

ANÁLISE DO EFEITO DA TEMPERATURA DE COMPACTAÇÃO EM MISTURAS DE CONCRETO ASFÁLTICO PREPARADAS COM LIGANTE PURO E MODIFICADO COM AGENTE MODIFICADOR DE VISCOSIDADE

Jaelson Budny

Laura Maria Goretti da Motta

Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ

Coordenação dos Programas de Pós-graduação em Engenharia-COPPE

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar as características mecânicas de misturas do tipo concreto asfáltico preparadas com ligante convencional (CAP 30/45) e com o ligante convencional modificado com aditivo modificador de viscosidade (CCBIT-113AD) para produzir misturas asfálticas mornas. As misturas foram compactadas a diferentes temperaturas e submetidas a ensaios de Módulo de resiliência e Resistência a tração. Todas as misturas sofreram um envelhecimento em estufa na temperatura de compactação por um período de duas horas e observou-se que à medida que a temperatura de moldagem decresce as amostras tornam-se mais elásticas. Observou-se também que as amostras com ligante modificado tem uma maior facilidade de compactação à medida que a temperatura diminui, a máxima compactação ocorre na temperatura de 120°C, o que demonstra que esta técnica além de mostrar um ganho de desempenho nas propriedades mecânicas está aliada a sustentabilidade com a menor emissão de gases.

ABSTRACT

This research aims to evaluate the mechanical properties of asphalt concrete mixes prepared with conventional asphalt binder (CAP 30/45) and asphalt binder modified with viscosity modifier additive (CCBIT-113AD) to produce warm mix asphalt. The mixtures were compacted at different temperatures and submitted for resilient modulus and tensile strength tests. The asphalt mixes were aged in oven for two hours in compaction temperature, and it was verified that as the compaction temperature decreases the sample become more elastic. It was also observed that samples with modified binder have a greater ease of compression as the temperature decreases, and the maximum compression occurs at a temperature of 120°C, which demonstrates that this technique shows a performance gain in mechanical properties as well as being allied with the lowest gas emissions.

1. INTRODUÇÃO

É inegável que o poder das sociedades estará cada vez mais apoiado no seu desenvolvimento científico. O controle das tecnologias tornou-se um trunfo considerável e a grandeza das nações não se avalia mais unicamente pela sua extensão territorial e suas riquezas naturais, mas também pelo grau de conhecimento científico e tecnológico. Atualmente um dos grandes desafios do mundo é o uso econômico e eficiente de energias. Por esse motivo, observam-se grandes investimentos em tecnologias que garantam um desenvolvimento sustentável.

As atividades desenvolvidas pelas diversas áreas da engenharia civil podem gerar grandes impactos ambientais. Além disso, representam uma participação econômica significativa, o que as posicionam, em caráter mundial, como um dos setores estratégicos para mudanças na intervenção na degradação do planeta (KOTLINSKI, 2010).

Os principais impactos ambientais relacionados a uma usina de asfalto do tipo Concreto Asfáltico (CA) são na sua grande maioria as emissões atmosféricas (DNER, 1996). Neste contexto, de forma a diminuir estes danos, a área da pavimentação tem buscado alternativas ambientalmente corretas visando à redução no consumo de combustíveis e a correspondente redução na emissão de gases causadores do efeito estufa. Desta forma, novas e eficientes tecnologias têm sido desenvolvidas para a produção de misturas asfálticas.

Uma das técnicas recentes é das chamadas misturas mornas ou “*Warm Mix Asphalt*”. As expressões asfalto morno ou mistura morna têm sido usadas no Brasil para representar a sigla WMA (Warm Mix Asphalt) que agrupa uma série de tecnologias que permite a redução da temperatura na qual as misturas asfálticas são produzidas e aplicadas. Estas tecnologias permitem a diminuição da viscosidade ou da tensão superficial do asfalto em temperaturas de 20 a 55°C mais baixas que a temperatura habitual das misturas quentes. Assim, há melhoria na trabalhabilidade e na compactação, há redução da permeabilidade e do endurecimento do ligante, que é responsável pelo melhor desempenho em termos de trincas e susceptibilidade da mistura (CAVALCANTI, 2010).

O objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento mecânico em laboratório, de misturas de concreto asfáltico produzidas com ligante convencional (CAP 30/45) e com o mesmo ligante modificado com aditivo para produzir misturas asfálticas mornas comercializado sob o nome de CCBIT-113AD. Este produto tem sido recentemente empregado para pavimentar ruas da cidade do Rio de Janeiro.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Histórico das misturas mornas

O primeiro relato em diminuir a temperatura de produção de misturas asfálticas foi feito em 1956 pelo Dr. H. Ladis Csanyi, professor da Iowa State University, que percebeu o potencial do asfalto espuma como camada selante em solos. Desde então, a tecnologia dos asfaltos espumados que permite a diminuição das temperaturas de misturas é usada com muito sucesso em diversos países (KRISTJANSDDOTTIR, 2006). No entanto, Abel (1978 apud MUTHEN, 1998) constatou que ligantes que continham silicones em sua composição não apresentavam valores significativos de mudança de viscosidade com a técnica do asfalto espuma.

Macarrone (1995), estudou o desempenho de misturas asfálticas frias usando emulsões e constatou que misturas asfálticas frias tem menor impacto ao meio ambiente que misturas asfálticas quentes, mas o seu desempenho quanto a propriedades mecânicas é inferior ao das misturas quentes.

Em 1996, o Ministro do Trabalho e das Relações Sociais da Alemanha, começou a questionar sobre os limites de exposição dos trabalhadores aos fumos de asfalto. Diante dessa, foi criado o Fórum de Asfalto da Alemanha, cujo foco foi procurar respostas a este questionamento. Naquela ocasião foram realizados estudos e debates sobre: constituintes do asfalto; emissões de fumos; uso de equipamentos de proteção individual (EPI's) na indústria do asfalto; epidemiologia; incidência de câncer nos operários do setor; diversos estudos ocupacionais; tecnologias que permitissem baixar a temperatura do processo de usinagem, espalhamento e compactação e por fim desenvolver processos visando atender a redução das emissões (NASCIMENTO et al, 2008).

Jenkins et al (1999) realizaram um estudo com asfalto espuma em que os agregados eram aquecidos acima da temperatura ambiente e abaixo dos 100°C, esta técnica mostrou um ganho nas propriedades mecânicas em relação a misturas com agregados na temperatura ambiente.

No segundo Eurasphalt & Eurobitume Congress realizado em Barcelona, Koenders et al. (2000) apresentam um trabalho que mostra resultados de laboratório e de trechos

experimentais em grande escala de uma tecnologia chamada de Warm Mix Asphalt Foam Emulsion com testes na Noruega, Reino Unido e Holanda entre os anos de 1996 e 1999, foram avaliadas mais de 1000 toneladas de asfalto espuma morno em diferentes períodos do ano em pistas de tráfego com média intensidade. Os autores concluíram que este processo contribuiu para uma redução significativa nas emissões de poeiras, fumos e CO₂, além de uma economia de energia de 20 a 30%. Além disso, os resultados mecânicos apresentaram valores satisfatórios.

Em 2002, a NAPA (*National Asphalt Pavement Association*) lidera uma visita de técnicos pela Europa visitando a Dinamarca, Alemanha e a Noruega visando à análise e estudo das misturas asfálticas mornas usadas nestes países. Desde essa data, também nos EUA o interesse e o desenvolvimento desta tecnologia cresceram de forma exponencial, de tal forma que a FHWA designou as misturas mornas como área em foco e organizou com a NAPA, em 2003, uma conferência cujo objetivo principal é explorar a seu potencial de utilização nos EUA (FEREIRA, 2009).

Em 2004, no “World of Asphalt” são apresentados projetos e desenvolvimentos nesta área por diversas empresas e entidades rodoviárias. Desde então, quer nos EUA, quer na Europa, não mais se parou de estudar as vantagens da tecnologia de produção de misturas mornas (FEREIRA, 2009). Ainda em 2004, Barthel utiliza zeólita como um aditivo no asfalto para aumentar a trabalhabilidade da mistura a temperaturas mais baixas (BARTHEL et al, 2004).

Em 2007 surgiu uma parceria entre o Departamento de Transportes da Califórnia (CALTRANS) e o Departamento de Transportes e Pavimentação da Universidade da Califórnia (UCPRC) para avaliar se as misturas mornas teriam um desempenho igual ou melhor do que as misturas convencionais, para avaliar possíveis problemas relacionados a baixa temperatura de compactação e a sensibilidade do pavimento a umidade. O trabalho desde grupo consistiu em realizar diversos ensaios de laboratório de forma a avaliar problemas de curto, médio e longo prazo. Os resultados deste estudo mostraram maior conforto dos trabalhadores devido a menor temperatura de trabalho e a menor emissão de fumos, as propriedades mecânicas mostraram que este tipo de tecnologia não apresenta perdas nas características mecânicas e portanto a sua utilização é promissora (JONES, 2009).

2.2. Vantagens das misturas mornas

Diversos estudos realizados nos últimos anos citam vantagens das misturas mornas em relação às misturas usinadas a quente e a frio, dentre estes pode-se citar KRISTJANSDOTTIR, (2006); PROWELL & HURLEY, (2007); CHOWDHURY & BUTTON, (2008); DAVIDSON, (2008); SULLIVAN, (2009); LAI et al, (2009); PERKINS, (2009); SAMPATH, (2010); SHETH, (2010); ZHANG, (2010); ANDERSON et al, (2010), CAVALCANTI, (2010), DIEFENDERFER & HEARON, (2011); NEWCOMB, (2011). Estes trabalhos resumem algumas vantagens dentre as quais se destacam:

- A usinagem a temperaturas mais baixas minimiza o envelhecimento do ligante asfáltico por oxidação, preservando a sua resposta elástica principalmente no que diz respeito à fadiga dos revestimentos asfálticos;
- Melhora a trabalhabilidade da mistura asfáltica, facilita e otimiza sua compactação;
- Reduz o consumo de combustível da usina em até 30%;
- Reduz significativamente a emissão de gases, melhorando a qualidade do ar durante a produção da mistura asfáltica;

- Reduz a exposição dos trabalhadores aos fumos (fumaça causada devido a alta temperatura da mistura) e odores tanto na usina como na aplicação;
- Permite a aplicação de mistura asfáltica em regiões geográficas mais frias, em estações mais frias e em períodos mais frios (serviço noturno ou à grande distância);
- Permite o transporte de massa asfáltica a distâncias maiores pelo potencial de resfriamento menor;
- Abertura ao tráfego sobre a mistura asfáltica de maneira mais rápida.
- Possibilita a execução de remendos e aplicação de camadas delgadas com melhor qualidade devido ao resfriamento mais lento;
- Permite a utilização de um volume maior de material de fresagem;
- Permite a aplicação em locais de acesso restrito, trabalho urbano e de conservação (como juntas, trabalhos manuais e mesmo remendos superficiais e profundos) com melhor qualidade e acabamento. Estes serviços pelas suas características demandam tempo maior para serem executados e em condições normais prejudicariam a qualidade da aplicação de uma mistura asfáltica a quente tradicional.

Zaumanis (2010) apresenta alguns cuidados que devem ser tomados quanto a produção de misturas mornas. Alerta que, existem diversos produtos no mercado que prometem inúmeros benefícios, mas precisa-se tomar o cuidado para não generalizar essas tecnologias, visto que cada produto possui composição diferente e em consequência o seu desempenho será diferente. Misturas em que a temperatura de mistura for mais baixa que nas misturas convencionais podem apresentar problemas de adesividade e fadiga precoce, esse fato se deve principalmente aos agregados serem aquecidos a uma temperatura mais baixa e desta forma a umidade presente na interface do agregado-ligante não ser totalmente expulsa, consequentemente o filme asfáltico não consegue atingir o agregado em sua totalidade.

2.3. Importância da temperatura no envelhecimento

Para o pavimento atingir com eficácia a sua função estrutural e funcional é necessário haver um permanente controle tecnológico dos materiais no momento da construção do pavimento. Nesse controle, é fundamental que a temperatura de usinagem e de compactação estejam de acordo com as obtidas nos projetos das misturas asfálticas. As temperaturas de mistura e de compactação são escolhidas a partir da curva viscosidade versus temperatura. Determinados ligantes exigem temperaturas mais elevadas para garantir boa viscosidade, esta temperatura mais elevada pode ocasionar envelhecimento precoce do ligante na mistura.

O manuseio e estocagem do asfalto devem ser feitos com a temperatura mais baixa possível, para se evitar o envelhecimento do ligante. O envelhecimento do ligante é um fenômeno que tem influência no desempenho da mistura asfáltica. A exposição do ligante às altas temperaturas e às intempéries permite a perda de voláteis e a oxidação, o que é prejudicial no que diz respeito à fadiga. Tem-se, ao longo dos anos, tentado diminuir este efeito com adição de produtos e novas tecnologias executivas (CAVALCANTI, 2010).

Um dos grandes problemas do envelhecimento é dado pelo endurecimento do ligante asfáltico, pois conforme o ligante se torna mais rígido, também se torna mais resistente a deformações permanentes, porém em contrapartida sua susceptibilidade ao trincamento por fadiga se torna mais elevada.

Fisicamente, o envelhecimento de um ligante asfáltico é representado pelo aumento de sua

consistência, e de maneira geral se apresenta como o aumento de sua viscosidade, diminuição da penetração, ponto de amolecimento mais elevado e perda de suas propriedades aglutinantes (PINTO, 1991). Com a consistência mais elevada o comportamento físico e reológico é alterado, o ligante se torna mais duro, e como consequência deste aumento de rigidez, mais quebradiço, menos dúctil e menos elástico.

O processo de envelhecimento das misturas asfálticas se inicia durante a produção da massa asfáltica em usina com a perda de voláteis e oxidação (envelhecimento de curto prazo) e continua em campo com a oxidação progressiva (envelhecimento de longo prazo) (AIREY, 2003).

Na Figura 1, extraída de Shell Bitumen Handbook (WITHEOAK, 1990), está evidente de maneira clara a gravidade do fenômeno expresso pelo índice de envelhecimento que é representado pela razão $\frac{\eta_a}{\eta_o}$ onde η_a representa a viscosidade em uma data de condição de envelhecimento e η_o , representa a viscosidade inicial do ligante asfáltico.

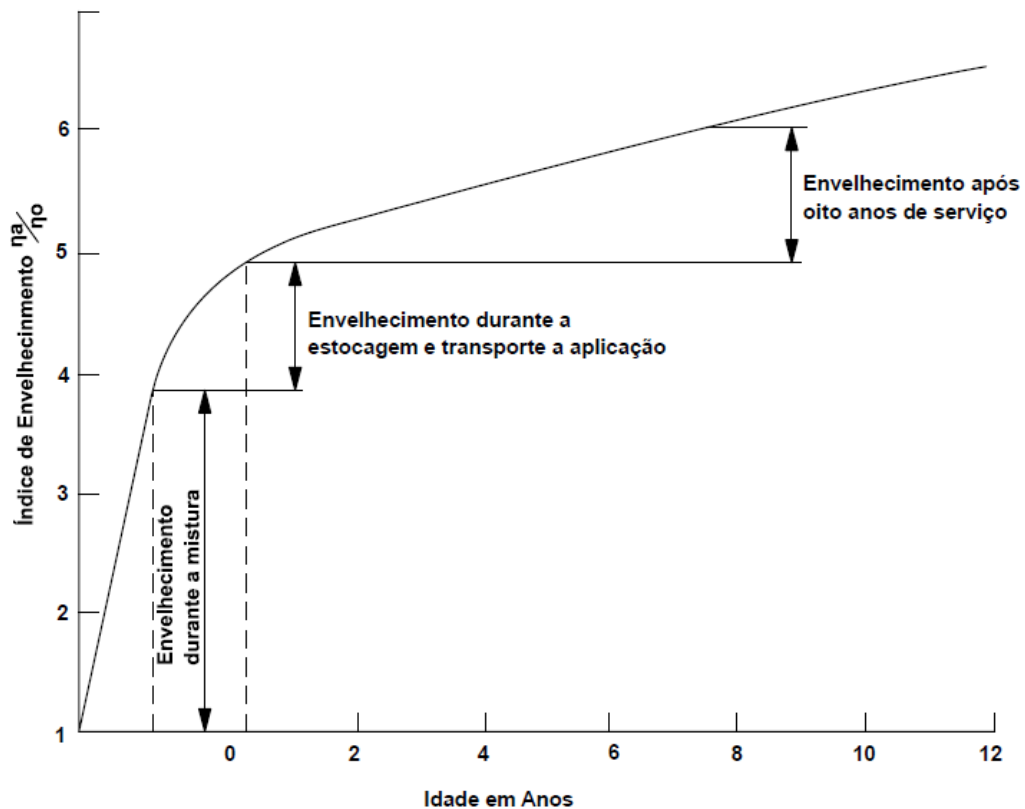


Figura 1: Etapas de envelhecimento do ligante asfáltico

Fonte: WHITEOAK, 1990

A Figura 1 mostra que o envelhecimento se dá em três etapas, onde a primeira ocorre durante a usinagem da mistura asfáltica e é responsável por 60% do envelhecimento; a segunda etapa ocorre durante a estocagem (comum em usinas de grande porte, mas não no Brasil),

transporte, espalhamento e compactação, sendo responsável por 20% do envelhecimento total sofrido pelo ligante; por fim a ultima etapa se dá durante a vida útil do pavimento, devido à ação do meio ambiente, e é responsável por 20% do envelhecimento do ligante (TONIAL, 2001).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo é de ordem quantitativa, uma vez que amostras de concreto asfáltico foram moldadas em laboratório de forma a reproduzir misturas utilizadas para pavimentar ruas do programa “asfalto liso” da prefeitura da cidade do Rio de Janeiro, executado pelo Consórcio Novo Asfalto (Odebrecht Infraestrutura e OAS).

O planejamento do experimento contempla a partir da dosagem Marshall realizada na usina, a compactação de corpos de prova em laboratório, através do compactador giratório de sete diferentes misturas. Todas as amostras possuem o mesmo teor de ligante (5,5%) e a mesma temperatura de mistura (155°C) e diferem entre si pelo tipo de ligante e pela temperatura de compactação. As misturas denominadas de “Cap Mod.” representam misturas preparadas com ligante CAP 30/45 modificado com 2% de CCBIT113ad, as amostras denominadas de “Cap 30/45” representam misturas preparadas com o CAP 30/45 puro, ou seja sem a adição do agente modificador de viscosidade. O valor que se encontra entre parênteses representa a temperatura na qual as misturas foram compactadas.

Estas temperaturas foram escolhidas por na pratica ocorrer a compactação da mistura com Cap 30/45 aproximadamente a 155°C e com o Cap Mod. acima de 120°C e abaixo dos 140°C. A temperatura de 110°C para o Cap Mod. foi escolhida para verificar o efeito de uma temperatura abaixo do recomendado pelo fabricante, e as temperaturas de 120°C para o Cap 30/45 e 155°C para o Cap Mod. foram escolhidas pra comparar resultados com o ligante usualmente empregado nessas temperaturas.

Foi utilizado para a produção das misturas um misturador Francês modelo BBMAX80 do laboratório de pavimentação da COPPE/UFRJ, o qual foi programado para operar na temperatura de mistura por 2 minutos. Todos os corpos de prova de cada grupo foram misturados em uma mesma batelada, e na sequencia eram separados em frações de 1200g; depois de separada a fração correspondente a cada corpo de prova a amostra foi levada à estufa por um período de duas horas na temperatura de compactação para simular o envelhecimento que ocorre durante a fase de mistura transporte e espalhamento da mistura em campo. Foram usados 100 giros do compactador giratório para compactar cada Corpo de prova.

3.1. Agregados

Neste estudo o agregado mineral utilizado é uma rocha granítica e, este material foi coletado na usina pertencente ao consórcio das empresas OAS e ODEBRECHT, no bairro de Campo Grande no município do Rio de Janeiro. A composição da faixa de trabalho (faixa IV-C do Instituto do Asfalto) se fez a partir de três conjuntos de agregados Brita 1, Brita 0 e Pó de pedra.

3.2. Ligantes

O cimento asfáltico ou ligante asfáltico pode ser considerado um material viscoelastoplástico e termosensível, ou seja, possui parcela viscosa, elástica e plástica; é sensível a mudança de temperatura, em altas temperaturas (acima de 100°C) se torna plástico, quando recebe um

carregamento, o material deforma e não volta ao estado original, o cimento asfáltico atua como um fluido viscoso. Em baixas temperaturas (abaixo de 0°C), e se torna elástico, atuando como uma borracha: quando recebe um carregamento, o material se deforma, quando o carregamento é retirado, o material volta ao estado original (BERNUCCI et al, 2008).

O ligante asfáltico utilizado neste estudo é o CAP 30/45, as amostras de ligante foram coletadas na usina do consórcio diretamente dos tanques. Foram feitas coletas de ligante puro e de ligante modificado com aditivo modificador de viscosidade. O aditivo utilizado para modificar o ligante é um produto orgânico com o nome comercial de CCBIt113ad, originário da Alemanha.

Os dois ligantes coletados foram caracterizados segundos os ensaios de Penetração (DNER ME 003/99), Ponto de amolecimento (ABNT NBR 6560), Ductilidade (DNER ME 163/98) e Viscosidade Brookfield (ASTM D 4402). No Quadro 01 estão apresentados os valores encontrados para estes parâmetros.

Quadro 01: Resultados dos ensaios de caracterização dos ligantes.

Tipo de Ligante	Ensaio de Caracterização dos ligantes				
	Penetração (dmm)	Ponto de Amolecimento (°C)	Viscosidade Brookfield (cP)		
	100g, 5s, 25°C		135°C	150°C	165°C
Cap 30/45	34	55	550	260	140
Cap Mod.	35	55	527,5	257,5	137,5

4. RESULTADOS

Os resultados deste estudo encontram-se resumidos no Quadro 02, onde são apresentados os valores das médias de cada propriedade analisada bem como o desvio padrão encontrado para cada conjunto de resultados. Estes resultados, para melhor visualização e entendimento foram plotados e encontram-se na sequência deste trabalho. Para os resultados de volume de vazios (VV) foi feita a média de 7 corpos de prova (CPs), para cada grupo de resultados de Módulo de resiliência (Mr) foram usados 4 CPs, e para os valores de Resistência a tração (Rt) foram usados 7 CPs.

Quadro 02: Resultados volumétricos e mecânicos das misturas estudadas.

		Cap Mod. (110°C)	Cap Mod. (120°C)	Cap Mod. (130°C)	Cap Mod. (140°C)	Cap Mod. (155°C)	Cap 30/45 (120°C)	Cap 30/45 (155°C)
VV	Média (%)	5.16	5.11	5.46	5.50	5.71	6.05	5.10
	Des. Pad. (%)	0.22	0.28	0.39	0.28	0.54	0.60	0.38
Mr	Média (MPa)	7322	7657	7695	8482	10464	7354	13320
	Des. Pad. (MPa)	340.70	587.10	281.58	287.37	114.22	1052.28	532.63
Rt	Média (MPa)	1.65	1.96	1.64	1.90	2.15	1.67	2.00
	Des. Pad. (MPa)	0.06	0.10	0.05	0.08	0.09	0.07	0.09

Na Figura 02, observa-se a variação do volume de vazios das diversas misturas, e vê-se que as misturas preparadas com Cap Mod. seguem o princípio inverso das preparadas sem o aditivo, nota-se que as amostras com Cap Mod. apresentam compactação mais efetiva à medida que a temperatura decresce até os 120°C. Abaixo desta temperatura, observa-se maior dificuldade de compactação se comparada a mistura compactada em 120°C. Para as misturas com CAP 30/45 nota-se maior dificuldade de compactação na temperatura de 120°C em relação a mesma mistura compactada a 155°C.

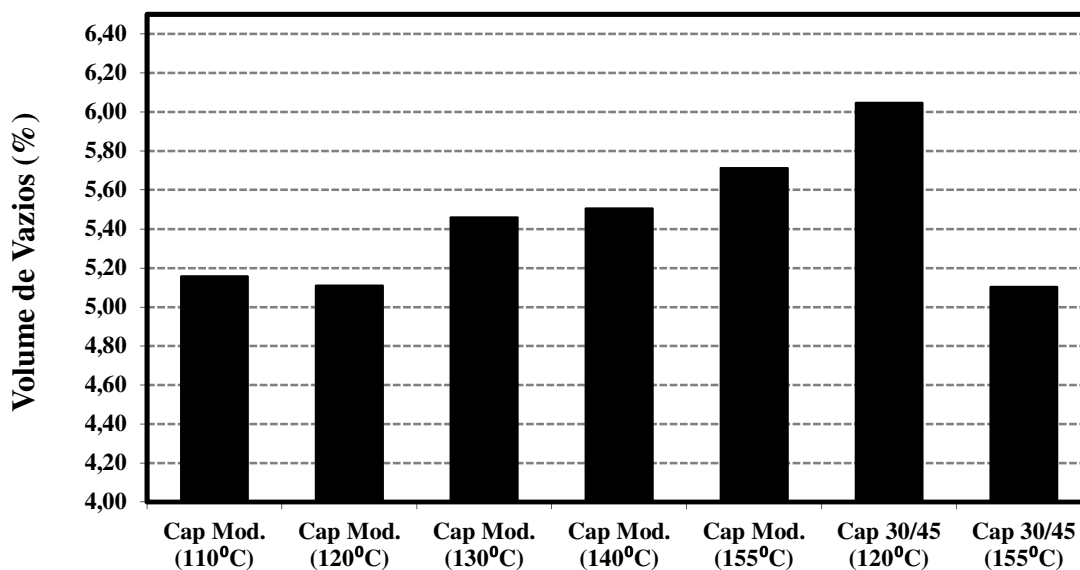


Figura 02: Volume de vazios médio de cada mistura *versus* temperatura de moldagem

Ressalta-se que os Volumes de vazios altos obtidos no compactador giratório são bem diferentes do Volume de vazios do projeto Marshall (4%). Este fato pode ser explicado pela mudança de energia. A opção por compactar em laboratório no giratório foi feita para justamente testar a trabalhabilidade da mistura na granulometria de projeto, o que o Marshall não permite.

Na Figura 03 observa-se o comportamento do Mr, e vê-se diminuição dos valores de Mr à medida que a temperatura de compactação diminui. Nota-se também que os valores de Mr não mudam muito abaixo dos 140°C, o que mostra que o ligante asfáltico abaixo desta temperatura sofre menor envelhecimento e a mistura por consequência tende a ter maior elasticidade, que por sua vez deforma-se mais quando recebe um carregamento.

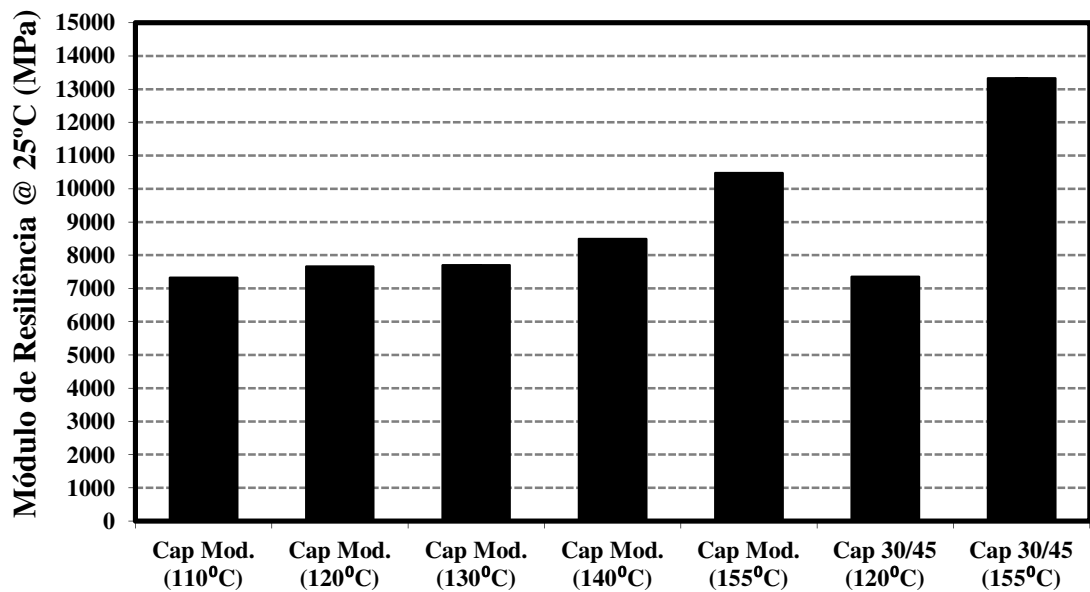


Figura 03: Módulo de Resiliência *versus* temperatura de moldagem

A Figura 04 apresenta os valores para o ensaio de Resistência à Tração (Rt), observa-se que os valores de Rt diminuem a medida que a temperatura de compactação diminui com exceção da mistura Cap Mod. (120°C). Os maiores valores de resistência a tração são encontrados para as amostras em que a compactação se deu a 155°C.

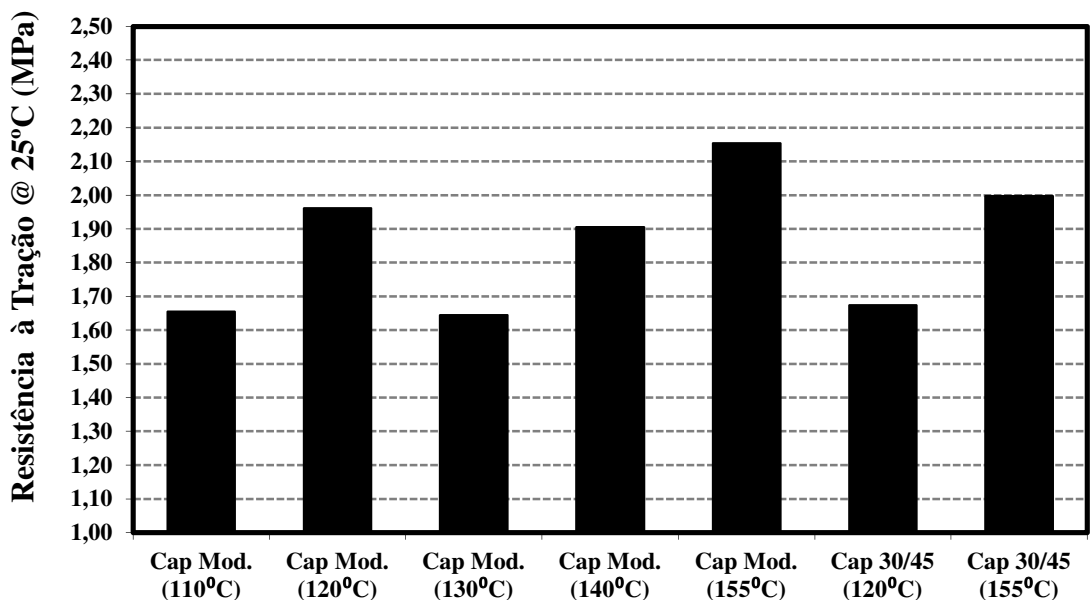


Figura 04: Resistência à Tração *versus* temperatura de moldagem

De posse destes resultados observa-se que a mistura com ligante modificado compactada a 120°C apresenta melhores valores, visto que, foi nesta que as amostras apresentaram melhor

capacidade de compactação (Volume de vazios mais baixos com a mesma energia das demais) aliada a maior elasticidade e a resistência a tração com valores satisfatórios.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos ensaios realizados e do conjunto de dados analisados é possível afirmar que uma pequena adição deste aditivo pode acarretar grandes mudanças nas propriedades mecânicas das misturas. Com a adição de 2% do aditivo analisado na presente pesquisa foi possível reduzir a temperatura de compactação em 35°C o que na prática pode representar um ganho de tempo para o transporte da massa asfáltica da usina até o campo, ocasionar melhoria nas condições de trabalho para os trabalhadores, que não ficariam expostos a temperaturas elevadas sem perda da qualidade técnica da mistura. A sequência deste trabalho compreende a análise destas misturas quanto a ensaios de fadiga por compressão diametral, ensaios de *flow number*, e a análise através de simulador de tráfego francês do tipo LCPC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, 2000, “Materiais betuminosos - Determinação do ponto de amolecimento - Método do anel e bola.” Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT NBR 6560.
- AIREY, G. D. (2003) “*Rheological Properties of Styrene Butadiene Styrene Polymer Modified Road Bitumens Fuel*”, v.82, p. 1709-1719.
- ANDERSON, R. M., BAUMGARDNER G., MAY, R., MATHY, G. R., “*Engineering properties, emissions, and field performance of warm mix asphalt technologies*” National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Transportation Research Board, Washington, 151f, 2008.
- ASTM, 2006, “*Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer*”. American Society for Testing and Materials, ASTM D 4402-06.
- BARTHEL, W.; MARCHAND, J. P.; VON DEVIVERE, M., “*Warm mix asphalt by adding a synthetic zeolite*”. 3rd Eurasphalt and Eurobitume Conference, book 1, Foundation Eurasphalt, Vienna, Austria, Paper 354, Maio 2004.
- BERNUCCI, Liedi Bariani et all. “*Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros*”. Rio de Janeiro, PETROBRAS, ABEDA, 2008, 504p.
- CAVALCANTI, L. S., “*Efeito de alguns modificadores de ligantes na vida de fadiga e deformação permanente de misturas asfálticas*” dissertação (mestrado em engenharia) Programa de Engenharia Civil COPPE-UFRJ. Rio de Janeiro, RJ. 222f. 2011.
- CHOWDHURY A., BUTTON J. W., “*A Review of Warm Mix Asphalt*” dissertação (mestrado em engenharia) Texas Transportation Institute, Texas, 75f, 2008.
- DAVIDSON, J. K., “*Warm asphalt mix technology an overview of the process in Canada*” Paper prepared for presentation at the Warm Asphalt Technology as a Sustainable Strategy for Pavements Session Of the 2008 Annual Conference of the Transportation Association of Canada, Toronto, Ontario, 15f. 2008.
- DNER, 1998, “*Materiais betuminosos - determinação da ductilidade*”. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Método de Ensaio DNER ME 163/98.
- DNER, 1996. “*Manual de Pavimentação*”. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, 320p.
- DNER, 1999, “*Material betuminoso - determinação da penetração*”. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Método de Ensaio DNER ME 003/99.
- DIEFENDERFER, S. D., HEARON A. J., “*Performance of Virginia’s Warm-Mix Asphalt Trial Sections*” Disponível em http://www.virginiadot.org/vtrc/main/online_reports/pdf/10-r17.pdf, acesso em 22 de fevereiro de 2011.
- FEREIRA, C. I. G., “*Avaliação do desempenho de misturas betuminosas temperadas*” Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade do Minho, Portugal 140p. 2009.
- JENKINS, K. J.; De GROOT, J. L. A.; VAN DE VEM, M. F. C.; et al., “*Half-warm foamed bitumen treatment, a new process*”. 7th Conference on asphalt pavements for Southern Africa (CAPSA), Victoria Falls, Agosto e Setembro de 1999.
- JONES, D. “*California tests the performance of warm-mix asphalt*” Roads & Bridges, Volume: 97, Numero: 10, Outubro 2009.
- KOENDERS, B. G.; STOKER, D. A.; BOWEN, C., et al, “*Innovative processes in asphalt production and application to obtain lower operating temperatures*”. 2nd Eurasphalt & Eurobitume Congress, Barcelona,

- Spain, September. 2000.
- KOTLINSKI, J. R., “*Proposta de instrumento para avaliar o grau de sustentabilidade de edificações em cidades de pequeno e médio porte*” Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, UNIJUI, Ijuí, RS, 70f, 2010.
- KRISTJANSDOTTIR, O., “*Warm mix asphalt for cold weather paving*” dissertação (mestrado em engenharia), University of Washington, Department of Transportation, Olympia, Washington, 127f, 2006.
- LAI, J. S., TSAI, J. Y., WANG, Z., “*Evaluating Constructability and Properties of Warm Mix Asphalt*” final report for the office of materials and research and for the Georgia department of transportation, Atlanta, Georgia, 130f, 2009.
- MACCARONE, S., “*Cold asphalt systems as an alternative to hot mix*”. 9th AAPA International Asphalt Conference, Novembro de 1994.
- MUTHEN K. M., “*Foamed Asphalt Mixes - Mix Design Procedure*” Report of the SABITA Ltda & CSIR Transportek, Pretoria, South Africa, 36f, 1998.
- NASCIMENTO, L.A.H., et al, 2008 - “*Misturas Asfálticas Mornas*” Revista ABPv Pavimentação nº 11 – Setembro de 2008
- NEWCOMB, D., “*An Introduction to Warm-Mix Asphalt*” National Asphalt Pavement Association. Disponível em: http://fs1.hotmix.org/mbc/Introduction_to_Warm-mix_Aspphalt.pdf acessado em fevereiro 2011.
- PERKINS, S. W., “*Synthesis of warm mix asphalt paving strategies for use in Montana highway construction*” Technical report documentation page - Montana State University, Department of transportation, Bozeman, Montana, 209f, 2009.
- PINTO, S., “*Estudo do comportamento à fadiga de misturas betuminosas e aplicação na avaliação estrutural de pavimentos*” Tese (Doutorado em Engenharia), COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 496f, 1991.
- PROWELL B. D., HURLEY G. C., “*Warm-mix asphalt: best practices*” National Asphalt Pavement Association. Lanham. 27f, 2007.
- SAMPATH, A., “*Comprehensive evaluation of four warm asphalt mixture regarding viscosity, tensile strength, moisture sensitivity, dynamic modulus and flow number*” dissertação (mestrado em engenharia) University of Iowa, Iowa city, Iowa, 52f, 2010.
- SHETH, N. M., “*Evaluation of selected warm mix asphalt additives*” dissertação (mestrado em engenharia) University of Iowa, Iowa city, Iowa, 121f, 2010.
- SULLIVAN, K. A. O., “*The effects of warm mix asphalt additives on recycled asphalt pavement*” dissertação (bacharel em ciências) Worcester Pavement Institute, Worcester. 84f, 2009.
- TONIAL, I. A., “*Influencia do envelhecimento do revestimento asfáltico na vida de fadiga de pavimentos*”. Dissertação (mestrado em engenharia), COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 244f, 2001.
- WHITEOAK, D. “*The Shell bitumen handbook*”. 1 ed. Cambridge, 1990.
- ZAUMANIS, M., “*Warm mix asphalt investigation*” Dissertação (mestrado em engenharia), Technical University of , Department of civil engineering, Kgs.Lyngby, Denmark, 111f, 2010.
- ZHANG, J., “*Effects of Warm-mix Asphalt Additives on Asphalt Mixture Characteristics and Pavement Performance*” dissertação (mestrado em engenharia), University of Nebraska, Lincoln, Nebraska, 89f, 2010.