

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**LAÉRCIO ADOLFO DA PAIXÃO RUTZEN  
LUYNE DE SOUZA ANDRADE**

**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE MISTURAS  
BETUMINOSAS**

**ANÁPOLIS / GO**

**2015**

**LAÉRCIO ADOLFO DA PAIXÃO RUTZEN  
LUYNE DE SOUZA ANDRADE**

**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE MISTURAS  
BETUMINOSAS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADOR: PROF. DR. BENJAMIM JORGE RODRIGUES  
DOS SANTOS**

**ANÁPOLIS / GO: 2015**

## FICHA CATALOGRÁFICA

RUTZEN, LAÉRRICIO ADOLFO.  
ANDRADE, LUYNE DE SOUZA

Revisão Bibliográfica sobre Misturas Betuminosas 2015

50P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2015).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Mistura

3. Ensaio

I. ENC/UNI

2. Betume

4. Pavimentação Asfáltica

II. Título (Série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LAÉRCIO, A.P.R. - LUYNE, S. A. Revisão Bibliográfica sobre Misturas Betuminosas. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 50p. 2015

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DOS AUTORES: Laércio Adolfo da Paixão Rutzen e Luyne de Souza Andrade

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Revisão Bibliográfica sobre Misturas Betuminosas

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2015

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Laércio Adolfo da Paixão Rutzen  
E-mail: laerciorutzen@yahoo.com.br

---

Luyne de Souza Andrade  
E-mail: luynesouzaa@hotmail.

**LAÉRCIO ADOLFO DA PAIXÃO RUTZEN  
LUYNE DE SOUZA ANDRADE**

**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE MISTURAS  
BETUMINOSAS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

**APROVADO POR:**

---

**DOUTOR BENJAMIM JORGE RODRIGUES DOS SANTOS, Professor  
(ORIENTADOR)**

---

**DOUTOR MARCUS VINICIUS SILVA CAVALCANTI, Professor  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**MESTRE RICARDO WOBETO, Professor  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: ANÁPOLIS/GO, 08 de MAIO de 2015.**

## **DEDICATÓRIA**

Dedicamos este trabalho em primeiro lugar a Deus, pois sempre está ao nosso lado, dando forças para vencer todos os obstáculos no decorrer da vida. Para os nossos pais, Laury e Marlene (Laércio) e Rogério e Rossi (Luyne), por todos estes anos de apoio por esta vitória. Ao nossos líderes religiosos e a todos os amigos, pelo carinho, motivação, exemplo e companheirismo, e sem esquecer, claro, de todos aqueles que passaram por nossas vidas e que, direta ou indiretamente, colaboraram para o crescimento e enriquecimento deste trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pelos desafios superados e, especialmente, pela vida.

Aos professores do Curso de Engenharia Civil, pelo conhecimento e troca de experiências.

A professora, Dra. Ana Lúcia Carrijo Adorno, pelas “luzes” nessa jornada.

Ao professor e orientador Dr. Benjamim Jorge Rodrigues dos Santos, pela orientação e incentivo.

*“Faze para ti uma arca da madeira de gofer;  
farás compartimentos na arca e a betumarás  
por dentro e por fora com betume”*

*(Gênesis, 6-14)*

## RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso visa oferecer uma reflexão sobre a temática: Mistura Betuminosa, onde se propõe a explicitar que a falta de materiais betuminosos de qualidade tem se revelado um dos grandes problemas para a pavimentação asfáltica. Considerando o contexto onde essa prática acarreta uma quantidade de falhas, sendo necessário uma reposição da estrutura a fim atender melhor à demanda do tráfego. Nesse sentido, os profissionais responsáveis pela construção civil devem ter conhecimentos significativos na área, visto que, além das técnicas terem avançado nas últimas décadas, os materiais betuminosos também passaram a ter um estudo tecnológico de forma moderna e o controle da execução deve ser aliado à experiência adquirida. O principal objetivo desse estudo foi investigar os materiais betuminosos, suas características e a verificação de como são feitos os ensaios dessas misturas na aplicação asfáltica. Nesse trabalho houve também um estudo direcionado ao uso dos materiais betuminosos, incluindo as principais vantagens e desvantagens no uso do betume. A partir do estudo dos materiais nota-se que existem vários tipos dos métodos de ensaios que visam a garantia, qualidade e durabilidade das misturas betuminosas. E os resultados salientam sobre a importância dos materiais adequados, evitando assim, problemas futuros.

**Palavras-chave:** betume, mistura, pavimentação, ensaio.

## ABSTRACT

This course conclusion work aims to provide a reflection on the theme: Bituminous Mix, which sets out to explain that the lack of quality bituminous materials has proved a major problem for asphalt paving. Considering the context in which this practice entails a number of failures, requiring a spare structure to better meet the traffic demand. In this sense the professionals responsible for construction must have significant knowledge in the field, since, apart from technical to have advanced in recent decades, the bituminous materials also began to have a technological study in a modern way, and control of implementation must be combined with experience. The main objective of this study was to investigate the bituminous materials and their characteristics and check how they are made testing of these mixtures in asphalt application. In this study, there was also a study directed to the use of bituminous materials, including the main advantages and disadvantages in the use of bitumen. From the study of materials to note that there are several types of testing methods which aim to guarantee quality and durability of asphalt. And the results highlight the importance of appropriate materials, thus avoiding future problems.

**Keywords:** bitumen, mixing, paving, test.

## LISTA DE FOTOS

Foto 1 – Betume.....	18
Foto 2 – Asfalto.....	24
Foto 3 - Pavimentação asfáltica de alcatrão.....	25
Foto 4 - Asfalto Diluído do Petróleo.....	28

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Torre de Destilação.....	24
Figura 2 – Tamanho relativo das esferas de CAP em uma Emulsão Asfáltica.....	31
Figura 3 – Esquema de preparação da Emulsão Asfáltica.....	31
Figura 4 – Constituição tipo de um pavimento rodoviário flexível.....	33
Figura 5 – Composição volumétrica de uma amostra de uma mistura betuminosa.....	34
Figura 6 – Soquete Marshall.....	36
Figura 7 – Conjunto Marshall.....	37
Figura 8 – Molde.....	37
Figura 9 – Curvas Típicas.....	39
Figura 10 – Equipamento para calcular o ponto de penetração.....	41
Figura 11 – Equipamento viscosímetro Saybolt-Furol.....	43
Figura 12 – Ponto de Fulgor.....	43
Figura 13 – Ponto de Amolecimento Anel e Bola.....	44
Figura 14 – E esquema do ensaio de ductilidade em andamento e equipamento completo	45
Figura 15 – Equipamentos e arranjo experimental para o ensaio de solubilidade.....	46
Figura 16 – Estufa de película fina plana.....	47
Figura 17 – Exemplo dos gráficos dos valores médios obtidos no ensaio Marshall.....	51
Figura 18 – Conversão da viscosidade Saybolt - Furol.....	52

## LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Subdivisão dos agregados.....	20
Tabela 2 - Subdivisão da viscosidade.....	27
Tabela 3 – Especificações para asfaltos diluídos de cura média.....	29
Tabela 4 – Especificações para asfaltos diluídos de cura rápida.....	29
Tabela 5 – Classificação das Emulsões Asfálticas.....	30
Tabela 6 – Características recomendadas - estradas e aeroportos.....	40

## LISTA DE QUADRO

Quadro 1 – Classificação dos agregados para pavimentação.....	21
Quadro 2 – Classificação dos Materiais Betuminosos.....	26
Quadro 3 – Composição química média do betume.....	34

## **LISTA DE ABREVIACÕES**

ABEDA – Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto.

ASTM – American Society for Testing of Materials

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte

P – Penetração

PA - Ponto de Amolecimento

PF – Ponto de Fulgor

USACE. - U.S. Corps of Engineers

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1 CONTEXTO HISTÓRICO.....	15
1.2 JUSTIFICATIVA.....	16
1.3 OBJETIVOS.....	16
<b>1.3.1 Objetivo Geral</b> .....	16
<b>1.3.2 Objetivo Específico</b> .....	17
1.4 METODOLOGIA.....	17
1.5 ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS.....	17
<b>2 CONCEITUAÇÃO DE BETUME</b> .....	18
2.1 PRINCIPAIS VANTAGENS.....	19
2.2 PRINCIPAIS DESVANTAGENS.....	19
<b>3 CONCEITUAÇÃO DE PAVIMENTO</b> .....	20
3.1 AGREGADOS PARA PAVIMENTAÇÃO.....	20
3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS AGREGADOS.....	21
<b>3.2.1 Natureza do Agregado</b> .....	21
<b>3.2.2 Tamanho do Agregado</b> .....	22
<b>3.2.3 Graduação do Agregado</b> .....	22
<b>4 PRINCIPAIS MATERIAIS BETUMINOSOS</b> .....	23
4.1 ASFALTO.....	23
4.2 ALCATRÃO.....	25
4.3 CLASSIFICAÇÃO.....	26
<b>4.2.1 Cimento Asfáltico de Petróleo (CAPs)</b> .....	27
<b>4.2.2 Asfalto diluído (ADPs)</b> .....	28
<b>4.2.1 Emulsões Asfáltica</b> .....	30
<b>4.2.3 Asfaltos modificados por polímeros</b> .....	32
<b>5 MISTURAS BETUMINOSAS</b> .....	33
5.1 COMPOSIÇÃO VOLUMÉTRICA.....	34

<b>6. MÉTODO DE ENSAIOS PARA MISTURAS BETUMINOSAS.....</b>	<b>35</b>
6.1 ENSAIO MASHALL.....	34
<b>7. ENSAIOS DE MISTURAS BETUMINOSAS.....</b>	<b>41</b>
7.1 PENETRAÇÃO:.....	41
7.2 VISCOSIDADE.....	42
7.3 PONTO DE FULGOR.....	43
7.4 PONTO DE AMOLECIMENTO.....	44
7.5 DUCTILIDADE:.....	45
7.6 SOLUBILIDADE.....	45
7.7 ENVELHECIMENTO.....	46
<b>8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>48</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>49</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>51</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>52</b>

## 1. INTRODUÇÃO

É reconhecido que as rodovias é um sistema alternativo para o transporte de cargas e passageiros no tráfego do país. O tema dessa dissertação salienta sobre a importância da mistura betuminosa para a construção de um asfalto eficaz e duradouro.

É importante conhecer as características, classificações e métodos para a aplicação dos materiais betuminosos, na construção de novas rodovias e ampliação da malha rodoviária do país, bem como o trabalho de recuperação e manutenção asfáltica, pois exige uma série de ensaios prévios, para se ajustar o uso dos produtos e o material adequado.

As informações teóricas indicadas pelos autores pesquisados e também nos conhecimentos adquiridos no cotidiano em sala de aula, estão expressos nessas páginas. Neste contexto as informações sobre pavimentação, contribui para um aprendizado de qualidade e apresentação de uma visão ampla dos problemas e possíveis soluções.

A questão problemática, que procuramos responder, nessa pesquisa e dados colhidos na realidade é: Como o material betuminoso de má qualidade pode gerar danos para a pavimentação asfáltica?

Buscaremos problematizar a questão e descobrir caminhos por meio de análise dos ensaios, pois o atual processo de globalização na pós-modernidade exige novas técnicas e métodos, devido ao crescente volume de pavimentação asfáltica a cada ano e por representar um grande patrimônio ao país, portanto, o material betuminoso utilizado deve apresentar segurança e estabilidade devido à sua grande utilização em asfalto.

### 1.1 CONTEXTO HISTÓRICO

A utilização mais comum do betume dentro da construção civil está na pavimentação de vias e estradas. O betume bruto pode ser encontrado como um material sólido ou semissólido, e sua consistência maior se resulta em hidrocarbonetos.

É formado através da decomposição de organismos encontrados profundamente na crosta terrestre, onde os mesmos foram afetados por intenso calor por alta pressão. Este processo orgânico origina materiais como o betume. Estima-se que os usos históricos do betume iniciaram até a oito mil anos atrás. Tem-se o conhecimento porém, de que a raça humana faz a utilização desse material desde 5000 aC.

Contextos sociais e geográficos são fatores que predominam na utilização do betume. No entanto, foi historicamente utilizado para impermeabilização, construção civil, entre outros. Acredita-se também de que o betume foi bastante utilizado no Egito, no processo de mumificação de cadáveres, tendo a serventia de um tipo de conservante, os Sumérios e Assírios tratavam doenças de pele com este material.

Na Bíblia há relatos que Deus mandou um homem de nome Noé revestir sua arca por dentro e por fora com o betume (GÊNESIS 6,16).

Os povos Incas deram um nome para este material que significava “goma da terra” mas a origem da palavra “betume” deriva do antigo termo sânscrito (um idioma indiano) "jatu" e "jatu-krit", que significa "PICCHAR" (PROF LUCIANE KAWA, 2014).

Avanços mais recentes levaram à produção de betume a partir de fontes não-petrolíferas, tais como melão, milho e arroz.

A indústria da construção civil utiliza 85% de betume para asfalto de estradas, enquanto 10% de betume são utilizados para coberturas. A partir desses dados, o betume provou ser um material valioso devido à sua alta resistência às intempéries.

Depósitos naturais de betume podem ser encontrados em todo o mundo, tendo as maiores jazidas localizadas na Venezuela e também no Canadá.

## 1.2 JUSTIFICATIVA:

O sistema de transporte é um elemento essencial para a vida econômica e social dos países. Visto que diariamente trafegam milhões de veículos sobre o sistema viário brasileiro, observa-se a importância de se ter um material betuminoso de qualidade para suportar a deformação, devido a carga da forte demanda de veículos nas estradas, ação climática e as forças da natureza.

## 1.3 OBJETIVOS:

### 1.3.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é apresentar os principais materiais betuminosos e suas características, relatar como são feitos os ensaios laboratoriais das misturas betuminosas antes de aplicá-las na pavimentação asfáltica.

### 1.3.2 Objetivos específicos

Apresentar uma compilação de definições, classificações, dos principais tipos de materiais betuminosos utilizados em pavimentação asfáltica, conceituação, e métodos de ensaios utilizados nas misturas betuminosas: Penetração, Viscosidade, Ponto de Fulgor, Ponto de Amolecimento, Ductilidade, Solubilidade e Envelhecimento.

### 1.4 METODOLOGIA:

A metodologia utilizada irá se basear em:

- pesquisas bibliográficas
- revisão de literatura
- levantamentos estatísticos
- resumos e dissertações realizadas mediante tais pesquisas, para compor a monografia que se aterá ao tema do projeto.

### 1.5 ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS

O texto desta Dissertação encontra-se em um volume distribuído da seguinte forma: O Capítulo 1 trata da Introdução, Contexto Histórico, Justificativa, Objetivos, Metodologia e Organização dos Capítulos – são descritas uma visão geral do trabalho com a introdução, a relevância e fatos históricos, os objetivos a serem alcançados, os métodos de pesquisas com a metodologia, e a forma da organização do trabalho.

No Capítulo 2 é descrito uma conceituação de betume definindo suas principais vantagens e desvantagens. O Capítulo 3 apresenta assuntos relacionados a pavimentação descrevendo as classificações dos agregados.

O Capítulo 4 descreve os materiais betuminosos especificando cada um deles, inclusive alcatrão e asfalto. Nele são relatados aspectos importantes de cada material. e o método de pesquisa. No Capítulo 5 descreve a influência da granulometria da mistura betuminosa no seu comportamento mecânico.

O Capítulo 6 refere-se ao estudo das propriedades das misturas asfálticas, com ênfase aos métodos de dosagem para misturas betuminosas, como por exemplo, o método Marshall.

O Capítulo 7 relata acerca dos procedimentos dos ensaios de penetração, viscosidade, ponto de fulgor, ponto de amolecimento, ductilidade, solubilidade e envelhecimento enquanto que no Capítulo 8 são apresentados e discutidos os resultados obtidos durante a elaboração desta dissertação, à luz da revisão bibliográfica.

Estão as principais conclusões, na sequência são apresentadas as Referências bibliográficas consultadas e os Anexos A, contendo exemplos de gráficos dos valores médios obtidos no ensaio de Marshall, e Anexo B apresenta tabelas que permitem a conversão da viscosidade Saybolt-Furol em viscosidade cinemática.

## 2 CONCEITUAÇÃO DE BETUME

O betume (também conhecido como betume bruto) é uma mistura natural de vários líquidos orgânicos, ou pode ser um resíduo formado através do processo de destilação de carvão ou de petróleo (betume refinado).

Para definir o "Betume é uma mistura de hidrocarbonetos de consistência sólida, líquida ou gasosa, de origem natural ou pirogênica, complemente solúvel em dissulfeto de carbono, frequentemente acompanhado de seus derivados não-metálicos" (ABNT NBR 7207, 1982) É um produto com coloração castanho-negro, extremamente viscoso. O betume pode ter origem artificial ou natural, e os mais comuns são piche, alcatrão, asfaltos, entre outros. Na figura 1 mostra como é esse produto.

Foto 1: Betume



Fonte: Manutenção e Suprimentos (2015) site [metálica.com.br](http://metálica.com.br)

É um produto de cor escura de alta viscosidade, inflamável, e formado por compostos químicos (Hidrocarbonetos). Após o resfriamento do líquido, o mesmo rejeita a presença da água.

O pode ser obtidos através da extração natural ou por processos físicos e químicos ele possui derivados de consistência variável e poder aglutinante e impermeabilizante, sendo complementemente solúvel no bissulfeto de carbono.

“É uma mistura líquida de alta viscosidade, cor escura e é facilmente inflamável. É formada por compostos químicos (hidrocarbonetos), e que pode tanto ocorrer na Natureza como ser obtido artificialmente, em processo de destilação do petróleo” (WIKIPÉDIA,2014)

## 2.1 PRINCIPAIS VANTAGENS

- a) É um material aglomerante.
- b) Não se dissolve na água, a repele, pois é hidrófobo:
- c) Funde e solidifica facilmente pois é sensível à temperatura:
- d) Pode ser utilizado para revestimento de proteção pois é um material inerente (Exemplo Metais).
- e) Possui um preço baixo e pode ser facilmente encontrado.

## 2.2 PRINCIPAIS DESVANTAGENS

- a) Deforma facilmente e possui baixo ponto de fusão.
- b) Quando envelhece se torna um material quebradiço devido à oxidação e à evaporação dos constituintes que conferem a plasticidade.

### 3 CONCEITUAÇÃO DE PAVIMENTO

É uma estrutura não perene, composta por camadas sobrepostas de diferentes materiais compactados, adequada para atender estrutural e operacionalmente ao tráfego, de maneira durável e ao custo mínimo possível, considerando diferentes horizontes para serviços de manutenção preventiva, corretiva e de reabilitação obrigatórios (BALBO, 2007).

O pavimento é destinado econômica e simultaneamente em seu conjunto a: Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego. Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança, Resistir aos esforços horizontais que nele atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento (ABNT NBR 7207, 1982).

#### 3.1 AGREGADOS PARA PAVIMENTAÇÃO

Os agregados são materiais que podem ter volume e forma diferentes são considerados leves, médios e grandes, suas dimensões e propriedades permitem sua utilização na pavimentação asfáltica pois possui um preço baixo.

“Os agregados podem ser pedra, escória, cascalho ou seixo rolado, britados. Devem consistir de partículas limpas, duras, resistentes, isentas de coberturas e torrões e substâncias nocivas” (DNER-ES 210/97).

De acordo com a norma ABNT NBR (9935/2005) “o termo agregado é definido como material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para produção de argamassas e de concreto”.

Woods (1960) diz que agregado é uma mistura de pedregulho, areia, pedra britada, escória ou outros materiais minerais que são usados como um ligante para formar um concreto, e argamassa etc.

O manual do DNIT (2006) tem uma subdivisão para as britas classificadas conforme indicada na tabela 2 (BALBO, 2007).

**Tabela 1- Subdivisão dos agregados**

DENOMINAÇÃO	FAIXA DE DIÂMETRO (mm)
Pó-de-pedra	< 2,4
Pedra 0 ou pedrisco	Entre 2,4 e 9,5
Pedra 1	Entre 9,5,0 e 19,0
Pedra 2	Entre 19,0 e 38,0

FONTE: BALBO (2007)

“Agregados são materiais granulares, inertes, sem forma ou dimensões definidas, usadas para compor camadas ou misturas em diversos tipos de obras” (SENÇO, 2008).

Os materiais pétreos usados em pavimentação normalmente conhecidos sob a denominação genérica de agregados, podem ser naturais ou artificiais, os primeiros são aqueles utilizados como se encontram na natureza, como o pedregulho e os seixos rolados, ao passo que os segundos compreendem os que necessitam de uma transformação física e química do material natural para sua utilização, como a escória e a argila expandida. (PINTO 1998, 81).

Observação: Antes de escolher o agregado a ser utilizado nos revestimentos asfálticos, é necessário observar alguns fatores como disponibilidade, custo, qualidade e tipo de aplicação.

### 3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS AGREGADOS:

DNER (1996) classifica os agregados usados em pavimentação, segundo a sua natureza, tamanho e distribuição dos grãos (gradação), apresentado na Figura 1

**Quadro 1 - Classificação dos agregados para pavimentação**

<b>Agregados</b>	
<b>Quanto à natureza</b>	Agregado natural
	Agregado artificial
<b>Quanto ao tamanho</b>	Agregado graúdo
	Agregado miúdo
	Agregado de enchimento
<b>Quanto à graduação</b>	Densa
	Aberta
	Tipo macadame

Fonte: DNER (1996)

#### 3.2.1 Natureza do Agregado

“Os agregados podem ser classificados, quanto à origem, em artificiais e naturais. Os agregados artificiais são aqueles que sofrem algum tipo de operação, como britagem e classificação. Ex: pedra britada, pó de pedra, argila expandida, etc” (SENÇO, 2007).

- Agregados naturais: São aqueles de origem mineral, que foi submetido apenas por esforços mecânicos. Exemplo: Areia, godos,
- Agregados artificiais: São aqueles grãos de origem mineral, produtos ou subprodutos derivados do processo industrial, que podem passar pela transformação física e química. Exemplo: Argila calcinada

### **3.2.2 Tamanho do Agregado:**

- Agregado graúdo: É o grão que fica retido na peneira n° 10 (2,0 mm).  
Exemplo: britas, cascalhos, seixos, etc.
- Agregado miúdo: É o grão que passa pela peneira n° 10 (2,0 mm) e fica retido na peneira n° 200 (0,075 mm). Exemplo: pó-de-pedra, areia, etc.
- Agregado de enchimento (filer): É o grão que passa pelo menos 65% na peneira n° 200 (0,075 mm). Exemplo: cal extinta, cimento portland, pó de chaminé, etc.

### **3.2.3 Graduação do Agregado:**

“A curva granométrica irá nos mostrar se os grãos estão bem distribuídos na mistura, com base nos diâmetros dos grãos, isso indicará se há um bom entrosamento dos grãos e se há muitos vazios na mistura” (SENÇO, 2008).

- Agregado de graduação densa: Este tipo de agregado apresenta uma curva granulométrica de material bem graduado e contínua, com quantidade de material fino suficiente para preencher os vazios entre as partículas maiores.
- Agregado de graduação aberta: É aquele que apresenta uma curva granulométrica de material bem graduado e contínua, e há pouco material fino para preencher os vazios entre as partículas maiores.
- Agregado tipo macadame: É um agregado com características uniforme possuindo todas as partículas do mesmo tamanho, onde o diâmetro máximo é de tamanho aproximado ao dobro do diâmetro mínimo:

O manual do DNIT (2006) tem uma subdivisão para as britas classificadas conforme indicada na tabela (BALBO, 2007).

## 4 PRINCIPAIS MATERIAIS BETUMINOSOS.

O material betuminoso é utilizado na pavimentação de estradas e devem apresentar características como: Estabilidade, Segurança, Resistência a cargas de impactos, não provocando rachaduras, Regularidade Supervicial.

Na produção do asfalto o betume é misturado à areia, pó de pedra e gravilha a temperatura de 200°C. No momento em que as ruas estão sendo asfaltadas, a mistura é derramada sobre as ruas e assentadas por compressores. A ABEDA – Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto é o órgão que regulamenta e faz a distribuição deste produto.

Para um material ser considerado betuminoso é fundamental que tenha em sua composição o Betume. O material betuminoso é subdividido em duas categorias: Asfaltos e os Alcatrões.

### 4.1 ASFALTO:

O asfalto é um subproduto do petróleo, fabricado através do processo de destilação, perto da base da torre de destilação é mais fácil encontrá-lo, mas também pode ser extraído da natureza. Existem diferentes tipos de asfalto com composições diferentes, é possível obtê-los através da mistura de vários componentes ao asfalto de petróleo.

O asfalto é uma estrutura formada por camadas sobrepostas de materiais compactados diferentes formados a partir do subleito, de forma que a estrutura suporta a operacionalidade do tráfego, de maneira durável e com o menor custo possível, considerando horizontes para serviços de manutenção obrigatórios (BALBO, 2007)

Os critérios de escolha do asfalto é feito conforme a necessidade de cada região, é visto a necessidade do tráfego da rua a ser asfaltada. Em uma rodovia que diariamente circula uma grande quantidade de caminhões precisa ter um asfalto mais resistente do que as ruas que circulam carros de passeio.

Com a imensa quantidade de pneus velhos não aproveitados, gerando lixo nas cidades e muitas vezes jogados na própria natureza, não é recomendável queimá-los pois liberam gases tóxicos na atmosfera. O melhor a se fazer é reciclá-los, utilizando as raspas dos pneus para fazer o asfalto borracha, que é mais flexível e menos suscetível a rachaduras. E com o custo

de produção mais baixo do que o asfalto comum. A figura 2 mostra a execução de uma pavimentação asfáltica.

**Foto 2: Asfalto**

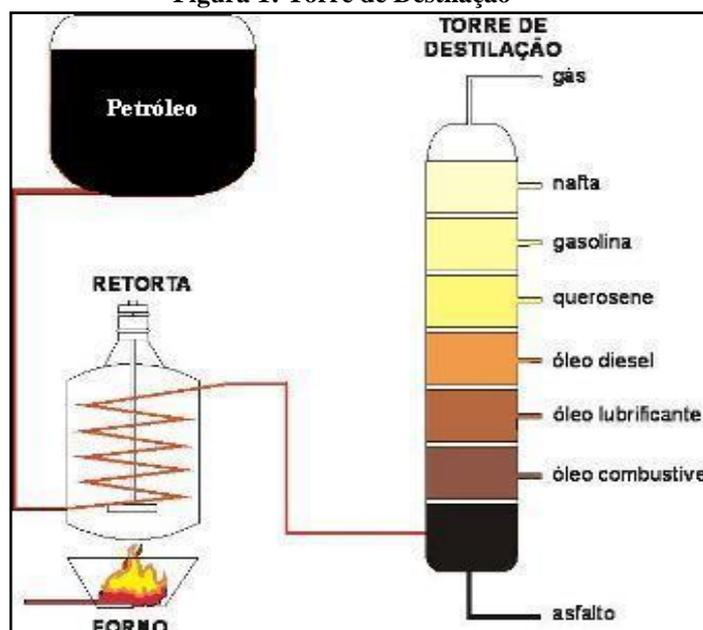


Fonte: Vadim Ratnikov, site: shutterstock.com

Definição da ABNT: TB-27 (NBR 7207, 1982): " É um material sólido ou semissólido, de cor entre preta e pardo escuro, que ocorre na natureza ou é obtido pela destilação do petróleo, que funde gradualmente pelo calor, e no qual os constituintes predominantes são os betumes."

A figura 3 representa como é o processo da fabricação do petróleo através da torre de destilação:

**Figura 1: Torre de Destilação**



Fonte: Susana Lorena, site infoescola.com/química/asfalto/.

#### Características do asfalto:

- Constituídos por Betumes.
- De material aglutinante escuro e reluzente
- Consistências sólida ou semissólida à temperatura ambiente
- Odor de óleo queimado
- Fusão gradual com o aumento da temperatura, amolece a temperaturas entre 150°C e 200°C, com propriedades isolantes e adesivas.

#### 4.2 CARACTERÍSTICAS DO ALCATRÃO

O alcatrão é um tipo de mistura betuminosa que não é mais usada em pavimentação, pois foi descoberto que ele possui algumas substâncias químicas que são consideradas de alto poder cancerígeno e pode ser tóxico.

Não é recomendável usar o alcatrão como ligante em pavimentação pois ele é homogêneo e possui pouca qualidade, a foto 3 mostra como é uma pavimentação asfáltica feita de alcatrão.

**Foto 3: Pavimentação asfáltica de alcatrão**



Fonte: kzenia, site <http://pt.depositphotos.com>

Funções mais importantes do asfalto na pavimentação:

- a) Aglutinadora
- b) Impermeabilidade
- c) Superfície lisa

- f) Resistência a derrapagem  
 e) Resistência ao desgaste e distorção.

#### 4.3 CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS:

Nos serviços de pavimentação são usados alguns tipos de materiais betuminosos como: cimentos asfálticos, asfaltos diluídos, emulsões asfálticas e asfaltos modificados por polímeros. O Ligante betuminoso é um produto constituídos por betume com propriedades aglomerantes.

Há diferentes tipos de ligantes que podem ser utilizados na composição das misturas betuminosas. Geralmente o mais utilizados são os betumes asfálticos provenientes da refinação do crude. (TEIXEIRA, A., 2000).

No quadro 2 está uma classificação dos diferentes tipos de Materiais Betuminosos.

**Quadro 2 - Classificação dos Materiais Betuminosos.**

<b>Ligantes Betuminosos</b>	<b>Natural (AN)</b>	Rochas asfálticas: Xistos, arenitos, lagos asfálticos.			
	<b>Petróleo (AP)</b>	Sólidos: oxidados, soprados			
		Semissólido	Cimento asfáltico	CAP 30/40 CAP 50/60 CAP 85/100 CAP 150/200	
		Líquidos	Asfalto Diluído	Cura Rápida – CR Cura Média – CM Cura Lenda - CL	
			Emulsão asfáltica	Catiônica	Ruptura Rápida - RR Ruptura Média- RM Ruptura Lenda - RL
				Aniônica	Ruptura Rápida - RR Ruptura Média- RM Ruptura Lenda - RL
<b>Alcatrão (AP)</b>	Líquidos: Ap. 1 a Ap. 8 Semissólido: Ap. 7a Ap. 12				

Fonte: Escola de Minas – DECIV Engenharia Civil Materiais de Construção II

### 4.3.1 Cimentos asfálticos de petróleo (caps)

Os CAPS é um produto que veio da destilação do petróleo, composto por hidrocarbonetos e heteroátomos unidos por ligações covalentes com a consistência semissólida na temperatura ambiente, precisando de aquecimento para conseguir consistência adequada para a sua utilização.

Sua composição é complexa pois os átomos de carbono por molécula varia de 20 a 120. Durante o processo de envelhecimento na usinagem sua composição varia de acordo com o tipo do petróleo.

Os CAPs são constituídos por 90 a 95% de hidrocarbonetos e por 5 a 10% de heteroátomos (oxigênio, enxofre, nitrogênio e metais – vanádio, níquel, ferro, magnésio e cálcio) unidos por ligações covalentes. Os cimentos asfálticos de petróleos brasileiros têm baixo teor de enxofre e de metais, e alto teor de nitrogênio, enquanto os procedentes de petróleos árabes e venezuelanos têm alto teor de enxofre (LEITE, 1999).

Durante o processo mecânico deste material a sua característica de termo viscoelasticidade é manifestada sendo sujeita a tempo, velocidade, temperatura de serviço e a intensidade de carregamento. No Brasil é usado o **ensaio de penetração** para classificar os cimentos asfálticos com peso do petróleo maior do que:

- CAP 30/45, CAP 50/60 e CAP 85/100.

É usado viscosidade para classificar os cimentos asfálticos com peso do petróleo menor que: • CAP 7, CAP 20 e CAP 40.

**Tabela 2 Subdivisão da viscosidade.**

Asfalto diluído	Viscosidade cinemática a 60°C, cSt
CR-30	30-60
CR-70	70-140
CR-250	250-500
CR-3000	3000-6000
CM-30	30-60
CM-70	70-140
CM-250	250-500
CM-800	800-1600

Fonte Petrobras, site: [www.br.com.br/](http://www.br.com.br/)

DE ACORDO (NORMA DNIT 095/2006). “Cimento asfáltico de petróleo é o asfalto obtido especialmente para apresentar as qualidades e consistências próprias para o uso direto na construção de pavimentos”.

O CAP deve ser sempre estocado e manuseado à temperatura mais baixa possível em relação à fluidez suficiente ao uso, considerando a viscosidade adequada para a operacionalidade das ações necessárias aos processos de mistura em linha ou transferência para os sistemas de transportes (SHELL, 2003).

#### 4.3.2 Asfaltos diluídos

Os asfaltos recortados (*Cut-backs*) ou asfalto diluído, é o resultado da diluição do cimento asfáltico por destilados de petróleo, no processo o asfalto sai do estado sólido e passa para o líquido.

O ADPs é classificado de acordo com o tempo que o solvente utilizado demora para evaporar. Os diluentes transformam o asfalto em um produto menos viscoso para aplicar, durante a tempo de evaporação (tempo de cura).

Após o tempo de cura o produto final volta a ter a mesma consistência inicial (semisólido) é importante na hora da aplicação do CAP sobre a pavimentação ele estar fluido e depois quando tiver em serviço passar para o estado sólido.

Os ADP's são empregados em serviços de imprimação, pintura de ligação, tratamento superficiais, pré-misturado a frio, areia asfalto e solo betume.

A foto 4 mostra a imprimação (impermeabilização) de um ADP, da base da pavimentação da BR 110.

**Foto 4: Asfalto Diluído do Petróleo.**



Fonte: Gennyson Medeiros

A especificação brasileira definida na tabela 3 classifica a cura que é determinada pela natureza do diluente utilizado (cura rápida CR e cura média CM).

O fenômeno de evaporação do diluente denomina-se cura e nesse sentido, são classificados de acordo com a velocidade de cura em três categorias: cura rápida (CR), cura média (CM) e cura lenta (CL), sendo que os asfaltos diluídos de cura lenta não são produzidos no Brasil. (BERNUCCI et. al., 2007).

**Tabela 3: Especificações para asfaltos diluídos de cura média**

Característica	Unid ade	Limite		Método	
		CM-30	CM-70	ABNT/NBR	ASTM
Água, máx.	% vol	0,2	0,2	14236	D 95
Viscosidade cinemática a 60°C	cSt	30 - 60	70 - 140	14756	D 2170
Viscosidade Saybolt-Furol (S):					
25°C	SSF	75 - 150	-	14950	D 88
50°C	SSF	-	60 - 120	14950	D 88
Ponto de Fulgor, mín.	°C	38	38	5765	D 3143
Destilação até 360°C, % volume do total destilado, mín.:					
225°C	% vol	25	20	14856	D 402
260°C	% vol	40 - 70	20 - 60	14856	D 402
316°C	% vol	75 - 93	65 - 90	14856	D 402
Resíduo a 360°C, por diferença, mín.	% vol	50	55	14856	D 402
Viscosidade a 60°C	P	300 - 1200	300 - 1200	5847	D 2171
Betume, mín.	% massa	99,0	99,0	14855	D 2042
Ductilidade a 25°C, mín	cm	100	100	6293	D 113

Fonte: Resolução ANP nº 30, 9 de outubro de 2007 e regulamento técnico nº 2/2007

**Tabela 4 - Especificações para asfaltos diluídos de cura rápida**

(Continua)

Característica	Unidade	Limite		Método	
		CR-70	CR-250	ABNT/NBR	ASTM
Água, máx.	% vol	0,2	0,2	14236	D 95
Viscosidade cinemática a 60°C	cSt	70 - 140	250 - 500	14756	D 2170
Viscosidade Saybolt-Furol (S):					
50°C	SSF	60 - 120	-	14950	D 88
60°C	SSF	-	125 - 250	14950	D 88

<b>Ponto de Fulgor, mín.</b>	°C	-	27	5765	D 3143
<b>Destilação até 360°C, % volume do total destilado, mín.:</b>	%vol	10	-	14856	D 402
<b>190°C</b>	% vol	50	35	14856	D 402
<b>225°C</b>	% vol	70	60	14856	D 402
<b>260°C</b>	%vol	85	80	14856	D 402
<b>316°C</b>	%vol	55	65	14856	D 402
<b>Resíduo a 360°C, por diferença, mín.</b>	%vol	55	65	14856	D 402
<b>Viscosidade a 60°C</b>	P	600 - 2400	600 - 2400	5847	D 2171
<b>Betume, mín.</b>	% massa	99,0	99,0	14855	D 2042
<b>Ductilidade a 25°C, mín</b>	cm	100	100	6293	D 113

Fonte: Resolução ANP nº 30, 9 de outubro de 2007 e regulamento técnico nº 2/2007

#### 4.3.3 Emulsões asfálticas

A Emulsão Asfáltica é uma mistura heterogênea de dois ou mais líquidos, ela é composta de Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) despejado sobre a água e posto sobre a reação de alguns produtos químicos conhecidos como emulsificantes.

Esses produtos deixam as cargas elétricas suspensas na água, devido as forças eletrostáticas. Aqui no Brasil as Emulsões Asfálticas são consideradas Catiônicas devido a sua carga elétrica positiva. A nomenclatura da carga elétrica é a letra “C”, exemplo RR-2C. A carga da partícula define se as emulsões são catiônicas ou aniônicas e o tempo de ruptura define se são média, lenta e controlada ou instantânea

De acordo com a carga da partícula e o tempo de ruptura, as emulsões são classificadas conforme tabela 5.

**Tabela 5: Classificação das Emulsões Asfálticas**

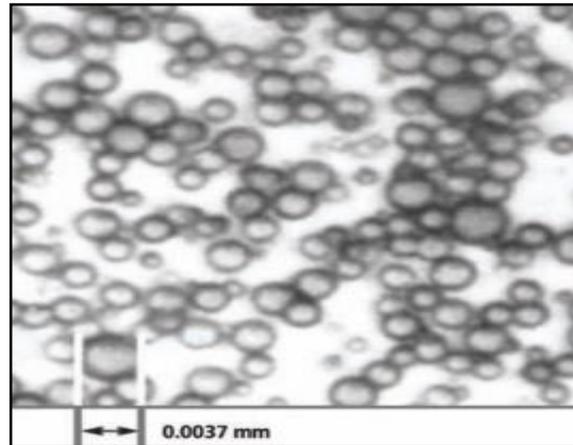
<b>Emulsões Asfálticas Catiônicas</b>					
<b>Características</b>	<b>RR-1C</b>	<b>RR-2C</b>	<b>RM-1C</b>	<b>RM-2C</b>	<b>RL-1C</b>
<b>Viscosidade sSf a 50°C</b>	20 a 90	100 a 400	20 a 200	100 a 400	Máx. 70
<b>Resíduo Mínimo, % peso</b>	62	67	62	65	60

Fonte: Petrobras, site br.com.br

Emulsões são misturas de cimento asfáltico com agentes emulsificantes e água. São produzidos normalmente, através de equipamentos de alta capacidade de cisalhamento, chamados de moinhos coloidais (ABEDA, 2010).

Na figura 2 mostra como é o tamanho relativo das esferas de CAP em uma mistura de Emulsão Asfáltica.

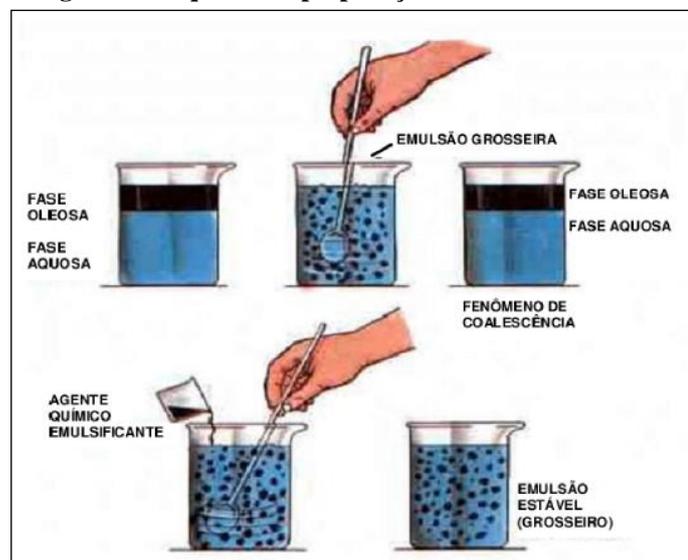
**Figura 2 – Tamanho relativo e das esferas de CAP em uma Emulsão Asfáltica**



Fonte: Rubens Furlani

**Cura:** É formado um filme CAP contínuo depois da evaporação total da água que está presente no PMF ou MRAF formando assim uma ligação coesa e forte dos materiais de póreo. As misturas asfálticas a frio produzem resultados físicos semelhantes as misturas asfálticas a quente. A ruptura deve acontecer primeiro do que a cura.

**Figura 3 - Esquema de preparação de Emulsão Asfáltica**



Fonte: Universidade Federal de Ouro Preto - Materiais de Construção II

**Ruptura:** O tempo de ruptura depende do tipo e da qualidade do agente emulsificante e a viscosidade depende principalmente da qualidade do ligante residual. A cor geralmente é marrom e o asfalto pode variar entre 60 a 70%. Através dessas características dá para ver se o produto é de boa qualidade.

Depois da ruptura a cor preta do CAP prevalece. Para ganho de logística e redução de custos foram aplicados feitos as emulsões asfálticas a frio. Apresenta bons resultados pois é compatível com quase todos os tipos de agregados.

A emulsão asfáltica faz o papel de ligante asfáltico, onde as partículas do CAP são separadas pela ação da água.

Devido a carga elétrica, a ruptura nada mais é do que a quebra da estabilidade química do sistema CAP emulsificante-água

De acordo com a estabilidade e ruptura as Emulsões Asfálticas são classificadas em **Ruptura rápida (RR)** que é a imprimação, pintura de ligação, macadame betuminoso e os tratamentos superficiais, **Ruptura média (RM)** pré-misturados a frio e **Ruptura lenta (RL)** estabilização de solos e preparo de lama asfáltica.

#### 4.3.4 Asfaltos modificados por polímeros.

Devido aos estragos provocados nos asfaltos pela ação climática e a ação do tráfego a (Europa/USA) necessitou desenvolver modificadores para aumentar a resistência do asfalto e torná-lo mais resistente a ação do tráfego e menos sensíveis as variações climáticas.

Para que essa técnica seja economicamente viável o polímero precisa ser resistente a degradação em temperaturas altas. O uso desse tipo de asfalto pode reduzir o gasto com manutenção e aumentar a vida útil de pavimentos em locais de difícil acesso.

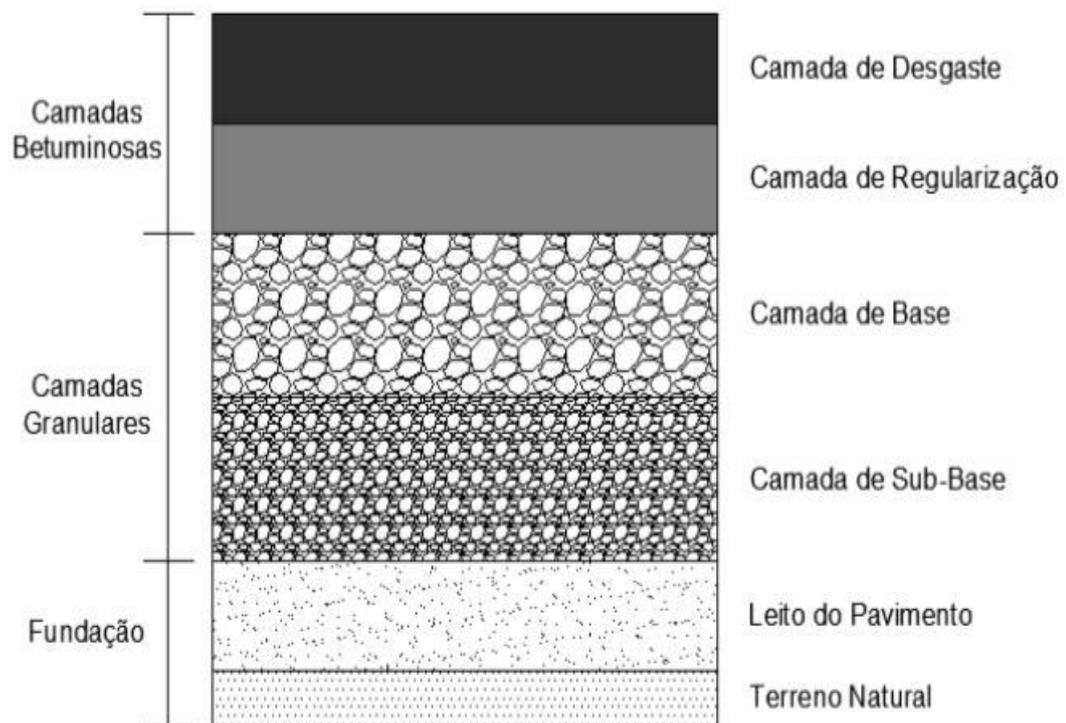
Para a maioria das aplicações rodoviárias, os asfaltos convencionais têm bom comportamento, satisfazendo os requisitos necessários para o desempenho adequado das misturas asfálticas sob o tráfego e sobre as condições climáticas. No entanto, para condições de volume e peso por eixo crescente como no caso de aeroportos, e para condições adversas de temperatura, tem sido cada vez mais necessário o uso de modificadores das propriedades do asfalto, tais como polímeros que melhoram o desempenho do ligante (BERNUCCI ET. AL., 2007).

## 5. MISTURAS BETUMINOSAS

A mistura betuminosa é utilizada em sua maior parte nas camadas rodoviárias e aeroportuárias tanto em pavimentos flexíveis e como semirrígidos. Também é aplicada em camadas sub balastro nas infraestruturas ferroviárias

Sendo os pavimentos rodoviários estruturas constituídas por diversas camadas ligadas ou não, têm como função essencial assegurar uma superfície de rolamento que permita a circulação dos veículos com comodidade e segurança sob a acção do tráfego e das condições climáticas, devendo garantir que durante a sua vida útil não ocorrem danos que comprometam as suas condições de serviço (BRANCO, F. *ET AL.*, 2008).

**Figura 4 - Constituição tipo de um pavimento rodoviário flexível.**



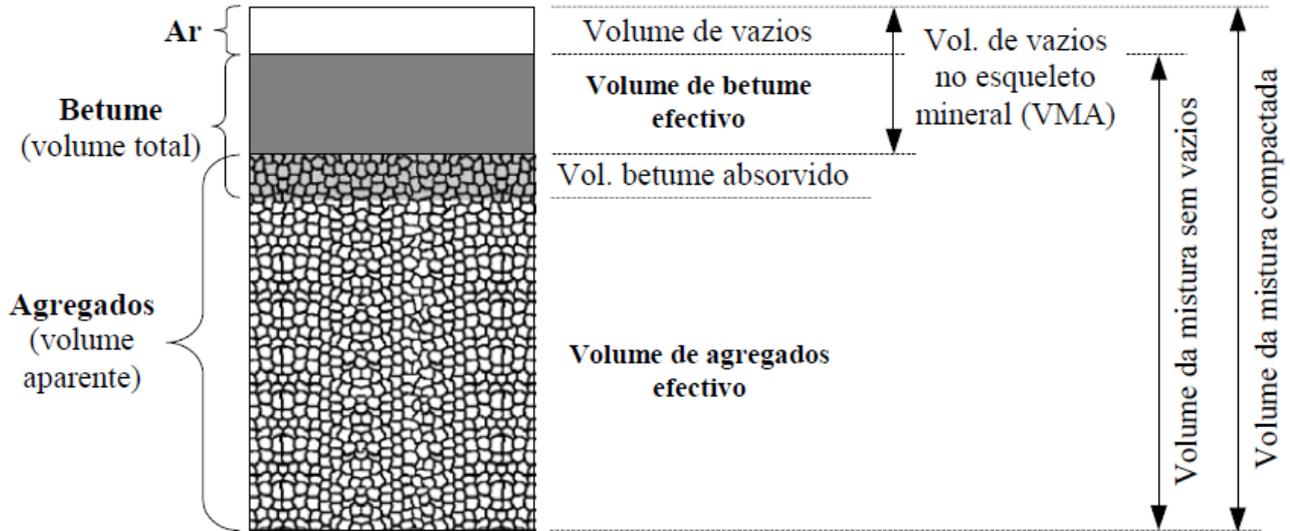
FONTE: BRANCO, F. *et al.*, 2008

### 5.1 COMPOSIÇÃO VOLUMÉTRICA

As misturas betuminosas são compostas por três componentes, betume, agregados e ar, suas propriedades dependem das proporções de cada um dos seus componentes bem como das características associadas a cada um deles.

A figura 5 mostra uma representação esquemática da composição volumétrica de uma amostra compactada das misturas betuminosas.

**Figura 5 - Composição volumétrica de uma amostra de uma mistura betuminosa.**



Fonte: BRANCO, F. *et al.*, 2008

De acordo com *Shell (2003)* Em uma análise elementar a vários betumes obtidos a partir de uma larga variedade de petróleos, concluiu-se que a composição química dos betumes em termos médios é o que consta no Quadro 1.

**Quadro 3 - Composição química média do betume**

<b>Composto</b>	<b>Porcentagem</b>
Carbono	82 - 88%
Hidrogênio	8 - 11 %
Enxofre	0 - 6 %
Oxigênio	0 - 1,5 %
Nitrogênio	0 - 1 %

Fonte: SHELL, 2003

## 6 MÉTODO DE ENSAIO MARSHALL

Os principais fatores que influenciam na dosagem da mistura.

- a) Granulometria da mistura dos agregados
- b) Temperatura e viscosidade do asfalto
- c) Quantidade de asfalto usado
- d) Grau de compactação:

O método Marshall é o mais utilizado do país, ele é importante para definir o teor de Betume, para um agregado específico, o seu objetivo é dosar misturas econômicas entre agregados e ligantes, com estabilidade para resistir a forte cargas e pressão dos pneus de veículos.

### **Origem:**

O método Marshall foi desenvolvido pelo engenheiro Bruce Marshall na década de 1930, nas estradas de rodagem do Mississippi. Foi durante a Segunda Guerra Mundial que o grupo de engenheiros do exército americano (USACE) aprimorou a técnica e desenvolveu os critérios de dosagem de misturas asfálticas para essa pavimentação (DAVID, 2006).

Durante o início do século XX não existia um tipo de ensaio simples, nem esquema de trabalho que pudesse ser utilizado para o projeto de controle de campo em pavimentos betuminosos. Ao decorrer da segunda guerra mundial, faltava um critério nacional para definir a boa qualidade do betume para misturas, que são sujeitas a enorme cargas de aviões e veículos militares. Então a U.S. Corps of Engineers iniciou uma pesquisa nacional para escolher aparelhos de ensaios simples que poderia ser facilmente transportado, para ser usado no campo para o controle.

Depois precisou estabelecer um método de compactar o corpo de prova no laboratório, onde os valores da massa específica fossem semelhantes com aqueles obtidos no campo. E por fim estabeleceu um critério de projetos racional de ensaios prévios e de controle. O U.S. Corps of Engineers escolheu o aparelho e o método de Bruce Marshall do Mississippi State Highway Department, inicialmente foi construída muitas pistas experimentais, variando a quantidade de betume e a granulometria do agregado. Então Trens-tipo foram postos muitas vezes sobre essas pistas, para determinar o efeito de compactação do tráfego.

Este estudo levou em consideração a estabilidade, densidade, preenchimentos de vazios e não preenchimentos, e fluência, resultando na obtenção do teor ótimo do betume. Beck (2005) fala sobre a simplicidade, rapidez de execução e o baixo custo dos equipamentos requeridos pelo ensaio Marshall como fatores que ajudam na propagação deste método para diversos organismos rodoviários do mundo todo, inclusive no Brasil.

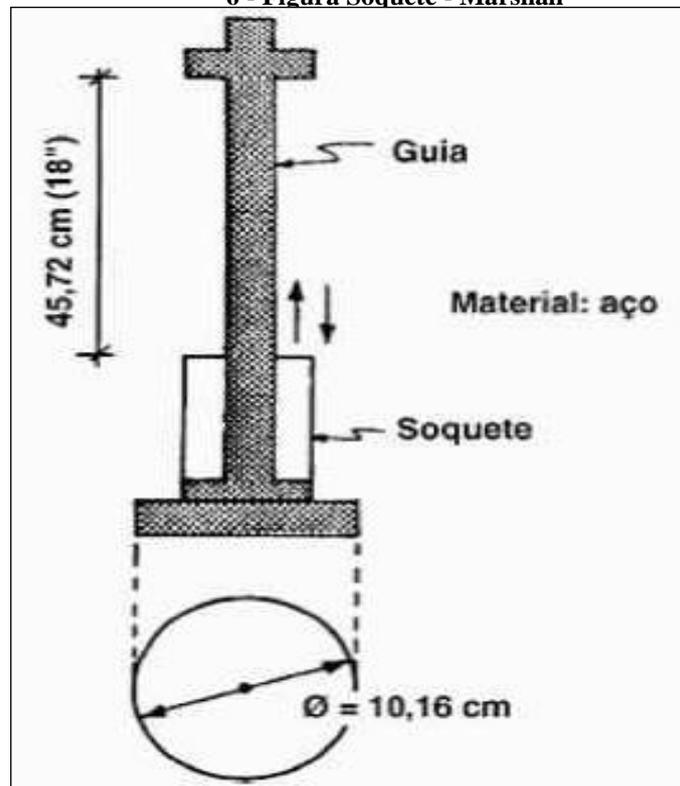
**Recomendações:** O tamanho de diâmetro mínimo do agregado a ser utilizado no método Marshall e de 1 polegadas (25,4 mm).

### Corpo de Prova:

Para preparar o corpo de prova é necessário aquecer o agregado e o betume separadamente, até a temperatura específica, e misturá-los em um moinho. Depois a mistura é posta em um molde aquecido e compactada com o soquete de 10 libras de peso (4,54 kg) caindo da altura de 18 polegadas (45,72 cm).

O método Marshall consiste em moldar corpos de prova, para determinação de características físicas (massa específica aparente, volume de vazios, vazios no agregado mineral, e relação dos vazios do agregado mineral preenchidos com asfalto) e características mecânicas (fluência e estabilidade) (DAVID 2006).

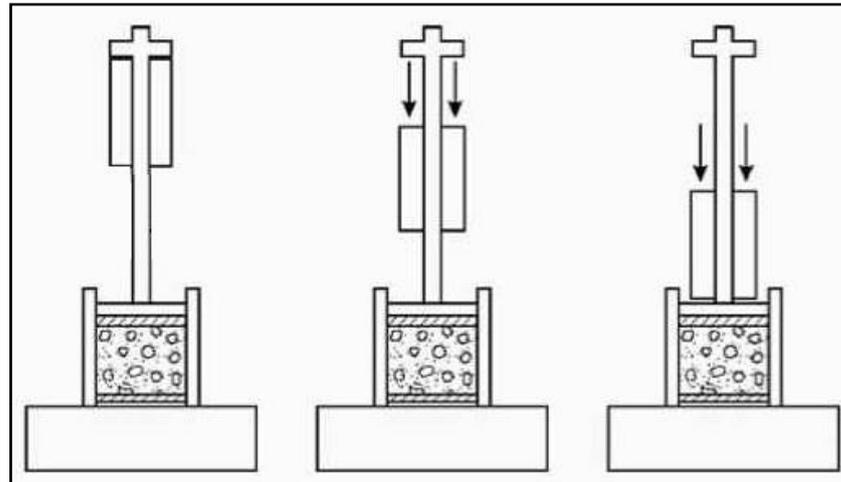
6 - Figura Soquete - Marshall



Fonte: SENÇO, 2001

O número de golpes sobre o corpo de prova utilizado pelo Soquete para compactar a mistura será de 50 para revestimentos a serem submetidos a tráfego em condições normais, 75 golpes para revestimentos a serem submetidos a tráfego em condições pesada e 100 golpes para revestimentos a serem submetidos a tráfego muito pesado.

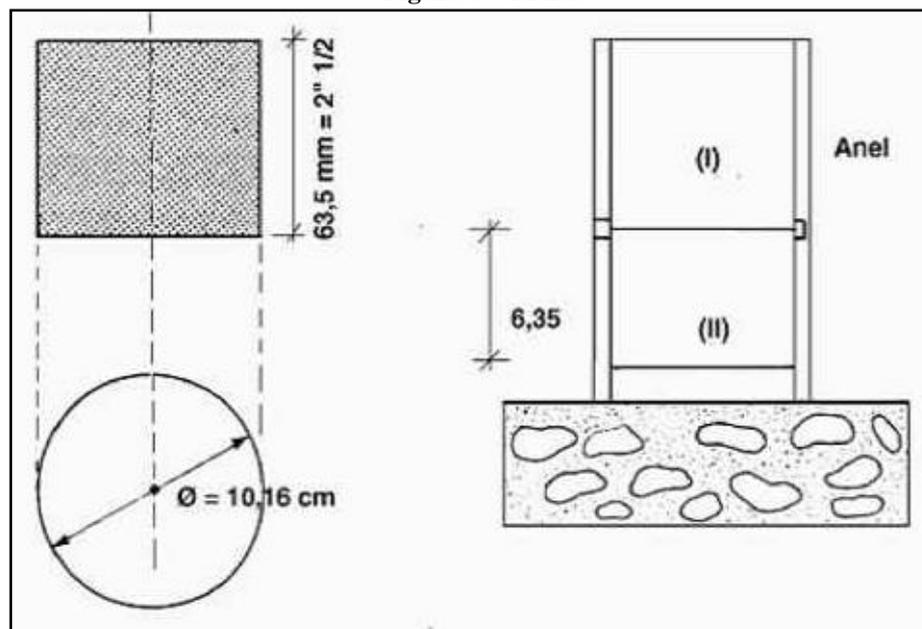
**Figura 7 - Conjunto Marshall**



Fonte: SENÇO, 2001

O corpo de prova é de formato cilíndrico de 4 polegadas (10,16 mm) de diâmetro é de ½ polegadas (6,35 cm) de altura.

**Figura 8 - Molde**



Fonte: SENÇO, 2001

Depois de determinar as medidas do volume e da pesagem, a amostra é colocada em banho-maria a 60° C (140° F), por 20 a 30 minutos.

Em seguida os corpos-de-prova são compactados na prensa do aparelho Marshall, a carga é aplicada repetitivamente sobre a superfície do cilindro, comprimindo na média de 2 polegadas (50,8 mm) por minuto até a peça se romper.

Quando aplicada a carga, a peça sofre uma deformação, esse valor é medido pelo medidor de fluência. A unidade medida é 0,01\* (um centésimo de polegada).

### **Etapas:**

- a) Preparação, separação e pesagem do material granular;
- b) Mistura com a estimativa do teor de ligante;
- c) Soquete Marshall para compactação dinâmica;
- d) Extração dos CP's após 24 horas;
- e) Pesagem e cubagem;
- f) Banho-maria a 60°C durante 30 minutos;
- g) Prensa para compressão diametral;

**Resultados:** Com a variação dos teores de betume pode-se obter os resultados e gerar os do gráficos das variações da grandezas,

De acordo com a SENÇO (2001, p. 176):

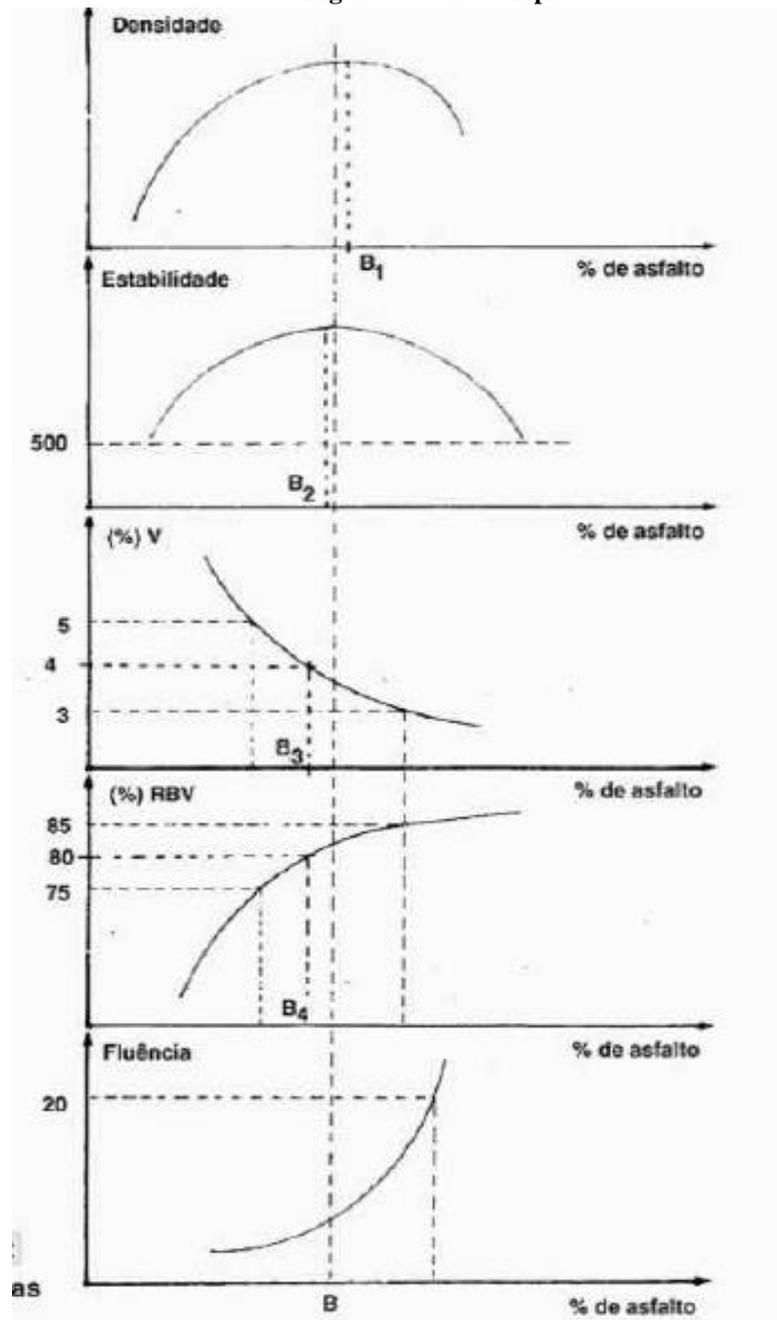
O resumo dos gráficos elaborados com os resultados é o seguinte:

- gráfico estabilidade x teor de betume. Nota-se que a estabilidade cresce inicialmente com o teor de betume crescente. A partir de determinado teor, a estabilidade passa a ser decrescente;
- a densidade máxima teórica, embora sem ser para os mesmos teores, também aumenta com os teores de betume crescentes até determinado ponto, onde passa a ser decrescente;
- os vazios não preenchidos decrescem com o aumento do teor de betume; porém, a partir de determinado teor, o decréscimo é imperceptível e a curva é assintótica ao eixo onde estão lançados esses teores;
- os vazios preenchidos {relação betume x vazios} crescem com os teores de betume crescentes, porém, a partir de determinado teor, a acréscimo é imperceptível e a curva é assintótica a uma horizontal;
- a fluência cresce indefinidamente com o aumento do teor de betume.

A partir dos gráficos e das especificações das misturas que se está projetando, define-se o teor de projeto para ligante. Então a relação betume vazios e volume de vazios é que definem o teor de ligante (BERNUCCI ET. AL., 2007).

Observação: Exemplo de gráficos dos valores médios obtidos no ensaio de Marshall (Anexo A).

Figura 9: Curvas Típicas



Fonte: Senço, 2001

**Através dessas cinco curvas é possível obter o teor ótimo do betume:**

B1 - Que dá a máxima estabilidade Marshall.

B2 – O ter de betume da densidade máxima.

B3 – A média do intervalo especificado para os vazios não preenchidos

B4 - A média do intervalo especificado para os vazios preenchidos.

E por último calcula-se a média dos quatro valores de B

$$B = \{B1 + B2 + B3 + B4\} / 4 \quad (1)$$

$$B = \sum_{1}^{4} (Bi/4) \quad (2)$$

No final a estabilidade Marshall deve estar acima do mínimo especificado e a fluência deve estar abaixo do máximo especificado.

“A Estabilidade Marshall é a resistência máxima a compressão radial, apresentado pelo corpo de prova representado em N(kgf)” (DNER ME 043/1995).

A Fluência Marshall é a deformação total apresentada pelo corpo de prova, desde a aplicação da carga inicial, até a aplicação da carga máxima, expressa em décimos de milímetros.

(DNER ME 043/1995)

**Tabela 6 - Características recomendadas - estradas e aeroportos (Continua)**

<b>Determinações:</b>	<b>Critérios:</b>	
	<b>Pressão dos pneus</b>	
	7 kg/cm <sup>2</sup>	14 kg/cm <sup>2</sup>
Estabilidade Marshall (kg)	225	450
Deformação plástica (0,01 pol)	20	16
Porcentagem de vazios não-preenchidos (V <sub>v</sub> )		
a. concreto asfáltico	3 - 5	3 - 5
b. areia - asfalto	5 - 7	6 - 8
c. binder	4 - 6	5 - 7
Porcentagem de vazios preenchidos em materiais betuminosos (V <sub>p</sub> )		

a. concreto asfáltico	75 - 85	75 - 82
b. areia - asfalto	75-7 5	65-72
c. binder	65 - 75	75 - 72

Fonte: SENÇO, 2001

## 7. ENSAIO

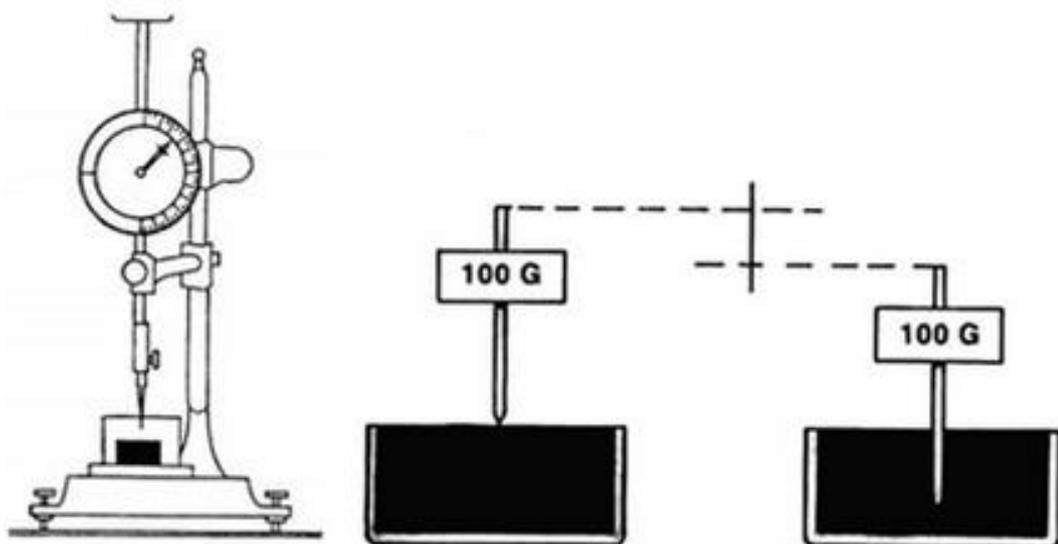
Para possuir um pavimento com todas essas características, que possui qualidade e segurança, é preciso utilizar materiais de qualidade. Para isso existem vários tipos de ensaios para garantir, à utilização do material adequado. Evitando assim problemas futuros.

Os principais ensaios das misturas betuminosas são: Penetração, Viscosidade, Ponto de Fulgor, Ponto de Amolecimento, Ductilidade, Solubilidade e Envelhecimento

### 7.1 ENSAIO DA PENETRAÇÃO:

Este ensaio serve para medir a consistência do CAP através da penetração de uma agulha de 100 g durante 5 segundos na temperatura de 25° C. O asfalto é quebradiço quando possui uma penetração no CAP menor que 15. Quanto maior a viscosidade menor será a penetração.

Figura 10: Equipamento para calcular o ponto de penetração



Fonte: site slideplayer.com.br

MB 107 (NBR 6576): “o *ponto de penetração* é a profundidade que uma agulha padrão com diâmetro de 1 mm penetra na amostra (em 1/10 mm) em condições padronizadas de carga (Ex.: 100 g.), temperatura (Ex.: 25oC) e tempo de aplicação da carga (Ex.: 5 s.); serão feitas 3 medidas”.

O asfalto precisa ser duro para suportar as cargas e esforços que ele sofre diariamente devido ao tráfego. Quanto mais duro o material e mais quebradiço menor será a sua plasticidade, dificultando assim a impermeabilização, quanto maior o ponto de amolecimento do material maior será a necessidade de aquecê-lo.

## 7.2 ENSAIO DE VISCOSIDADE

Se os produtos betuminosos estão em uma consistência líquida e com pouca viscosidade são medidos pelo Ensaio. O instrumento mais utilizado para medir a viscosidade de um líquido é o viscosímetro universal de Saybolt. Através do ensaio obtemos a classificação do material, a viscosidade é inversamente proporcional a temperatura, variando de acordo a dureza do material.

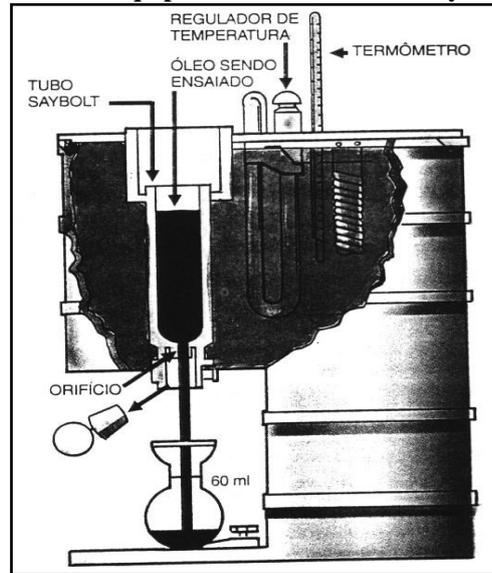
Ou seja a viscosidade tem relação direta com a resistência interna ao escoamento, quando um líquido escoar facilmente é porque ele possui baixa viscosidade, um exemplo é a gasolina, enquanto outro líquido como o alcatrão que demora para escoar é porque possui alta viscosidade.

O ensaio funciona da seguinte maneira, é medido o tempo que demora para o material betuminoso sair do tubo em uma temperatura determinada e encher um frasco de 60 ml, quanto maior o tempo de escoamento maior será a viscosidade.

A viscosidade é medido em SSU (segundos, Saybolt universal). Exemplo um líquido pode ter sua viscosidade 70 SSU a 130° F. Observação: A tabela da NB-105 permite converter a viscosidade Saybolt-Furol em viscosidade cinemática (Ver Anexo B).

Com o aumento da temperatura a viscosidade diminui. Um líquido com bons resultados para um sistema hidráulico deve permitir uma boa vedação nas bombas, válvulas e pistões e não pode ser tão grosso a ponto de dificultar o escoamento.

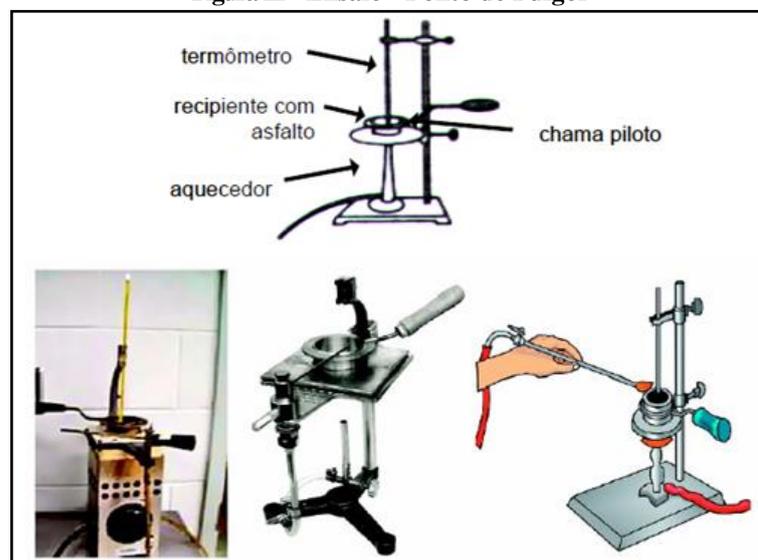
Conforme figura 11, se o líquido for mais fino vai ter uma chance de desgaste maior ao ser aplicado em altas cargas móveis.

**FIGURA 11: Equipamento viscosímetro Saybolt-Furol**

Fonte: site slideplayer.com.br

### 7.3 ENSAIO - PONTO DE FULGOR

Os materiais betuminosos em altas temperaturas se tornam perigosos para o manuseio pois ficam inflamáveis. O ponto de fulgor é um ensaio que mede qual é a menor temperatura que uma amostra pode liberar um vapor que forma uma mistura inflamável, o ensaio é usado para prevenir acidentes devidos a contaminação de solventes nas misturas, quantidade de gás ou vapor que pode ser liberado na atmosfera sem que haja combustão. Na figura 15 mostra o equipamento necessário para fazer o ensaio.

**Figura 12 - Ensaio - Ponto de Fulgor**

Fonte: Notas de aula do Prof. Jorge Barbosa Soares.

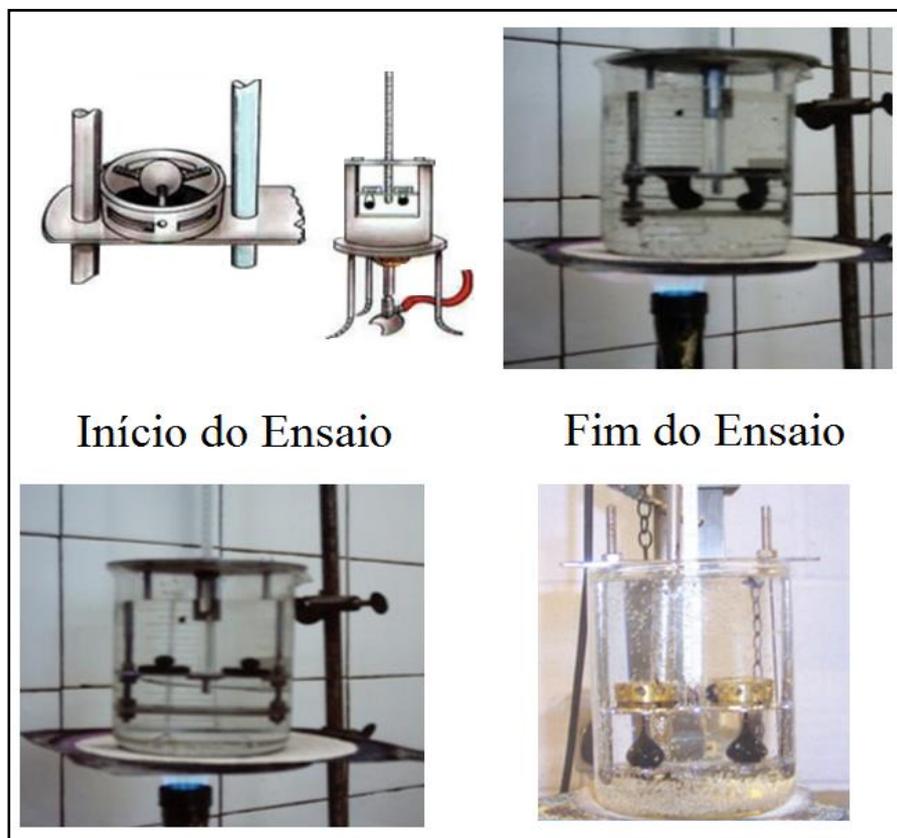
O asfalto diluído tem um ponto de fulgor de 45 °C enquanto o CAPS tem um ponto de fulgor superior a 230 °C, esses dados são importantes para evitar a combustão e classificar a segurança e os riscos de transportes, manuseamento e armazenamento do produto. O ensaio serve para medir líquidos inflamáveis e combustíveis, o produto com ponto de fulgor da temperatura menor que 60,5°C ou 37,8°C é considerado líquido enquanto o ponto de fulgor for acima de certas temperaturas é considerado combustível. O ponto de fulgor é a menor temperatura que ocorre provocando a inflamação dos vapores da amostra ao passar em uma chama piloto.

#### 7.4 ENSAIO - PONTO DE AMOLECIMENTO

O ponto de amolecimento é a temperatura em que o betume passa para a fase líquida, sendo uma substância heterogênea e difícil de estabelecer o ponto de fusão,

O ponto de amolecimento (anel e bola) é a temperatura lida no momento em que uma esfera metálica padronizada, atravessando um anel também padronizado, perfeitamente cheio com o material betuminoso, toca uma placa de referência após ter percorrido uma distância de 25,4 mm sob condições especificadas (ABNT, 2000b).

**Figura 13 - Ponto de Amolecimento Anel e Bola.**



Fonte: Liedt et al, 2008

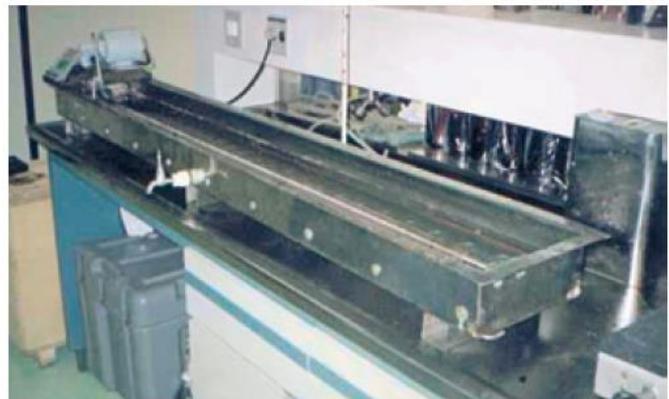
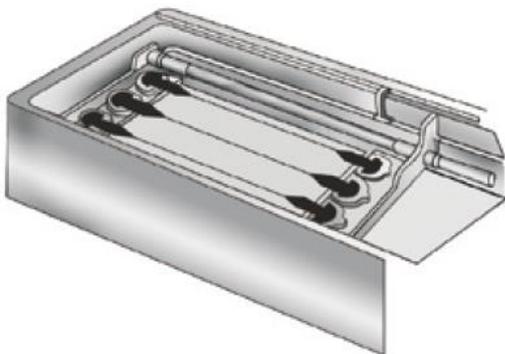
## 7.5 ENSAIO DE DUCTILIDADE

Este ensaio avalia a capacidade do material de se alongar em um formato fino até a sua ruptura. No Ensaio o corpo de prova de ligantes é posto em moles (em forma de osso de cachorro). Separados ao meio e depois submergidos em água dentro de um banho no equipamento.

A **ductilidade** é a propriedade que representa o grau de deformação que um material suporta até o momento de sua fratura. Materiais que suportam pouca ou nenhuma deformação no processo de ensaio de tração são considerados materiais frágeis. Isto é quando por exemplo um plástico é rasgado ao meio, esse processo entre estica-lo até rasga-lo é chamado de ductilidade. (WIKIPÉDIA, 2014)

A ductilidade é formada “pelo alongamento em centímetros obtido antes da ruptura de uma amostra de CAP, na seção diminuída do molde com largura inicial de 10mm, em banho de água a 25°C, submetida pelos dois extremos à velocidade de deformação de 5cm/minuto” (ABNT NBR 6293/2001).

**Figura 14 - E esquema do ensaio de ductilidade em andamento e equipamento completo**



Fonte: Senço, 2001

## 7.6 ENSAIO DE SOLUBILIDADE

Para medir a quantidade de betume em uma amostra de asfalto utilizamos o ensaio de solubilidade ele determina qual é o grau de pureza do asfalto (teor de betume). Esse ensaio requer um mínimo de 99,0% do asfalto solúvel em tricloroetileno (é menos tóxico que o bissulfeto de carbono).

A porção insolúvel é constituída de impurezas.

Uma amostra do asfalto é dissolvida por um solvente, sendo então filtrada através de um cadinho perfurado que é montado no topo de um frasco ligado ao vácuo. A quantidade de

material retido no filtro representa as impurezas no cimento asfáltico (ASTM D 2042, ABNT NBR 14855/2002),

**Figura 15 - Equipamentos e arranjo experimental para o ensaio de solubilidade**



Fonte: (Silva, 2005)

## 7.7 ENSAIO DE ENVELHECIMENTO

O envelhecimento é o processo de perda da aderência, plasticidade e impermeabilidade, o material exposto sobre a ação direta da intempérie. (Se ele for protegido pode manter sua composição por mais tempo).

A figura 19 mostra uma estufa de película fina plana, para medidas do efeito do calor e do ar (ECA) em ensaio de envelhecimento de ligante asfáltico simulado em laboratório.

**Figura 16 – Estufa de película fina plana**



Fonte: site: [www.ufjf.br/pavimentacao](http://www.ufjf.br/pavimentacao)

Ele pode envelhecer por causas físicas quando evapora os componentes oleosos leves, que definem a plasticidade e química quando há oxidação dos constituintes gerando a formação de  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ . As camadas superficiais são as mais afetadas pelo envelhecimento, são nelas que o processo começa tornando a crosta da camada mais dura.

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho ampliou os nossos conhecimentos em relação a utilização da mistura betuminosa na pavimentação asfáltica. A quantidade de informações sobre o uso do betume apresentadas neste texto monográfico contribuiu para o aprendizado, pois os referenciais teóricos, as reflexões, e as exemplificações dos métodos de ensaios proporcionaram um conhecimento relevante.

Os avanços tecnológicos impõem novos métodos, devido ao crescente volume de veículos que transitam nas rodovias com maior capacidade de cargas e também porque a pavimentação representa um altíssimo patrimônio público, além da contribuição para redução de acidente e conforto aos usuários.

É importante o profissional conhecer as diferentes aplicações dos materiais betuminosos e técnicas, devido à grande utilização na pavimentação asfáltica, garantindo assim materiais de qualidade, visando a resistência.

## REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Empresas Distribuidoras de Asfalto ABEDA; **Manual Básico de Emulsões Asfálticas**, 2010
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – **Terminologia e Classificação de Pavimentação** – NBR 7207, 1982.
- NBR 14855 **Materiais betuminosos: determinação da solubilidade em tricloroetileno**. Rio de Janeiro, 2002.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. **Materiais betuminosos – Determinação da ductilidade**. NBR 6293, 2001
- BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração**. Oficina de texto, 2007.
- BECK, Jacson Johnson Kern. **Estudo do comportamento de misturas asfálticas convencionais e modificadas preparadas com diferentes teores de filers**. Engenharia Civil – UNIJUÍ – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2005
- BERNUCCI, L. B., MOTTA, L. M. G., CERATTI, J. A. P., SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros**, Rio de Janeiro, PETROBRÁS: ADEBA, 2006.
- BRANCO, F., Pereira, P., Picado-Santos, L. **Pavimentos Rodoviários**. Almedina. Coimbra, 2008.
- DAVID, Daniela; Misturas asfálticas recicladas a frio: **Estudo em laboratório utilizando emulsão e agente de reciclagem emulsionado**. Porto Alegre, RS, 2006.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **Manual de Pavimentação**, Rio de Janeiro, 320p. 1996.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, DNER; **Misturas betuminosas a quente ensaio Marshall**, DNER ME 043/1995
- DNIT 095-EM - **Cimentos asfálticos de petróleo**, 2006
- HUNTER, R.N. **Asphalts in Road Construction**. London: Thomas Telford Ed., 2000.
- LEITE, L.F.M. **Estudos de preparo e caracterização de asfaltos modificados por polímero**. 1999. 266p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.
- PINTO, S. **Materiais Pétreos e Concreto Asfáltico: Conceituação e Dosagem**. Departamento de Engenharia de Fortificação – IME Instituto Militar de Engenharia. Rio de

Janeiro, 81p. 1998

SENÇO, Wlastermiler; **Manual de técnicas de pavimentação**. São Paulo, SP, 2007.

SENÇO, Wlastermiler; **Manual de técnicas de pavimentação, volume II**. 1.ed. São Paulo, SP, 2001

SHELL. **The shell bitumen handbook**. 5. ed. Cambridge, 2003.

Teixeira, A., 2000. **Caracterização da resistência à fadiga de misturas betuminosas em equipamento servo-pneumático**. Tese de Mestrado. Universidade do Porto. Faculdade de Engenharia. Porto.

WIKIPÉDIA. Disponível em: < <http://pt.wikipedia.org/wiki/Betume>>. Acesso em: 11 março 2014.

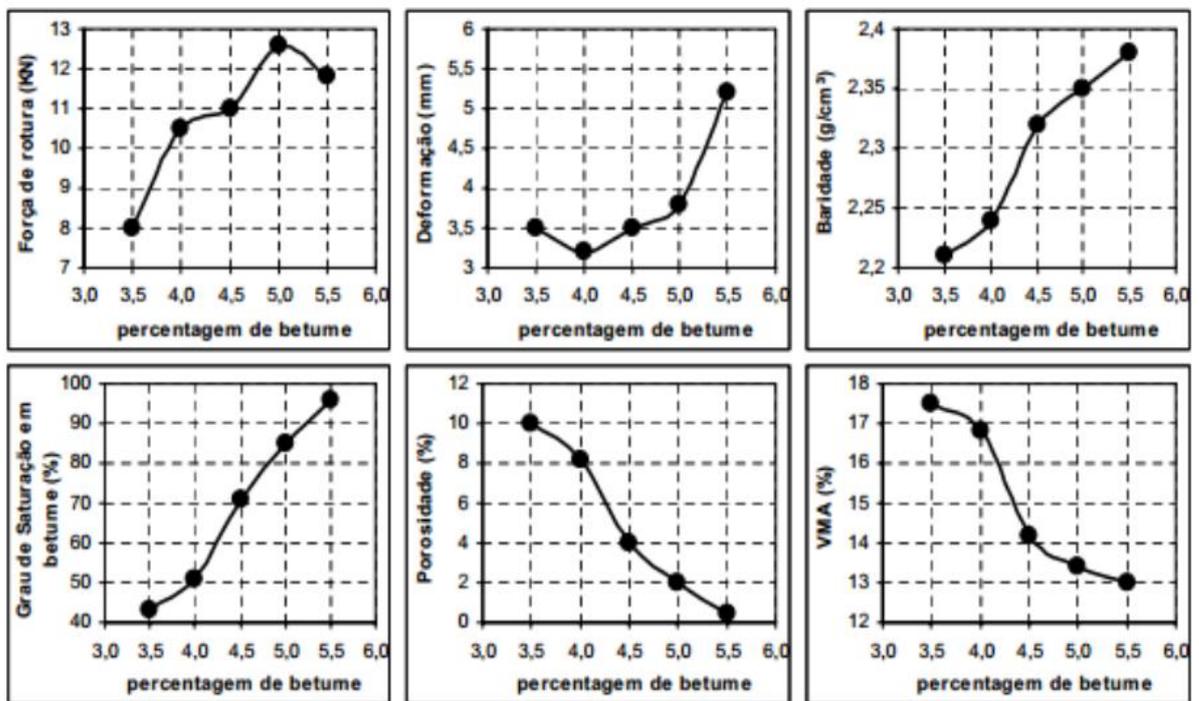
WIKIPÉDIA. Disponível em: < <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ductilidade>>. Acesso em: 17 Abril 2014.

WOODS, H.B. **Highway engineering handbook**. New York: McGraw Hill, 1960.

## ANEXO A

Para cada mistura, e para cada teor em betume diferente, é possível determinar os valores referente à baridade aparente, estabilidade, porosidade, deformação e volume de vazios, e assim traçar gráficos caracterizadores da influência do betume nas características em análise, como exemplificado na O teor ótimo em betume é conseguido pela média dos teores em betume correspondentes à máxima baridade aparente e estabilidade.

**Figura 17 - Exemplo dos gráficos dos valores médios obtidos no ensaio de Marshall.**

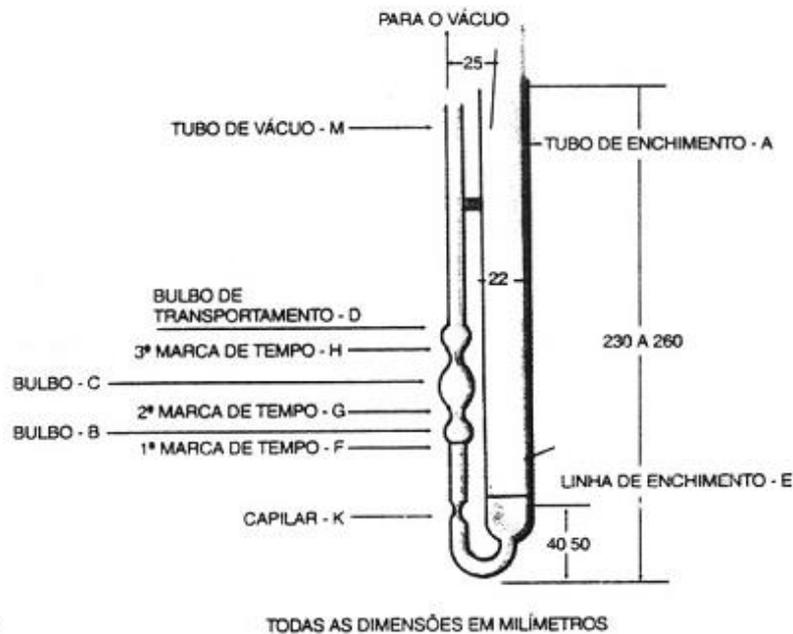


Teor em betume (Capitão, 1996)

## ANEXO B

A NB-105 apresenta tabelas que permitem a conversão da viscosidade Saybolt-Furol em viscosidade cinemática.

**Figura 18 – Conversão da viscosidade Saybolt - Furol**



**Características dos viscosímetros a vácuo do Asphalt Institute**

Tamanho do viscosímetro nº	Raio do capilar, cm	Fator aproximado da Calibração K, 30 cm Vácuo, polse/s			Faixa de viscosidade, polse
		Bulbo B	Bulbo C	Bulbo D	
25	0,0125	2	1	0,7	42 a 800
50	0,025	8	4	3	180 a 3.200
100	0,050	32	16	10	600 a 12.800
200	0,100	128	64	40	2.400 a 42.000
400	0,200	500	250	160	9.600 a 200.000

Fonte: site [www.target.com.br](http://www.target.com.br)