

IAG135-01-2013
MODELAGEM DA ESTRUTURA DE PAVIMENTO DE CONCRETO
ASFÁLTICO MODIFICADO PELO POLÍMERO EVA SOB
SOLICITAÇÕES DINÂMICAS DAS CARGAS EM MOVIMENTO.
MODELADO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ASFÁLTICO
HORMIGÓN POLÍMERO MODIFICADO POR DEMANDAS EVA BAJO
CARGAS DINÁMICAS EN MOVIMIENTO

Keyla Junko Shinohara
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
Florianópolis, Brazil
keylajunko@gmail.com

Leto Momm
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
Florianópolis, Brazil
leto.momm@gmail.com

Breno Salgado Barra
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
Florianópolis, Brazil
brenobarra@gmail.com

Yader Alfonso Guerrero Pérez
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
Florianópolis, Brazil
yagcivil@gmail.com

Adosindro Joaquim de Almeida
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
Florianópolis, Brazil
aduzindo@yahoo.com.br

Resumen

El presente artículo trata de los análisis de la estructura del pavimento de dos tipos de concretos asfálticos a través de modelaciones matemáticas a diferentes temperaturas. Son utilizados el ligante CAP 50/70 convencional y el ligante CAP 50/70 modificado por el polímero EVA (etileno acetato de vinil). Para la formulación de estos concretos asfálticos son realizados previamente los ensayos Marshall, ensayo de Duriez y el ensayo de Deformación Permanente para obtener la dosificación específica de cada tipo de concreto. Los valores de rigidez y el ángulo de fase fueron adquiridos a través del ensayo de Módulo Complejo que sirvieron como datos de entrada para la obtención de los parámetros de Huet-Sayegh. Esos parámetros son

adquiridos a través de iteraciones en el programa Viscoanalyse que, por su vez, generan datos de entrada para las modelaciones realizadas para este artículo. Para las dos mezclas asfálticas son verificadas las influencias de las temperaturas a 10°C, 15°C e 20°C en relación a las deformaciones en la fibra inferior de la capa asfáltica (ϵ_{zz}) y las deformaciones en el tope de la plataforma de fundación (ϵ_{zz}). Con el análisis de los resultados se puede concluir que la temperatura equivalente del ambiente en que se encuentra el pavimento asfáltico influencia en la duración de su vida útil, una vez que en las mayores temperaturas modeladas fueron constatadas mayores microdeformaciones (μ_{def}). Luego, para cada región específica del país debe ser considerada la temperatura equivalente para el dimensionamiento del pavimento. También, a través de los análisis de las modelaciones fue posible concluir la eficiencia de la modificación del ligante asfáltico en la duración de la vida útil del pavimento, pues las deformaciones fueron menores en relación a los concretos asfálticos convencionales, para las mismas solicitaciones dinámicas.

Resumo

O presente artigo trata das análises da estrutura do pavimento de dois tipos de concretos asfálticos através de modelagens matemáticas a diferentes temperaturas. São utilizados o ligante CAP 50/70 convencional e o ligante CAP 50/70 modificado pelo polímero EVA (etileno acetato de vinila). Para a formulação desses concretos asfálticos são realizados previamente os ensaios Marshall, ensaio de Duriez e o ensaio de Deformação Permanente para obter a dosagem específica de cada tipo de concreto. Os valores de rigidez e o ângulo de fase foram adquiridos através do ensaio de Módulo Complexo que serviram como dados de entrada para a obtenção dos parâmetros de Huet-Sayegh. Esses parâmetros são adquiridos através de iterações no programa computacional Viscoanalyse que, por sua vez, geram dados de entrada para as modelagens realizadas para esse artigo. Para as duas misturas asfálticas são verificadas as influências das temperaturas a 10°C, 15°C e 20°C em relação às deformações na fibra inferior da camada asfáltica (ϵ_{xx}) e as deformações no topo da plataforma de fundação (ϵ_{zz}). Com a análise dos resultados pode-se concluir que a temperatura equivalente do ambiente em que se encontra o pavimento asfáltico influencia na duração da sua vida útil, uma vez que na maior temperatura modelada (20°C) foi constatada a maior microdeformação (μ_{def}) e a menor temperatura (10°C) obteve a menor microdeformação (μ_{def}). Logo, para cada região específica do país deve ser considerada a temperatura equivalente para o dimensionamento do pavimento. Também, através das análises das modelagens foi possível concluir a eficiência da modificação do ligante asfáltico na duração da vida útil do pavimento, pois as deformações foram menores em relação aos concretos asfálticos convencionais, para as mesmas solicitações dinâmicas.

INTRODUÇÃO

Cada vez mais se faz necessários investimentos em estudos na área de infraestrutura viária para a melhoria das estradas. Com o avanço tecnológico em variados setores da economia não seria diferente na pavimentação asfáltica. Uma das tecnologias utilizadas no Brasil e no mundo é a modificação do ligante convencional por polímeros. Entre os polímeros mais utilizados atualmente estão o SBS (estireno butadieno estireno), o SBR (estireno butadieno randômico) e o EVA (etileno acetato de vinila). Esse artigo disserta especificamente sobre a modificação do polímero EVA nos concretos asfálticos e sua influência em relação às temperaturas equivalentes

do pavimento. Alguns autores como BRINGEL et al (2005), Alencar et al (2009), Frota e D'Antona (2011) estudaram o EVA e obtiveram resultados melhores se comparados ao ligante convencional.

A influência da temperatura no ambiente onde o pavimento é construído é um fator importante, uma vez que o concreto asfáltico é um material viscoelástico e termosusceptível. Atualmente os métodos de dimensionamento não consideram a variação das temperaturas regionais para aprovação dos projetos rodoviários. Conhecendo o comportamento do concreto asfáltico em relação a diversas temperaturas somado a inserção de tecnologia (como a modificação de ligantes) é possível garantir e, quiçá, aumentar a vida útil dos pavimentos.

MATERIAIS E METODOLOGIAS

Os granulares utilizados nessa pesquisa possuem origem granítica e seguiram a curva granulométrica da faixa “C” do DNIT calculada por Quintero (2011). O autor determinou a curva através da equação de Fuller, cujo expoente “n” calculado foi de aproximadamente 0,5 o que significa agregados bem graduados. Os granulares são ensaiados quanto a abrasão Los Angeles, Durabilidade e Absorção, obtendo resultados satisfatórios dentro dos limites estabelecidos por cada norma respectivamente.

A formação estrutural de um concreto asfáltico é obtida, basicamente, através da junção de granulares com ligante asfáltico. São formuladas duas misturas asfálticas utilizando ligante CAP 50/70 convencional e ligante CAP 50/70 modificado pelo polímero EVA. Um polímero é uma macromolécula formada pela repetição de pequenas e simples unidades químicas (monômeros), ligadas covalentemente (Negrão, 2006).

O polímero EVA possui uma composição que pode variar de uns poucos por cento de acetato até cerca de 50%. De acordo com esta proporção, as propriedades variam de um plastômero muito semelhante ao polietileno, de baixa densidade, até um elastômero. O tipo mais comumente utilizado de EVA para modificar um ligante asfáltico é o HM-728 com teor de 28% de acetato de vinila, sendo considerado um elastômero. Bringel et al (2005) e Rodrigues et al (2009) utilizaram esse tipo de polímero e conferiram uma alta elasticidade, coesão e durabilidade, aumentando a resistência dos agregados ao arranque, sob a ação dos esforços tangenciais gerados pelas condições de tráfego ao longo da sua vida útil.

Ensaaios

O teor ótimo definido para a realização da modelagem da estrutura de pavimento deste artigo é obtido através dos ensaios Marshall, ensaio de Duriez e ensaio de Deformação Permanente. Com a formulação definida, é realizado o ensaio de Módulo Complexo que fornece os dados necessários para a análise da modelagem. A seguir são descritas as características de cada ensaio com os respectivos resultados.

O ensaio Marshall permite a obtenção do teor de ligante a ser utilizado na mistura para que a mesma se enquadre dentro das especificações da norma. A finalidade é evitar a desagregação prematura da mistura por falta de ligante ou superfícies deformáveis por excesso de ligante. Foram testados nove teores tanto para os concretos convencionais como para os concretos

modificados: 4,0%, 4,25%, 4,5%, 4,75%, 5,0%, 5,25%, 5,5%, 5,75% e 6,0%, sendo os melhores teores encontrados de 4,75% para os concretos asfálticos convencionais e 5,0% para os concretos asfálticos modificados pelo polímero EVA.

O ensaio Duriez visa romper à compressão direta simples para avaliar a perda de resistência devido à ação da água. São utilizados no mínimo doze corpos de prova com massa total de 1 kg. Para este ensaio foram avaliados mais dois teores para cada mistura, com intervalos de 0,25% de ligante em relação aos resultados obtidos no ensaio Marshall. Os teores testados foram: 4,50%, 4,75% e 5,0% para os concretos asfálticos convencionais e 4,75%, 5,0% e 5,25% para concretos asfálticos modificados. Após a análise dos resultados verificou-se que todos os teores testados foram aprovados e obtiveram relação maior que 0,70, sendo o mínimo especificado para este ensaio.

O ensaio de Deformação Permanente visa verificar a resistência dos concretos asfálticos em relação ao afundamento nas trilhas de roda, segundo a Equação (1).

$$Y = A \cdot \left(\frac{N}{1.000} \right)^b \quad (1)$$

Onde, “Y” é a profundidade da deformação em N ciclos; “A” é a profundidade da deformação a 1.000 ciclos; “N” é o número de ciclos e “b” é a inclinação da reta em coordenadas logarítmicas. Nesse ensaio foram testados os teores ótimos que obtiveram melhores resultados no ensaio Marshall e no ensaio Duriez, sendo o teor de 4,50% para os concretos asfálticos convencionais e 5,00% para os concretos asfálticos modificados pelo polímero EVA. Os resultados foram satisfatórios para ambas as misturas, pois a espessura final após 30.000 ciclos não ultrapassou 10% da espessura inicial.

O ensaio de Módulo Complexo (NF 12697-26, 2004) visa verificar as propriedades mecânicas de rigidez dos concretos asfálticos. O ensaio foi realizado à flexão alternada de dois pontos (2PB) em modo contínuo com o controle da amplitude de deslocamento do corpo de prova trapezoidal. Obtém-se o comportamento a diversas temperaturas (-10°C, 0°C, 10°C, 15°C, 20°C, 30°C e 40°C) e frequências de solicitação (1Hz, 3Hz, 10Hz e 30Hz). Os valores de módulo e ângulo de fase (defasagem), obtidos através da Equação (2), são utilizados diretamente na modelagem desse artigo.

$$\varepsilon = \varepsilon \cdot \text{sen}(\omega t - \varphi) \quad (2)$$

Onde “ε” é a deformação; “ω” é a pulsação do sinal; “t” é o tempo; “φ” é o ângulo de fase (defasagem). Com os valores de módulo e do ângulo de fase dos ensaios de Módulo Complexo é possível, através das modelagens, analisar a estrutura do pavimento de concreto asfáltico.

Modelagem a diferentes temperaturas

O concreto asfáltico é um material termosusceptível, sendo dependente da temperatura de solicitação (De La Roche, 1996). Um concreto asfáltico dimensionado para ambientes a baixas temperaturas tem a sua resistência prejudicada caso seja aplicado em locais que possuem temperaturas equivalentes maiores e vice-versa, como dissertado na introdução desse artigo. Para análises da influência das temperaturas no comportamento do concreto asfáltico são realizadas modelagens a três diferentes temperaturas para verificar as respectivas deformações.

Segundo a metodologia francesa, que rege todos os ensaios realizados nessa pesquisa (exceto ensaio Marshall), é à temperatura de 10°C que é realizado o dimensionamento, por ser considerada a mais crítica. Porém, nos concretos asfálticos ensaiados por Shinohara (2012), Barra (2009) e Leandro (2012) com ligantes asfálticos brasileiros, a temperatura com maior valor de módulo imaginário (E2) ocorreu entre 15°C e 20°C. Logo, as temperaturas escolhidas para as modelagens são 10°C, 15°C e 20°C.

Do ensaio de Módulo Complexo é possível obter o gráfico Cole-Cole que indica a temperatura onde ocorre a maior perda de energia por atrito interno nos concretos asfálticos. Na Figura 1 é possível verificar que é entre as temperaturas de 15°C e 20°C que ocorre a maior perda de energia para o concreto asfáltico convencional.

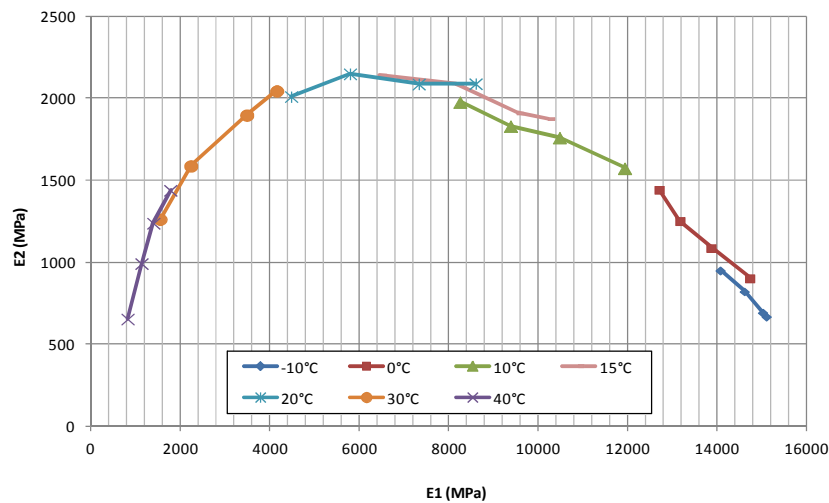


Figura 1: Plano Cole-Cole do concreto asfáltico convencional (Shinohara, 2012)

Para iniciarem as modelagens numéricas são necessários os parâmetros do modelo de Huet-Sayegh, determinados com o programa Viscoanalyse que foi desenvolvido pelo LCPC (*Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*). O modelo analógico de Huet-Sayegh é expresso conforme a Equação (3).

$$E^*[i\omega\tau(\theta)] = \frac{E_{\infty} - E_0}{1 + \delta[i\omega\tau(\theta)]^{-k} + [i\omega\tau(\theta)]^{-h}} + E_0 \quad (3)$$

Onde “ E_{∞} ” é o módulo instantâneo do modelo obtido quando $\omega\tau$ tende ao infinito para as elevadas frequências e para as baixas temperaturas; “ E_0 ” é o módulo estático para as situações de baixas frequências e de elevadas temperaturas; “ τ ” é o tempo de relaxação dos amortecedores; “ h ” e “ k ” são parâmetros dos elementos parabólicos do modelo ($0 < k < h < 1$); “ i ” é o número complexo ($i^2 = -1$); “ δ ” é a constante adimensional em função da natureza do betume e da curva granulométrica e “ ω ” é a pulsação. A Figura 2 representa o modelo analógico.

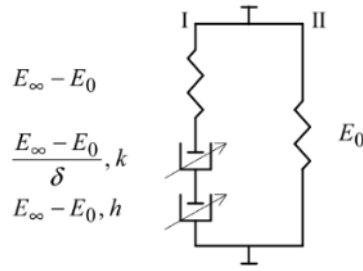


Figura 2: Representação do modelo de Huet-Sayegh (Heck, 2001)

O modelo é representado por duas partes paralelas (I e II), sendo que a parte I possui uma mola em série com dois amortecedores. Sua definição é dada pelas cinco constantes viscoelásticas citadas na Equação 3 (E_∞ , E_0 , k , h , δ). A parte II, composta por apenas uma mola, representa o módulo estático (E_0) quando o material é solicitado a baixas frequências e elevada temperatura (Heck, 2001). A Figura 3 mostra onde se encontram os parâmetros de Huet-Sayegh no gráfico Cole-Cole.

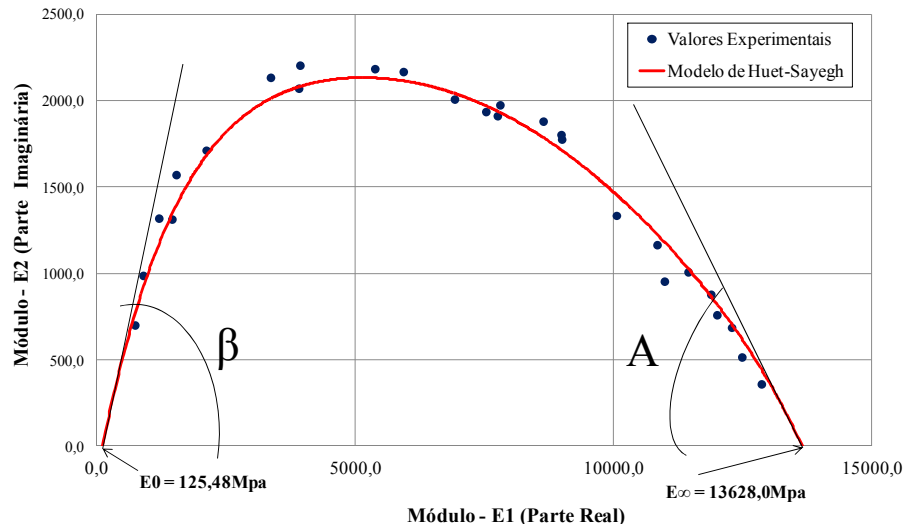


Figura 3: Parâmetros de Huet-Sayegh no plano Cole-Cole (Almeida, 2013)

Os valores de módulo (E^*) e ângulo de fase (δ) são obtidos no Viscoanalyse. Na Tabela 1 encontram-se os parâmetros de modelo de Huet-Sayegh após várias iterações e que serão utilizados na modelação da estrutura do pavimento a diferentes temperaturas.

Tabela 1: Parâmetros Huet-Sayegh

Concreto	E_{inf}	E_0	k	h	δ	A0	A1	A2
Convencional	18181,6	101,37	0,05242	0,51803	0,7671	0,0916876	-0,232484	0,0007178
EVA	14886,9	295,97	0,1381	0,4482	0,6405	2,52955	-0,293679	0,0008882

Na sequência, é utilizado a ferramenta ViscoRoute, desenvolvido também pelo LCPC, que abrange a viscoelasticidade dos materiais asfálticos utilizando o modelo de Huet-Sayegh definido anteriormente. O modelo reológico de comportamento dos concretos asfálticos leva de uma

referência fixa a uma referência em movimento sendo solucionado pela dupla transformada de Fourier nas direções longitudinal e transversal. Calcula-se também as deformações e as tensões nas diferentes posições da estrutura de acordo com a intensidade de carga, temperatura e velocidade do veículo (Duhamel et al, 2005).

O pavimento hipotético para modelação possui quatro camadas, sendo a primeira camada viscoelástica de concreto asfáltico convencional ou modificada (15cm), a segunda camada de base de brita graduada (35cm), a terceira camada de sub-base também de brita graduada, apoiada na plataforma de fundação infinita elástica. Os valores de Massa Volumétrica Real (MRV) dos materiais que compõem o pavimento são de 2.400kg/m³ para o concreto asfáltico convencional, 2.450kg/m³ para o concreto asfáltico modificado EVA, 2.600kg/m³ para base e su-base de brita graduada e de 1.800kg/m³ para a plataforma de fundação.

A solicitação por carregamento rolante é a 72km/h (20m/s), sob três temperaturas equivalentes de 10°C, 15°C e 20°C, a partir de uma carga por eixo de 13 toneladas, sendo essa carga dividida entre os pneus (eixo simples de roda dupla) resultando em 3.250kg por roda. A distância entre eixos de rodas considerada é de 0,36 metros e a área de contato pneu-pavimento possui dimensões de 20cm x 26cm, como mostra a Figura 4.

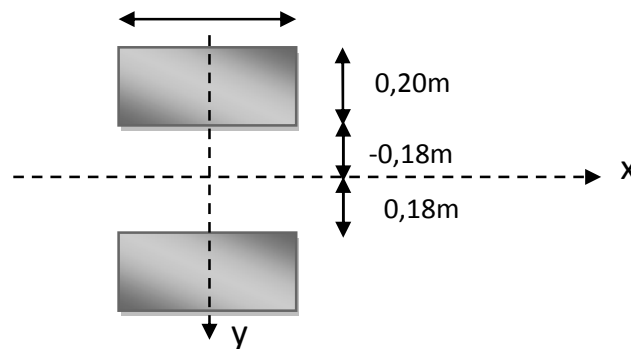


Figura 4: Área de contato pneu-pavimento e distância entre eixos

É considerado o posicionamento entre-rodas dos eixos partindo da origem do plano cartesiano e, sendo seccionado pelo eixo correspondente no sentido da solicitação do carregamento. Todos esses dados são inseridos no Viscoroute para modelação das situações que simulam as solicitações sofridas pelo pavimento.

A verificação do desempenho mecânico das estruturas de pavimento depende de dois critérios principais: deformação de tração na base das camadas asfálticas no sentido longitudinal de passagem do carregamento solicitante (ϵ_{xx}) e a deformação vertical no topo das camadas subjacentes (ϵ_{zz}) (Barra et al, 2010). Essas deformações resultantes ϵ_{xx} e ϵ_{zz} podem ser observadas em qualquer ponto entre os limites das rodas, mas foram alisados os valores no ponto central (0,0), pois retratam a situação mais crítica de solicitação da carga em movimento.

RESULTADOS

A curva de deformação ϵ_{xx} na cota 0,15m (fibra inferior da camada asfáltica) possui um formato com alternância de sinais que demonstra o efeito da extensão-contração-extensão sofrida com a

passagem da carga. Já a curva de deformação ϵ_{zz} na cota 0,80m (topo da plataforma de fundação) possui um formato apenas com o pico de contração. Na Figura 5 são mostrados os gráficos, como exemplo, do concreto asfáltico modificado pelo EVA a 20°C.

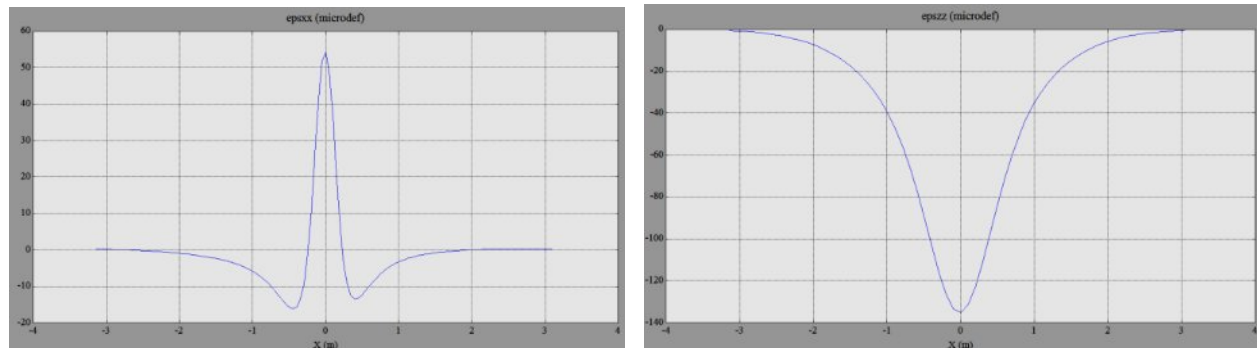


Figura 5: Gráficos da deformação ϵ_{xx} e deformação ϵ_{zz} do concreto modificado pelo EVA a 20°C

Os valores resultantes das deformações calculadas através das modelagens encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Deformações calculadas

CONCRETO ASFÁLTICO	10°C (μdef)	15°C (μdef)	20°C (μdef)
Convencional ϵ_{xx}	52,25	53,19	54,33
Convencional ϵ_{zz}	130,11	133,31	137,64
EVA ϵ_{xx}	51,58	52,84	54,30
EVA ϵ_{zz}	128,38	131,35	135,27

É possível afirmar, após as análises dos resultados, que na fibra inferior da camada asfáltica (ϵ_{xx}) ocorreu um aumento da deformação com o aumento da temperatura. Esse fato é evidenciado tanto no concreto asfáltico convencional ($52,25\mu\text{def} < 53,19\mu\text{def} < 54,33\mu\text{def}$) como no concreto asfáltico modificado ($51,58\mu\text{def} < 52,84\mu\text{def} < 54,30\mu\text{def}$). Para as deformações no topo da plataforma de fundação (ϵ_{zz}) também houve, como esperado, um aumento na deformação com o aumento da temperatura tanto para o concreto asfáltico convencional ($130,11\mu\text{def} < 133,31\mu\text{def} < 137,64\mu\text{def}$) como para o concreto asfáltico modificado ($128,38\mu\text{def} < 131,35\mu\text{def} < 135,27\mu\text{def}$).

CONCLUSÕES

Através da realização dos ensaios Marshall, Duriez e Deformação Permanente foi obtido o teor ótimo definido de 4,50% para o concreto asfáltico convencional e de 5,00% para o concreto modificado pelo polímero EVA. Com esses teores foi possível formular um concreto asfáltico para subtrair valores de módulo complexo e ângulo de fase que foram utilizados para obter os parâmetros de Huet-Sayegh. Esses parâmetros, por sua vez, foram necessários para a modelagem desse artigo.

Com a análise dos resultados obtidos na modelagem matemática pode-se concluir que a temperatura equivalente do ambiente em que se encontra o pavimento asfáltico influencia na duração da sua vida útil, uma vez que nas maiores temperaturas modeladas foram constatadas

maiores microdeformações (μdef). Logo, para cada região específica do país deve ser considerada a temperatura equivalente para o dimensionamento do pavimento. As deformações obtidas na fibra inferior da camada asfáltica (ϵ_{xx}) e no topo da plataforma de fundação (ϵ_{zz}) foram maiores com o aumento das temperaturas. Isto é, em regiões com temperaturas equivalentes mais elevadas que os admitidos nos projetos de dimensionamento terão a sua vida útil reduzida, caso não seja considerado o efeito da viscoelasticidade do concreto asfáltico devido à susceptibilidade térmica. A temperatura que obteve a menor deformação no pavimento através das modelagens foi a 10°C e a temperatura mais crítica, ou seja, a que obteve a maior deformação foi a 20°C.

Também, através das análises das modelagens foi possível concluir a eficiência da modificação do ligante asfáltico pelo polímero EVA na duração da vida útil do pavimento, pois as deformações foram menores em relação aos concretos asfálticos convencionais.

É preciso cautela ao considerar as variáveis adotadas nas metodologias existentes sem prever o comportamento do ambiente externo na qual o pavimento será inserido, assim como, acompanhar as mudanças que ocorrem nos materiais empregados na pavimentação que nem sempre possuem as mesmas características de tempos remotos.

Conclui-se com essa modelação que a temperatura é uma variável a ser considerada para que os dimensionamentos atinjam a vida útil determinada nos projetos. A importância do conhecimento sobre as características dos materiais empregados e os efeitos que ocasionam às diferentes temperaturas mostra o quanto às modelagens matemáticas juntamente com dados de laboratório aproximam das situações em campo, visto que o concreto asfáltico diminui a viscosidade com o aumento da temperatura. Com um melhor entendimento do comportamento do pavimento é possível dimensionar corretamente uma rodovia e mantê-la em boas condições durante toda a vida útil.

REFERÊNCIAS

- Alencar, A. E. V. et al. Estudo da estabilidade a estocagem de ligante asfáltico modificado com resíduo de copolímero EVA descartado pela indústria calçadista. 32a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. Fortaleza, 2009.
- Almeida, A. J. Comportamento mecânico de misturas asfálticas com aplicação dos aditivos PR PLAST S e PR FLEX 20 no módulo complexo e na fadiga. 2013. 254 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2013.
- Barra, B. S. Avaliação da ação da água no módulo complexo e na fadiga de misturas asfálticas densas. 2009. 327 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2009.
- Barra, B. S. et al. Metodologia francesa para o dimensionamento de estruturas de pavimentos de concreto asfáltico. Revista Pavimentação n°18, 2010.
- Bringel, R. M.; SOARES, S. A.; SOARES, J. B. Propriedades químicas e reológicas de asfalto modificado por copolímero EVA. III Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Salvador, 2005.

- De La Roche, C. Module de rigidité et comportement em fatigue des enrobés bitumineux. 1996. 185 f. Thèse de docteur (Tese em Engenharia Civil). École Central de Paris, Paris, 1996.
- Duhamel, D. et al. Viscoroute: Modélisation des chaussées bitumineux bulletin de liaison des ponts et chaussées. École nationale des ponts et chaussées, LCPC. Bulletin, 2005.
- Frota, C. A.; D'ANTONA, D. M. G. Estudo de misturas asfálticas com ligante modificado pelo polímero EVA para pavimentos urbanos de Manaus - AM. Polímeros, São Carlos, ISSN 0104-1428, 2011.
- Heck, J. V. Modélisation des déformations réversibles et permanentes des enrobés bitumineux - Application a l'ornièrage des chaussées. Thèse de Doctorat. Université de Nantes à la Faculté des Sciences de Nantes, França, 2001.
- Leandro, G. C. Avaliação de misturas asfálticas modificadas por polímero SBS no módulo complexo e na fadiga. 2012. 200 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2012.
- Negrão, D. P. Estudo de asfaltos modificados por polímeros do tipo RET para aplicações em pavimentos. 2006. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- NF 12697-26. Mélanges bitumineux: méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud. Module de rigidité. Association Française de Normalisation - AFNOR. Partie 26, 2004.
- Quintero, C. F. Q. Estudo de misturas asfálticas com ligantes de consistência elevada - Formulação e comportamento mecânico. 2011. 203 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2011.
- Rodrigues, F. O. et al. Investigação das propriedades reológicas de ligante asfáltico modificado por SBS e EVA com adição de LCC. ABPv, Fortaleza, 2009.
- Shinohara, K. J. Estudo do comportamento do concreto asfáltico modificado pelo polímero EVA no módulo complexo e na fadiga. 2012. 206 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2012.