

**ACADEMIA MILITAR DAS AGULHAS NEGRAS
ACADEMIA REAL MILITAR (1811) CURSO DE
CIÊNCIAS MILITARES**

Uíslei Araújo de Medeiros

**VIABILIDADE DO USO DE RESÍDUOS DE BORRACHA NA PAVIMENTAÇÃO
ASFÁLTICA**

Resende

2019

Uíslei Araújo de Medeiros

**VIABILIDADE DO USO DE RESÍDUOS DE BORRACHA NA PAVIMENTAÇÃO
ASFÁLTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Academia Militar das Agulhas Negras (AMAN, RJ), como parte dos requisitos para obtenção do título de **Bacharel em Ciências Militares**.

Orientador: Maj Fábio Luis França de Faria

Resende

2019

Uíslei Araújo de Medeiros

**VIABILIDADE DO USO DE RESÍDUOS DE BORRACHA NA PAVIMENTAÇÃO
ASFÁLTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Academia Militar das Agulhas Negras (AMAN, RJ), como parte dos requisitos para obtenção do título de **Bacharel em Ciências Militares**.

Aprovado em _____ de _____ de 2019:

Banca examinadora:

Maj Fábio Luis França de Faria
(Orientador)

Resende

2019

Dedico este trabalho, primeiramente à Deus, que guiou meus caminhos e me fortaleceu. Dedico também à minha família e amigos, que me apoiaram em todos esses anos, incentivando-me a nunca desistir dos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente aos meus pais, Uilio e Edilene, que juntamente com meus irmãos, me deram a oportunidade de realizar o sonho de estar na Academia Militar das Agulhas Negras e me apoiarem durante todo o caminho desta longa jornada.

Agradeço também aos meus amigos, todos aqueles que dividiram comigo os momentos de tristeza e saudades de casa, mas também os de alegrias e conquistas. Todos foram parte essencial e inesquecível em todo esse processo.

Estendo meus agradecimentos aos meus camaradas e instrutores o curso de engenharia, que por tanto auxiliaram em minha formação acadêmica.

RESUMO

VIABILIDADE DO USO DE RESÍDUOS DE BORRACHA NA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

AUTOR: Uíslei Araújo de Medeiros
ORIENTADOR: Maj Fábio Luis França de Faria

O estudo da viabilidade do uso de asfalto borracha se dá pela parte técnica, econômica e ambiental. Neste trabalho será apresentado as características do asfalto convencional e os benefícios de modifica-lo por resíduos de borracha, sendo eles oriundos de pneus inservíveis. Posteriormente será feito um breve comparativo entre os dois tipos. O estudo tem como base fontes e publicações de órgãos federais e internacionais influentes no assunto.

Palavras-chave: Asfalto Borracha. Asfalto Convencional. Viabilidade técnica. Ambiental. Pavimentação

ABSTRACT

FEASIBILITY OF USE OF RUBBER RESIDUES IN ASPHALT PAVING

AUTHOR: Uíslei Araújo de Medeiros
ADVISOR: Maj Fábio Luis França de Faria

The study of the feasibility of the use of asphalt rubber is given by the technical, economic and environmental part. In this work, the characteristics of conventional asphalt and the benefits of modifying it by rubber waste will be presented. Subsequently, a brief comparison will be made between the two types. The study is based on sources and publications of federal and international bodies influential in the subject.

Keywords: Asphalt Rubber. Conventional asphalt. Technical viability. Environmental. Paving.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de rochas usados como fonte de agregados.....	21
Tabela 2 - Operações equivalentes simuladas com HVS.....	26
Tabela 3 - Comparação entre CBUQ Convencional e asfalto-borracha.....	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pavimento de concreto Portland.....	13
Figura 2 - Camadas comuns em um pavimento semi-flexível.....	14
Figura 3 - Revestimento flexível.....	15
Figura 4 - Fissura em pavimento rígido.....	17
Figura 5 - Trinca Interligada tipo couro de jacaré.....	17
Figura 6 - Ondulação em via.....	18
Figura 7 - Panela/Buraco.....	20

LISTA DE SIGLAS E ABREVEATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ADOT	Arizona Department of Transportation.
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
CALTRANS	California Department of Transportation.
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo.
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente.
CNT	Confederação Nacional de Transportes.
CONAMA	Conselho nacional do meio ambiente.
DAER-RS	Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Rio Grande do Sul.
DER/SP	Departamento de Estradas de Rodagem do estado de São Paulo.
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura.
DOC	Diretoria de Obras e Cooperação.
FHWA	Federal Highway Administration.
GTE	Guia de Trabalhos de Engenharia.
HVS	Heavy Vehicle Simulator.
ME	Método de Ensino.
SISNAMA	Sistema Nacional do meio ambiente.
SINICESP	Sindicato da Indústria da Construção Pesada do Estado de São Paulo.
SUBITA	Southern African Bitumen Association.
TER	Terminologia.
TxDOT	Texas Department of Transportation.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	11
2.	OBJETIVOS.....	12
2.1	Objetivo Geral	12
2.2	Objetivos específicos.....	12
3.	PAVIMENTOS	12
3.1	Pavimentos Rígidos	13
3.2	Pavimentos Semi-rígidos.....	14
3.3	Pavimentos Flexíveis.....	14
3.4	Desgaste Natural dos pavimentos.....	16
3.4.1	Fenda	16
3.4.2	Afundamento	17
3.4.3	Ondulação.....	18
3.4.4	Escorregamento	19
3.4.5	Exsudação.....	19
3.4.6	Desgaste.....	19
3.4.7	Panela ou Buraco.....	19
4.	MISTURA ASFALTICA	20
4.1	Agregados.....	20
4.1.1	Agregados Naturais	21
4.1.2	Agregados Reciclados	22
4.2	Fíler.....	22
4.3	Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)	22
4.4	Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ).....	23
5.	ASFALTO BORRACHA.....	24
5.1	Efeitos e benefícios apresentados pelo Asfalto Borracha.....	25
6.	LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	27
7.	CUSTO	27
8.	CONCLUSÃO.....	29
9.	REFERÊNCIAS	30

1. INTRODUÇÃO

O transporte rodoviário no Brasil sempre foi muito utilizado, principalmente pelo país não ter uma malha ferroviária eficiente para o escoamento de mercadorias. Segundo a Confederação Nacional de Transportes (CNT), 60% da matriz de transporte de cargas é feito pelas rodovias, para isso, é imprescindível que o pavimento das vias esteja em excelentes condições de trafegabilidade. Sendo utilizadas para o transporte cargas pesadas, as rodovias sofrem grandes esforços diariamente, o que resulta em seu desgaste prematuro, causando-lhes patologias tanto pelo amplo fluxo de veículos pesados como por ações e intemperes do tempo.

Patologias como trincamento, desagregação e deformações geram aos condutores riscos à segurança além de afetar o conforto dos motoristas. Para amenizar esses possíveis danos causados pela baixa resistência ao cisalhamento, é necessária uma grande frequência de manutenção nas capas de rolamento, causando contratempos e empenho de recursos. Sendo assim, umas das alternativas de aumentar a resistência do asfalto é adicionar aditivos para dilatar a vida útil daquele pavimento, em busca de melhores características técnicas estruturais.

Os aditivos juntamente com os ligantes asfálticos são responsáveis por melhorar as características e propriedades físicas e químicas do pavimento, viabilizando a resistência das faixas de rodagem. O presente estudo visa destacar o uso de resíduos de borracha como aditivos, buscando aumentar a resistência aos esforços verticais e horizontais, além disso, tornar o asfalto mais flexível.

Os pavimentos são classificados em três tipos: rígido, semi-rígido e flexível. Delimitamos o foco da pesquisa no pavimento flexível, sendo composto pela mistura de ligante asfáltico e agregado mineral, podendo ainda, receber aditivos e/ou material de preenchimento.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem o objetivo de comparar os custos de implantação entre rodovias pavimentadas com asfalto convencional e asfalto borracha, além disso, apresentar os benefícios e vantagens do uso desse tipo de pavimento.

2.2 Objetivos específicos

Fazer uma breve comparação de custos de implantação e manutenção entre o asfalto borracha e o asfalto convencional, apresentando a viabilidade do uso desse tipo de pavimento nas rodovias brasileiras.

Apresentar as principais diferenças do convencional.

Apresentar as características e benefícios do asfalto modificado por borracha.

3. PAVIMENTOS

As estradas pavimentadas mais antigas foram construídas pelos egípcios, com a finalidade de facilitar o transporte dos materiais para a construção das grandes pirâmides. Segundo Bernucci et al. 2010, pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas, construída sobre terraplanagem, destinada a resistir aos esforços do tráfego de veículos e às irregularidades climáticas. Devendo proporcionar aos usuários melhores condições de rolamento, oferecendo conforto, economia e segurança. Semelhante a definição dada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre (DNIT), que traz a seguinte ideia:

Pavimento de uma rodovia é a superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentes sobre um semi-espço considerado teoricamente como infinito – a infraestrutura ou terreno de fundação, a qual é designada de subleito. O pavimento é uma estrutura de camadas em que materiais de diferentes resistências e deformabilidades são colocados em contato, resultando num elevado grau de complexidade no que respeita ao cálculo de tensões e deformações atuantes nas mesmas resultantes das cargas impostas pelo tráfego. (Manual de Pavimentação Rodoviária, p. 49)

Os pavimentos flexíveis são compostos basicamente por quatro camadas: revestimento asfáltico, base, sub-base e subleito. Essas camadas podem ser presentes ou não em determinados tipos de pavimentos, de acordo com a carga de tráfego e peculiaridades regionais.

São classificados em três tipos: o rígido, o semi-rígido e finalmente o flexível, que será tema de estudo deste trabalho. Para determinar qual tipo de pavimento mais adequado para

cada trecho são feitos estudos sobre os esforços transmitidos pelas rodas dos veículos. São levados em conta também fatores como características e intensidade de tráfego, recursos disponíveis e as características da região, entre eles, principalmente topografia, clima predominante e geologia.

De acordo com Bernucci:

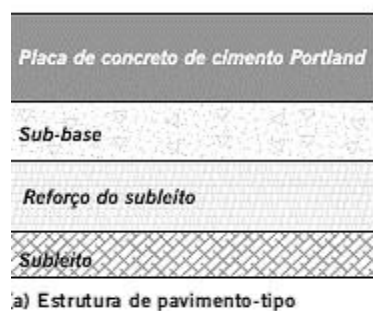
O pavimento deve ser dimensionado para o tráfego previsto no período de projeto e para as condições climáticas a que estará sujeito. As diferentes camadas devem resistir aos esforços solicitantes e transferi-los, por sua vez, as camadas subjacentes. As tensões e deformações as quais a estrutura está sujeita dependem principalmente da espessura das camadas e da rigidez dos materiais. Se a estrutura estiver bem projetada para as cargas que atuarão e bem construída, essas cargas gerarão deslocamentos que não provocam ruptura ou deformação excessiva após uma única passada de roda ou algumas poucas solicitações. (2010, p. 338).

3.1 Pavimentos Rígidos

Segundo o DNIT, pavimento rígido é constituída, em sua camada de rolamento, por placas de concreto Portland, não armadas ou eventualmente com armadura sem função estrutural, que desempenham simultaneamente as funções de base e de revestimento.

Sua estrutura é mais simples em comparação a do pavimento flexível, ele é composto por uma grossa camada de cimento Portland, apoiada em uma camada de material estabilizado pela sub-base, que por sua vez é apoiada no subleito, podendo existir ou não reforço do subleito.

Figura 1: Pavimento de concreto Portland.



Fonte: Bernucci et al (2010)

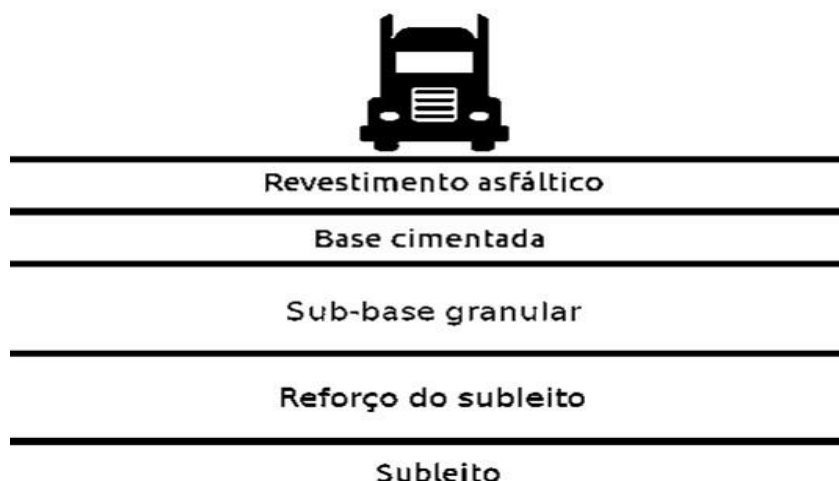
Os pavimentos rígidos apresentam baixíssimo grau de deformidade, tendo grande resistência à compressão, entretanto, caso não seja de concreto armado, quando são submetidos a forte tração, esse tipo de pavimento não resiste e se rompe. São mais duráveis quando em

comparação aos semi-rígidos e rígidos, além de terem maior duração e a manutenção ser menos frequente.

3.2 Pavimentos Semi-rígidos

Diferente do flexível e do rígido, o semi-rígido é o meio termo entre esses dois tipos de pavimentos. O Departamento de Estradas e Rodagem do estado de São Paulo (DER/SP) definiu como um pavimento constituído por revestimento asfáltico e camadas de base ou sub-base em material estabilizado com adição de cimento. Podendo ser do tipo direto quando o revestimento asfáltico é lançado sobre a camada de base cimentada, ou do tipo indireto ou invertido, quando seu revestimento é executado sobre base granular, porém a base sobre a sub-base cimentada. Semelhante ao flexível, esse também tem a capa de rolamento composta por asfalto.

Figura 2: Camadas comuns em um pavimento semi-flexível.



Fonte: E-Civil.

3.3 Pavimentos Flexíveis

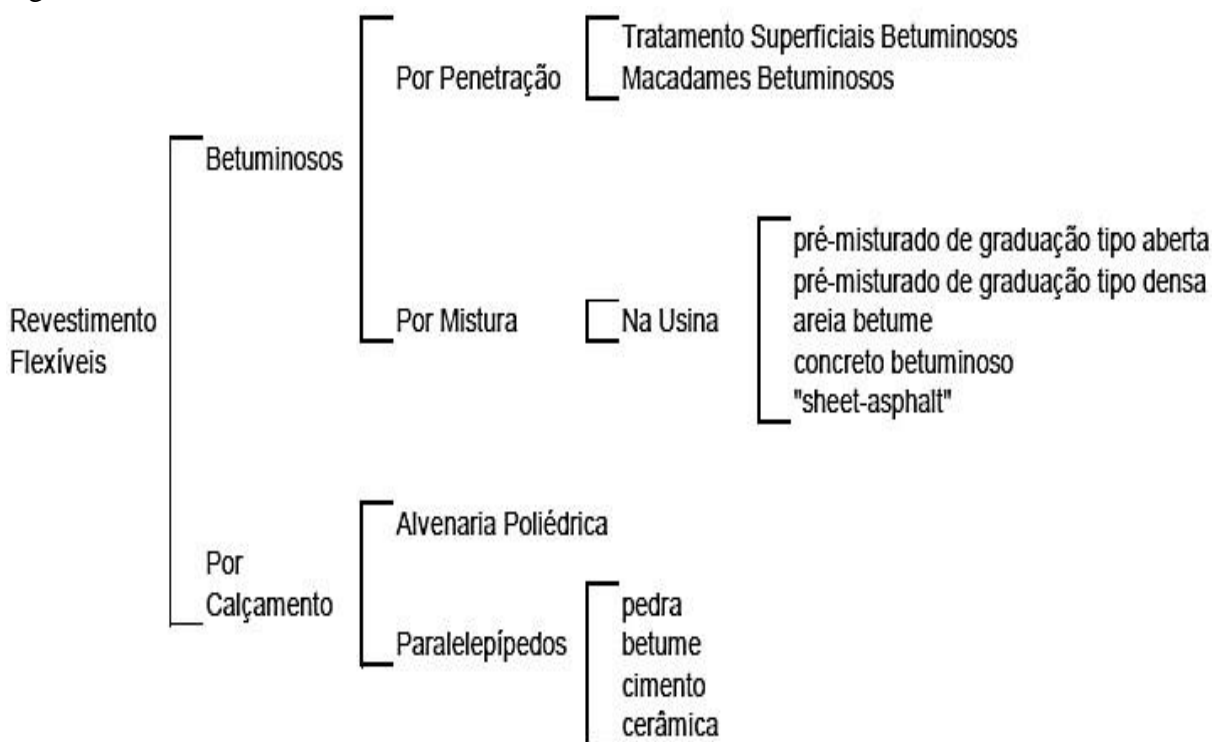
São os mais utilizados nas rodovias brasileiras, principalmente devido ao seu custo de implantação, que quando comparada ao rígido é inferior. Esse pavimento é capaz de sofrer deformações, como flexão, compressão e torção, até um limite máximo de acordo com seus ligantes, sem apresentar qualquer tipo de patologia. Esses índices são determinados no dimensionamento, que consiste basicamente em determinar as espessuras de cada camada da infraestrutura desse tipo de pavimento.

Compondo sua camada principal por um revestimento asfáltico, é suportado pelas camadas de base, sub-base, reforço do subleito, regularização do subleito e subleito. Esse

pavimento não leva agentes cimentantes em sua estrutura, diferentemente do rígido. E suas camadas são produzidas por materiais granulares e mistura de solos, formando a fundação convencional de um pavimento flexível. Essas camadas são dimensionadas de acordo com a intensidade do tráfego local e conforme condições geológicas e meteorológicas da região.

O revestimento é a camada que recebe todos esforços do tráfego e as ações climáticas, para isso, essa última camada deve ser resistente o suficiente para suportar a carga variada, conforme o tipo e velocidade dos veículos. O DNIT divide os revestimentos de acordo com o seguinte quadro:

Figura 3: Revestimento flexível.



Fonte: DNIT (2003)

O revestimento betuminoso é traçado por materiais betuminosos e associação de agregados, que pode ser por penetração ou por mistura, enquanto o revestimento por calçamento é construído com pedras, blocos de paralelepípedos ou blocos cimentados assentados sobre um colchão regularizado. Sendo este último mais utilizado em pátios de estacionamento, alguns acessos ou pequenas vias urbanas.

3.4 Desgaste Natural dos pavimentos

A capacidade estrutural e funcional do pavimento é constantemente afetada pelo volumoso tráfego. As propriedades dos materiais que integram o pavimento se alteram com o uso e tempo, e perdem suas capacidades e características, isso impõe ao pavimento outras condições que são favoráveis à degradação e deterioração dos mesmos.

As más condições das rodovias atentam contra a segurança, gerando graves acidentes nas rodovias. A CNT participa que mais de seis mil vidas e 84 mil pessoas ficaram feridas em 2018, decorrentes de acidentes. Sem dúvida, parte dos casos foram provocados por problemas das estradas.

Para evitar e mitigar as patologias a manutenção rodoviária deve ser constante. O Departamento Nacional de Estradas e Rodagens (DNER), por meio da norma 002/79 – TER explica que conservação é o conjunto de operações destinado a manter as características técnicas e operativas, até que tais operações se tornem antieconômicas. Também define restauração, como sendo o trabalho destinado a reestabelecer o perfeito funcionamento da rodovia e manter as características técnicas-estruturais originais do projeto, podendo ocorrer melhoramentos às características anteriores do pavimento.

Conforme a pesquisa realizada no ano de 2018 pela Confederação Nacional do Transporte (CNT), se deu pelo levantamento de 107 mil quilômetros de rodovias estudados por 26 equipes durante 30 dias. Nesta pesquisa foi constatado que em relação ao pavimento 50,9% dos trechos avaliados receberam a classificação regular, ruim ou péssima.

De acordo com a pesquisa, somente os problemas no pavimento geram um aumento médio de 26,7% no custo operacional do transporte. Rodovias deficientes reduzem a segurança viária, aumentam o custo de manutenção dos veículos, além do consumo de combustível, lubrificantes, pneus e freios. (Pesquisa CNT de Rodovias, 22ª edição, 2018)

O aparecimento de patologias nos diversos tipos de pavimentos é bastante comum e recorrente, o DNIT regula os termos e definições dos defeitos nos pavimentos pela norma 005/2003 – TER. Na norma elenca seis tipos diferentes de problemas que ocorrem nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos.

3.4.1 Fenda

A interpretação de fenda pela norma do DNIT é qualquer descontinuidade na superfície do pavimento, que conduza a aberturas de menor ou maior porte, apresentando-se sob diversas formas. Formas essas que se diferenciam em dois tipos: fissura e trinca.

Figura 4: Fissura em pavimento rígido.



Fonte: LPE Engenharia.

Fissura é uma fenda de largura capilar existente no revestimento, posicionada ao eixo da via, somente perceptível a uma distância inferior a 1,50 m. As fissuras ainda não causam problemas funcionais ao revestimento. (DNIT 005/2003 - TER).

Figura 5: Trinca Interligada tipo couro de jacaré.



Fonte: DNIT (2003)

Trinca é uma fenda existente no revestimento, facilmente visível e com abertura superior à da fissura, podendo apresentar-se sob a forma de trinca isolada ou trinca interligada. Trincas isoladas podendo ser longitudinal, transversal ou de retração. E trincas interligadas tipo “bloco” ou tipo “couro de jacaré”. (DNIT 005/2003 - TER).

O tratamento desse tipo de problema é simples, já que atinge apenas a capa de rolamento. Somente é realizado um tratamento superficial nas áreas afetadas, que consiste na aplicação de ligantes asfálticos com o intuito de selar as fendas e de devolver a impermeabilização da capa de rolamento.

3.4.2 Afundamento

Podendo ser plástico ou de consolidação, afundamento é uma deformação permanente originada pela depressão da capa de rolamento. É muito recorrente em rodovias,

principalmente nas federais, onde há excesso de carga causado pelo alto tráfego de veículos pesados e caminhões carregados. As principais causas dessa patologia levantadas pela CNT, é a ruptura por cisalhamento de camadas subjacentes ao revestimento, falha de compactação na estrutura, problemas de drenagem e fatores externos.

Afundamento plástico é definido pelo DNIT como:

Afundamento causado pela fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, acompanhado de solevamento. Quando ocorre em extensão de até 6 m é denominado afundamento plástico local; quando a extensão for superior a 6 m e estiver localizado ao longo da trilha de roda é denominado afundamento plástico da trilha de roda. (DNIT 005/2003 - TER).

A CNT conceitua afundamento de consolidação como uma deformação permanente que é caracterizada pela depressão da superfície do pavimento sem solevamento. É denominado de afundamento de consolidação local quando sua extensão é de até seis metros, quando em extensão maior e localizado ao longo da trilha de roda, é chamado de afundamento de consolidação de trilha de roda.

3.4.3 Ondulação

É uma deformação caracterizada por ondulações na capa de rolamento da via. Assim como em casos de afundamentos, a técnica necessária para recuperar pavimentos com esse tipo de problema é a fresagem e o recapeamento.

As principais causas da ocorrência dessa patologia são descritas pela CNT, elas são a falta de estabilidade da mistura asfáltica; a excessiva umidade do solo no subleito; a contaminação da mistura asfáltica e a aeração das misturas líquidas do asfalto.

Figura 6: Ondulação em via.



Fonte: DAER – RS (1978)

3.4.4 Escorregamento

É o deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, com o aparecimento de fendas em forma de meia-lua. (DNIT, 2003). Falhas construtivas e de pintura de ligação, juntamente com altos esforços decorrentes de aceleração e frenagem dos veículos são os causadores desse fenômeno.

3.4.5 Exsudação

Excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, causado pela migração do ligante através do revestimento. (DNIT, 2003). Filme de material betuminoso que aparece na superfície do pavimento criando um brilho vítreo, causado pela migração do ligante por meio do revestimento. (CNT).

Bernucci et al, define por ser caracterizada pelo surgimento de ligante betuminoso em excesso na superfície da malha e da fluência do revestimento asfáltico, em geral junto às depressões localizadas.

Analisando a literatura encontra-se definições que se complementam. O sentido denotativo da palavra exsudar é a ação de suar ou transpirar, com isso é possível tirar uma conclusão de que é simplesmente o desprendimento do ligante betuminoso e sua ascensão para a superfície da capa de rolamento criando uma película brilhosa.

3.4.6 Desgaste

Efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial do revestimento e provocado por esforços tangenciais causados pelo tráfego (DNIT, 2003)

Conforme a CNT, o desgaste é comumente causado por falhas de adesividade ligante-agregado; presença de água aprisionada em vazios da camada de revestimento, gerando deslocamento de ligante; deficiência no teor de ligante; problemas executivos ou de projeto de misturas.

3.4.7 Painela ou Buraco

De acordo com DNIT, são cavidades, geralmente semicirculares, de tamanhos variáveis que surgem no revestimento por inúmeras causas, podendo ou não alcançar as camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas (base e sub-base). Normalmente causadas pela ação da chuva e pela falta de manutenção adequada.

Figura 7: Painela/Buraco



Fonte: DNIT (2003)

A recuperação de buracos e painelas pode ser feita por meio de remendos superficiais, caso não tenha atingido camadas da estrutura do pavimento, e desde que seja bem realizado e selado.

4. MISTURA ASFALTICA

O revestimento é oriundo de uma mistura asfáltica, sendo a combinação de agregados com asfalto. Segundo Bernucci (2010), essa mistura deve apresentar algumas propriedades, tais como: resistência ao cisalhamento, flexibilidade, durabilidade, rugosidade e impermeabilidade.

Quanto ao tipo de ligante, podem ser classificados em misturas a quente ou a frio. Utiliza-se Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) a para a primeira, e Emulsão Asfáltica de Petróleo em misturas a frio.

4.1 Agregados

A norma ABNT NBR 9935/2005 determina a terminologia dos agregados. Agregados são materiais granulados, sem forma e dimensões definidas. Podendo ser obtidos através de desmonte, escavação e dragagem de depósitos diversos, podendo eles serem continentais, marinhos, estuários ou de rios. Os agregados diferenciam-se por sua resistência e tamanho de grão, sendo assim podem ser utilizados amplamente em obras de engenharia.

Assim como no concreto, um revestimento asfáltico é uma mistura de ligante e agregados. Buscando uma boa durabilidade e segurança do pavimento, os agregados devem ser cuidadosamente escolhidos quanto ao tipo.

Para a obter a eficiência esperada do agregado devem ser observadas particularidades referentes a tamanho, limpeza, resistência a abrasão, forma das partículas, absorção, adesividade e massa específica, conforme DNER/DNIT.

Uma das principais características, senão a principal, dos agregados é a adesividade, que se define pela capacidade de aglutinar ao asfalto e manter a ligação, apesar de todos esforços solicitados. Quando se tem pouca adesividade é utilizado cal, cimento, pó calcário ou aditivos melhoradores de adesividade. O DNER-ME 78/94 define como:

Propriedade que tem o agregado a ser aderido por material betuminoso. É verificada pelo não deslocamento da película betuminosa que recobre o agregado, quando a mistura agregado-ligante é submetida, a 40°C, à ação de água destilada, durante 72 horas. (DNER – ME 78/94).

4.1.1 Agregados Naturais

Fazem parte dessa classificação todos os tipos de agregados de fontes naturais, estes sim são produzidos por desmonte, escavação, dragagem, etc. Os agregados naturais podem ser britados para melhor se adequarem às características da obra, bem como podem ser utilizados da forma como são encontrados.

Esse tipo de agregado é proveniente de rochas ígneas, sedimentares, metamórficas e areias e pedregulhos.

Tabela 1 - Tipos de rochas usados como fonte de agregados.

Denominação Petrológica	Descrição
Andesito	Variedade de diorito vulcânico, de granulação fina Basalto
	Rocha básica de granulação fina, usualmente vulcânica Conglomerado Rocha constituída de blocos arredondados ligados por cimento natural
Diorito	Rocha plutônica intermediária, constituída de plagioclásio com hornblenda, augita ou biotita
Gabro	Rocha plutônica básica de granulação grossa, constituída de plagioclásio cálcico e piroxênio, algumas vezes com olivina
Gnaisse	Rocha riscada, produzida por condição metamórfica intensa

Granito	Rocha plutônica ácida, constituída principalmente de feldspatos alcalinos de quartzo
Calcário	Rocha sedimenta, constituída principalmente de carbonato de cálcio
Quartzito	Rocha metamórfica ou sedimentar constituída quase que totalmente por grãos de quartzo
Riolito	Rocha ácida, de granulação fina, usualmente vulcânica
Sienito	Rocha plutônica intermediária, constituída de feldspatos alcalinos com plagioclásios, homblenda, biotita ou augita
Traquito	Variedade de sienito de granulação fina, usualmente vulcânico

Fonte: SINICESP (2016)

4.1.2 Agregados Reciclados

Estes são obtidos de diversos matérias e maneiras diferentes, bastam ter as mesmas características para serem utilizados no pavimento. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), pelo artigo 3º da resolução nº 307 de 2002, classifica os resíduos em quatro classes, sendo a Classe A destinada aos resíduos que podem ser reutilizados como agregados na construção civil.

Os reciclados mais comuns são oriundos de construção, demolição ou reforma e reparo de edificações ou de pavimentos, para seu uso, é imprescindível trabalhos de preparação no que se refere a dimensão e qualidade. Atualmente utiliza-se resíduos de pneus inservíveis como agregados em asfalto modificado.

4.2 Fíler

É um material de enchimento constituído basicamente de pequenas partículas minerais, inerte em relação aos demais componentes da mistura, contando que mantenham granulometria de acordo com a norma DNIT 367/97. Usualmente são provenientes dos agregados empregados na mistura asfáltica ou outras fontes que possam melhorar o comportamento mecânico, térmico e sensibilidade à água.

4.3 Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)

Conforme a definição em norma do DNIT, cimento asfáltico de petróleo é o asfalto obtido especialmente para apresentar as qualidades e consistências próprias para o uso direto

na construção de pavimentos. A norma 095/2006 ainda traz que o CAP é classificado conforme penetração em: CAP-30/45, CAP-50/70, CAP-85/100 E CAP-150/200.

Em resolução, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), estabelece as especificações dos cimentos asfálticos de petróleo, comercializados pelos diversos agentes econômicos em todo o território nacional (RANP 19/05). Nessa resolução é prescrito que:

Art. 4º. Os produtores, importadores e distribuidores de cimento asfáltico de petróleo (CAP) devem assegurar que: a) a temperatura do produto não ultrapasse 177° C, durante o manuseio e o transporte; b) a temperatura do produto não deverá ser inferior a 140° C durante o carregamento e, c) o produto não apresente espuma quando aquecido até 177° C, durante o carregamento e o recebimento, para avaliação de contaminação pela presença de água.

Art. 5º. Os distribuidores são responsáveis pela preservação das características do cimento asfáltico de petróleo (CAP) constantes no Certificado de Qualidade emitido pelo produtor a cada carregamento, garantindo a qualidade certificada até o recebimento pelo consumidor.

Parágrafo único: O Certificado de Qualidade emitido pelo produtor deverá ser entregue ao consumidor pelo distribuidor. (RANP 19/05)

4.4 Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)

A Diretoria de Obras e Cooperação (DOC), por meio do Guia de Trabalhos de

Engenharia (GTE), define Concreto Betuminoso Usinado a Quente como:

Também chamado de CBUQ, é uma mistura normalmente composta de agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita), material de enchimento (Filler-cimento ou pó calcário) e ligante (CAP - Cimento Asfáltico de Petróleo), obtido da destilação fracionada do petróleo. A mistura dos agregados com o ligante é realizada à quente em uma usina de asfalto e transportada, até o local de sua aplicação, por caminhões basculante especialmente equipados onde é lançado por equipamento adequado chamado de vibroacabadora. Após seu lançamento, a mistura é compactada por rolos compactadores até atingir a densidade especificada em projeto. (capítulo 8, GTE, 2012).

O DNIT define como uma mistura executada a quente, em usina apropriada, com características específicas, composta de agregado, material de enchimento se necessário e cimento asfáltico, espalhada e compactada a quente.

Na norma 031/2004 – ES, ainda é estabelecido condições gerais de lançamento de CBUQ. Das quais:

- Não é permitida a execução em dias de chuva;
- O concreto asfáltico somente deve ser fabricado, transportado e aplicado quando a temperatura ambiente for superior a 10°C;
- Todo carregamento que chegar à obra deve apresentar o certificado de resultados de análise dos ensaios;

5. ASFALTO BORRACHA

A Sociedade Americana de Testes e Materiais (*American Society for Testing and Materials – ASTM*), define asfalto borracha como uma mistura de ligante de asfalto, borracha de pneu recuperado e aditivos, dos quais o componente de borracha é ao menos 15% do peso total da mistura.

A primeira utilização do asfalto modificado por borracha foi no início do século XX, na França. Mais tarde, nos Estados Unidos, Charles H. McDonald fez o experimento de aplicar a mistura asfáltica modificada em fendas encontradas na superfície dos pavimentos.

Charles H. McDonald foi pioneiro no desenvolvimento do processo. Seu trabalho começou em meados 1960, quando ele aplicou materiais de borracha de asfalto. (EPPS, 1994).

Na década de 1960, o Instituto de Asfalto dos Estados Unidos realizou em o primeiro simpósio sobre o uso de borracha em asfaltos, sendo de fundamental importância para desenvolvimento do *wet process* por McDonald. Ele usou o asfalto modificado em remendos e tratamentos de superfície para reparação e manutenção das estradas da cidade de Phoenix, Arizona. (CALTRANS, 2003).

Com sua aplicação foi possível constatar que o uso daquela mistura, tornava a capa de rolamento mais resistente a trincas e dispndia maior grau de elasticidade, tornado o pavimento menos suscetível a grandes deformações plásticas.

Diante do desgaste excessivo dos pavimentos rodoviários, surgiu a necessidade de adicionar à mistura asfáltica alguns aditivos. O objetivo dessa adição é proporcionar ao pavimento um melhor desempenho no que tange a resistência a compressão, tração e elevadas temperaturas, reduzindo o aparecimento de patologias na capa de rolamento. Além disso, aumentar a impermeabilização e flexibilidade, retardando o surgimento de trincas por fadiga.

É possível modificar o assalto com adição de borracha por via seca (*dry process*) e via úmida (*wet process*). O primeiro se define pela borracha triturada sendo parte do agregado da mistura, e adicionada ao ligante asfáltico na usina. Conforme Specht 2004, é possível substituir até 5% dos agregados por pedaços sólidos de borracha. A granulometria utilizada normalmente é a mesma das misturas convencionais, porém, faz-se necessário impor maiores

temperaturas. Specht ainda comenta que a interação existente entre o ligante e a borracha no processo por via seca é mínima quando compara ao *wet process*.

Foi validado pela Associação de Betume da África do Sul (*Southern African Bitumen Association - SUBITA*) que, após a realização da mistura, deve-se manter o composto estocado, à temperatura de 180°C, por pelo menos uma hora, com a finalidade de que haja interação intramolecular entre o ligante e a borracha, sendo fator preponderante para obter excelente comportamento final dessa mistura. Em contrapartida, a Administração Rodoviária Federal dos Estados Unidos (*Federal Highway Administration - FHWA*) em referência a norma FHWA-RD-97-148, determina que a temperatura de execução deve ser de pelo menos 121°C. Um rolo de acabamento deve continuar compactando a mistura até que ela resfrie abaixo de 60°C, para que se contenha a pressão expansiva da borracha comprimida. Caso contrário, a reação contínua entre o asfalto e a borracha fragmentada, quando em temperaturas elevadas fará com que a mistura inche, resultando em patologias prematuras.

A norma DNIT 111/2009 – EM, em conformidade com a ASTM, esclarece que o asfáltico modificado por via úmida, apresenta apenas partículas de borracha moída passantes na peneira número 40, resultando numa mistura com 15 a 20% de massa do ligante. O asfalto modificado por via úmida é resultado da mistura da borracha triturada com o CAP aquecido, podendo ser mistura estocável – *Terminal Blending*, ou não estocável – *Continuous Blending*.

Terminal Blending, é o procedimento para se chegar ao asfalto borracha estocável, no qual os elementos são misturados em um terminal especial, a altas temperaturas, por agitação com alto cisalhamento, resultando em um ligante estável e homogêneo. (DNIT, 2009)

Continuous Blending, pode ser produzido na própria usina de asfalto, podendo ser pela inclusão de equipamentos adicionais ou em caminhões estacionários, porém esse asfalto só pode ser armazenado por no máximo quatro horas após sua produção. (FONTES, 2007)

5.1 Efeitos e benefícios apresentados pelo Asfalto Borracha

Conforme o CALTRANS, o asfalto borracha garante mais segurança para o usuário, quando em comparação ao convencional. Isso se dá não só pela maior duração e contraste da sinalização horizontal, garantida pelo carbono da borracha. Agindo como um pigmento que mantém no pavimento a cor negra por mais tempo. Além disso, em temperaturas intermediárias e altas, a borracha endurece o ligante e aumenta a elasticidade sobre esses

pavimentos, reduzindo a amplitude térmica do pavimento e aumentando a resistência às deformações permanentes e por fadiga. Entretanto, é observado com pouco efeito quando aplicado em clima frio.

O Departamento de Transportes do Texas (TxDOT), nos Estados Unidos, aplicou a mistura asfáltica em mais de duas mil milhas, e com isso concluiu que houve retardo no aparecimento de fendas, principalmente trincas do tipo couro de jacaré. Expôs também resistência superior à oxidação, devido a maior conteúdo de aglutinante e antioxidantes da borracha do pneu.

Comprovando a melhor resistência do asfalto borracha, Balenger (2012), realizou testes com o Heavy Vehicle Simulator (HVS) para validar a resistência a deformações permanentes no pavimento.

Tal carga associada ao número de passagens (total de 192.080 passadas), corresponde à imposição de carga equivalente superior à vida de projeto (20 anos), de acordo com o critério da *Rubber Pavement Assosiation* (RPA). Por essa metodologia, completar 192.080 passagens de carga, equivaleria ao número de operações de carga [...] determinado pelo projeto para 20 anos. (BALENGER, 2012).

TABELA 2 - Operações equivalentes simuladas com HVS.

Metodologia	Carga no semi-eixo (tf)	Passage ns	FEC	Número N	Anos equiv. p/ mês de simulação
RPA	6,7	113.063	8,33	9,41E + 05	7,6
	8,6	79.017	29,03	2,29E + 06	18,4
TOTAIS		192.080	-	3,24E + 06	26,0

Fonte: BELENGER (2012)

Balenger demonstrou que a quantidade de passadas suportada pelo pavimento foi de 30% mais do que o tráfego projetado para os 20 anos de vida útil. Com isso é possível inferir que o asfalto modificado por borracha gera menor custo de manutenção, graças a melhor durabilidade e desempenho do pavimento.

O asfalto-borracha também propicia o benefício de valor agregado do uso de pneus inservíveis, buscando a economia de recursos naturais usando produtos residuais. Segundo o Departamento de Transporte do (ADOT), apenas naquele estado, foram utilizados mais de quatro milhões de pneus em misturas asfálticas desde 1988. A utilização da borracha de pneus

nas misturas é uma forma de incorporar os benefícios do polímero ao ligantes asfáltico, ao passo que é possível reduzir problemas ambientais.

6. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), foi instituído pela Lei 6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pelo Decreto 99.274/90.

O CONAMA, por intermédio da resolução nº 258, de 26 de agosto de 1999, instituiu a responsabilidade de dar destinação final, de forma ambientalmente adequada e segura, aos pneumáticos inservíveis por parte das empresas fabricantes e importadoras.

Pela própria resolução é considerado pneumático todo artefato inflável, constituído basicamente por borracha e materiais de reforço utilizados para rodagem em veículos.

Os prazos e quantidades ficaram definidos por proporcionalidade em concordância com o artigo terceiro desta resolução. Ficando assim definidos pelo inciso quatro:

A partir de 1º de janeiro de 2005:

a) para cada quatro pneus novos fabricados no País ou pneus novos importados, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a cinco pneus inservíveis;

b) para cada três pneus reformados importados, de qualquer tipo, as empresas importadoras deverão dar destinação final a quatro pneus inservíveis.

Parágrafo único. O disposto neste artigo não se aplica aos pneumáticos exportados ou aos que equipam veículos exportados pelo País. (CONAMA 258/99)

7. CUSTO

A incorporação de borracha moída de pneus no ligante asfáltico convencional gera um custo adicional na produção de misturas asfálticas. No entanto, essa diferença é diluída ao longo do tempo, devido a durabilidade da mistura asfáltica modificada.

Segundo a Greca Asfaltos (2006), suas pesquisas de comparação entre asfalto convencional e asfalto modificado por borracha, mostram que uma obra com asfalto borracha é em torno de 14% mais viável quando em comparação com o CAP 50/70 (Tabela 3), isso se dá pelas características do asfalto modificado (maiores resistências, flexibilidade e elasticidade para o pavimento), evitando o trincamento da capa de pavimento, tornando-o mais atrativo principalmente para o uso em rodovias de amplo fluxo as quais precisam suportar grandes cargas.

Tabela 3 - Comparação entre CBUQ Convencional e asfalto-borracha.

GRANDEZAS	UNIDADE	TIPO DE ASFALTO	
		CAP 50/70	ASFALTO BORRACHA
Quantidade de massa asfáltica CBUQ produzida	ton	26.250	18.375
Custo de Usinagem/Aplicação por tonelada de CBUQ aplicado	R\$/ton	200,00	230,00
Quantidade de massa x Custo de Usinagem/Aplicação	R\$	5.250.000,00	4.226.250,00
Teor de Asfalto	% peso	5%	5,5%
Custo de Asfalto por tonelada	R\$/ton	1.150,00	1.550,00
Custo Asfalto no CBUQ	R\$	1.509.375,00	1.56.468,75
Custo Total da Obra	R\$	6.759.375,00	5.792.718,75

Fonte: Greca Asfaltos (2009)

8. CONCLUSÃO

Observa-se que a produção de resíduos acontece em grande escala e que há ampla dificuldade em reciclar tamanha quantidade de pneus. A questão ambiental atrelada a esse assunto é plenamente questionável e favorável ao tema. Com as novas resoluções do CONAMA, o destino para os pneus inservíveis é certo, diminuindo o impacto ambiental ao retirar milhares de unidades de pneus do meio ambiente, onde o descarte era normalmente feito em locais inapropriados.

Com a análise dos dados desse trabalho é possível observar que há uma quantidade menos frequente de manutenção, assegurado pela parte técnica, apresentando benefícios impostos pelas características das ligações intramoleculares da borracha. O que torna a capa de rolamento mais resistente, segura e confortável para o trânsito.

Apesar de ter um custo superior em relação à pavimentação convencional, realmente existe vantagem econômica na sua implantação, porém observa-se esse benefício com o passar dos anos. Enquanto o asfalto comum é mantido várias vezes, gerando gastos desnecessários, o asfalto borracha tem resistência superior, necessitando de dispêndio de recursos. Sua implantação seria de total eficácia no Brasil, onde majoritariamente faz-se o uso do transporte rodoviário. Contudo, fica clara a necessidade de incentivos tanto da parte pública quanto da parte privada, para que sejam desenvolvidas pesquisas aprofundadas e realizados experimentos de viabilidade do uso desse tipo de asfalto.

9. REFERÊNCIAS

CNT. **Confederação Nacional do Transporte**. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Estudo/transporte-rodoviario-pavimento>>. Acesso em: 22 setembro 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. ISSUU. **Transporte Rodoviário - Por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** Disponível em: <https://issuu.com/transporteatual/docs/estudo_pavimentos_ao_duram/20>. Acesso em: 22 SETEMBRO 2018.

KONISHI, F.; COLAVITE, A. S. Associação Educacional Dom Bosco. **Associação Educacional Dom Bosco**. ISSN 1. Disponível em: <<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/802267.pdf>>. Acesso em: 21 Setembro 2018.

PAVIMENTOS Flexíveis. **DTT – Departamento de Transportes**. Disponível em: <<http://www.dtt.ufpr.br/Pavimentacao/Notas/TextoComplementar.pdf>>. Acesso em: 21 setembro 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE – DNIT. **Manual de Conservação Rodoviária**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE – DNIT. **Manual de Pavimentação Rodoviária**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO DE ESTRADA DE RODAGEM – DER. **Avaliação de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos por meio de levantamento visual contínuo de defeitos da superfície**. Secretaria dos transportes, São Paulo, 2006.

ROCHA, R.S. **Patologias de pavimentos asfálticos e suas recuperações**: Estudo de caso da Avenida Pinto de Aguiar. Salvador, 2010.

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

EPPS, Jon A. **Uses Of Recycled Rubber Tires In Highways**. National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice 198, Transportation Research Board (TRB), National Academy Press. Washington, D.C. 1994.

State of California Department of Transportation - CALTRANS. **Asphalt Rubber Usage Guide**. Sacramento, Califórnia, Estados Unidos, 2003.

FONTES, Liseane P. T. da Luz. **Comparação Do Desempenho De Asfaltos Produzidos Através Dos Sistemas Continuous Blend E Terminal Blend**. 12º encontro nacional de conservação rodoviária. Manaus, 2007.

KLINSKY, Luis Miguel G.; FARIA, Valéria C. **Asfalto Borracha: revisão bibliográfica, avaliação reológica do ligante asfáltico e determinação dos parâmetros mecânicos das misturas asfálticas**. CCR NovaDutra. São Paulo, 2017.

CERATTI, Jorge Augusto Pereira; NÚÑEZ, Washington Peres. **Estudo comparativo do desempenho utilizando asfalto borracha**. GRECA ASFALTOS, Porto Alegre, 2006.

LEÃO, Luiz Felipe Carneiro. **Asfalto borracha**. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.