



**FACULDADE PRESIDENTE ANTONIO CARLOS PORTO – FAPAC
INSTITUTO TOCANTINENSE ANTONIO CARLOS PORTO LTDA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

GUSTAVO CARVALHO DA SILVA

**ANALISE DE VIABILIDADE TÉCNICO FINANCEIRO DA APLICAÇÃO DO
ASFALTO BORRACHA EM RODOVIAS DO TOCANTINS**

**PORTO NACIONAL-TO
2018**

GUSTAVO CARVALHO DA SILVA

**ANALISE DE VIABILIDADE TÉCNICO FINANCEIRO DA APLICAÇÃO DO
ASFALTO BORRACHA EM RODOVIAS DO TOCANTINS**

Projeto de Pesquisa submetido ao Curso de Engenharia Civil da FAPAC / ITPAC PORTO NACIONAL, como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área: Pavimentação

Orientador: Me. Flavio Vieira da Silva Junior

GUSTAVO CARVALHO DA SILVA

**ANALISE DE VIABILIDADE TÉCNICO FINANCEIRO DA APLICAÇÃO DO
ASFALTO BORRACHA EM RODOVIAS DO TOCANTINS**

Projeto de pesquisa submetido ao curso de Engenharia Civil do Instituto tocantinense Presidente Antônio Carlos Porto Ltda., como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Apresentado e defendido em ____/____/____ () APROVADO () REPROVADO
Banca examinadora constituída pelos professores:

Orientador (a): Professor Me. Flávio Vieira da Silva Junior

Professor: Dra. Talita Caroline Miranda

Professor: Wagner Lopes

**PORTO NACIONAL-TO
2018**

RESUMO

O descarte de pneus nos últimos anos tem aumentado drasticamente. A reutilização de pneus inservíveis nas misturas asfálticas torna-se bastante vantajoso para o setor da pavimentação. A borracha de pneu incorporado à mistura produz um material durável, resistente e sustentável. Este trabalho visa analisar a caracterização mecânica e de viabilidade técnico financeira a aplicação do asfalto borracha. A pesquisa tem como objetivos avaliar o desempenho mecânico de misturas asfálticas do tipo concreto asfáltico pré-misturado a quente, produzidas com asfalto convencional e modificado com borracha de pneu moído. A incorporação da borracha a mistura será realizada através do processo seco. Para a avaliação das propriedades mecânicas, as misturas serão submetidas a ensaio de estabilidade e fluência Marshall. O estudo de viabilidade técnico financeiro será realizado através do orçamento dos processos construtivos utilizando a tabela SICRO de custos rodoviários.

Palavras-chave: Mistura asfáltica. Processo seco. Asfalto borracha.

ABSTRACT

The disposal of tires in recent years has increased dramatically. The re-use of unserviceable tires in asphalt mixtures makes it very advantageous for the paving industry. The tire rubber incorporated into the blend produces durable, durable and sustainable material. This work aims to analyze the mechanical characterization and technical feasibility of the financial application of rubber asphalt. The research aims to evaluate the mechanical performance of asphalt mixtures of the hot pre-mixed asphalt concrete type, produced with conventional asphalt and modified with rubber tire. Incorporation of the rubber into the blend will be accomplished through the dry process. For the evaluation of the mechanical properties, the mixtures will be submitted to the Marshall stability and creep test. The technical financial feasibility study will be carried out through the budget of the construction processes using the SICRO table of road costs.

Keywords: Asphalt mix. Dry process. Asphalt rubber.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Configuração de selante "band-aid"	19
Figura 2 - Esquema de modificação do CAP por borracha de pneu (processo úmido)	20
Figura 3 – Aplicador manual utilizado na selagem de trincas	21
Figura 4 – Execução de um SAM.....	22
Figura 5 – Execução de um SAMI.....	23
Figura 6 – Ilustração de misturas com partículas de borrachas	24
Figura 7 - Exemplo de determinação de índices Marshall.....	28
Figura 8 - Prensa Marshall	29
Figura 9 - Local de ensaio das amostras	33
Figura 10 - Borracha de pneu triturada	34

LISTA DE SIGLAS

AAUF – Areia Asfalto Usinada a Frio
AAUQ – Areia Asfalto Usinado a Quente
BBTM – *Betón Betumineux Très Mince*
CA – Concreto Asfáltico
CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo
CAUQ – Concreto Asfáltico Usinado a Quente
CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CPA – Camada Porosa de Atrito
Da – Densidade Aparente
DMT – Distancia Média de Transporte
DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
Dt – Densidade máxima Teórica
EAP – Emulsão Asfáltica de Petróleo
EM – Estabilidade Marshall
FM – Fluência Marshall
GECOI – Gerenciamento de Custos de Obras de Infraestrutura
PMF – Pré Misturado a Frio
PMFA – Pré Misturado a Frio Aberto
PMFsD – Pré Misturado a Frio semi-denso
PMQ – Pré Misturado a Quente
RBV – Relação betume-vazios
SAM – *Stress Absorbing Membrane*
SAMI – *Stress Absorbing Membrane Interlayer*
SCO – Sistema de Custos e Orçamento
SICRO – Sistema de Custos Rodoviários
SMA – Stone Matrix Asphalt
TSD – Tratamento Superficial Duplo
TSS – Tratamento Superficial Simples
TST – Tratamento Superficial Triplo
VAM – Vazios do Agregado Mineral

VV – Volume de Vazios

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GERAL	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3 REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1 MISTURAS ASFÁLTICAS.....	12
3.2 MISTURAS ASFÁLTICAS CONVENCIONAIS.....	12
3.2.1 Concreto asfáltico denso (CA) ou (CBUQ)	12
3.2.2 Areia asfalto usinada a quente (AAUQ)	13
3.2.3 Areia asfáltica usinada a frio (AAUF)	13
3.2.4 Tratamento superficial	14
3.2.5 Pré-misturados a frio (PMF)	14
3.3 MISTURAS ASFÁLTICAS ESPECIAIS.....	15
3.3.1 Camada Porosa de Atrito (CPA)	15
3.3.2 Stone matriz asphalt (SMA)	15
3.3.3 Béton Bitumineux Très Mince (BBTM)	16
3.3.4 Misturas asfálticas recicladas	16
3.3.5 Microrrevestimento asfáltico	17
3.3.6 Gap-graded	17
3.4 ASFALTO-BORRACHA	18
3.4.1 Vantagens da utilização do asfalto-borracha	19
3.4.2 Processo úmido	20
3.4.3 Processo seco	24
3.4.4 Métodos de Dosagem das Misturas Asfálticas	27
3.4.5 Custos Envolvidos na Pavimentação	29
3.4.6 Sistemas de Levantamento de Custos da Pavimentação	30
3.4.7 Sistema SICRO	31
4 METODOLOGIA	33
4.1 MATERIAIS.....	33
4.2 MÉTODOS	34
4.2.1 Caracterização dos Agregados	34
4.2.1.1 Abrasão Los Angeles (DNER ME 35/98).....	34
4.2.1.2 Determinação da densidade de agregado graúdo.....	35
4.2.1.3 Determinação da densidade do agregado miúdo	35
4.2.1.4 Análise granulométrica dos agregados.....	35
4.2.1.5 Adição da borracha ao agregado	35
4.2.2 Ensaios das misturas asfálticas	36
4.2.2.1 Ensaio de estabilidade e fluência Marshall	36
5 CRONOGRAMA	37
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a frota de veículos no Brasil teve um crescimento significativo, tal crescimento gera algumas problemáticas, como o aumento do tráfego de veículos na rodovia e posteriormente o aumento de patologias e o aumento do descarte de pneus inservíveis. A disposição final dos pneus representa um problema de difícil solução pois são objetos volumosos e devem ser descartados de maneira apropriada. O descarte em aterros se torna inviável, pois os pneus apresentam baixa compressibilidade e degradação muito lenta (CEMPRE, 2018).

De acordo com o SEST SENAT (2017), no Brasil, pelo menos 450 mil toneladas de pneus são descartadas por ano, isso equivale a cerca de 90 milhões de unidades utilizadas em carros de passeio. Os pneus demoram cerca de 600 anos para se decomporem na natureza e quando são descartados de forma irregular podem se tornar criadouros do mosquito *Aedes aegypti*, transmissor da dengue, da Zika e da Chikungunya. Segundo a Reciclanip (2017), o descarte correto evitou que mais de 3,7 milhões de toneladas de pneus fossem parar em lugares errados.

No intuito de melhorar as propriedades mecânicas das misturas asfálticas e para reduzir o impacto ambiental, a incorporação da borracha de pneus em revestimentos asfálticos tem sido bastante estudada. De acordo com Oda (2000), a incorporação de borracha de pneus em cimentos asfálticos traz várias vantagens, as principais são: redução do envelhecimento, aumento da flexibilidade, redução da susceptibilidade térmica e aumento do ponto de amolecimento.

Existem dois métodos de incorporação da borracha nas misturas asfálticas. No processo úmido é adicionado pequenas partículas de borracha ao concreto asfáltico, sendo denominado de asfalto-borracha. No processo seco, objetivo de estudo deste trabalho, as partículas de borracha substituem parte dos agregados da mistura.

Deste modo, o presente trabalho visa realizar um estudo comparativo e de viabilidade técnica-financeira entre as misturas convencionais e as misturas modificadas com borracha para aplicação no Estado do Tocantins.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar um estudo de viabilidade técnico-financeiro da aplicação do asfalto borracha nas rodovias do Estado do Tocantins.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a influência da adição de borrachas com diferentes granulometrias e porcentagens;
- Identificar os fatores externos que influenciam no desempenho do asfalto borracha;
- Avaliar o desempenho da mistura asfáltica com adição de borracha em comparação com as misturas asfálticas convencionais;
- Realizar estudo financeiro comparativo entre a aplicação de asfalto borracha e revestimentos convencionais.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 MISTURAS ASFÁLTICAS

As misturas asfálticas são misturas oriundas da combinação de ligantes asfálticos e agregado mineral, esta ligação dá origem ao revestimento do pavimento. A mistura pode ser fabricada em usinas moveis, fixas ou preparado na própria pista. As misturas podem ser classificadas pela sua forma de produção e de acordo com o tipo de ligante utilizado: a quente com o uso do cimento asfáltico de petróleo (CAP) ou a frio com o uso da emulsão asfáltica de petróleo (EAP) (BERNUCCI et al., 2008).

Bernucci et al., (2008) explica que as misturas a quente se diferenciam de acordo com os seus padrões granulométricos dos agregados, os três tipos mais usuais nas misturas a quente são:

- Graduação densa: possui uma curva granulométrica continua e bem definida, a sua forma mineral detêm de poucos vazios, visto que os agregados de dimensões menores preenchem os vazios dos maiores. Exemplo: concreto asfáltico (CA).
- Graduação aberta: curva granulométrica homogênea, possui agregados basicamente do mesmo tamanho, a sua forma mineral contém um elevado volume de vazios com ar proporcionando ser um material permeável e altamente drenante. Exemplo: mistura asfáltica drenante (CPA).
- Graduação descontinua: curva granulométrica descontinua, tendo em sua proporção uma maior quantidade de grão maiores em relação aos grãos intermediários sendo completado por uma certa quantidade de finos, seu esqueleto mineral é mais resistente a deformação permanente. Exemplo: matriz pétreas asfáltica (*stone matrix asphalt* – SMA).

3.2 MISTURAS ASFÁLTICAS CONVENCIONAIS

3.2.1 Concreto asfáltico denso (CA) ou (CBUQ)

O concreto asfáltico usinado a quente é também conhecido como concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), é a mistura asfáltica mais utilizada no país. É

obtida através da mistura de agregados minerais, material de preenchimento (filler) e de cimento asfáltico de petróleo (BALBO, 2007).

O concreto betuminoso é composto por uma faixa de vazios não preenchida que na maioria das vezes exige a adição de um filler, como cimento, pó de calcário e similares (SENÇO, 2001).

Bernucci et. al. 2008 explica que devido o arranjo de partícula do concreto asfáltico ser bem determinado a quantidade de ligante asfáltico utilizado não pode ser muito elevada, pois a estrutura deve conter de 3 a 5% dos vazios preenchidos por ar após a compactação, para a camada de rolamento (camada que tem contato direto com os pneus do veículo) e de 4 a 6% para a camada de ligação (camada abaixo à de rolamento). Caso não for obedecido as porcentagens de volume de vazios com ar, as misturas asfálticas acabam se deformando expressivamente, por fluência.

3.2.2 Areia asfalto usinada a quente (AAUQ)

A areia asfalto a quente é uma mistura de areia ou resíduo de britagem com material de enchimento (filler) e cimento asfáltico de petróleo ou alcatrão, misturados e devidamente compactados (SENÇO, 2001).

A AAUQ é uma mistura que atende com segurança rodovias com baixo e médio volumes de tráfego. Esta mistura tem uma utilização mais relevante em Estados da região norte e nordeste do Brasil (CHAVES, 2010).

A norma 032/2004 do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de transporte) estabelece os seguintes ligantes asfálticos que podem ser empregados: cimento asfáltico de petróleo, CAP-30/45, CAP-50/60, CAP-85/100, classificado por penetração, CAP-20 e CAP-40 classificado por viscosidade.

3.2.3 Areia asfáltica usinada a frio (AAUF)

Pode ser definida com uma mistura betuminosa composta por areia grossa ou agregado fino artificial e emulsão asfáltica misturada a frio, em usina ou na pista. O agregado da mistura geralmente é uma areia proveniente do rio podendo ser utilizada enquanto estiver úmida, porém não deve estar saturada. A escolha da técnica da areia asfáltica usinada a frio vai depender de fatores como a natureza da areia,

clima e nível do tráfego. As condições climáticas que não favorecem a aplicação de AAUF são a alta umidade e as temperaturas amenas. Estas dificultam a aeração para perda de umidade importante para a qualidade das misturas a frio (CHAVES, 2010).

3.2.4 Tratamento superficial

Segundo Bernucci et. al. (2008) o tratamento superficial é realizado a partir da adição de ligante asfáltico e agregado no revestimento sem ter havido mistura previa entre eles e logo após é realizado a compactação com o intuito de promover a adesão entre ligante e agregado. Os tratamentos superficiais têm a função de impermeabilizar o pavimento e proteger sua estrutura, originar uma camada de rolamento de pequena espessura e de alta resistência, ser um revestimento flexível para poder acompanhar as deformações da infraestrutura. Os tratamentos superficiais podem ser classificados de acordo com a quantidade de camadas em:

- Tratamento superficial simples – TSS: é a camada de revestimento do pavimento constituída de uma aplicação de ligante asfáltico coberta por uma camada de agregado mineral submetida a compressão. (DNIT 146/2012-ES)
- Tratamento superficial duplo – TSD: é a camada de revestimento composta por duas camadas de ligante asfáltico cada uma coberta por camada de agregado submetida a compressão. (DNIT 147/2012-ES)
- Tratamento superficial triplo – TST: é a camada de revestimento do pavimento constituída por três camadas de ligante asfáltico cada uma coberta por camada de agregado submetida a compressão. (DNIT 148/2012-ES)

3.2.5 Pré-misturados a frio (PMF)

Os pré-misturados a frio (PMF) é uma mistura realizada em temperatura ambiente, em usina apropriada, composta por material de enchimento (filler), agregado mineral graúdo e emulsão asfáltica de petróleo (EAP). O agregado graúdo pode ser pedra ou seixo britados livres de torrões de argila e os agregados miúdos podem ser areia, pó-de-pedra ou mistura de ambos (DNIT 153/2010 - ES). O PMF pode ter diversas aplicações, como: revestimento, base, regularização ou reforço do

pavimento. De acordo com Santana (1993) e Chaves (2010), os pré-misturados a frio são classificados em três grupos de acordo com a sua granulometria e o volume de vazios quando compactado em:

- Pré-misturados a frio aberto (PMFA): com pequena ou quase nenhuma quantidade de agregados miúdo e com pouco filer, ficando com alto teor de vazios depois de compactado.
- Pré-misturados a frio semi-denso (PMFsD): com média quantidade de agregado miúdo e com pouco filer, ficando com médio teor de vazios.
- Pré-misturado a frio denso (PMFD): com maior quantidade de agregado miúdo, ficando com teor de vazios relativamente baixo após compactado.

3.3 MISTURAS ASFALTICAS ESPECIAIS

3.3.1 Camada Porosa de Atrito (CPA)

A camada porosa de atrito é uma mistura asfáltica composta por um esqueleto mineral onde os seus agregados tem basicamente as mesmas dimensões proporcionando uma estrutura com vários vazios entre suas partículas, essa mistura contem normalmente cerca de 18 a 25% de vazios com ar. É empregada como camada de rolamento propiciando uma maior aderência entre pneu-pavimento (BERNUCCI et al., 2008).

Essa mistura foi concebida para obter uma superfície altamente drenante, que pudesse drenar rapidamente as águas pluviais na superfície do revestimento, evitando a formação de lâminas d'água muitas vezes responsável pelo fenômeno da aquaplanagem ou hidropianagem dos veículos. Foi verificado que o emprego do CPA contribui para a redução de ruídos gerados por veículos (BALBO, 2007).

3.3.2 *Stone matrix asphalt* (SMA)

Bernucci et. al. (2008) explica que o stone matrix asphalt (SMA) é um revestimento usinado a quente com a função de aumentar a interação grão/grão da estrutura. É composto por agregados graúdo, o que leva a mistura a ter um elevado índice de vazios. Os índices de vazios são preenchidos por mastiche asfáltico, um

material composto por filler, areia, ligante asfáltico e fibras. São misturas ricas em ligantes asfálticos e sua espessura pode variar de 1,5 a 7 cm. O SMA é um revestimento impermeável e seu índice de vazios pode variar de 4 a 6%. As principais características de desempenho do SMA são:

- Boa estabilidade a elevadas temperaturas
- Boa flexibilidade a baixas temperaturas
- Elevada resistência ao desgaste

Para Mourão (2003) a ausência de agregados miúdo e a concentração de agregados graúdo no SMA torna essa mistura mais segura. A estrutura mais grossa desse revestimento aumenta a resistência a derrapagem, diminui a absorção de ruídos, reduz a aquaplanagem e a reflexão da luz.

A mistura asfáltica SMA tem provado ser uma excelente opção para ser utilizado em:

- Vias com alto tráfego de caminhões
- Interseções
- Área de carregamento e descarregamento de cargas
- Pistas de aeroportos
- Portos

3.3.3 Béton Bitumineux Très Mince (BBTM)

O BBTM é um concreto asfáltico muito delgado geralmente utilizado para manutenção de estradas ou em novas construções. Essa mistura é aplicada em camada de 20 a 25 mm com o intuito de promover uma durável macroestrutura e resistência a derrapagem sob tráfego pesado. Essa camada de revestimento tem as seguintes características: impermeabilidade, drenabilidade, aderência pneu-pavimento, conforto ao rolamento e baixo ruído (BERNUCCI et al., 2008).

3.3.4 Misturas asfálticas recicladas

O material do corte de um revestimento deteriorado pode ser reaproveitado por reciclagem. São aproveitados os agregados e os ligantes provenientes do corte do revestimento deteriorado e adicionado a eles agentes rejuvenescedores, espuma

de asfalto, CAP ou EAP novos, quando necessários, e com a adição de aglomerantes hidráulicos. Geralmente os agregados reaproveitados mantêm as suas características físicas e de resistência, enquanto os ligantes têm suas características modificadas, tornando-o mais viscoso. A reciclagem pode ser efetuada:

- A quente, utilizando CAP, agente rejuvenescedor e agregados fresados aquecidos
- A frio, utilizando EAP, agente rejuvenescedor e agregados fresados a temperatura ambiente.

Há várias técnicas de se utilizar a fresagem reaproveitamento dos revestimentos degradados além da questão ecológica de preservação de recursos minerais escassos (BERNUCCI et al., 2008).

3.3.5 Microrrevestimento asfáltico

Os microrrevestimento asfálticos são argamassas pré-misturadas compostas por cerca de 40% de pedrisco, são normalmente produzidos com emulsão de asfaltos modificados por polímeros (BALBO, 2007)

De acordo com a norma do DNIT 035/2004-ES o microrrevestimento asfáltico atua como uma camada selante, impermeabilizante, regularizadora e rejuvenescedora.

3.3.6 Gap-graded

É uma mistura com uma faixa granulométrica especial, o que resulta em uma macrotextura aberta ou rugosa e com um teor de vazios não muito elevado. Em algumas aplicações tem sido utilizada juntamente com o asfalto borracha. Essa mistura tem sido aplicada com camada estrutural de revestimento (BERNUCCI et al., 2008).

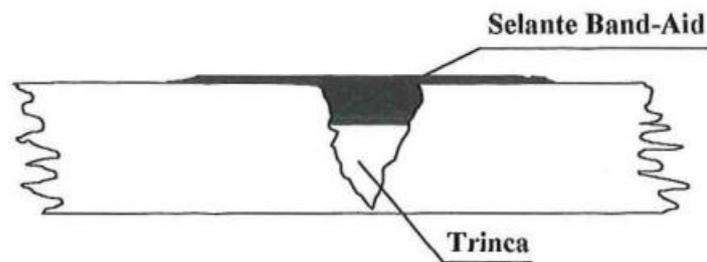
3.4 ASFALTO-BORRACHA

Um assunto que tem preocupado tanto o governo quanto as empresas privadas são os problemas ambientais. Medidas tem sido adotadas para diminuir os impactos ambientais e uma delas é a reciclagem de produtos descartáveis. Para os pneus inservíveis existem diversas formas para fazer o seu reaproveitamento e uma delas é o emprego em pavimentações asfálticas.

As primeiras tentativas do uso da borracha de pneus em asfalto datam da década de 50, mas, os resultados não foram promissores o que levou os pesquisadores a não darem continuidade nas pesquisas. Somente na década de 60 o engenheiro de materiais Charles H. Mc Donald, quando atravessava o seu país realizando inspeções em rodovias utilizou uma mistura de pó de pneu com asfalto para selar trincas no teto de seu veículo, observou que com o passar do tempo essa mistura não oxidava, ao contrário dos asfaltos convencionais. Mc Donald então, utilizou a sua mistura para serviços de tapa-buraco. Ele costumava misturar o pó com o asfalto e deixava agir por 45 minutos a uma hora para que o material com novas propriedades se forma-se o *asphalt-rubber* (CHARLSAN e ZHU, 1999 aput SPECHT, 2004).

Em 1963, Charles H. Mc Donald, considerado o pai do asfalto-borracha (*asphalt-rubber*) nos Estados Unidos, deu início a uma pesquisa que tinha como objetivo desenvolver um material altamente elástico a partir da incorporação da borracha moída para ser aplicado na manutenção da superfície de pavimentos asfálticos. O resultado da sua pesquisa foi o desenvolvimento de um produto composto por ligante asfáltico e 25% de borracha de pneu moída (de 0,6 a 1,2 mm) misturados a uma temperatura de 120°C. Este produto foi denominado de “band-aid” e foi utilizado como selante de trincas (ODA, 2000).

Figura 1 - Configuração de selante "band-aid"



Fonte: ODA (2000).

O material apresentou resultados tão satisfatórios que em 1968, o Departamento de transportes do Arizona, deu início a uma série de pesquisas envolvendo o *asphalt-rubber*, principalmente como selante de trincas. Simultaneamente com as descobertas de Mc Donald estava sendo desenvolvida na Suécia um processo denominado *Rubit*, que logo mais foi levado para os Estados Unidos sendo chamado de *PlusRide*. Foram desenvolvidas tecnologias de aplicações da borracha no ligante (processo úmido) e diretamente na mistura asfáltica (processo seco) (SPECHT, 2004).

3.4.1 Vantagens da utilização do asfalto-borracha

De acordo com Oda (2000), a incorporação da borracha de pneus em cimentos asfálticos traz várias vantagens, as principais são:

- Redução do envelhecimento: a borracha de pneus contém carbono e oxidantes, isto proporciona redução do envelhecimento por oxidação.
- Aumento da flexibilidade: a concentração de elastômeros na borracha de pneus proporciona uma mistura mais flexível do que as misturas convencionais.
- Aumento do ponto de amolecimento: a adição de borracha ao ligante faz com que o ponto de amolecimento aumente 17°C em relação ao ligante convencional, promovendo uma resistência maior ao acúmulo de deformação permanente nas trilhas de roda.

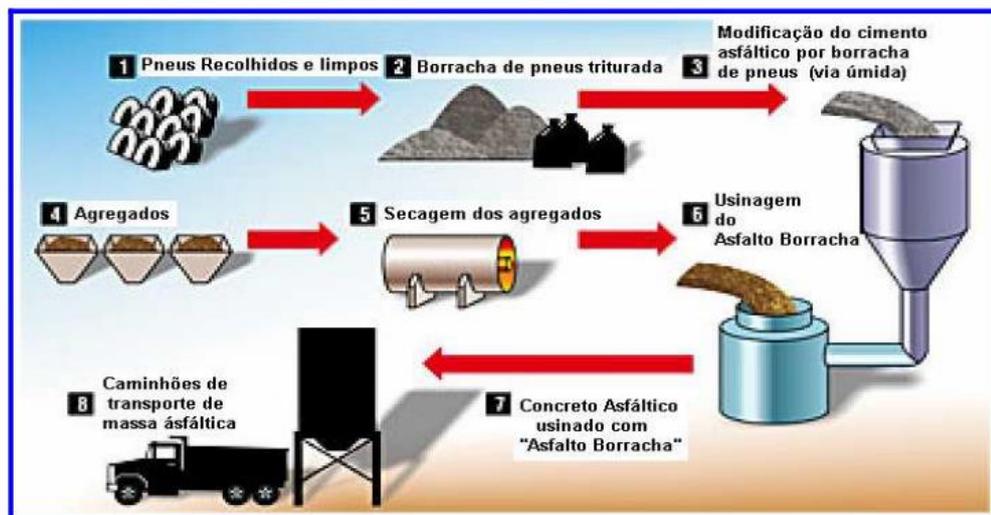
- Redução da susceptibilidade térmica: as misturas que utilizam ligante asfalto-borracha são mais resistentes a variações de temperatura, o seu desempenho em altas e baixas temperaturas é superior aos pavimentos construídos com misturas convencionais.

3.4.2 Processo úmido

Neste processo a borracha é misturada ao ligante modificando-o permanentemente. A transferência das características da borracha que contribui aumentando a resistência a fadigas das misturas asfálticas ocorre neste processo. As propriedades químicas e físicas da borracha são incorporadas ao ligante convencional promovendo a resistência a ação química de óleos e combustíveis e pode proporcionar a redução do envelhecimento do cimento asfáltico (ODA, 2000).

Nos processos úmidos mais comuns, o ligante asfáltico é aquecido a altas temperaturas podendo chegar a 190°C, depois de aquecido é levado para tanques de mistura, onde ocorre a adição da borracha granulada ao ligante. Este procedimento ocorre em um período q varia de 1 a 4 horas. Na figura 2 a seguir apresenta o esquema de adição de borracha ao ligante (CORDEIRO, 2006).

Figura 2 - Esquema de modificação do CAP por borracha de pneu (processo úmido)



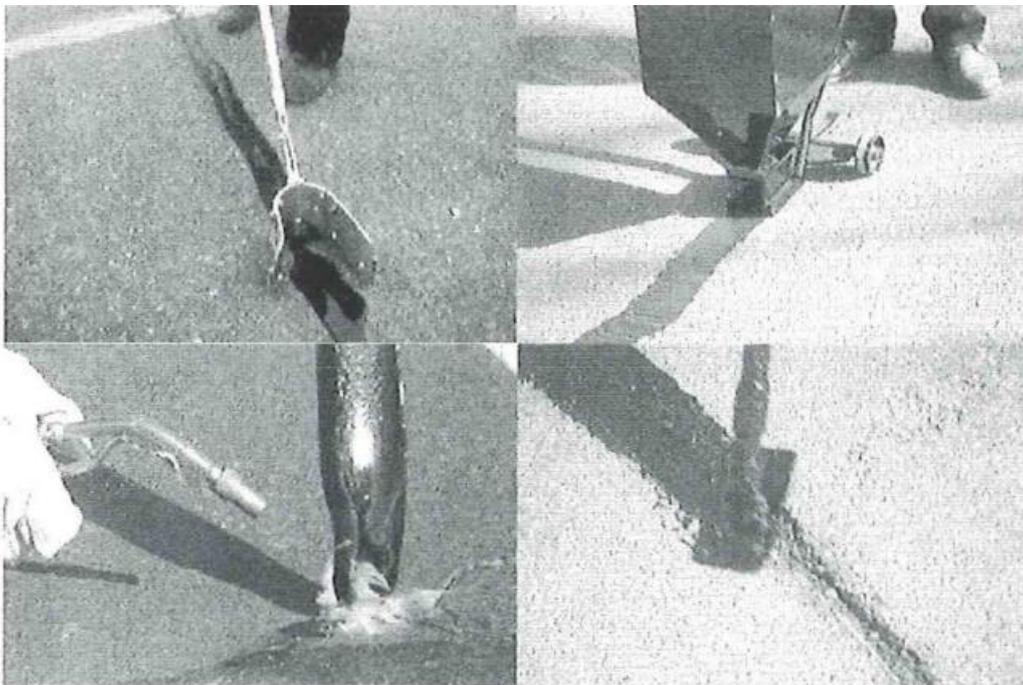
Fonte: CORDEIRO (2006).

O ligante modificado com borracha geralmente é preparado no canteiro de obras e deve ser utilizado imediatamente, este processo de preparação denomina-se *just in time*. No Brasil o processo úmido está sendo utilizado através da tecnologia *terminal bleeding*, onde a mistura é preparada em uma umidade central e transportada até o canteiro de obras. Os ligantes modificados com borracha são utilizados na pavimentação principalmente como selantes para juntas e trincas, concreto asfáltico usinado a quente, concreto poroso e membranas do tipo SAM e SAMI (SPECTH, 2004).

a) Selantes de trincas e juntas (*asphalt-rubber crack/joint selant*)

Estakhri et al. (1992) apud Oda (2000), explica que o asfalto-borracha é um dos melhores selantes de trincas existentes, podendo ser utilizados em pavimentos asfálticos e em pavimentos de concreto de cimento Portland, recomenda-se o uso de aplicador manual.

Figura 3 – Aplicador manual utilizado na selagem de trincas



Fonte: ODA (2000).

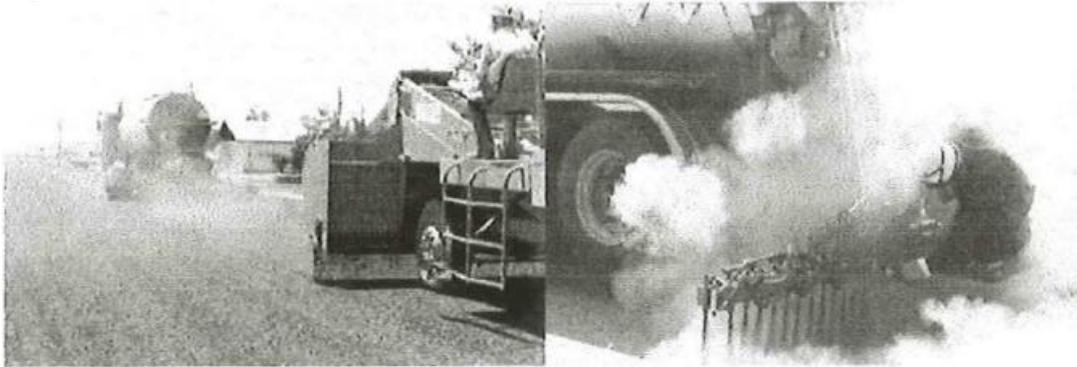
Fazendo um comparativo com selantes convencionais, pode-se observar que o selante com asfalto borracha dura cerca de 3 vezes mais. Os serviços feitos com asfalto-borracha podem ter um custo 50% maior do que os que são realizados

com asfalto convencional, mas, levando em conta o conjunto, custo e vida útil, pode-se verificar que os serviços realizados com asfalto-borracha são mais vantajosos.

b) SAM (*Stress Absorbing Membrane*)

É um tratamento superficial que utiliza o asfalto-borracha para prevenir ou retardar o aparecimento de trincas por flexão no pavimento. É realizada a partir da distribuição de uma camada de ligante asfalto-borracha (com cerca de 20% de borracha sobre a superfície existente seguido de uma camada de agregados espalhados sobre o ligante.

Figura 4 – Execução de um SAM



Fonte: ODA (2000).

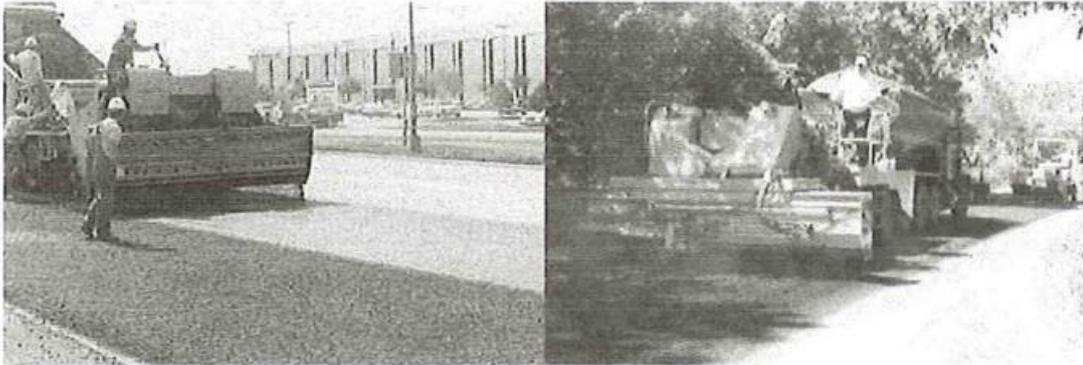
A distribuição é realizada de forma semelhante do ligante convencional onde é utilizado 2,7 l/m² de asfalto-borracha (diluído) e 19 kg/m² de agregado. As principais vantagens do asfalto-borracha em tratamentos superficiais estão na maior elasticidade e na maior susceptibilidade térmica o que gera uma maior resistência as tensões provocadas pelo tráfego (HEIZTMAN, 1992 aput ODA, 2000).

c) SAMI (*Stress Absorbing Membrane Interlayer*)

É uma camada de asfalto borracha aplicada entre a camada de CBUQ para diminuir o surgimento de fissuras e trincas causadas por flexão e reduzir a infiltração de água nas camadas inferiores. O SAMI é dividido em 2 tipos: um composto por duas camadas e outro composto por três camadas. O SAMI de duas camadas consiste no lançamento de SAMI entre o pavimento existente e a

camada de reforço de CBUQ. O SAMI de três camadas baseia-se em primeiro fazer uma camada de nivelamento com CBUQ, aplicação do SAMI e para finalizar uma camada de reforço de CBUQ. O SAMI de três camadas é efetuado em pavimentos com surgimento de trincas ou quando o recapeamento é realizado em pavimentos rígidos (HICKIS et al, 1995 aput ODA, 2000).

Figura 5 – Execução de um SAMI



Fonte: ODA (2000).

d) **Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ)**

O uso do ligante asfalto-borracha reduz o acúmulo da deformação permanente na trilha de rodas, as trincas por fadiga e as trincas por contração proveniente das variações térmicas (ODA, 2000 aput TAKALLOU e SAINTON, 1992). O teor de borracha utilizado varia de 5 a 25% do peso total do ligante. Segundo a tecnologia desenvolvida por Mc Donald o teor mínimo de borracha deve ser de 15% do peso total do ligante asfáltico. A principal diferença da produção do asfalto-borracha para o asfalto convencional está na mistura. A reação é realizada em caminhões ou em tanques, o ligante deve estar em uma temperatura entre 175° e 200°C quando a borracha for adicionada. O ligante asfáltico e a borracha são colocados em um misturador e transportados para o tanque de armazenamento para a reação. A agitação no tanque de reação é constante para manter a mistura dispersa. A temperatura no tanque é mantida entre 160° e 190°C, durante o tempo de reação, que será de no mínimo 30 minutos. A construção de pavimentos utilizando asfalto borracha é semelhante ao do asfalto convencional. A temperatura da mistura varia de 145° a 160°C, s temperatura do ligante é mais alta durante o lançamento, a compactação deve ser feita com o material ainda

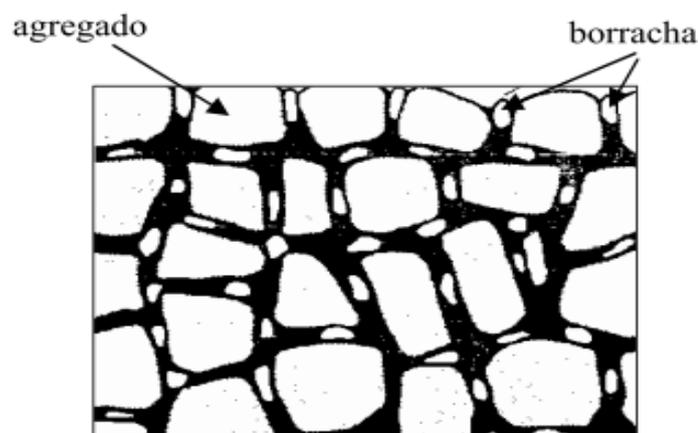
quente, pois, a viscosidade do asfalto borracha aumenta rapidamente (ODA, 2000).

O processo úmido tem sido pesquisado e testado amplamente em diversos países. Na Europa o asfalto-borracha é principalmente utilizado como ligante de concreto asfáltico poroso, pois aumenta a segurança em pista molhada e reduz significativamente o nível de ruídos (SAINTON,1990; RPA, 2000 apud SPECTH, 2004).

3.4.3 Processo seco

Neste processo a utilização do pó de pneu reciclado é incorporado ao agregado, funcionando assim como um aditivo. Pedacos sólidos de borracha são adicionados e substituem cerca de 5% dos agregados. São dois os principais métodos de adição de borracha de pneus em misturas asfálticas pelo processo a seco: a tecnologia *PlusRide* e o sistema genérico. Um dos processos de mistura a seco foi desenvolvido na Suécia e é conhecido como *PlusRide*. O tamanho das partículas de borracha utilizado varia ente 1,6 e 6,4 mm (KANDHAL, 1992; RPA, 1999 apud SPECTH, 2004).

Figura 6 – Ilustração de misturas com partículas de borrachas



Fonte: SPECTH (2004).

De acordo com Specth (2004), o tipo de asfalto utilizado pelo sistema *PlusRide* será o mesmo utilizado nas misturas convencionais. O que irá mudar é que as misturas modificadas de borracha utilizam uma quantidade maior de asfalto cerca de 1,5 a 2% o que pode retardar o envelhecimento e aumentar a resistência a trincas

por fadiga do revestimento. A tabela 1 apresenta as seguintes especificações do método *PlusRide*, recomendadas para diferentes níveis de tráfego.

Tabela 1 - Especificações recomendadas para misturas modificadas com borracha, para diferentes níveis de tráfego

Características	PlusRide®	PlusRide®	PlusRide®
	9*	12*	16*
Tráfego diário médio	< 2500	2500 – 10000	> 10000
Espessura mínima	0,75" (1,9 cm)	1,5" (3,8 cm)	1,75" (4,5 cm)
Agregado - % passando			
Peneiras			
3/4"	-	-	100
5/8"	-	100	-
1/2"	-	-	65-80
3/8"	100	60-80	50-60
1/4"	60-80	30-42	30-42
#10	23-38	19-32	19-32
#30	15-27	13-25	12-23
#200	7-11	8-12	6-10
Dosagem preliminar:			
Borracha, % do total			
em peso	3,0	3,0	3,0
em volume (aprox.)	6,7	6,7	6,7
Asfalto, % do total			
em peso	7,5	7,5	7,5
em volume (aprox.)	20,2	20,2	20,2
Vazios máximo (%)	2	3	4

* Diâmetro máximo do agregado.

Fonte: BERTOLLO (2002).

As partículas de borracha obtidas através do processo de trituração devem ter formato cúbico e não possuir fibras de tecidos e aço e deverá satisfazer a especificação de graduação conforme a tabela 2.

Tabela 2 - Especificações *PlusRide* para a borracha

Peneira	Porcentagem Passando
1/4"	100
#4	76-100
#10	28-42
#20	18-24

Fonte: BERTOLLO (2002).

Estudos apresentados por TAKALLOU et al. (1986) e TAKALLOU & HICKS (1988) mostram que as misturas modificadas com borracha produzidas pelo sistema *PlusRide* apresenta maior resistência a trincas por fadiga do que as misturas convencionais, além de apresentarem maior resistência ao trincamento térmico, pois as partículas de borracha absorvem as tensões, diminuindo a propagação de trincas.

Diferentemente do sistema *PlusRide* o sistema genérico utiliza as curvas granulométricas dos sistemas tradicionais (densa), onde a granulometria da borracha incorporada na mistura não pode exceder 2 mm (#10). A quantidade de borracha não pode exceder 2% para a camada de rolamento e 3% para a camada de ligação em relação ao peso total da mistura. Deve-se considerar diversos fatores, principalmente a forma com que a borracha triturada irá alterar as propriedades da mistura: no sistema *PlusRide* os agregados são substituídos pela borracha, já no sistema genérico o ligante também é modificado pois são usadas partículas de borracha ocorrendo a reação com o ligante no momento da compactação da mistura (BERTOLLO, 2002).

No sistema genérico as partículas finas reagem com o ligante e as partículas maiores atuam como agregado elástico no cimento asfáltico. Essa combinação que ocorre tanto com o ligante quanto com o agregado torna o pavimento mais resistente a fadiga e ao trincamento a baixas temperaturas (FHWA, 1993 apud BERTOLLO, 2002).

Nos dois sistemas a borracha é considerada como um agregado, sendo misturada ao agregado mineral e aquecida antes da adição do ligante. A porção de borracha que passa pela peneira 0,84 (#20) reage parcialmente com o ligante. Essa reação se torna mais evidente após ocorrer um aumento no volume da mistura (FHWA, 1993 apud BERTOLLO, 2002).

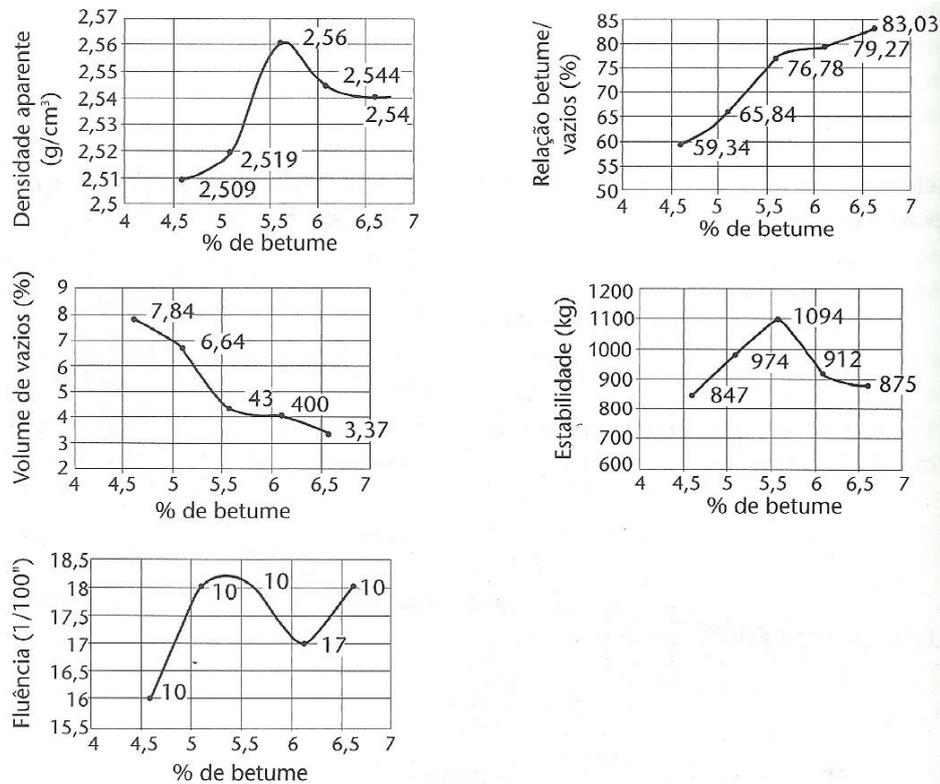
3.4.4 Métodos de Dosagem das Misturas Asfálticas

Pode-se dizer que a dosagem de misturas asfálticas é um processo realizado para produzir um material que ofereça condições mecânicas que possam suportar as cargas que o pavimento solicita, esse material não deve apresentar deterioração precoce. A dosagem de misturas asfálticas tem como objetivo: obter uma mistura trabalhável, obter uma mistura estável sob ação de cargas estáticas ou moveis, resultar em uma mistura pouco suscetível à deformação permanente (BALBO, 2007).

No Brasil a metodologia de dosagem mais utilizada é a de Marshall. Este método foi desenvolvido por Bruce G. Marshall. O método foi proposto para determinar a quantidade de ligante asfáltico que seria utilizado na composição das misturas betuminosas, utilizadas em serviços de pavimentação rodoviária. Durante a segunda guerra mundial os exércitos dos EUA estavam à procura de um método simples e eficiente para a produção e controle de qualidade das misturas asfálticas utilizadas na pavimentação das pistas de aeroportos militares. Após realizada comparação entre os métodos existentes optou-se pelo de Marshall, por ser rápido, simples, e relativamente eficiente. Após isso os estudos sobre este método foram ampliados, tornando este modelo de dosagem internacionalmente conhecido e utilizado (SPECHT, 2004).

De acordo com Faxina (2002), os parâmetros determinados na dosagem Marshall são: estabilidade Marshall (EM), fluência Marshall (FM), densidade aparente (D_a), densidade máxima teórica (D_t), volume de vazios (V_v), vazios do agregado mineral (VAM) e relação betume-vazios (RBV).

Figura 7 - Exemplo de determinação de índices Marshall

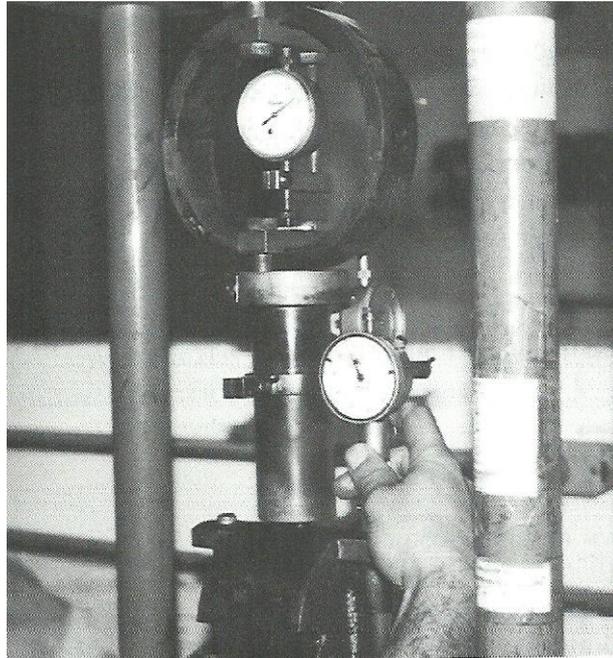


Fonte: BALBO (2007)

O ensaio Marshall fornece curvas de fluência, volume de vazios, densidade aparente, relação betume-vazios e estabilidade em função dos teores de ligantes asfálticos, conforme a figura (FAXINA, 2002).

O procedimento do método consiste em: molda-se uma serie de corpos de prova com diferentes teores de ligantes, depois são armazenados em moldes cilíndricos metálicos ao ar livre e por 24 horas, em seguida os corpos de prova são imersos num banho de 60°C de temperatura sendo a seguir retirados do banho e, imediatamente, submetidos a compressão. O valor da carga máxima suportada pelos corpos de prova é conhecido como estabilidade Marshall e a deformação de ruptura de fluência (SPECTH, 2004).

Figura 8 - Prensa Marshall



Fonte: BALBO (2007)

3.4.5 Custos Envolvidos na Pavimentação

Pode-se definir como orçamento uma estimativa monetária associada ao planejamento de uma empresa, onde são estabelecidos metas e objetivos a serem cumpridos em determinado período e serão apresentados todos os custos (BROOKSON, 2000).

De acordo com o Manual de custos rodoviários do DNIT (2003) o orçamento de obras rodoviárias é o resultado de um conjunto de quantitativos de serviços extraídos de projetos e as composições de preços unitários de serviço. Um dos diferenciais dos custos de obra de uma rodovia é que os materiais necessários não estão disponíveis próximos do local da obra, por este motivo os dados do projeto devem indicar as distâncias médias de transporte (DMT) dos materiais que serão utilizados nos serviços. Os materiais mais utilizados em obras rodoviárias de pavimentação que necessitam de indicação de DMT para o cálculo de orçamento são:

- Brita
- Macadame Seco
- Areia para revestimento asfáltico
- CBUQ, PMQ ou PMF (massa asfáltica)

- Materiais asfálticos: Transporte a quente e a frio

O pavimento é construído logo após o término da terraplanagem com colocação das camadas de reforço do sub-leito, base e revestimento. As camadas de pavimento a medida que se aproximam da superfície de rolamento são formadas por materiais mais selecionados, portanto mais caros.

O projeto rodoviário deve obrigatoriamente considerar os custos de instalação da rodovia, os custos de manutenção e os custos de operação (NETO, 2002). De acordo com Huber (1998), os custos de construção rodoviária são obtidos a partir da composição de vários custos parciais, que são eles:

- Custo horário de equipamentos: para cada etapa de uma obra rodoviária há a necessidade da utilização de equipamentos específicos.
- Custos de materiais: custos dos materiais necessários para a realização do serviço.
- Custo de mão-de-obra: custo dos profissionais necessários para a construção da obra rodoviária.

3.4.6 Sistemas de Levantamento de Custos da Pavimentação

No Brasil a maioria das obras rodoviárias são contratadas por órgãos públicos, e estes já possuem sistemas com preços básicos, que são apresentados nos editais de concorrência (HUBER, 1998).

Os sistemas operacionais utilizados para a determinação dos custos médios dos insumos para obras rodoviárias são: Sistema de Gerenciamento de Custos de Obras da Infraestrutura (GECOI), Sistema de Custos Rodoviários (SICRO) e o Sistema de custos e Orçamento (SCO). A base desses sistemas é a gerência de um banco de dados, de insumos, que abastecem as composições unitárias de serviço (PEDROZZO, 2001).

O GECOI é um sistema completo para levantamento de custos de grandes obras. Sua maior aplicação se dá em obras de rodovias, ferrovias, vias urbanas, obras portuárias e hidráulicas. A execução do orçamento é feita a partir de informações dos dados gerais da obra. Quando cadastrada a planilha de orçamento deve emitir um relatório. Este relatório contém duas listagens que devem ser seguidas para a execução do orçamento. A primeira contém todos os dados dos insumos utilizados

como data do cadastramento e espaço para preenchimento do valor atualizado do insumo. A segunda contém uma sequência de processamentos para que, caso o preço do insumo seja alterado uma série de custos sejam recalculados tais como: mão de obra e de equipamentos, produção de equipes mecânicas e planilhas de transporte. A utilização do GECOI de forma geral resulta em uma alta produtividade de orçamento (HUBER, 1998).

Os Sistemas de custos e orçamentos (SCO) é um gerenciador de dados de insumos e serviços com suas respectivas composições unitárias, e que constituem a tabela de preços e orçamento de obras rodoviárias (NETO, 2002).

3.4.7 Sistema SICRO

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) é um órgão que foi implantado em fevereiro de 2002 visando a substituição do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). O DNIT administra os sistemas de custos rodoviários – SICRO que foi desenvolvido e implantado pelo extinto DNER (SANTANA, 2006).

A tabela 3 apresenta os principais marcos associados ao desenvolvimento dos sistemas de custos do extinto DNER e do atual DNIT.

Tabela 3 - Evolução do sistema de custos

Ano	Principais Marcos Históricos
1946	Início da elaboração das primeiras tabelas de preços referenciais
1963	Implantação da Tabela Geral de Preços
1972	Lançamento do Manual de Composições de Custos Rodoviários
1980	Atualização e complementação do Manual de Composições de Custos Rodoviários
1982	Início da utilização da Tabela UNAS - Unidade Assessorial/DG, com pesquisa de preços realizada apenas no município do Rio de Janeiro - RJ
1990	Desativação da Tabela UNAS
	Organização da Gerência de Custos Rodoviários - GEC
1992	Criação e lançamento do Sicro 1 - Sistema de Custos Rodoviários
	Início da expansão da pesquisa de preços para outros estados
1993	Regionalização da pesquisa de preços do Sicro 1
1998	Lançamento do Sicro 2 - Sistema de Custos Rodoviários
2000	Implantação do Sicro 2
2003	Publicação do Manual de Custos Rodoviários do Sicro 2
	Criação da Coordenação-Geral de Custos de Infraestrutura de Transportes
2006	Início do Projeto SINCTRAN (Termo de Cooperação celebrado com o Centro de Excelência em Engenharia de Transportes - CENTRAN / Departamento de Engenharia de Construção do Exército Brasileiro - DEC/EB)
2011	Término do Termo de Cooperação com o DEC/EB
2012	Contratação da Fundação Getúlio Vargas para revisão do SICRO e realização da pesquisa nacional de preços de insumos
2013	Divulgação das tabelas de preços do Sicro 2 para todas as unidades da federação
2014	Instauração da Câmara Técnica do SICRO
2015	Criação das Coordenações Setoriais de Custos Referenciais - CCR, de Preços Novos - CPN e de Orçamentos de Infraestrutura - COI
2017	Implantação do SICRO

Fonte: DNIT (2017)

O SICRO atualmente é o referencial básico para estimação dos custos rodoviários. A sua finalidade é padronizar os orçamentos de obras rodoviárias. O sistema SICRO separa os custos para cada região do Brasil, assim temos custos para região Norte, Nordeste, Sudeste, Centro-Oeste e Sul (HUBER, 1998).

Os serviços rodoviários são descritos no sistema pelo quantitativos necessários de equipamentos, materiais e mão de obra para a execução de uma unidade de serviço. Os preços no sistema são mensalmente pesquisados e atualizados. O SICRO também fornece informações detalhadas sobre serviços de

pavimentação, serve como principal referência para estimativa de custos e orçamentos rodoviários no Brasil (SANTANA, 2006).

4 METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados os ensaios laboratoriais e o estudo de a viabilidade técnica e econômica entre as misturas convencionais e misturas com adição de borracha de pneu que será realizado nesse trabalho. A viabilidade técnica financeira será avaliada através de ensaios em laboratórios e planilhas orçamentarias. O orçamento dos processos construtivos será considerado através de composição de preços da SICRO – Sistema de Custos Rodoviários do ano de 2018. Os ensaios darão origem a análise comparativa entre o asfalto modificado com borracha de pneu moído e o asfalto convencional. A borracha que será utilizada no trabalho é resultado do processo de recapagem de pneus, serão recolhidas em Porto Nacional – TO e encaminhadas para o laboratório do ITPAC-PORTO, onde serão ensaiadas.

Figura 9 - Local de ensaio das amostras



Fonte: Autor (2018)

4.1 MATERIAIS

Os materiais que serão utilizados no desenvolvimento do trabalho são:

- Cimento asfáltico de petróleo (CAP 50/70)
- Borracha de pneu moído

- Agregado graúdo
- Agregado miúdo

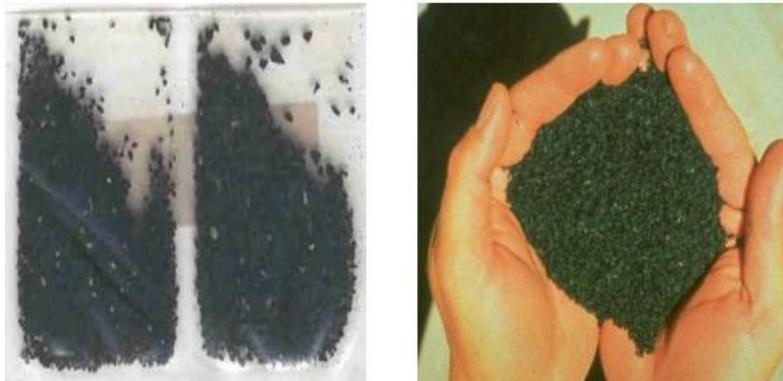
Foi escolhido o cimento asfáltico de petróleo (CAP 50/70) devido ao fato de ser o tipo de asfalto mais utilizado em pavimentos flexíveis.

Os agregados devem utilizar como referência a faixa “C” do DNIT 031/2006-ES, que se refere a faixa granulométrica do material utilizado em capa de rolamento.

De acordo com Bertollo (2002), o sistema genérico de adição de borracha utiliza curvas granulométricas densas onde as partículas de borracha são incorporadas com diâmetro máximo de 2,00 mm (#10).

Após a coleta da borracha de pneu proveniente do processo de recapagem será realizado a retirada de impurezas, para que depois seja realizado o processo de trituração da borracha.

Figura 10 - Borracha de pneu triturada



Fonte: CORDEIRO (2006)

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Caracterização dos Agregados

4.2.1.1 Abrasão Los Angeles (DNER ME 35/98)

A abrasão Los Angeles é o desgaste sofrido pelo agregado, quando colocado na máquina “Los Angeles” juntamente com uma carga abrasiva é submetido a rotações a uma velocidade de 30 rpm a 33 rpm. O desgaste é convencionalmente

expresso pela porcentagem, em peso, do material que passa, após o ensaio, pela peneira de malhas quadradas de 1,7 mm.

4.2.1.2 Determinação da densidade de agregado graúdo

De acordo com a norma DNER – ME 081/94 são estabelecidos procedimentos para determinação da densidade aparente de agregado graúdo.

4.2.1.3 Determinação da densidade do agregado miúdo

De acordo com a norma DNER – ME 084/95 são estabelecidos procedimentos para determinação da densidade aparente de agregado miúdo.

4.2.1.4 Análise granulométrica dos agregados

Será realizada através do processo de peneiramento mecânico descrito na norma DNER – ME 083/98.

O ensaio consiste em secar a amostra em estufa e realizar o peneiramento em uma série de peneiras que serão agitadas por um agitador mecânico. Em sequência o material retido em cada peneira é pesado. Depois de pesado soma-se as massas retidas em cada peneira e compara-se esse total com a massa inicial da amostra seca.

4.2.1.5 Adição da borracha ao agregado

No processo seco, o agregado é aquecido até 200°C, após isso a borracha é adicionada e misturada por 15 segundos até virar uma mistura homogênea agregado-borracha. Em seguida o ligante betuminoso é adicionado a esta mistura por meio de processos convencionais de usinagem (VISSER & VERHAE, 2000 apud PILATIS, 2004).

Neste processo é adicionado de 3 a 5% de borracha em relação a massa total dos agregados minerais, com partículas que variam de 1,6 a 6,4 mm (FAXINA, 2002 apud PILATIS, 2004).

4.2.2 Ensaio das misturas asfálticas

Para a realização do estudo em questão serão realizados alguns ensaios laboratoriais para a determinação de características determinantes para a comparação do asfalto modificado com pneu moído com asfalto convencional. Na execução deste comparativo será ensaio de estabilidade e fluência Marshall.

Para este trabalho serão confeccionados corpos de prova contendo diferentes teores de borracha. A porcentagem de borracha para cada corpo de prova em relação ao teor total de agregado mineral será de 3, 4, 5 e 6%.

4.2.2.1 Ensaio de estabilidade e fluência Marshall

Para ser verificado as propriedades dos corpos de prova será realizado o ensaio de estabilidade e fluência Marshall. De acordo com a norma DNER-ME 043/95 a estabilidade é a resistência máxima à compressão radial apresentada pelo corpo de prova, em N (Kgf), enquanto fluência é a deformação total apresentada pelo corpo de prova, desde a aplicação da carga inicial nula até a aplicação da carga máxima, expressa em décimos de milímetros.

O ensaio se inicia quando os corpos de prova são imersos em banho maria a uma temperatura de 60°C por um período de 30 a 40 minutos, em seguida o corpo de prova é colocado em um molde de compressão, o molde então é colocado na prensa e o medidor de fluência é ajustado na posição do ensaio, após isso o corpo de prova é submetido a uma compressão diametral, aplicada por uma prensa. O valor de carga máxima suportada pelo corpo de prova é denominado estabilidade Marshall e a deformação de ruptura de fluência.

5 CRONOGRAMA

Quadro 1 - Cronograma do projeto de pesquisa

ETAPAS	Ano 2018				Ano 2019				
	Ago	Set	Out	Nov	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
ESCOLHA DO TEMA DO PROJETO DE PESQUISA	X								
SELEÇÃO DO PROFESSOR ORIENTADOR	X								
SELEÇÃO DOS ARTIGOS PARA O PROJETO DE PESQUISA	X	X	X						
ELABORAÇÃO DOS PROJETOS DE PESQUISA	X	X	X						
ENTREGA DO PROJETO DE PESQUISA				X					
APRESENTAÇÃO DO PROJETO PARA A BANCA EXAMINADORA				X					
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	X	X	X	X	X	X	X	X	X
COLETA DE DADOS					X	X			
INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS							X	X	
REDAÇÃO DO ARTIGO						X	X	X	
REVISÃO E ENTREGA FINAL DO TRABALHO									X
APRESENTAÇÃO DO ARTIGO PARA A BANCA EXAMINADORA									X

Fonte: Desenvolvida pelo autor (2018)

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projeto e restauração.- São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI et al., **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. – Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2008.

BERTOLLO, Sandra A. Margarida. **Avaliação laboratorial de misturas asfálticas densas modificadas com borracha reciclada de pneus**. 2002. 198f. Tese (Doutorado em Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

BROOKSON, S. **Como elaborar orçamentos**. Tradução: Luís Reys Gil e Tiago Trajan. São Paulo: Publifolha, 2000. Título original: Managing Budgets.

CEMPRE. **O mercado para reciclagem**. Disponível em <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/7/pneus>>. Acesso em 24 de outubro de 2018.

CHAVES, Franklin José. **Estudo de misturas de areia asfalto a frio em pavimentação de baixo volume de tráfego no Estado do Ceará – Contribuição ao método de dosagem**. 2010. 378f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

CORDEIRO, Cap William Rubbioli. **Comportamento de concretos asfálticos projetados com cimento asfáltico modificado por borracha de pneus**. 2006. 233f. Tese (Mestrado em Ciências em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM., DNER-ME 035/98 **Agregados – Determinação da abrasão “Los Angeles”**. Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM., DNER-ME 043/95 **Misturas betuminosa a quente – Ensaio Marshall**. Rio de Janeiro, 1995.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM., DNER-ME 081/98 **Agregados – Determinação da absorção e da densidade do agregado graúdo**. Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM., DNER-ME 083/98 **Agregados – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 1998

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM., DNER-ME 084/95 **Agregado miúdo – Determinação da densidade real**. Rio de Janeiro, 1995.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES., DNIT – ES 146/2012 **Pavimentação asfáltica – Tratamento superficial simples – Especificação de Serviço**. Rio de Janeiro, 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES., DNIT – ES 147/2012 **Pavimentação asfáltica – Tratamento superficial duplo – Especificação de Serviço**. Rio de Janeiro, 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES., DNIT – ES 148/2012 **Pavimentação asfáltica – Tratamento superficial triplo – Especificação de Serviço**. Rio de Janeiro, 2012.

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

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES., DNIT – ES 035/2004 **Pavimentos flexíveis – Micro revestimento asfáltico a frio com emulsão modificada por polímero – Especificação de Serviço**. Rio de Janeiro, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES., DNIT – ES 031/2006 **Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de Serviço**. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES., **Manual de custos rodoviários**. V.3, Rio de Janeiro, 2003.

FAXINA, Leandro Adalberto. **Estudo em laboratório do desempenho de concreto asfáltico usinado a quente empregando ligante tipo asfalto-borracha**. 2002. 269f. Tese (Mestrado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

HUBBER, Nelso Lucio. **Um estudo sobre os processos de estimação de custos e de formação de preços em empresas de construção rodoviária**. 1998. 108f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

MOURÃO, Fabricio Augusto Lago. **Misturas asfálticas de alto desempenho tipo SMA**. 2003. 131f. Tese (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

NETO, Julio Pacheco Monteiro. **Um modelo teórico para estruturação de um sistema de informações para controle e acompanhamento da manutenção de uma malha rodoviária**. 2002. 117f. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

ODA, Sandra. **Análise da viabilidade técnica da utilização do ligante asfalto-borracha em obras de pavimentação**. 2000. 280f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

PEDROZZO, Lúcia Gonçalves. **Custos da infraestrutura rodoviária: análise e sistematização**. 2001. 183f. Tese (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

PILATI, Fernanda. **Análise dos efeitos da borracha moída de pneu e do resíduo de óleo xisto sobre algumas propriedades mecânicas de misturas asfálticas densas**. 2008. 212f. Tese (Mestrado em Engenharia de transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

SANTANA, Luiz Antônio Ferreira. **Proposta de composição de custos unitários e de orçamentos de serviços em vias não pavimentadas**. 2006. 131f. Tese (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

SENÇO, Wlastermiler. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2001.

SEST SENAT. **Cerca de 450 mil toneladas de pneus são descartados por ano no Brasil**. Disponível em <<http://www.sestsenat.org.br/imprensa/noticia/cerca-de-450-mil-toneladas-de-pneus-sao-descartados-por-ano-no-brasil>>. Acesso em 24 de outubro de 2018.

SPECHT, Luciano Pivoto. **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus**. 2004. 280f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

TAKALLOU, B. H.; HICKS, R. G. **Development of improvement mix and construction guidelines for rubber-modified asphalt pavements**. Transportation Research Record. Washington, n. 1339, p.23-29. 1992.

