

# *Monografia de Graduação*

## **Obtenção de Emulsões Asfálticas Modificadas com Vermiculita**

**Arthur de Castro Dantas**

**Natal, julho de 2013**

**Arthur de Castro Dantas**

**Obtenção de Emulsões Asfálticas Modificadas com Vermiculita**

**Monografia de Graduação**

**Orientador (a):** Dr.<sup>a</sup> Maria Carlenise Paiva de Alencar Mouras

Natal/RN  
julho /2013

**Arthur de Castro Dantas**– Obtenção de Emulsões Asfálticas Modificadas com Vermiculita  
Monografia de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Química, Universidade  
Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN.

**Orientador (a):** Dr.<sup>a</sup> Maria Carlenise Paiva de Alencar Moura

**Resumo:**

As emulsões asfálticas surgiram como alternativa para aplicação do asfalto a frio, pois na produção de misturas asfálticas a quente os custos com equipamentos e os riscos aos quais são submetidos os operários são maiores. A emulsão asfáltica representa uma classe particular de emulsão óleo-em-água, na qual a fase óleo tem uma viscosidade elevada.

Com o avanço da tecnologia, procura-se desenvolver novas tecnologias visando melhorar o desempenho e a durabilidade das misturas asfálticas e/ou do ligante asfáltico. Isto é feito através de modificações químicas ou físicas, cada uma delas oferecendo vantagens na mitigação dos efeitos das patologias apresentadas pelos pavimentos asfálticos durante sua vida útil.

O presente trabalho visa o desenvolvimento de emulsões asfálticas modificadas com vermiculita, agente modificador escolhido para desenvolver essa pesquisa. As emulsões asfálticas modificadas foram desenvolvidas a partir da adição da vermiculita bruta e tratada com tensoativos, nos percentuais de 1 e 4%.

Iniciou-se a pesquisa com a obtenção da emulsão convencional em um moinho coloidal. Após a obtenção das emulsões asfálticas modificadas, estas foram caracterizadas por peneiramento, viscosidade Saybolt-Furol, pH, densidade, sedimentação, resíduo por evaporação e penetração, cujos ensaios foram realizados de acordo com as especificações técnicas (DNER-EM 369/97). De acordo com as propriedades físicas das emulsões asfálticas modificadas, conclui-se que estes resíduos podem ser aproveitados, resultando em melhorias nas propriedades da emulsão e, por consequência, do pavimento.

**Palavras chaves:** emulsão asfáltica, vermiculita, tensoativo.

## ABSTRACT

Asphalt emulsions are an alternative for application of asphalt in a cold state. The application of hot asphalt mixtures is costly, due to the use of several machines, and represents risks to the workers. The asphalt emulsion represents a particular class of oil-in-water emulsion, in which the oil phase presents high viscosity.

With the technological advancement, it is important to develop new technologies to improve the performance and durability of asphalt pavements. This is done through physical or chemical modifications of the asphalt mixtures, each one offering advantages in mitigating the effects of pathologies presented by asphalt pavements during its useful life.

The present work aims to develop asphalt emulsion modified by the addition of vermiculite in its raw form and treated with a surfactant solution. Modified asphalt emulsions were developed by adding 1% and 4% of the modifying agent to a conventional asphalt emulsion.

First, it was prepared the conventional asphalt emulsion in a colloidal mill. After, the modified asphalt emulsions were obtained. The following tests were performed to characterize the asphalt emulsions: sieve analysis, Saybolt-Furol viscosity, pH determination, density, settlement and storage stability, residue by evaporation, and penetration of residue, all in accordance with the Brazilian technical specifications (DNER-EM 369/97).

According to the results obtained for physical properties, it was concluded that vermiculite can be used as modifying agent, resulting in improvements in the properties of the asphalt emulsion and, consequently, in the pavements.

**Keywords:** asphalt emulsions, vermiculite, surfactant.

## Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO</b> .....	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>9</b>
	3.1-Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP).....	9
	3.2- Tensoativos	9
	3.3- Emulsões Asfálticas	10
	3.3.1 Emulsão Asfáltica Convencional .....	11
	3.3.2 Emulsão Asfáltica Modificada .....	13
	3.3.3 Benefícios das Emulsões Asfálticas .....	14
	3.4-Nanomateriais.....	14
	3.5- Vermiculita.....	15
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA EXPERIMENTAL</b> .....	<b>18</b>
	4.1 Materiais.....	18
	4.2 Obtenção da Vermiculita Modificada.....	19
	4.3 Obtenção da Emulsão Asfáltica Modificada .....	20
	4.3.1-Obtenção da Fase Óleo	20
	4.3.2-Obtenção da Fase Aquosa	20
	4.3.3-Obtenção da Emulsão Asfáltica Modificada	21
	4.4- Caracterização da Emulsão Asfáltica Modificada	21
	4.4.1-Peneiramento	22
	4.4.2-Viscosidade Saybolt Furol	22
	4.4.3-Potencial Hidrogeniônico	22
	4.4.4-Adesividade	23
	4.4.5-Sedimentação	23
	4.4.6-Resíduo por Evaporação	23
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>25</b>
	5.1- Caracterização da Emulsão Asfáltica Modificada .....	25
	5.2- Peneiramento	28
	5.3- Potencial Hidrogeniônico(pH)	28
	5.4- Resíduo Asfáltico por Evaporação	28
	5.5- Viscosidade Saybolt Furol	29
	5.6- Sedimentação	30
	5.7- Penetração	30
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>32</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>34</b>

---

CAPÍTULO 1  
INTRODUÇÃO

---

## INTRODUÇÃO

Emulsões asfálticas, também conhecidas como hidrasfaltos, são misturas de Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) dispersos em uma fase aquosa. As emulsões asfálticas surgiram como alternativa para que o asfalto fosse aplicado a frio, pois, na produção de misturas asfálticas a quente, é necessário que os componentes à serem misturados ao CAP estejam quentes, acarretando em maiores custos com equipamentos e oferecendo riscos aos operários, durante o manuseio. Estas emulsões, após a aplicação, perdem a água, resultando na solidificação do asfalto (Bauer, 1999; ABEDA, 2001).

Com o avanço da tecnologia, procura-se, cada vez mais, desenvolver novas tecnologias para melhorar o desempenho e a durabilidade das misturas asfálticas e/ou do ligante asfáltico. Isto é feito através de modificações químicas ou físicas, cada uma delas oferecendo vantagens na mitigação dos efeitos das patologias apresentadas pelos pavimentos asfálticos durante sua vida útil.

A nanotecnologia visa à criação de novos materiais, dispositivos e sistemas através do controle da matéria em escala nanométrica, como fenômeno associado com as interações atômicas e moleculares que fortemente influenciam as propriedades macroscópicas do material (Grajales, 2011; You et al., 2011).

O presente trabalho visa o desenvolvimento de emulsões asfálticas modificadas com vermiculita, agente modificador escolhido para desenvolver essa pesquisa. A vermiculita foi adicionada diretamente na emulsão asfáltica convencional.

---

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS

---



## **2- OBJETIVOS**

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de emulsões asfálticas modificadas com vermiculita e estudar suas propriedades.

Os principais objetivos específicos do presente trabalho são:

1. Formação do aluno na área de asfaltos;
2. Realizar revisão bibliográfica sobre asfaltos e emulsões;
3. Preparar asfaltos modificados por vermiculita e avaliar os produtos obtidos fazendo uso dos seguintes ensaios: penetração, ponto de fulgor, ponto de amolecimento, ductilidade e viscosidade Saybolt-Furol.

---

CAPÍTULO 3  
REVISÃO  
BIBLIOGRÁFICA

---

### **3- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### ***3-1- Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)***

O Cimento Asfáltico de Petróleo é considerado o principal constituinte da emulsão asfáltica, podendo variar de 40 até 75% em volume. É um material formado por asfaltenos e maltenos, e estes, por sua vez, dividem-se em hidrocarbonetos saturados, hidrocarbonetos aromáticos e resinas (Selmo, 2002).

A obtenção de asfalto é realizada através da destilação de tipos específicos de petróleo, na qual as frações leves (gasolina, diesel e querosene) são retiradas no refino. O produto resultante deste processo, então, passa a ser chamado de Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP).

Os cimentos asfálticos são materiais termoplásticos, variando a consistência de firme a duro, em temperatura ambiente (25 °C) e devem ser aquecidos até a condição de fluidos, conveniente ao seu emprego. São classificados de acordo com o grau de penetração e viscosidade. Outros ensaios podem ser realizados com o CAP, como o ponto de amolecimento, a ductilidade e ponto de fulgor (Bauer, 1999).

#### ***3-2-Tensoativos***

Os tensoativos são moléculas cuja estrutura química contém grupos com afinidades distintas e interligadas, ou seja, uma cabeça polar ou hidrofílica ligada a uma cauda apolar ou hidrofóbica.

A presença, na mesma molécula, de duas regiões com afinidades diferentes caracteriza o termo anfifílico (Mittal, 1979). Dentre suas propriedades, destacam-se a formação de bolhas e espumas na superfície de um líquido e a adsorção nas superfícies ou interfaces líquido-líquido, líquido-gás e sólido-líquido, promovendo redução significativa da tensão superficial ou interfacial.

##### ***3-2-1-Classificação dos tensoativos***

Os tensoativos podem ser classificados de acordo com a região polar, ou hidrofílica, em tensoativos iônicos (catiônicos, aniônicos e anfóteros) e tensoativos não-iônicos.

Tensoativos catiônicos possuem, em solução aquosa, um ou vários grupos ionizáveis que produzem íons carregados positivamente na superfície ativa. Estes tensoativos são normalmente utilizados para tratamento de água, formulação de desinfetantes e cosméticos, devido a sua efetiva ação microbiológica.

Tensoativos aniônicos possuem, em solução aquosa, um ou vários grupos ionizáveis que produzem íons carregados negativamente na superfície ativa. Os tensoativos mais difundidos deste grupo são os sabões, aminas, compostos sulfonados, dentre outros.

Tensoativos anfóteros possuem em sua estrutura ambos radicais ácido e básico. Tais tensoativos apresentam características específicas de acordo com o pH do meio.

Tensoativos não-iônicos são constituídos por substâncias cujas moléculas, em solução aquosa, não se ionizam. O seu poder hidrofílico se origina de grupos polares do tipo éter (R-O-R), álcool (R-OH), carbonila (R-CO-R) ou mesmo amina (R-NH-R). A maioria desses tensoativos é obtida através da policondensação de moléculas de óxido de etileno sobre um composto lipófilo com hidrogênio móvel (Viana, 1994).

### ***3-3- Emulsões Asfálticas***

As emulsões asfálticas podem ser definidas como misturas de cimento asfáltico de petróleo dispersos na fase aquosa, produzidas, normalmente, através de um processo mecânico em equipamentos de alta capacidade de cisalhamento, denominados moinhos coloidais. A emulsão asfáltica apresenta coloração marrom e sua consistência pode variar entre um líquido de baixa consistência como, por exemplo, o leite, até a consistência cremosa, como o mel (ABEDA, 2001).

Além dos componentes básicos que constituem a emulsão asfáltica (asfalto, água e agente emulsificante), em algumas situações a emulsão pode conter aditivos, tais como: estabilizantes, agentes melhoradores de adesão e controladores de quebra (AEMA, 2007).

Segundo Santana (1993) para emulsificar o cimento asfáltico de petróleo deve-se dividi-lo em partículas muito pequenas e envolvê-las com um agente emulsificante, de modo a impedir a união dessas partículas dispersas na fase aquosa, ou seja, a ruptura prematura da emulsão asfáltica. O equipamento mais adequado para a produção da emulsão asfáltica é o moinho coloidal. Segundo Harlan (2002) o

moinho coloidal divide o asfalto em glóbulos com tamanho de aproximadamente 0,025 a 0,125 mm (25 a 125 microns).

### ***3-3-1-Emulsões asfálticas convencionais***

As emulsões asfálticas surgiram no mercado no início do século XX, em vários lugares e com diversos usos. No início de 1900 se empregou, pela primeira vez, uma emulsão asfáltica do tipo aniônica na construção de estradas na cidade de Nova York. Em 1914, o estado de Indiana começou a realizar trabalhos de reparação de estradas empregando também as emulsões asfálticas aniônicas (Talavera et al., 2001).

As emulsões asfálticas surgiram como um método alternativo para que o asfalto fosse aplicado a frio, pois, para a produção de misturas asfálticas a quente, era necessário que os componentes que são misturados ao CAP estivessem quentes, acarretando em maiores custos com equipamentos e oferecendo riscos aos operários, durante o manuseio (ABEDA, 2001).

Emulsões asfálticas, também conhecidas como hidrasfaltos, são misturas de Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) dispersos na fase aquosa. A emulsão asfáltica representa uma classe particular de emulsão óleo-em-água, na qual a fase óleo tem uma viscosidade elevada. O asfalto e a água não formam uma emulsão por simples mistura dos dois componentes, sendo necessária a utilização de um agente emulsificante para manter a emulsão estável. Além disso, o asfalto precisa ser disperso por ação mecânica que o transforme em pequenas partículas ou glóbulos (IBP, 1999; Hunter, 2000; ABEDA, 2001; Shell, 2003).

A utilização de emulsões asfálticas representa economia de energia, sendo, também um material ecologicamente seguro por não necessitar aquecimento, o que reduz a emissão gases poluentes e risco de incêndio. Estas emulsões são de fácil uso, podendo inclusive ser aplicadas em superfícies úmidas. Quando comparadas ao asfalto, apresentam, também, a vantagem de apresentar maior plasticidade inicial e maior aderência. As principais desvantagens são: a menor resistência mecânica e a presença de resíduos de soda, provenientes do emulsificante.

Segundo Bauer (1999), a emulsão asfáltica é uma dispersão composta de 50 a 70% de cimento asfáltico, pequenas frações de emulsificante (1 a 2%) e o restante de água. A emulsão, à temperatura ambiente, é líquida e com o tempo perde a água, resultando na solidificação do asfalto. Estas dispersões são preparadas em

misturadores (baixa velocidade) e homogeneizadores (alta velocidade). O equipamento usado neste processo é o moinho coloidal, que produz glóbulos extremamente pequenos, quase todos na gama do tamanho coloidal (5 a 10 micra ou menor) (Song et al., 2006).

O endurecimento das emulsões asfálticas dá-se devido à perda de água após a aplicação, resultando na deposição do asfalto. As emulsões, durante a construção, devem permanecer fluidas para a adequada aplicação. Os glóbulos de asfalto são mantidos separados pelo agente emulsificante até que a emulsão se deposite na superfície do terreno, do pavimento existente ou envolvendo as partículas de agregado. Para que o asfalto desempenhe sua função final de cimentar e impermeabilizar, a fase aquosa deve separar-se do asfalto (quebra da emulsão), o que ocorre devido à neutralização das cargas eletrostáticas e a evaporação da água, fazendo com que ocorra a coalescência das gotículas de asfalto, formando uma película contínua sobre o agregado ou pavimento (Instituto de Asfalto, 2002).

As emulsões catiônicas, que serão objeto de estudo desta pesquisa, têm como emulsificante sais de aminas ou poliaminas graxas, conferindo-lhes propriedades ácidas ( $\text{pH} < 7$ ). Os glóbulos apresentam carga positiva e a fase aquosa contínua tem carga negativa. Estas emulsões apresentam maior facilidade de aplicação, flexibilidade e resistência, sendo recomendadas para uso em consertos de macadame, impermeabilizações, etc.

Uma outra forma de classificar as emulsões, de acordo com as Normas Técnicas Brasileiras, leva em conta o tempo que esta leva para romper. Denomina-se ruptura ou quebra de uma emulsão o fenômeno de separação das fases constituintes da emulsão. A ruptura pode ocorrer por evaporação da água, por um desequilíbrio eletroquímico (provocado por aumento da acidez ou alcalinidade) ou pela ação do agregado, o qual atrai para si os glóbulos de asfalto (adsorção). O tempo de ruptura depende, dentre outros fatores, da quantidade e do tipo do agente emulsificante.

A emulsão asfáltica pode ser do tipo quebra rápida, designada como RR, quando sua ruptura ocorre em no máximo 40 minutos; ruptura média, designada como RM, quando esse tempo é menor que 2 horas e as emulsões de ruptura lenta, designadas como RL, quando a ruptura ocorre entre 2 e 4 horas. A determinação da ruptura nas RR é regulada pelo MB – 590 (ABNT - NBR 6569/2000) e da RL pela MB – 496 (ABNT - NBR 6297/2003).

Dependendo da quantidade de cimento asfáltico envolvida na fabricação das emulsões, elas podem ser classificadas em 1C e 2C. A terminologia C indica emulsão do tipo catiônica e os números 1 e 2 estão associados à viscosidade relativa e a quantidade de cimento asfáltico empregada na obtenção da emulsão.

### ***3-3-2-Emulsões asfálticas modificadas***

A fabricação de emulsões asfálticas vivencia avanços tecnológicos que permitem agregar ainda mais qualidade na execução de serviços de pavimentação. Com o surgimento dos asfaltos modificados por polímeros e, por conseqüência, das emulsões asfálticas também modificadas por polímeros, serviços de pavimentação que eram executados com emulsões convencionais passaram a ser executados com emulsões asfálticas modificadas, permitindo que estas emulsões fossem utilizadas em situações de tráfego mais intensas. Deste modo a aplicação de emulsões asfálticas ficou ainda mais abrangente, atuando em condições que eram restritas apenas às misturas asfálticas a quente (Greca Asfaltos, 2006).

A emulsão asfáltica obtida com o asfalto modificado possui elevada recuperação elástica e elevado ponto de amolecimento, que afetam o desempenho dos pavimentos. A recuperação elástica fornece ao ligante a capacidade de retornar ao seu estado inicial, uma vez cessada a solicitação provocada pelo tráfego. Esta propriedade interfere na resistência à fadiga das misturas betuminosas e na maior flexibilidade nos tratamentos superficiais. Um ponto de amolecimento maior proporciona ao asfalto modificado uma maior consistência em temperaturas mais elevadas, assim, o tratamento superficial está menos sujeito a exsudação (Betunel, 2011).

A adição do polímero ao ligante reduz a oxidação do asfalto, evitando o surgimento de defeitos no pavimento, como a formação de fissuras, trincas e panelas. Dependendo do polímero adicionado, se este apresentar propriedades elásticas, sua adição também melhora a adesividade do ligante ao agregado, permitindo que este seja submetido a maiores esforços sem ser arrancado da pista. A maior viscosidade da emulsão asfáltica, fornecida pelo polímero, permite o envolvimento do agregado com uma película mais espessa de asfalto. Estes fatores associados garantem um desprendimento mínimo dos agregados, possibilitando uma abertura mais rápida ao tráfego (Betunel, 2011).

Os polímeros mais comuns utilizados em emulsões asfálticas são: o látex

natural e sintético e co-polímeros de estireno-b-butadieno (SBS) e butadieno-b-acrilonitrila (SBR). Geralmente são adicionados de 2,5 a 3% de polímeros sobre o peso da emulsão. A principal desvantagem do uso de emulsões asfálticas modificadas por polímeros é o custo adicional, pois estas geralmente custam 30% mais que as emulsões asfálticas convencionais. Contudo, em áreas onde há um tráfego intenso, causando danos ao pavimento, o uso de emulsões asfálticas modificadas é justificado (Wood et al., 2006).

### ***3-3-3-Benefícios das Emulsões Asfálticas***

Segundo Petrucci (1998), qualquer que seja o tipo, as emulsões asfálticas apresentam os seguintes benefícios:

- Possuem viscosidade bastante inferior a viscosidade do asfalto (CAP), permitindo sua utilização em temperaturas baixas;
- Possibilitam o uso de equipamentos simples, pois dispensam sistemas de aquecimento e secador de agregados, reduzindo o consumo de energia;
- Eliminam riscos de incêndios e acidentes devido à possibilidade das emulsões serem utilizadas em temperaturas baixas, oferecendo maior segurança aos operários;
- Por serem aplicadas sem necessidade de aquecimento, há uma redução da poluição atmosférica, por emitirem menos voláteis, e, também evitam a oxidação do asfalto;
- São fáceis de manusear, facilitando o trabalho em campo.

### ***3-4-Nanomateriais***

Materiais inorgânicos, orgânicos e biológicos nanoestruturados existem na natureza desde que a evolução da vida na Terra começou. Alguns exemplos evidentes são os microorganismos, minerais de granulometria fina nas rochas, e partículas de tamanho nanométrico nas bactérias e fumaça (Nalwa, 2000). Duas categorias de materiais podem ser desenvolvidas com a utilização da nanotecnologia: os nanomateriais e os materiais nanoestruturados.

De acordo com Grajales (2011) os materiais nanoestruturados são sólidos que apresentam microestruturas nanométricas, sejam elas ordenadas ou desordenadas. Já



os nanomateriais são partículas com tamanho inferior a 100 nm em pelo menos uma de suas dimensões, que conferem novas propriedades e novos comportamentos às estruturas com elas construídas.

### ***3-5-Vermiculita***

A vermiculita ou vermiculite é um mineral formado por hidratação de certos minerais basálticos. Sofre expansão quando lhe é aplicado calor. Possui alta capacidade de troca catiônica e é utilizada comercialmente, principalmente em sua forma expandida na construção civil e na agricultura.

A vermiculita é um mineral semelhante à mica, formado essencialmente por silicatos hidratados de alumínio e magnésio. Quando submetida a um aquecimento adequado a água contida entre as suas milhares de lâminas se transforma em vapor fazendo com que as partículas explodam e se transformem em flocos sanfonados. Cada floco expandido aprisiona consigo células de ar inerte, o que confere ao material excepcional capacidade de isolamento. O produto obtido é inífungo, inodoro, não irrita a pele nem os pulmões, apresenta baixa condutividade elétrica, é isolante térmico e absorvente acústico; não se decompõe, deteriora ou apodrece; não atrai cupins ou insetos; é somente atacado pelo ácido fluorídrico a quente; pode absorver até cinco vezes o seu peso em água, é lubrificante e tem as características necessárias aos materiais filtrantes.

Essas propriedades tornam a vermiculita expandida um produto de larga aplicação nos seguintes setores:

- *Construção Civil*
  - Isolante térmico para lajes e paredes;
  - Agregado leve para concreto estrutural;
  - Proteção de impermeabilização em lajes de cobertura;
  - Miolo de divisórias e portas "corta-fogo";
  - Câmaras a prova de fogo;
  - Forro decorativo e acústico, a prova de fogo.
  - Proteção interna dos recuperadores de calor a lenha
  - Isolamento, quando necessário em hottes de lareiras e recuperadores.

- *Indústria*
  - Tijolos e argamassas isolantes;
  - Isolante térmico e anticorrosivo;
  - Isolante térmico para construção naval;
  - Embalagens à prova de choques e fogo;
  - Elemento filtrante.
  
- *Agricultura*
  - Condicionador de solos;
  - Veículo e contentor para nutrientes, inseticidas, herbicidas, fungicidas;
  - Retentor de água em solos permeáveis (arenosos);
  - Isolamento da superfície do solo preparado com sementeiras.

---

CAPÍTULO 4  
METODOLOGIA  
EXPERIMENTAL

---

## 4- METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Nesta seção, será descrita a metodologia utilizada para a obtenção das emulsões asfálticas convencionais e modificadas com nanomateriais, constituintes dessas emulsões, equipamentos necessários para obtenção e metodologia de caracterização das mesmas. Também serão apresentadas as técnicas utilizadas para tratar a vermiculita utilizada como nanomaterial.

### 4-1-Materiais

Para a obtenção da emulsão asfáltica são necessários os seguintes constituintes: asfalto, solvente, emulsificante, ácido, água e, em alguns casos, aditivos. Para a emulsão asfáltica modificada, inclui-se, nesse caso, a vermiculita. A seguir será feita uma breve discussão sobre cada constituinte presente na emulsão asfáltica.

- **Asfalto:** o asfalto é considerado o principal constituinte da emulsão asfáltica, podendo variar na proporção de 40 até 70% em volume. O asfalto empregado no desenvolvimento desta pesquisa será o Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP 50-70), cedido pela Lubrificantes e Derivados de Petróleo do Nordeste (LUBNOR - Fortaleza-CE).
- **Solvente:** o solvente é utilizado na obtenção da emulsão para diminuir a viscosidade do asfalto, facilitando assim o processo de emulsificação. Ao escolher um solvente, é necessário observar sua compatibilidade com o asfalto, para que se produza uma mistura homogênea e sem sinais de separação e, também, que o mesmo seja suficientemente volátil para não deixar resíduos no asfalto depositado. Geralmente o solvente utilizado é o querosene. Para este trabalho será utilizado o querosene comercial (Petrobras).
- **Água:** A água é considerada o segundo principal constituinte da emulsão asfáltica. O teor de água presente na emulsão asfáltica pode variar na proporção de 30 até 60% em volume, interagindo com o emulsificante.
- **Emulsificante:** O emulsificante presente na fase aquosa é o responsável por garantir uma dispersão estável das partículas de asfalto em meio aquoso. Devido a sua estrutura molecular (parte lipofílica e hidrofílica), ele reduz a tensão interfacial entre as fases aquosa e óleo. Nesta pesquisa serão utilizados

apenas emulsificantes catiônicos.

- **Ácido:** Os ácidos utilizados na emulsão asfáltica têm a função de formar sais solúveis com o emulsificante e reduzir o potencial hidrogeniônico (pH) até o nível desejado. A adição do ácido é necessária devido a alguns emulsificantes não apresentarem boa solubilidade em água, sendo necessário convertê-los em sais para dissolvê-los na fase dispersante. Frequentemente, para fabricação de emulsões asfálticas, é utilizado o ácido clorídrico (Baumgardner, 2006).
- **Aditivo:** Os aditivos mais utilizados nas emulsões asfálticas são o cloreto de cálcio e o cloreto de sódio. Segundo Hermadi e Sterling (1998), o cloreto de cálcio é adicionado à fase aquosa da emulsão asfáltica com o objetivo de aumentar a gravidade específica desta fase para que a mesma apresente gravidade específica próxima a da fase asfalto, reduzindo a taxa de sedimentação da emulsão, aumentando sua estabilidade ao armazenamento. O cloreto de cálcio também atua como um estabilizante.
- **Nanomaterial:** o nanomaterial é um agente modificador da emulsão asfáltica, que tem como função alterar algumas de suas propriedades. As propriedades a serem modificadas na emulsão asfáltica dependem do tipo e da quantidade de nanomaterial utilizado. Nessa pesquisa, a vermiculita foi utilizada como agente modificador.

#### 4-2-Obtenção da vermiculita modificada

Nessa pesquisa, a vermiculita, nanomaterial escolhido, foi utilizada de três formas distintas: em sua forma bruta, tratada com solução de emulsificante catiônico e tratada com solução de emulsificante catiônico em meio ácido.

Para a obtenção da vermiculita modificada, utilizou-se a seguinte metodologia:

1. Preparou-se uma solução a 3% de emulsificante catiônico. Tal solução é preparada pesando-se 30g de emulsificante para 1 litro de água e introduzindo esses componentes no moinho coloidal e deixando tal solução permanecer por 30 minutos.
2. Ao obter a solução de emulsificante, pesa-se 50g de vermiculita e coloca-se esse nanomaterial em contato com 0,5L dessa solução,

deixando tal mistura em sob rotação constante durante 24hrs.

3. Após as 24hrs, filtra-se a solução da vermiculita e coloca-se o nanomaterial para secar sob o sol durante 12hrs.
4. O procedimento de obtenção da vermiculita tratada com solução de emulsificante em meio ácido é o mesmo, no entanto, ao obter-se a solução de tensoativo, adiciona-se o equivalente a 0,3% em peso de ácido clorídrico na solução. Somente após adicionar tal ácido, pesa-se a vermiculita e a deixa em contato com a solução por 24hrs.

### **4-3-Obtenção da emulsão asfáltica modificada**

Para a obtenção da emulsão asfáltica catiônica convencional faz-se necessário preparar a fase óleo e a fase aquosa separadamente. Somente ao misturar as duas fases é que se adiciona o agente modificador. A metodologia desenvolvida para a obtenção destas fases e a obtenção da emulsão asfáltica será descrita a seguir.

#### ***4-3-1-Obtenção da fase óleo***

A fase asfalto é composta do asfalto (CAP 50-70) e do solvente. Para preparar a fase asfalto, é necessário aquecer o asfalto a uma temperatura de 120 °C e mantê-lo no estado líquido para facilitar o processo de emulsificação, já que o mesmo, na temperatura ambiente, apresenta consistência semissólida. O CAP 50-70 será utilizado neste trabalho na proporção mássica de 50%. Em seguida, será adicionado o solvente ao asfalto (querosene – 20%), e a mistura será agitada até que ocorra a homogeneização.

#### ***4-3-2-Obtenção da fase aquosa***

A fase aquosa é composta de água, emulsificante (tensoativo), ácido e aditivo. Para preparar esta fase, serão adicionados à água (26,4%) o emulsificante (3%), o ácido (0,3%) e o aditivo (0,3%) e, em seguida a solução aquosa será aquecida em uma chapa aquecedora (60 °C).

### ***4-3-3-Obtenção da emulsão asfáltica modificada***

Segundo Santana (1993), para emulsificar o cimento asfáltico de petróleo deve-se dividi-lo em partículas muito pequenas e envolvê-las com um agente emulsificante, de modo a impedir a união dessas partículas dispersas na fase aquosa, ou seja, a ruptura prematura da emulsão asfáltica. O equipamento mais adequado para a produção da emulsão asfáltica é o moinho coloidal. Segundo Harlan (2002) o moinho coloidal divide o asfalto em glóbulos com tamanho de aproximadamente 0,025 a 0,125 mm. Nesta etapa, as fases anteriormente desenvolvidas serão adicionadas ao moinho coloidal, com temperatura de 95°C e, após 5 minutos de emulsificação, adiciona-se o agente modificador, em proporções mássicas de 1% e 4% em relação a quantidade de CAP na emulsão. As proporções mássicas diferentes e os diferentes tipos de tratamento do agente modificador são aplicados para avaliar as propriedades físicas das emulsões.

### **4-4-Characterização da emulsão asfáltica modificada**

Para caracterizar as emulsões asfálticas, pode-se realizar ensaios com a emulsão e, também, com o resíduo resultante da evaporação da água ou água e solvente. Segundo James (2006), as análises com emulsões podem ser divididas em três grupos: (1) os que analisam as propriedades da emulsão (como, por exemplo: teor de resíduo, viscosidade, estabilidade ao armazenamento, resíduo de peneiramento); (2) as análises que classificam a emulsão em quebra rápida, média ou lenta (como, por exemplo: desemulsibilidade, testes de mistura com cimento e testes de adesão); e (3) as análises sobre o resíduo recuperado pela evaporação (tais como penetração, ductilidade e ponto de amolecimento).

Os ensaios para caracterização das emulsões asfálticas convencionais e modificadas realizados nesta pesquisa compreenderam: peneiramento; viscosidade Saybolt Furol; potencial hidrogeniônico (pH); adesividade; sedimentação e resíduo asfáltico por evaporação.

#### ***4-4-1-Peneiramento***

O ensaio de peneiramento será realizado de acordo com a ABNT 14393 (2006). Este ensaio tem como objetivo determinar a porcentagem, em massa, de resíduo asfáltico que fica retido na peneira de abertura 841 $\mu$ m, quando uma alíquota de 1000 g de emulsão asfáltica é vertida nesta peneira.

#### ***4-4-2-Viscosidade Saybolt-Furol***

O ensaio da viscosidade Saybolt-Furol será realizado de acordo com a ABNT NBR 14491(2000). Este ensaio tem como objetivo determinar a consistência da emulsão asfáltica, através do tempo, em segundos, necessário para escoar 60 mL da amostra em fluxo contínuo, através do orifício Furol, sob condições específicas. A viscosidade Saybolt-Furol é um método empírico onde a unidade é expressa em Segundo Saybolt-Furol (SSF) e as temperaturas indicadas, pela norma citada, para a realização deste ensaio, com emulsão asfáltica, são a 25 e 50 °C.

A emulsão asfáltica é agitada e transferida para um béquer, devendo ficar em banho-maria até atingir a temperatura de 52 °C. Após isso, a emulsão é transferida para o viscosímetro, verificando-se a estabilidade da temperatura no aparelho. Em sequência, retira-se a rolha do orifício Furol, acionando-se ao mesmo tempo o cronômetro, sendo a viscosidade da emulsão asfáltica dada pelo tempo de escoamento em fluxo contínuo, registrado em segundos. Nesta pesquisa, os ensaios foram realizados a 50°C e o equipamento utilizado foi um viscosímetro Saybolt-Furol Pavitest Novus N480D.

#### ***4-4-3-Potencial Hidrogeniônico***

O ensaio de pH será realizado de acordo com a ABNT NBR 6299 (2005). Este ensaio tem por objetivo determinar o pH das emulsões asfálticas. Conforme a norma, este ensaio pode ser realizado entre 20 e 30 °C. O equipamento indicado para a realização deste ensaio é um potenciômetro com eletrodos de referência, de vidro, do tipo platina/calomelano/solução aquosa saturada de KCl, possibilitando leitura de pH de 1 a 14. O potenciômetro utilizado na pesquisa foi o Tec -3MP-Tecnal.



#### ***4-4-4-Adesividade***

O ensaio de adesividade foi realizado de acordo com a ABNT NBR 6300 (2009). Este ensaio tem como objetivo determinar a resistência à água (adesividade) do asfalto residual, proveniente da ruptura das emulsões asfálticas catiônicas aplicadas sobre agregados graúdos. O resultado é obtido através da análise visual do agregado, estimando-se a porcentagem da área que se manteve recoberta com a película asfáltica após o ensaio.

#### ***4-4-5-Sedimentação***

O ensaio de sedimentação será realizado de acordo com a ABNT NBR 6570 (2000). Este ensaio tem como objetivo verificar a susceptibilidade da emulsão asfáltica quanto a sedimentação, verificando se a emulsão apresenta estabilidade quanto a estocagem (não haver separação das fases constituintes). Uma amostra de emulsão asfáltica é colocada em uma proveta especial (com abertura lateral no fundo e no topo) e, após cinco dias, são determinados os resíduos asfálticos de porções da amostra retiradas do topo e do fundo da proveta.

#### ***4-4-6-Resíduo por Evaporação***

O ensaio de resíduo por evaporação será realizado de acordo com a ABNT NBR 14376 (2007). Este ensaio tem por objetivo determinar a quantidade de ligante asfáltico contido em emulsões asfálticas. A emulsão é aquecida, de forma branda e com agitação contínua a fim de evitar a ocorrência de respingos, até a total evaporação da água ou da água e solvente. No decorrer do ensaio observa-se a formação de uma fase pastosa devido à evaporação da água ou água/solvente. O ensaio deve ser interrompido no momento em que esta fase pastosa se transforma em um fluido de superfície espelhada, constituído pelo resíduo asfáltico, e, em seguida, a amostra deve ser pesada.

---

CAPÍTULO 5  
RESULTADOS E  
DISCUSSÃO

---

## 5-RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, são apresentados e discutidos os resultados referentes à caracterização das emulsões asfálticas modificadas com vermiculita, nanomaterial utilizado como agente modificador.

Foram desenvolvidos seis emulsões, variando-se o tipo e quantidade de vermiculita utilizada na composição da emulsão, com o intuito de encontrar, através da análise de resultados da caracterização, a emulsão mais padrão de acordo com os requisitos exigidos pela norma (DNER-EM-369/97).

Após a obtenção das emulsões asfálticas modificadas, foram feitos os ensaios de caracterização. Devido à falta de uma especificação técnica para emulsões modificadas com os resíduos utilizados neste trabalho, as propriedades físicas das emulsões modificadas foram analisadas tendo como parâmetro a especificação para emulsões asfálticas catiônicas (DNER-EM 369/97).

### *5-1- Caracterização da emulsão asfáltica modificada*

Nesta etapa, foram realizados os ensaios de caracterização das emulsões asfálticas modificadas. A tabela 01 apresenta a composição detalhada das emulsões e a tabela 02 apresenta os resultados obtidos com os ensaios de caracterização das emulsões.

Tabela 01- Composição das Emulsões

COMPOSIÇÃO (%)							
Emulsão	Asfalto	Solvente	Emulsificante	Água	HCl	CaCl <sub>2</sub>	Agente Modificador
<b>Emulsão asfáltica modificada com vermiculita bruta</b>							
1	50	20	3	26,4	0,3	0,3	1
2	50	20	3	26,4	0,3	0,3	4
<b>Emulsão asfáltica modificada com vermiculita tratada com emulsificante</b>							
1	50	20	3	26,4	0,3	0,3	1
2	50	20	3	26,4	0,3	0,3	4
<b>Emulsão asfáltica modificada com vermiculita tratada com emulsificante em meio ácido</b>							
1	50	20	3	26,4	0,3	0,3	1
2	50	20	3	26,4	0,3	0,3	4

Tabela 02 – Caracterização das emulsões asfálticas modificadas com a vermiculita

Vermiculita 1% ( 5g – vermiculita bruta)		
<i>Ensaio</i>	<i>Norma</i>	<i>Valor Obtido</i>
Densidade (g/L)	-	0,937
Peneiração, 0,84 mm, % em peso máximo	0,1	0
Potencial Hidrogeniônico	-	2,10
Viscosidade de Saybolt, S, a 50°C	100 – 400 SSF	403
Penetração, a 25°C, 100g, 5s, 0,1 mm	50 - 250	132
Resíduo por evaporação, mínimo	62	85,7
Sedimentação, % em peso máximo	5	-33,8

Vermiculita 4% ( 20g – vermiculita bruta)		
<i>Ensaio</i>	<i>Norma</i>	<i>Valor Obtido</i>
Densidade (g/L)	-	0,918
Peneiração, 0,84 mm, % em peso máximo	0,1	0
Potencial Hidrogeniônico	-	1,98
Viscosidade de Saybolt, S, a 50°C	100 – 400 SSF	813
Penetração, a 25°C, 100g, 5s, 0,1 mm	50 - 250	135
Resíduo por evaporação, mínimo	62	80,5
Sedimentação, % em peso máximo	5	-32,1

Vermiculita 1% ( 5g – vermiculita modificada)		
<i>Ensaio</i>	<i>Norma</i>	<i>Valor Obtido</i>
Densidade (g/L)	-	0,954
Peneiração, 0,84 mm, % em peso máximo	0,1	0
Potencial Hidrogeniônico	-	2,21
Viscosidade de Saybolt, S, a 50°C	100 - 400	174.5
Penetração, a 25°C, 100g, 5s, 0,1 mm	50 - 250	102
Resíduo por evaporação, mínimo	62	63,5
Sedimentação, % em peso máximo	5	-18%

Vermiculita 4% (20g – vermiculita modificada)		
<i>Ensaio</i>	<i>Norma</i>	<i>Valor Obtido</i>
Densidade (g/L)	-	0,9002
Peneiração, 0,84 mm, % em peso máximo	0,1	0
Potencial Hidrogeniônico	-	2,38
Viscosidade de Saybolt, S, a 50°C	100 - 400	217
Penetração, a 25°C, 100g, 5s, 0,1 mm	50 - 250	78
Resíduo por evaporação, mínimo	62	89,4
Sedimentação, % em peso máximo	5	-27%

As propriedades físicas das emulsões asfálticas modificadas com a vermiculita, conforme a tabela 02, serão analisadas a seguir.

### ***5-2- Peneiramento***

Observa-se que as emulsões asfálticas modificadas com vermiculita não apresentaram partículas retidas na peneira ASTM 20, mostrando a eficiência do processo de moagem realizado no moinho coloidal durante a obtenção da emulsão asfáltica. Esse parâmetro é importante para fornecer indicações quanto a estabilidade e qualidade da emulsão, tendo em vista que partículas menores apresentam maiores resistências a floculação, coalescência e, conseqüentemente, sedimentação. Salienta-se no entanto, que esse ensaio nos fornece apenas uma indicação. Outros ensaios são realizados para caracterizar a ruptura da emulsão.

### ***5-3-Potencial Hidrogênionico (pH)***

De acordo com a tabela 02, observa-se que as emulsões asfálticas modificadas com vermiculita apresentam pH no intervalo de **1,98 a 2,38**, com valores próximos ao pH das emulsões asfálticas convencionais. De acordo com Baungardner (2006), as emulsões asfálticas catiônicas devem apresentar pH na faixa de 1 a 7, mais especificamente entre 2 a 4. De acordo com este mesmo autor, a dosagem de ácido adicionado a emulsão é o fator determinante no valor final do pH da emulsão.

### ***5-4-Resíduo Asfáltico por Evaporação***

As emulsões asfálticas modificadas apresentaram comportamento semelhante ao das emulsões asfálticas convencionais, ou seja, os valores dos resíduos asfálticos obtidos foram superiores ao teor de asfalto adicionado. Atribui-se este aumento no percentual de resíduo por evaporação, quando comparado à massa inicial de asfalto utilizado, a traços do nanomaterial, do solvente, do emulsificante ou do aditivo que podem ter permanecido na amostra.

De acordo com Shafii et al. (2011), com base no “Transportation Research Board”, o principal propósito do processo de recuperação do resíduo asfáltico é determinar a quantidade de fase não aquosa na emulsão e obter o resíduo asfáltico

para outros testes. Em geral, as técnicas de recuperação do resíduo são baseadas na destilação ou evaporação. Estes autores verificaram os protocolos utilizados pelos Estados Unidos e diversos países da Europa para realização deste ensaio. A ausência de um único protocolo tem levado a aplicação de várias técnicas, e estas técnicas podem alterar as propriedades reológicas do asfalto recuperado, tendo em vista variações na temperatura do ensaio, que pode modificar a morfologia do polímero adicionado e, conseqüentemente, da rede polimérica existente na emulsão. De acordo com estes autores as altas temperaturas utilizadas para obter o resíduo não representam as reais temperaturas quando a emulsão é aplicada no campo.

### ***5-5-Viscosidade Saybolt Furol***

Na literatura, nota-se que a viscosidade da emulsão asfáltica tende a aumentar de acordo com o aumento da interação do nanomaterial ou polímero com o asfalto e de acordo com o aumento da quantidade de nanomaterial ou polímero inserida na emulsão.

Em relação a quantidade de vermiculita inserida na emulsão, quanto maior a quantidade, maior será a homogeneidade dessa emulsão. A vermiculita ficará, então, mais bem distribuída na matriz da emulsão. Havendo maior interação por saturação, a viscosidade da emulsão tende a aumentar.

No entanto, esperava-se, devido aos dados e informações encontrados na literatura, que o tratamento da vermiculita com a solução de emulsificante e solução de emulsificante em meio ácido viessem a aumentar a interação do nanomaterial com o asfalto, mas, o observado foi uma diminuição na viscosidade das emulsões com vermiculita modificada. Acredita-se que, ao tratar a vermiculita com solução de emulsificante e solução de emulsificante em meio ácido, não só houve a expansão do nanomaterial, mas também a deterioração do mesmo, impedindo a formação de uma rede homogênea, diminuindo a interação nanomaterial-asfalto e, conseqüentemente, a viscosidade das emulsões. Para comprovar tal hipótese, seriam necessários ensaios de MEV (Microscopia Eletrônica por Varredura), para averiguar a mudança na estrutura da vermiculita após a sua modificação.

### ***5-6- Sedimentação***

Para as emulsões modificadas com vermiculita, não foi possível determinar a sedimentação, pois os resíduos calculados correspondentes ao fundo da proveta foram inferiores aos resíduos calculados no topo da proveta. Acredita-se que o tempo de emulsificação não tenha sido o bastante para homogeneizar a mistura 100%, fazendo com que a sedimentação tenha sido fora do padrão. Ao realizar ensaios com tempo de emulsificação maior, o teste ficou entre os padrões estabelecidos pela norma. Apesar de ter ocorrido tal comportamento, não houve efetivamente separação entre as fases óleo e aquosa, e sim apenas a concentração de tais resíduos no topo da proveta.

Neste trabalho, a vermiculita foi adicionada durante o processo de moagem da emulsão. Tal decisão foi baseada na natureza do nanomaterial. Os resultados experimentais mostraram que a vermiculita, por ser um nanomaterial termorrígido, quando submetido ao aquecimento não reage com o asfalto para produzir uma matriz homogênea.

### ***5-7-Penetração***

De acordo com Oda (2000), o comportamento esperado é que a adição de nanomateriais torne o ligante mais consistente, resultando em valores mais baixos de penetração, proporcionalmente ao teor de nanomaterial inserido. De acordo com a especificação técnica (DNER-EM 369/97) as emulsões asfálticas catiônicas de ruptura rápida, média e lenta devem apresentar penetração no intervalo de 50 - 250 (1/10 mm). De acordo com os resultados apresentados na Tabela 02, todos os valores obtidos encontram-se dentro da faixa especificada.

O asfalto modificado, quando utilizado em pavimentação, deve fornecer ao pavimento maior rigidez e/ou elasticidade. A diminuição da penetração é uma indicação do aumento da rigidez. Conforme observado em alguns casos, o aumento da penetração pode ser atribuído principalmente a traços de solvente não eliminado durante a obtenção do resíduo por evaporação, deixando o asfalto com uma menor consistência. Deve-se ressaltar que a metodologia utilizada para a obtenção dos resíduos asfálticos obedeceu rigorosamente à norma ABNT NBR 14376 (2007), ensaio este utilizado em campo para determinação do resíduo asfáltico.



---

CAPÍTULO 6  
CONCLUSÃO

---

## 6- Conclusões

Nesta seção, são apresentadas as conclusões relacionadas ao desenvolvimento da pesquisa.

- O nanomaterial utilizado para obtenção das emulsões asfálticas modificadas, a vermiculita, pode ser adicionado/incorporado à emulsão. De acordo com as propriedades físicas das emulsões asfálticas modificadas, conclui-se que esta argila pode ocasionar melhorias nas propriedades da emulsão e, por consequência, do asfalto.
- Todas as emulsões convencionais desenvolvidas apresentaram resultados no ensaio de peneiramento e sedimentação de acordo com os requisitos presentes na especificação (DNER-EM 369/97), comprovando a obtenção de emulsões estáveis.
- Os resultados de viscosidade mostraram-se contra ao presente na literatura. Acredita-se, então, que o nanomaterial, ao ser tratado, tenha se deteriorado, ocasionando uma menor interação com o asfalto e conseqüente menor viscosidade.

---

CAPÍTULO 7  
REFERÊNCIAS  
BIBLIOGRÁFICAS

---

## 7- BIBLIOGRAFIA

ABEDA (Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos). Manual básico de emulsões asfálticas: Soluções para pavimentar sua cidade. Rio de Janeiro. 2001.

ABNT NBR 14376 (2007) – Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. Emulsões asfálticas – Determinação do resíduo asfáltico por evaporação – método expedito.

ABNT NBR 14393 (2006) – Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. Emulsões asfálticas – Determinação da peneiração.

ABNT NBR 14491 (2000) – Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. Emulsões asfálticas – Determinação da viscosidade Saybolt Furol.

ABNT NBR 6297 (2003) - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. Emulsão asfálticas de ruptura lenta - Determinação da ruptura - Método da mistura com cimento.

ABNT NBR 6299 (2005) – Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. Emulsões asfálticas – Determinação do pH.

ABNT NBR 6300 (2001)– Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. Emulsões asfálticas – Determinação da resistência à água (adesividade).

ABNT NBR 6569 (2000) – Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. Emulsões asfálticas catiônicas – Determinação da desemulsibilidade.

ABNT NBR 6570 (2000) – Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. Emulsões asfálticas – Determinação da sedimentação.

ABNT NBR 6576 (2007) – Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. Materiais asfálticos – Determinação da penetração.

AEMA (Asphalt Emulsion Manufacturers Association). A basic asphalt emulsion manual. Manual series N° 19, third edition. Annapolis, Maryland. 2007.

BAUER, L.A.F. Materiais de Construção. 5ª Edição. Brasil: Livro Técnico e Científico Editora, Volume 2, 1999.

BAUMGARDNER, G.L. Asphalt Emulsion Manufacturing Today and Tomorrow. Paragon Technical services, Inc. Transportation Research Circular E-C 102: Asphalt Emulsion Technology.2006.

Betunel. Emulsões Asfálticas Modificadas por Polímero. Disponível em: <[http://www.betunel.com.br/emulsoes\\_modificadas.html](http://www.betunel.com.br/emulsoes_modificadas.html)> Acesso em: 17 de julho de 2011.

DNER (Departamento Nacional de Estradas e Rodagem). EM 369/97 - Norma Rodoviária: Especificação de Material - Emulsões asfálticas catiônicas, 1997.

GRAJALES, L. E. S. Nanotecnologia Aplicada a Pavimentos Flexíveis – Entrevista concedida a Tatiana Fontenelle. *Asfalto em Revista*, 15, p. 6-8, 2011.

GRECA ASFALTOS. Fatos & Asfaltos - Informativo trimestral Greca Asfaltos. 2006. Ano 2 - Número 8. Disponível em: [http://www.grecaasfaltos.com.br/fatos/fatos\\_08.pdf](http://www.grecaasfaltos.com.br/fatos/fatos_08.pdf). Acesso em: 03 de agosto de 2009.

HARLAN, C.W. Polymer-modified asphalt emulsion. U.S. patent application Ser. N°. 09/654,382. 2002.

HERMADI, M.; STERLING, A.B. A new mix composition to increase the storage life of Indonesian bitumen emulsion. Proceedings of the 9th Road Engineering Association of Asia and Australasia Conference (REAAA), Wellington, New Zealand, 3-8 May 1998.

HUNTER, R.N. Asphalts in road Construction. London: Thomas Telford Ed., 2000.

IBP (INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO). Informações básicas sobre materiais asfálticos. Rio de Janeiro: IBP – Comissão de asfalto, 1999.

INSTITUTO DE ASFALTO. Manual de Asfalto. Série do Manual No. 4 (MS-4), Edição 1989, Ed. Revisada em 2002.

JAMES, A.; Overview of Asphalt Emulsion. Akzo Nobel Surface Chemistry, LLC. Transportation Research Circular E-C 102: Asphalt Emulsion Technology.2006.

NALWA, H. S. Handbook of Nanostructured Materials and Nanotechnology. Volume 3: Electrical Properties. USA: Academic Press, 2000.

ODA, S. *Análise da viabilidade técnica da utilização do ligante asfalto-borracha em obras de pavimentação*. 2000. 250f. Tese (Doutorado em transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PETRUCCI, E.G.R. *Materiais de construção*. São Paulo: Editora Globo, 1998. 12ª Edição.

SANTANA, H. Manual de pré-misturados a frio. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo/Comissão de Asfalto, 1993. 2ª Reimpressão.

SHAFII, M.A.; RAHMAN, M.Y.A.; AHMAD, J. Polymer modified asphalt emulsion. *International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS* V. 11, N. 06, p. 43-49, 2011. Disponível em:< [http://www.ijens.org/Vol\\_11\\_I\\_06/111806-3434-IJCEE-IJENS.pdf](http://www.ijens.org/Vol_11_I_06/111806-3434-IJCEE-IJENS.pdf)>. Acesso em: 15 de maio de 2012.

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

SONG, H.; DO, J.; SOH, Y. Feasibility study of asphalt-modified mortars using asphalt emulsion. *Constructing and Building Materials*, v. 20(5), p. 332-337, 2006.

TALAVERA, R. R.; MENESES, V. M. C.; MADRID, M.M.; Emulsiones Asfálticas. Documento Técnico N° 23, Sanfandila, Qro, 2001. Secretaria de comunicaciones y transportes – Instituto Mexicano Del Transporte.

WOOD, T.J.; JANISCH, D.W.; GAILLARD, F.S. Minnesota Seal Coat Handbook. 2006. Disponível em:<  
[http://www.wsdot.wa.gov/TA/T2Center/Mgt.Systems/PavementTechnology/Minnesota\\_Seal\\_Coats\\_2006.pdf](http://www.wsdot.wa.gov/TA/T2Center/Mgt.Systems/PavementTechnology/Minnesota_Seal_Coats_2006.pdf)> Acesso em: 15 de Janeiro de 2008.

YOU, Z.; MILLS-BEALE, J.; FOLEY, J. M.; ROY, S.; ODEGARD, G.M.; DAI, Q.; GOH, S.W. Nanoclay-modified asphalt materials: preparation and characterization. *Construction and Building Materials*, 25, p. 1072-1078, 2011.