

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO CERRADO PATROCÍNIO

Graduação em Engenharia Civil

APLICAÇÃO DE ASFALTO MODIFICADO COM POLÍMEROS

ADIMILSO FRANCISCO NUNES

**PATROCÍNIO - MG
2018**

ADIMILSO FRANCISCO NUNES

APLICAÇÃO DE ASFALTO MODIFICADO COM POLÍMEROS

Trabalho de conclusão de curso apresentado como exigência parcial para obtenção do grau de Bacharelado em Engenharia Civil, pelo Centro Universitário do Cerrado Patrocínio.

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Fernandes

PATROCÍNIO - MG
2018

ATA DE DEFESA PÚBLICA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 5 dias do mês de julho de 2018, às 19:00 horas, em sessão pública na sala 701-06 deste Campus Universitário, na presença da Banca Examinadora presidida pelo Professor Dr. Gilberto Fernandes e composta pelos examinadores:

1. Prof. Ibrahim Abdallah Daura Neto
2. Prof. Me. Goubyan Borges Guimarães

o aluno Admilso Francisco Nunes apresentou o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: Aplicação de asfalto modificado com polímeros como requisito curricular indispensável para a integralização do Curso de Engenharia Civil. Após reunião em sessão reservada, os professores decidiram da seguinte forma: O Avaliador 01 decidiu pela Aprovado e o Avaliador 02 decidiu pela Aprovado, sendo resultado final da Banca Examinadora, a decisão final pela Aprovado do referido trabalho, divulgando o resultado formalmente ao aluno e demais presentes e eu, na qualidade de Presidente da Banca, lavrei a presente ata que será assinada por mim, pelos demais examinadores e pelo aluno.



Prof. Dr. Gilberto Fernandes
Presidente da Banca Examinadora



Prof. Ibrahim Abdallah Daura Neto
Examinador 01



Prof. Me. Goubyan Borges Guimarães
Examinador 02



Admilso Francisco Nunes
Aluno

AGRADECIMENTOS

Agradecer a Deus por ter me dado forças para seguir em frente e buscar meus caminhos e projetos e principalmente por não me deixar fraquejar.

Aos meus pais, Osmar Francisco Nunes e Nilza Aparecida da Silva Nunes que me ampararam na tomada de decisão em alcançar a graduação.

Agradecer ao meu orientador Prof. Dr. Gilberto Fernandes, pela orientação e ajuda no que foi preciso para conclusão do trabalho.

Aos meus colegas que juntos passamos por vários momentos de crescimento pessoal, profissional e de muitas alegrias vividas.

RESUMO

Introdução: A busca constante de novos materiais que melhorem o desempenho dos pavimentos flexíveis levou ao desenvolvimento e uso de asfaltos modificados, que visam ampliar a faixa de utilização dos ligantes asfálticos, a utilização de asfaltos modificados com polímeros, que dão à mistura alta flexibilidade, coesão e durabilidade incrementando a resistência dos agregados ao arranque, sob a ação dos esforços tangenciais gerados pelas cargas oriundas do tráfego, ao longo da sua vida útil estão sendo de grande avanço neste setor. O estudo mostra que a adição de polímeros ao Cimento Asfalto de Petróleo - CAP melhora suas propriedades visco elásticas conferindo maior estabilidade ao pavimento, conseqüente sua durabilidade. **Objetivo:** Diante do exposto, o estudo teve como objetivo estudar a aplicação de asfalto de polímeros em revestimento rodoviário, realizando um comparativo entre pavimentos que foram utilizados CBUQ e CBUQ modificado com asfalto de polímeros em rodovias do país. **Metodologia:** A metodologia de estudo será por meio quantitativo de referências bibliográficas, de forma a fazer comparativo entre dois trechos que tenha utilizado CAP e asfalto modificado com polímero. **Conclusão:** Conclui-se que a utilização de asfalto de polímeros em revestimento rodoviário contribui na maior durabilidade do pavimento e colabora na preservação do meio ambiente. Diz da necessidade de desenvolvimento e viabilização na utilização de novos produtos capazes de tornar o pavimento mais econômico e seguro a população em relação aos ligantes.

Palavras-chave: Polímeros, asfalto, ligantes.

LISTA DE SIGLAS

a.C	Antes de Cristo
ABPV	Associação brasileira de Pavimentação Viária
AMP	Asfalto Modificado por Polímero
APP	Polipropileno Amorfo
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CENPES	Centro de Pesquisas da Petrobrás
d.C	Depois de Cristo
DAER	Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infra Estrutura de Transportes
EGA	Etileno Glycidyl Acrylate
EM	Emenda
EVA	Etileno Acetrato de Vinila
PVC	Polietileno Cloreto de Vinila
RET	Etileno Butil Acrílico Glicidil Metacrilato
SBR	Estireno Butadieno Rubber
SBS	Estireno Butadieno Estireno
SIS	Estireno Isopreno Estireno
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Ilustração de um encadeamento de monômeros formando o polímero.	20
-----------------	---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Benefícios de diferentes tipos de modificadores de asfalto	17
Tabela 2	Especificação brasileira de asfalto diluído	18

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo geral	11
2.2 Objetivos específicos	11
2.3 Problema.....	11
2.4 Justificativa.....	11
3 DESENVOLVIMENTO.....	12
3.1 INTRODUÇÃO	13
3.2 METODOLOGIA.....	14
3.2.1 Históricos da pavimentação	14
3.2.2 Pavimento.....	16
3.2.3 Asfalto Modificado	17
3.2.3.1 Polímeros.....	17
3.2.3.2 Classificação dos polímeros	20
3.2.3.3 Polímeros mais utilizados	21
3.2.3.4 Vantagens na utilização de asfalto modificado.....	22
3.2.4 Asfalto Modificado no Brasil.....	22
3.2.4.1 As experiências utilizando materiais betuminosos com polímeros.....	23
3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
3.4 CONCLUSÃO	25
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	26
5 CONCLUSÃO.....	26
6 REFERÊNCIAS.....	27

1 INTRODUÇÃO

Segundo Castro & Botaro (2004) os agravos ao meio ambiente mediante e decorrente à poluição gerada pelos resíduos industriais vem crescendo ininterruptamente ao longo das últimas décadas. Várias indústrias geram toneladas de resíduos poliméricos termorrígidos e uma solução que pode ser empregada, é a utilização deste material como agregante do CAP (Cimento Asfalto de Petróleo). A inclusão deste resíduo polimérico no asfalto pode permitir diversos fatores positivos tanto no âmbito ambiental como no econômico. Na visão ambiental as indústrias deixariam de expor este material à natureza, tal exposição pode chegar aos 500 anos degradando de forma consistente nosso planeta. Do lado econômico, levam as indústrias a economizarem com os aterros sanitários que são utilizados para rejeite dos resíduos poliméricos, o agrupamento deste material ao asfalto poderá acrescentar valor ao que hoje é descartado.

Nesse pensamento, é possível ter uma pavimentação mais eficiente utilizando polímeros? É mais sustentável e viável? Na melhor hipótese, a pavimentação com asfalto modificado com polímero oferece mais resistência às tensões exercidas no pavimento, conseqüentemente é possível utilizar camadas mais delgadas. Isso implica em um menor custo e em ganho em material. A vida útil desse pavimento é consideravelmente superior ao pavimento comum, onde permitirá um melhor planejamento de manutenção e investimento em novas malhas rodoviárias. Outro ganho é em sustentabilidade onde se pode dar destinação ao um grande volume de polímeros que seriam descartados na natureza (Castro & Botaro,2004).

O trabalho tem como objetivo principal estudar a aplicação de asfalto de polímeros em revestimento rodoviário, realizando um comparativo entre pavimentos que foram utilizados CBUQ modificado com asfalto de polímeros em rodovias do país.

A relevância deste trabalho justifica-se por acreditar que a utilização de asfalto de polímeros em revestimento rodoviário contribui na maior durabilidade do pavimento e colabora na preservação do meio ambiente. O estudo dos ligantes asfálticos apresenta necessidade de desenvolvimento e viabilização na utilização de novos produtos capazes de tornar o pavimento mais econômico e seguro à população.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar a aplicação de asfalto de polímeros em revestimento rodoviário, realizando um comparativo entre pavimentos em que foi utilizado CBUQ modificado com asfalto de polímeros em rodovias do país.

2.2 Objetivos específicos

Classificar os polímeros mais utilizados;

Analisar tempo de vida útil entre os pavimentos;

Avaliar custo benefício entre os asfaltos;

Demonstrar o ganho em sustentabilidade deste tipo de pavimento com o emprego de resíduo de polímeros.

2.3 Problema

É possível ter uma pavimentação mais eficiente utilizando polímeros? É mais sustentável?

2.4 Justificativa

A importância deste trabalho justifica-se por acreditar que a utilização da borracha de pneu inservível contribui na maior durabilidade do pavimento e colabora na preservação do meio ambiente. O estudo dos ligantes asfálticos apresenta necessidade de desenvolvimento e viabilização na utilização de novos produtos capazes de tornar o pavimento mais econômico e seguro a população. Assim sendo, compreendendo que a borracha de pneu pode contribuir na diminuição de custos para as empresas de engenharia, a partir do gerenciamento de resíduos sólidos, desta forma, pode-se minimizar os efeitos traumáticos dos resíduos sólidos para o meio ambiente.

3 DESENVOLVIMENTO

APLICAÇÃO DE ASFALTO MODIFICADO COM POLÍMEROS

ADIMILSO FRANCISCO NUNES¹
PROFº.DR.GILBERTO FERNANDES²

RESUMO

Introdução: A busca constante de novos materiais que melhorem o desempenho dos pavimentos flexíveis levou ao desenvolvimento e uso de asfaltos modificados, que visam ampliar a faixa de utilização dos ligantes asfálticos, a utilização de asfaltos modificados com polímeros, que dão à mistura alta flexibilidade, coesão e durabilidade incrementando a resistência dos agregados ao arranque, sob a ação dos esforços tangenciais gerados pelas cargas oriundas do tráfego, ao longo da sua vida útil estão sendo de grande avanço neste setor. O estudo mostra que a adição de polímeros ao Cimento Asfalto de Petróleo - CAP melhora suas propriedades visco elásticas conferindo maior estabilidade ao pavimento, conseqüente sua durabilidade. **Objetivo:** Diante do exposto, o estudo teve como objetivo estudar a aplicação de asfalto de polímeros em revestimento rodoviário, realizando um comparativo entre pavimentos que foi utilizado CBUQ modificado com asfalto de polímeros em rodovias do país. **Metodologia:** A metodologia de estudo será por meio quantitativo de referências bibliográficas, de forma a fazer comparativo entre dois trechos que tenha utilizado CAP e asfalto modificado com polímero. **Conclusão:** Conclui-se que a utilização de asfalto de polímeros em revestimento rodoviário contribui na maior durabilidade do pavimento e colabora na preservação do meio ambiente, desenvolvendo constantemente novos produtos para pavimentação.

Palavras-chave: Polímeros, asfalto, ligantes.

ABSTRACT

Introduction: The constant search for new materials that improve the performance of flexible pavements led to the development and use of modified asphalts, which aim to increase the range of use of asphalt binders, the use of modified asphalts with polymers, which give the mixture high flexibility, cohesion and durability by increasing the resistance of the aggregates at start up, under the action of the tangential efforts generated by the loads from the traffic, throughout their useful life are being of great advance in this sector. The study shows that the addition of polymers to the Petroleum Asphalt Cement - CAP improves its viscoelastic properties giving greater stability to the pavement, consequently its durability. **Objective:** In

¹Graduando do curso de Engenharia Civil do UNICERP;

²Orientador, Professor e Doutor em Pavimentação; UFOP/UNICERP.

view of the above, the objective of this study was to study the application of polymer asphalt in road coatings, making a comparison between pavements that were used CBUQ and CBUQ modified with polymer asphalt on highways in the country. **Methodology:** The study methodology will be by means of quantitative bibliographical references, in order to make comparative between two stretches that have used CAP and modified asphalt with polymer. **Conclusion:** It is concluded that the use of paved polymer asphalt contributes to the greater durability of the pavement and contributes to the preservation of the environment, constantly developing new products for paving.

Keywords: Polymers, asphalt, binders.

3.1 INTRODUÇÃO

Certos resíduos são naturalmente reciclados, já outros possuem algumas propriedades que dificultam o processo da reciclagem, sendo o caso dos materiais termorrígidos, com o calor, estes se tornam infusíveis e insolúveis, inviabilizando o reuso de tais materiais por meio da reciclagem.

O objetivo principal ao modificar asfaltos é conseguir propriedades reológicas não obtidas nos asfaltos produzidos com técnicas convencionais de refino. Uma dessas formas de modificá-los são mediante a incorporação de polímeros, entre eles as borrachas. Há análises bibliográficas sobre as diferentes formas de utilização do pó de pneu inservível como matéria prima para realizar asfalto borracha. A utilização de grânulos de borracha em estradas, procedentes dos pneus não utilizados, por seu maior custo de tratamento, compete com desvantagem com os polímeros comerciais, plásticos ou elastômeros. Por esta razão seria desejável fomentar a utilização deste resíduo.

Segundo Specht (2000) apud Cury et al. (2002) estudos já foram realizados utilizando polímero como agregado ao asfalto, e sabe-se que combinando asfaltos com determinados polímeros pode-se prevenir a degradação prematura do pavimento, estendendo sua vida útil, reduzindo assim o seu custo de manutenção. Acredita-se que com a adição de polímeros haja uma diminuição da suscetibilidade térmica e um aumento da ductilidade, levando a uma maior resistência a deformações plásticas a altas temperaturas e acabando com o aparecimento de fissuras por retração termal e de fadiga. Quando existe uma compatibilidade entre o asfalto e o polímero, as propriedades obtidas pós-incorporação podem contribuir, de maneira efetiva, para a redução da formação das trilhas de roda, da desagregação do

revestimento e do trincamento térmico. O uso de asfalto modificado por polímeros também aumenta a vida de fadigado revestimento (Castro & Botaro, 2004).

3.2 METODOLOGIA

A metodologia de estudo será por meio quantitativo de referências bibliográficas, de forma a fazer comparativo entre dois trechos que tenham utilizado CAP e asfalto modificado com polímero e também por meio de consulta a normas.

Esclarece Fonseca (2002, p. 20):

Diferentemente da pesquisa qualitativa, os resultados da pesquisa quantitativa podem ser quantificados. A pesquisa quantitativa se centra na objetividade. Influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e neutros. A pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, etc. A utilização conjunta da pesquisa qualitativa e quantitativa permite recolher mais informações do que se poderia conseguir isoladamente.

A pesquisa quantitativa tem suas raízes no pensamento positivista lógico, tende a enfatizar o raciocínio dedutivo, as regras da lógica e os atributos mensuráveis da experiência humana (POLIT, BECKER E HUNGLER, 2004, p. 201). Os estudos de pesquisas bibliográficas foram feitos por meio de artigos, monografias e sites pertinentes ao assunto.

3.2.1 Histórico da Pavimentação

No Brasil, Bittencourt (2004) apresenta um apanhado desta história desde os primeiros povos organizados até o início do século XX. Destaca-se também o esforço de Prego (2001) de concluir a ação iniciada em 1994 pela ABPV, por meio de sua Comissão para Elaborar a Memória da Pavimentação, que nomeou inicialmente o Engenheiro Murillo Lopes de Souza para escrever sobre o tema.

Percorrer a história da pavimentação nos remete à própria história da humanidade, passando pelo povoamento dos continentes, conquistas territoriais, intercâmbio comercial, cultural e religioso, urbanização e desenvolvimento.

No Egito uma das mais antigas estradas pavimentadas implantadas não se destinou a veículos com rodas, mas a pesados trenós destinados ao transporte de cargas elevadas. Para construção das pirâmides (2600-2400 a.C.), vias com lajões justapostos em base com boa capacidade de suporte. Atrito era amenizado com umedecimento constante (água, azeite, musgo molhado).

Na Ásia a Estrada de Semíramis (600 a.C.) – entre as cidades da Babilônia e Ecbatana cruzava o Rio Tigre; transformou-se hoje em estrada asfaltada Estrada Real (500a.C.) - na Ásia Menor ligando Iônia (Éfeso) do Império Grego ao centro do Império Persa, Susa; vias com até 2000 km de extensão. À época de Alexandre, o Grande (anos 300 a.C.), havia a estrada de Susa até Persépolis (aproximadamente a 600 km ao sul do que é hoje Teerã, capital do Irã), passando por um posto de pedágio, as Portas Persas, possibilitando o tráfego de veículos com rodas desde o nível do mar até 1.800m de altitude.

Apogeu da estrada foi na Dinastia Tang (anos 600 d.C.) e, após um período de declínio, voltou a se tornar importante com o surgimento do Império Mongol sob a liderança de Gêngis Khan (anos 1200 d.C.), por ser o caminho de comunicação entre as diversas partes do Império. Um dos visitantes mais conhecidos e melhor documentados na história da estrada foi Marco Pólo, negociante veneziano, que iniciou suas viagens com apenas 17 anos em 1271. Embora seja reconhecida a existência remota de sistemas de estradas em diversas partes do globo, construídas para fins religiosos (peregrinações) e comerciais, ficou atribuída aos romanos a arte maior do planejamento e construção viária.

Os Romanos, há mais de 2000 anos já possuíam uma boa malha viária, contando ainda com um sistema de planejamento e manutenção. A mais extensa das estradas contínuas corria da Muralha de Antonino, na Escócia, à Jerusalém, cobrindo aproximadamente 5.000km (Hagen,1955). A partir da queda do Império Romano (476 d.C.), e durante os séculos seguintes, as novas nações européias fundadas perderam de vista a construção e a conservação das estradas.

No final dos anos 700, a França foi a primeira, desde os romanos, a reconhecer o efeito do transporte no comércio, dando importância à velocidade de viagem. Carlos Magno, no final dos anos 700 e início dos anos 800, modernizou a França, semelhantemente aos romanos, em diversas frentes: educacional, cultural e também no que diz respeito ao progresso do comércio por meio de boas estradas. Séculos X a XII de pouco cuidado com os Caminhos Reais da França; este descuido é uma das causas da decadência da Europa civilizada. Mudança significativa no reinado de Felipe Augusto (1180-1223), a partir do qual a França passa a ter novamente a preocupação de construir novas estradas e conservá-las.

Os ingleses, observando a forma como eram calçados os caminhos da França, conseguiram construir as vias mais cômodas, duráveis e velozes da Europa, o que foi importante para o progresso da indústria e comércio do país. A partir da experiência na Inglaterra, Escócia e França, e de sua própria experiência nas províncias de Portugal, Mascarenhas Neto (1790) apresenta um Tratado para Construção de Estradas, numa preciosa referência para o meio rodoviário. Já à época havia uma grande preocupação com drenagem e abaulamento; erosão; distância de transporte; compactação; sobrecarga; marcação.

3.2.2 Pavimento

Pavimento conforme definição do DNIT (1994) é: “Estrutura construída após a terraplenagem, destinada a resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais oriundos dos veículos, a melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança e a resistir aos esforços horizontais tornando mais durável a superfície e rolamento”.

Segundo Pinto et al (2002), pavimento rodoviário é uma estrutura constituída por uma ou mais camadas, como características para receber as cargas aplicadas na superfície e distribuídas de modo que as tensões resultantes fiquem abaixo das tensões admissíveis dos materiais que constituem a estrutura. Pinto et al (2002) segue dizendo que o pavimento está classificado em duas classes sendo eles os flexíveis e os rígidos. Para o mesmo autor, o pavimento flexível é o pavimento em que todas as camadas sofrem deformação elástica sob o carregamento aplicado, e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalente entre as camadas. Os principais materiais constituintes são o material asfáltico, agregado graúdo, e agregado miúdo (BIANCHI et al., 2008). O pavimento rígido possui uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores, e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado. Dentre os materiais constituintes do asfalto rígido, são: Cimento Portland, agregado graúdo, agregado miúdo, água tratada, aditivos químicos, fibras, selante de juntas, material de enchimento de juntas e aço. Dentre os principais constituintes do asfalto rígido, estão o cimento Portland, agregado graúdo, agregado miúdo, água tratada, aditivos químicos, fibras (plástico ou aço), selante de juntas (moldado), material de enchimento de juntas (fibras ou borracha), e aço (BIANCHI et al., 2008).

3.2.3. ASFALTO MODIFICADO

3.2.3.1 Polímeros

Para melhorar o desempenho do ligante asfáltico para que este possa trabalhar em situações adversas (condições ambientais, tráfego pesado, etc.), podem ser adicionados produtos modificadores de suas propriedades, como os asfaltos naturais (gilsonita ou asfaltita), fíleres (cal, cimento, sílica etc.), fibras (vidro, asbestos, fibras de celulose e fibras poliméricas) ou por enxofre elementar. Entretanto, a modificação mais empregada atualmente é através do uso de polímeros. As influências em termos qualitativos dos vários tipos de modificadores de asfalto são apresentadas na Tabela 1. Maiores detalhes destes asfaltos poderão ser vistos na Tabela 2.

Tabela 1 - Benefícios de diferentes tipos de modificadores de asfalto (*Bernucci et al, 2008*)

Modificador	Deformação Permanente	Trincas Térmicas	Trincas de Fadiga	Dano por Umidade	Envelhecimento
Elastômeros	*	*	*		*
Plastômeros	*				
Borracha de Pneu	*	*	*		*
Negro de Fumo	*				*
Cal				*	*
Enxofre	*				
Modificadores químicos	*				
Antioxidante					*
Melhorador de adesividade				*	*
Cal hidratada				*	*

(*) Símbolo significa que há benefício.

Tabela 2 - Especificação brasileira de asfalto diluído (ANP-2007)

Características	Métodos		Tipos			
	ABNT/NBR	ASTM	CR-70	CR-250	CM-30	CM-70
No Asfalto Diluído						
Viscosidade cinemática, cSt, 60°C	14756	D 2170	70-140	250-500	30-60	70-140
Viscosidade Saybolt-Furol, s	14950	D 88				
25°C					75-150	-
50°C			60-120	-	-	60-120
60°C			-	125-250	-	38
Ponto de fulgor (V.A. Tag) °C, min.	5765	D 3143	-	27	38	38
Destilação até 360°C, % volume total destilado, min.	14856	D 402				
% volume total destilado, min.						
190°C			10	-	-	-
225°C			50	35	25	20
260°C			70	60	40-70	20-60
316°C			85	80	75-93	65-90
Resíduo, 360°C, % volume, min.			55	65	50	55
Água, % volume, máx.	14236	D 95	0,2	0,2	0,2	0,2
No Resíduo da destilação						
Viscosidade, 60°C, P ²	5847	D 2171	600-2400	600-2400	300-1200	300-1200
Betume, % massa, mín. ²	14855	D 2042	99,0	99,0	99,0	99,0
Dutibilidade, 25°C, cm, mín. ^{1 2}	6293	D 113	100	100	100	100

Para Júnior (2007) os polímeros são produtos de origem orgânica, inorgânica ou sintética, de alto peso molecular; cuja estrutura molecular consiste da ligação por reação química de pequenas unidades chamada monômera. Essa reação é denominada polimerização, devido ao tamanho final da molécula oriunda da reação (macromoléculas). Homopolímero é o polímero que é composto de monômeros idênticos, e caso seja composto de espécies diferentes de monômeros é classificado como copolímero.

Segundo Júnior (2007) os principais polímeros normalmente utilizados na modificação do CAP são: Estireno Butadieno Estireno (SBS), Etileno Butil Acrilato Glicidil Metacrilato (RET) e Estireno Butadieno Rubber (SBR). Para que a modificação do ligante seja viável técnica e economicamente, é necessário que o polímero seja resistente à degradação nas temperaturas usuais de utilização do asfalto, misture-se adequadamente com o asfalto, melhore as características de fluidez do asfalto a altas temperaturas, sem que o ligante fique

muito viscoso para a misturação e espalhamento, nem tão rígido ou quebradiço a baixas temperaturas.

No ano de 1999, no Brasil foi criada a primeira especificação para o Asfalto Modificado com Polímero - AMP (DNER, 1999, Pinto et al, 1998). Atualmente, os AMPs comercializados no Brasil devem seguir as especificações impostas pela ANP - Agência Nacional, de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis ou pelo DNIT (Norma 129/2010 - EM).

De acordo com Leite (1999), a classificação mais utilizada para os polímeros é a de Disnmem que os classifica em quatro grupos distintos em termorrígidos, termoplásticos, elastômeros, elastômeros-termoplásticos.

Conforme salienta Nascimento e Reis (1999) os polímeros do tipo elastômero termoplásticos alteram sensivelmente o comportamento do cimento asfáltico, melhorando as propriedades mecânicas num grande intervalo de temperatura, eles acrescentam elasticidade ao cimento asfáltico, produzindo revestimentos mais flexíveis. Para baixas temperaturas, o ganho de elasticidade os torna menos susceptíveis ao aparecimento de trincas e fissuras.

Os elastômeros proporcionam também incrementos no ponto de amolecimento e da viscosidade do CAP. Para temperaturas elevadas, este efeito minimiza o risco de exsudação, afundamento e redução da macro textura do pavimento; obtêm-se ligantes que, para a temperatura de aplicação, apresentam viscosidade dentro dos limites recomendados pelas especificações e que na faixa de temperatura de trabalho, apresentam elevada viscosidade; são capazes de retardar o envelhecimento do asfalto; o ponto de amolecimento, superior ao dos cimentos asfálticos convencionais tornam o módulo de rigidez menos susceptíveis às variações de temperatura; permitem a realização de revestimentos com módulos elásticos dinâmicos que atendam às condições a que serão submetidos, acarretando no aumento da resistência dos pavimentos às deformações permanentes e à fadiga, sobretudo para temperaturas de trabalho elevadas.

A busca constante de novos materiais que melhorem o desempenho dos pavimentos flexíveis levou ao desenvolvimento e uso de asfaltos modificados, que visam ampliar a faixa de utilização dos ligantes asfálticos. Insere-se neste contexto a utilização de asfaltos modificados com polímeros, que dão à mistura alta flexibilidade, coesão e durabilidade incrementando a resistência dos agregados ao arranque, sob a ação dos esforços tangenciais gerados pelas cargas oriundas do tráfego, ao longo da sua vida útil (Oda e Fernandes Júnior, 2001).

Gonzalez et al. (2004), mostraram que a adição de polímeros ao CAP melhora suas propriedades visco elásticas conferindo maior estabilidade ao pavimento. Lamontagne et al.

(2001), ao estabelecerem a comparação entre o asfalto puro e o modificado, concluíram que CAP's modificados por polímeros reduzem a susceptibilidade térmica e a deformação permanente causadas pelo grande número de solicitações de cargas induzidas pelo tráfego, aumentando assim a vida útil dos pavimentos.

Para ampliar sua resistência, os cimentos asfálticos de petróleo podem ser modificados através de adições de asfaltos naturais como gilsonita (EUA), asfaltita (Argentina) e asfalto de Trindade ou ainda por adição de fileres (cal, cimento, sílica, etc.), fibras (fibras de vidro, asbestos, fibras de celulose e fibras poliméricas) ou por enxofre elementar. A modificação mais empregada atualmente é através do uso de polímeros (SBR, SBS, RET, etc) e por borracha moída de pneu (LEITE, 1999).

Polímero é uma macromolécula natural ou sintética, com alto peso molecular, formada pelo encadeamento de unidades moleculares fundamentais chamadas monômeros. Alguns polímeros naturais, como as proteínas, são compostos de um só tipo de monômero, mas a maioria dos polímeros naturais e sintéticos é formada de vários tipos de monômeros chamados de copolímeros.

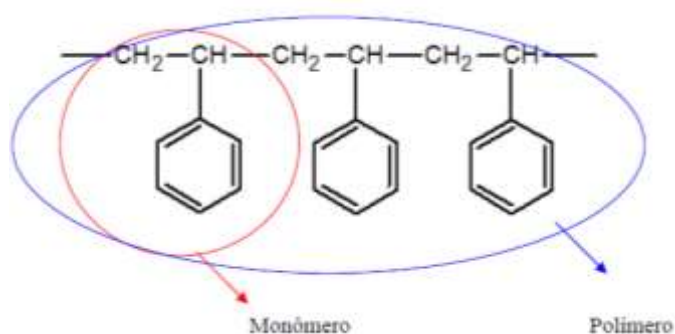


Figura 1- Ilustração de um encadeamento de monômeros formando o polímero.

A polimerização é a reação química que dá origem aos polímeros, esta reação é principalmente diferenciada em dois tipos: por adição e por condensação. A variedade de polímeros produzidos pelo homem é muito grande, podendo-se inclusive, produzir diferentes polímeros a partir do mesmo monômero, bastando para isso conduzir a reação em diferentes graus de polimerização (FELIX, G.B 2009).

3.2.3.2 Classificação dos Polímeros

Os polímeros podem ser classificados principalmente pela relação a sua ocorrência: naturais ou sintéticos; em relação a sua preparação: adição ou copolímeros; em relação a sua cadeia: homogêneos ou heterogêneos; em relação a sua estrutura: lineares ou tridimensionais e em relação as suas propriedades mecânicas: termorrígidos, elastômeros e/ou termoplásticos.

3.2.3.3 Polímeros mais utilizados

Segundo Leite (1999), os polímeros para uso em pavimentos podem ser definidos da seguinte maneira, os SBS/SIS que são elastômeros termoplásticos que formam blocos do tipo estirenobutadieno-estireno ou estireno-isopreno-estireno. Quando aquecidos escoam-se livremente, mas apresentam resistência mecânica elevada e boas propriedades resilientes à temperatura ambiente. A configuração espacial do SBS é formada por duas regiões distintas: as esferas que são os micros domínios estirênicos e as molas que representam os micros domínios butadiênicos. Quando o SBS é dissolvido em um CAP apropriado, a porção estirênica será solvatada pelos componentes aromáticos do asfalto, formando um gel estabilizado, em que a seqüência butadiênica mantém a estrutura em certa conformação espacial responsáveis pelas melhorias das propriedades reológicas deste material em relação ao cimento asfáltico puro.

Ainda segundo Leite (1999), os SBR que são copolímeros aleatórios de estireno e butadieno, obtidos principalmente por processo de polimerização em emulsão, em que as partículas de polímeros ficam suspensas no asfalto na forma de látex. Por pertencer à classe dos elastômeros, resistem bem a temperaturas elevadas e apresentam propriedades elásticas semelhante às da borracha. Apresenta também boa compatibilidade com o asfalto.

Segue com os EVAs que é um copolímero plastômero de etileno e acetato de vinila. A porcentagem de acetato de vinila na composição desse copolímero pode variar, podendo ser muito baixa (3%) ou atingir cerca de 50%. Os segmentos de etileno são semicristalinos. Já os que contêm o grupo acetato compõem a fase amorfa. Suas maiores vantagens são a resistência à flexão e estabilidade térmica, aliadas a um custo razoável. A redução do teor de acetato de vinila aumenta o módulo de rigidez e a temperatura de amolecimento desses polímeros além de diminuir a temperatura de fragilidade. Escoam-se irreversivelmente quando submetidos a uma tensão cisalhante, visto que não possui reticulação como SBR ou micros domínios, como o SBS.

E por último, Leite (1999) diz sobre o RET que é terpolímeroelastomérico reativo, sendo um polímero termoplástico que reage quimicamente com o asfalto, e será descrito no próximo tópico.

3.2.3.4 Vantagens na utilização de asfalto modificado

As principais vantagens da utilização do asfalto modificados, de acordo com Reis e Santo (1999) são as seguintes:

Nas misturas asfálticas densas:

- maior resistência à ocorrência das deformações permanentes (trilhas de roda);
- aumento da vida de fadiga;
- reduzir a espessura da camada do revestimento; e
- melhorar a adesão e a coesão frente à ação da água e do tráfego.

Nas camadas drenantes:

- melhor resistência à ação da água e ao arrancamento do agregado pelo tráfego;
- incremento na capacidade de drenagem superficial do pavimento, impedindo a formação de lâminas d'água, evitando a hidroplanagem;
- diminuição do ruído, melhorando as condições de conforto e segurança dos usuários;
- maior espessura do filme asfáltico envolvendo os agregados, diminuindo o envelhecimento do ligante;
- resistência ao aumento da densidade causada pelo tráfego, mantendo a permeabilidade.

Nas camadas de absorção de tensões:

- manutenção das propriedades elásticas sob uma faixa maior de temperatura que o CAP convencional;
- minimização da reflexão de trincas do revestimento antigo para o novo;
- absorver as tensões, permitindo ao projetista reduzir a espessura das camadas asfálticas; e,
- aumentar a ligação entre as camadas asfálticas.

3.2.4 ASFALTO MODIFICADO NO BRASIL

O Centro de Pesquisas da Petrobrás (CENPES), no Brasil, na década de 90, deu início ao desenvolvimento de pesquisas voltadas à área de materiais asfálticos modificados por polímeros, seu objetivo principal foi estudar o desempenho desses materiais. Alguns

experimentos foram realizados com materiais asfálticos modificados por borracha de pneus moída. A Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) desenvolveu uma pesquisa que tinha como objetivo comparar tipos de borracha de diferentes fornecedores e processos de produção (Oda & Júnior 2001).

Foram feitas aplicações de asfalto borracha em rodovias brasileiras onde se iniciou em escala comercial após o ano de 2000, atualmente, pode-se afirmar que o Brasil, em particular a Petrobrás Distribuidora, sobrepuja a tecnologia de produção, transporte e aplicação do asfalto borracha, onde em rodovias do Brasil são centenas de quilômetros já aplicados (Castro, 2007).

Com um descarte de mais de 30 milhões de pneus, o asfalto-borracha surgiu como uma solução. A questão ambiental é o item mais relevante em torno do desenvolvimento do asfalto-borracha. Como cada quilômetro de asfalto borracha demanda mil pneus, a cobertura de 10% da malha rodoviária do país consumiria 16 milhões de pneus, com isso, a sua aplicabilidade poderá extinguir gradualmente os depósitos clandestinos de pneus, material capaz de permanecer 400 anos no ambiente sem se degradar (Castro, 2007).

O DAER - Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem para testar o revestimento em condições de uso, desenvolveu um equipamento de ensaio de intempéries e desgaste físico. Em sessenta dias, os aparelhos simulam o desgaste de dez anos de uso sob a ação de 50 toneladas de massa por minuto, incluindo a produção de chuva artificial. O asfalto-borracha aumenta em 43% a durabilidade da superfície da pista, aprimorando a aderência e diminuindo a ocorrência de acidentes ocasionados por derrapagens e aquaplanagem (Castro, 2004).

3.2.4.1 As experiências utilizando materiais betuminosos com polímeros

Objetivando melhorar o desempenho dos asfaltos. Em 1901, iniciaram-se as aplicações práticas dos asfaltos modificados. Em 1902, em Cannes, foi construída a primeira rodovia usando asfalto modificado. Os relatos quanto ao desempenho da rodovia foram positivos e, com o desenvolvimento dos materiais sintéticos macromoleculares, após a Segunda Guerra Mundial, novos materiais foram avaliados para serem utilizados como modificadores de asfalto (Zanzotto & Kennepohl, 1996 apud Amaral, 2000).

Quando se adiciona polímeros à matriz asfáltica, pretende-se, principalmente, aumentar a impermeabilidade, impedindo a deterioração pela água, diminuir a fragilidade a baixas temperaturas e o desgaste por abrasão (Botaro et al., 2006). Duas classes de polímeros

são usadas para modificação de matrizes asfálticas, sendo, os elastômeros são utilizados para aumentar a resistência e a flexibilidade dos pavimentos, enquanto os plastômeros aumentam a rigidez e a estabilidade da blenda. O uso de matriz asfáltica modificada por polímeros também aumenta a vida de fadiga do revestimento (Castro & Botaro, 2004).

Os polímeros utilizados para a incorporação nos asfaltos podem ser termorrígidos e termoplásticos. Exemplos de termorrígidos são: as resinas epóxicas, poliuretanos e poliésteres. Os termoplásticos são: o poli (cloreto de vinila) (PVC), polietileno e poliisobutilenos, borracha de estireno-butadieno (SBR), etileno-acetato de vinilo (EVA) e estireno-butadieno-estireno (SBS), borracha natural e artificial (Talavera, Meneses, Madrid, 2001).

Copolímeros de poliblocos de estireno-butadieno-estireno (SBS) são provavelmente os mais usados em asfaltos modificados. Recentemente um novo modificador de asfalto, o etileno glycidyl acrylate (EGA), tem sido testado. Este copolímero, supostamente, reage quimicamente com o asfalto e é sugerido que baixas concentrações de EGA podem, com alguns asfaltos, produzir interessantes materiais. O efeito de um polímero geralmente começa a ser significativo em concentrações entre 4 – 6%. Porém, altas concentrações de polímeros são consideradas pouco viáveis economicamente (Stastna et al., 2002).

Um exemplo da incompatibilidade com o asfalto é o poliestireno que apresenta dificuldade em dispersar-se no asfalto uniformemente. Conseqüentemente, a fase grosseira dispersada separa rapidamente quando pára a agitação. Assim, é necessário melhorar a estabilidade ao armazenamento do asfalto modificado com poliestireno para uso prático (Liang, 1997 apud Jin et al., 2001).

3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No estudo feito, o termo sustentabilidade é um crescente em todos os seguimentos, na pavimentação não tem sido diferente e, portanto, tem se buscado formas de diminuir os impactos ambientais. Este trabalho tem o interesse em fomentar a utilização de resíduo de polímeros como ligante para a pavimentação rodoviária como forma de destino para a grande quantidade de polímeros descartados.

3.4 CONCLUSÃO

Com o advento e melhoria tecnológica dos veículos automotores, houve o aumento das velocidades desenvolvidas pelos mesmos e assim o desgaste natural de nossas rodovias. Devido ao peso transportado e grande fluxo de carros e caminhões o desgaste é inevitável. Sendo assim, aplica-se maior atenção das vias asfálticas e da superfície das rodovias, principalmente naquelas de grande volume de tráfego, das quais são exigidos melhores padrões de segurança.

A aplicação de revestimentos constitui-se num salto de qualidade e de segurança considerável, isso se faz necessário para melhorar o padrão de qualidade em asfaltos modificados por polímeros, pois para se ter um país desenvolvido é preciso investir em novas metodologias e técnicas asfálticas para efetivação da qualidade e durabilidade do asfalto. Conclui-se que a utilização de asfalto de polímeros em revestimento rodoviário contribui na maior durabilidade do pavimento e colabora na preservação do meio ambiente.

3.5 REFERÊNCIAS

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, L. B., MOTTA, L. M. G., CERATTI, J. A. P., SOARES, J. B. (2008). Pavimento asfáltica: formação básica para engenheiros. **PATROBRAS: ABEDA**. Rio de Janeiro.

BIANCHI, F. R., BRITO, I. R., CASTRO V. A. **Estudo comparativo entre pavimento rígido e flexível**. IBRACON 50º CBC, Associação de Ensino Superior Unificado do Centro Leste, 2008.

BOTARO, V.R.; CASTRO, S.R.; JUNIOR, F.R.; CERANTOLA, A.E.; **Obtenção e caracterização de blendas de asfalto CAP 20, modificado com poliestireno reciclado, resíduos de pneu e lignina organossolve**. Rem: Revista Escola de Minas. V.59 n.1. janeiro/março 2006.

CASTRO, S.R.; BOTARO, V.R. **Modificação de misturas asfálticas: empregos de polímeros recicláveis e melhoria das condições de pavimentação das estradas de Minas Gerais**. DEQUI-UFOP, 2004. (Relatório de Iniciação Científica).

CNT – **Confederação Nacional dos Transportes**. Pesquisa Rodoviária, 2007.

DNIT (2006). **DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTE**. Plano Nacional de Viação – PNV.

FELIX, G.B (2009) - **Dissertação _asfalto _polimeros3**. Universidade Federal do Rio grande do Norte, Centro de tecnologia do Departamento de Engenharia Química.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.
GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GONZÁLES, O.; MUÑOZ M.E.; SANTAMARÍA, A.; GARCIA-MORALEZ, M.; NAVARRO, F.J.; Partal,P.; **Rheology and Stability of Bitumen / EVA blends**; European Polymer Journal;p.2365-2372; 2004

LEITE, L. F. M.;**Estudo de Preparo e Caracterização de Asfaltos Modificados por Polímeros**; Tese de Doutorado, UFRJ; Rio de Janeiro – RJ, 1999.

NASCIMENTO, H.R.C., Reis, R.M.M.; **Camada porosa de atrito com utilização de asfalto modificado com polímero.**; Ipiranga Asfalto S.A., São Paulo-SP, Abril/1999.

NEGRÃO, D. P.; **Estudo de Asfaltos Modificados por Polímeros do Ripo RET para Aplicação em Pavimentos**; Dissertação de Mestrado; USP; São Paulo – SP, 2006.

ODA, S.; FERNANDES JÚNIOR, J.L.; **Borracha de Pneus como Modificador de CimentosAsfálticos para Uso em Obras de Pavimentação**; Acta Scientiarum, V.23, nº. 6, 2001.

PINTO, S.; PREUSSLER, E. S. (2002). **Pavimentação Rodoviária: Conceitos fundamentais sobre Pavimentos Flexíveis**. 2º edição, Copiarte, Rio de Janeiro.

POLIT, D. F.; BECK, C. T.; HUNGLER, B. P. **Fundamentos de pesquisa: métodos, avaliação e utilização**. Trad. de Ana Thorell. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

REIS, R.M.M & SANTOS, N.R.E.; **Tecnologia de Ponta para Prolongar a Vida dos Pavimentos Asfálticos**. 3ª edição; Ipiranga Asfalto S.A.; São Paulo – SP, 1999.

SAMPAIO, E.A.N. **Análise da viabilidade técnica do uso de borracha de pneus inservíveis como modificadores de asfaltos produzidos por refinarias do Nordeste – Unifacs**, Salvador (2005).

SPECHT, Luciano Pivoto; **Avaliação de Misturas Asfálticas com Incorporação de Borracha Reciclada de Pneus**, Tese de Doutorado; UFRS; Porto Alegre - RS, 2004.

SPECHT, L. P. **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus. Porto Alegre**, Tese de Doutorado. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 278p. 2004.

SPECHT, Luciano Pivoto; Ceratti, Jorge Augusto Pereira; Paludo, Ilda; **Estudo Laboratorial da Adesividade e do Desgaste de Misturas Asfálticas com Borracha**; XVIII

Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes; Florianópolis - SC, 2004.

STASTNA, J.; ZANZOTTO, L.; VACIN, O.J. **Viscosity function in polymermodified asphalts**. Journal of Colloid and Interface Science, p. 200-207. 2002.

ZANZOTTO, L.; KENNEPOHL, G.J.; **Development of rubber and asphalt binders by depolymerization and devulcanization of scrap tires in asphalt**. Transportation Research Record 1530, p. 51-58. 1996.

JIN, H.; GAO, G.; ZHANG, YO.; ZHANG, YI.; SUN, K.; FAN, YON. **Improved properties of polystyrene-modified asphalt through dynamic vulcanization**. Polymer testing, p. 633-640. 2001.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após feita a leitura de todo material pesquisado, onde vários artigos e pesquisas foram de informações fundamentais para a formatação deste. Em seguida foi realizado um diagnóstico na forma descritiva do texto adquirido, buscando instituir uma compreensão e expandir o conhecimento referente ao tema pesquisado, o referencial teórico foi feito buscando a visão de vários autores para melhor esclarecer o assunto proposto. O trabalho foi elaborado e baseado na busca abrangente pelo entendimento e aperfeiçoamento de técnicas e suposições a respeito do aproveitamento de resíduos descartados na natureza.

5. CONCLUSÃO

São descartados milhares de toneladas de materiais recicláveis, sendo os mesmos acumulados por anos, indicando um problema gravíssimo de abrangência mundial em relação ao meio ambiente. Uma das soluções para este problema poderiam ser as usinas de reciclagem, destinando este material para outros propósitos. A solução é acrescentar o pó de borracha obtida a partir de pneus reciclados na mistura de asfalto. Sendo este, um processo claramente simples. Por meio desta mistura de materiais, estradas e rodovias são mais forte, mais seguro e menos dispendioso.

O pó de borracha utilizado nas estradas é de grande economia a longo prazo, pelo motivo de prolongar sua vida útil, devido ao aumento da resistência obtida pelo asfalto modificado.

Sendo o Brasil um país onde se descarta muito pneus, está em condições de arriscar a comprometimento do uso de borracha reciclada em produtos afins à construção e confecção de nossa malha viária.

6. REFERÊNCIAS

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, L. B., MOTTA, L. M. G., CERATTI, J. A. P., SOARES, J. B. (2008). Pavimento asfáltica: formação básica para engenheiros. **PATROBRAS: ABEDA**. Rio de Janeiro.

BIANCHI, F. R., BRITO, I. R., CASTRO V. A. **Estudo comparativo entre pavimento rígido e flexível**. IBRACON 50º CBC, Associação de Ensino Superior Unificado do Centro Leste, 2008.

BOTARO, V.R.; CASTRO, S.R.; JUNIOR, F.R.; CERANTOLA, A.E.; **Obtenção e caracterização de blendas de asfalto CAP 20, modificado com poliestireno reciclado, resíduos de pneu e lignina organossolve**. Rem: Revista Escola de Minas. V.59 n.1. janeiro/março 2006.

CASTRO, S.R.; BOTARO, V.R. **Modificação de misturas asfálticas: empregos de polímeros recicláveis e melhoria das condições de pavimentação das estradas de Minas Gerais**. DEQUI-UFOP, 2004. (Relatório de Iniciação Científica).

CNT – **Confederação Nacional dos Transportes**. Pesquisa Rodoviária, 2007.

DNIT (2006). **DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTE**. Plano Nacional de Viação – PNV.

FELIX, G.B (2009) - **Dissertação_asfalto_polimeros3**. Universidade Federal do Rio grande do Norte, Centro de tecnologia do Departamento de Engenharia Química.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila. GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GONZÁLES, O.; MUÑOZ M.E.; SANTAMARÍA, A.; GARCIA-MORALEZ, M.; NAVARRO, F.J.; Partal,P.; **Rheology and Stability of Bitumen / EVA blends**; European Polymer Journal;p.2365-2372; 2004

LEITE, L. F. M.;**Estudo de Preparo e Caracterização de Asfaltos Modificados por Polímeros**; Tese de Doutorado, UFRJ; Rio de Janeiro – RJ, 1999.

NASCIMENTO, H.R.C., Reis, R.M.M.; **Camada porosa de atrito com utilização de asfalto modificado com polímero.**: Ipiranga Asfalto S.A., São Paulo-SP, Abril/1999.

NEGRÃO, D. P.; **Estudo de Asfaltos Modificados por Polímeros do Ripo RET para Aplicação em Pavimentos**; Dissertação de Mestrado; USP; São Paulo – SP, 2006.

ODA, S.; FERNANDES JÚNIOR, J.L.; **Borracha de Pneus como Modificador de Cimentos Asfálticos para Uso em Obras de Pavimentação**; Acta Scientiarum, V.23, nº. 6, 2001.

PINTO, S.; PREUSSLER, E. S. (2002). **Pavimentação Rodoviária: Conceitos fundamentais sobre Pavimentos Flexíveis**. 2º edição, Copiarte, Rio de Janeiro.

POLIT, D. F.; BECK, C. T.; HUNGLER, B. P. **Fundamentos de pesquisa: métodos, avaliação e utilização**. Trad. de Ana Thorell. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

REIS, R.M.M & SANTOS, N.R.E.; **Tecnologia de Ponta para Prolongar a Vida dos Pavimentos Asfálticos**. 3ª edição; Ipiranga Asfalto S.A.; São Paulo – SP, 1999.

SAMPAIO, E.A.N. **Análise da viabilidade técnica do uso de borracha de pneus inservíveis como modificadores de asfaltos produzidos por refinarias do Nordeste – Unifacs**, Salvador (2005).

SPECHT, Luciano Pivoto; **Avaliação de Misturas Asfálticas com Incorporação de Borracha Reciclada de Pneus**, Tese de Doutorado; UFRS; Porto Alegre - RS, 2004.

SPECHT, L. P. **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus. Porto Alegre**, Tese de Doutorado. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 278p. 2004.

SPECHT, Luciano Pivoto; Ceratti, Jorge Augusto Pereira; Paludo, Ilda; **Estudo Laboratorial da Adesividade e do Desgaste de Misturas Asfálticas com Borracha**; XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes; Florianópolis - SC, 2004.

STASTNA, J.; ZANZOTTO, L.; VACIN, O.J. **Viscosity function in polymermodified asphalts**. Journal of Colloid and Interface Science, p. 200-207. 2002.

ZANZOTTO, L.; KENNEPOHL, G.J.; **Development of rubber and asphalt binders by depolymerization and devulcanization of scrap tires in asphalt**. Transportation Research Record 1530, p. 51-58. 1996.

JIN, H.; GAO, G.; ZHANG, YO.; ZHANG, YI.; SUN, K.; FAN, YON. **Improved properties of polystyrene-modified asphalt through dynamic vulcanization**. Polymer testing, p. 633-640. 2001.