

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Luísa Lawall

**ESTUDO LABORATORIAL DE MISTURAS ASFÁLTICAS COM DIFERENTES  
TIPOS DE LIGANTE**

Santa Cruz do Sul

2019

Luísa Lawall

**ESTUDO LABORATORIAL DE MISTURAS ASFÁLTICAS COM DIFERENTES  
TIPOS DE LIGANTE**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia Civil, do Departamento de Engenharia, Arquitetura e Ciências Agrárias, da Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Campus Santa Cruz do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de graduação em engenharia civil.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Ma. Thaís Radünz Kleinert

Santa Cruz do Sul  
2019

## RESUMO

No decorrer desses últimos anos com o tráfego de veículos cada vez maior e das cargas exercidas sobre os pavimentos asfálticos tendo seus valores ultrapassados. Novas pesquisas foram sendo desenvolvidas e empresas de asfalto foram buscando novas técnicas para poder melhorar a qualidade, desempenho e a resistência do asfalto. Dentre essas melhorias vem se destacando a adição de modificadores de asfalto, que através deles espera-se adquirir uma melhor durabilidade ao pavimento. Tendo em vista a importância desses materiais, o objetivo do presente estudo foi analisar o comportamento mecânico das misturas asfálticas com diferentes tipos de ligantes. Para isso foram definidos três tipos de ligantes: asfalto convencional, asfalto borracha e asfalto modificado com polímero. Foi realizada a caracterização dos mesmos e dentre os ensaios mecânicos analisados estão o marshall, o de resistência à tração por compressão diametral e o módulo de resiliência. Com os resultados obtidos pode-se concluir que os ligantes utilizados nas misturas asfálticas melhoraram o comportamento e auxiliaram no aumento da resistência dessas misturas. O asfalto com polímero se destacou no módulo de resiliência, o qual representa a realidade do tráfego de veículos e os efeitos que eles causam sobre a camada de revestimento.

**Palavras-chave:** pavimentação, misturas asfálticas, ligantes asfálticos.

## LISTA DE LUSTRAÇÕES

Figura 1-Distribuição de pressões no pavimento rígido.....	14
Figura 2-- Distribuição de pressões no pavimento flexível .....	15
Figura 3- Estrutura típica de um pavimento flexível.....	16
Figura 4- CAP 50/70.....	23
Figura 5- Fluxograma de reaproveitamento dos pneus .....	25
Figura 6- Esquema de produção de mistura asfáltica com utilização de borracha.....	28
Figura 7- Mistura asfáltica com asfalto borracha após a compactação .....	28
Figura 8- Polímero SBS.....	31
Figura 9- Delimitação da pesquisa .....	33
Figura 10- Porcentagem de granulometria.....	36
Figura 11- Ensaio de recuperação elástica .....	39
Figura 12- Ensaio de recuperação elástica .....	40
Figura 13- Ensaio de penetração .....	41
Figura 14- Ensaio de anel e bola .....	42
Figura 15- Ensaio de anel e bola .....	42
Figura 16- Preparação para moldagem dos CP's .....	43
Figura 17- Moldagem dos CP's .....	44
Figura 18- CAP 50/70 sendo retirado da usina.....	44
Figura 19- Ensaio marshall.....	45
Figura 20- Ensaio de resistência à tração .....	47
Figura 21- Ensaio de módulo de resiliência.....	48
Figura 22- Gráfico comparativo de vazios entre os tipos de asfaltos analisados .....	53
Figura 23- Gráfico comparativo de estabilidade para os três tipos de asfalto analisados.....	54
Figura 24- Gráfico comparativo de fluência para os três tipos de asfalto analisados.....	55
Figura 25- Médias dos resultados de resistência à tração para os três tipos de asfalto analisados .....	56

**Figura 26– Médias dos resultados do módulo de resiliência para os três tipos de asfalto analisados .....57**

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1-Tipos de rocha para uso como fonte de agregados para uso na pavimentação .....</b>	<b>19</b>
<b>Tabela 2-Especificações do CAP .....</b>	<b>23</b>
<b>Tabela 3– Especificações do Asfalto Borracha .....</b>	<b>29</b>
<b>Tabela 4– Especificações do Asfalto modificado com polímero .....</b>	<b>31</b>
<b>Tabela 5– Faixa granulométrica "C" para asfalto convencional .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabela 6– Faixa granulométrica "C" para asfalto modificado com polímero.....</b>	<b>35</b>
<b>Tabela 7– Faixa granulométrica "C" para asfalto borracha.....</b>	<b>36</b>
<b>Tabela 8– Caracterização dos ligantes.....</b>	<b>50</b>
<b>Tabela 9– Resultados ensaio Marshall do asfalto convencional .....</b>	<b>52</b>
<b>Tabela 10– Resultados ensaio Marshall do asfalto borracha.....</b>	<b>52</b>
<b>Tabela 11– Resultados ensaio Marshall do asfalto com polímero.....</b>	<b>52</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS

CNT - Confederação Nacional do Transporte  
ABEDA - Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto  
DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes  
CAP - Cimento Asfáltico de Petróleo  
CH - Materiais Betuminosos Compostos por Hidrocarbonetos  
CAN - Materiais Betuminosos Originados de Petróleos por Destilação Natural  
ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis  
ADP - Asfaltos Diluídos de Petróleo  
NTA - Novas Técnicas de Asfalto  
ABCR - Associação Brasileira de Captadores de Recursos  
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente  
DAER - Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem  
UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
SBR - Borracha de Estireno Butadieno  
SBS - Copolímero Estireno Butadieno  
EVA - Copolímero de Etileno e Acetato de Vinila  
RET - Terpolímero Elastomérico Reativo  
SIS - Estireno Isopreno Estireno  
EPDM - Etileno Propileno  
PVC - Cloreto de Polivinila

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	11
1.1 Problema da pesquisa.....	11
1.2 Questão da pesquisa .....	12
1.3 Objetivos .....	12
1.3.1 Objetivo Geral .....	12
1.3.2 Objetivos específicos.....	12
1.4 Justificativa.....	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1 PAVIMENTO .....	13
2.1.1 CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS.....	13
2.1.1.1 PAVIMENTO RÍGIDO.....	13
2.1.1.2 PAVIMENTO FLEXÍVEL.....	14
2.1.2 ESTRUTURA DE UM PAVIMENTO .....	15
2.2 AGREGADOS .....	18
2.3 MATERIAIS ASFÁLTICOS.....	20
2.3.1 ASFALTO .....	20
2.3.1.1 CIMENTOS ASFÁLTICOS .....	20
2.3.1.1.1 CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO (CAP).....	21
2.3.1.2 ASFALTOS MODIFICADOS .....	24
2.3.1.2.1 ASFALTOS MODIFICADOS COM BORRACHA MOÍDA DE PNEU .....	24
2.3.1.2.2 ASFALTOS MODIFICADOS COM POLÍMEROS.....	29
3. METODOLOGIA.....	32
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA .....	32
3.2. ÁREA DE REALIZAÇÃO DA ANÁLISE .....	32

3.3. DELIMITAÇÕES.....	32
3.4. DELIAMENTO DA PESQUISA.....	33
3.5. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS .....	34
3.5.1. Agregados utilizados .....	34
3.5.1. Ligantes utilizados e suas dosagens.....	37
3.6. ENSAIOS PARA A COLETA DE DADOS .....	38
3.6.1. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS LIGANTES .....	38
3.6.1.1. Recuperação elástica.....	38
3.6.1.2. Penetração .....	40
3.6.1.3. Ponto de amolecimento.....	41
3.6.2. ENSAIOS DE COMPORTAMENTO MECÂNICO.....	43
3.6.2.1. Moldagem dos corpos de prova .....	43
3.6.2.2. Ruptura marshall .....	45
3.6.2.3. Resistência à tração por compressão diametral.....	46
3.6.2.4. Módulo de resiliência.....	47
3.7. ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES .....	49
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	50
4.1. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO .....	50
4.1.1. Recuperação elástica .....	50
4.1.2. Penetração .....	51
4.1.3. Ponto de amolecimento.....	51
4.2. ENSAIOS DE COMPORTAMENTO MECÂNICO.....	52
4.2.1. Ensaio marshall.....	52
4.2.2. Resistência à tração por compressão diametral.....	55
4.2.3. Módulo de resiliência.....	56
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	60

ANEXOS .....66

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Problema da pesquisa

A principal matéria prima para produção de asfalto é o petróleo, considerado o mais econômico e com maior pureza. O asfalto que se utiliza hoje, portanto, é um dos constituintes do petróleo, obtido através do processo de destilação, em que elementos como o diesel, a querosene e a gasolina são separados através do processo de vaporização, fracionamento, condensação e no final é destilado a vácuo (BETUSEAL, 2014).

Durante muito tempo, pesquisadores estão tentando descobrir novas formas de aperfeiçoar a composição do asfalto e torná-lo assim, mais adequado a atender as necessidades da população, tanto na qualidade como ecologicamente. Isso somente é possível através da adição de modificadores de asfalto, tais como: polímeros e borrachas, os quais ao longo dos anos vêm se tornando cada vez mais significativos (BERNUCCI et al, 2008).

Conforme Leite (1999), para elevar a resistência, o Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) pode sofrer adições de asfaltos naturais. Atualmente, as modificações que estão sendo mais utilizadas são as do uso de polímeros e de borracha de pneu.

Segundo a Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto – ABEDA (2019), o asfalto modificado por polímeros resulta em asfaltos com propriedades superiores aos asfaltos convencionais, principalmente para minimizar os tipos mais frequentes de falha dos pavimentos, como a deformação permanente e o trincamento por fadiga, proporcionando assim maior vida útil aos revestimentos asfálticos.

Conforme Pinheiro e Soares (2005), ao longo desses últimos anos, os Estados Unidos e também vários outros países da Europa vêm adicionando borracha moída de pneu em ligantes asfálticos, buscando melhorar a flexibilidade e uma maior resistência ao asfalto e também ao envelhecimento e menor suscetibilidade térmica, trazendo melhores condições de trafegabilidade durante toda a vida útil do pavimento.

## **1.2 Questão da pesquisa**

Qual o comportamento mecânico das misturas asfálticas com os seguintes ligantes: asfalto convencional, asfalto borracha e asfalto modificado com polímero?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem como objetivo geral verificar o efeito do tipo de ligante no comportamento mecânico de misturas asfálticas.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

O objetivo específico deste trabalho é:

- definir e caracterizar os ligantes de estudo;
- analisar se os tipos de ligantes utilizados interferem no comportamento das misturas.

## **1.4 Justificativa**

Tendo em vista que a malha rodoviária está se deteriorando cada vez mais rápido e que as estruturas antigas não suportam mais o volume intenso do tráfego, soluções com grande importância e apresentando resultados satisfatórios foram sendo desenvolvidas ao longo dos anos. Através dessas novas soluções, como por exemplo, o uso de borracha e também o uso de polímero como adição em misturas asfálticas, foi desenvolvido este estudo com três diferentes tipos de misturas para verificar as características técnicas de cada uma e também seus comportamentos mecânicos.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 PAVIMENTO**

O Manual de Pavimentação do DNIT (2006) define pavimento de uma rodovia como uma superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras variadas, assentes sobre um semi-espaço considerado teoricamente como infinito – a infraestrutura ou terreno de fundação, a qual é designada de subleito.

Pavimento rodoviário poderia ser definido como:

Uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança (BERNUCCI et al., 2008, p. 9).

Conforme Baldo (2007) afirma, a estrutura de um pavimento rodoviário é composta por diversos materiais compactados em camadas sobrepostas, que são adaptadas para atender estruturalmente e operacionalmente ao tráfego, de uma maneira mais durável e com uma economia de custos.

#### **2.1.1 CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS**

Os pavimentos podem ser classificados em dois tipos conforme afirma Bernucci et al. (2006): Pavimento Flexível e Pavimento Rígido.

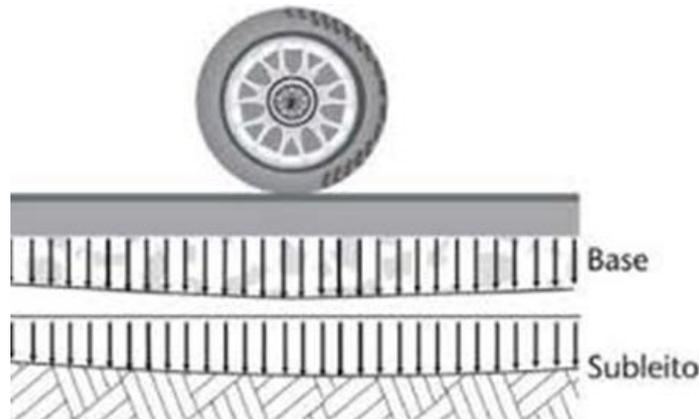
##### **2.1.1.1 PAVIMENTO RÍGIDO**

Os pavimentos rígidos demonstram ser mais eficientes na camada de revestimento, a qual absorve a maior parte das solicitações impostas à estrutura. Um exemplo poderia ser os pavimentos de concreto, os quais tem sua superfície constituída por placas de concreto de cimento Portland (BERNUCCI et al, 2008).

Em relação à distribuição dos esforços, Balbo (2007) menciona que os pavimentos rígidos demonstram igualdade na distribuição do campo de tensões,

sendo este gradualmente separado por toda a placa. Deste modo, o subleito receberá pressões bem mais reduzidas, conforme demonstra a Figura 1.

**Figura 1-Distribuição de pressões no pavimento rígido**



Fonte: Balbo (2007, p.47).

### 2.1.1.2 PAVIMENTO FLEXÍVEL

Conforme o Manual de pavimentação do DNIT (2006), os pavimentos flexíveis são aqueles que todas as camadas sofrem deformações elásticas após a aplicação de uma força, deste modo ocorrendo então proporcionalmente à distribuição das cargas entre elas.

Já para Senço (2007), os pavimentos flexíveis são aqueles que as deformações até determinado ponto não levam ao rompimento. São dimensionados geralmente à compressão e à tração na flexão, que são causadas devido ao surgimento de bacias de deformação sob as rodas dos veículos, e com isso levam a estrutura a deformações permanentes e também ao rompimento por fadiga.

Nesta estrutura de pavimento, o local das tensões é localizado no ponto de aplicação do carregamento com pressões concentradas (BALBO,2007), conforme ilustrado na Figura 2. As camadas deste tipo de pavimento não trabalham à tração, sendo de melhor qualidade e melhor capacidade de suporte as camadas que tem mais proximidade com a aplicação das cargas, ou seja, as camadas superiores.

**Figura 2— Distribuição de pressões no pavimento flexível**



Fonte: Balbo (2007, p.47).

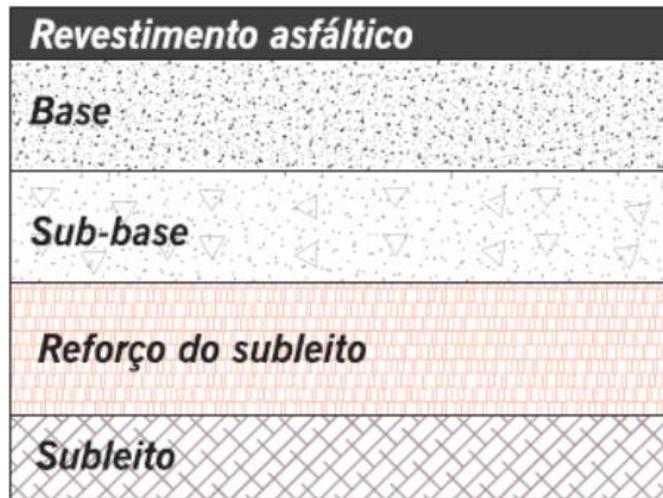
### **2.1.2 ESTRUTURA DE UM PAVIMENTO**

A função da estrutura de um pavimento é receber e também transmitir os esforços entre suas camadas, aliviando as pressões entre as camadas abaixo que, geralmente, são as menos resistentes. O comportamento estrutural de cada camada depende da sua espessura, rigidez e da interação delas entre si. Dessa forma, Balbo (2007) defende que “cada camada do pavimento possui uma ou mais funções específicas, que devem proporcionar aos veículos as condições adequadas de suporte e rolamento em qualquer condição climática.”.

Além de resistir ao esforço vertical, o pavimento deverá resistir aos esforços horizontais que são existentes no pavimento. Para melhor atender a essa questão, um estudo do solo e das solicitações deverá ser realizado para que o projeto e a obra resistam e atendam a todas essas solicitações e tenha assim uma maior durabilidade (ROSSI, 2017).

Segundo Balbo (2007) o pavimento é composto pelas seguintes camadas: revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e subleito, conforme mostra a Figura 3.

**Figura 3– Estrutura típica de um pavimento flexível**



Fonte: Bernucci et al. (2006)

- **Subleito:** é a camada de fundação do pavimento, geralmente constituído de material consistente do local original, ou por um material trazido de outro local e compactado.
- **Reforço do Subleito:** é uma camada construída de espessura constante, e se necessário, fica logo sobre o subleito devidamente compactado e regularizado, com maiores características do que às do subleito e menores que às da camada de sub-base (DNIT, 2006).
- **Base e Sub-base:** as camadas de base e sub-base servem para aliviar as pressões sobre as camadas inferiores do pavimento, além de atuar na drenagem subsuperficial do mesmo. Geralmente, quando a camada de base exigida para desempenhar essas funções no pavimento é muito espessa, procura-se por motivos econômicos dividi-la em duas camadas, assim cria-se uma sub-base (BALBO, 2007).

Segundo Senço (2007) as bases podem ser classificadas em rígidas e flexíveis. As bases rígidas podem ser feitas de:

- Concreto de cimento: mistura de agregados, areia, cimento e água, conforme o projeto;

- Macadame de cimento: formado de agregado graúdo, onde os vazios são preenchidos por um material de granulometria mais fina misturado com cimento;
- Solo cimento: mistura de solo, cimento e água, com proporções previamente determinadas.

As bases flexíveis, por sua vez, podem ser feitas de:

- Base de solo estabilizado granulometricamente: é formada de solo com características específicas, como a granulometria, o limite de liquidez e o índice de plasticidade, que são especificados antecipadamente;
  - Base de macadame hidráulico: constituída de uma ou mais camadas de pedra britada, em que o material de enchimento é introduzido com o auxílio de água;
  - Base de brita graduada: mistura de agregados previamente dosados, contendo material de enchimento, água e cimento, devendo ser feitas em usinas;
  - Base de macadame betuminoso: superposição de camadas de agregados por pinturas de material betuminoso, com o número de camadas definido a partir do projeto.
- 
- **Revestimento:** o revestimento é a camada que recebe diretamente todas as cargas dos veículos, sem sofrer grandes deformações elásticas ou plásticas, desagregação de componentes ou perda de compactação. Para isso, o revestimento precisa ser composto por materiais bem organizados e que atendam a essas condições (BALBO, 2007).

Para Bernucci et al. (2008), o revestimento é uma mistura de agregados minerais, de diferentes tamanhos e formas, com ligantes asfálticos que, adequadamente proporcionada e processada, garante assim para a estrutura impermeabilidade, flexibilidade, estabilidade, durabilidade, resistência à derrapagem, resistência à fadiga e ao trincamento térmico, de acordo com o clima e o tráfego previstos para o local.

Senço (2007) define revestimento como a camada impermeável, que diretamente sofre a ação do tráfego e deve garantir conforto, segurança e também

resistir ao desgaste, aumentando assim a sua durabilidade. “Os revestimentos asfálticos, muitas vezes, são subdivididos em duas ou mais camadas por questões técnicas, construtivas e de custo” (BALBO, 2007).

## **2.2 AGREGADOS**

A mistura asfáltica juntamente com um agregado forma o revestimento asfáltico. Então, escolher o agregado ideal para cada tipo de revestimento é a melhor forma de proporcionar durabilidade do pavimento, conforto e segurança ao usuário (ARAÚJO, 2015).

O agregado é um material que não tem uma forma ou um volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades que são adequadas para a produção de argamassa e de concreto, conforme a norma NBR 9935 (ABNT ,2011) define.

O emprego dos agregados que são destinados aos serviços de pavimentação ocorre em misturas betuminosas, concreto de cimento, bases de calçamentos, lastros de obras e outros (SENÇO, 2007).

Os agregados possuem inúmeras formas e dimensões, que são provenientes de efeitos mecânicos naturais ou dos processos de extração, bem como de suas propriedades intrínsecas (SENÇO, 2007).

A tabela 1 mostra os tipos de rochas que são mais utilizados para obtenção de agregados para serem usados na pavimentação.

**Tabela 1-Tipos de rocha para uso como fonte de agregados para uso na pavimentação**

<b>Denominação Petrológica</b>	<b>Descrição</b>
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 homblenda, augita ou biotita
Gabro	Rocha plutônica básica de granulação grossa, contituída 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 e quartzo
Calcário	Rocha sedimentar, 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: Tabela adaptada de Bernucci et al. (2010)

Segundo Bernucci et al. (2010), o revestimento asfáltico é produzido com a utilização de agregados de tamanhos e proporções diferentes que se unem através de um tipo de ligante asfáltico. As características tecnológicas dos agregados devem ser analisadas para a sua produção, seguindo as normas e especificações do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.

Segundo Roberts et al. (1996) as propriedades físicas dos agregados são as que determinam a adequação para a sua utilização em misturas asfálticas e em menor extensão as propriedades químicas. São propriedades físicas e mecânicas consideradas básicas: a resistência, a porosidade e a densidade. Propriedades físico-químicas tais como umidade, adesividade e, em consequência, descolamento da película de asfalto são função da composição e da estrutura dos minerais no agregado, entre outros fatores. O que causa menor efeito no seu desempenho são as propriedades químicas dos agregados, exceto quando elas afetam a adesividade do ligante asfáltico ao agregado e a compatibilidade com aditivos antidescolamento que podem ser incorporados ao ligante asfáltico.

## **2.3 MATERIAIS ASFÁLTICOS**

Os materiais betuminosos e os materiais asfálticos são termos tratados como sinônimos, sendo o segundo mais utilizado. Nessa categoria existe dois tipos de materiais: o asfalto e o alcatrão, este último não é mais utilizado devido ao seu potencial cancerígeno.

O asfalto ou Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), é utilizado na pavimentação, na confecção das misturas asfálticas que compõem o revestimento da estrutura de um pavimento. (VALLEJO, 2018).

### **2.3.1 ASFALTO**

O asfalto que se é utilizado em pavimentação conforme Bernucci et al. (2010) diz, é um ligante betuminoso que vem através da destilação do petróleo e tem como sua propriedade um adesivo termo visco plástico, que é impermeável à água e também pouco reativo. Através de uma oxidação lenta através do contato com o ar e a água, pode ocorrer o seu envelhecimento.

#### **2.3.1.1 CIMENTOS ASFÁLTICOS**

São materiais betuminosos compostos por hidrocarbonetos (CH) que são originados de petróleos por destilação natural (CAN) ou de forma industrial (CAP). Caracterizam-se pela resistência à penetração da agulha ou pela fluidez (viscosidade/temperatura) cinemática.

Suas características são: material semi-sólido à temperatura ambiente, cor escura brilhante, comportamento plástico (dúctil), termo-sensível (ponto amolecimento), estado líquido à temperaturas elevadas (SSF), degradação à temperaturas maiores que 177°C e combustão as temperaturas maiores que 230°C (BRASQUIMICA, 2019).

O asfalto deve demonstrar requisitos de qualidade para atender a sua necessidade de utilização. Com isso, compete à ANP estabelecer essas especificações e classificações por meio das seguintes resoluções:

- Resolução ANP nº 2/2005 - Estabelece os requisitos necessários à autorização para o exercício da atividade de distribuição de asfaltos e a sua regulamentação.
- Resolução ANP nº 3/2005 - Estabelece os requisitos necessários à autorização para o exercício da atividade de importação de asfaltos e sua regulamentação.
- Resolução ANP nº19/2005 - Estabelece as especificações dos cimentos asfálticos de petróleo (CAP), comercializados pelos diversos agentes econômicos em todo o território nacional.
- Resolução ANP nº 30/2007 - Estabelece as especificações dos asfaltos diluídos de petróleo (ADP) - Cura Rápida e Cura Média - comercializados pelos diversos agentes econômicos em todo o território nacional.
- Resolução ANP nº 32/2010 - Estabelece as especificações dos cimentos asfálticos de petróleo modificados por polímeros elastoméricos comercializados pelos diversos agentes econômicos em todo o território nacional.
- Resolução ANP nº 36/2012 - Estabelece as especificações das emulsões asfálticas para pavimentação e as emulsões asfálticas catiônicas modificadas por polímeros elastoméricos e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelo Distribuidor que comercializa o produto em todo o território nacional.
- Resolução ANP nº 39/2008 - Estabelece a especificação dos cimentos asfálticos de petróleo modificados por borracha moída de pneus, designados como asfaltos borracha, comercializados pelos diversos agentes econômicos em todo o território nacional.

#### **2.3.1.1.1 CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO (CAP)**

O cimento asfáltico de petróleo é o asfalto que é obtido especialmente para apresentar as qualidades e consistências próprias para seu uso direto na construção de pavimentos. Os cimentos asfálticos de petróleo têm como símbolo a sigla CAP que deve preceder às indicações dos vários tipos, conforme a penetração (DNIT, 2006).

Conforme as suas procedências, os cimentos asfálticos de petróleo são classificados em: CAP-30/45, CAP-50/70 (figura 4), CAP-85/100 E CAP-150/200.

O Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) é obtido através da destilação do petróleo e apresenta muitas vantagens e consistência próprias para a sua utilização na construção e manutenção de pavimentos asfálticos, pois além de suas propriedades aglutinantes e impermeabilizantes, possui várias características como: flexibilidade, durabilidade e resistência elevada à ação da maioria dos ácidos, sais e álcalis (NTA ASFALTOS, 2019).

Conforme o site da Greca Asfaltos (2004), o CAP é o produto mais utilizado na pavimentação atualmente, apesar de suas limitações de desempenho. O seu uso em revestimentos permite a construção de pavimentos flexíveis e de durabilidade intermediária.

Sua utilização direta em misturas feitas normalmente em misturas a quente, tais como, por exemplo: concreto asfáltico, pré-misturado, areia-asfáltica, tratamento superficial e macadame betuminoso (NTA ASFALTOS, 2019).

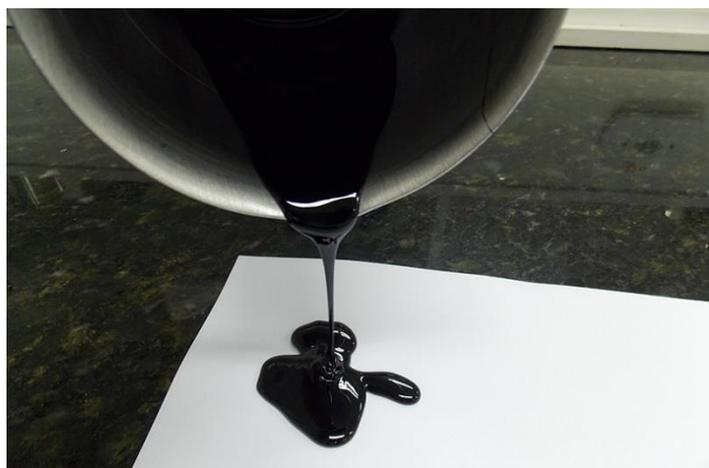
O CAP não pode ter uma temperatura acima de 177°C, pois pode ocorrer um craqueamento térmico do ligante. Portanto o seu aquecimento deverá ser efetuado até ocorrer a consistência adequada a sua aplicação, sendo a temperatura ideal de emprego obtida pela relação viscosidade/temperatura (NTA ASFALTOS, 2019).

Outra recomendação é a de que ele não poderá ser aplicado em dias de chuva, em superfícies molhadas e em temperaturas ambiente inferiores a 10 °C. Seu fornecimento é a granel, em carros tanques que são isolados termicamente ou normalmente é fornecido em tambores metálicos de 180 quilos (NTA ASFALTOS, 2019).

Conforme estudo técnico da ABCR (Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias) (2012), a durabilidade de um revestimento asfáltico é influenciada pela oxidação do CAP, que provoca alterações na sua composição química, diminuindo assim a sua coesão e também a sua elasticidade. Ela ocorre em dois momentos distintos: na produção da mistura asfáltica na usina e pode ocorrer também durante a sua vida em serviço. A mais significativa ocorre durante a produção da mistura asfáltica na usina, por causa das altas temperaturas empregadas no aquecimento dos agregados.

A tabela 2 apresenta algumas especificações do CAP.

Figura 4– CAP 50/70



Fonte: NTA

Tabela 2-Especificações do CAP

Características	Unidade	Métodos		Especificação
		ABNT	ASTM	
				<b>CAP 50-70</b>
Penetração (100g, 5s, 25°C)	0,1 mm	NBR-6576	D 5	50-70
Ponto de Amolecimento, mín.	°C	NBR-6560	D 36	46
Viscosidade Saybolt Furol	SSf	NBR-14950	E 102	
a 135°C, min.				141
a 150°C, min.				50
a 177°C				30-150
ou				
Viscosidade Brookfield	cP	NBR-15184	D 4402	
a 135°C, SP 21, 20 rpm, min.				274
a 150°C, SP 21, min.				112
a 177°C, SP 21				57-285
Índice de Susceptibilidade Térmica (1)				(-1,5) a (1,7)
Ponto de Fulgor, min.	°C	NBR-11341	D 92	235
Solubilidade em Tricloroetileno, min.	% massa	NBR-14855	D 2042	99,5
Ductibilidade a 25°C, min.	cm	NBR-6293	D 113	60
Efeito de calor e do ar (RTFOT) a 163°C, 85 minutos:		NBR-15235	D 2872	
Varição em Massa, máx. (2)	%		D 2872	0,5
Ductibilidade a 25°C, min.		NBR-6293	D 113	20
Aumento do Ponto de Amolecimento, máx.	°C	NBR-6560	D36	8
Penetração retida, min. (3)	%	NBR-6570	D 5	55

Fonte: Tabela adaptada da Resolução nº19 de 11 de julho de 2005 da ANP - Regulamento Técnico

ANP nº03/2005. Publicada no Diário Oficial da União em 13 de julho de 2005

### **2.3.1.2 ASFALTOS MODIFICADOS**

Os pavimentos de asfalto convencional normalmente tendem a sofrer um desgaste mais rápido. Para Filho (2004), uma das alternativas para solucionar esses problemas que estão relacionados aos revestimentos asfálticos é acrescentar ao asfalto elementos que melhorem as suas qualidades técnicas que possam evoluir a vida útil deste revestimento. Atualmente entre os elementos que são adicionados ao asfalto, destacam-se agentes rejuvenescedores como, por exemplo, a borracha moída de pneu e os polímeros.

#### **2.3.1.2.1 ASFALTOS MODIFICADOS COM BORRACHA MOÍDA DE PNEU**

Novas técnicas para aprimorar e inovar o modo que são realizados os pavimentos foram sendo lançadas nesses últimos anos, e uma delas é com a utilização de pneus, porque além de evitar que o pneu se transforme em fonte de poluição, a reciclagem é a maneira mais correta de se reaproveitar ao máximo um recurso natural (derivado de petróleo). Vale destacar também que a borracha quando é misturada ao asfalto convencional resulta em um produto com características técnicas mais elevadas. O asfalto-borracha é produzido com o preparo da mistura asfáltica utilizando resíduos sólidos, que são provenientes do descarte de pneus, e com isso ele melhora as seguintes características: resistência, permeabilidade e aderência das pistas de rolamento.

Conforme Araújo (2015), o asfalto-borracha recebe borracha moída de pneus inservíveis da seguinte forma:

- Via seca: é quando a borracha é adicionada diretamente no misturador da usina de asfalto ou na própria obra. Se for assim a borracha entra como agregado, porém se perde a maior parte das propriedades da borracha.
- Via úmida: a borracha de pneu é acrescentada ao asfalto à quente em usina própria, assim tendo uma maior homogeneidade, e com isso se aproveita ao máximo as seguintes características: elasticidade e resistência da borracha (DNIT,2009).

Segundo Mendes e Nunes (2009), no Brasil a forma mais utilizada é a via úmida.

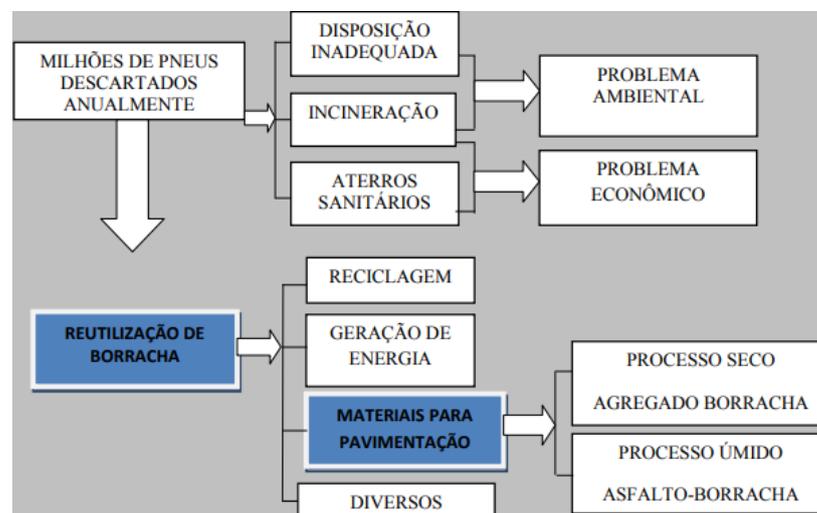
O efeito mais importante do asfalto-borracha é o de elevar a resistência à deformação e assim evitar também o aparecimento de trincas por fadiga no pavimento (ODA; JUNIOR, 2001).

Segundo Araújo (2015), nos Estados Unidos, na década de 40 foi quando iniciou os primeiros estudos da utilização da borracha de pneu nos revestimentos asfálticos. Ele somente foi utilizado na década de 60 no Arizona, nos EUA, em reparos e pequenas aplicações.

No Brasil, começou a se falar da utilização do asfalto borracha somente com a criação do artigo nº 2 da resolução 258/99 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), na qual trata como proibido o descarte do pneu no meio ambiente e inclusive também a sua queima. E por essa razão houve a necessidade de encontrar um destino mais correto para os pneus que eram descartados, surgindo então a ideia de se utilizar a borracha do pneu aplicado ao revestimento asfáltico, como já vinha sendo utilizada em outros países.

Conforme Oda (2000) para se reaproveitar os pneus na pavimentação, o pneu deve passar por um processo de trituração e moagem, onde é realizada então a separação do aço e do nylon, porque apenas a borracha em pó é misturada com o asfalto. A figura 5 representa um fluxograma do reaproveitamento dos pneus descartados, suas consequências diante do meio ambiente e os possíveis modos de reutilização.

**Figura 5– Fluxograma de reaproveitamento dos pneus**



Fonte: ODA, 2000

Para ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2019), apesar de ser mais cara a tecnologia para se conseguir o asfalto-borracha, o seu custo de manutenção é menor, devido a sua durabilidade e a sua resistência.

As modificações que o asfalto borracha sofre após dez anos de uso podem chegar a ser 4 (quatro) vezes menores, e a vida de fadiga chega a ser mais que o dobro, e em alguns casos pode chegar a ser o triplo da dos pavimentos executados com asfalto convencional. (CONCER, 2009).

Segundo Bernucci et al., (2007) o asfalto borracha tem uma maior resistência ao trincamento e as suas deformações permanentes (trilhos de rodas), porque a mistura asfáltica adquire uma parte da capacidade elástica da borracha, e por isso ganha capacidade de deformar durante a passagem dos veículos e logo após voltar a sua posição inicial, e com isso diminuir as deformações indesejáveis.

Estudos realizados recentemente comprovam que pavimentos com asfalto borracha resistem aproximadamente 6 (seis) vezes mais ao aparecimento de trincas se for comparado com os pavimentos convencionais. Conforme estudo realizado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), o pavimento convencional fadigou devido a trincas depois de 90 mil ciclos do Simulador de Tráfego DAER/UFRGS, já o pavimento com asfalto borracha sofreu trincas após 500 mil ciclos. Isso acontece por causa da capacidade de deformação dos materiais. O asfalto convencional não apresenta elasticidade e estabilidade, já o asfalto borracha possui elasticidade e ponto de amolecimento mais elevado, fatos esses que permitem assim um melhor desempenho na construção de pavimentos e assim aumentando a vida útil também (RODOVIAS e VIAS, 2010).

Segundo Zanzotto e Svec (1996) apud Morilha Jr. e Greca (2003), o ligante modificado por borracha de pneus, apresenta com seu uso certas vantagens, tais como:

- Redução da suscetibilidade térmica quando comparado com pavimentos convencionais;
- Aumento da sua flexibilidade por causa da concentração mais elevada de elastômeros na borracha de pneus e a melhor adesividade do ligante aos agregados;
- Maior resistência ao envelhecimento devido à presença de antioxidantes e carbono na borracha de pneus que contribuem para a redução do envelhecimento através da oxidação;

- Aumento do ponto de amolecimento, pois o ligante asfalto-borracha possui um ponto de amolecimento mais elevado que o do ligante convencional melhorando assim a sua resistência quanto a formação de trilhas de roda.

Segundo o site da Greca Asfaltos (2012), na sua produção, o ECOFLEX somente utiliza pó de borracha moída de pneus, então levando em consideração uma pista com pouco mais de 7 m de largura, haverá um valor aproximado de 1.000 (mil) pneus utilizados para cada quilômetro.

O teor de borracha utilizado na incorporação ao asfalto deve ser no mínimo 15% em peso. De 15% a 20% são usados geralmente nas usinas de asfalto (DNIT, 2009).

As partículas de pó de borracha que serão utilizadas deverão passar na peneira de nº 40. A borracha é incorporada ao ligante em um lugar diferenciado, com elevadas temperaturas, por agitação com alto cisalhamento e através disso tudo se acaba por ter um produto estocável e homogêneo (DNIT, 2009).

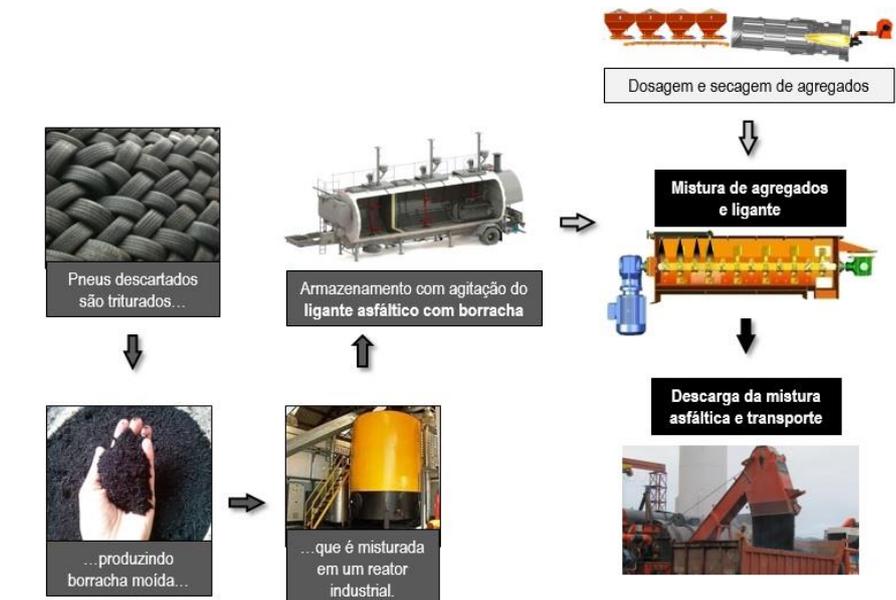
Segundo Araújo (2015), somente em 2009 foram criadas as primeiras normas brasileiras que dizem respeito ao Asfalto Borracha, elas tem como base a norma ASTM 6114-97:

- Norma DNIT 111/2009-EM Pavimentação Flexível – Cimento asfáltico modificado por borracha de pneus inservíveis pelo processo via úmida, do tipo “Terminal Blending” trata o material que é utilizado na mistura, suas especificações, conforme demonstradas na tabela 3.

- Norma DNIT 112/2009-ES Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico com Asfalto Borracha, via úmida, do tipo “Terminal Blending” trata como é a forma de execução e também o controle de qualidade do concreto asfáltico.

A figura 6 representa um esquema de produção de misturas asfálticas com a utilização de borracha. Já a figura 7 demonstra um asfalto borracha já executado e compactado.

**Figura 6– Esquema de produção de mistura asfáltica com utilização de borracha**



Fonte: Blog Asfalto de Qualidade

**Figura 7– Mistura asfáltica com asfalto borracha após a compactação**



Fonte: Blog Asfalto de Qualidade

**Tabela 3– Especificações do Asfalto Borracha**

Características	Unid.	Asfalto Borracha		Metodos de ensaio
		Tipo AB 8	Tipo AB 22	
Penetração, 100g, 5s, 25° C	0,1 mm	30-70	30-70	DNER ME 003/99
Ponto de amolecimento, min, °c	°C	55	57	DNER ME-247/94
Viscosidade Brookfield, 175°, 20rpm, Spindle 3	cP	800-2000	2200-4000	NBR 15529
Ponto de Fulgor, min.	°C	235	235	DNER ME148/94
Recuperação elástica, Ductilômetro, 25°, 10 cm, min	%	50	55	NBR 15086:2006
Estabilidade à estocagem, máx	°C	9	9	DNER ME-384/99
Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163°:				
Varição em massa, máx.	%	1	1	NBR 15235:2006
Varição do ponto de amolecimento, máx.	°C	10	10	DNER ME-247/94
Porcentagem de penetração original, mín.	%	55	55	DNER ME 003/99
Porcentagem de recuperação elástica original. 25°c 10 cm, mín.	%	100	100	NBR 15086:2006

Fonte: Norma DNIT 111/2009-EM

### 2.3.1.2.2 ASFALTOS MODIFICADOS COM POLÍMEROS

Conforme Gonzalez et al (2004) apud Gusmão (2009), acrescentando polímeros junto ao Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) irá proporcionar uma estabilidade mais elevada e também uma elasticidade ao pavimento. Por causa da adição do polímero a susceptibilidade térmica irá baixar, e com isso o material não irá variar tanto com as diferenças de temperatura, e, portanto isso irá aumentar a vida útil do pavimento.

Bernucci et al. (2008), afirma que não são todos os modelos de polímeros que podem ser acrescentados ao CAP. E da mesma forma nem todos os cimentos asfálticos podem ser compatíveis com a adição de polímeros. Por isso deve-se tomar muito cuidado com a escolha do polímero e do aglomerante, para que se possa evitar certos problemas relacionados à compatibilidade e ao armazenamento destes materiais.

Conforme Leite (1999), os tipos de polímeros utilizados atualmente para a modificação do asfalto são: SBR (Borracha de Estireno Butadieno), SBS (copolímero estireno butadieno), EVA (copolímero de etileno e acetato de vinila), RET (terpolímero elastomérico reativo), entre outros.

Leite (1999) também aponta ainda que existem várias especificações que são referentes aos variados tipos de polímeros encontrados no mercado. De modo geral, essas especificações dizem respeito às propriedades que são referentes à tensão versus a deformação, os efeitos que o calor proporciona, quanto a sua estabilidade, recuperação elástica, suscetibilidade térmica e seu módulo de rigidez.

As utilizações desses asfaltos modificados com polímeros dão a estas misturas uma maior flexibilidade, coesão e durabilidade adicionando a resistência destes agregados ao arranque, através da ação dos esforços tangenciais que são adquiridos pelas cargas resultantes do tráfego, ao longo de toda sua vida útil (ODA & FERNANDES JÚNIOR, 2001).

Usualmente, os polímeros são divididos em duas categorias: elastômeros e plastômeros. Os elastômeros são os que resistem à deformação por alongamento e recuperam sua forma original de forma mais rápida. Os elastômeros mais utilizados na modificação do asfalto são: estirenobutadieno-estireno (SBS), o estireno-isopreno-estireno (SIS), o látex de borracha natural e a borracha de estireno-butadieno (SBR). Já os plastômeros resistem fortemente à deformação. Eles demonstram uma resistência ao carregamento, mas fraturam com as deformações. Os plastômeros mais utilizados são: copolímero de etil-vinilacetato (EVA), o polietileno/polipropileno, o etileno-propileno (EPDM) e o cloreto de polivinila (PVC) (LIBERATORI ET AL, 2004).

Conforme Specht e Ceratti (2004) o que pode diferir a utilização dos asfaltos modificados por SBS e EVA e por borracha em grande escala é a estabilidade. Quando uma mistura é preparada em planta industrial (SBS e EVA) o produto pode ficar estocado e ser entregue na obra. Em geral, a preparação do ligante modificado por borracha é preparada no canteiro de obras e utilizada logo após a sua preparação. No Brasil utiliza-se a tecnologia terminal blending, que significa que a mistura é efetuada em uma unidade central e somente depois ela será transportada até o local da obra.

A modificação de um ligante deve conter características de fluidez que possam facilitar o espalhamento e a compactação, e aumentar a faixa de trabalho plástico da mistura, para que essas características de flexibilidade continuam ainda em baixas temperaturas (KING ET AL, 1992 APUD FABRI ET AL, 2005).

O asfalto modificado por polímero é composto por CAP e um ou mais polímero, que geralmente tem teores de 3 a 8% (em relação a massa do CAP. O

polímero mais utilizado é o SBS (figura 8) e a mistura do CAP com ele deve ser feita em uma temperatura que gira em torno de 180°C e alto cisalhamento (ABEDA, 2015).

Segundo Araújo (2015), a norma brasileira que fala a respeito das características técnicas e especificações do material do Asfalto modificado por polímeros elastoméricos (tabela 4) é a DNIT 129/2011-EM.

**Figura 8– Polímero SBS**



Fonte: Greca Asfaltos

**Tabela 4– Especificações do Asfalto modificado com polímero**

Características	Unidade	55/75-E	60/85-E	65/90-E	Método de ensaio	
		Limite de especificação			ABNT/NBR	DNIT-ME
Penetração (100g, 5s, 25°C)	0,1 mm	45-70	40-70	40-70		155/2010
Ponto de Amolecimento, mín.	°C	55	60	60		131/2010
Ponto de Fulgor, mín.	°C	235	235	235	11341	
Viscosidade Brookfield a 135°C, SP 21, 20 rpm, máx.	cP	3000	3000	3000	15184	
Viscosidade Brookfield a 150°C, SP 21, 50 rpm, máx.	cP	2000	2000	2000	15184	
Viscosidade Brookfield a 177°C, SP 21, 100 rpm, máx.	cP	1000	1000	1000	15184	
Ensaio de separaçãp de fase, máx.	°C	5	5	5	15166	
Recuperação elástica a 25°C, 20cm, min.	%	75	85	90		130/2010
Efeito de calor e do ar (RTFOT) a 163°C, 85 minutos:						
Varição em Massa, máx.	% massa	1	1	1	15235	
Varição do PA	°C	(-5) a (+7)	(-5) a (+7)	(-5) a (+7)		131/2010
Porcentagem de penetração original, mín.	%	60	60	60		155/2010
Porcentagem de recuperação elástica original a 25°C, min.	%	80	80	80		130/2010

Fonte: Tabela adaptada da Norma DNIT 129/2011-EM

### **3. METODOLOGIA**

Nesse capítulo são apresentados os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento da presente pesquisa. Na sequência são descritos os ensaios que foram realizados.

#### **3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA**

Esta análise teve como propósito averiguar diferentes misturas asfálticas para sua utilização em camadas de revestimentos ou para reconstruções do pavimento. Foram avaliados seus comportamentos e seus resultados foram comparados e assim pode-se analisar e averiguar cada um deles. A análise foi realizada por meio de dados qualitativos e quantitativos, através do estudo das misturas asfálticas.

#### **3.2. ÁREA DE REALIZAÇÃO DA ANÁLISE**

Os ensaios para essa análise foram realizados na empresa RGS Engenharia Ltda, que está localizada na cidade de Vera Cruz/RS, e no Laboratório de Pavimentação (LPAV) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) localizada em Porto Alegre/RS.

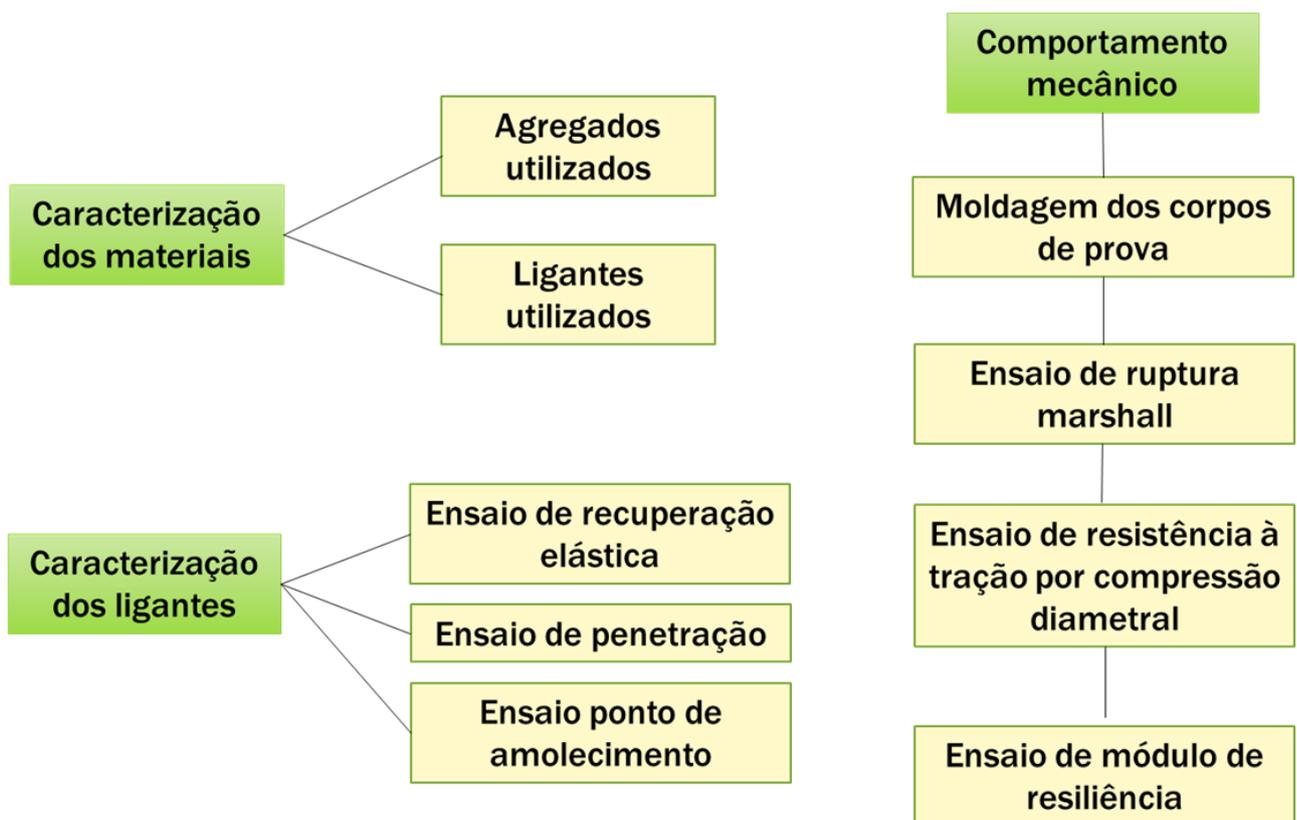
#### **3.3. DELIMITAÇÕES**

A área de delimitação do estudo foi em misturas asfálticas, como por exemplo, asfalto borracha, polímero e o asfalto convencional.

### 3.4. DELIAMENTO DA PESQUISA

A figura 9 representa como foi esquematizado o trabalho, desde a ideia inicial do tema até os ensaios que foram realizados para obter os resultados para a análise e conclusão.

Figura 9– Deliamento da pesquisa



Fonte: Autor, 2019

### 3.5. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

#### 3.5.1. Agregados utilizados

Na realização dos ensaios foi utilizada como referência a Faixa “C” do DNIT, que se refere à faixa granulométrica do material utilizado em capa de rolamento. A granulometria com ligante asfáltico convencional foi realizada com base na Especificação de Serviço 031 (DNIT, 2006), conforme valores apresentados na Tabela 5.

A curva granulométrica juntamente com a determinação do ajuste da granulometria do asfalto convencional consta no anexo A.

**Tabela 5– Faixa granulométrica "C" para asfalto convencional**

<b>Faixa "C" DNIT</b>		
<b>PENEIRAS</b>	<b>ASFALTO CONVENCIONAL</b>	
	<b>DNIT 031/2006 - ES</b>	
	<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>
3/4"	100	100
1/2"	80	100
3/8"	70	90
4	44	72
10	22	50
40	8	26
80	4	16
200	2	10

Fonte: Tabela adaptada da Norma DNIT 031/2006 – ES

A tabela 6 mostra a granulometria da Faixa “C” referente ao asfalto modificado por polímero, de acordo com a Especificação de Serviço 385 (DNER, 1999).

A curva granulométrica juntamente com a determinação do ajuste da granulometria do asfalto modificado por polímero consta no anexo B.

**Tabela 6– Faixa granulométrica "C" para asfalto modificado com polímero**

<b>Faixa "C" DNIT</b>		
<b>PENEIRAS</b>	<b>ASFALTO POLÍMERO</b>	
	<b>DNER - ES 385/99 - ES</b>	
	<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>
3/4"	100	100
1/2"	85	100
3/8"	75	100
4	50	85
10	30	75
40	15	40
80	8	30
200	5	10

Fonte: Tabela adaptada da Norma DNER – ES 385/99

Para a granulometria do asfalto borracha foi seguida a Especificação de Serviço 112 (DNIT, 2009). Com base nessa, foram adotados os valores para “Faixa C”, conforme Tabela 7.

A curva granulométrica juntamente com a determinação do ajuste da granulometria do asfalto borracha consta no anexo C.

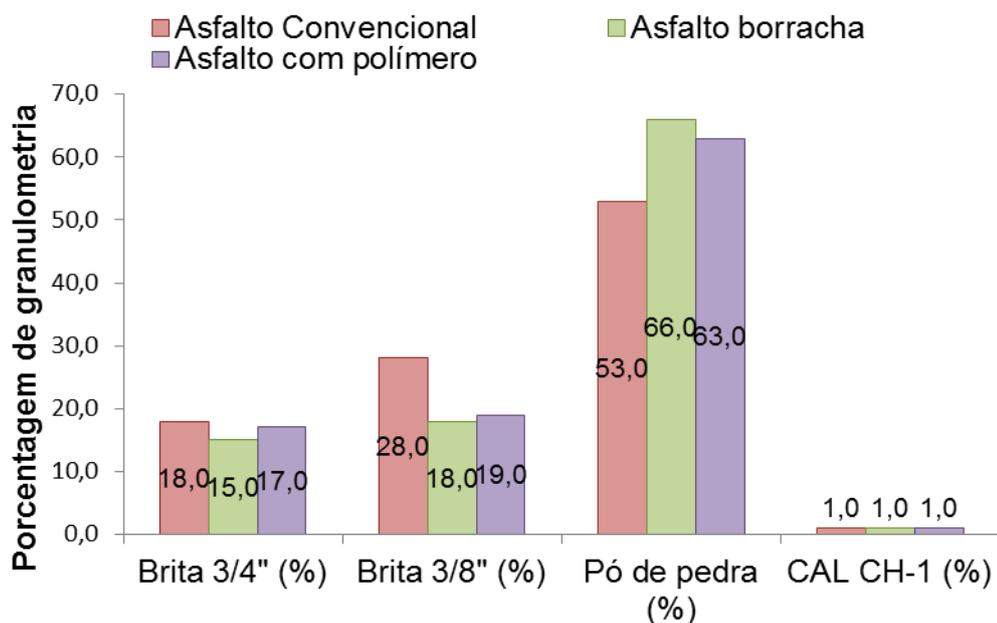
Tabela 7– Faixa granulométrica "C" para asfalto borracha

Faixa "C" DNIT		
PENEIRAS	ASFALTO BORRACHA	
	DNIT - 112/2009 - ES	
	MÍNIMO	MÁXIMO
3/4"	100	100
1/2"	80	100
3/8"	70	90
4	44	72
10	22	50
40	8	26
80	4	16
200	2	10

Fonte: Tabela adaptada da Norma DNIT – 112/2009 – ES

A figura 10 apresenta um gráfico comparativo das porcentagens das granulometrias que foram utilizadas para cada mistura. Houve variações nela, o que pode ocasionar alterações nos resultados também.

Figura 10– Porcentagem de granulometria



Fonte: Autor, 2019

Foi adicionado 1% de cal nas misturas estudadas.

A cal utilizada foi à cal hidratada CH-1, que pode ser considerada a mais nobre, aumentando a qualidade e a durabilidade dos pavimentos asfálticos.

### **3.5.1. Ligantes utilizados e suas dosagens**

Para fazer esse estudo foram utilizados o CAP 50/70 (asfalto convencional), Ecoflex B 3-G (asfalto borracha) e o Flexpave 60/85 (asfalto modificado com polímero).

O Flexpave 60/85 pertence à família dos polímeros elastoméricos (SBS), que são os mais utilizados na pavimentação até o momento.

A escolha desses ligantes veio por conta da curiosidade em se estudar sobre misturas asfálticas e também porque o uso de asfalto borracha e asfalto modificado por polímero já estava sendo desenvolvido no Rio Grande do Sul, o que facilitaria o acesso a eles e as suas devidas informações.

Para fazer esse estudo, foram utilizados os traços que a empresa RGS Engenharia já havia desenvolvido em suas obras asfálticas. Os traços do asfalto convencional, asfalto borracha e asfalto modificado por polímero encontram-se nos anexos D, E, F respectivamente. Os teores de ligante que foram utilizados nas misturas são: 5,2% para o asfalto convencional, 5,6% para o asfalto borracha e 5,7% para o asfalto modificado com polímero.

O Cimento Asfáltico CAP-50/70, é procedente da Greca Distribuidora de Asfalto S.A., Esteio / RS, sendo que sua mistura foi realizada na usina da RGS Engenharia Ltda. O asfalto borracha e o modificado com polímero são procedentes da Greca Distribuidora de Asfalto S.A. e foram desenvolvidas no laboratório da RGS também.

## **3.6. ENSAIOS PARA A COLETA DE DADOS**

### **3.6.1. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS LIGANTES**

Na sequência são apresentados os ensaios que foram realizados para a caracterização dos ligantes.

#### **3.6.1.1. Recuperação elástica**

Recuperação elástica é a medida da capacidade de retorno do material asfáltico, após interrupção da tração mecânica especificada. O ensaio foi realizado conforme o Método de Ensaio 130 (DNIT, 2010).

Inicialmente, foram feitos os moldes, despejando o material, em movimentos alternados, de uma extremidade a outra, até um pouco acima de sua face superior. Deixou-se o conjunto composto por placa/molde/amostra esfriar a temperatura ambiente, pelo tempo de 30 minutos. Depois, o conjunto foi colocado no banho d'água à temperatura de 25°C durante 30 minutos, após, o excesso de material foi cortado por meio de uma espátula ligeiramente aquecida, de maneira a ter o molde cheio e com as faces planas (Figura 11 – a). O conjunto foi recolocado no banho d'água, mantendo a temperatura especificada, com a variação de  $\pm 0,1$  °C, por um período de 90 minutos. O conjunto foi levado ao ductilômetro, contendo água à temperatura de ensaio, procedendo à retirada da placa.

Os orifícios existentes nas extremidades das garras foram encaixados nos ganchos do ductilômetro. Iniciou-se a tração da amostra com a velocidade uniforme de cm/min até que o corpo de prova se alongasse  $(20,0 \pm 0,5)$  cm (L1) (Figura 11 – b). Quando alcançou esse tamanho, a tração foi interrompida e o equipamento foi desligado. Imediatamente após, o material asfáltico distendido foi cortado no centro, com auxílio de uma tesoura (Figura 12 – a). Deixou-se o material no ductilômetro em repouso por 60 minutos, mantendo a temperatura constante. Em seguida, acionou-se o ductilômetro em sentido contrário, até que as duas extremidades do corpo-de-prova encostem uma na outra, quando, então, foi realizada a leitura na escala do equipamento, em centímetros (L2) (Figura 12 – b).

A recuperação elástica (RE) foi calculada, em porcentagem, através da equação 1:

**Equação 1:**

$$RE, \% = \frac{L1 - L2}{L1} \times 100$$

Onde:

L1 - comprimento após o alongamento da amostra, em centímetros;

L2 - comprimento da amostra após a justaposição das pontas, em centímetros.

**Figura 11– Ensaio de recuperação elástica**

**a) moldes com seus respectivos ligantes**



**b) corpo de prova tracionado (L1)**



Fonte: Autor, 2019

**Figura 12– Ensaio de recuperação elástica**

**a) moldes já destendidos  
e cortados no centro**



**b) corpo de prova antes da  
justaposição das  
pontas**



Fonte: Autor, 2019

### **3.6.1.2. Penetração**

O ensaio de penetração tem como objetivo determinar consistência do ligante asfáltico a partir da NBR 6576 (ABNT, 1999).

Inicialmente, a amostra de ligante foi aquecida, no interior de uma estufa, até se tornar fluida, e então pode ser transferida para um recipiente cilíndrico. Em seguida, após a amostra chegar à temperatura ambiente, colocou-se o recipiente cilíndrico dentro de uma cuba de transferência, a qual foi preenchida com água. Depois da amostra preparada, ajustou-se a altura da agulha, para que a mesma ficasse sob a superfície do ligante, sem que ela encostasse no mesmo. Após o ajuste, a agulha foi liberada, fazendo com que a mesma penetrasse na amostra de ligante (Figura 13). Por fim foi verificada a distância penetrada.

O procedimento foi repetido 3 (três) vezes, no mesmo corpo de prova, com um espaçamento mínimo de 1cm entre as penetrações e a borda.

O seu resultado se deu pela média dos três valores encontrados.

**Figura 13– Ensaio de penetração**



Fonte: Autor, 2019

### **3.6.1.3. Ponto de amolecimento**

O ensaio de Anel e Bola foi executado com o objetivo de determinar o ponto de amolecimento dos ligantes em estudo a partir da NBR 6560 (ABNT, 2007).

O ensaio foi realizado uma vez para cada tipo de ligante. Primeiramente, colocou-se uma amostra de ligante dentro de dois anéis padronizados (Figura 14 – a) e o excesso de material foi retirado com a ajuda de uma espátula aquecida, fazendo com que a superfície de ligante ficasse na mesma altura das bordas dos anéis. Foi aguardado por 30 minutos para que houvesse o resfriamento da amostra.

Em seguida, colocou-se uma bola de aço em cima de cada um dos anéis contendo o ligante. Com a amostra pronta, o conjunto foi mergulhado em um recipiente contendo água (Figura 14 – b) e iniciou-se o aquecimento do mesmo, com a ajuda de um termômetro pôde-se verificar a temperatura da solução (Figura 15 – a). O aquecimento ocorreu até que o ligante colocado dentro dos anéis amolecesse e tocasse na placa de referência, no fundo do recipiente (Figura 15 – b), a uma distância de 25,4 mm. Então, pode-se verificar a temperatura que as bolas de aço atingiram nesse momento.

**Figura 14– Ensaio de anel e bola**

**a) amostra de ligante já dentro dos anéis**



**b) conjunto para realização do ensaio**



Fonte: Autor, 2019

**Figura 15– Ensaio de anel e bola**

**a) primeiro anel já tocando a placa de referência**



**b) ensaio concluído com os dois anéis tocando a placa**



Fonte: Autor, 2019

### 3.6.2. ENSAIOS DE COMPORTAMENTO MECÂNICO

#### 3.6.2.1. Moldagem dos corpos de prova

Primeiramente, foi determinada a distribuição granulométrica dos diferentes materiais que compõem a mistura, as suas densidades reais e aparentes, as características do CAP, como densidade, viscosidade e penetração, e a composição granulométrica dos agregados.

Logo em seguida foram pesadas as amostras (Figura 16) conforme determinado para cada mistura. Depois de pesado os agregados, misturou-se o ligante na mistura (Figura 17 – a). Então se colocou a mistura em um corpo cilíndrico e foram efetuados manualmente 75 golpes de cada face do cilindro. Depois de compactado (Figura 17 – b) o corpo de prova foi deixado em repouso até que esfriasse para poder fazer o desmolde do mesmo. Os corpos de prova foram moldados a uma altura de 6,50 cm e diâmetro 10,20 cm.

O asfalto convencional estava sendo usinado no dia da realização do ensaio, então foram retiradas amostras dele para fazer os corpos de prova (Figura 18).

Ao todo foram moldados 9 corpos de prova para cada mistura, 3 para o ensaio de marshall, 3 para resistência à tração e 3 para módulo de resiliência.

**Figura 16– Preparação para moldagem dos CP's**



Fonte: Autor, 2019

**Figura 17– Moldagem dos CP's**

**a) misturando o ligante no agregado**



**b) corpo de prova moldado**



Fonte: Autor, 2019

**Figura 18– CAP 50/70 sendo retirado da usina**



Fonte: Autor, 2019

### 3.6.2.2. Ruptura marshall

O ensaio de ruptura Marshall tem como objetivo determinar a estabilidade e a fluência de misturas asfálticas usinadas a quente, utilizando o aparelho Marshall.

O ensaio foi realizado conforme o Método de Ensaio 043 (DNER, 1995).

Para esse ensaio, foram moldados 3 (três) corpos de prova para cada mistura e foi definida a sua densidade aparente e outros parâmetros conhecidos para que fosse possível calcular a densidade teórica, as porcentagens de vazios e de ligante, os vazios do agregado mineral e a relação betume-vazios.

A partir disso, os corpos de prova foram imersos na água a uma temperatura de 60°C por um período de 30 minutos e, posteriormente, foram colocados nos moldes de compressão e levados à prensa Marshall (Figura 19 – a). A carga de ruptura foi correspondida através da estabilidade lida, o valor pode ser corrigido conforme a espessura do corpo de prova, e assim resultando na Estabilidade Marshall. Já a deformação se deu pelo valor que foi gerado imediatamente antes da ruptura, que é chamado de Fluência. Na figura 19 – b pode-se notar como fica o corpo de prova após o rompimento.

**Figura 19– Ensaio marshall**

**a) corpo de prova durante o ensaio**



**b) corpo de prova rompido após o ensaio**



### 3.6.2.3. Resistência à tração por compressão diametral

O ensaio para avaliar a resistência à tração por compressão diametral (RT) foi realizado conforme Método de Ensaio 136 (DNIT, 2010). Para esse, foram moldados 3 corpos de prova por mistura. Anterior ao ensaio, as amostras foram condicionadas em banho maria por um período de 12 horas a temperatura de 25°C.

O ensaio consiste em aplicação de uma carga estática de compressão com velocidade de 0,8 mm/s, distribuída ao longo de duas geratrizes opostas (Figura 20 – a), a fim de se obter as tensões de tração através do diâmetro horizontal, perpendicular à carga, onde a medida resultante é a resistência à tração, que representa uma inferência à fadiga. A figura 20 – b mostra como o corpo de prova fica após o seu rompimento.

A resistência à tração (RT) foi calculada através da equação 2:

#### Equação 2:

$$\sigma_R = \frac{2F}{\pi DH}$$

Onde:

$\sigma_R$  – resistência à tração, kgf/cm<sup>2</sup>;

F – carga de ruptura, kgf;

D – diâmetro de corpo-de-prova, cm;

H – altura do corpo-de-prova, cm.

Através dos resultados obtidos com o ensaio, foi calculado a média e limites mínimos e máximos através do cálculo de mais e menos 10% da média e os resultados que deram abaixo foram retirados. A partir dos valores que ficaram dentro da média foi calculado o desvio padrão para cada mistura.

**Figura 20– Ensaio de resistência à tração**

**a) corpo de prova durante o ensaio**



**b) corpo de prova rompido após o ensaio**



Fonte: Autor, 2019

#### **3.6.2.4. Módulo de resiliência**

O módulo de resiliência (MR) de misturas asfálticas é a relação entre a tensão de tração ( $\sigma\tau$ ) aplicada repetidamente no plano diametral vertical de uma amostra cilíndrica de mistura asfáltica e a deformação específica recuperável ( $\tau\varepsilon$ ) correspondente à tensão aplicada. O ensaio de módulo de resiliência foi realizado conforme Método de Ensaio 135 (DNIT, 2010).

Os CP's ficaram condicionados a uma temperatura de 25°C. Logo após o condicionamento, foram feitas as medidas dos corpos de prova com a ajuda de um paquímetro. O corpo de prova então foi colocado na estrutura (Figura 21) e foi aplicada uma taxa de 30% do valor de RT. Foram feitas leituras com 55, 65 e 75 golpes. Ressalta-se que durante os ensaios foi realizado o controle da temperatura. Foram realizadas duas leituras diametralmente opostas para cada corpo de prova, totalizando 6 leituras para cada mistura.

Com os valores obtidos, os resultados foram calculados conforme equação 3.

**Equação 3:**

$$MR = \frac{F}{\Delta H} \quad (0,9976\mu + 0,2692)$$

Onde:

MR- módulo de resiliência, em kgf/ cm<sup>2</sup>;

F - carga vertical repetida aplicada diametralmente no corpo-de-prova, em kgf;

$\Delta$  - deformação elástica ou resiliente registrada no microcomputador, para aplicações da carga (F), em cm;

H - altura do corpo-de-prova, em cm;

$\mu$  - coeficiente de Poisson.

Com os resultados obtidos através do ensaio, foram calculadas a média e o desvio padrão das 18 leituras (6 por corpo de prova) para cada uma das misturas estudadas.

**Figura 21– Ensaio de módulo de resiliência**



Fonte: Autor, 2019

### **3.7. ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES**

Após a realização dos ensaios os resultados foram confrontados com as especificações, quando existentes, e comparados entre si.

## 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta etapa do trabalho são apresentados e discutidos todos os resultados obtidos a partir dos ensaios laboratoriais realizados.

### 4.1. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Na tabela 8 são apresentados os resultados dos ensaios de caracterização dos ligantes.

**Tabela 8– Caracterização dos ligantes**

Propriedades	Asfalto Convencional		Asfalto Borracha		Asfalto Mod. com Polímero	
	Especificação DNIT 095/2006-EM	Resultados	Especificação DNIT 111/2009-EM	Resultados	Especificação DNIT 129/2011-EM	Resultados
Recuperação elástica		5,50%	50% min	65,50%	85% min	84,50%
Penetração	50-70	51,33	30-70	62	40-70	46
Ponto de Amolecimento	46°C min	56°C	55°C min	58°C	60°C min	78°C

Fonte: Autor, 2019

#### 4.1.1. Recuperação elástica

Todos os valores obtidos mantiveram-se dentro da norma especificada para cada tipo de asfalto.

Pode-se observar que o asfalto modificado por polímero obteve uma capacidade de retorno de 84,5%, enquanto o asfalto borracha apresentou uma capacidade de 65,5% e o asfalto convencional apresentou 5,5%.

Com isso nota-se que o asfalto modificado por polímero tem uma elasticidade muito maior do que o asfalto convencional, porém menor em relação ao asfalto modificado por borracha. Com isso, o asfalto modificado com polímero fornece um excelente comportamento à tração.

#### **4.1.2. Penetração**

Todos os valores obtidos mantiveram-se dentro da norma especificada para cada tipo de asfalto.

Observou-se que o asfalto modificado por polímero obteve uma maior resistência quando comparado com os outros dois tipos de ligantes. Onde o asfalto modificado por polímero apresentou uma leitura de 46 décimos de milímetros, o asfalto convencional apresentou uma média de 51,33 décimos de milímetros e o asfalto borracha apresentou uma leitura de 62 décimos de milímetro, sendo que quanto menor o valor lido, mais resistente é o material.

O asfalto modificado por polímero apresentou uma maior resistência devido às suas moléculas estarem mais juntas entre si e com isso acaba possuindo uma maior viscosidade e também uma maior resistência.

#### **4.1.3. Ponto de amolecimento**

Todos os valores obtidos mantiveram-se dentro da norma especificada para cada tipo de asfalto.

A partir dos resultados, foi possível observar que o asfalto convencional foi o material que apresentou a menor temperatura de ponto de amolecimento (56°C), enquanto o asfalto modificado por polímero apresentou a maior temperatura (78°C).

Pode-se ressaltar então que o asfalto modificado por polímero demoraria muito mais tempo para chegar à condição de escoamento. Suas condições de uso são muito melhores. E por ele resistir ao calor, ele resistirá muito mais aos esforços mecânicos também. Na contrapartida por ele resistir a temperaturas mais altas, ele precisa de mais calor na hora de sua aplicação.

## 4.2. ENSAIOS DE COMPORTAMENTO MECÂNICO

### 4.2.1. Ensaio marshall

Os resultados obtidos através do ensaio de marshall estão no anexo G e detalhados nas tabelas 9,10 e 11.

**Tabela 9– Resultados ensaio Marshall do asfalto convencional**

<b>Resumo - Asfalto Convencional</b>					
	<b>VV (%)</b>	<b>VAM (%)</b>	<b>RBV (%)</b>	<b>Estabilidade (kgf)</b>	<b>Fluência (mm)</b>
Norma DNIT 031/2006 - ES	3,0 - 5,0	>14	75 - 82	>500	2,0 - 4,6
Resultados obtidos	3,46	16,15	78,58	1121	3,99

Fonte: Autor, 2019

**Tabela 10– Resultados ensaio Marshall do asfalto borracha**

<b>Resumo - Asfalto borracha</b>					
	<b>VV (%)</b>	<b>VAM (%)</b>	<b>RBV (%)</b>	<b>Estabilidade (kgf)</b>	<b>Fluência (mm)</b>
Norma DNIT 112/2009 - ES	3,0 - 5,0	>15	65 - 78	>800	2,0 - 4,6
Resultados obtidos	4,92	18,37	73,28	1739	4,23

Fonte: Autor, 2019

**Tabela 11– Resultados ensaio Marshall do asfalto com polímero**

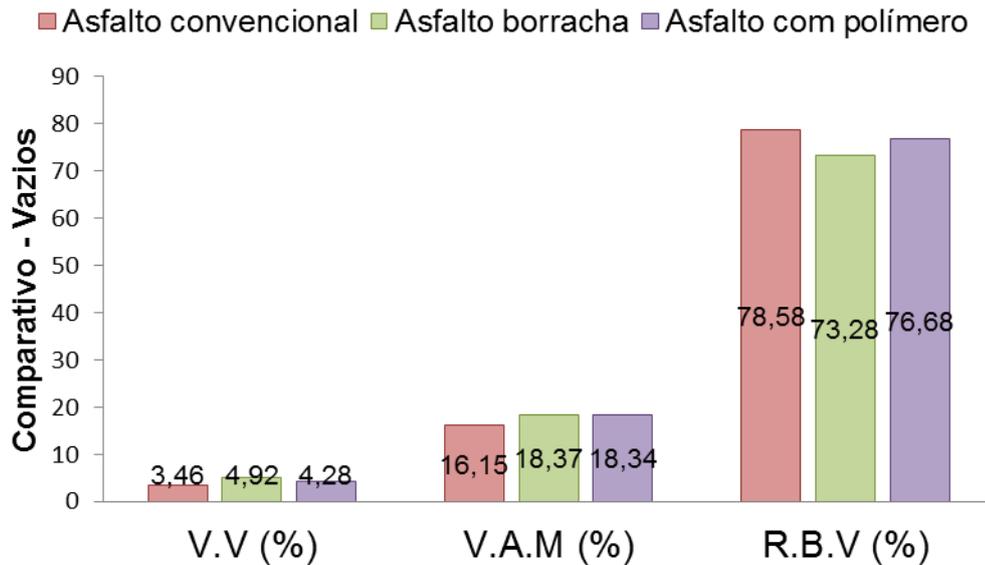
<b>Resumo - Asfalto modificado com polímero</b>					
	<b>VV (%)</b>	<b>VAM (%)</b>	<b>RBV (%)</b>	<b>Estabilidade (kgf)</b>	<b>Fluência (mm)</b>
Norma DNER - ES 385/99	3,0 - 5,0	>14	75 - 82	>500	2,0 - 4,5
Resultados obtidos	4,28	18,34	76,68	1207	4,10

Fonte: Autor, 2019

Pode-se observar que a média dos resultados da porcentagem do número de vazios (V.V %), da porcentagem de vazios do agregado mineral (VAM %) e da relação betume vazios (RBV %) estão todos dentro da norma DNIT 031/2006 – ES, DNIT 112/2009 – ES e DNER - ES 385/99 que se referem ao asfalto convencional, asfalto borracha e o asfalto polímero respectivamente.

Depois de realizados os ensaios e obtidos os resultados segue o estudo comparativo entre os três tipos de asfaltos utilizados. Primeiramente foram analisadas as porcentagens de vazios dos asfaltos, conforme figura 22.

**Figura 22– Gráfico comparativo de vazios entre os tipos de asfaltos analisados**



Fonte: Autor, 2019

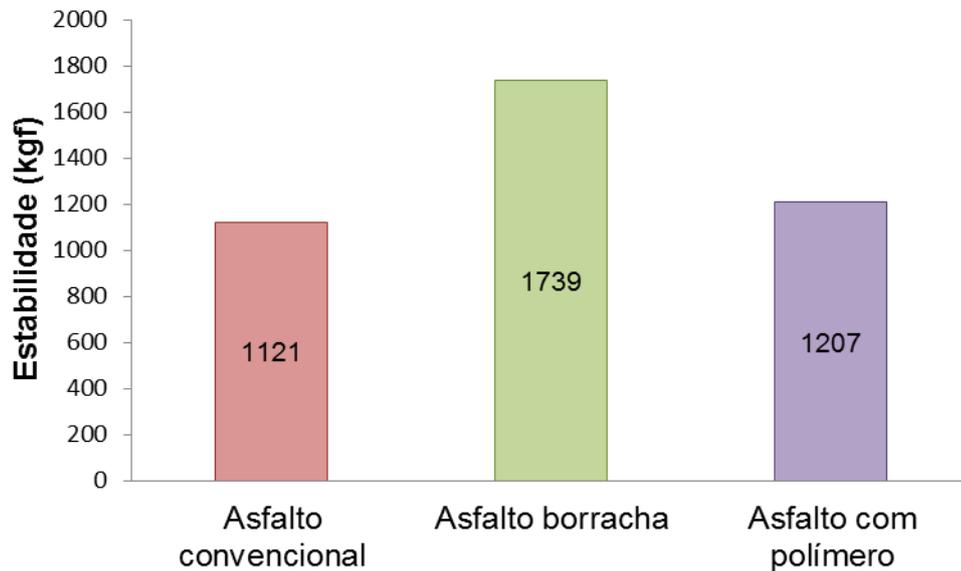
Pode-se observar que o teor de vazios no asfalto borracha é bem maior quando comparado com o asfalto convencional e o asfalto polímero. Isso se dá pelo fato do asfalto borracha expandir-se, tornando-se mais poroso, mas sem perder sua resistência característica.

Como a borracha tem a característica de se expandir na mistura, as partículas dos agregados se separam e com isso aumenta os vazios do agregado mineral também. O asfalto borracha obteve 18,37% de VAM, enquanto o asfalto convencional e o asfalto polímero tiveram resultados inferiores.

Quando maior o VAM menor vai ser a relação betume vazios (RBV), o asfalto borracha obteve um resultado de 73,28% de RBV, enquanto o asfalto convencional e o asfalto polímero obtiveram valores mais altos.

Outro resultado que pode ser comparado entre o asfalto borracha, asfalto polímero e asfalto convencional é o da estabilidade, que é a resistência máxima que o asfalto possui até seu rompimento, a figura 23 apresenta os resultados de estabilidade para os três tipos de asfalto.

**Figura 23– Gráfico comparativo de estabilidade para os três tipos de asfalto analisados**

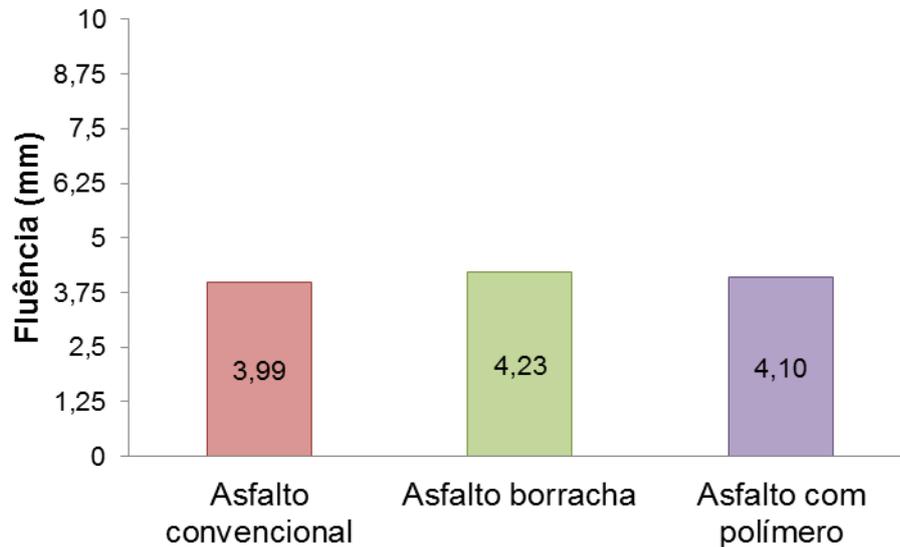


Fonte: Autor, 2019

Através dos resultados de estabilidade, verificou-se que o asfalto borracha possui resistência muito maior que o asfalto convencional e também que o asfalto polímero. Isso se dá pelo fato da borracha possuir características elásticas e também possuir partículas em sua composição que aumentam a resistência do asfalto.

Os resultados de fluência são apresentados na Figura 24. De acordo com os mesmos, verifica-se que o asfalto borracha também obteve resultados mais satisfatórios ao comparar com o asfalto convencional e com o asfalto modificado por polímero.

**Figura 24– Gráfico comparativo de fluência para os três tipos de asfalto analisados**



Fonte: Autor, 2019

Pode-se observar que o asfalto borracha foi o que mais se deformou até seu rompimento quando comparado com o asfalto convencional. Isso se dá pela característica de recuperação elástica do asfalto borracha, fator importante para diminuição dos trilhos de rodas provocados pelo excesso de carga e tráfego das rodovias.

#### **4.2.2. Resistência à tração por compressão diametral**

A Figura 25 mostra as médias dos resultados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

O asfalto convencional apresenta uma maior resistência média em relação às outras misturas. O asfalto com polímero apresenta uma resistência bem alta também, porque geralmente um ligante modificado pode proporcionar uma resistência à tração mais elevada.

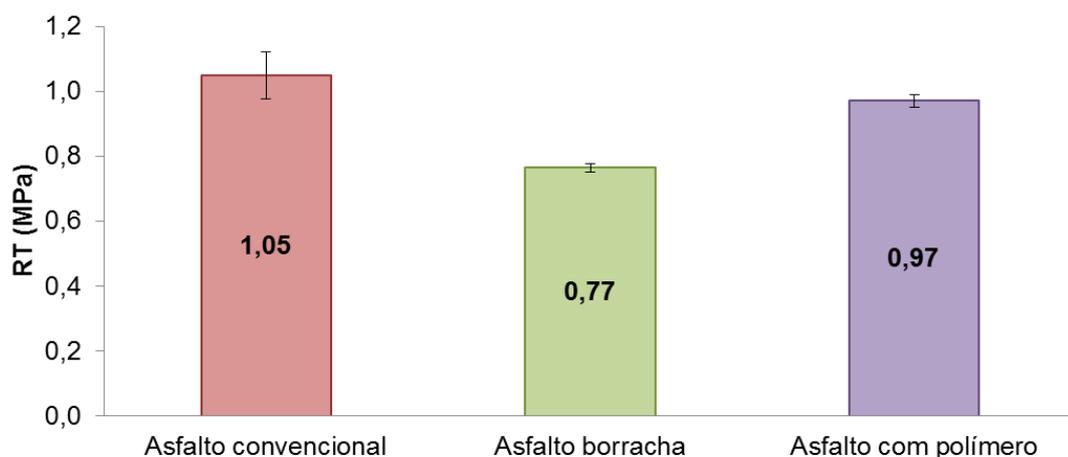
A diferença entre o asfalto convencional e o asfalto polímero é muito pequena, considerando o desvio padrão ela se tornaria quase a mesma coisa entre as duas misturas.

O asfalto borracha deu seu resultado menor, mas mesmo assim ficou dentro do limite sugerido pela norma, ou seja, não afeta no comportamento da mistura. Um

dos motivos que deve ter interferido no resultado foi o fato da granulometria das misturas terem sido diferentes, ocasionando alterações nos resultados.

Todos os valores obtidos mantiveram-se dentro dos valores mínimos (0,65 MPa) e máximos (1,10 MPa) especificados pelo método de ensaio 138 (DNER, 1994).

**Figura 25– Médias dos resultados de resistência à tração para os três tipos de asfalto analisados**



Fonte: Autor, 2019

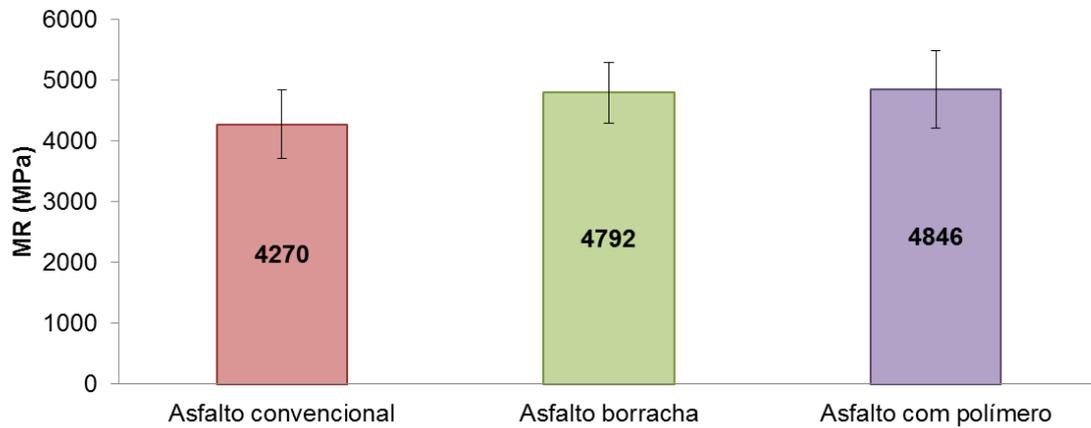
#### 4.2.3. Módulo de resiliência

Na figura 26 encontra-se o gráfico comparativo das médias dos resultados obtidos. Com base nesses resultados, é possível observar que o asfalto modificado por polímero apresenta uma maior rigidez. No que se diz respeito aos asfaltos modificados com borracha, estes apresentam valores de módulo de resiliência semelhantes aos obtidos com o polímero, não apresentando uma diferença muito significativa entre os dois.

O ensaio de módulo de resiliência representa o que acontece com a camada de revestimento, faz uma simulação ao tráfego de veículos passando sobre essa camada de revestimento. O asfalto com polímero foi o que mais se adaptou a essas cargas, tensões sobre a camada, foi o que obteve um resultado mais

satisfatório. A granulometria diferente das misturas deve ter interferido no resultado também, ocasionando algumas alterações.

**Figura 26– Médias dos resultados do módulo de resiliência para os três tipos de asfalto analisados**



Fonte: Autor, 2019

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos através dos comportamentos mecânicos das misturas, é possível concluir que através do ensaio marshall foi comprovado que o asfalto borracha possui uma maior estabilidade quando comparado com o asfalto polímero e o asfalto convencional, onde ele foi capaz de resistir a uma maior carga e ter uma maior deformação até seu rompimento, características que tornam o asfalto borracha viável para aplicação em pavimentos devido ao volume de tráfego e cargas existentes no dia de hoje. Outra característica do asfalto borracha que pode ser obtida nos ensaios foi da porosidade encontrada nele, isso ajuda a torná-lo um pouco mais permeável diminuindo as lâminas d'água em dias de chuva, e assim reduzindo riscos de aquaplanagem e acidentes. No entanto ele apresentou uma menor resistência à tração mesmo possuindo um valor de módulo muito bom, mas passou dentro dos limites da norma, ou seja, ele poderia ser muito bem empregado em camadas de pavimento, conseguindo alcançar altos desempenhos e aumentando a vida útil da camada de revestimento.

O asfalto modificado com polímero teve um resultado mais satisfatório no módulo de resiliência se tornando assim um asfalto mais rígido, mais eficiente.

Nos ensaios de caracterização dos ligantes concluiu-se que o asfalto modificado com polímero obteve resultados satisfatórios nos três ensaios. Ele conseguiu adquirir uma maior recuperação elástica, voltando 84,5 % ao seu estado natural.

Ou seja, para uma melhor estabilidade o asfalto borracha se destaca, mas quando se diz respeito à deformabilidade o asfalto modificado com polímero seria o recomendado.

Pode-se então concluir que os asfaltos modificados com ligantes interferem no comportamento das misturas asfálticas, são uma boa alternativa e apresentam bons resultados para o uso em pavimentação.

Outro fator que influenciou bastante nos resultados foi o fato da granulometria não ser a mesma para todas as misturas, houve variações nas porcentagens. Ou seja, a granulometria interferiu nos resultados também, talvez se a granulometria tivesse sido a mesma para todas as misturas, os resultados teriam sido diferentes e daí sim seria feito uma análise mais comparativa entre eles.

O uso de modificadores de asfalto veio com grande importância para melhorar o desempenho e a qualidade das camadas de revestimento, através desse estudo e observando outros trabalhos sobre o mesmo tema, pode-se concluir a grande importância de se estudar novos assuntos, descobrir novas técnicas e métodos para melhorar e aperfeiçoar cada vez mais essas novas soluções. As misturas como um todo, conseguiram melhorar a resistência e a durabilidade da camada de revestimento comparadas ao asfalto convencional.

Para trabalhos futuros, fica ainda como sugestão, a realização de um trabalho referente à economia x desempenho dessas misturas asfálticas. Para poder observar quanto tempo duraria uma estrutura de asfalto com cada mistura até obterem a sua primeira melhoria comparada com o custo de cada uma.

Outra sugestão seria utilizar os resultados obtidos através do ensaio de módulo de resiliência para fazer um estudo da vida útil da camada de revestimento para cada mistura asfáltica, analisando a espessura que cada uma deveria obter para adquirir um melhor resultado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCR. ABCR: Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias, c2019. Página inicial. Disponível em: <<http://www.abcr.org.br/>>. Acesso em: 26 de mar. de 2019.

ABEDA. ABEDA: Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto, c2019. Página inicial. Disponível em: <<http://www.abeda.org.br/>>. Acesso em: 20 de abr. de 2019.

ANP. ANP: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, c2019. Página inicial. Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/> >. Acesso em: 02 de abr. de 2019.

ARAÚJO, Diones Henrique. Análise Comparativa do Asfalto Borracha com o Asfalto Convencional e o Asfalto com Adição de Polímeros. UNIFOR-MG, Formiga – MG, 2015.

ASFALTO BORRACHA. Blog Asfalto de Qualidade, 2015. Disponível em: <<http://asfaltodequalidade.blogspot.com/2015/12/asfalto-borracha.html>>. Acesso em: 14 de abr. de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6560: Ligantes asfálticos - Determinação do ponto de amolecimento - Método do anel e bola. Rio de Janeiro: Abnt, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15529: Asfalto borracha - Propriedades reológicas de materiais não newtonianos por viscosímetro rotacional. Rio de Janeiro: Abnt, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6576: Materiais asfálticos - Determinação da penetração. Rio de Janeiro: Abnt, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: Abnt, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - *NBR 9935/2011*: Agregados – Terminologia. P. 01/04.

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

BERNUCCI, Liedi B. et al. *Pavimentação Asfáltica Petrobrás*. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. *Pavimentação asfáltica*: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro, RJ: Petrobras/Abeda, 504p, 2008.

\_\_\_\_\_. *Pavimentação Asfáltica*: formação básica para engenheiros. 3. ed. Rio de Janeiro: Imprinta, 2010

BETUSEAL, ORIGENS do asfalto, 2014. Disponível em: <<https://www.betuseal.com.br/origens-asfalto/>>. Acesso em: 18 de mar. de 2019.

BRASQUIMICA. Brasquimica: produtos asfálticos Ltda, c2019. Página inicial. Disponível em: < <https://www.brasquimica.com.br/>>. Acesso em: 26 de mar. de 2019.

CONCER.Obras em andamentos; Disponível em <[www.concer.com.br/obras\\_andamento\\_asf\\_eco.htm](http://www.concer.com.br/obras_andamento_asf_eco.htm) >: acesso em 29 de março de 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 095/2006 - EM: Cimentos asfálticos de petróleo - Especificação de material. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 2006 - *Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos*. 2. ed. Ministério dos Transportes – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias.

Publicação IPR 720. Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em: [http://www1.dnit.gov.br/ipr\\_new/](http://www1.dnit.gov.br/ipr_new/). Acesso em: 10 de abril de 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 112/2009 - ES: Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico com asfalto borracha, via úmida, do tipo “Terminal Blending” - Especificação de serviço. Rio de Janeiro: DNIT, 2009.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 130/2010- ME: Determinação da recuperação elástica de materiais asfálticos pelo ductilômetro – Método de Ensaio. Rio de Janeiro: DNIT, 2010 A.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 135/2010- ME: Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas - Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio. Rio de Janeiro: DNIT, 2010 B.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 136/2010- ME: Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio. Rio de Janeiro: DNIT, 2010 C.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 129/2011- EM: Cimento asfáltico de petróleo modificado por polímero elastomérico – Especificação de material. Rio de Janeiro: DNIT, 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 053/94: Misturas betuminosas – percentagem de betume. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 043/95: Misturas betuminosas a quente - ensaio Marshall. Rio de Janeiro, 1995.

FABBRI, G. T. P.; FURLAN, A. P.; TAIRA, C. *Efeito do asfalto modificado com polímero nas propriedades mecânicas de misturas asfálticas densas*. XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET, 2005. ABEDA, 2015

FILHO, C. L. D. N. *Avaliação Laboratorial de Misturas Asfálticas SMA Produzidas com Ligante Asfalto-Borracha*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2004.

GONZALVEZ et al, 2004 apud Gusmão 2009      Gonzáles, O.; Muñoz M.E.; Santamaría, A.; Garcia-Morales, M.; Navarro, F.J.; Partal, P.; Rheology and Stability of Bitumen / EVA blends; *European Polymer Journal*; p.2365-2372; 2004.

GRECA Asfaltos. *Artigo Linha eco flexpave*. Disponível em: <[http://www.flexpave.com.br/leiamais\\_ecoflex/13\\_estudo\\_ecoflex\\_2009.pdf](http://www.flexpave.com.br/leiamais_ecoflex/13_estudo_ecoflex_2009.pdf)>. Acesso em: 08 maio 2019.

LEITE, L.F.M. *Estudo de Preparo e Caracterização de asfaltos modificados por Polímeros*. Rio de Janeiro, 1999 - Instituto de Macromoléculas, Universidade Federal do rio de Janeiro, 1999.

LIBERATORI, L.; CONSTANINO, R.; TUCHUMANTEL, O.; MARIN, L. Mistura asfáltica com asfalto modificado por polímero Stylink PG 76-22 aplicada na SP -300. Avaliação do desempenho após um ano de operação. 17o Encontro do Asfalto. Rio de janeiro, 2004.

MAPA da obra. Votorantim Cimentos, 2018. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/materiais-betuminosos/>>. Acesso em: 14 de abr. de 2019.

MENDES, C. B. A.; NUNES, F. R. *Asfalto Borracha -minimizando os impactos ambientais gerados pelo descarte de pneus inservíveis no meio ambiente*. Vitória, 2009.

MORILHA JR., A.; GRECA, M. R. *Considerações Relacionadas ao Asfalto Ecológico – Ecoflex*. IEP, Apostila sobre Asfalto-borracha, Instituto de Engenharia do Paraná. 2003.

NORMAS DEL LABORATORIO DE TRANSPORTE. NLT 329/91: Recuperación elástica por torsión de betunes asfálticos modificados. Madrid, 1991.

NTA. NTA: Novas Técnicas de Asfalto, c2019. Página inicial. Disponível em: <<http://www.nta-asfaltos.com.br/>>. Acesso em: 02 de abr. de 2019.

ODA, S. *Análise da viabilidade técnica da utilização do ligante asfalto-borracha em obras de pavimentação*. São Carlos, SP: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 251p, 2000. (Tese de Doutorado)

ODA, S.; FERNANDES JUNIOR, J.L. *Borrachas de pneu como modificador de cimentos asfálticos para o uso em obras de pavimentação*. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá. São Carlos 2001.

PINHEIRO, J. H., SOARES, J. B. Realização e acompanhamento de dois trechos experimentais com asfalto-borracha no estado do Ceará. Transportes, 2005. Disponível em: <<https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/92/81>>. Acesso em: 10 de abr. de 2019.

RESOLUÇÃO n. 19 de 11 de julho de 2005 da ANP - Regulamento Técnico ANP nº03/2005. Publicada no Diário Oficial da União em 13 de julho de 2005. Disponível em: <<http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2005/julho&item=ranp-19--2005>>. Acesso em: 25 de mar. de 2019.

REVISTA RODOVIAS E VIAS. Tecnologia Asfalto. Edição 36, 2010. Disponível em: <<http://www2.rodoviasevias.com.br/revista/materias.php?id=268&edicao=Edicao36>> Acesso em: 4 abril 2019.

ROBERTS, F.L.; P.S. Kandhal; R.E. Brown; D. Lee e T.W. Kennedy (1996) Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction. NAPA. Maryland.

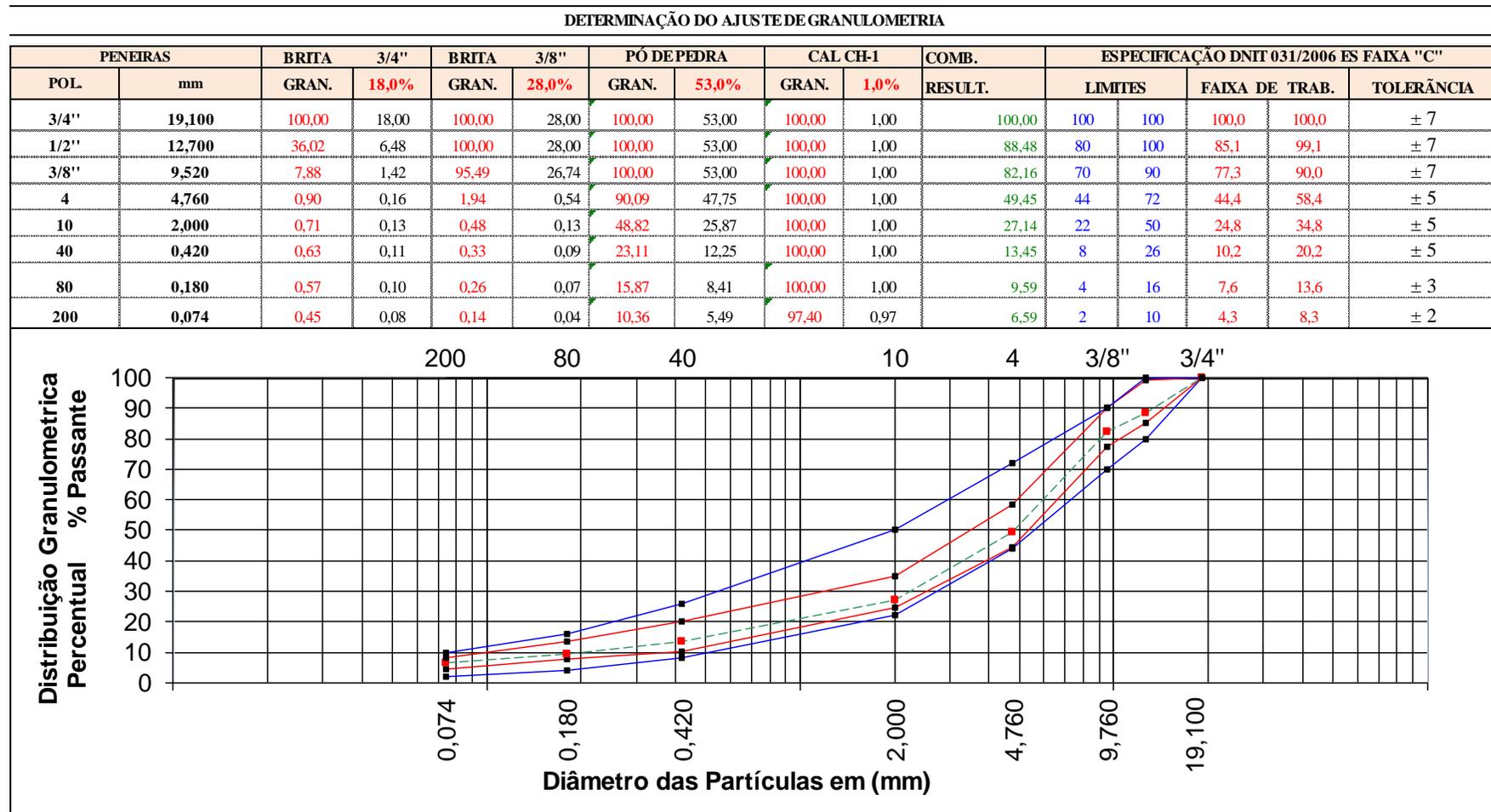
ROSSI, Anna Carolina. Etapas de uma Obra de Pavimentação e Dimensionamento de Pavimento para uma Via na Ilha do Fundão. Trabalho de conclusão de curso, UFRJ, Rio de Janeiro – RJ, 2017.

SENÇO, Wlastermiler de. *Manual de técnicas de pavimentação: volume 1.2.* ed. São Paulo: Pini, 2007. 761 p.

SPECHT, L.P. *Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus.* 2004. 279 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

## ANEXOS

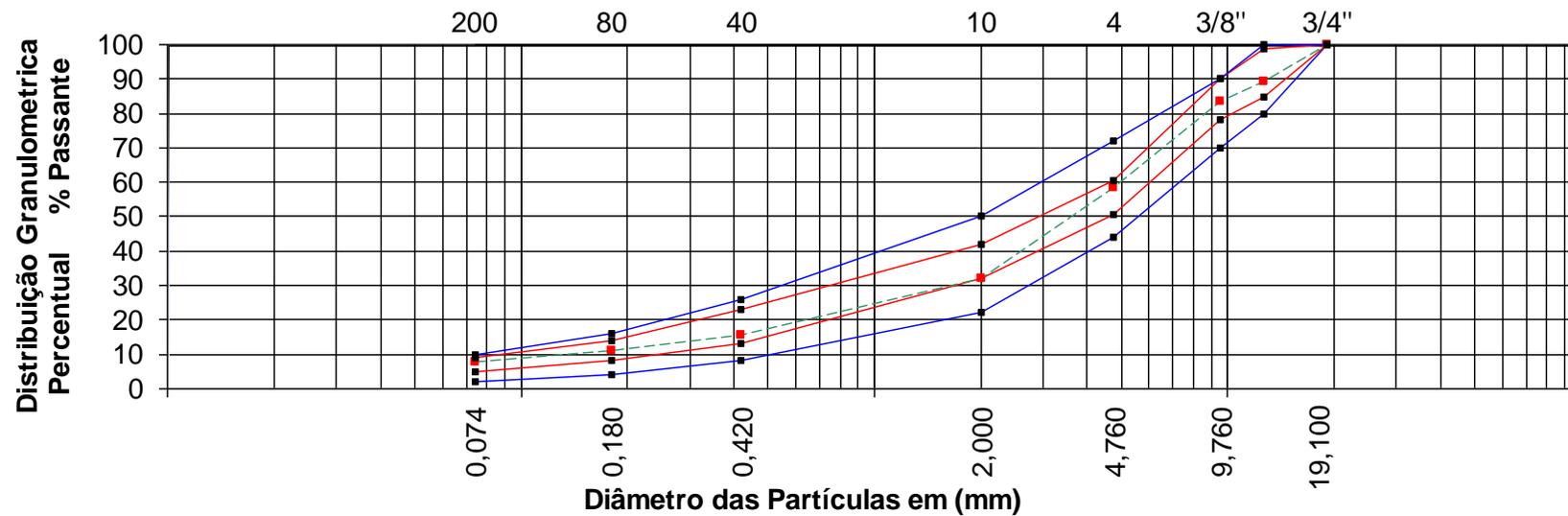
## ANEXO A - DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO MARSHALL (ASFALTO CONVENCIONAL)



## ANEXO B - DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO MARSHALL (ASFALTO POLÍMERO)

### DETERMINAÇÃO DO AJUSTE DE GRANULOMETRIA

PENEIRAS		BRITA 3/4"		BRITA 3/8"		PÓ DE PEDRA		CAL CH-1		COMB.	ESPECIFICAÇÃO DNIT 031/2006 ES FAIXA "C"				
POL.	mm	GRAN.	17,0%	GRAN.	19,0%	GRAN.	63,0%	GRAN.	1,0%	RESULT.	LIMITES		FAIXA DE TRAB.		TOLERÂNCIA
3/4"	19,100	100,00	17,00	100,00	19,00	100,00	63,00	100,00	1,00	100,0	100	100	100,0	100,0	± 7
1/2"	12,700	36,02	6,12	100,00	19,00	100,00	63,00	100,00	1,00	89,1	80	100	84,9	98,9	± 7
3/8"	9,520	7,88	1,34	95,49	18,14	100,00	63,00	100,00	1,00	83,5	70	90	78,2	90,0	± 7
4	4,760	0,90	0,15	1,94	0,37	90,09	56,76	100,00	1,00	58,3	44	72	50,5	60,5	± 5
10	2,000	0,71	0,12	0,48	0,09	48,82	30,76	100,00	1,00	32,0	22	50	31,9	41,9	± 5
40	0,420	0,63	0,11	0,33	0,06	23,11	14,56	100,00	1,00	15,7	8	26	13,1	23,1	± 5
80	0,180	0,57	0,10	0,26	0,05	15,87	10,00	100,00	1,00	11,1	4	16	8,1	14,1	± 3
200	0,074	0,45	0,08	0,14	0,03	10,36	6,53	97,40	0,97	7,6	2	10	4,9	8,9	± 2

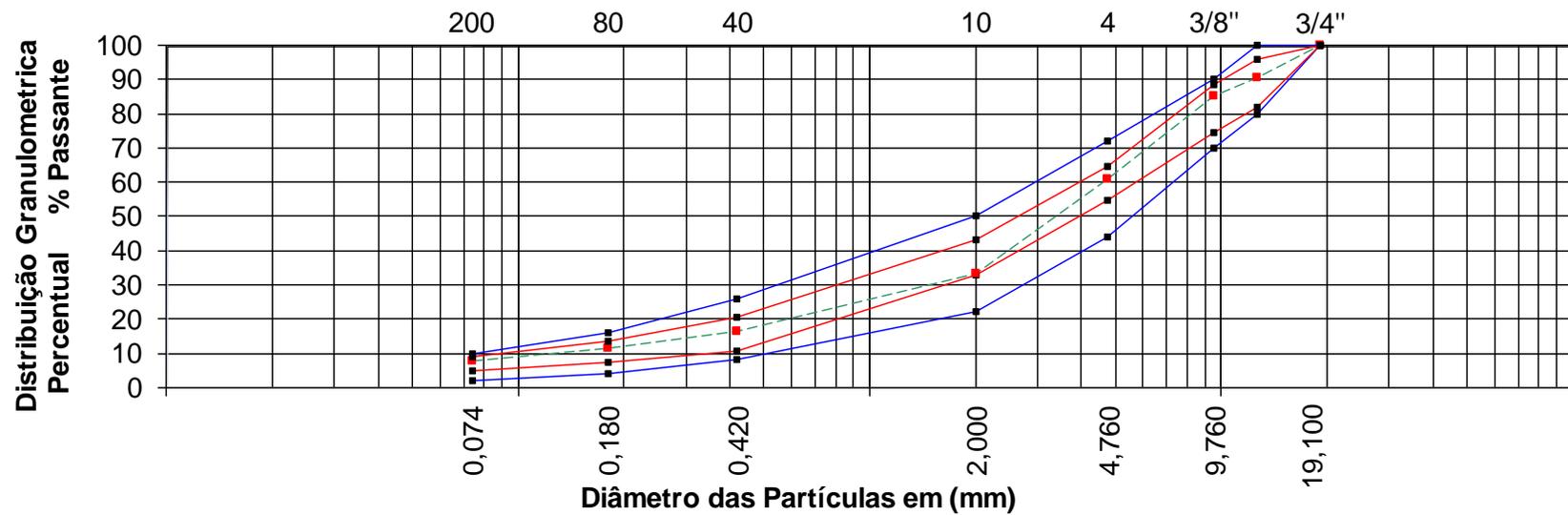


Legenda	
Azul	Limites
Verde	Resultado
Vermelho	Faixa de trab.

## ANEXO C - DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO MARSHALL (ASFALTO BORRACHA)

DETERMINAÇÃO DO AJUSTE DE GRANULOMETRIA

PENEIRAS		BRITA 3/4"		BRITA 3/8"		PÓ DE PEDRA		CAL CH-1		COMB.	ESPECIFICAÇÃO DNIT 112/2009 ES FAIXA "C"				
POL.	mm	GRAN.	15,0%	GRAN.	18,0%	GRAN.	66,0%	GRAN.	1,0%	RESULT.	LIMITES		FAIXA DE TRAB.		TOLERÂNCIA
3/4"	19,100	100,00	15,00	100,00	18,00	100,00	66,00	100,00	1,00	100,0	100	100	100,0	100,0	± 7
1/2"	12,700	36,02	5,40	100,00	18,00	100,00	66,00	100,00	1,00	90,4	80	100	82,1	96,1	± 7
3/8"	9,520	7,88	1,18	95,49	17,19	100,00	66,00	100,00	1,00	85,4	70	90	74,6	88,6	± 7
4	4,760	0,90	0,14	1,94	0,35	90,09	59,46	100,00	1,00	60,9	44	72	54,7	64,8	± 5
10	2,000	0,71	0,11	0,48	0,09	48,82	32,22	100,00	1,00	33,4	22	50	33,0	43,0	± 5
40	0,420	0,63	0,09	0,33	0,06	23,11	15,25	100,00	1,00	16,4	8	26	10,7	20,7	± 5
80	0,180	0,57	0,09	0,26	0,05	15,87	10,47	100,00	1,00	11,6	4	16	7,5	13,5	± 3
200	0,074	0,45	0,07	0,14	0,03	10,36	6,84	97,40	0,97	7,9	2	10	4,9	8,9	± 2



Legenda	
Azul	Limites
Verde	Resultado
Vermelho	Faixa de trab.

## ANEXO D – DADOS DO TRAÇO DO ASFALTO CONVENCIONAL

DADOS DO TRAÇO			
TRAÇO DE CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE (CBUQ)			
GRANULOMETRIA			PESO DO CORPO DE PROVA - 1200 g
PENEIRAS	LIMITES	% RETIDA DA COMPOSIÇÃO	TEOR
			5,2
19,10	<b>100,00</b>	3/4" - 1/2" = <b>11,52</b> %	129,7
12,70	<b>88,48</b>	1/2" - 3/8" = <b>6,33</b> %	71,3
9,52	<b>82,16</b>	3/8" - 4 = <b>32,70</b> %	368,3
4,760	<b>49,45</b>	4 - 10 = <b>22,32</b> %	251,3
2,000	<b>27,14</b>	10 - 40 = <b>13,68</b> %	154,1
0,420	<b>13,45</b>	40 - 80 = <b>3,87</b> %	43,6
0,180	<b>9,59</b>	80 - 200 = <b>3,00</b> %	33,8
0,074	<b>6,59</b>	PASS. 200 = <b>6,59</b> %	74,2
PESO DO AGREGADO			1.126,2
CAL CH-1		1,0%	11,4
PESO DO AGREGADO			1137,6
PESO DO CAP (g)			62,4
TOTAL			1.200,0

## ANEXO E – DADOS DO TRAÇO DO ASFALTO BORRACHA

DADOS DO TRAÇO			
TRAÇO DE CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE (CBUQ)			
GRANULOMETRIA			PESO DO CORPO DE PROVA - 1200 g
PENEIRAS	LIMITES	% RETIDA DA COMPOSIÇÃO	TEOR
			5,6
19,10	<b>100,00</b>	3/4" - 1/2" = <b>9,60</b> %	107,6
12,70	<b>90,40</b>	1/2" - 3/8" = <b>5,03</b> %	56,4
9,52	<b>85,37</b>	3/8" - 4 = <b>24,43</b> %	273,9
4,760	<b>60,94</b>	4 - 10 = <b>27,53</b> %	308,7
2,000	<b>33,41</b>	10 - 40 = <b>17,01</b> %	190,7
0,420	<b>16,41</b>	40 - 80 = <b>4,80</b> %	53,8
0,180	<b>11,61</b>	80 - 200 = <b>3,70</b> %	41,5
0,074	<b>7,90</b>	PASS. 200 = <b>7,90</b> %	88,6
PESO DO AGREGADO			1.121,5
CAL CH-1		1,0%	11,3
PESO DO AGREGADO			1132,8
PESO DO CAP (g)			67,2
TOTAL			1.200,0

## ANEXO F – DADOS DO TRAÇO DO ASFALTO POLÍMERO

DADOS DO TRAÇO			
TRAÇO DE CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE (CBUQ)			
GRANULOMETRIA			PESO DO CORPO DE PROVA - 1200 g
PENEIRAS	LIMITES	% RETIDA DA COMPOSIÇÃO	TEOR
			5,7
19,10	<b>100,00</b>	3/4" - 1/2" = <b>10,88</b> %	121,8
12,70	<b>89,12</b>	1/2" - 3/8" = <b>5,64</b> %	63,2
9,52	<b>83,48</b>	3/8" - 4 = <b>25,20</b> %	282,4
4,760	<b>58,28</b>	4 - 10 = <b>26,31</b> %	294,7
2,000	<b>31,97</b>	10 - 40 = <b>16,24</b> %	181,9
0,420	<b>15,73</b>	40 - 80 = <b>4,58</b> %	51,4
0,180	<b>11,14</b>	80 - 200 = <b>3,54</b> %	39,7
0,074	<b>7,60</b>	PASS. 200 = <b>7,60</b> %	85,2
PESO DO AGREGADO			1.120,3
CAL CH-1		1,0%	11,3
PESO DO AGREGADO			1131,6
PESO DO CAP (g)			68,4
TOTAL			1.200,0

## ANEXO G – ENSAIO MARSHALL

### DETERMINAÇÃO DA MOLDAGEM MARSHALL

PROCEDÊNCIA DOS MATERIAIS :

BRITAGEMECOTERRA

DETERMINAÇÃO DA MOLDAGEM MARSHALL																
PROCEDÊNCIA DOS MATERIAIS : BRITAGEMECOTERRA																
DENS. REAL DO CIMENTO ASFÁLTICO (DRca) :			1,001	CAP 50/70			1,027	ECOFLEX B 3-G			1,008	FLEXPAVE60/85			NÚMERO DE GOLPES : 75	
DENS REAL DA MISTURA DOS AGREG (DRag) :			2,763	CAP 50/70			2,768	ECOFLEX B 3-G			2,846	FLEXPAVE60/85			CONSTANTE : 1,882	
CORPO DE PROVA	% CIMENTO ASFÁLTICO	TIPO CIMENTO ASFÁLTICO	PESO EM GRAMAS		VOLUME (cm)	DENSIDADE		V.V% PORCENTAGEM VAZIOS	V.B% VAZIOS COM BETUME	V.AM% VAZIOS AGREGADO MINERAL	R.B.V% RELAÇÃO Bet.Vazios	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA	
			NO AR (G)	NA ÁGUA (G)		APARENTE (Kg/dm³)	máxima Teórica(Kg/dm³)					Leitura	FATOR CORREÇÃO	CORRIGIDA 25,4	LEIT. (mm)	1 100''
01	5,2	CAP 50/70	1183,40	699,00	484,4	2,443	2,531	3,48	12,69	16,17	78,50	580	1,09	1190	3,41	13,43
02	5,2	CAP 50/70	1184,70	698,80	485,9	2,438	2,531	3,67	12,67	16,33	77,54	540	1,09	1108	4,36	17,17
03	5,2	CAP 50/70	1187,10	701,00	486,1	2,442	2,531	3,51	12,69	16,20	78,31	520	1,09	1067	4,21	16,57
04	5,2	CAP 50/70	1198,40	707,60	490,8	2,442	2,531	3,53	12,68	16,21	78,24					
05	5,2	CAP 50/70	1201,10	710,00	491,1	2,446	2,531	3,37	12,71	16,07	79,04					
06	5,2	CAP 50/70	1197,60	708,70	488,9	2,450	2,531	3,22	12,73	15,94	79,82					
<b>MÉDIAS</b>						<b>2,443</b>		<b>3,46</b>		<b>16,15</b>	<b>78,58</b>			<b>1121</b>	<b>3,99</b>	<b>15,72</b>
01	5,6	ECOFLEX B 3-G	1208,20	701,80	506,4	2,386	2,528	5,63	13,35	18,97	70,35	865	1,04	1693	4,52	17,80
02	5,6	ECOFLEX B 3-G	1209,80	701,60	508,2	2,381	2,528	5,83	13,32	19,15	69,53	880	1,040	1722	3,91	15,39
03	5,6	ECOFLEX B 3-G	1206,30	703,60	502,7	2,400	2,528	5,08	13,42	18,50	72,55	920	1,04	1801	4,25	16,73
04	5,6	ECOFLEX B 3-G	1209,10	707,70	501,4	2,411	2,528	4,61	13,49	18,10	74,52					
05	5,6	ECOFLEX B 3-G	1209,90	711,00	498,9	2,425	2,528	4,07	13,57	17,64	76,92					
06	5,6	ECOFLEX B 3-G	1209,30	709,40	499,9	2,419	2,528	4,31	13,53	17,84	75,84					
<b>MÉDIAS</b>						<b>2,404</b>		<b>4,92</b>		<b>18,37</b>	<b>73,28</b>			<b>1739</b>	<b>4,23</b>	<b>16,64</b>
01	5,7	FLEXPAVE 60/85	1200,10	713,90	486,2	2,468	2,578	4,26	14,06	18,31	76,76	595	1,09	1221	3,91	15,39
02	5,7	FLEXPAVE 60/85	1205,00	716,50	488,5	2,467	2,578	4,32	14,05	18,36	76,49	610	1,09	1251	4,21	16,57
03	5,7	FLEXPAVE 60/85	1203,40	715,20	488,2	2,465	2,578	4,39	14,04	18,42	76,19	560	1,09	1149	4,17	16,42
04	5,7	FLEXPAVE 60/85	1204,60	720,50	484,1	2,488	2,578	3,48	14,17	17,65	80,28					
05	5,7	FLEXPAVE 60/85	1201,90	710,70	491,2	2,447	2,578	5,09	13,93	19,02	73,25					
06	5,7	FLEXPAVE 60/85	1202,50	715,70	486,8	2,470	2,578	4,18	14,07	18,25	77,08					
<b>MÉDIAS</b>						<b>2,468</b>		<b>4,28</b>		<b>18,34</b>	<b>76,68</b>			<b>1207</b>	<b>4,10</b>	<b>16,13</b>