

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

EFEITO DA ADIÇÃO DO POLÍMERO EVA NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DO CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO APLICADO EM MANAUS-AM

AUTORES:

Daiana Góes Cavalcante; Lourdes Cristina Porfírio da Silva; Daniela Muniz D'Antona Guimarães; Rannier Marques Mendonça; Reginaldo José Queiroz de Souza; & Consuelo Alves da Frota

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal do Amazonas – Grupo de Pesquisa em Geotecnia - GEOTEC

EFEITO DA ADIÇÃO DO POLÍMERO EVA NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DO CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO APLICADO EM MANAUS-AM

Abstract

The use of polymers in asphalt binders has been widely studied because they provide improvements to the asphalt market in Brazil. Some conditions are repeatedly found in the linings of the Manaus urban roads such as cracks, crevices, and especially plastic deformations. Considering the high temperatures which are submitted, particularly with regard to permanent deformation and fatigue cracking, it is proposed in this paper to study the improvement of rheological properties ligand regional cap 50/70, which directly influence the elastic behavior of asphalt, as the complex modulus and phase angle, as well as the viscosities obtained against the various temperatures which were submitted. To this was added 4% of the EVA polymer asphalt cement oil sold in the city and the refinery REMAN characterized ligands and CAPEVA CAP (conventional and modified, respectively) according to the specification of the ANP (National Petroleum Agency) and the methodology Superpave. At the end of the experiments, it was found better results for the modified asphalt - CAPEVA - Referring to the tests for characterization of asphalt binders, as well as the rheological parameters obtained here mainly by rheometer and viscometer these specific tests. It was also the potential of CAPEVA resist permanent deformation and fatigue after simulated aging oven (RTFOT) and pressure aging vessel (PAV).

Introdução

Diversas são as patologias encontradas nas vias urbanas da capital amazonense, sobretudo, deformações plásticas, ocorrentes, principalmente, pelo clima quente e úmido da região e a não presença de material pétreo no revestimento asfáltico. O cimento asfáltico de petróleo, partícipe do compósito asfáltico, apresenta comportamento reológico vinculado à temperatura — aumento da mesma causa redução na viscosidade do CAP, acelerando, também, o processo de evaporação dos voláteis, tornando o pavimento mais suscetível às deformações.

Visando diminuir essas patologias nos revestimentos asfálticos, tem-se buscado materiais alternativos que proporcionem melhorias ao ligante tradicional, como é o caso da adição de polímeros, que conferem menor suscetibilidade térmica, maior coesão, resistência ao envelhecimento, elasticidade, e adesão aos agregados. No trabalho em pauta foi adicionado ao CAP comercializado regionalmente o copolímero EVA, no intuito de aprimorar suas propriedades reológicas frente a altas temperaturas ocorrentes em Manaus, majorando a sua consistência e resistência à deformação permanente.

Avaliaram-se os ligantes estudados pelos parâmetros reológicos preconizados pela metodologia *Superior Performance Asphalt Pavement (Superpave)*, onde mediu-se o módulo complexo e o ângulo de fase, empregando o reômetro de cisalhamento dinâmico, como também determinou-se a viscosidade, visto que o ligante possui características viscoelásticas. Objetivou-se, principalmente, analisar a susceptibilidade dos materiais betuminosos à deformação permanente sob variação térmica. Igualmente examinaram-se os materiais asfálticos pelos métodos tradicionais constantes nas especificações da Agência Nacional de Petróleo, Gás e Energia.

Materiais e Métodos

Materiais

Utilizou-se o cimento asfáltico de petróleo — CAP 50/70, usualmente aplicado na construção das vias públicas manauaras e fornecido pela Refinaria Isaac Sabbá (REMAN) da empresa Petróleo Brasileiro S.A (Petrobrás). O copolímero de etileno e acetato de vinila (EVA), nome comercial EVAX[®], fabricado pela DuPont, empregou-se como modificador do ligante tradicional, convencionando-se para essa mistura a terminologia de CAP-EVA. Os referidos ligantes foram caracterizados pelos métodos tradicionais constantes nas especificações da Agência Nacional de Petróleo, Gás e Energia (ANP, 2005), assim como pelo *Strategic Highway Research Program*, constantes nas especificações *Superior Performance Asphalt Pavements – SUPERPAVE* (THE ASPHALT INSTITUTE, 1996).

Incorporação do polímero EVA ao CAP 50/70

Empregou-se para misturar o polímero EVA ao ligante betuminoso um equipamento composto por um agitador mecânico com hélice cisalhante, uma sonda, um controlador de temperatura, um bécker de vidro com capacidade de 5 litros e uma manta aquecedora. Inicialmente aqueceu-se o cimento asfáltico até atingir a temperatura de $150 \pm 5^\circ\text{C}$, em seguida acrescentou-se ao CAP50/70 4% do copolímero EVA utilizando o agitador, segundo uma rotação de 300 rpm com duração total de 2 horas, sob aquecimento controlado, obtendo-se, assim, o ligante modificado, denominado neste trabalho como CAP-EVA.

Ensaio Superpave

Realizou-se a caracterização viscoelástica do ligante por meio do reômetro de cisalhamento dinâmico (DSR) — modelo CSA II, que mede o módulo complexo de cisalhamento (G^*) e o ângulo de fase (δ), submetendo-se uma pequena quantidade de ligante a tensões de cisalhamento oscilatórias, conforme a ASTM D 7175/2002, na frequência de oscilação igual a 10 rad/s e sob uma determinada temperatura, onde as informações relativas à tensão, deformação e deslocamentos foram processadas por um computador. Durante o experimento verteu-se o ligante em um molde de silicone, sendo resfriado à temperatura ambiente. Em seguida, retirou-se a amostra do molde e levou-a a um disco pré-aquecido. Aguardou-se a estabilização na temperatura especificada, para então dar início ao ensaio.

A viscosidade influencia diretamente na trabalhabilidade do CAP, por isso se faz necessário avaliá-la em altas temperaturas, se valendo para tal do viscosímetro *Brookfield*. Mede-se tal parâmetro pelo torque necessário para rodar um *spindle* (haste de prova) imerso na amostra de asfalto quente, a velocidade constante. A especificação requer que o citado material betuminoso tenha uma viscosidade inferior a 3Pa.s, sob uma temperatura igual a 135°C . Executou-se o ensaio segundo a especificação ASTM D 4402, colocando-se a amostra no cilindro coaxial, de forma que o *spindle* ficasse totalmente submerso no asfalto e, também, que não houvesse transbordamento. O cilindro foi assentado numa manta e, então, selecionou-se a temperatura de ensaio (120°C , 135°C , 150°C e 175°C). Depois de estabelecido o equilíbrio, iniciou-se a rotação do motor numa determinada velocidade, de forma que desenvolvesse resistência ao torque, variando-se de 10% a 98% da capacidade total do equipamento.

A exposição dos asfaltos ao processo de envelhecimento é muito significativa — reações que ocorrem nos processos de usinagem, transporte e aplicação *in loco* do ligante, onde este é submetido a altas temperaturas e ao contato com o ar. A especificação Superpave indica os seguintes ensaios, que simulam o envelhecimento: no processo de usinagem pela ASTM D 2872

(*Rolling Thin Film Oven Test* – RTFOT) e o endurecimento oxidativo do ligante ao longo da vida útil do pavimento (envelhecimento a longo prazo) pelo Vaso de Envelhecimento Pressurizado (*pressure aging vessel* - PAV), com valores aproximados em torno de 10 anos.

Resultados e Discussão

Ensaio Tradicionais

A Tabela 1 confere os resultados das principais características dos cimentos asfálticos trabalhados, CAP convencional e CAP modificado com 4% do copolímero EVA, nas condições sem envelhecimento (virgem) e após envelhecimento realizado em estufa RTFOT (estufa de fino filme rotativo). Observa-se, por meio da medida empírica de penetração, que o ligante modificado é mais consistente que o convencional, visto que, nas mesmas condições de ensaio, verificou-se que a agulha padrão de penetração, adentrou somente 52 décimos de milímetros na amostra do CAP-EVA, uma penetração menor relativa aquela determinada para o CAP50/70. Com a simulação do envelhecimento de ambos os asfaltos em estufa RTFOT, constatou-se para as duas amostras, uma redução na penetração, justificada pela perda de substâncias voláteis no processo de oxidação que ocorre com o ligante betuminoso ao ser exposto ao ar, ocasionando o endurecimento do material asfáltico. Destaca-se, dessa forma, a maior redução de penetração do CAP-EVA, confirmando que após o seu envelhecimento continua mais consistente que o CAP original, sugerindo ser mais resistente à deformação permanente.

Tabela 1. Características dos Ligantes Asfálticos.

Asfalto	Penetração (0,1mm)			Ponto de Amolecimento (°C)		Variação de Massa (%)
	Virgem	Após RTFOT	Retida (%)	Virgem	Após RTFOT	
CAP	56	40	71	53,2	59,2	0,091
CAP-EVA	52	29	56	62,3	75,2	0,059

Outra característica determinada foi o ponto de amolecimento pelo método do Anel e Bola — indica que quanto menor a temperatura maior é a suscetibilidade do ligante ao afundamento de trilha de roda, patologia esta comumente encontrada nos pavimentos asfálticos de Manaus. Observa-se, na mesma Tabela 1, que o melhor comportamento alcançado, é novamente do CAP-EVA, apresentado por seu maior ponto de amolecimento, bem como pelo elevado aumento desse parâmetro após envelhecimento. A perda de massa ocorrida neste experimento, segundo a literatura (Leite, 1999), determina a perda de voláteis durante o processo de mistura e aplicação, porém alguns ligantes ganham massa devido ao efeito da oxidação. Verificou-se, para ambos os materiais estudados, pouca variação nesse teor percentual de massa, e os resultados mostraram-se dentro do limite aceitável pelas especificações, valor igual a 0,5%.

Estudos realizados por Morilha (2004) indicam que o asfalto modificado com o polímero EVA apresenta resultados sugestivos de boa resistência ao envelhecimento, sugerindo ganho na recuperação elástica mesmo aumentando sua consistência (D'antona, 2009). Uma comparação dos resultados obtidos neste trabalho com outras pesquisas, que também verificaram um aumento do ponto de amolecimento após envelhecimento em estufa, pode ser observada na Figura 1, onde se constata o ganho de consistência, a citar Morilha (2004) que ressaltou um aumento de 5°C e Magalhães (2004) com valor aproximado de 3°C de diferença relativo ao ligante modificado por EVA na situação pós RTFOT, e por fim, destaca-se o visível ganho de consistência do CAP-EVA

em torno de 13°C, sugerindo, como anteriormente citado, ganho na recuperação elástica que poderá ser constatado com os resultados dos parâmetros reológicos obtidos nesta pesquisa.

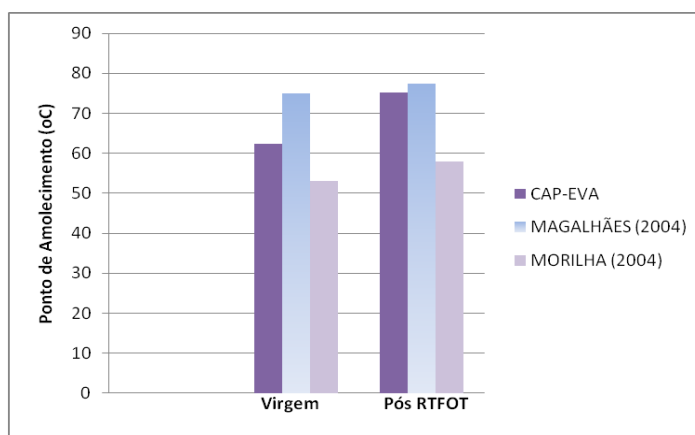


Figura 1. Comparação dos resultados do Ponto de Amolecimento pelo Anel e Bola.

Pelo conjunto dos resultados alusivos a caracterização tradicional dos ligantes aqui trabalhados pôde-se verificar a observância das especificações vigentes da Agência Nacional de Petróleo, Gás e Energia (ANP, 2005) que preconiza a caracterização tradicional do CAP 50/70, bem como a ASTM D 5841-95 que especifica para ligantes modificados.

Ensaio Superpave

Visando dar continuidade as pesquisas do Grupo de Geotecnia da UFAM incorporou-se ao asfalto regional o polímero EVA, submetendo ambos ligantes (usual e modificado) a tensões cisalhantes oscilatórias, por meio de um reômetro de cisalhamento dinâmico (DSR), objetivando determinar o módulo de cisalhamento complexo (G^*) e o ângulo de fase (δ). Parâmetros reológicos que conforme a especificação Superpave possibilitam o controle da rigidez a altas temperaturas ($> 46^\circ\text{C}$), medido pelo parâmetro $G^*/\sin \delta$, simulando a situação vivenciada na região manauense, e a temperaturas intermediárias (entre 7°C e 34°C) obtidas pela relação $G^*\sin \delta$, que são muitas vezes responsáveis pelo aparecimento de trincas por fadiga no cimento asfáltico de petróleo. A Tabela 2 agrupa os resultados obtidos do referido ensaio, atinentes aos parâmetros reológicos G^* e δ , bem como outros especificados pela Superpave, como a razão $G^*/\sin \delta$, relacionada a deformação permanente e cujo valor mínimo recomendado é igual a 1,1 kPa para amostras virgens e 2,2 kPa envelhecidas em RTFOT, respectivamente.

Tabela 2. Módulo Complexo (G^*), ângulo de fase (δ) e parâmetros: $G^*/\sin \delta$ (deformação permanente) e $G^*\sin \delta$ (fadiga) – DSR.

CAP				CAP-EVA		
Deformação Permanente - Amostra virgem						
Temperatura(°C)	G* (Pa)	δ (°)	G*/sen (δ) kPa	G* (Pa)	δ (°)	G*/sen (δ) kPa
58	7083	74,11	7,364	4412	67,46	4,777
64	3318	77,48	3,399	2133	72,28	2,24
70	1600	80,59	1,622	1079	76,97	1,108
76	801	83,41	0,806	605	79,67	0,615
Resultado	70 °C			70 °C		
Deformação Permanente - Amostra após RTFOT						
Temperatura(°C)	G* (Pa)	δ (°)	G*/sen (δ) kPa	G* (Pa)	δ (°)	G*/sen (δ) kPa
64	7242	66,64	7,889	—	—	—

70	3852	69,62	4,11	12500	60,31	14,39
76	1994	72,76	2,088	7387	62,51	8,328
82	—	—	—	4232	65,27	4,659
Resultado		70 °C		82 °C		
Fadiga - Amostra após RTFOT e PAV						
Temperatura (°C)	G* (kPa)	δ (°)	G*.sen (δ) MPa	G* (kPa)	δ (°)	G*.sen (δ) MPa
31	1644	41,15	1,082	—	—	—
28	2566	39,67	1,638	—	—	—
25	3957	38,07	2,44	3104	33,7	1,722
22	6001	38,07	3,562	4511	32,54	2,426
19	9102	34,61	5,169	6459	31,35	3,361
16	—	—	—	9167	30,12	4,600
13	—	—	—	12910	28,67	6,193
Resultado		19 °C		16 °C		

O fator primordial a se observar na Tabela 2 trata-se da diferença do ângulo de fase entre o CAP (original 50/70) e o CAP-EVA frente às variações térmicas, onde se verifica para este último, ângulos de fase menores, que segundo D'antona (2009) sugere superioridade quanto à elasticidade. Nota-se, também, confrontando-se valores do citado parâmetro na mesma faixa de temperatura, antes e após envelhecimento em RTFOT, uma redução do mesmo. Revelando, por conseguinte, ganho de elasticidade após envelhecimento para ambos os ligantes.

No caso do parâmetro $G^*/\text{sen}(\delta)$, que controla a susceptibilidade à deformação permanente, não se observou distinção entre os ligantes antes do processo de envelhecimento, contudo, posteriormente ao ensaio na RTFOT verificou-se um ganho de 12 °C. Na análise do parâmetro $G^*\text{sen} \delta$ (desempenho quanto à fadiga), igualmente obtido a partir do mesmo reômetro, confirmaram-se mais uma vez os resultados positivos em termos de ganho na elasticidade do CAP-EVA.

A viscosidade dinâmica, por outro lado, constitui outro parâmetro reológico de bastante destaque, visto que o material asfáltico em questão é de comportamento termoviscoplastico, que segundo o (Manual do asfalto, 2002) dependente da temperatura, tempo, velocidade e intensidade do carregamento — “Em temperaturas suficientemente baixas e/ou em altas taxas de carregamento, o material betuminoso reage essencialmente como um sólido elástico”. Obteve-se este parâmetro por meio do viscosímetro rotacional *Brookfield*, que permite medir as propriedades de consistência relacionadas ao bombeamento e à estocagem do material trabalhado. A Tabela 3 expõe os valores determinados seguindo o estabelecido pela ANP, onde se verificou que os resultados para ambas as amostras encontram-se dentro do limite especificado pela *Superpave* — viscosidade a 135° deve ser inferior a 3,0 Pa.s. (3000 cP), ressaltando-se, ainda, que tal parâmetro alusivo ao CAP modificado mostrou-se maior, conforme esperado. Destaca-se a importância do controle da viscosidade, visto que esta muda com a variação térmica, por exemplo, em temperaturas muito baixas este parâmetro mostra-se muito elevada e o ligante se comporta aproximadamente como um sólido (com suas moléculas não móveis). Para fins de pavimentação, o material asfáltico precisa de uma viscosidade que lhe confira trabalhabilidade. O comportamento desses asfaltos em termos de viscosidade é possível visualizar na Figura 2.

Tabela 3. Características do CAP x CAP-EVA x Especificação Brasileira (ANP, 2005)

Característica	Unidade	Métodos		CAP 50/70	CAP	CAP-EVA
		ABNT	ASTM			
Viscosidade Brookfield						
a 135°C, SP 21, 20 rpm, mín.	cP	NBR 15184	D 4402	274	620	1600
A 150°C, mín	cP			112	317,5	780
a 177°C, mín. SP 21	cP			57-285	120	270

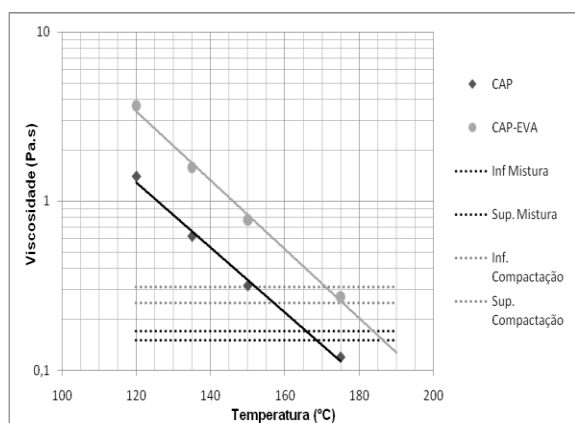


Figura 2. Resultados da viscosidade dinâmica.

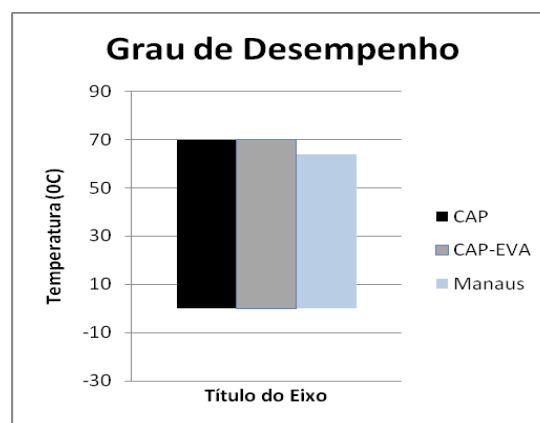


Figura 3. Grau de Desempenho relativo ao CAP, CAP-EVA e o requerido para Manaus.

Confrontando os resultados para o CAP-EVA relativo ao CAP50/70 tem-se para: a) os ensaios tradicionais melhores resultados, indicando maior consistência; e b) os ensaios *Superpave*, superioridade em seu comportamento. Ressalta-se, no entanto, que no experimento quanto à deformação permanente com amostra não envelhecida, apresentou resultado similar ao asfalto convencional. Também pela classificação *Superpave*, relacionada aos graus de temperatura máxima e mínima, os resultados apontaram mesmo grau de desempenho (PG 70-16) para os ligantes pesquisados e, ambos superaram o requerido para Manaus (PG 64+2), conforme pode ser verificado na Figura 3.

Conclusões

O uso de modificador das propriedades do asfalto comercializado na região (CAP 50/70), neste trabalho o polímero EVA, conferiu melhorias em suas características. Do ponto de vista da caracterização tradicional, aumentou sua consistência, observada pela elevação da temperatura do ponto de amolecimento e diminuição da penetração. Igualmente, notou-se um relativo acréscimo em sua viscosidade, referente ao CAP convencional, ou seja, maior resistência ao escoamento (fluxo) para as mesmas temperaturas submetidas. Tais características configuram um ligante menos suscetivo à deformação permanente. Respeitante aos ensaios reológicos, quanto à deformação

plástica e fadiga, menor ângulo de fase que o CAP original, corroborando para uma reposta elástica superior, assim como maior resistência à deformação permanente.

Referências Bibliográficas

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM D5841-95.

BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B. Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros, Petrobras-Asfaltos, Rio de Janeiro, 2008.

BIANCHI, O.; ZENI, M. & FERREIRA, C. A. Polímeros, 1, p.73 (2005).

BRINGEL, R. M.; SOARES, S. A. & SOARES, J. B. Propriedades químicas e reológicas de asfalto modificado por copolímero EVA. in: Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Salvador-BA (2005).

GUIMARÃES, D. M. D – “Estudo de misturas asfálticas com ligante modificado por polímero eva e resíduo da construção civil para as vias urbanas de manaus”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Brasil (2009).

GUIMARÃES, D. M. D. ; FROTA, C. A. . Estudo de misturas asfálticas com ligante modificado pelo polímero EVA para pavimentos urbanos de Manaus. Polímeros (São Carlos. Impresso), 2011.

FROTA, C. A.; MELO, D. M. & D’ANTONA, D. M. G. - “Influência da temperatura nas misturas asfálticas com resíduos de construção e demolição” in: Anais da 6ª Jornadas Luso-Brasileiras de Pavimentos, Porto - Portugal (2007).

INSTITUTO DE ASFALTO - “Manual de Asfalto”. Série n.4 (2002).

LEITE, L. F. M. Estudos de Preparo e Caracterização de Asfaltos Modificados por Polímero. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Polímeros) – Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.

LEITE, L. F. M. & TONIAL, I. A. - “Qualidade dos cimentos asfálticos brasileiros segundo as especificações SHRP”, in: Anais do 12º Encontro de Asfalto, p.94, Rio de Janeiro - RJ (1994).

MORILHA JUNIOR, A. Estudo sobre a ação de modificadores no envelhecimento dos ligantes asfálticos e nas propriedades mecânicas e de fadiga das misturas asfálticas. 2004. 165p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MOURÃO, F. A. L. Misturas asfálticas de alto desempenho tipo SMA. 2003. 131p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SILVA, L. S. Contribuição ao estudo de envelhecimento de ligantes asfálticos: Influência da adição de polímeros e comportamento frente a radiação UV. 2005. 155p. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SILVA, P. B. Estudo em laboratório e em campo de misturas asfálticas SMA 0/8S. 2005.132p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

THE ASPHALT INSTITUTE - “Superior Performance Asphalt Pavements (Superpave) Binder”, 1, Lexington, KY (1996).