1969), portanto considerados bons ligantes para pavimentação. A partir da Figura 1, obteve-se as temperaturas de mistura e compactação das misturas com os três tipos de CAP. Os limites de temperatura para mistura são correspondentes a uma viscosidade Saybolt-Furol entre 75 e 95 SSF (DNER ES 313/97), enquanto que para a compactação a viscosidade deve estar entre 125 e 155 SSF (DNER ME 107/94) (estes limites estão tracejados na Figura 1). Os CAP mais consistentes devem ser misturados e compactados a maiores temperaturas como indicam os limites encontrados para este estudo pela Figura 1 e mostrados na Tabela 6.

**Tabela 6:** Limites de temperatura de mistura e compactação

	Temperatura (°C)		
	30/45	50/60	85/100
Mistura	172-178	158-164	150-156
Compactação	158-165	147-152	138-144



**Figura 1:** Viscosidade em função da temperatura

### 3. RESULTADOS DA DOSAGEM

O teor ótimo de CAP foi selecionado a partir do método de dosagem Marshall para misturas betuminosas, objeto do método de ensaio DNER (ME 043/64).

#### 3.1. Agregados

Os agregados utilizados atenderam as especificações do DNER (ES 313/97) quanto à abrasão, durabilidade e índice de forma (agregado graúdo) e equivalente de areia (agregado miúdo). Os agregados e suas respectivas densidades reais são: brita 3/4" (2,656); brita 3/8" (2,656); areia de campo (2,645); pó de pedra (2,640); e fíler (2,780). A granulometria dos agregados, apresentada na Tabela 7, está enquadrada na faixa C do DNER. O fracionamento do material foi controlado de modo a se obter a mesma granulometria para as misturas com os três CAP. Portanto, a única variável com influência nos parâmetros da dosagem é a viscosidade do CAP em questão.

**Tabela 7:** Distribuição granulométrica da mistura de agregados

Peneira	% Passando
3/4"	100
1/2"	95,0
3/8"	87,3
No. 4	59,5
No. 10	47,9
No. 40	29,4
No. 80	17,5
No. 200	9,3

### 3.2. CAP

Além da caracterização fornecida anteriormente, foi determinada a densidade a 25 °C dos três CAP pelo densímetro digital para amostras escuras (ASTM, 1994): CAP 30/45 (1,0268), CAP 50/60 (1,0252) e CAP 85/100 (1,0152). A precisão deste ensaio se situa na 3ª casa decimal, mostrando que o valor da densidade do CAP30/45 é praticamente o mesmo que o obtido para o CAP 50/60. O presente estudo verificou que uma diferença de 0,01 na densidade do CAP leva a uma diferença de aproximadamente 0,1% no seu teor ótimo.

### 3.3. Dosagem Marshall

Dois métodos foram utilizados para selecionar-se o teor ótimo de CAP:

- 1- Baseado no volume de vazios de 4%. Este método é recomendado por NAPA (1982) e Roberts et al. (1996).
- 2- Baseado num valor selecionado a partir dos teores obtidos para atender aos limites do DNER de volume de vazios (3% a 5%) e RBV (75% a 82%). A partir destes 4 limites da especificação, obtêm-se 4 teores de CAP. O teor ótimo é selecionado tomando a média dos dois teores centrais. Esta metodologia é adotada pelo DNER-CE.

Em ambos os métodos de escolha, os valores dos demais parâmetros (estabilidade, fluência e/ou VAM) são comparados com as especificações. A Tabela 8 mostra o resumo dos resultados da dosagem considerando o segundo método de escolha do teor ótimo (DNER-CE). Os teores ótimos dos CAP 30/45 e 50/60 podem ser considerados iguais uma vez que o desvio admissível no procedimento de controle de campo é de 0,3%. Portanto, não se verificou a necessidade de um maior teor do CAP 30/45 em relação ao CAP 50/60. Isto deve-se às propriedades similares destes CAP incluindo o fato das densidades serem iguais até a segunda casa decimal, ressaltado o fato ainda mais marcante de derivarem do mesmo petróleo.

O teor ótimo do CAP 85/100, 5,5%, foi ligeiramente menor quando comparado aos outros CAP. Apesar do menor teor encontrado para o CAP 85/100, confirmando em parte a expectativa do meio técnico, a diferença é bem próxima ao desvio aceito para as misturas no campo. Se, de novo toma-se o critério da estabilidade igual para a definição do teor ótimo, como indica a referência já citada (Santana, 1998), vê-se que esta diferença não existiria já que as estabilidades para as misturas com CAP 50/60 e 30/45 foram ligeiramente maiores permitindo reduzir um pouco o teor nestes casos.

**Tabela 8:** Parâmetros da dosagem Marshall

Parâmetros	Misturas		
	30/45	50/60	85/100
Densidade do CAP	1,0268	1,0252	1,0152
Teor Ótimo	5,8	5,9	5,5
Densidade Aparente da Mistura	2,34	2,33	2,35
Volume de Vazios (V <sub>v</sub> )	3,6	3,7	3,7
RBV	79,0	78,3	77,6
VAM	16,9	17,2	16,4
Estabilidade (kgf)	1.139	1.178	1.042
Fluência (0,01" )	17	16	16

### 3.4. Análise de Sensibilidade

Uma vez que os resultados da medição das densidades em laboratório podem sofrer variações, foi realizada uma análise de sensibilidade para esta variável. Para cada um dos CAP variou-se a densidade medida de 0,004 (valor associado a repetibilidade do ensaio) para mais e para menos. Os resultados dos teores ótimos obtidos para as três densidades consideradas são apresentados na Tabela 9 para os dois métodos de escolha do teor ótimo.

**Tabela 9:** Teor ótimo considerando diferentes densidades

	CAP 30/45			CAP 50/60			CAP 85/100		
	-0,004	Medida	+0,004	-0,004	Medida	+0,004	-0,004	Medida	+0,004
Densidade do CAP	1,0228	1,0268	1,0308	1,0212	1,0252	1,0292	1,0112	1,0152	1,0192
T. Ótimo (V <sub>v</sub> , RBV)	5,8	5,8	5,9	5,9	5,9	6,0	5,5	5,5	5,5
T. Ótimo (V <sub>v</sub> )	5,6	5,7	5,7	5,7	5,8	5,8	5,2	5,2	5,2

Mesmo considerando o CAP 30/45 mais denso que o 50/60 na segunda casa decimal (1,0308 para o 30/45 e 1,0212 para o 50/60), não há diferença no teor ótimo. Com base nos resultados, acredita-se que o teor de 0,5% a mais de CAP 30/45 encontrado quando da construção da pista experimental do Ceará (Viana et al., 1996), deveu-se a pequenas diferenças nas granulometrias dos agregados considerados nas misturas. Considerando CAP com propriedades menos semelhantes como o 85/100 comparativamente a qualquer um dos outros dois, o teor ótimo é menor para este CAP menos consistente. Acreditar-se que maiores diferenças de consistência entre os CAP apontariam para maiores diferenças no teor ótimo, pode não se confirmar pelos motivos já expostos de indefinição do que seja “teor ótimo” e também pelos dados apresentados por Pinto (1991).

Na opinião dos autores a maior preocupação que deve existir para seleção de um ligante mais adequado para as várias regiões do Brasil deve ser a questão do clima e, neste caso com certeza ligantes mais “duros” são melhores na maioria das vezes. O que se deve aprender é escolher granulometrias mais adequadas para este tipo de ligante, diminuindo a relação fíler/teor de asfalto, por exemplo, parâmetro este nem cogitado na prática cotidiana das dosagens. Além disto, o importante é dosar uma mistura que forneça um determinado nível de resistência à tração e de módulo de resiliência compatível com o conjunto das camadas que compõem a estrutura em estudo, para que realmente se tenha maior vida útil para os pavimentos brasileiros.

### 3.5. Ensaios Mecânicos

Foram moldados corpos de prova das três misturas asfálticas com os diferentes tipos de CAP no teor ótimo selecionado de acordo com a metodologia do DNER-CE (considerando V<sub>v</sub> e RBV). Nestes corpos de prova foram realizados ensaios de módulo de resiliência e resistência à tração estática. Para cada um destes parâmetros, a média e desvio padrão dos resultados de seis corpos de prova para cada mistura são apresentados na Tabela 10.



**Tabela 10: Ensaio Mecânicos**

Tipo de CAP	Módulo de Resiliência (10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup> , 25°C)		Resistência à Tração (kgf/cm <sup>2</sup> , 25°C)	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
30/45	36,28	2,264	10,87	0,71
50/60	30,33	1,961	8,87	0,55
85/100	14,88	1,760	4,44	0,22

A comparação dos resultados dos parâmetros mecânicos para as misturas com os diferentes tipos de CAP foi feita através do teste de hipótese detalhado em Soares et al. (1998). Primeiro, realiza-se o teste na relação entre duas variâncias da variável sendo comparada ( $\sigma_t$  ou MR). Não foi encontrada diferença estatística nas variâncias de MR das misturas com os três tipos de CAP. No caso das variâncias de  $\sigma_t$ , as misturas do CAP 30/45 e 85/100, bem como do CAP 50/60 e 85/100, apresentaram diferença estatística, enquanto, esta diferença não foi notada para as misturas com os CAP 30/45 e 50/60.

Em seguida, é testada a diferença das médias da variável em questão ( $\sigma_t$  ou MR), associadas a corpos de prova com dois tipos diferentes de CAP. Observou-se diferenças estatísticas nos dois parâmetros em função da consistência do CAP. A mistura com o CAP 30/45 apresentou MR e  $\sigma_t$  estatisticamente superiores a mistura com o CAP 50/60, que por sua vez apresentou MR e  $\sigma_t$  estatisticamente superiores a mistura com o CAP 85/100 (P < 0,01 para todos os testes).

A razão do módulo de resiliência e resistência à tração estática é apresentada na Tabela 11 para as diferentes misturas. Semelhantemente a Soares et al. (1999), obteve-se, no presente estudo, que MR é da ordem de 3.000 vezes o valor de  $\sigma_t$ . Esta relação é válida para misturas com CAP de petróleo Bachaquero e misturas com CAP 50/60 de petróleo Boscan (relação MR/ $\sigma_t$  de 2610). Para CAP de outros petróleos, esta relação é maior como indicam os dados da Tabela 2. CAP provenientes destes petróleos venezuelanos apresentam relações MR/ $\sigma_t$  mais baixas que os demais petróleos, mas ainda superiores às apresentadas por asfaltos modificados por polímero, conforme dados obtidos nos estudos de Leite (1999).

Além da relação MR/ $\sigma_t$  mais baixa que as obtidas por misturas com CAP dos demais petróleos, os CAP procedentes de petróleos Boscan e Bachaquero apresentam menor temperatura de resistência à fadiga e maior temperatura de resistência à deformação permanente que a dos CAP dos demais petróleos (nas especificações SUPERPAVE os requisitos das propriedades físicas são os mesmos para todos os ligantes, variando a temperatura em que estes requisitos são atendidos), indicando que os mesmos devem apresentar melhor resistência à fadiga e à deformação permanente que os ligantes asfálticos dos demais petróleos.

**Tabela 11: Relação entre os parâmetros mecânicos**

	MR/ $\sigma_t$
Mistura com CAP 30/45	3.346
Mistura com CAP 50/60	3.425
Mistura com CAP 85/100	3.376

## **5. CONCLUSÕES**

Neste artigo é apresentado um estudo do efeito da consistência do CAP no seu teor ótimo determinado numa dosagem Marshall. Para a granulometria considerada (faixa C do DNER), os resultados indicam que CAP similares com densidades próximas, como o caso do 30/45 e 50/60, não apresentam teores diferentes, quando são mantidas as outras variáveis da mistura. No caso de CAP menos viscosos, como o 85/100, há uma indicação que um teor pouco menor é exigido para atender as especificações de mistura. O teor ótimo do CAP 85/100 foi menor mas por um valor bem próximo ao desvio admissível no procedimento de controle de campo. Acredita-se que um espectro mais amplo de viscosidades daria uma indicação mais clara dessa tendência.

Mostrou-se ainda que a utilização da estabilidade para a definição do teor ótimo não acrescenta informação relevante. Recomenda-se que numa dosagem racional a mistura seja projetada para um determinado nível de resistência à tração e de módulo de resiliência, de maneira que o conjunto de tensões nas camadas que compõem a estrutura do pavimento não venham a diminuir a vida útil da estrutura. Para os materiais ensaiados, notou-se que as misturas com CAP mais consistentes apresentam maior módulo de resiliência e resistência à tração estática.

### **Agradecimentos**

À Petrobras pelo apoio financeiro dispensado para realização deste trabalho. Os autores agradecem a todos que contribuíram para a realização dos ensaios na Petrobras, DNER, COPPE/UFRJ, e a estas instituições pelo pronto suporte à investigação. Os agradecimentos são estendidos ao DERT pelo apoio a investigações em pavimentação no Ceará. Agradecimentos especiais as estudantes de engenharia civil da UFC e bolsistas de iniciação científica Kamilla Lima Vasconcelos e Verônica Teixeira Franco Cavalcante por coordenarem a dosagem das misturas, e a Rômulo Constantino da Petrobras/Cenpes pela revisão do texto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANP (1993) Portaria DNC 5 de 18 de fevereiro, Agência Nacional de Petróleo.
- ASTM (1994) Standard test method for density and relative density of crude oils by digital density analyzer. *American Society for Testing Materials, D 5002*.
- Epps, J. (1998) Evolução do projeto SUPERPAVE nos EUA. Conferência, *14º Encontro de Asfalto*, IBP.
- Ferreira, N.G.F. (1984) 1º Seminário especial sobre asfaltos da Petrobras – Fortaleza/CE.
- Heukelom, W. (1969) A bitumen test data chart for showing the effect of temperature on the mechanical behavior of asphaltic bitumens. *Journal of the Institute of Petroleum*, Vol. 55, No 546, 404-417.
- Leite, L.F.M.(1999) *Estudos de preparo e caracterização de asfaltos modificados por polímero - Tese de Doutorado*, IMA/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Motta, L.M.G., Tonal, I., Leite, L.M. e Constantino, R.S. (1996) *Princípios do Projeto e Análise SUPERPAVE de Misturas Asfálticas*. Tradução comentada, IBP.
- NAPA (1982) *Mix Design Techniques – Part I*. NAPA TAS-14. National Asphalt Pavement Association, Instructors Manual.
- Pinto, S. (1991) *Estudo do comportamento à fadiga de misturas betuminosas e aplicação na avaliação estrutural de pavimentos*, Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Roberts, F.L., Kandhal, P.S., Brown, E.R., Lee, D-Y. e Kennedy, T.W. (1996). *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture, Design, and Construction*. Segunda Edição, NAPA Education Foundation, Lanham, Maryland.
- SHRP (1994a) *Superior Performing Asphalt Pavements (SUPERPAVE): the Product of SHRP Asphalt Research Program*. Strategic Highway Research Program A-410, National Research Council, Washington, DC.
- SHRP (1994b) *The SUPERPAVE Mix Design System Manual of Specifications, Test Methods, and Practices*. Strategic Highway Research Program A-379, National Research Council, Washington, DC.
- Santana, H. (1998) Alguns conceitos básicos e fatos notáveis no estudo de pavimentação. *31ª Reunião Anual de Pavimentação*, São Paulo.
- Soares, J.B., Motta, L.M. Nóbrega, L.M., Leite, L.M., Paiva, J.A.A. e Nobre Jr., E.F. (1998) Estudo Comparativo de Cimentos Asfálticos de Petróleo na Pista Experimental do Ceará. *XII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Fortaleza, Ceará, v. 1, p. 590-601.
- Soares, J.B., Motta, L.M. e Leite, L.M. (1999) Quatro anos de observação da pista experimental do Ceará. *Aceito para publicação no XIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, São Carlos.
- Viana, M.A., Silveira, M.A., Vasconcelos, J.A.G., Chaves, F.J., Branco, J.V.C., Lima, J.F.P., Paiva, J.A.A., Rodrigues, G.F., Leite, L.M., Tonal, I. e Motta, L.M.G. (1996) Trecho Experimental/Ce: Monitoramento do Pavimento que Testa a Aplicação da Especificação SUPERPAVE na Região Nordeste. *13º Encontro de Asfalto*, IBP.

Jorge Barbosa Soares ([jsoares@det.ufc.br](mailto:jsoares@det.ufc.br)), Fone: (085) 288-9570 r210 Fax: (085) 288-9572  
Universidade Federal do Ceará - Departamento de Engenharia de Transportes  
Campus do Pici - Bloco 703 - Fortaleza, CE 60.455-760

Leni Mathias Leite ([leniml@cenpes.petrobras.com.br](mailto:leniml@cenpes.petrobras.com.br)), Fone: (021) 598-6736 Fax: (021) 598-6998  
Ilha do Fundão, Cidade Universitária  
Rio de Janeiro, RJ 21949900

Laura Maria Goretti da Motta ([laura@geotec.coppe.ufrj.br](mailto:laura@geotec.coppe.ufrj.br)), Fone: (021) 290-1730  
Universidade Federal do Rio de Janeiro/ COPPE  
CP 68506, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ 21945-970