

Cleber Galvão Novo Júnior

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

Sidnei Luiz Silva Lima de Azevedo

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

Bruno Freitas de Azevedo

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

Marcos Aurélio Pinto Marzano Júnior

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

RESUMO

O asfalto pode ser feito por usinagem a quente ou pelo processo pré-misturado a frio, que utiliza agregado graúdo, agregado miúdo e emulsão asfáltica. Esta pesquisa visa abordar a incorporação da borracha de pneu inservível nas misturas asfálticas. Além de apresentar um avanço tecnológico na melhoria dos pavimentos traz um rótulo de construção sustentável, reduzindo esse passivo ambiental, já que se utiliza de restos de pneus que em muitos casos seriam descartados de forma inadequada na natureza. O presente estudo tem por objetivo analisar o desempenho do asfalto-borracha, seus benefícios e fazer um comparativo com os pavimentos comuns, sem adição da borracha. Para isso, atendendo o que preconiza as normas brasileiras a respeito do assunto, os ensaios realizados baseiam-se na adição de borracha pré-misturada a frio (PMF), adicionando por volta de 5% de borracha na amostra em relação à sua massa total. Características e comportamentos puderam ser observados com os resultados dos ensaios, como percentual de vazios, densidade aparente e estabilidade Marshall. Dessa forma, juntando todo referencial teórico, o que já foi conseguido em trabalhos anteriores, os resultados obtidos no presente trabalho e o que ainda é possível descobrir sobre o tema, conclui-se que os benefícios da adição de borracha nas pavimentações asfálticas são consideráveis se realizado nas melhores condições. No presente estudo observou-se que a porcentagem de vazios dos corpos de prova com adição de borracha foi menor do que os traços de referência, a densidade aparente foi menor e os valores de estabilidade Marshall não foram os desejados, algumas vertentes podem ter influenciado nos resultados de estabilidade, como a adaptação da base para rompimento do corpo de prova, já que a altura da prensa era grande e devido ao tamanho das amostras não seria possível fazer o rompimento.

Palavras-chave: Asfalto-borracha; Sustentabilidade; Pneus; Tecnologia

INTRODUÇÃO

Durante toda a história, a construção civil tem efeito direto na vida dos seres humanos e do planeta como um todo, modificando a natureza, consumindo tanto recursos renováveis como não renováveis, gerando resíduos e emitindo gases na atmosfera, o que traz impactos ao meio ambiente e conseqüentemente às pessoas. No decorrer dos anos os materiais empregados nas pavimentações vêm evoluindo muito, com o intuito de se buscar melhores soluções aos problemas comuns encontrados nesse tipo de obra e uma melhor adequação às necessidades atuais, podemos citar/destacar dentre elas: durabilidade maior, resistência e redução de custos. (DI GIULIO, 2007).

Na maioria dos casos, após um período de tempo, é observado nas rodovias inúmeras patologias na sua superfície, trazendo um desconforto para quem a utiliza e colocando em risco a vida das pessoas, além de aumentar os custos com manutenções. A maioria das patologias que aparecem nos pavimentos são as trincas por fadiga e as famosas trilhas de rodas. Um dos motivos para a acentuada deformação permanente nas trilhas de roda é o fato de a resistência ao cisalhamento das misturas asfálticas ser baixa (NEVES FILHO, 2004).

O rápido avanço nas tecnologias dos meios de transportes faz com que o desenvolvimento das rodovias tenha um papel ainda maior, sabendo que esse sistema fomenta o crescimento econômico e favorece as atividades sociais. Impactos adversos acontecem quando planejamento, projeto, entres outros, não são realizados de maneira correta. Para minimizar isso, o estudo da engenharia precisa expandir as atenções nas questões ambientais e socioeconômicos, além de acesso de um ponto ao outro (BALAGUER, 2012).

Estradas de qualidade são de extrema importância. Responsável por movimentar a maior parte dos passageiros e mercadorias, a malha rodoviária pavimentada corresponde a apenas 12,4% e a grande maioria é de pista simples, além disso, as condições que se encontram apresentam algum tipo de problema. A quantidade de veículos aumentou 63,6% entre 2009 a 2017, chegando a aproximadamente 100 milhões em circulação (CNT, 2018).

A quantidade de veículos vem crescendo bastante, desse modo também há necessidade de fabricar pavimentos cada vez mais resistentes para que os usuários tenham mais conforto, economia e segurança em seus trajetos (ODA, 2000).

A vida útil dos pavimentos pode ser reduzida drasticamente quando seus procedimentos de execução não realizados adequadamente, como má compactação das camadas, drenagem inadequada e excesso de peso (BALAGUER, 2012).

Pavimentos podem ser nomeados de duas formas, em flexíveis, onde seu revestimento se constitui com ligantes asfálticos e agregados e em rígidos, onde se usam placas de cimento Portland, ambos devem resistir às tensões devido a ações do tráfego (BERNUCCI et al. 2008).

Os pavimentos flexíveis trazem aos usuários mais conforto, pois não precisam de juntas de dilatação e tem custo inferior em sua construção quando comparado com os rígidos. Dessa forma, a utilização de ligantes asfálticos tem sido indispensável nas obras de pavimentação (ODA, 2000).

Alternativas estão sendo estudadas para melhorar esses revestimentos, a inserção da borracha de pneus usados é uma delas, para que defeitos como trilhas de rodas e trincas por fadiga possam ser reduzidos ou retardados (ODA, 2000).

Outro fator positivo quando se pensa no uso da borracha nas pavimentações está diretamente ligado ao conceito de sustentabilidade, já que para tal é feita a reutilização de pneus descartados, resíduo poluente e que muitas vezes não tem uma destinação correta, sendo depositado na natureza, a céu aberto, acarretando sérios problemas ambientais, sociais, econômicos e custos indiretos com gastos na saúde.

O Ministério do meio Ambiente diz que o pneu possui um tempo muito longo para se degradar. O uso deste material como agregado na fabricação de asfalto pode ajudar na redução do impacto ambiental pelo grande descarte que existe dele.

A produção de pneu anual é enorme e após o seu uso ele precisa ser descartado corretamente para que não se torne um problema ambiental. A resolução número 416 de 2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) diz que os fabricantes de pneus e os importadores são obrigados a coletar e dar destinação adequada aos pneus inservíveis existentes no território brasileiro, uma maneira bem sustentável é o seu uso em pavimentos asfálticos na fabricação de asfalto-borracha.

Com a grande quantidade de resíduos oriundos da indústria da borracha e do volume descartado de pneumáticos vem aumentando os incentivos em reciclagem desses materiais até mesmo pelo seu tempo de deterioração. Em países onde o transporte rodoviário prevalece, pesquisadores tem visto como possibilidade atrativa o uso de pneus inservíveis adicionados em pavimentos (SPECHT, 2004).

A Reciclanip, que é a entidade gestora do sistema de Logística Reversa de pneus inservíveis divulgou que a destinação de pneus de forma ambientalmente correta foi cumprida em 100% no ano de 2019, o resultado consta no Relatório de Pneumáticos do IBAMA.

O asfalto convencional já tem como propriedade resistir às tensões sofridas devido ao carregamento dos veículos, mas com o tempo ele pode se deteriorar. Pesquisadores afirmam que os revestimentos asfálticos misturados com polímeros tentem a ficar com uma qualidade melhor, a borracha do pneu na fabricação de asfalto já é realizada há vários anos e os resultados são satisfatórios (SPECHT, 2004).

Devido ao fenômeno de êxodo rural, a população das grandes metrópoles vem crescendo de forma exponencial e desordenada, junto com esse crescimento, aumenta-se a necessidade de construção de vias de tráfego e melhoramento das já existentes, uma vez que é direito do ser humano o poder de se locomover, de ir e vir e fazer valer desse direito de forma mais segura e confortável possível.

As estradas brasileiras sofrem de grandes problemas, seja ele por erro de execução, uso de materiais com desempenho questionável, além da falta de manutenção, sendo estes responsáveis por uma parcela significativa dos acidentes ocorridos todos os dias no país, tirando a vida de diversas pessoas e deixando famílias inteiras desoladas.

Desta forma, fica evidente a tamanha relevância do tema e a necessidade de se dar uma atenção maior para o assunto, seja por mais incentivos fiscais do governo assim como pelo uso de materiais de melhor qualidade pelas empresas responsáveis pela execução das obras, para que se aumente a vida útil das pavimentações, melhorando o conforto de quem usufrui da via e dando mais segurança para os mesmos.

Além de retornos técnicos como aumento da vida útil, pavimento mais resistente aos esforços, flexibilidade elevada, entre outros, o uso de pneus inutilizáveis como agregado para a pavimentação asfáltica traz outros benefícios, como a redução dos impactos ambientais e sanitários.

A quantidade de pneus que são fabricados não corresponde os que são coletados e descartados de maneira correta, dessa forma encontramos em lixões, quintais de casas e beiras de rios. Como a decomposição do pneu é lenta, um dos graves problemas que pode acarretar é se tornar criadouros para o mosquito *Aedes Aegypti*, transmissor da Dengue. Além disso, ao serem queimados são altamente poluentes, liberando monóxido de carbono e dióxido de enxofre.

Transformar a borracha de pneu em asfalto pode mudar esse cenário, como é um material bem resistente, possui elasticidade, durabilidade, torna-se um item bem interessante para que se tenha uma pavimentação de maior qualidade. Assim, é possível

aumentar a sua vida útil, visando em um custo inferior com manutenções frequentes e trazendo um ganho ambiental enorme.

No presente trabalho tem-se como objetivo analisar o rendimento técnico do asfalto pré-misturado a frio com a incorporação de borracha triturada.

A borracha utilizada será aproveitada de pneus usados, trazendo junto de si o conceito de sustentabilidade, já que muitos desses pneus seriam descartados de forma inadequada na natureza, prejudicando diretamente o meio ambiente e de forma indireta a saúde das pessoas.

Para tanto, busca-se realizar uma comparação entre amostras com e sem a borracha. Essa verificação será feita por meio de ensaios de desempenho, tais como: estabilidade Marshall, índice de vazios e densidade aparente, além de ensaios para analisar algumas variáveis como: granulometria da borracha e do agregado, teor de ligante e percentual de borracha utilizado. Serão executados testes com amostras de asfalto comum, sem nenhuma adição, para poder com mais clareza, comparar o desempenho de cada um.

REFERENCIAL TEÓRICO

Comparado a modais como o ferroviário e o aquaviário, por exemplo, no Brasil, o principal meio de se deslocar são as estradas, seja para viajar, ir trabalhar ou até mesmo para transportar alimentos, combustíveis, entre outros. É notória a importância das vias e também a tamanha dependência que temos delas, elas tem impacto direto na vida da população e na economia do país, isso ficou evidente quando recentemente houve a famosa greve dos caminhoneiros, em que todos os estados de Norte a Sul do país pararam em sua totalidade praticamente.

No entanto, mesmo com uma enorme relevância, as rodovias brasileiras não possuem o devido cuidado e atenção que merecem dos governos. São inúmeros os pavimentos que estão em condições precárias, muitos definitivamente abandonados, desde pequenos buracos a problemas muito maiores, prejudicando o conforto de quem usa a rodovia e o pior, colocando a vida das pessoas em risco.

O modal ferroviário responde por 21 %, o aquaviário por 14 %, o dutoviário por 5 % e o aéreo por menos de 1 %, aproximadamente. O modal de transporte rodoviário se encontra em grande parte em estado ineficiente, sendo que os investimentos nas rodovias deveriam ser prioritários neste momento, não apenas por ser o modal mais utilizado, mas também por exigir um investimento de menor porte quando comparado aos outros tipos de modais do país. No Brasil, a malha rodoviária está em condições insatisfatórias aos usuários tanto quanto ao seu desempenho, também quanto à segurança e à economia (GEIPOT, 2001).

Pavimento pode ser definido como base de diversas elevações, onde sua construção é feita acima da superfície final de terraplenagem, com a finalidade de suportar os esforços resultantes do tráfego de veículos e reações climáticas, destinando também melhores condições aos usuários (BERNUCCI et al, 2008).

Pavimentar uma via de circulação de veículos é obra civil que enseja, antes de tudo, a melhoria operacional para o tráfego, na medida em que é criada uma superfície mais regular (garantia de melhor conforto no deslocamento do veículo), uma superfície mais aderente (garantia de mais segurança em condições de pista úmida ou molhada), uma superfície menos ruidosa diante da ação dinâmica dos pneumáticos, (garantia de melhor conforto ambiental em vias urbanas e rurais), seja qual for a melhoria física oferecida (BALBO, 2007, p.15).

O pavimento precisa resistir às agressões sofridas com o seu desgaste oriunda do tráfego e do meio ambiente, de modo que suas propriedades mecânicas e físicas ofereçam condições e desempenho favoráveis às múltiplas camadas que o constitui (SPECHT, 2004).

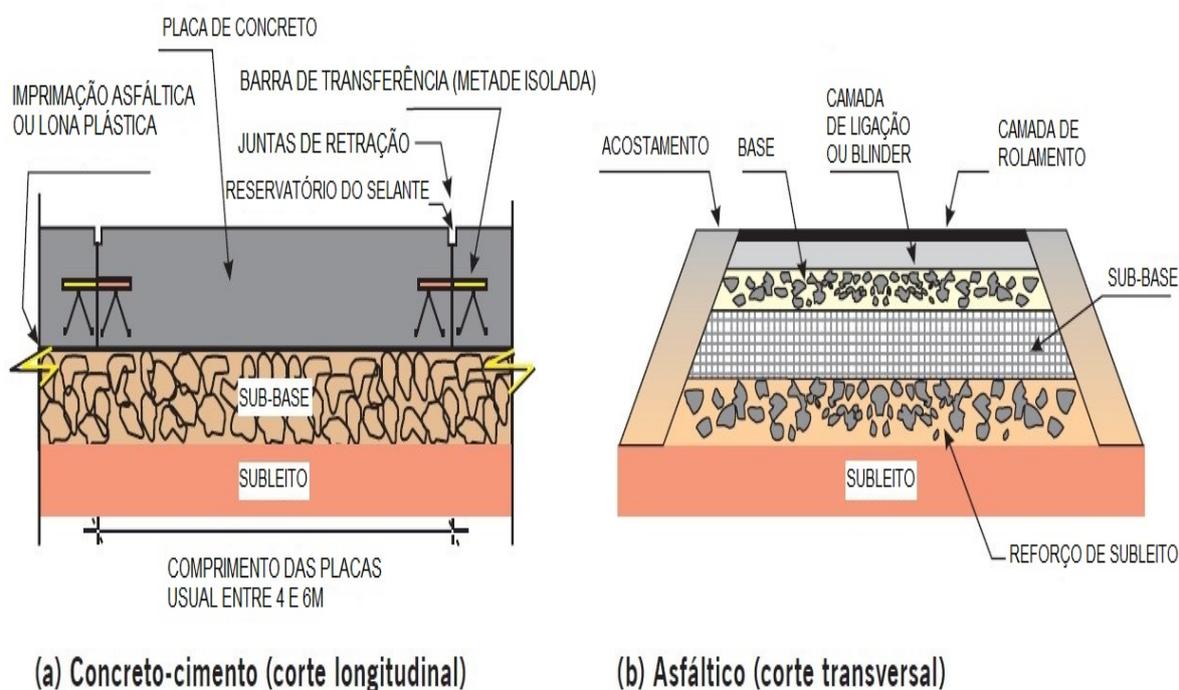
Segundo Bernucci et al. (2008) os revestimentos rígidos usam uma placa de concreto de cimento Portland, onde precisam resistir à flexão e as camadas subjacentes, pois a espessura da placa é fixada.

Os pavimentos podem ser classificados como rígidos e flexíveis, onde atualmente são chamados também de pavimentos de concreto Portland ou concreto-cimento e pavimentos asfálticos, onde indica qual é o tipo de revestimento dele, como visto na Figura 01.

a) Os pavimentos rígidos absorvem em quase toda sua totalidade as tensões provenientes dos carregamentos aplicados na via, isso se dá devido ao fato de os mesmos terem uma elevada rigidez.

b) Os pavimentos flexíveis sofrem uma deformação elástica por conta dos carregamentos existentes, nesse tipo de revestimento as tensões são distribuídas de forma quase que igual às camadas inferiores (base, sub-base, reforço de subleito e subleito).

Figura 01 – Estrutura dos pavimentos rígido e flexível.



Fonte: Adaptado Pavimentação Asfáltica (2008, p 10)

A NBR -7207 da ABNT define as camadas dos pavimentos da seguinte maneira:

- a) Subleito: terreno de fundação do pavimento ou do revestimento;
- b) Sub-base: camada corretiva do subleito, ou complementar à base, quando por qualquer circunstância não seja aconselhável construir o pavimento diretamente sobre o leito obtido pela terraplanagem;
- c) Base: camada destinada a resistir e distribuir esforços verticais oriundos dos veículos (ação de rolamento) sobre o qual se constrói um revestimento.

O revestimento é a camada superficial que recebe diretamente os esforços dos veículos e das pessoas que trafegam sobre a via, podem ser utilizados diferentes tipos de materiais no revestimento, o presente trabalho usa como referência de estudo o concreto asfáltico.

METODOLOGIA

A metodologia usada neste trabalho foi realizada em duas partes, sendo a primeira por meio de revisão de literatura, pesquisas bibliográficas em teses de mestrado e doutorado, artigos científicos e conteúdos abordados nos períodos acadêmicos, sendo possível tomar conhecimento das normas, resoluções disponíveis e algumas questões que antes eram desconhecidas. Comparando as evidências científicas, tendo uma visão mais aprofundada e levantamento de dados com a finalidade de promover ou intensificar o uso desta tecnologia nas obras de pavimentação.

Tendo a visão de sustentabilidade e conscientização, foi feito um estudo literário sobre os efeitos causados pelos pneus inservíveis nos meios físico, biótico e socioeconômico.

Na segunda parte foi possível fazer uma análise geral sobre o desempenho do asfalto com borracha por meio de experimentos em laboratório, moldagem de corpos de provas, utilização de materiais que foram estudados e observação dos resultados obtidos por eles. Essa parte dos ensaios foi realizada no laboratório TECON da Universidade Estácio de Sá, campus Petrópolis.

ENSAIOS LABORATORIAIS

Para análise das propriedades de engenharia e quantificar a decorrência dos principais fatores que podem aparecer sobre o desempenho de um material, neste caso o asfalto-borracha, é realizado uma programação de ensaios laboratoriais (ODA, 2000).

ENSAIOS REALIZADOS POR ALGUNS AUTORES E SEUS RESULTADOS

Silva (2011) em seu trabalho realizou os ensaios de Cântabro que observa o desgaste do agregado nas etapas de usinagem, construção e vida de serviço no tambor Abrasão Los Angeles; dosagem Marshall para verificar as condições de vazios, estabilidade e fluência; comportamento mecânico para avaliar o desempenho em campo; resistência à tração e dano por umidade induzida que mensura problemas inesperados de aderência.

Os resultados obtidos pelos ensaios mostraram que o asfalto modificado por polímero teve um comportamento superior ao convencional, como mostra o Quadro 1.

Quadro 1 – Resumo de resultados dos ensaios de laboratório

Tipo de emulsão	Peso Específico Aparente	Volumes de Vazios	Cântabro	Resistência à Tração	Resistência ao dano por umidade induzida
	KN/m ³	%	%	Mpa	%
Emulsão Polímero	19,5	22,0	17,8	0,355	71,8
Emulsão Convencional	19,3	22,7	20,2	0,337	64,0

Fonte: Adaptado Silva (2011)

Em seu trabalho de mestrado, Dias (2005) realizou alguns experimentos para fazer um comparativo entre o asfalto comum (sem adição de borracha) e o asfalto com adição de borracha, utilizando aplicações de cargas de tráfego em escalas reais. O trabalho teve como foco o processo via seca, para tal, foi executado em uma via urbana, um trecho utilizando o asfalto comum e outro trecho com o asfalto modificado, tendo a incorporação da borracha como diferencial. O trecho em questão fica na Rua Dr. Murtinho, localizada no Município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. A pesquisa teve como foco analisar diversos pontos, tais como: variáveis de projetos, os processos executivos, as propriedades funcionais das camadas do pavimento, ensaios de laboratório e de campo em função da execução dos dois trechos experimentais.

A metodologia utilizada foi a de Marshall, para realizar os experimentos e assim ter um embasamento teórico ainda rico e consistente em seu trabalho, Dias (2005) seguiu as seguintes etapas:

- a) Projetos: geométrico, de drenagem superficial, de rede de água e de esgoto;
- b) Contagem de tráfego;
- c) Caracterização do subleito;
- d) Definição da estrutura do pavimento;
- e) Avaliação dos materiais disponíveis e caracterização dos mesmos;
- f) Elaboração dos projetos da mistura asfáltica convencional e com incorporação de borracha reciclada de pneus;
- g) Implantação da infraestrutura no local de rede de drenagem superficial, rede de água e esgoto;
- h) Execução de terraplanagem, regularização do subleito, execução da base de brita graduada, colocação dos meios-fios, imprimação e ensaios de controle tecnológico;
- i) Calibração das usinas: usina tipo gravimétrica para o concreto asfáltico convencional e usina tipo volumétrica para o concreto asfáltico com incorporação de borracha reciclada de pneus;
- j) Execução dos revestimentos com concreto asfáltico convencional e com incorporação de borracha reciclada de pneus;
- k) Ensaios de campo e de laboratório;
- l) Análise dos resultados.

Dias (2005) fez os ensaios de laboratório a partir da metodologia Marshall, para determinar o quanto de ligante seria usado nas misturas betuminosas, atribuídos às obras de pavimentação. Obtendo estabilidade e fluência e o volume de vazios dos corpos de prova ensaiados. Neste trabalho foram feitos corpos de prova moldados e extraídos da execução do pavimento.

O Quadro 2 mostra o comparativo e de fato pode-se ver que o asfalto com borracha extraído obteve resultado satisfatório no volume de vazios (VV), o convencional moldado ficou fora da especificação do Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (DAER), já a relação de betumes vazios (RBV) só o asfalto convencional moldado ficou dentro da especificação, ficando abaixo pode prejudicar a sua durabilidade.

Quadro 2 – Propriedades do concreto asfáltico convencional e com incorporação de borracha reciclada de

	Dap	pneu VV	VAM	RBV	Teor de	GC
Variáveis	(kN/m ³)	(%)	(%)	(%)	Bet (%)	(%)

Especificação		-	3 a 5	>16	75 a 82	-	>97
	Convencional	2,56	4,00	15,00	74,00	4,35	-
Projeto	C/Borracha	2,55	4,00	17,70	78,00	5,45	-
Convencional	Moldados	2,63	1,56	14,47	89,29	5,10	102,67
	Extraídos	2,54	4,85	17,43	72,71	5,10	99,24
C/ Borracha	Moldados	2,52	5,6	18,93	70,44	5,35	98,85
	Extraídos	2,47	7,35	20,20	63,62	5,35	97,01

Fonte: Adaptado Dias (2005)

Os resultados foram satisfatórios em alguns pontos, mas nem tanto em outros, mostrando a necessidade de se realizar mais estudos e se aprofundar ainda mais no método via seca, já que comparado ao processo via úmida, ainda é pouco conhecido e aplicado no Brasil e no mundo.

PROGRAMA EXPERIMENTAL

Os ensaios laboratoriais preliminares foram realizados para fazer uma comparação entre uma mistura convencional, sem a adição de borracha triturada e uma mistura asfáltica com adição de pneu. Todos os ensaios realizados seguiram o que preconiza as normas do DNER – Departamento Nacional de Estradas e Rodagem publicado pelo DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.

ENSAIOS

O programa experimental desta pesquisa foi realizado no TECON, laboratório da Universidade Estácio de Sá, Campos Petrópolis, incluindo os equipamentos utilizados, bem como os materiais; areia, borracha triturada de pneus, brita graduada e emulsão asfáltica. Os experimentos foram divididos em etapas basicamente sendo estas: ensaios granulométricos dos agregados, análise termogravimétrica que serve para observar as mudanças no peso da amostra de borracha devido às transformações físicas e/ou químicas em função da temperatura ou intervalo de tempo, montagem de corpos de provas do asfalto com a incorporação de borracha e posteriormente o rompimento dos mesmos.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Os ensaios de granulometria foram realizados de acordo com a norma DNER ME 83/98 – Agregados – Análise Granulométrica, que determina os procedimentos feitos por peneiramento para analisar a granulometria dos agregados.

O peneiramento pode ser mecânico ou manual, no presente estudo foi feito a análise granulométrica através do mecânico. A norma estabelece algumas exigências para o ensaio como as peneiras estarem previamente limpas para posteriormente serem colocadas no agitador, formando um conjunto único de peneiras, dispostos de forma decrescente, de cima até a base. Após o agitador ser desligado é observada e anotada a quantidade de material que ficou retido em cada peneira e esse valor é somado. O somatório de todas as massas retidas não pode variar mais do que um limite de 0,3% da amostra introduzida inicialmente.

Nos ensaios granulométricos, para os três tipos de agregados, foram utilizadas 5 peneiras com malhas diferentes, como visto na Figura 02 para que no final se obtivesse uma granulometria mais uniforme. As aberturas das peneiras utilizadas foram dispostas de forma decrescente, com a abertura das malhas respectivamente de:

- Malha 1", abertura de 25 mm;
- Malha 3/4", abertura de 19 mm;
- Malha 3/8", abertura de 9,5 mm;
- Malha 0,08", abertura de 2,0 mm;
- Malha 2", abertura de 0,075 mm;
- Fundo.

Figura 02– Peneiras utilizadas para ensaio granulométrico



Fonte: Autores

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram brita zero, areia e borracha triturada. Todos eles cedidos pela Universidade Estácio de Sá – Petrópolis. Já o ligante asfáltico RR – 1C foi cedido pela Companhia Municipal de Desenvolvimento de Petrópolis (COMDEP).

EMULSÃO ASFÁLTICA

A emulsão asfáltica utilizada foi a RR 1 – C, como mostrado na Figura 03, sendo ela de ruptura rápida. A numeração corresponde ao teor de resíduo seco da emulsão e a letra C indica origem catiônica. Suas características são descritas na norma DNIT 165/2013 – EM.

Figura 03 - Emulsão asfáltica RR 1 – C



(A)

(B)

Fonte: Autores

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA BORRACHA

Neste trabalho foi utilizada a borracha triturada, proveniente de pneus usados, também cedidas pelo próprio laboratório da faculdade. As amostras trituradas apresentavam uma dimensão não uniformes, conforme a Figura 04, por isso foi realizado o peneiramento com aberturas de peneiras diferentes para conseguir obter uma amostra mais uniforme para assim poder testar os efeitos do percentual e granulometria das mesmas depois de incorporadas no asfalto.

Figura 04 – Amostra de borracha triturada



Fonte: Autores

DOSAGEM DE MARSHALL

O método de dosagem que foi mais usado mundialmente é o de Marshall, ele faz por impacto a compactação da mistura e no Brasil ele ainda é referência sendo o mais utilizado (BERNUCCI et al, 2008).

Este método foi desenvolvido na década de 30 por Bruce G. Marshall, integrante do Departamento de Transporte do Estado do Mississippi, localizado nos Estados Unidos para determinar a quantidade de ligante que deveria ser utilizada na composição de misturas betuminosas, destinadas a serviços de pavimentação rodoviária. Com a Metodologia

Marshall é possível dimensionar uma mistura asfáltica por meio de uma análise de estabilidade e densidade/vazios. É possível obter também a massa específica aparente, a relação betume- vazios e os vazios e os vazios do agregado mineral dos corpos de prova ensaiados.

Esse ensaio considera-se valores admissíveis empíricos para estabilidade e a fluência. A estabilidade pode ser denominada como as misturas que se deformam pouco plasticamente sob ação de cargas. A mistura compactada quando submetida à tensão constante sofre uma deformação e definida como fluência (BERTOLLO, 2002).

O método realizado neste trabalho foi seguido pela norma do DNIT – EM 153/2013 Pavimentação – Pré-misturado a frio.

DENSIDADE APARENTE

A norma DNER – ME 117/94 para Mistura Betuminosa – Determinação da densidade aparente, determina os procedimentos a serem adotados para a determinação da densidade aparente por meio de corpos de prova preparados em laboratório ou obtidos na pista. Além de prescrever a aparelhagem e os materiais requeridos estabelecendo as condições para a obtenção dos resultados.

Esta norma define densidade aparente como sendo a relação entre o peso da mistura ao ar e a diferença entre o peso ao ar e o peso da mistura em suspensão na água.

ESTABILIDADE

O modo pelo qual se determina a estabilidade de mistura betuminosa usinada a frio com emulsão asfáltica são fixados pela norma DNER ME 107/94 – Mistura betuminosa a frio, com emulsão asfáltica. Para determinar esses índices é utilizado o equipamento Marshall.

Após a determinação da densidade aparente os corpos de prova são colocados em estufa com temperatura a 40° C por um período de duas horas para posteriormente serem levados à prensa para ruptura.

CORPOS DE PROVA

A confecção dos corpos de prova foi realizada seguindo o que diz a norma do DNER – ME 107/94 que fixa o modo pelo qual se determina a estabilidade de misturas a frio com emulsão asfáltica catiônica e diâmetro do agregado máximo seja igual ou inferior a 38,1 mm (1 ½”).

Esta norma preconiza a preparação de no mínimo três corpos de prova para cada dosagem, sabendo a porcentagem em peso que serão misturados, calcula-se a quantidade para cada um com cerca de 1200 g, diâmetro de 101,6 mm e altura de 63,5 mm + 1,3 mm.

A incorporação de borracha triturada nos pavimentos asfálticos varia de 3% a 5% em relação à massa total dos agregados (via seca), de acordo com ODA (2005). Neste trabalho foram utilizados 5% de borracha em cada corpo de prova, foram 4 corpos de provas no total sendo 2 com inserção de borracha triturada e 2 convencionais, sem adição.

No molde, a mistura deverá ser acomodada com quinze golpes vigorosos de espátula ao redor e dez no centro da massa. A compactação se dá por meio de soquete em ambas as faces, o número de golpes deverá ser 50 para simular tráfego normal ou 75 para tráfego pesado de cada face do corpo de prova, para o presente trabalho foi realizado 50 golpes.

Para obter a estabilidade os corpos de prova foram colocados na prensa para rompimento, a Figura 05 mostra a prensa utilizada no ensaio.

Figura 05 – Prensa utilizada para romper os corpos de prova



Fonte: Autores

RESULTADOS OBTIDOS

Os ensaios realizados neste trabalho foram baseados nas normas específicas dos órgãos responsáveis como o DNIT e DNER e etc. Todavia, alguns erros foram notados e resultados inesperados, que somente após se obteve entendimento.

AREIA

No peneiramento da areia foi utilizada uma amostra de 300g, colocada para vibração em um intervalo de 3 minutos. Depois de esgotado o tempo, foi anotado a quantidade que ficou retida em cada peneira. Nas malhas de 25 mm, 19 mm e 9,5 mm, nada ficou retido. A de 2 mm reteve 97g e a de 0.075 mm ficou retido todo restante de 203g, conforme a Tabela 01, as demais tabelas mostram como ficou a disposição granulométrica de cada agregado nas respectivas peneiras utilizadas para fazer o ensaio.

Tabela 01 – Granulometria da Areia

Peneiras (mm)	Massa retida (g)	%Retida	% Retida acumulada	%Passante
25	0	0	0	100
19	0	0	0	100
9,5	0	0	0	100
2	97	32,33	32,33	67,67
0,075	203	67,67	100	0
Total	300	100	132,33	67,67
MF = (% total retida acumulada/100)			MF = 1,32	

Fonte: Autores

Abaixo pode ser visto o resultado da brita zero na Tabela 02. Observa-se que nas peneiras de 25 e 19 milímetros nada ficou retido, somente nas seguintes. A maior

concentração retida foi na peneira de 9,5 milímetros e o tempo de ensaio também foi igual, 3 minutos.

BASE DE BRITA GRADUADA

Tabela 02 – Granulometria da brita

Peneiras (mm)	Massa retida (g)	%Retida	% Retida acumulada	%Passante
25	0	0	0	100
19	0	0	0	100
9,5	53	17,67	17,67	82,33
2	247	82,33	100	0
0,075	0	0	100	0
Total	300	100	217,67	82,33
MF = (% total retida acumulada/100)			MF = 2,18	

Fonte: Autores

BORRACHA

Para finalizar o ensaio granulométrico, foi realizado o peneiramento do último material, a borracha triturada. Neste ensaio, também com duração de 3 minutos e uma amostra de 300g, observou-se que o material não ficou retido nas três primeiras peneiras, 25 mm, 19 mm e 9,5mm respectivamente, tendo o material ficado concentrado nas peneiras de 2 e 0,075 milímetros, como mostra a Tabela 03:

Tabela 03 – Granulometria da borracha

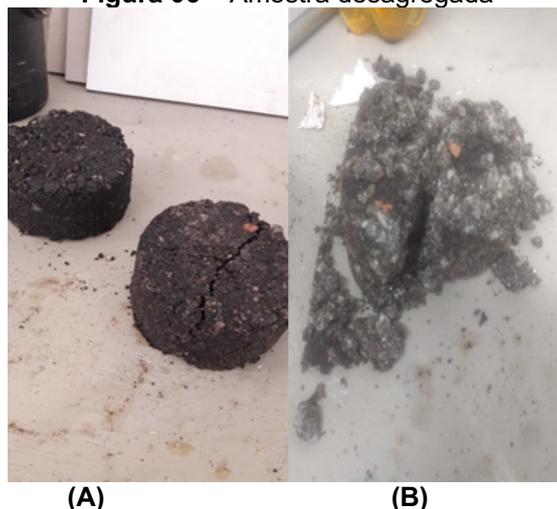
Peneiras (mm)	Massa retida (g)	%Retida	% Retida acumulada	% Passante
25	0	0	0	100
19	0	0	0	100
9,5	0	0	0	100
2	124	41,33	41,33	58,67
0,075	176	58,67	100	0
Total	300	100	141,33	58,67
MF = (% total retida acumulada/100)			MF = 1,41	

Fonte: Autores

TRAÇO DE REFERÊNCIA

Inicialmente foram moldados 6 corpos-de-prova, sendo 3 deles com traço de referência (sem adição de borracha) e os outros 3 com 5% de borracha triturada em relação à sua massa total. No entanto, o primeiro teste não obteve bons resultados possivelmente devido à dosagem desproporcional de areia e pouca emulsão, fazendo com que os mesmos se desagregassem na hora da desforma, como mostrado na Figura 06.

Figura 06 – Amostra desagregada



Fonte: Autores

Posteriormente foram confeccionadas mais 4 amostras, onde foi alterada a dosagem, desta vez, a distribuição dos agregados foi realizada baseada como é feito pela prefeitura de Petrópolis – RJ, que é a cidade usada como referência para este estudo. Atendendo também os limites da norma DNIT 153/2010 – ES, a somatória percentual desses materiais se enquadra na faixa (D), a Tabela 4 mostra a composição do traço de referência.

Desta forma, o corpo de prova ficou da maneira desejava inicialmente, como representado na Figura 04, a distribuição dos agregados ficou disposta da seguinte forma:

- 1) Traço de referência (sem adição de borracha)
 - 68 % de brita 0;
 - 22 % de areia;
 - 10 % de emulsão.

Tabela 04 – Composição dos agregados do traço de referência

PENEIRAS		MATERIAIS				GRADUAÇÃO/FAIXA: D		
mm	Pol	Brita %		Areia %	Σ %	Min %	Max %	
25	1	100	68	100	22	90	–	–
19	3/4	100	68	100	22	90	100	100
9,5	3/8	82,83	56	100	22	78	45	80
2,0	n° 10	0	0	67,67	15	15	15	30
0,075	n° 200	0	0	0	0	0	0	8

Fonte: Autores

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 05, verifica-se que os materiais também se encaixam na faixa (D). A distribuição da mistura ficou da seguinte forma:

- 2) Traço com adição de 5% de borracha
 - 63 % de brita 0;
 - 22 % de areia;
 - 10 % de emulsão;
 - 5 % de borracha triturada.

Tabela 05 – Composição dos agregados com 5% de borracha

PENEIRAS		MATERIAIS					GRADUAÇÃO/FAIXA: D			
mm	Pol	Brita %	Areia %	Borracha %	Σ %	Min %	Max %			
25	1	100	68	100	22	100	5	95	–	–
19	¾	100	68	100	22	100	5	95	100	100
9,5	3/8	82,83	56	100	22	100	5	83	45	80
2	n° 10	0	0	67,67	15	58,67	3	18	15	30
0,075	n° 200	0	0	0	0	0	0	0	0	8

Fonte: Autores

Figura 2 – 2° Amostra realizada



Fonte: Autores

DENSIDADE APARENTE

Para obter os dados do corpo de prova e assim conseguir obter a densidade aparente de cada um, mediram-se as dimensões dos mesmos, em seguida foi realizada a pesagem seca (ao ar) e a pesagem com o corpo de prova imerso na água (pesagem hidrostática), Figura 08.

Figura 08 – Corpo de prova imerso



Fonte: Autores

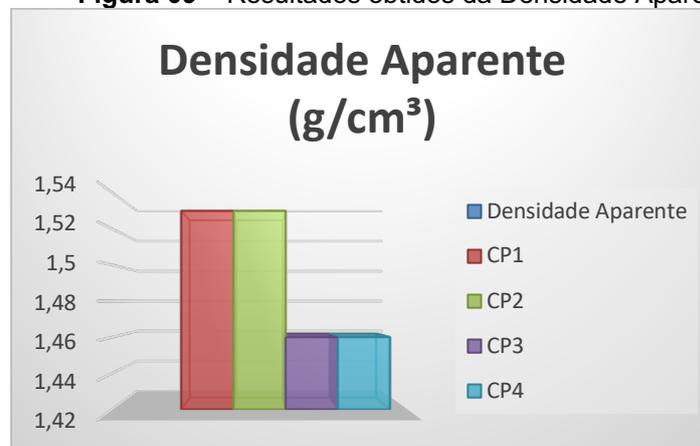
De acordo com os resultados apresentados na Tabela 06, é observada a média entre os dois tipos de traços.

Tabela 06 – Características dos corpos de prova

CORPOS DE PROVA		CP 1	CP 2	CP 3	CP 4
DIMENSÕES CM	SEM BORRACHA	7,25	7,18		
	COM 5% DE BORRACHA			7,15	7,13
PESO (G)	SEM BORRACHA	1080	1040		
	COM 5% DE BORRACHA			1120	1130
PESO IMERSO (G)	SEM BORRACHA	374	361		
	COM 5% DE BORRACHA			351	358
DENSIDADE g/cm ³	SEM BORRACHA	1,53	1,53		
	COM 5% DE BORRACHA			1,46	1,46
MÉDIA DENSIDADE APARENTE	SEM BORRACHA	1,53			
	COM 5% DE BORRACHA	1,46			

Fonte: Autores

Observando os resultados obtidos (Figura 09), da densidade aparente em relação aos traços com e sem borracha, nota-se que a densidade aparente é menor à medida que se adiciona a borracha ao traço.

Figura 09 – Resultados obtidos da Densidade Aparente

Fonte: Autores

VOLUME DE VAZIOS

A Figura 10 mostra os resultados obtidos do ensaio de volume de vazios em relação ao traço de referência e o traço com adição de borracha triturada. Pode-se observar que as amostras CP3 e CP4, ambas com adição de borracha, apresentam os melhores resultados, com um volume de vazios menor comparado às amostras feitas com traço de referência (sem adição de borracha). A amostra que obteve o melhor resultado foi a CP4, com volume de vazios de 32,60%. No entanto, as porcentagens encontradas não ficaram dentro do que é especificado pela norma, que diz que o ideal é um valor que fique entre 5% e 30%.

Figura 10 – Resultado do ensaio de volume de vazios



Fonte: Autores

ESTABILIDADE MARSHALL

O fator de correção da estabilidade é obtido em função da espessura do corpo de prova e que está apresentado na Tabela 07. Dessa forma, os resultados obtidos da estabilidade Marshall já com o fator de correção são apresentados na Tabela 08 e representados na Figura 11.

Tabela 07 – Tabela para correção da estabilidade

ESPESSURA (cm)	FATOR	ESPESSURA (cm)	FATOR	ESPESSURA (cm)	FATOR
5,08	1,46	5,63	1,22	6,43	0,98
5,10	1,45	5,66	1,21	6,47	0,97
5,12	1,44	5,68	1,20	6,51	0,96
5,16	1,43	5,71	1,19	6,56	0,95
5,18	1,42	5,74	1,18	6,61	0,94
5,20	1,41	5,77	1,17	6,67	0,93
5,22	1,40	5,81	1,16	6,71	0,92
5,24	1,39	5,84	1,15	6,76	0,91
5,26	1,38	5,87	1,14	6,79	0,90
5,29	1,37	5,90	1,13	6,83	0,89
5,31	1,36	5,93	1,12	6,88	0,88
5,33	1,35	5,97	1,11	6,93	0,87
5,35	1,34	6,00	1,10	6,98	0,86
5,38	1,33	6,03	1,09	7,03	0,85
5,40	1,32	6,06	1,08	7,08	0,84
5,42	1,31	6,09	1,07	7,14	0,83
5,45	1,30	6,11	1,06	7,22	0,82
5,47	1,29	6,14	1,05	7,30	0,81
5,49	1,28	6,19	1,04	7,35	0,80
5,51	1,27	6,23	1,03	7,40	0,79
5,54	1,26	6,27	1,02	7,46	0,78
5,56	1,25	6,31	1,01	7,54	0,77

5,58	1,24	6,35	1,00	7,62	0,76
5,61	1,23	6,39	0,99	–	–

Fonte: Adaptado (DNER 107/94)

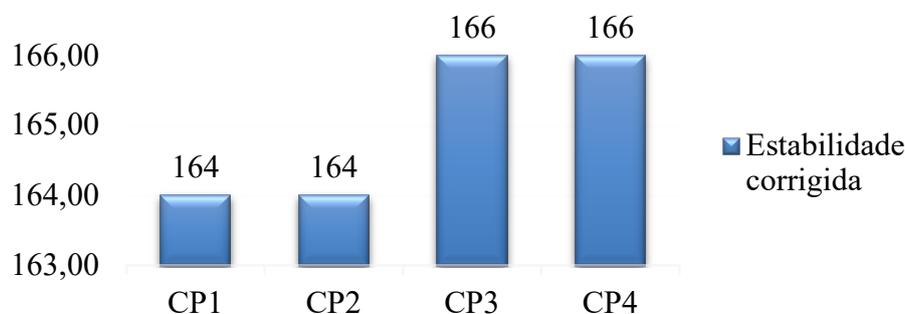
Tabela 08 – Resultado estabilidade

ESTABILIDADE LIDA (Kg)	ESPESSURA (cm)	FATOR	ESTABILIDADE CORRIGIDA (kgf)
CP 1	7,25	0,82	164
CP 2	7,18	0,82	164
CP 3	7,15	0,83	166
CP 4	7,13	0,83	166

Fonte: Autores

Figura 11 – Resultados dos ensaios de estabilidade de acordo com a norma DNER 107/94

Estabilidade corrigida (kgf)



Fonte: Autores

O valor encontrado de estabilidade Marshall não atendeu ao objetivo proposto inicialmente, todos os corpos de prova que foram colocados na prensa para rompimento (Figura 24) obtiveram a mesma carga de ruptura (200kgf), com isso a estabilidade foi igual para todos, no entanto o objetivo proposto era que as amostras com adição de borracha obtivessem uma estabilidade maior do que as amostras convencionais. A pequena diferença que se deu foi devido à norma exigir que se multiplique o valor da estabilidade por um fator de correção, esse fator leva em consideração a altura de cada corpo de prova, como houve uma pequena variação no tamanho dos mesmos, o valor da estabilidade corrigida não foi 100% igual, mas devido à pequena diferença pode-se considerar que foram os mesmos.

Figura 12 – Corpo de prova rompido



Fonte: Autores

Algumas variáveis podem ter influenciado diretamente e contribuído para que o valor da carga de ruptura fosse o mesmo nos quatro casos e conseqüentemente um valor de estabilidade indesejável fosse encontrado, uma dessas variáveis pode ter sido a adaptação da base para colocação do corpo de prova, já que a altura da prensa era muito maior do que o mesmo, sendo seu curso máximo rosqueável de apenas 50 mm, com isso, uma base foi adaptada para que o corpo de prova pudesse ter altura e assim ser rompido. Outra variável que pode ter influenciado foi à ausência de um molde de compressão, no presente caso o rompimento teve de ser feito diretamente nas faces laterais da amostra (ensaio brasileiro).

CONCLUSÃO

O mecanismo em utilizar borracha de pneus triturado na produção de asfalto mostra uma mudança em suas características de forma a melhorar alguns aspectos em que o convencional não possui. Esta pesquisa teve como estudo, experimentalmente, a incorporação de borracha de pneus inservíveis como agregado na mistura pré-misturada a frio que usa a emulsão asfáltica catiônica como ligante. A revisão literária mostrou a importância do tema que está presente tanto no Brasil quanto fora do país.

No experimento inicial, os 6 corpos de prova apresentaram falhas quando retirados do molde, ficando de forma desagregada e sem nenhuma resistência. Dessa forma, com essa amostra não pode ser feito nenhum ensaio, conseqüentemente sendo descartada posteriormente. Uma nova amostra foi feita, ficando estáveis após o desmolde, os corpos de prova que tinham borracha, no período de cura apresentaram uma maior flexibilidade serem tocados.

Apesar de o resultado não ter sido o esperado no que tange a estabilidade Marshall, chegou-se à conclusão que a incorporação de borracha nas pavimentações asfálticas é válida e pode ser muito eficaz se executada nas melhores condições. No presente estudo os ensaios foram feitos dentro das possibilidades do que se tinha no laboratório da Universidade e das limitações que uma pandemia traz para todo o mundo. Assim, algumas adaptações tiveram de ser feitas para que o ensaio em questão pudesse ser realizado, o que pode ter tido uma influência importante no resultado final de estabilidade, fazendo com que o resultado encontrado não fosse o desejado. No entanto, os resultados de outros parâmetros foram satisfatórios, o que mostra fortes indícios dos benefícios técnicos que a

inserção da borracha como agregado nos asfaltos pode trazer à pavimentação, além do ganho ambiental, já que se usa um material que seria descartado de forma incorreta na natureza.

Observando todos os resultados obtidos nos experimentos, a conclusão que se obteve em relação aos mesmos são as seguintes:

- Os traços com inserção de 5% de borracha (CP3 e CP4) apresentaram um menor volume de vazios comparado aos traços de referência (CP1 e CP2);
- No ensaio de estabilidade Marshall os parâmetros encontrados foram os mesmos, fazendo com que o objetivo inicial não fosse alcançado;
- O ensaio de densidade aparente mostrou um que os traços em que se usou 5% de borracha a densidade foi menor do que os traços sem borracha.

Por fim, conclui-se também que para ter números mais consistentes e exatos a respeito do ganho técnico que a borracha traz para as pavimentações, é preciso realizar outros testes que não foram possíveis de serem feitos neste estudo, utilizando equipamentos específicos e assim calcular outros parâmetros que são possíveis de serem encontrados através da dosagem Marshall, ficando como uma possível sugestão para continuidade do estudo.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para dar continuidade ao seguinte trabalho, seguem algumas sugestões para estudos futuros de pré-misturados a frio (PMF):

- Realizar os mesmos ensaios trocando o agregado natural areia pelo pó de pedra;
- Utilizar outro tipo de emulsão que não seja a RR (ruptura rápida), como a RM (ruptura média) ou RL (ruptura lenta);
- Utilizar a mistura feita em trechos de tapa buracos em vias de tráfego leve e monitorar o seu desempenho;
- Execução de ensaios de fluência, Abrasão Los Angeles e índice de forma, dentro das possibilidades do local onde será feito;
- Avaliação de custos de misturas asfálticas com adições de borracha triturada.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Terminologia e classificação de pavimentação. ABNT/NBR 7207. Rio de Janeiro, 1982.

BALAGUER, M. **Avaliação estrutural de um pavimento flexível executado em Asfalto-Borracha, elaborado pelo processo de produção contínua em usina.** 2012. 196 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, 2012.

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

BERNUCCI, L. B. **Pavimentação Asfáltica:** Formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006. 504p.

BERTOLLO, S. A.M. **Avaliação Laboratorial de Misturas Asfálticas e Densas Modificadas com Borracha Reciclada de Pneus**. São Carlos, 2002. 198 f. Tese (Doutorado em engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2002.

BRASQUÍMICA. Emulsões Asfálticas para Pavimentação Disponível em https://www.brasquimica.com.br/informacoes-tecnicas/prg_pub_det.cfm/emulsoes-asfalticas-para-pavimentacao > Acesso em 28 set 2020.

CBPAV – <https://www.cbpav.com.br/ecoinstantpav> > Acesso em 21 Maio de 2020.

Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução CONAMA nº. 258**, de 26 de agosto de 1999. Resoluções. Disponível em: < <https://www.mma.gov.br>. > Acesso em: 20 maio 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual de pavimentação: DNER Rio de Janeiro. 2 ed, 1996, 320p.**

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisas. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Pavimentação**. 3 ed. – Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT 111-2009-EM: **Pavimentação Flexível - Cimento asfáltico modificado por borracha de pneus inservíveis pelo processo via úmida, do tipo “Terminal Blending” - Especificação de material**. Rio de Janeiro: IPR - Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2009. 6 p. Disponível em: < https://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-material-em/dnit111_2009_em.pdf >. Acesso em: 20 Maio 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER – ME 107/94. Mistura betuminosa a frio, com emulsão asfáltica – ensaio Marshall. Norma rodoviária. 9p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT 165/2013. Emulsões asfálticas para pavimentação – Especificação do material. Rio de Janeiro 2013, 5p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Mistura betuminosa a frio, com emulsão asfáltica – ensaio Marshall.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT 153/2010 – ES. Pavimentação asfáltica – Pré-misturado a frio com emulsão catiônica convencional – Especificação de serviço. Rio de Janeiro 2010, 11p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. www.dnit.gov > Acesso em 21 de Maio de 2020

DIAS, M. R. **Utilização de Mistura Asfáltica com Borracha pelo Processo da Via-Seca: Execução de um trecho experimental urbano em Porto Alegre**. 2005. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

DI GIULIO, G. Vantagens ambientais e econômicas no uso de borracha em asfalto – Inovação Uniemp v.3 n.3 – Campinas, 2007.

FAXINA, A. L. **Estudo em laboratório do desempenho de concreto asfáltico Usinado a quente empregando ligante tipo asfalto-borracha**. 2002. 269 f. Dissertação (Mestrado em transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2002.

GEIPOP – GRUPO EXECUTIVO DE INTEGRAÇÃO DA POLÍTICA DE TRANSPORTES. Anuário estatístico dos transportes. Ministério dos Transportes. 1970, 1976, 1981, 1986, 1992, 2001. Disponível em < <http://geipot.gov.br/publicacoes/inftransportes.htm> > Acesso em 20 de Julho de 2020.

GRECA ASFALTOS – <http://grecaasfaltos.com.br/asfalto-borracha-ecoflex-asfalto-ecologico> > Acesso em 21 Maio de 2020.

Lei nº 12.305, de agosto de 2010, p2; Política Nacional de Resíduos sólidos. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm > Acesso em 13 de Março de 2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA <https://www.mma.gov.br/conama> > Acesso em 21 Maio de 2020.

NEVES FILHO, C. L. D. Avaliação laboratorial de misturas asfálticas SMA produzidas com ligante asfalto-borracha. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, USP – São Carlos-SP, 2004.

NOVO ASFALTO – <https://novoasfalto.com/blog/asfaltofrio-x-pmf> > Acesso em 30 Out de 2020.

ODA, Sandra. **Análise da Viabilidade Técnica da Utilização do Ligante Asfalto-Borracha em Obras de Pavimentação**. 2000. 250 f. Tese (Doutorado em transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2000.

RECICLANIP – <https://www.reciclanip.org.br/formas-de-destinacao/principais-destinacoes> > Acesso em 24 Out de 2020.

Resolução CONAMA nº. 416, de 30 de setembro de 2009. Disponível em: < <https://www.mma.gov.br/port/conama/> > Acesso em: 20 maio 2020.

Resolução CONAMA nº. 001, de 23 de janeiro de 1986. Disponível em < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html> > Acesso em 15 Set de 2020.

ROHDE, Luciana. Estudo de misturas asfálticas de módulo elevado para camadas estruturais de pavimentos. 2007. 52 f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.

SILVA, A. H. M. **Avaliação do comportamento de pavimentos com camada reciclada de revestimentos asfálticos a frio com emulsão modificada por polímero**. 2011. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SILVA, S. C. C. **Ensaio comparativos de misturas asfálticas pré-misturado a frio com adição de borracha de pneu**. 2008. 137 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Materiais) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2008.

SPECHT, L. P. **Avaliação de Misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus**. 2004. 275 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.