

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA  
PRO-REITORIA PARA ASSUNTOS DO INTERIOR  
CENTRO DE CIECIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

## ESTAGIO SUPERVISIONADO

### RELATORIO

ALUNO : FABIO XAVIER GUEDES MAT.: 861.1202-2

ORIENTADOR: AILTON ALVES DINIZ

TITULO : VERIFICAÇÃO DA POSSIBILIDADE DO  
APROVEITAMENTO DE AGREGADOS FINOS,  
LOCAIS, NA PAVIMENTAÇÃO URBANA,  
UTILIZANDO ADITIVOS BETUMINOSOS.

CAMPINA GRANDE - PB



Biblioteca Setorial do CDSA. Maio de 2021.

Sumé - PB

## INDICE

	Pág.
CAPITULO I - INTRODUÇÃO	01
OBJETIVO	02
CAPITULO II - MATERIAIS E METODOLOGIA	03
- ENSAIOS A SEREM REALIZADOS E METODOS UTILIZADOS	
1.0 - PARA CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS	04
1.1 - ENSAIO DE COMPACTAÇÃO	05
1.2 - LIMITES DE CONSISTENCIA	06
1.3 - GRANULOMETRIA	07
1.4 - MASSA ESPECIFICA REAL	09
2.0 - PARA CARACTERIZAÇÃO DAS EMULSOES	10
2.1 - VISCOSIDADE SAYBOLT - FUROL	10
2.2 - PENEIRAÇÃO	10
2.3 - SEDIMENTAÇÃO AOS 5 DIAS	10
2.4 - QUANTIDADE DE AGUA	11
2.5 - VISCOSIDADE ENGLER	11
2.6 - DENSIDADE REAL	11
CAPITULO III - REVISÃO BIBLIOGRAFICA	12
CAPITULO IV - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	21
CAPITULO V - CONCLUSÃO	23
CAPÍTULO VI - BIBLIOGRAFIA	24

## C A P Í T U L O I

---

### INTRODUÇÃO

A partir de 1976, foi iniciada no Brasil, um planejamento para construção de rodovias a baixo custo, e a constituição de um solo estabilizado com emulsão asfáltica, foi um dos tipos de pavimento estudado neste planejamento. Com a disposição dos materiais locais, a pesquisa aqui citada estudará essa mistura para estabilização de base para pavimentação urbana.

As emulsões betuminosas são usadas amplamente na conservação e construção de pavimentos, desde de um volume grande de tráfego, por exemplo aeroportos, como um pequeno volume de tráfego, por exemplo estradas rurais.

A pesar de já existirem muitas rodovias construídas com este tipo de pavimento, pode ser sentida uma deficiência muito grande, principalmente no que diz respeito à metodologia empregada para estes trabalhos. Portanto, é importante um estudo de pesquisa mais intensificado sobre a mistura para estabilização do sistema solo-emulsão asfáltica a fim de se estabelecer uma metodologia mais racional tanto para o dimensionamento, como para os estudos de laboratório, procurando-se aproximá-los das condições reais a que as misturas estarão sujeitas durante sua vida útil.

Como esta pesquisa investigaremos as propriedades de um solo estabilizado com emulsão asfáltica, é fundamental o conhecimento das propriedades deste solo no seu estado natural, bem como o conhecimento das características da emulsão empregada.

São quatro os solos que serão estabilizados com a emulsão asfáltica, e devido a ser materiais encontrado em abundância e nas proximidades, implicará num baixo custo, com as mesmas condições de execução de um outro sistema de mistura qualquer.

## OBJETIVO

Com a disponibilidade desses materiais locais, posteriormente citados, e como são muitos os exemplos de aplicação solo-emulsão na construção de pavimentos, e mais, ainda não existindo uma metodologia aceita totalmente para o dimensionamento destes sistemas solo-emulsão, e nem uma metodologia apropriada para seu dimensionamento estrutural. Partindo destes pontos, principalmente da disponibilidade dos materiais disponíveis encontrado nas proximidades, esta pesquisa tem como finalidade verificar a possibilidade do aproveitamento desses materiais (agregados finos) locais, na pavimentação urbana, utilizando-se ativos betuminosos.

## C A P Í T U L O   I I

---

### MATERIAIS:

Para realização desta pesquisa, foram escolhidos quatro solos de diferentes características, os quais ocorrem nas proximidades (Campina Grande Pb). Os materiais que serão usados são: **Pó de pedra**, fornecido pela Pedraq, pedreira situada em Campina Grande; **Resíduo de caulim**, fornecido pela Cauliza, fabrica situada no distrito industrial em Campina Grande; **Top soil**, solo retirado das proximidades da UFPB, no loteamento Bento Figueiredo; **Laterita de João Pessoa** e a **Emulsão tipo RM-1C**, fornecido pelo DNER de Campina Grande.

### METODOLOGIA:

Os métodos de ensaios a serem utilizados, na presente pesquisa, para os ensaios de caracterização, serão em grande parte os métodos de ensaios propostos pelo Departamento Nacional de Estradas e Rodagem - DNER, que estabelece condições de aceitação dos diversos materiais e serviços para obras rodoviárias brasileiras.

Também serão utilizados métodos de ensaios que, embora não sejam adotados pelo DNER, mas têm aceitação para materiais não convencionais.

## Ensaíos a Serem Realizados e Métodos utilizados

### I - Para caracterização dos solos:

1. Massa específica real;	-	DNER
2. Análise granulométrica;	-	DNER
2.1. Peneiramento	-	ME 80-64
2.2. Sedimentação	-	ME 51-64
3. Limites de atterberg;	-	DNER
3.1. Limite de liquidez	-	ME 44-71
3.2. Limite de plasticidade	-	ME 82-63
4. Ensaio de compactação;	-	DNER 47-68
4.1. Proctor normal		
4.2. Proctor intermediário		
5. Equivalente de areia.	-	DNER

### II - Para caracterização da emulsão:

1 - Carga da partícula;	-	P-MB 563
2 - Resíduo de destilação	-	MB 586
3 - Viscosidade Saybolt-Furol	-	P-MB 581
4 - Mistura com cimento	-	MB 496
5 - Sedimentação	-	P-MB 722
6 - Destilação	-	DNER ME 12-64
7 - Peneiração	-	MB 609
8 - PH	-	P-MB 568
9 - Adesividade	-	MB - 721

## I - SOLOS

### 1 - Ensaio de compactação:

Os ensaios de compactação foram realizados, sobre amostras secas ao ar livre, com partículas menores que 4.0 mm, obedecendo às recomendações da norma do DNER 47 - 68.

Este estudo mostra o comportamento de um solo, submetido ao ensaio de compactação em duas energias diferentes sendo uma submetida ao Proctor Normal e a outra ao Proctor Intermediário, nos fornecendo a densidade máxima e o teor ótimo de umidade correspondente as respectivas energias de compactação.

Compactar um solo, é diminuir o volume de seus vazios, obtendo assim uma maior resistência e compressibilidade e menor permeabilidade e absorção de água, tornando-o mais estável. Esta compactação pode ser feita manual ou mecanicamente.

A energia de compactação é calculada pela seguinte fórmula:

$$E = \frac{PhNn}{V}$$

Energia de Compactação

#### Onde:

- E - Ene. Específica de compactação p/ unidade de volume;
- P - Peso do soquete;
- h - Altura de queda do soquete;
- N - Número de golpes por camadas;
- n - Número de camadas;
- V - Volume do solo compactado.

Evidentemente, se o esforço de compactação for outro, obter-se-ão valores diferentes para  $H_{ot}$  e  $Y_{s,m\%}$ .

Para cada solo, sob ação de uma dada energia de compactação, existem, então uma umidade ótima e uma densidade máxima, e o aumento da densidade de um solo, produzido pela compactação, depende da energia dispendida e do teor de umidade. Portanto a compactação de um solo, para qualquer que seja a finalidade deverá ser executada nas condições de umidade ótima.

## 2 - LIMITES DE CONSISTENCIA

A determinação do limite de liquidez é feita pelo aparelho Casagrande, e com os valores obtidos traça-se a linha de escoamento do material, no intervalo entre 6 a 35 golpes, sendo o LL o teor de umidade correspondente a 25 golpes. E obedeceu a norma do DNER ME 44 - 71. Os ensaios para determinação dos limites de plasticidade dos solos estudados, foram baseados nas recomendações do DNER ME 82 - 63.

Este estudo mostra o comportamento de um solo, submetido a ensaios de limites de liquidez e plasticidade, fornecendo-nos como resultado o grau de plasticidade do respectivo solo.

Sendo a umidade de um solo muito elevada, ele se apresenta como fluido denso e no estado líquido. Ele vai endurecendo, à medida que a água vai se evaporando até um certo LL (limite de liquidez) e perdendo fluidez, mas mesmo assim pode ser moldado facilmente. O solo ao passar do LL, se encontra no estado plástico, continuando a evaporação da água, agora até um LP (limite de plasticidade) o solo sai do estado plástico e vai para o estado semi-sólido, que se desmancha ao ser trabalhado. Continuando com essa perda de umidade até a secagem, o solo atinge o estado sólido que tem como limite de fronteira o LC (limite de contração).

O LL pode também ser determinado, conhecido um s'ó ponto pela fórmula:

$$L.L. = \frac{h}{1,419 - 0,3 \log n}$$

Limite de Liquidez

onde:

h - umidade, em percentagens;  
n - número de golpes.

A determinação do limite de plasticidade é feita pelo cálculo da porcentagem de umidade para o qual o solo começa a se fraturar quando se tenta moldar.

De posse desses dois parâmetros calculamos o **índice de plasticidade**, que denomina-se pela diferença dos limites de liquidez e plasticidade.

**IP-L.L.-L.P.**

Índice de Plasticidade

Concluimos desta forma que o limite de liquidez é o teor de umidade que o solo se encontra entre o estado líquido e plástico, assim como o limite de plasticidade é o teor de umidade cujo o solo deixa o estado plástico para o semi-plástico, havendo qualquer evaporação de água.

O índice de plasticidade sendo máximo para as argilas e nulos para as areias, ainda fornece para as argilas seu grau de plasticidade, pois quanto maior o IP mais plástico será a argila.

**3 - GRANULOMETRIA**

O ensaio de granulometria foi realizado de acordo com o método proposto pelo DNER ME 80 - 64, para o peneiramento e DNER ME 51 - 64 para o por sedimentação. O ensaio de granulometria por peneiramento foi realizado com o solo passando na peneira da ABNT de malha Nº2, e lavado e o retante foi seco simplesmente ao ar livre.

Este estudo mostra onde o solo se enquadra em relação a sua textura, ou seja, dimensões e proporções relativas em que se encontram as partículas de um determinado solo.

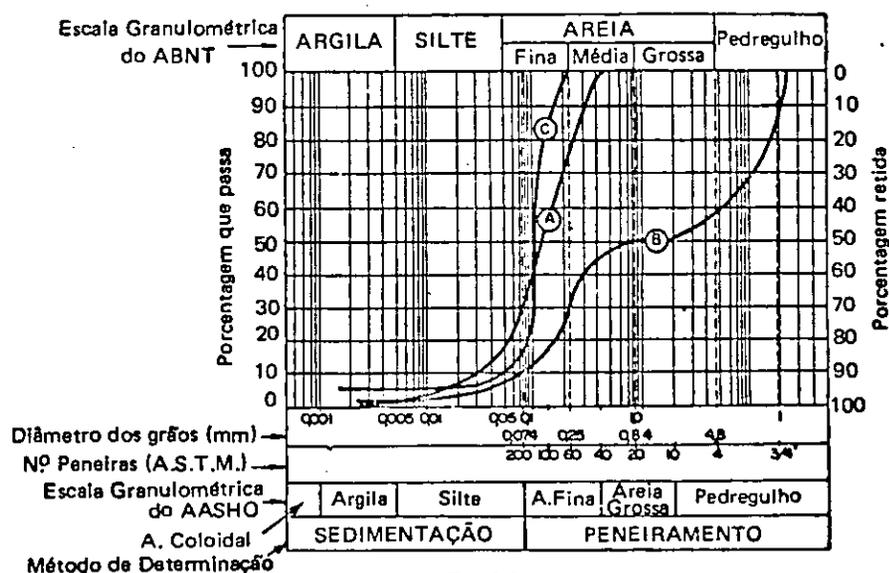
As frações constituintes dos solos estão determinadas dentro de limites convencionais, onde variam dependendo da norma de classificação, que podem ser: ABNT, DNER, AASHO, CONTINENTAL INTERNATIONAL SOIL SCIENCE, e outros.

Pela classificação de acordo com a escala granulométrica brasileira (ABNT), são: **pedregulho** - conjunto de partículas de diâmetros compreendidos entre 7.6 e 4.8 mm; **areia** - entre 4.8 e 0.05 mm; **silte** - entre 0.05 e 0.005mm; **argila** - inferiores a 0.005mm.

Para realização desse ensaio tem-se o ensaio de granulometria por peneiramento para os solos grossos e por sedimentação em meio líquido para os solos que tiverem diâmetros menores de 0.0074 mm (chamados solos finos).

A análise granulométrica, ou seja, a determinação das dimensões das partículas do solo e das proporções relativas em que elas se encontram, é representada, graficamente, pela curva granulométrica. Esta curva é traçada por pontos em um diagrama semi-logarítmico, no qual, sobre o eixo das abscissas, são marcados os logaritmos das dimensões das partículas e sobre o eixo das ordenadas as porcentagens, em peso, do material que tem dimensões média menor que a considerada.

Segundo a forma da curva podemos distinguir os diferentes tipos de granulometria. Assim, teremos uma granulometria contínua ou descontínua, uniforme, bem ou mal graduada, conforme apresente, ou não, um predomínio das frações grossa e suficiente porcentagem das finas. A figura seguinte nos mostra, esquematicamente, essas diferentes granulometrias e sua respectiva curva granulométrica.



A granulometria é um estudo com finalidade de conhecer o tamanho das partículas ou grãos do solo e sua distribuição, por porcentagem de tamanho dos grãos na massa de solo, para logo após enquadrá-lo dentro de uma faixa granulométrica especificada. Isso independe da umidade do solo, composição mineralógica, densidade e forma dos grãos.

Da peneira 10 para cima constitui o que se chama de material grosso; entre as peneiras 10 e 200 é o material fino; de 200 para baixo é o material semi-fino (silte, argila, areia fina). Para a análise, emprega-se a lei da sedimentação de Stokes, usando-se o hidrômetro.

#### 4 - MASSA ESPECÍFICA REAL

O ensaio de massa específica real foi realizado sobre as partículas menores que 2.0 mm, após secagem em estufa. Os procedimentos foram de acordo com as determinações do DNER ME 93 - 64. Foram realizados duas determinações para cada solo, e o valor da massa específica real foi determinado como sendo a média entre as duas determinações. A determinação da massa específica real foi feita pelo método do picnômetro.

Os cálculos foram feitos pela fórmula:

$$\delta = \frac{M1 * \frac{100}{(100+h)}}{M1 * \frac{100}{(100+h)} + M3 - M2}$$

Massa Específica

onde:

- M1 - Peso do picnômetro vazio e seco, em g;
- M2 - Peso do picnômetro mais amostra, em g;
- M3 - Peso do picnômetro mais amostra, mais água, em g;
- h - Umidade média;
- T - Temperatura ---- > Fator de correção.

## II - EMULSAO

### 1 - Viscosidade Saybolt - Furol

Este ensaio é realizado de acordo com o método normalizado pela ABNT - P - MB - 581 ABNT (1971).

O principal objetivo deste ensaio é determinar o tempo em segundos, para 60 ml de emulsão fluírem, de modo contínuo, através de um orifício de dimensões padronizadas (Orifício Furol) sob condições especificadas.

O método de ensaio descreve o procedimento para a determinação da viscosidade Saybolt-Furol de emulsões asfálticas, quando o valor desta viscosidade é superior a 20 seg.

### 2 - PENEIRAÇÃO

O DNER fixa o modo de proceder-se à determinação da peneiração de emulsão asfáltica no seu método ME 05 - 73 DNER (1973 - A). Para isso são colocadas 1000g de emulsão asfáltica sobre uma peneira com 0.8 mm de abertura de malha (nº 20 ABNT) previamente preparada. A peneiração é a percentagem em peso, da emulsão retida nesta peneira, após um período de duas horas na estufa a uma temperatura de 105°C.

### 3 - SEDIMENTAÇÃO AOS 5 DIAS

Este ensaio é normalizado pelo DNER ME 06-73, DNER (1973-B) e tem como objetivo fixar o procedimento para a determinação da sedimentação de emulsões asfálticas.

Uma amostra da emulsão asfáltica é colocada em uma proveta e, após 5 dias, são determinadas as percentagens dos resíduos das amostras retiradas do topo e do fundo da proveta. A sedimentação é a diferença entre as percentagens anteriores mencionadas.

#### 4 - QUANTIDADE DE AGUA

A finalidade deste ensaio é determinar a quantidade da água contida na emulsão asfáltica. Para a sua execução a ASTM em seu método D.244-72. ASTM (1972) especifica que: coloca-se 50g de emulsão (quando a emulsão tem mais de 25% d'água) mais igual volume de solvente (xilou) em um tubo de destilação provido de um sifão e refrigeração. O tubo de destilação é aquecido, e quando o volume d'água contido no sifão é constante, o ensaio está concluído e a quantidade de água da emulsão é o volume contido no sifão pela massa original da amostra multiplicado por 100.

#### 5 - VISCOSIDADE ENGLER

A viscosidade da emulsão asfáltica é medida através do viscosímetro Engler. O método indicado é o normalizado pela BS-434: 1960, BS (1967) e consiste na medida do tempo necessário para fluir 200ml de emulsão, através de um orifício padronizado em um banho d'água a uma temperatura de 50°C. Este tempo, em segundos, é dividido pelo tempo necessário para fluir a mesma quantidade de água destilada, pelo mesmo orifício na mesma temperatura. O resultado da divisão é a viscosidade da emulsão em graus Engler.

#### 6 - DENSIDADE REAL

Este ensaio é normalizado pelo DNER em seu método ME 16-64, DNER (1964-A). Este método fixa o modo pelo qual se determina a densidade real do material betuminoso fluido, usando picnômetro.

## C A P Í T U L O    I I I

---

### REVISÃO BIBLIOGRAFICA

#### INTRODUÇÃO

Este capítulo nos informa os principais trabalhos que envolve estabilização de solos tratados com ativos betuminosos, com um enfoque específico no que diz respeito a emulsão asfáltica catiônica de cura média. Neste capítulo abordaremos assuntos específicos sobre "Emulsão Asfáltica" com sua estabilização com solos e seu mecanismo de estabilização, estabilidade de solos sendo uma estabilização física, química e físico-química, o comportamento da estabilidade betuminosa, ensaios de Resistência à compressão simples (RCS).

#### ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS

Uma estabilização de solos pode ser entendida como a mudança de uma ou mais de suas propriedades, para adquirir outras propriedades que sejam desejáveis para um respectivo fim deste solo em estudo. Fazendo com que suas estabilidades permaneçam sob a ação de cargas externas e também sob a ação dos agentes climáticos, Baptista (1976).

Para estabilizar um solo, temos que conhecer as características desse solo no estado natural, e como obter de maneira mais prática e econômica uma maior resistência estável às cargas ao desgaste ou à erosão, por meio de compactação, correção de granulometria e da sua plasticidade ou de adição de substâncias que lhe confirmam uma coesão proveniente da cimentação ou aglutinação dos seus grãos.

Desde o princípio, tem-se reconhecido que a estabilização não é uma ferramenta infalível em todos os casos: terá sempre que se ter em mente o conjunto das propriedades que se deseja melhorar e o valor do investimento da obra. Só analisando cuidadosamente estes fatores, poder-se-á chegar ao emprego correto da estabilização dos solos.

Acontece com uma certa frequência, que numa determinada situação o responsável da obra encontra solos cuja utilização não seja adequada para determinados fins, em lugares especiais: Diante desta situação o responsável tem três possibilidades de decisão.

No final do ano de 1930, devido a iminência da segunda guerra mundial, um grande interesse foi mostrado pela estabilização solo-betume, como um método rápido para construção de aeroportos e estradas pavimentadas Mclean (1953).

Também durante os anos de guerra foram desenvolvidos muitos métodos de estabilização; surgiram contradições entre os resultados encontrados basicamente, devido a um entendimento inadequado das variáveis envolvidas, Herrin (1960) e Turnbull (1952).

Devido à multiplicidade dos métodos de estabilização e evolução das técnicas de laboratório, e também à não aceitação do processo de construção, a estabilização de solos com materiais betuminosos se desenvolveu muito pouco no período que data da segunda guerra mundial até o fim do ano 1950, Herrin (1960) e Turnbull (1952).

Motivada pelo pequeno emprego da estabilização betuminosa, a indústria petrolífera concentrou-se na produção de materiais betuminosos com propriedades basicamente voltadas para serem usadas nas misturas com agregados. Muitas pesquisas têm indicado que isto resultou em materiais betuminosos os quais não são necessariamente apropriados para serem usados com solos. Isto, em parte, tem retardado o desenvolvimento da verdadeira estabilização betuminosa, Bevis (1973).

É frequente que o engenheiro encontre solos cuja utilização não seja adequada para determinados fins, em lugares especiais. Surgindo, assim, três possibilidades de decisão:

- a. Aceitar o material tal como se encontra, desde que satisfaça às exigências mínimas de utilização;
- b. Eliminar o material que não satisfaz às exigências do projeto, substituindo-o por outro de características adequadas;
- c. Modificar as propriedades do material existente, para torná-lo capaz de satisfazer às exigências de utilização.

A última alternativa dá lugar a técnicas de estabilização de solos. A rigor, são muitos os processos que podem ser seguidos para obter uma melhoria nas propriedades dos solos, com o intuito de torná-los apropriados para algum uso específico, é o que constitui a estabilização.

### **ESTABILIZAÇÃO FÍSICA**

Este tipo de estabilização consiste em uma aplicação de energia externa, e como exemplo direto é o processo de compactação. A estabilização física inclui, por exemplo, a correção granulométrica de um solo ou agragado de modo que a granulometria resultante esteja enquadrada nas especificações vigentes.

### **ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA**

Este tipo de estabilização consiste em uma produção de produtos cimentantes e aditivos aglutinantes através de reações químicas entre o mineral do solo e o material estabilizante, resultando desta forma um material com as propriedades semelhantes a que se pretende para determinado fim.

### **ESTABILIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA**

É um processo no qual um aditivo origina mudanças tanto físicas quanto químicas na estrutura do solo. O cimento, quando usado como aditivo, produz um sistema rígido, enquanto que, se o aditivo for um produto asfáltico, o mesmo irá causar o aparecimento de um sistema de natureza flexível. O asfalto atua basicamente como agente coesivo, quando em contato de solos granulares, enquanto que, quando atuando em solos coesivos, sua ação é basicamente impermeabilizante, embora possa ocorrer alguma reação química.

### **ESTABILIZAÇÃO BETUMINOSA**

A estabilização betuminosa dos revestimentos primários é um velho sonho dos engenheiros de construção de estradas de terra. Por outro lado, esta estabilização seria um elo entre as antigas estradas de terra e as estradas pavimentadas, ou seja, o primeiro passo para o equacionamento dos pavimentos betuminosos de baixo custo, Santana (1976-A).

Os materiais betuminosos usados na estabilização de solos desempenham duas funções principais: fornecer coesão aos solos arenosos e impermeabilizar os solos argilosos, apresentando a coesão natural devido aos filmes d'água fixados pela argila. Este tipo de estabilização é executado, geralmente, utilizando o solo molhado. A umidade total é devido a água contida na emulsão mais a água adicionada. Quando esta umidade se aproxima bastante da ótima, surgem massas específicas aparentes secas elevadas, Vogt (1976) e RRL (1962).

Estabilizando solos não plásticos, totalmente desprovidos de filer, a coesão é aparentemente boa, mas em presença de cargas estáticas, o solo deforma-se progressivamente. Neste caso o comportamento do asfalto é um lubrificante. Os solos estabilizados com materiais betuminosos, nas estações secas, apresentam excelentes resultados, enquanto que nas regiões de clima, sobretudo úmido, o êxito é mais difícil, Vogt (1976).

O comportamento de uma estrada depende, em grande parte, da camada de base, cuja natureza é função do material que a constitui, da intensidade e do tipo de tráfego previsto.

No Brasil, foi usado durante muito tempo a construção destas camadas de base em macadame hidráulico ou britado. Vogt (1976), desaconselha o uso deste tipo de base em países de clima tropical. Segundo ele, por menor que seja o defeito surgido na camada de rolamento hidrocarbonada, é iniciada uma rápida destruição da camada de base sob a ação conjunta do tráfego e das chuvas.

Estes últimos anos apresentaram duas evoluções:

- No Brasil, a tendência de usar exclusivamente agregados britados (brita graduada);
- Fora do Brasil, os engenheiros rodoviários, aos poucos, chegaram à conclusão de que deve ser proibido o uso dos agregados plásticos, mesmo bem graduados, logo usa-se exclusivamente agregados não plásticos. Volta-se, portanto, aos defeitos dos macadames, Vogt (1976).

A tendência é, pois, para os tráfegos pesados e de grande intensidade, substituir as camadas de base de material não tratados por camadas tratadas com ligante hidráulico ou asfáltico, Dumas (1976).

A estabilização com "Cutback", alcatrão e emulsão asfáltica é bastante satisfatória para solos de granulometria fina ou grossa. Dois grandes conceitos podem ser usados na estabilização: primeiro, incorporação de relativo aumento na estabilidade, melhorando a resistência do solo; segundo, uso relativamente pequeno no aumento de betume com o intuito de reduzir a absorção d'água pelos constituintes dos solos finos.

A principal intenção do uso do betume no solo é diminuir a velocidade de absorção da água. Isto é necessário para obtenção de um grau relativamente alto, na massa específica aparente seca, no momento da compactação, a fim de que toda a resistência inerente ao solo seja mantida. O intuito da estabilização é manter a resistência após a absorção d'água.

Outro conceito que pode ser usado é o critério de cimentação e de resistência. A vantagem deste conceito é que é obtida estabilidade máxima, embora, em várias ocasiões, ele seja anti-econômico, especialmente do ponto de vista da construção de estradas de baixo custo. Ele pode ser usado com vantagem, quando é desejado o reestabelecimento da condição que existiu na superfície das estradas de cascalhos e no reestabelecimento de pavimentos velhos. Infelizmente, este critério baseia-se somente na cimentação, exigindo bom material para executar este tipo de construção.

O primeiro fator a ser considerado na estabilização de solo de granulometria fina é se ele pode ser pulverizado e se o asfalto pode ser misturado integralmente com ele. É necessário umedecer inicialmente o solo, para auxiliar na dispersão do betume integralmente na massa de solo.

Como uma regra geral, solos altamente plásticos não são satisfatórios para este tipo de estabilização, porque dificilmente se eliminam todos os torrões de argila e não se conseguiria misturar integralmente o betume com o solo. O índice de plasticidade máxima que pode ser tolerado é de 18%, embora estes solos com alta plasticidade sejam frequentemente difíceis de estabilizar. Muitos engenheiros exigem que o solo tenha no máximo um índice de plasticidade de 12%.

O tipo de asfalto que pode ser usado na estabilização de solos finos depende da textura do solo.

O material de cura lenta não pode ser recomendado para estabilizar um material altamente plástico, porque existem dificuldades, na saída do interior da mistura dos materiais voláteis, afetando a compactação, produzindo, portanto, uma mistura de baixa resistência. Geralmente, o asfalto usado neste tipo de mistura é mais pesado, desde que se leve em conta as condições de trabalho e o clima. Ele pode ser recomendado para todos os casos. Quando se estabilizam solos coesivos, deve-se ter particular atenção para satisfazer todos os fatores que contribuem para integridade da estrutura do material estabilizado, Yoder and Witczak (1975), RRL (1962).

Condições para que o solo possa ser estabilizado com betume:

- O diâmetro das partículas deve ser menor que  $1/3$  da espessura da camada compactada;
- Mais de 50% do material deve passar na peneira nº 4;
- 35% do material deve passar na peneira nº 40;

- O material retido na peneira nº\_ 200 deve estar entre 10 e 50%;
- O limite de liquidez da fração fina deve ser menor que 40%;
- O índice de plasticidade da fração fina deve ser menor que 18%, Rodrigues (1977).

### DESENVOLVIMENTO HISTORICO

Pode-se dizer que a estabilização do tipo solo-betume teve seu início, quando engenheiros rodoviários começaram a tratar rodovias com óleo cru. Este processo teve início, quando engenheiros rodoviários, trabalhando nas proximidades de campos petrolíferos, notaram que, ao espalharem óleo cru sobre as estradas de terra que levavam a estes campos, reduzia o pó existente nas mesmas, tornando-as mais aptas para resistir aos rigores do tráfego e do tempo.

Hoje, entretanto, existem algumas controvérsias a respeito de como e quando o processo foi realmente iniciado. Alguns autores consideram que foi na Califórnia em 1904, enquanto outros, em Massachusetts, poucos anos mais cedo. Seguindo estes passos iniciais, foram desenvolvidos "cutbacks" de cura rápida e média. Porém, foi descoberto que, para certos tipos de solos, tornava-se bastante difícil a distribuição dos "cutbacks". Isto provocou, por sua vez, o aparecimento das emulsões asfálticas para a estabilização dos solos, sendo usadas inicialmente por McKesson em 1930 (2).

No final de 1930, devido a iminência da Segunda Guerra Mundial, um grande interesse foi mostrado pelo potencial das estabilizações solo-betume, como um método rápido para a construção de aeroportos e pavimentos rodoviários. Também durante os anos de guerra, foram desenvolvidos muitos métodos de estabilização e foram encontradas contradições entre os resultados obtidos, basicamente devido a um entendimento inadequado das variáveis envolvidas.

Estudos de estabilização betuminosa, utilizando cal como um aditivo preparatório, foram realizados durante e imediatamente após a guerra, inicialmente por Benson e Becker, (2) notando-se que estas pesquisas foram extremamente limitadas no seu desenvolvimento.

Devido à multiplicidade dos métodos de projetos e a evolução das técnicas laboratoriais, e também a dúvidas do processo de construção, as estabilizações de solos com betume desenvolveram muito pouco entre a Segunda Guerra Mundial e o fim de 1950.

Devido à estabilização betuminosa ter sido pouco empregada após a guerra, a indústria do petróleo concentrou-se na produção de materiais com propriedades basicamente dirigidas para misturas com agregados. Muitos trabalhos de pesquisas indicaram que isto resultou em materiais betuminosos que não são necessariamente aconselháveis para misturas com solos, e isto, em parte, tem retardado o desenvolvimento da verdadeira estabilização betuminosa (5).

### EMULSAO ASFALTICA

Uma emulsão pode ser definida, de um ponto de vista físico-químico, como sendo um sistema bifásico, constituído por dois líquidos, mais ou menos estabilizados em dispersão de um líquido no outro, não miscíveis, sob forma de glóbulos.

Os líquidos que formam uma emulsão, constituem duas partes: uma fase contínua e outra dispersa. A fase contínua é aquela quando há água como fase contínua e a fase dispersa é, aquela quando há óleo como fase dispersa, nas emulsões óleo na água ou emulsões diretas.

Quando numa mistura entre asfalto e água o asfalto é a fase dispersa e a água é a fase contínua denomina-se uma emulsão asfáltica.

Para evitar que os glóbulos de asfalto se unam, é necessário que a emulsão contenha um agente emulsificante, o qual se acha dissolvido na fase aquosa. Para isso, utiliza-se normalmente sabões fabricados pelo próprio refinador, a partir da base de sabões existentes no mercado. Além do agente emulsificante, a emulsão pode conter um agente estabilizante que tem como finalidade dificultar a união dos glóbulos de asfalto. A figura 3.3.1 representa o que se vê no microscópio, quando uma emulsão asfáltica está diluída em água.

Os dois tipos de emulsão asfáltica mais usados são: emulsão aniônica e emulsão catiônica. O tipo é determinado pelo gênero do emulsificante empregado. A parte orgânica do emulsificante adere às partes partículas de asfalto e transmite uma carga positiva (+) ou negativa (-) à superfície do complexo asfalto-emulsificante. Para a emulsão aniônica, a carga da superfície asfáltica é negativa, e para a emulsão catiônica a carga é positiva (8).

Os emulsificantes catiônicos e aniônicos são compostos orgânicos de massa molecular relativamente elevada; sua parte hidrocarbonada linear ou cíclica é solúvel no asfalto. Os emulsificantes aniônicos têm grupos ácidos e os catiônicos, grupos aminicos que se encontram saponificados; sua parte polar é solúvel na água.

A parte polar orgânica se dirige no sentido do asfalto e a parte polar inorgânica no sentido da água, Gustavo (1977).

As emulsões asfálticas mais estáveis empregam tipos especiais de agentes emulsificantes estabilizadores, tais como: subprodutos resinosos da indústria de madeira e proteínas animais. A camada protetora formada em volta de cada partícula de asfalto é tão eficaz que estas emulsões podem ser misturadas facilmente com solos muito finos ou ser diluídos com água em qualquer proporção, sem que se produza a ruptura da massa.

A ruptura das emulsões estáveis é relativamente lenta, porque depende da evaporação da água que contém nestas emulsões. Por esta razão, são chamadas emulsões de ruptura lenta (RL), Martin y Wallace (1962), Vallin (1976).

As emulsões asfálticas catiônicas foram desenvolvidas com base no princípio de que a superfície dos glóbulos de asfalto, carregada positivamente, seria fortemente atraída para a superfície do material pétreo de carga oposta. Neste caso, a emulsão catiônica deve desenvolver uma forte ligação com materiais pétreos, contendo alta percentagem de sílica. Por exemplo Quartzo, DNER (1977).

A capacidade protetora dos diversos agentes emulsificantes é muito variável. Os sabões formados entre álcalis da água emulsificante e os ácidos naturais do asfalto dão a este, na maioria dos casos, a proteção suficiente para evitar a ruptura espontânea da emulsão em repouso. O contato com pequenas quantidades de sais e cargas insaturadas na superfície dos agregados, provoca um desequilíbrio elétrico suficiente para romper o equilíbrio da emulsão. As partículas de asfalto se unem rapidamente na superfície dos agregados, e a água livre flui ou se evapora.

As emulsões asfálticas que apresentam estas características são chamadas emulsões de ruptura rápida, (RR).

As emulsões de ruptura média são usadas para misturas com agregados de graduação aberta e podem ser empregadas em trabalhos de penetração, nos quais o asfalto líquido penetra através de uma camada de agregado para capas selantes e para tratamentos superficiais. Estas emulsões são mais estáveis do que as emulsões de ruptura rápida; elas contêm mais agente emulsificante e dificilmente atingem a ruptura antes que os serviços tenham sido concluídos, quando são usadas com agregados de graduação aberta.

As emulsões de ruptura lenta são usadas sempre que é requerida uma mistura de alta estabilidade. Um uso muito comum das emulsões de ruptura lenta é em misturas in situ onde a emulsão é misturada com o material existente no leito da estrada, o qual

pode ser granular, contendo porém muitos finos. A grande quantidade de superfície específica, apresentadas pelos finos do solo, pode causar a rutura da emulsão, tanto de rutura rápida, quanto de rutura média, antes que o processo construtivo tenha sido concluído. Somente uma emulsão com a quantidade e o tipo de agente emulsificante, para produzir grande estabilidade, é adequada a este tipo de serviço (8).

## CAPÍTULO IV

### APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados que serão apresentados são referentes aos ensaios de Massa Específica Real, Análise Granulométrica, Compactação Proctor Normal e em Proctor Intermediário para o Pó de Pedra e o Resíduo de Caulim.

#### 1 - MASSAS ESPECIFICAS REAIS:

SOLO ENSAIADO	PO DE PEDRA	RESIDUO DE CAULIM
1	2.363	2.413
2	2.362	2.413
MEDIA	2.362	2.413

#### PO DE PEDRA:

AMOSTRA	1	2
M1	133,69	138,07
M2	648,30	651,10
M3	679,90	682,70

#### RESIDUO DE CAULIM:

AMOSTRA	1	2
M1	133,69	138,07
M2	648,30	651,10
M3	679,50	682,30

## 2 - ANALISE GRANULOMETRICA:

SOLO PROPRIEDADES	PO DE PEDRA	RESIDUO DE CAULIM
PEDREGULHO (>2 mm)	26.39	47.06
A.GROSSA (2 - 0.42mm)	40.04	41.20
A.FINA (0.42 - 0.074)	24.35	9.19
SILTE+ARGILA (<0.0074)	9.22	2.55
LIMITES DE CONSISTENCIA %		
LIMITE DE LIQUIDEZ	NP	NP
LIMITE DE PLAST.	NP	NP
INDICE DE PLAST.	NP	NP

## 3 - COMPACTAÇÃO PROCTOR NORMAL

SOLO	PO DE PEDRA	RESIDUO DE CAULIM
D. MAXIMA	1,960	1,690
U. OTIMA	9,0	14,0

## 4 - COMPACTAÇÃO EM PROCTOR INTERMEDIARIO

SOLO	PO DE PEDRA	RESIDUO DE CAULIM
D. MAXIMA	1,99	1,720
U. OTIMA	8,0	12,5

## C A P Í T U L O V

---

### CONCLUSÃO

O estágio efetuado foi de grande importância, pois ofereceu a oportunidade de adquirir uma certa experiência em solos e nos ensinou como funciona na prática todas as teorias que aprendemos durante o curso, apesar de já ter visto anteriormente quando cursava a disciplina Mecânica dos Solos, mas no estágio você se aprofunda mais e também tem mais tempo disponível para seguir mais de perto todos os experimentos.

O estágio atingiu as expectativas pois, conseguimos desenvolver vários ensaios.

Devemos destacar que o estágio foi realizado com base na Tese de Mestrado do Engenheiro Civil, Flávio Agra do O, com isso todos os resultados finais, bem como a conclusão final só serão apresentados quando do término da Tese.

Queremos deixar aqui, nossos agradecimentos ao nosso orientador, professor Ailton Alves Diniz por ter nos dado a oportunidade da realização do estágio e também ao amigo Flávio Agra, pela ajuda e orientação no desenvolvimento dos ensaios realizados.

*Flávio Xavier Guedes*

**C A P Í T U L O   V I**

---

**BIBLIOGRAFIA**

01. TERZAGHI, Karl; PECK, Ralph B. - Meccànica de Suelos en La Ingeniera Practica, Libreria. "EL ATENO", Editorial, 1955
02. BADIBLO, Eulálio Juarez; RODRIGUES, Alfonso Rico, - Mecànica de Suelos, Fundamentos, 2ª Edición, TOMO I, Editorial Limusa-Wiley S.A., México, 1972
03. VARGAS, Milton - Introdução a Mecânica dos solos - McGraw Hill, 1978.