



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCEG
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CCT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL - DEC
ÁREA DE GEOTECNIA

Relatório Final de Estágio

**UTILIZAÇÃO DE MATERIAL FRESADO COMO
ALTERNATIVA PARA CONSTRUÇÃO DE
CAMADAS DE BASE PARA PAVIMENTOS**

Orientador: Prof. Dr. José Afonso Macêdo

Aluno: Yale Jaden Medeiros Guimarães

Matrícula: 29511261



Biblioteca Setorial do CDSA. Junho de 2021.

Sumé - PB

**UTILIZAÇÃO DE MATERIAL
FRESADO COMO ALTERNATIVA
PARA CONTRUÇÃO DE CAMADAS
DE BASE PARA PAVIMENTOS**

AGRADECIMENTOS:

Ao meus pais, meus avós, por tudo que tenho e sou na vida.

A minha namorada Andrezza, meus amigos(as) (principalmente Cynthia, Gladstone e Alysson) e colegas, que me ajudaram durante a realização desta pesquisa.

Ao meu orientador Prof. Afonso pela oportunidade de participar de uma pesquisa tão gratificante, a ATECEL pela ajuda na forma de bolsa-auxílio, aos técnicos dos Laboratórios de Solos I e II (Eugeniano, Mano, Dé e Marcos), a Prof. Aílton pela colaboração com o compactador mecânico.

E a DEUS por tudo que ele me concedeu.

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO	1
1.0) INTRODUÇÃO	2
2.0) REVISÃO TEÓRICA	3
2.1) Definição de Fresagem	3
2.2) Classificação dos tipos de fresagem	5
2.2.1) Fresagem superficial	5
2.2.2) Fresagem rosa	5
2.2.3) Fresagem profunda	6
2.3) Aplicação da técnica de fresagem	6
2.3.1) Tipos de aplicação	7
2.3.1.1) Fresagem para correção de defeitos superficiais	7
2.3.1.2) Fresagem fina	8
2.3.1.3) Microfresagem	8
2.3.1.4) Fresagem de áreas descontínuas	9
2.3.1.5) Fresagem contínua de toda a pista	10
2.3.1.6) Fresagem em cunha	11
2.3.1.7) Fresagem para correção da inclinação do pavimento	11
2.3.1.8) Fresagem de arremate	11
2.3.1.9) Fresagem superficial para sonorização	11
2.3.2) Aplicação da técnica de fresagem na correção de defeitos	12
2.3.2.1) Trincamentos	13
2.3.2.2) Deterioração de remendos	14
2.3.2.3) Buracos (panelas):	15
2.3.2.4) Afundamento em trilha de roda	16
2.3.2.5) Depressão:	17
2.3.2.6) Deformação plástica dos revestimentos	18
2.3.2.7) Agregados polidos	19
2.4) Vantagens da utilização da técnica de fresagem	19
2.4.1) Manutenção do greide do pavimento	20
2.4.2) Manutenção do nivelamento nas emendas	20
2.4.3) Correção de deformações plásticas	21

2.4.4) Manutenção do nivelamento junto aos pertences de concessionárias	21
2.5) Estudo da granulometria de material resultante da fresagem de revestimentos asiáticos com vistas à reciclagem	22
3.0) MATERIAIS E MÉTODOS:	24
3.1) Materiais Utilizados	24
3.2) Degradação do material fresado	25
3.3) Tratamento:	25
3.4) Caracterização:	26
3.5) Compactação:	28
3.6) I.S.C (Índice de Suporte Califórnia)	29
4.0) APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	31
4.1) Degradação	31
4.2) Compactação e CBR:	37
4.3) Estabilização Granulométrica	38
5.0) CONCLUSÕES	45
6.0) BIBLIOGRAFIA	46
ANEXOS	

APRESENTAÇÃO

Este trabalho apresenta as atividades de pesquisa desenvolvidas no projeto, UTILIZAÇÃO DE MATERIAL FRESADO COMO ALTERNATIVA PARA CONSTRUÇÃO DE CAMADAS DE BASE PARA PAVIMENTOS. Inicialmente é apresentada uma revisão bibliográfica abordando aspectos técnicos e sócio-ambientais relacionados ao assunto pesquisado. Em seguida apresenta-se a metodologia para análise e os resultados obtidos, para finalmente concluir que o empreendimento em questão representa *uma excelente idéia*.

1.0) INTRODUÇÃO

A fresagem é uma técnica utilizada na reciclagem de materiais para restauração de pavimentos que reutiliza parcial ou totalmente os materiais que compõem as camadas da estrutura que, devido a ação do tráfego, do meio físico (intemperismo), ou por ter atingido o limite de sua vida útil (fadiga /deformação permanente) apresenta severos problemas caracterizados pela ruptura estrutural.

Este trabalho estuda propriedades de engenharia em materiais provenientes de fresagem em revestimentos asfálticos de três rodovias restauradas no estado da Paraíba, e seu reaproveitamento como matéria-prima para a construção de camadas de base para pavimentos.

2.0-) REVISÃO TEÓRICA

A partir da crise do petróleo, na década de 70, com a escassez de materiais asfálticos mais a crise econômica internacional, os técnicos rodoviários internacionais, em conjunto com os organismos de fomento, voltaram-se para a idéia de reprocessar os materiais de pavimentação de pistas deterioradas, por meio da reciclagem, de forma a restaurar as condições de trafegabilidade de vias em níveis satisfatórios, tanto do ponto de vista técnico quanto financeiro.

Inicialmente, o material era extraído das pistas por meio de escarificação do pavimento e levado para processamento em usinas. Esse procedimento era inadequado para tal aplicação, pois resultava no aparecimento de pedaços muito grandes, que necessitavam ser posteriormente quebrados, ou rebritados, para serem utilizados na mistura reciclada.

Era inerente ao processo de escarificação a retirada de toda a camada betuminosa, por se tratar de um "arrancamento" efetuado por dentes ou ponteiros de equipamentos, o que tornava impossível extrair apenas uma espessura pré-determinada em projeto.

O equipamento de fresagem foi concebido a partir da segunda metade da década de 70, simultaneamente, tanto na Europa quanto na América do Norte, como ferramenta adequada para possibilitar e garantir o desbaste do pavimento em profundidades pré-determinadas.

A fresagem é uma técnica relativamente nova na recuperação, manutenção e restauração de pavimentos. No Brasil, teve início no ano de 1980, com o emprego de uma fresadora americana Roto Mill PR-525 da C.M.I. nas obras de restauração da Via Anchieta (SP), para a DERSA (Desenvolvimento Rodoviário S.A.) (BONFIM, 2001).

2.1-) Definição de Fresagem

A origem do termo fresagem remonta à técnica de desbaste ou corte de metais, ou outras peças, por intermédio de uma engrenagem motora constituída de um cortador giratório de ângulos diversos, ou de várias fresas, em movimento giratório contínuo.

Essa técnica originou o termo "*milling machine*", aplicado aos equipamentos de fresagem de parte de uma estrutura em questão.

Já a fresagem direcionada à restauração de pavimentos originou dois tipos de equipamentos e processos específicos para tal: "*cold milling machine*", que efetua o desbaste da estrutura por meio simples abrasivo; e processo a quente, que utiliza o pré-aquecimento da estrutura para facilitar o "desbaste" da mesma. Desta forma, a fresagem do pavimento pode ser realizada de duas maneiras quanto à temperatura de ocorrência, ou seja, a frio ou a quente.

Na fresagem do pavimento a frio, o processo é realizado na temperatura ambiente, sem o pré-aquecimento do pavimento. O único tipo de aquecimento, apesar de desprezível no processo, refere-se à energia liberada pelo impacto dos dentes de corte no pavimento durante a fresagem. Nesse tipo de fresagem, ocorre a quebra de parte dos agregados na profundidade de corte e, conseqüentemente, na alteração da curva granulométrica do material existente na pista. As figuras 1 e 2 ilustram uma superfície fresada, onde se pode observar a ocorrência da quebra de agregados situados na "linha" de corte (BONFIM, 2001)



Figura 1: Superfície de uma placa fresada



Figura 2: Corte transversal de uma placa fresada

Já na fresagem a quente, utilizada como parte do processo de reciclagem "*in situ*" a quente, é efetuado o pré-aquecimento do revestimento e, nesse caso, a fresagem é similar. Trata-se, porém, de uma escarificação como forma de desbaste da camada, pois a mesma oferece pouca resistência ao corte pelo fato da estrutura estar aquecida. Nesse tipo de fresagem, não ocorre uma alteração significativa da granulometria do material, tendo em conta gerar apenas desagregação do mesmo, possibilitando, assim, promover a mistura com o material novo proveniente de usina de asfalto (BONFIM, 2001).

O Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), em seu Glossário de Termos Técnicos Rodoviários, define a fresagem de pavimentos como sendo o "desbastamento" a quente ou a frio de superfície asfáltica, como parte de um processo de reciclagem de pavimento asfáltico".

A técnica pode também ser aplicada em pavimentos de cimento Portland, no desbaste de espessuras delgadas, para a regularização em pistas de concreto ou em galpões industriais para posterior aplicação de novo revestimento.

2.2-) Classificação dos tipos de fresagem

Vários autores divergem quanto à classificação dos tipos de fresagem e suas aplicações; mas, de maneira resumida, em função das espessuras de corte, a fresagem do pavimento pode ser dividida em três classes: fresagem superficial, rasa e profunda.

2.2.1-) Fresagem superficial

Também conhecida como fresagem de regularização, essa fresagem é destinada apenas à correção de defeitos existentes na superfície do pavimento.

Sendo assim, pode ser dispensado o posterior recapeamento da pista, uma vez que a textura obtida permite o rolamento de forma segura, porém não muito confortável, excetuando-se em pontos específicos onde a desagregação do revestimento remanescente acarrete a formação de buracos.

Cumprindo observar que alguns equipamentos utilizados em intervenções que visem à melhoria das condições de aderência pneu-pavimento permitem a troca do cilindro fresador por outro de maior densidade de dentes de corte, possibilitando gerar superfícies mais confortáveis ao rolamento.

O DNER, em seu curso de reciclagem de pavimentos, afirma que a maioria das operações de fresagem melhora a textura da superfície da rodovia (macrotextura) e da superfície exposta do agregado (microtextura), favorecendo a resistência à derrapagem. Da mesma forma, defeitos do tipo exsudação e deformações plásticas são tratados com o emprego dessa técnica para melhorar as condições de trafegabilidade.

2.2.2-) Fresagem rasa

A fresagem rasa atinge normalmente as camadas superiores do pavimento, podendo chegar, em alguns casos, à camada de ligação. Na maioria dos serviços, esse tipo de intervenção tem uma profundidade média de corte em torno de 5 cm.

Esse procedimento é utilizado na correção de defeitos funcionais e em remendos superficiais. É aplicado, principalmente, em vias urbanas, onde se deseja

manter o greide do pavimento com relação aos dispositivos de drenagem superficial e obras de arte correntes.

Conforme relata o curso de reciclagem de pavimentos do DNER, a textura resultante da fresagem aumenta a ligação ou resistência ao cisalhamento entre o antigo revestimento e a camada de revestimento.

Nos últimos anos, tendo em conta os aspectos monetários restritivos das intervenções em pavimentos rodoviários, em especial naqueles das redes estaduais e federais, os técnicos rodoviários têm se utilizado desta ferramenta como forma de garantir a qualidade ao rolamento para os usuários das vias, em níveis econômicos satisfatórios, oportunizando o restabelecimento de condições funcionais aos pavimentos, à medida que os agentes financiadores se preocupem com os benefícios sócio-ambientais de tais intervenções.

2.2.3-) Fresagem profunda

A fresagem profunda é aquela em que o corte atinge níveis consideráveis, podendo alcançar, além da camada de revestimento, as camadas de ligação, de base e até de sub-base do pavimento. Este é um procedimento geralmente utilizado em intervenções objetivando o aspecto estrutural, seja por recomposição da estrutura do pavimento, ou mesmo por reciclagem e incorporação do revestimento à base. Já ensejando o aspecto funcional, principalmente visando a segurança e o restabelecimento das condições "ideais" de atuação dos dispositivos de drenagem superficial, utiliza-se esta técnica para corrigir o greide original das vias. É um procedimento também muito indicado na execução de serviços de pequenos remendos e para requadramento de buracos (BONFIM, 2001).

2.3-) Aplicação da técnica de fresagem

A introdução dos equipamentos de fresagem foi de fundamental importância nos serviços de restauração de pavimentos em geral, principalmente pela praticidade e rapidez, possibilitando a intervenção apenas nos locais que necessitam de reparos, e podendo ainda proporcionar:

- a-) a manutenção do greide original da pista;
- b-) a execução de remendos sem desnível nas emendas, em recapeamento apenas de faixa exclusiva de tráfego ou em remendos no pavimento;

- c-) a correção e ou a alteração da inclinação das pistas com relação aos dispositivos de drenagem superficial;
- d-) a manutenção do nivelamento dos tampões de ferro, entre outras interferências, principalmente em pavimentos urbanos.

Em algumas situações, a fresagem apresenta-se como a melhor opção para pavimentos que receberam sucessivos recapeamentos sem a retirada do revestimento anterior, com efetiva atuação no alívio do peso sobre pontes e viadutos ou no restabelecimento da altura original dentro de túneis, sob pontes e viadutos, com a colocação da nova camada de revestimento. (BONFIM, 2001)

2.3.1-) Tipos de aplicação

A técnica da fresagem possibilita um grande número de aplicações que, apesar de apresentarem certa semelhança entre si, são usadas de maneira específica nas obras. (BONFIM, 2001)

2.3.1.1) Fresagem para correção de defeitos superficiais

É utilizada para correção de defeitos encontrados na superfície dos revestimentos, não se limitando à fresagem superficial empregada na correção de deformações plásticas, exsudações etc.

Em locais com exsudação, realiza-se a fresagem superficial visando restaurar a aderência pneu-pavimento para proporcionar maior conforto e segurança aos usuários. Em locais com deformações, realiza-se a regularização da pista determinando-se, com o auxílio de uma régua apoiada sobre o pavimento, as áreas de intervenção. Tal procedimento é adotado para melhorar as condições de trafegabilidade. Nessa aplicação, com o cilindro fresador em perfeitas condições, a execução do recapeamento sobre a superfície fresada pode ser descartada. (BONFIM, 2001)

2.3.1.2) Fresagem fina

Este tipo de fresagem foi introduzido com o objetivo de reduzir a rugosidade, principalmente para aplicação nos locais onde se pretende deixar a superfície fresada exposta ao tráfego. Para tanto, o cilindro fresador deve ser substituído por um com maior número de dentes, ou seja, mais denso.

A figura 3 ilustra uma superfície fresada padrão, indicando a posição de ataque dos dentes de corte. A direita, esquematicamente, apresenta o espaçamento lateral entre os dentes de corte para o cilindro padrão e para o cilindro de fresagem fina.



Figura 3: Comparação da posição dos dentes de corte entre a fresagem padrão e a fresagem fina.

A fresagem fina, além de proporcionar um maior conforto ao rolamento se comparado com a fresagem padrão, traz outras vantagens, como na aplicação de microconcreto asfáltico polimerizado, reduzindo a espessura necessária por apresentar uma superfície menos rugosa. (BONFIM, 2001)

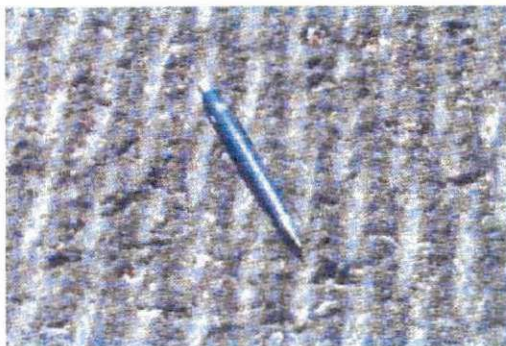


Figura 4: Detalhe de uma pista onde foi executada a fresagem fina.

2.3.1.3) Microfresagem

Trata-se de uma fresagem destinada à remoção de uma espessura muito delgada do revestimento. Ela é similar à fresagem fina, porém o cilindro fresador é diferenciado, utilizando dentes de corte com dimensões inferiores aos usados na fresagem padrão e na fina.

Uma das principais aplicações desta técnica é a remoção de faixas de sinalização horizontal das pistas, visando alterar o layout viário. Para a realização desse tipo de serviço são recomendados os equipamentos de pequeno e de médio porte, mas o equipamento mais adequado é os de pequeno porte, com cilindro apropriado. (BONFIM, 2001)



Figura 5 Detalhe de uma pista onde foi executada microfresagem.

2.3.1.4) Fresagem de áreas descontínuas

Esta aplicação consiste na execução de fresagem de áreas descontínuas, com variações de comprimento e largura e, muitas vezes, atingindo a largura total de uma ou mais faixas de rolamento. Na maior parte dos trabalhos, esta aplicação acontece nas faixas mais solicitadas.

Nos casos em que a fresagem não atinge a largura total da pista, deve-se observar o aparecimento de degrau longitudinal no pavimento enquanto não se executa o recapeamento. Degraus resultantes de espessuras de corte delgadas são toleráveis por um período reduzido, porém, nos casos de profundidades maiores, estes podem colocar em risco a vida dos usuários, principalmente dos condutores de motocicletas.

Para evitar o degrau na pista, a fresagem é interrompida quando já executada uma quantidade ideal para a execução do recapeamento no mesmo dia. O inconveniente é que limita em muito a produtividade do equipamento.

Quando se tratar de fresagem profunda, necessariamente o local deve ser isolado ao tráfego, pelo menos até a colocação das camadas inferiores, de binder, por exemplo, diminuindo o degrau.

Pode-se utilizar qualquer fresadora para áreas maiores; e, no caso de intervenções em remendos menores, são recomendados equipamentos de médio porte, mais convenientes tanto na prática, quanto economicamente.

Em se tratando de áreas ainda menores, como em reparos de buracos, os equipamentos de fresagem de pequeno porte têm se mostrado muito versáteis,

aumentando a capacidade produtiva se comparada ao requadramento executado com rompedores pneumáticos.

A figura 6 apresenta algumas áreas em um pavimento, com intervenções apenas em locais onde se deseja executar o reparo do revestimento. (BONFIM, 2001)



Figura 6: Intervenções em áreas descontínuas

2.3.1.5) Fresagem contínua de toda a pista

Esta aplicação consiste na execução da fresagem na largura total da via, nas espessuras de corte determinadas em projeto.

Tal procedimento é utilizado em locais onde se deseja manter as cotas do greide após o recapeamento, solucionar problemas de pavimentos muito oxidados ou apresentando muito desgaste superficial, atenuar os efeitos de reflexões de trincas do pavimento remanescente à nova camada asfáltica e, até mesmo, eliminar outros defeitos existentes na camada de revestimento asfáltico, como exsudações e deformações plásticas.

A fresagem de toda a pista é utilizada também para aliviar peso sobre pontes e viadutos, causado por recapeamentos sem a retirada da camada dos revestimentos anteriores e para restauração das cotas originais do greide do pavimento. Nestes casos, são indicados os equipamentos de grande porte, visando minimizar o tempo de intervenção na pista. (BONFIM, 2001)



Figura 7: Fresagem contínua em toda a pista

2.3.1.6) Fresagem em cunha

A fresagem em cunha, conhecida também como fresagem de “garra” é aquela executada somente nas bordas das pistas, junto à sarjeta, inclinando-se o cilindro, fresador para o lado desejado, com o intuito de promover a ancoragem da nova camada de revestimento.

Para tanto, é de suma importância observar o abaulamento do pavimento existente antes desse tipo de intervenção, pois a repetição desse procedimento, com a retirada das camadas anteriores apenas nas bordas das vias, podem acarretar situações de abaulamento indesejáveis, causando desconforto aos usuários das mesmas.

Apresenta melhores resultados que a "garra" anteriormente executada com o canto da lâmina de motoniveladoras, que é muito prejudicial à integridade desse equipamento. (BONFIM, 2001)

2.3.1.7) Fresagem para correção da inclinação do pavimento

É unia aplicação da fresagem para corrigir ou alterar a inclinação do pavimento existente longitudinal ou transversalmente. Geralmente os locais e espessuras de corte são determinados com o auxílio de levantamento topográfico e de acordo com o projeto. Essa aplicação é muito freqüente em projetos de duplicação de estradas; e a fresagem do pavimento, nesses casos, pode levar a uma economia nos custos da obra, tendo em conta as correções geométricas necessárias para tal. (BONFIM, 2001)

2.3.1.8) Fresagem de arremate

Esta aplicação consiste em executar a fresagem do pavimento junto às diversas interferências existentes no mesmo. Em se tratando de vias urbanas, principalmente, estes serviços são complementares aos serviços executados com equipamentos de grande porte que, geralmente, deixam de fresar ao redor dessas interferências. (BONFIM, 2001)

2.3.1.9) Fresagem superficial para sonorização

Trata-se de fresagem superficial e descontínua, com profundidade de corte de aproximadamente 10 mm, geralmente executada ao longo das áreas de refúgio e de acostamentos das pistas.

A superfície fresada exposta servirá de alerta aos usuários quando o veículo passar a trafegar fora dos limites das faixas de rolamento, não oferecendo problema com relação à segurança.

Geralmente são utilizados equipamentos de pequeno porte, com largura de fresagem de 350 ou 500 mm. (BONFIM, 2001).

2.3.2) Aplicação da técnica de fresagem na correção de defeitos

A avaliação de pavimentos é um conjunto de atividades que visa descrever quantitativa e/ou qualitativamente a condição de um pavimento no que tange aos parâmetros conforto e segurança ao rolamento, tendo em vista os aspectos funcionais da via, bem como sua capacidade de suportar as cargas impostas pelo tráfego.

Do ponto de vista do usuário, vários são os fatores que indicam a ruptura de um pavimento, dita ruptura funcional, tendo em conta a subjetividade da avaliação efetuada pelo mesmo, que leva em consideração, de um modo geral, apenas os defeitos superficiais da camada de rolamento.

Dentre eles, podem-se destacar como aspectos principais as elevadas irregularidades longitudinais que levam ao desconforto, a baixa rugosidade do revestimento acarretando na falta de aderência do sistema pneu-pavimento, a presença de buracos na pista, o elevado nível de trincamento com erosão da camada de rolamento, os elevados afundamentos em trilha de roda e ainda as severas ondulações na pista. (BONFIM, 2001)

Dessa forma, um simples levantamento visual pode dar uma demonstração da condição em que o pavimento se encontra do ponto de vista funcional no que tange aos aspectos de morfologia de defeitos, excetuando-se defeitos do tipo irregularidade, conforme procedimento das metodologias normativas DNER PRO-07/78 (Avaliação Subjetiva da Superfície de Pavimentos), DNER PRO-08/78 (Avaliação Subjetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos), DNER ES-128/83 (Levantamento da condição de superfície de segmentos-testemunha de rodovias de pavimentos flexíveis ou semi-rígidos, para gerência de pavimentos a nível de rede), além das Instruções para Atividades de Campo publicadas pelo DNER, que são utilizadas em nível de rede.

Não obstante, é muito importante conhecer as prováveis causas dos defeitos, denominadas gênese, além dos mecanismos de progressão da deterioração do pavimento.

Assim, é possível selecionar, entre as alternativas de reabilitação, aquela que conduza à eliminação ou inibição da propagação do defeito, como recurso para prolongar a vida útil do pavimento.

A fresagem do pavimento é solução tecnicamente viável para muitos dos defeitos observados nos pavimentos; porém, em alguns casos, ela não é adequada para a solução do problema, tendo em conta, especialmente, a abordagem relativa à gênese dos mesmos, estudados por técnicos rodoviários internacionais.

2.3.2.1) Trincamentos



Figura 8: Trincamento por fadiga. Nível de severidade baixo.



Figura 9: Trincamento por fadiga. Nível de severidade médio, acompanhado por afundamento de trilha de roda.



Figura 10: Trincamento por fadiga. Nível de severidade alto.

Os trincamentos (*cracking*) são os defeitos mais encontrados nos pavimentos asfálticos. O primeiro estágio dos trincamentos dá-se com a fissuração do pavimento e, inicialmente, deve-se avaliar o mecanismo de ocorrência do trincamento e a forma como ele se propaga, para então decidir como solucionar o problema.

Nos casos em que o mecanismo de propagação das trincas acontece da parte superior do revestimento asfáltico para baixo, a fresagem é uma solução muito adequada, pois pode eliminar completamente o problema. Já nos casos em que o mecanismo de propagação das trincas acontece das camadas inferiores para as camadas da superfície do pavimento, constituindo a grande maioria dos casos, a utilização da fresagem e o posterior recapeamento retardam a propagação das trincas, mas não resolvem definitivamente o problema.

O trincamento parabólico é um exemplo de defeito que a fresagem soluciona definitivamente, pois se trata de um defeito superficial originado da pouca resistência da mistura asfáltica ou da ligação insuficiente entre as camadas subjacentes e de revestimento do pavimento. (BONFIM, 2001)

2.3.2.2) Deterioração de remendos:



Figura 11: Deterioração de remendo. Nível de severidade baixo. Figura 12: Deterioração de remendo. Nível de severidade médio. Figura 13: Deterioração de remendo. Nível de severidade alto.

Deterioração de remendos (*patch deterioration*) é o conjunto dos danos existentes nos locais onde foram executados remendos no pavimento. A deterioração do remendo pode ser ocasionada por excesso de carga causada pelo tráfego, emprego de material de má qualidade, ação do meio ambiente e má construção. (DOMINGUES, 1993)

Se os defeitos forem de ordem técnica, de construção ou de dosagem do material, a fresagem pode solucionar definitivamente o problema, pois proporciona a retirada da camada defeituosa, propiciando a recomposição do pavimento com material dosado de maneira adequada.

Se o problema for estrutural, a fresagem não é solução viável economicamente em se tratando de grandes espessuras. Em alguns casos, o projetista pode optar pela reconstrução de parte ou de todo o pavimento na área que delimita o remendo; e para isso, existem equipamentos de fresagem adequados a tais intervenções profundas. (BONFIM, 2001)

2.3.2.3) Buracos (panelas):



Figura 14: Buraco (panela). Nível de severidade baixo.



Figura 15: Buraco (panela). Nível de severidade médio.



Figura 16: Deterioração de remendo. Nível de severidade alto.

Os buracos (*potholes*) ou panelas, são cavidades de tamanhos variados, no revestimento do pavimento, são defeitos localizados que correspondem, geralmente, a uma pequena área. Inicialmente, por vários motivos, acontece a desagregação de certos componentes do revestimento do pavimento e a ausência de intervenção nesse estágio pode acarretar uma aceleração da desagregação, originando-se desta maneira um buraco. Também podem ser causados por trincas de fadiga, ciclos de gelo-degelo, acompanhados da presença de umidade. (DOMINGUES, 1993)

A utilização de equipamentos de fresagem, nesses casos e na profundidade necessária para sanar o problema, é de fundamental importância do ponto de vista prático e econômico, pois possibilita o requadramento dos locais onde existem buracos, oferecendo uma condição adequada para ancoragem das camadas de reconstrução, não permitindo ainda o desnível nas emendas. (BONFIM, 2001)

2.3.2.4) Afundamento em trilha de roda

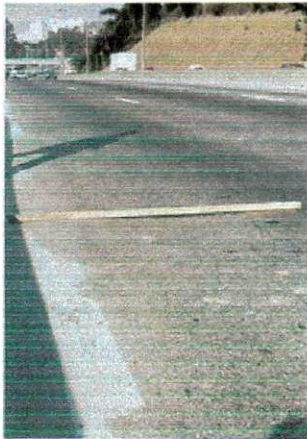


Figura 16: Afundamento em trilha de roda. Nível de severidade baixo.

Figura 17: Afundamento em trilha de roda. Nível de severidade médio.

Figura 18: Afundamento em trilha de roda. Nível de severidade alto.

O afundamento em trilha de roda (*rutting*) é uma depressão que ocorre ao longo das trilhas de roda, com conseqüente elevação lateral da camada asfáltica. Nos casos incipientes, esse tipo de defeito somente é percebido após as chuvas, quando o sulco fica cheio d'água. Esse defeito pode ser originado a partir da utilização de uma mistura asfáltica imprópria para as condições locais, por compactação inadequada, ou por enfraquecimento dos materiais abaixo do pavimento, devido a infiltração d'água. (DOMINGUES, 1993)

No primeiro caso, a fresagem é indicada para a correção do defeito, podendo remover completamente a camada com mistura inadequada e assim possibilitar a colocação de nova camada com mistura apropriada.

No terceiro caso, geralmente caracterizado por afundamentos de trilha de roda com alto nível de severidade, a fresagem permite atacar a gênese do defeito somente com a retirada da totalidade da espessura necessária para a solução do problema. Isso implica na demolição de parte ou de todo o pavimento, e sendo assim, deve-se realizar um estudo econômico para verificação da viabilidade do emprego de fresadoras. (BONFIM, 2001)

2.3.2.5) Depressão:



Figura 19: Depressão. Nível de severidade baixo.

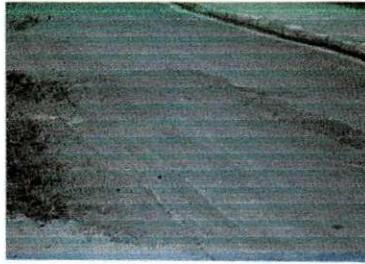


Figura 20: Depressão. Nível de severidade médio.



Figura 21: Depressão. Nível de severidade alto.

Depressão (*depression*) ou afundamento é uma concavidade que aparece no meio do pavimento, isto é, uma porção localizada do revestimento, situada em nível pouco mais baixo que o nível médio da superfície que a rodeia. As leves depressões somente são perceptíveis uma chuva, com o aparecimento de poças d'água. (DOMINGUES, 1993)

As depressões de ordem construtiva na camada de revestimento podem ser eliminadas com a fresagem de espessuras delgadas e posterior recapeamento. Nos casos de recalques ou deformações das camadas inferiores, da mesma forma que nos casos anteriores, a fresagem pode ser utilizada e vir a solucionar o problema com a retirada das espessuras necessárias do pavimento para a correção do defeito, de forma que o pavimento passe a suportar as cargas às quais estará exposto, podendo, para tanto, a fresagem atingir as camadas de base, sub-base, subleito ou até mesmo ser procedida a reconstrução do pavimento. (BONFIM, 2001)

2.3.2.6. Deformação plástica dos revestimentos:



Figura 22: Deformação plástica dos revestimentos. Nível de severidade baixo.



Figura 23: Deformação plástica dos revestimentos. Nível de severidade médio.



Figura 24: Deformação plástica dos revestimentos. Nível de severidade alto.

Deformação plástica dos revestimentos (*shoving*) é um movimento horizontal localizado da capa na direção do tráfego, motivado pela pressão dos veículos contra o pavimento, que produz uma onda curta e abrupta na superfície do pavimento.

Algumas misturas com excesso de ligantes, com fluência elevada e sujeitas a altas temperaturas, não suportam o tráfego e se deformam com a ação do mesmo. A fresagem do revestimento é uma técnica adequada para o caso, pois permite a retirada da espessura do pavimento que apresenta o problema e oportuniza a colocação do novo revestimento sem alteração do greide do pavimento. (DOMINGUES, 1993)

Em alguns casos, para defeitos de baixo nível de severidade, emprega-se a fresagem apenas para a regularização da superfície do revestimento, visando melhorar as condições do tráfego, com a melhoria da interação pneu-pavimento. (BONFIM, 2001)

2.3.2.7) Agregados polidos:



Figura 25: Agregados polidos

Agregados polidos (*polished aggregates*) são defeitos do revestimento caracterizados pela inexistência de (ou, muito pouca) porção do agregado projetando-se acima da superfície do pavimento. Neste caso, não há aspereza ou partículas angulares dos agregados para proporcionar boas resistências à derrapagem. Sua existência pode ser detectada por observação visual ou correndo-se os dedos sobre a superfície do pavimento. (DOMINGUES, 1993)

Esses defeitos podem ocorrer em função do tipo de agregado utilizado na confecção da massa asfáltica não resistir à ação intensa do tráfego. A fresagem superficial do revestimento asfáltico pode ser utilizada para proporcionar uma boa aderência entre o pneu e o pavimento e, conseqüentemente, melhorar as condições de resistência à derrapagem. Entretanto, em se tratando de agregado de qualidade inferior, problema pode retornar após algum tempo de exposição ao tráfego. Nesse tipo de intervenção, o mais indicado é realizar a fresagem fina. (BONFIM, 2003)

2.4) Vantagens da utilização da técnica de fresagem

As aplicações da técnica de fresagem, descritas anteriormente, enfatizam sua viabilidade, porém, isso não significa que em todos os serviços de recapeamento seja necessário o emprego de fresadoras.

Sucessivos recapeamentos passam a apresentar situações indesejáveis que justificam a utilização da técnica para a solução de muitos problemas, e sendo assim, a seguir são apresentadas as suas principais vantagens. (BONFIM, 2001)

2.4.1) Manutenção do greide do pavimento

A fresagem de uma dada espessura do revestimento definida em projeto possibilita a retirada do material degradado para colocação de novo material, sem alteração das cotas do pavimento, com relativa melhoria estrutural e funcional do mesmo.

Sucessivos recapeamentos, sem a retirada do revestimento existente, podem provocar problemas de ordem estética, funcional e de segurança. Os problemas de ordem estética são aqueles observados quando as cotas do leito carroçável nas bordas chegam a ser superiores à cota das guias. Um dos problemas de ordem funcional decorre da modificação da seção transversal de escoamento das águas pluviais, ocasionando afogamento das bocas de lobo e deformação das sucessivas camadas de revestimento sobre as sarjetas, diminuindo a capacidade de drenagem das mesmas.

Outro importante problema de ordem funcional dá-se pela diminuição do gabarito sob pontes, viadutos e dentro de túneis. A alteração da seção transversal do pavimento causa, também, problemas de segurança, em função da inclinação excessiva da pista, além do fato dos usuários ficarem muito expostos a acidentes decorrentes da diminuição do espelho das guias cuja finalidade é delimitar justamente a via do passeio.



Figura 26: Sobreposição de revestimentos asfálticos sem a retirada das camadas anteriores

A figura 8 apresenta um pavimento onde foram executados sucessivos recapeamentos asfálticos sem a retirada do revestimento anterior, com a cota na borda do leito carroçável cerca de 30 cm acima da cota da guia. (BONFIM, 2001)

2.4.2) Manutenção do nivelamento nas emendas

Anteriormente à introdução dos equipamentos de fresagem, em situações de recapeamento apenas de faixas exclusivas ou de pequenas áreas, era usual a colocação de uma nova camada asfáltica sobre a existente, o que ocasionava um desnível em função da difícil e, às vezes, impossível concordância nas emendas.

Apesar de ser executada com a fração mais fina do material asfáltico, o desnível é inerente ao procedimento, além do que, em alguns pontos, o material desagrega-se facilmente com a liberação do tráfego. Esse desnível causa uma situação de desconforto aos usuários e provoca possíveis deformações e escorregamentos do material, pois não há uma ancoragem adequada para a nova camada de revestimento. (BONFIM, 2001)

2.4.3) Correção de deformações plásticas

As deformações do revestimento causam certo desconforto ao rolamento; e, dependendo do grau de severidade, podem causar situações de risco aos usuários. Nestes locais, particularmente nos corredores de ônibus e curvas de pequeno raio, em rotatórias e rótulas, a fresagem pode permitir a correção das deformações plásticas existentes no revestimento, promovendo a regularização da pista.

É, portanto, uma solução viável tanto do ponto de vista da restauração quanto da manutenção e conservação dos pavimentos. (BONFIM, 2001)

2.4.4) Manutenção do nivelamento junto aos pertences de concessionárias

Nas vias urbanas existem muitas interferências decorrentes dos pertences das diversas concessionárias de serviços públicos que causam descontinuidades na superfície dos pavimentos.

Esses pertences situam-se justamente sobre as diversas galerias usadas para as redes de água, energia, telefonia etc., deixando expostos no revestimento os tampões de ferro. A execução de recapeamento da via sem a fresagem do pavimento causa o desnivelamento entre o novo revestimento e esses pertences, obrigando necessariamente o posterior nivelamento dos mesmos.

Entretanto, é comum encontrar nos pavimentos a situação de desnivelamento proveniente de um ou mais recapeamentos, causando desconforto e insegurança ao rolamento, provocando, em alguns casos, acidentes graves, ou mesmo danificando o patrimônio do usuário. (BONFIM, 2001)

2.5) Estudo da granulometria de material resultante da fresagem de revestimentos asiáticos com vistas à reciclagem

O material resultante da fresagem de revestimentos asfálticos, pelas suas propriedades nobres, pode ser reutilizado como material de pavimentação, pela reciclagem. Existem diversas maneiras de executar a reciclagem, inclusive conjugando alternativas de reabilitação, e a constante evolução dos equipamentos e das usinas tem ampliado o número de opções quanto à sua aplicabilidade.

Um dos principais problemas encontrados nos projetos de reabilitação contemplando a reciclagem diz respeito à granulometria resultante da fresagem, principalmente com relação aos processos realizados sem o pré-aquecimento do revestimento, em função do aparecimento dos grumos.

De acordo com os tipos de reciclagem, conforme tabela 1, em se tratando de misturas recicladas em usinas, os grumos não são problemas, pois os de dimensões indesejadas podem ser eliminados em uma etapa inicial de peneiramento.

Já quanto aos processos em que as misturas são realizadas na própria pista, ou mesmo em processos mistos, com parte do material proveniente de usina de asfalto, o tamanho dos grumos deve ser controlado para que se obtenham melhores resultados.

No processo de reciclagem "in situ" a frio, em que a fresagem acontece simultaneamente à reciclagem do material, alguns procedimentos devem ser adotados para que se tenha o controle do tamanho dos grumos em dimensões aceitáveis para o novo traço do material. (BONFIM, 2001)

Tabela 1: Classificação dos tipos de reciclagem mais comuns.

Quanto a geometria original	Sem modificação	Quando se mantêm as cotas do greide
	Com modificação	
Quanto ao local de processamento	Em usina	Fixa ou móvel, a quente ou a frio
	“In situ”	A quente ou a frio
	Mista	“in situ” da reciclagem base e aplicação de reciclagem a quente, processada em usina com material fresado
Quanto a fresagem do material	A frio	Realizada na temperatura ambiente
	A quente	Realizada com pré-aquecimento do pavimento
Quanto a profundidade de corte	Superficial	Somente da camada de revestimento
	Profunda	Camada de revestimento, base e até sub-base
Quanto a mistura reciclada	Mistura a frio	PMF
	Mistura a quente	CBUQ, PMQ
Quanto ao uso da mistura	Como base reciclada	
	Como camada de ligação	BINDER
	Como revestimento	
Quanto aos materiais adicionados	Agregados	Correção granulométrica
	Cimento Portland e cal	Aumento da capacidade estrutural
	Emulsão especial, CAP, Polímeros	Rejuvenescimento
	Mistura asfáltica	Adição de material fresado

3.0-) MATERIAIS E MÉTODOS:

3.1-) Materiais Utilizados

Para a execução desta pesquisa foi utilizado material oriundo da fresagem do pavimento de três trechos de duas rodovias do estado da Paraíba, e estes foram classificados da seguinte forma:

Tabela 2: Procedência das amostras.

AMOSTRA	RODOVIA	TRECHO
AM-007	PB-073	Café do Vento - Sapé
AM-073	PB-073	Guarabira – Pirpirituba
AM-230	BR-230	Café do Vento - Cajá

Para composição da mistura executada no processo de estabilização e reforço da granulometria, foram utilizados os seguintes materiais:

1. Resíduo procedente da serragem do granito utilizado como material de enchimento (filer);
2. Areia de jazida localizada na cidade de João Pessoa;
3. Brita graduada.

Os ensaios foram realizados nos laboratórios, Solos I e II da área de geotecnia da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).



Figura 27: Material fresado.



Figura 28: Areia média



Figura 29: Serragem de granito.



Figura 30: Brita graduada.

3.2-) Degradação do material fresado:

As amostras foram submetidas a ensaios para caracterização, após misturadas e divididas em quatro porções (AM-1, AM-2, AM-3 e AM-4). Em seguida foram submetidas a três séries de revoluções no cilindro de ensaio Los Angeles, de trinta minutos cada, para se ter uma idéia do tempo que estas amostras teriam sua granulometria estabilizada, ou seja, com quanto tempo estas amostras teriam aproximadamente a mesma granulometria. Após cada série de revoluções as amostras foram submetidas ao ensaio de granulometria via seca, conforme descrita no Método de Ensaio (DNER-ME 080/94).

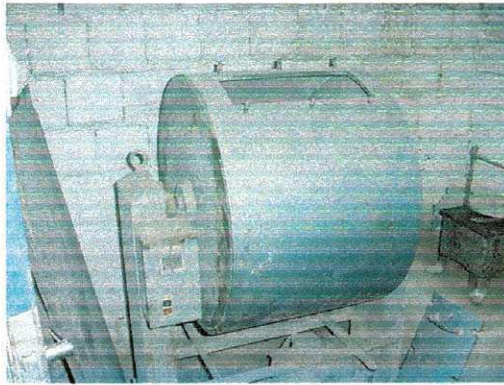


Figura 31: Cilindro de ensaio Los Angeles utilizado para “rolar” as amostras.

3.3-) Tratamento:

Após a determinação do período adequado em que as amostras deveriam ser submetidas a revoluções no cilindro de ensaio Los Angeles, para verificação da estabilidade da granulometria. As amostras foram submetidos aos tratamentos apresentados na tabela 3. Nesta nova apresentação e no restante da pesquisa as amostras receberam as denominações apresentadas na tabela referida, que relaciona a origem com o tratamento executado em laboratório.

Tabela 3: Classificação das amostras conforme tratamento empregado.

AMOSTRA	TRATAMENTO
007/1	Material que passou na peneira de ¾”
007/2	Material retido submetido a revoluções no cilindro
230/1	Material que passou na peneira de ¾”
230/2	Material retido submetido a revoluções no cilindro
073/1	Material que passou na peneira de ¾”
OBS.: Não houve material retido da amostra recolhida na PB-073.	



Figura 32: Material fresado após passar no cilindro de Los Angeles



Figura 33: Material fresado passado na peneira 3/4"

3.4-) Caracterização:

A distribuição granulométrica das amostras foi determinada conforme Método de Ensaio (DNER-ME 080/94), utilizando a série de peneiras segundo a Especificação de Serviço (DNER-ES 303/97 – Base Estabilizada Granulometricamente). O mesmo procedimento foi utilizado para determinação das granulometrias dos materiais utilizados para composição da mistura executada no processos de estabilização e reforço da granulometria do referido material.



Figura 34: Série de peneiras padronizadas.

Para execução dos ensaios de granulometria os materiais foram previamente secos ao ar, utilizado-se 2000g de cada amostra. Para a determinação da granulometria do material com dimensões entre 2,0 e 0,074mm, foi utilizada a técnica de peneiramento parcial.

Foram utilizados os seguintes equipamentos para execução destes ensaios:

- Conjunto de peneiras dentro dos padrões das normas brasileiras, e descritos na Especificação de Serviço (DNER-ES 303/97), que são as seguintes:

PENEIRA		ABERTURA
ASTM	ABNT – EM-22-R	(mm)
2"	50	50,8
1"	25	25,4
3/8"	9,5	9,52
N.º 4	4,8	4,76
N.º 10	2	2,00
N.º 40	0,42	0,42
N.º 200	0,075	0,076

- Balança com capacidade de 5kg, sensível a $\pm 5g$;
- Almofariz e mão-de-grau de borracha;
- Pá de mão de forma arredondada, com lâmina de alumínio;

3.5-) Compactação:

Compactação é a operação da qual resulta o aumento da massa específica aparente de um solo (e de outros materiais, como misturas betuminosas, etc), pela aplicação de pressão, impacto ou vibração, o que faz com que as partículas constitutivas do material entrem em contato mais íntimo, pela expulsão de ar, com a redução da percentagem de vazios de ar, consegue-se também reduzir a tendência de variação dos teores de umidade dos materiais integrantes do pavimento, durante a vida de serviço.

Os ensaios foram realizados conforme descritos no Método de Ensaio (DNER-ME 129/94 – Compactação Utilizando Amostras não Trabalhadas). As amostras do material após caracterização foram secas ao ar, homogeneizadas e reduzidas por quarteamento, até se obter uma amostra representativa de aproximadamente 6kg. Como parte das amostras já haviam sido passadas na peneira de 19mm, apenas as amostras que foram submetidas a desgaste no cilindro de ensaio Los Angeles foram passadas, na peneira de 19mm, sendo o material retido substituído por igual quantidade em peso do material passando na de peneira 19mm e retido na de 4,8 mm.

Compactou-se o material em cinco camadas iguais, de forma a se obter uma altura total do corpo-de-prova de cerca de 12,5cm após a compactação, sendo aplicada em cada camada golpes com um soquete, de acordo com sua energia de compactação: Normal – 12 golpes (compactação manual), Intermediária - 26 golpes (compactação manual) e Modificada - 55 golpes por camada (compactação manual), sendo que após a compactação de cada camada eram retiradas duas amostras representativas de cerca de 80g cada para determinação da umidade.

Os ensaios de compactação foram executados de duas maneiras: compactação manual ou por meio de compactação mecânica. Inicialmente utilizou-se a compactação manual, sendo substituída por compactação feita com soquete mecânico.



Figura 35: Soquete utilizado na compactação manual

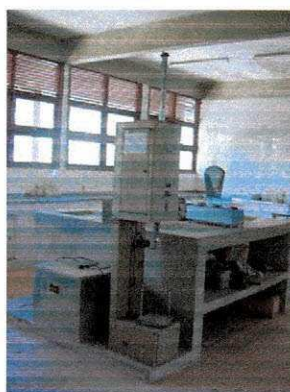


Figura 36: Compactador mecânico

Na compactação manual utilizaram-se os seguintes materiais

- Molde cilíndrico;
- Entalhe superior;
- Disco separador;
- Soquete metálico cilíndrico (de massa 4.536kg);
- Balança com capacidade de 20kg;
- Balança com capacidade de 2kg;
- Estufa;
- Régua de aço;
- Cápsulas de alumínio;
- Peneiras de 19,0mm e 4,8mm;
- Proveta graduada com capacidade de 1000 ml e papel filtro.

Na compactação mecânica utilizaram-se os mesmos materiais exceção feita ao soquete metálico, já que o compactador mecânico é provido de um soquete, e para o mesmo foi recalculado o número de golpes para cada energia de compactação.

3.6-) I.S.C (Índice de Suporte Califórnia):

Com os resultados dos ensaios de compactação (umidade ótima e massa específica aparente seca), partiu-se para a determinação do I.S.C. ou C.B.R da amostra. O ensaio de CBR consiste na determinação da relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão num corpo-de-prova de solo, e a pressão para produzir uma penetração numa brita padronizada. O valor dessa relação, expressa em percentagem, permite determinar, o uso ou não do material para o serviço o qual se destina, no nosso caso para o uso em camadas de construção de base.

O ensaio tem início com os valores obtidos nos ensaio de compactação, em seguida tem-se que, compacta-se no molde o material, em cinco camadas iguais de modo a se obter uma altura total de solo com cerca de 12,5 cm, após a compactação. Cada camada recebia golpes do soquete (de acordo com a energia de compactação) distribuídos uniformemente sobre a superfície da camada, da mesma forma da compactação, os corpos-de-prova foram moldados usando o compactador mecânico ou soquete manual.

Após a compactação, rasa-se o material na altura exata do molde e retira-se do material excedente da moldagem uma amostra representativa com cerca de 100g para

determinar a umidade de moldagem e compará-la com a umidade ótima. Colocam-se os corpos-de-prova imersos em água durante quatro dias. A penetração dos corpos-de-prova é feita numa prensa (figura 19), a uma velocidade constante de 0,05 pol. / min.

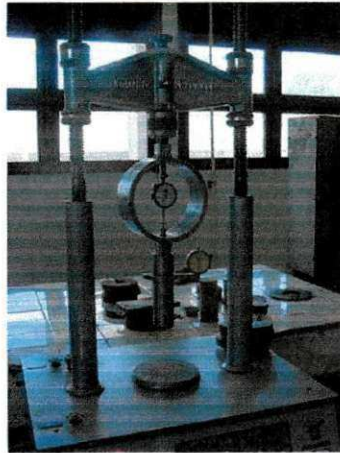


Figura 37: Prensa mecânica utilizada para romper os corpos-de-prova



Figura 38: Moldes para corpos-de-prova

4.0-) APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1-) Degradação:

A eficiência do processo utilizado para determinação da uniformidade da granulometria do material foi verificada através da análise granulométrica conforme apresentado nas tabelas e figuras abaixo.

AMOSTRA 1				
PENEIRA		TEMPO (minutos)		
N.º	mm	30	60	90
% QUE PASSA DA TOTAL				
1"	25,400	98,87	98,21	100,00
3/4"	19,100	95,45	93,14	92,58
1/2"	12,700	80,01	86,39	85,48
3/8"	9,525	67,36	75,59	73,41
n.º 4	4,800	47,17	54,09	53,26
n.º 10	2,000	38,12	44,87	45,37

Tabela 4: Granulometria da AM-1, conforme o tempo passado no cilindro de ensaio Los Angeles.

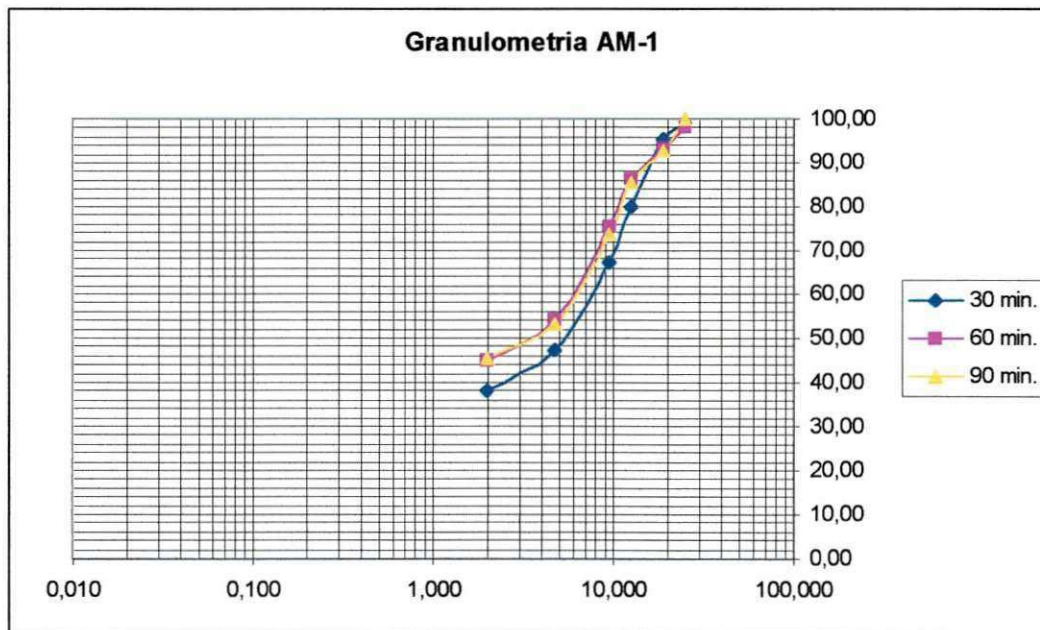


Figura 39: Curvas granulométricas AM-1, com o tempo passado no cilindro de ensaio Los Angeles.

Tabela 5: Granulometria da AM-2, conforme o tempo passado no cilindro de ensaio Los Angeles.

AMOSTRA 2				
PENEIRA		TEMPO (minutos)		
N.º	mm	30	60	90
% QUE PASSA DA TOTAL				
1"	25,400	98,87	98,21	96,17
3/4"	19,100	95,45	93,14	92,70
1/2"	12,700	80,01	86,39	82,56
3/8"	9,525	67,36	75,59	73,71
n.º 4	4,800	47,17	54,09	53,12
n.º 10	2,000	38,12	44,87	44,44

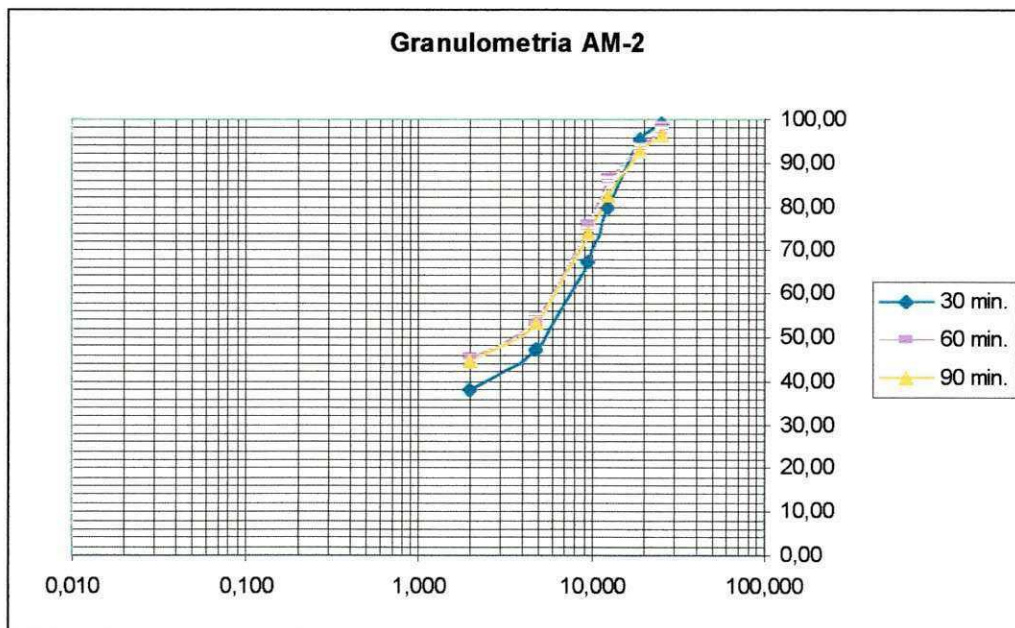


Figura 40: Curvas granulométricas AM-2, com o tempo passado no cilindro de ensaio Los Angeles.

Tabela 6: Granulometria da AM-3, conforme o tempo passado no cilindro de ensaio Los Angeles.

AMOSTRA 3				
PENEIRA		TEMPO (minutos)		
		30	60	90
N.º	mm	% QUE PASSA DA TOTAL		
1"	25,400	86,84	91,49	89,73
3/4"	19,100	80,76	85,12	86,22
1/2"	12,700	70,08	76,49	72,98
3/8"	9,525	61,38	67,01	64,40
n.º 4	4,800	45,68	51,98	49,30
n.º 10	2,000	37,15	43,26	42,37

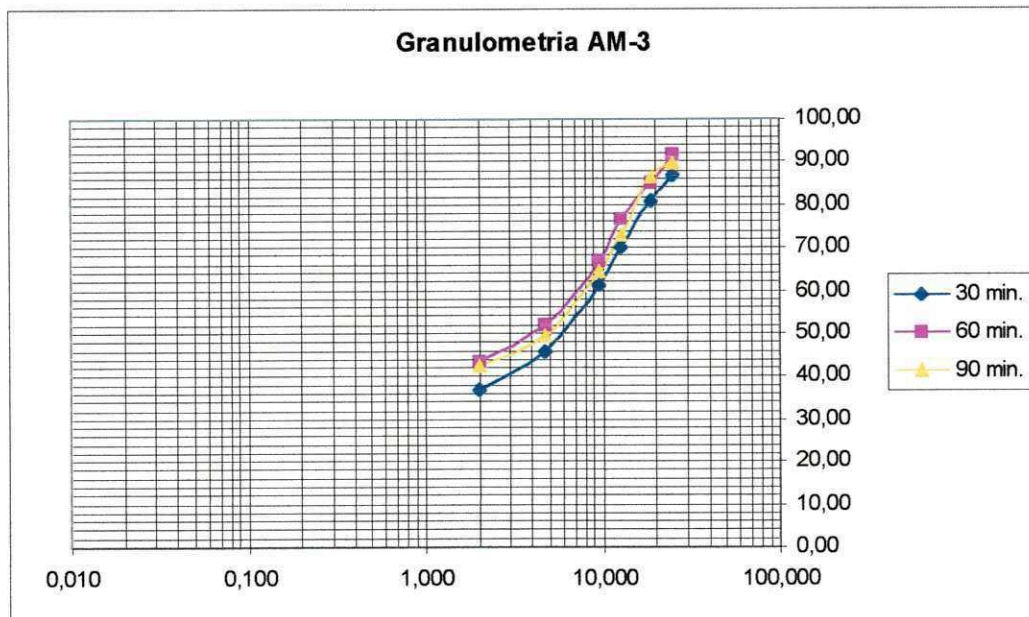


Gráfico 41: Curvas granulométricas AM-3, com o tempo passado no cilindro de ensaio Los Angeles.

Tabela 7: Granulometria da AM-4, conforme o tempo passado no cilindro de ensaio Los Angeles.

AMOSTRA 4				
PENEIRA		TEMPO (minutos)		
		30	60	90
N.º	mm	% QUE PASSA DA TOTAL		
1"	25,400	98,17	98,02	96,53
3/4"	19,100	94,16	95,18	88,67
1/2"	12,700	80,63	84,07	81,67
3/8"	9,525	68,72	73,86	70,34
n.º 4	4,800	49,60	52,98	49,11
n.º 10	2,000	39,70	43,01	40,18

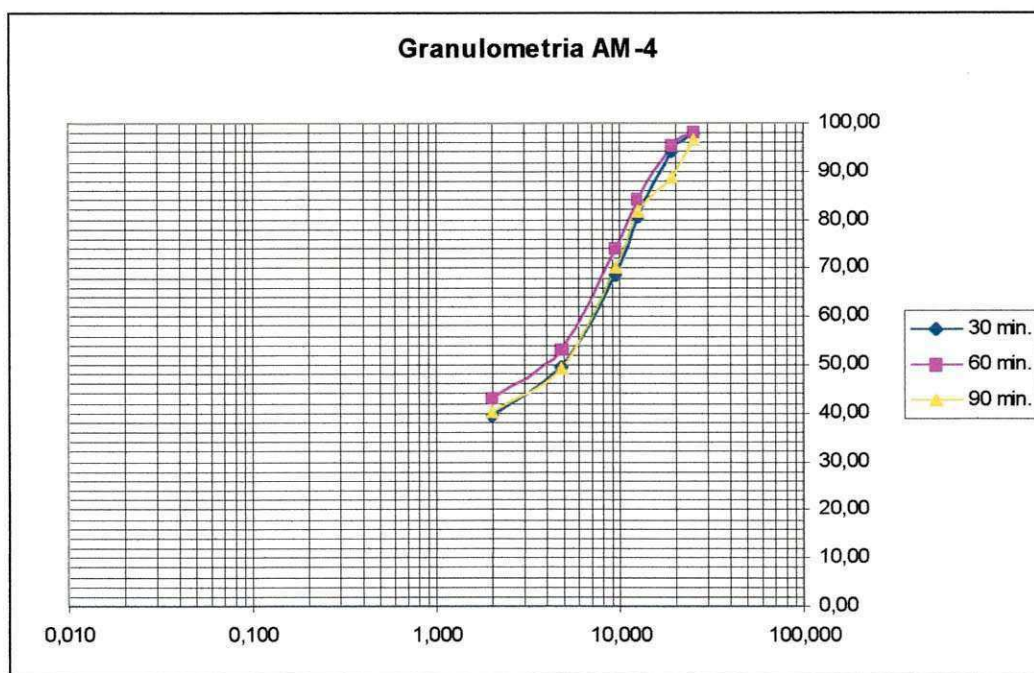


Figura 42: Curvas granulométricas AM-4, com o tempo passado no cilindro de ensaio Los Angeles.

A análise dos resultados obtidos permite verificar que a percentagem passando é diretamente proporcional ao aumento no tempo de revoluções do tambor do Los Angeles. Entretanto observa-se também que conforme análise das curvas granulométricas, as amostras tentem a manter a mesma granulometria após 30 minutos sofrendo revoluções no cilindro de ensaio Los Angeles.

Os gráficos abaixo mostram as curvas granulométricas das amostras (AM-230/1, AM-230/2, AM-007/1, AM-007/2, AM-073/1), satisfazendo a faixa C do quadro abaixo de acordo com o nº N de tráfego da Especificação de Serviço (DNER-ES 303/97 – Base Estabilizada Granulometricamente).

Tabela 8: Faixas de composição granulométrica com o nº N de tráfego do DNER

Tipos	Para N > 5 X 10 ⁶				Para N < 5 X 10 ⁶		Tolerâncias da faixa de projeto
	A	B	C	D	E	F	
% EM PESO PASSANDO							
2"	100	100	-	-	-	-	±7
1"	-	75-90	100	100	100	100	±7
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-	±7
Nº 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	10-100	±5
Nº 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100	±5
Nº 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70	±2
Nº 200	2-8	5-15	5-15	10-25	6-20	8-25	±2

AMOSTRA 230/1		
PENEIRA	% QUE PASSA	
N.º	mm	
1"	25,4	100
3/8"	9,5	73,06
n.º 4	4,0	44,03
n.º 10	2,0	26,24
nº40	0,42	9,57
nº200	0,075	0,93

Tabela 9: Granulometria AM-230/1.

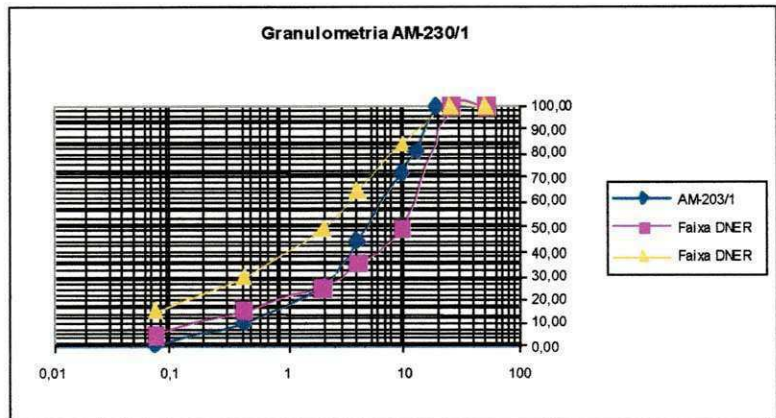


Figura 42: Curva granulométrica (AM-230/1), enquadrada na faixa "C" (DNER).

AMOSTRA 230/2		
PENEIRA	% QUE PASSA	
N.º	mm	
1"	25,4	100,0
3/8"	9,5	73,28
n.º 4	4,0	48,50
n.º 10	2,0	40,34
nº40	0,42	14,60
nº200	0,075	3,10

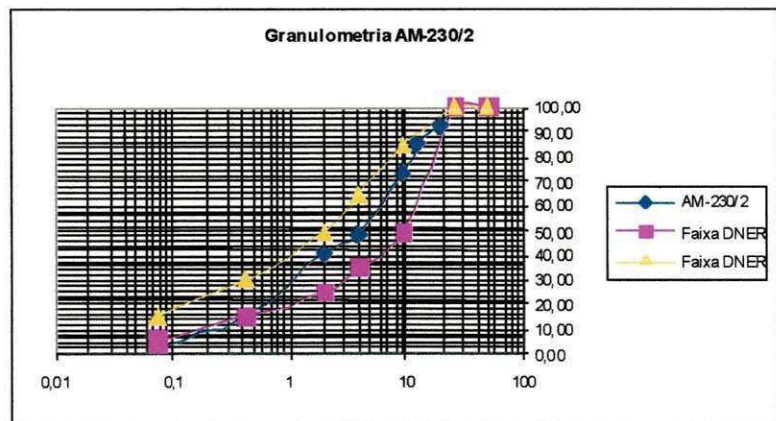


Tabela 10: Granulometria AM-230/2.

AMOSTRA 007/1		
PENEIRA	% QUE	
N.º	mm	PASSA
1"	25,4	100,0
3/8"	9,5	79,29
n.º 4	4,0	50,14
n.º 10	2,0	30,78
nº40	0,42	11,60
nº200	0,075	1,89

Tabela 11: Granulometria AM-007/1.

AMOSTRA 007/2		
PENEIRA	% QUE	
N.º	mm	PASSA
1"	25,4	100,0
3/8"	9,5	74,55
n.º 4	4,0	49,52
n.º 10	2,0	39,49
nº40	0,42	13,10
nº200	0,075	2,60

Tabela 12: Granulometria AM-007/2.

AMOSTRA 073/1		
PENEIRA	% QUE	
N.º	mm	PASSA
1"	25,4	100,0
3/8"	9,5	65,29
n.º 4	4,0	36,80
n.º 10	2,0	21,54
nº40	0,42	7,47
nº200	0,075	0,77

Tabela 12: Granulometria AM-073/1.

Figura 43: Curva granulométrica (AM-230/2), enquadrada na faixa "C" (DNER).

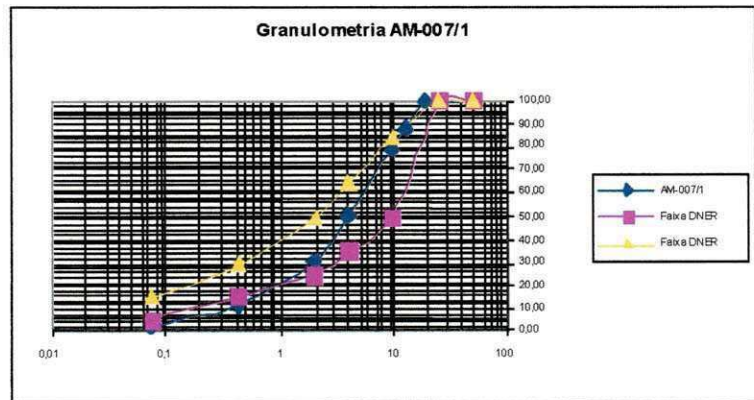


Figura 44: Curva granulométrica (AM-007/1), enquadrada na faixa "C" (DNER).

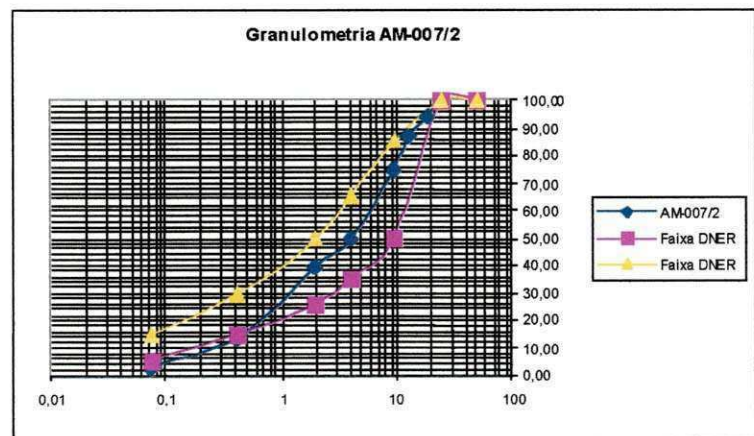


Figura 45: Curva granulométrica (AM-007/2), enquadrada na faixa "C" (DNER).

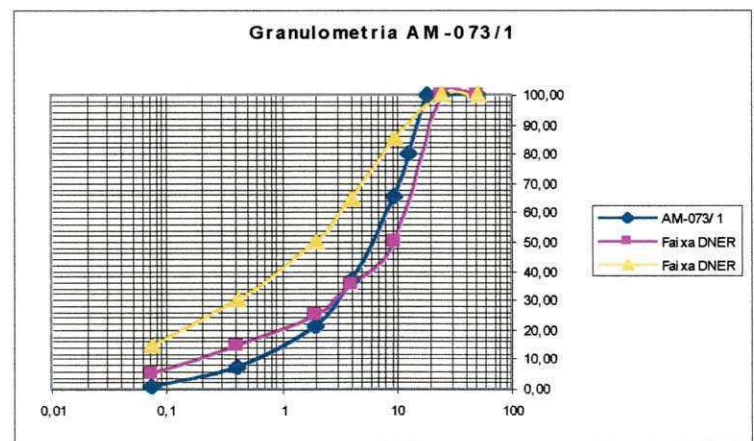


Figura 46: Curva granulométrica (AM-073/1), enquadrada na faixa "C" (DNER).

4.2-) Compactação e CBR:

Após caracterização das amostras, iniciaram-se os ensaios de compactação, tendo como referência a norma rodoviária (DNER ME-192/94 – Compactação usando amostras não trabalhadas) e determinação do ISC (Índice de Suporte Califórnia), os resultados dos ensaios encontram-se na tabela abaixo:

Tabela 13 – Resultados dos ensaios de Compactação e CBR.

AMOSTRA	ENERGIA DE COMPACTAÇÃO	H _{hot} (%)	H _{mold} (%)	γ_{smax} (g/cm ³)	CBR
007/1	Normal	12,4	9,8	1,915	6%
	Intermediário	11,2	7,8	1,945	8%
	Modificado	9,1	8,6	2,026	24%
007/2	Normal	8,4	7,4	2,064	16%
	Intermediário	7,6	7,4	2,090	17%
	Modificado	5,1	7,8	2,193	18%
230/1	Normal	10,8	7,0	1,868	4%
	Intermediário	11,2	8,1	1,944	10%
	Modificado	7,7	6,3	2,001	30%
230/2	Normal	8,8	8,1	2,005	20%
	Intermediário	9,7	8,7	1,951	21%
	Modificado	9,9	8,8	1,894	22%
073/1	Normal	11,2	8,2	1,885	9%
	Intermediário	8,8	7,6	1,950	16%
	Modificado	8,4	8,2	2,015	23%

Os resultados acima mostraram que nenhuma das amostras obteve resultado satisfatório, pois a Especificação de Serviço (DNER-ES 303/97 – Base Estabilizada Granulometricamente) determina que para a faixa escolhida, o Índice de Suporte Califórnia do material de camada de base deverá ser superior a 80%, na energia de compactação modificada. Partiu-se então para uma melhoria do material fresado através da estabilização de sua granulometria. Apenas as amostras passadas na peneira de abertura 19mm, foram utilizadas, uma vez que as amostras passadas pelo cilindro de ensaio Los Angeles, apresentaram resultados piores que as amostras em estado natural, além da dificuldade de viabilizar sua utilização em campo.

4.3-) Estabilização Granulométrica:

Para a estabilização granulométrica das amostras foram utilizados os seguintes materiais: serragem de granito (filer) e areia, estes apresentaram com granulometria apresentadas nas tabelas 4 e 5.

Tabela 14: Granulometria da serragem de granito

SERRAGEM DE GRANITO	
Peneira	%Que passa
2"	100,0%
1"	100,0%
3/8"	100,0%
N.º 4	100,0%
N.º 10	100,0%
N.º 40	99,3%
N.º 200	95,9%

Tabela 15: Granulometria da areia.

AREIA-JP	
Peneira	%Que Passa
2"	100,0%
1"	100,0%
3/8"	99,2%
N.º 4	96,8%
N.º 10	89,7%
N.º 40	39,5%
N.º 200	5,6%

Com as granulometrias dos materiais acima se determinou, através de equações a quantidade de cada material que deveria ser misturado ao material fresado, para que este se enquadrasse perfeitamente nas faixas granulométricas do DNER. As tabelas abaixo mostram as quantidades de cada material utilizado nas misturas, enquanto os gráficos mostram as curvas granulométricas das misturas enquadradas na faixa estabelecida.

Tabela 16: Composição de uma mistura para estabilização granulométrica da amostra AM-230/1.

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE MISTURAS AM-230/1								
Peneiras		FRESADO		AREIA		FILER		MISTURA
nº	mm	%peso=	0,80	%peso=	0,10	%peso=	0,10	FINAL
2"	50,800	100,00	80,00	100,00	10,00	100,00	10,00	100,00
1"	25,400	100,00	80,00	100,00	10,00	100,00	10,00	100,00
3/8"	9,525	65,29	52,23	100,00	10,00	100,00	10,00	72,23
4	4,800	36,80	29,44	100,00	10,00	100,00	10,00	49,44
10	2,000	21,54	17,23	89,70	8,97	100,00	10,00	36,20
40	0,420	7,47	5,97	39,50	3,95	99,30	9,93	19,85
200	0,075	0,77	0,62	5,60	0,56	95,60	9,56	10,74

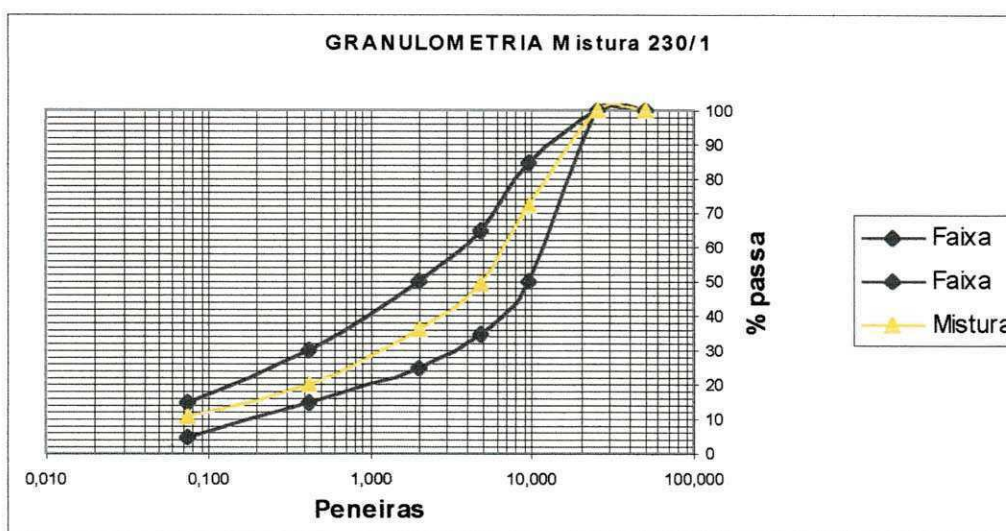


Figura 47: Curva granulométrica da mistura 230/1, enquadrada na faixa "C" (DNER).

Tabela 17: Composição de uma mistura para estabilização granulométrica da amostra AM-073/1.

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE MISTURAS AM-073/1								
Peneiras		FREZADO		AREIA		FILER		MISTURA
nº	mm	%peso=	0,80	%peso=	0,10	%peso=	0,10	FINAL
2"	50,800	100,00	80,00	100,00	10,00	100,00	10,00	100,00
1"	25,400	100,00	80,00	100,00	10,00	100,00	10,00	100,00
3/8"	9,525	65,29	52,23	99,20	9,92	100,00	10,00	72,15
4	4,800	36,80	29,44	96,80	9,68	100,00	10,00	49,12
10	2,000	21,54	17,23	89,70	8,97	100,00	10,00	36,20
40	0,420	7,47	5,98	39,50	3,95	99,30	9,93	19,86
200	0,075	0,77	0,62	5,60	0,56	95,60	9,56	10,74

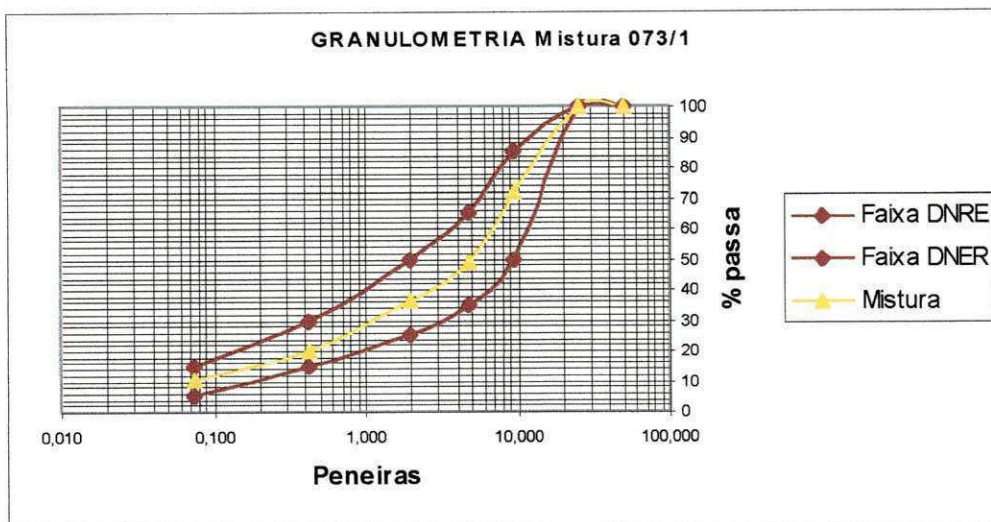


Figura 48: Curva granulométrica da mistura 073/1, enquadrada na faixa "C" (DNER).

Tabela 18: Composição de uma mistura para estabilização granulométrica da amostra AM-007/1.

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE MISTURAS AM-007/1								
Peneiras		FREZADO		AREIA		FILER		MISTURA
nº	mm	%peso=	0,85	%peso=	0,10	%peso=	0,05	FINAL
2"	50,800	100,00	85,00	100,00	10,00	100,00	5,00	100,00
1"	25,400	100,00	85,00	100,00	10,00	100,00	5,00	100,00
3/8"	9,525	79,30	67,41	99,20	9,92	100,00	5,00	82,33
4	4,800	50,14	42,62	96,80	9,68	100,00	5,00	57,30
10	2,000	30,78	26,16	89,70	8,97	100,00	5,00	40,13
40	0,420	11,60	9,86	39,50	3,95	99,30	4,97	18,78
200	0,075	1,90	1,62	5,60	0,56	95,60	4,78	6,96

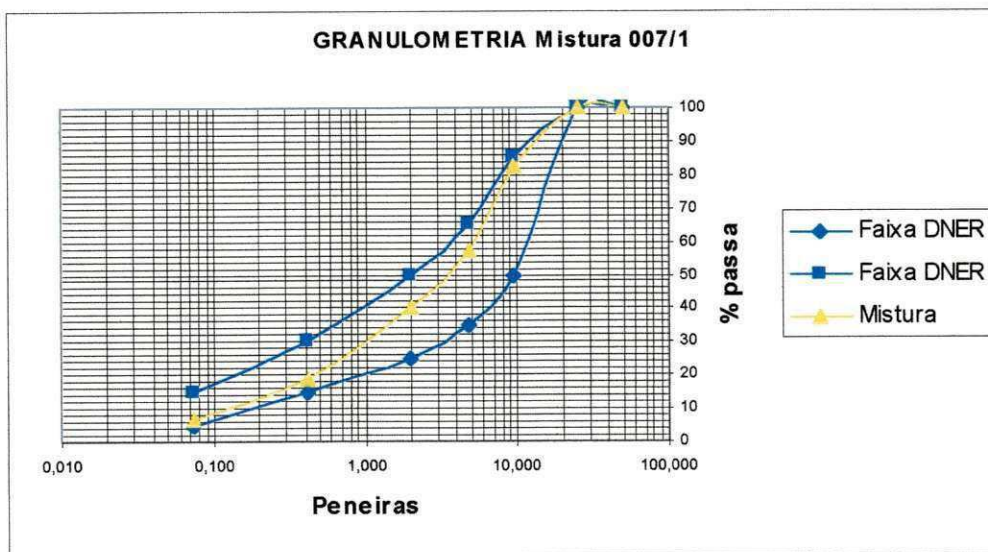


Figura 48: Curva granulométrica da mistura 007/1, enquadrada na faixa "C" (DNER).

As misturas foram submetidas a ensaios de compactação e CBR, desta feita empregando apenas a energia de compactação modificada, sendo os resultados apresentados na tabela abaixo:

Tabela 19: Resultado dos ensaios de compactação e I.S.C. com as misturas.

MISTURA	ENERGIA	H _{hot} (%)	H _{mold} (%)	γ _{smax} (g/cm ³)	CBR
007/1	Modificado	9,5	8,5	2,060	47%
073/1	Modificado	9,2	8,5	2,050	42%
230/1	Modificado	9,6	9,6	2,050	50%

A mistura do material fresado com outros materiais melhorou consideravelmente o resultado do I.S.C., mesmo assim os valores apresentados não satisfaziam o descrito na Especificação de Serviço (DNER-ES 303/97 – Base Estabilizada Granulometricamente) que determina que para a faixa escolhida, o Índice de Suporte Califórnia do material de camada de base deverá ser superior a 80%. Partiu-se para verificar o motivo pelo qual a mistura não apresentava resistência, verificou-se então com ensaio de granulometria na amostra que apresentou menor resistência que a perda de resistência era causada pelo desgaste excessivo do agregado graúdo, conforme pode ser observado no gráfico abaixo, em que se compara a granulometria da amostra antes do ensaio de CBR, e a granulometria da mesma amostra após o referido ensaio.

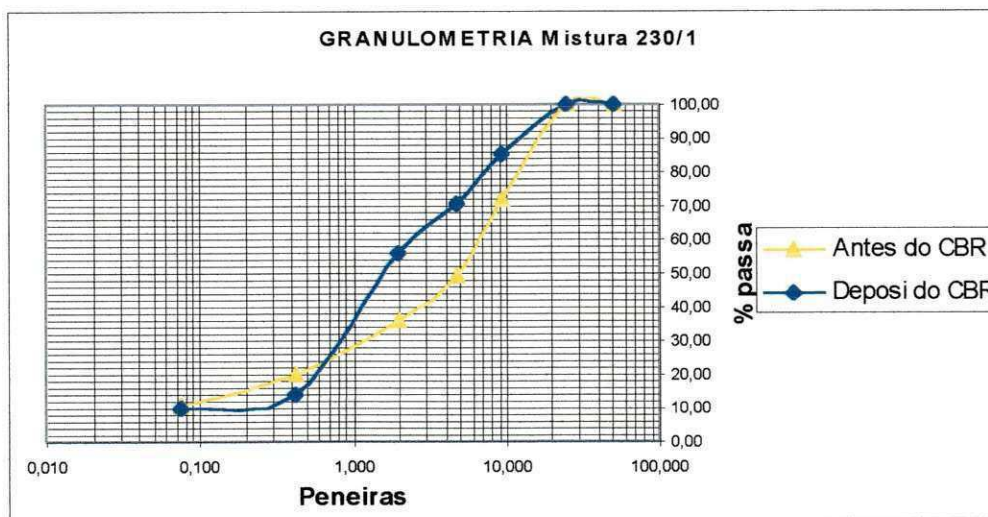


Figura 49: Curva granulométrica da mistura 230/1, onde se compara a granulometria da mesma amostra antes e após os ensaios de C.B.R.

Foi concebida uma nova mistura, esta com a finalidade de diminuir a perda de resistência, para isso houve a adição de brita com granulometria correspondente a faixa que apresentou maior desgaste.

Tabela 20: Granulometria da brita graduada utilizada na nova mistura.

Granulometria - BRITA		
Peneiras		% Que
n°	Mm	Passa
2"	50,800	100,00
1"	25,400	100,00
3/8"	9,525	49,60
4	4,800	6,80
10	2,000	1,60
40	0,420	0,90
200	0,075	0,30

Tabela 21: Composição da mistura para estabilização granulométrica e aumento da resistência da amostra AM-073/1.

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE MISTURAS AM-073/1										
Peneiras		Material fresado		Brita		Filer		Areia		MISTURA
n°	mm	%peso=	55%	%peso=	30%	%peso=	10%	%peso=	5%	FINAL
2"	50,800	100,00	55,00	100,00	30,00	100,00	10,00	100,00	5,00	100,00
1"	25,400	100,00	55,00	100,00	30,00	100,00	10,00	100,00	5,00	100,00
3/8"	9,525	65,29	35,91	49,60	14,88	100,00	10,00	100,00	5,00	65,79
4	4,800	36,80	20,24	6,80	2,04	100,00	10,00	100,00	5,00	37,28
10	2,000	21,54	11,84	1,60	0,48	100,00	10,00	89,70	4,49	26,81
40	0,420	7,47	4,11	0,90	0,27	99,30	9,93	39,50	1,98	16,28
200	0,075	0,77	0,42	0,30	0,09	95,60	9,56	5,60	0,28	10,35

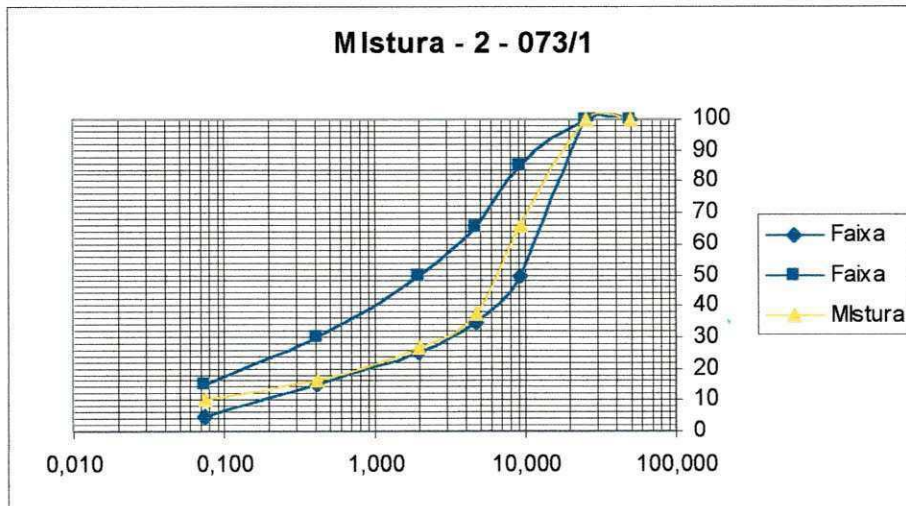


Figura 50: Curva granulométrica da mistura 2 073/1, enquadrada na faixa “C” (DNER).

A mistura foi submetida a ensaios de compactação, e I.S.C. desta vez nas três energias, tendo os resultados apresentados na tabela abaixo:

Tabela 22: Resultado dos ensaios de compactação e I.S.C., da nova composição.

MISTURA	ENERGIA	H _{hot} (%)	H _{mold} (%)	γ _{smax} (g/cm ³)	CBR
007/1	Normal	12,0	11,2	1,920	8%
007/1	Intermediário	10,0	11,0	1,930	26%
007/1	Modificado	7,5	8,5	2,050	44%

Mesmo com a adição de brita na mistura, não houve um aumento significativo do Índice de Suporte Califórnia, novamente procurou-se medir o desgaste dos agregados com ensaios de granulometria, os gráficos abaixo apresentam as curvas granulométricas onde se comparam as misturas antes e após os ensaios de C.B.R.

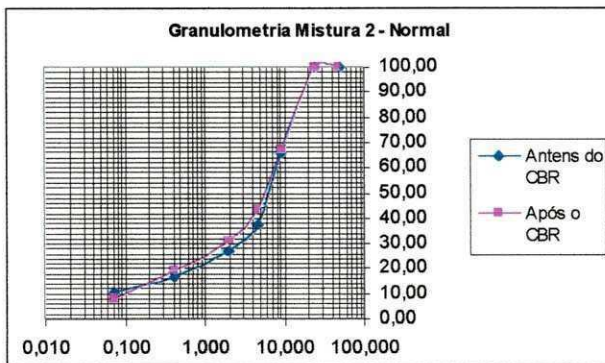


Figura 51: Curvas granulométricas da mistura, comparando a mesma antes e após os ensaios de C.B.R, (energia de compactação normal).

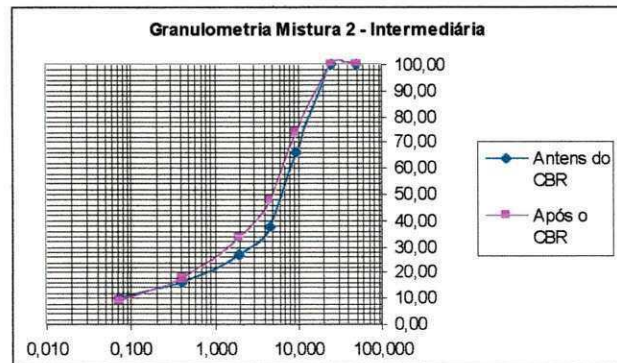


Figura 52: Curvas granulométricas da mistura, comparando a mesma antes e após os ensaios de C.B.R, (energia de compactação intermediária).

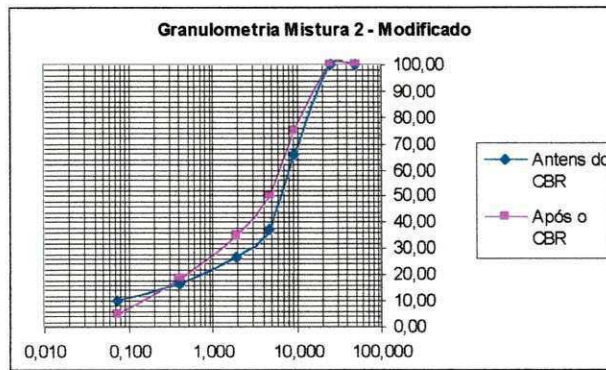


Figura 53: Curvas granulométricas da mistura, comparando a mesma antes e após os ensaios de C.B.R. (energia de compactação modificado).

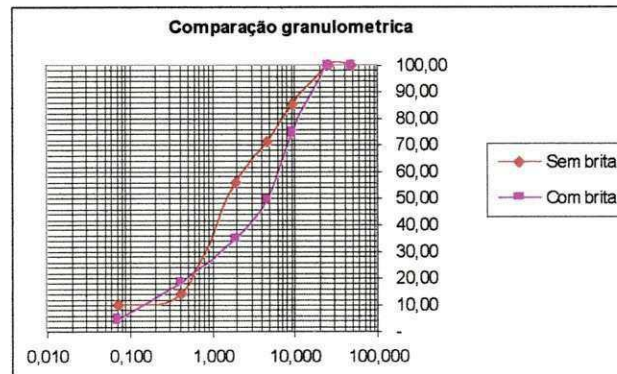


Figura 54: Comparação da granulometria das misturas, moldadas na energia de compactação modificada, com e sem a utilização de brita.

Conforme observado na curvas granulométrica acima, o desgaste do agregado graúdo com a introdução da brita diminui consideravelmente, porém isto não se converteu numa maior resistência da mistura.

6.0) BIBLIOGRAFIA:

BONFIM, Valmir.

Fresagem de Pavimentos asfálticos – São Paulo: Fazendo Arte, 2001 112p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. - Compactação Utilizando Amostras não Trabalhadas (DNER-ME 129/94)

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. – Análise Granulométrica por peneiramento. (DNER-ME 080/94).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. - Base Estabilizada Granulometricamente (DNER-ES 303/97)

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - Avaliação Subjetiva da Superfície de Pavimentos (DNER-PRO 07/78)

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - Avaliação Subjetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos (DNER PRO-08/78)

DOMINGUES, Felipe Augusto Aranha.

MID – Manual de Identificação de Defeitos de Revestimentos Asfálticos de Pavimentos. – São Paulo, 1993. 96p.

ANEXOS

PMF (Pré-misturado a Frio)

- **DER-PB:**

Materiais Utilizados:

- Areia

AREIA		
Peneira		%QUE PASSA
Pol.	mm	
1"	25,4	100,0
3/4"	19,1	100,0
1/2"	12,7	98,7
3/8"	9,5	97,8
nº4	4,8	93,5
nº10	2	80,5
nº200	0,075	0,7

$$\gamma_{\text{real}} = 2,064 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma_{\text{aparente}} = 1,420 \text{ kg/m}^3$$

- Brita

AREIA		
Peneira		%QUE PASSA
Pol.	mm	
1"	25,4	100,0
3/4"	19,1	100,0
1/2"	12,7	99,1
3/8"	9,5	49,6
nº4	4,8	6,8
nº10	2	1,6
nº200	0,075	0,6

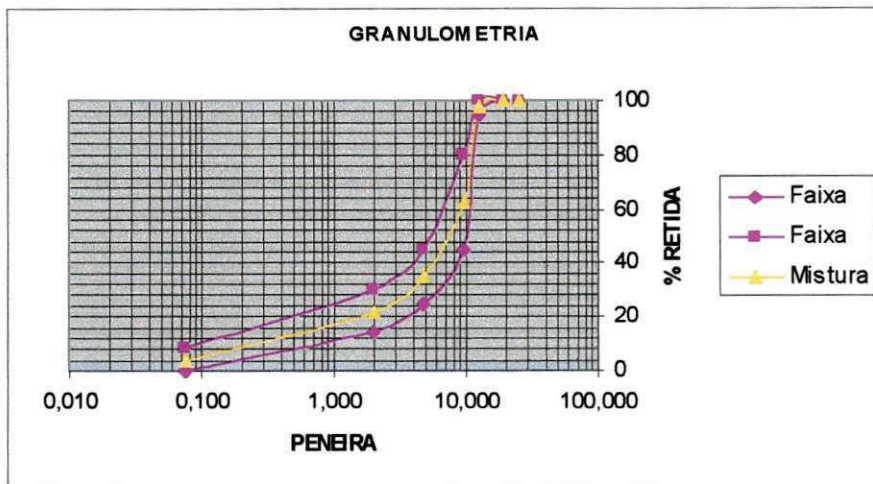
Faixa DNER (DNER-ES 317/97)

PENEIRAS		% Mínima Passando				
Pol.	mm	A	B	C	D	Tolerâncias da Faixa de Projeto
1"	25,4	100	-	100	-	± 7%
3/4"	19,1	75-100	100	95-100	100	± 7%
1/2"	12,7	-	75-100	-	95-100	± 7%
3/8"	9,5	30-60	35-70	40-70	45-80	± 7%
Nº. 4	4,8	10-35	15-40	20-40	25-45	± 5%
Nº. 10	2,0	5-20	10-24	10-25	14-30	± 5%
Nº. 200	0,075	0-5	0-5	0-8	0-8	± 2%
Betume Solúvel no CS ₂ %		4-6	4-6	4-6	4-6	± 2%

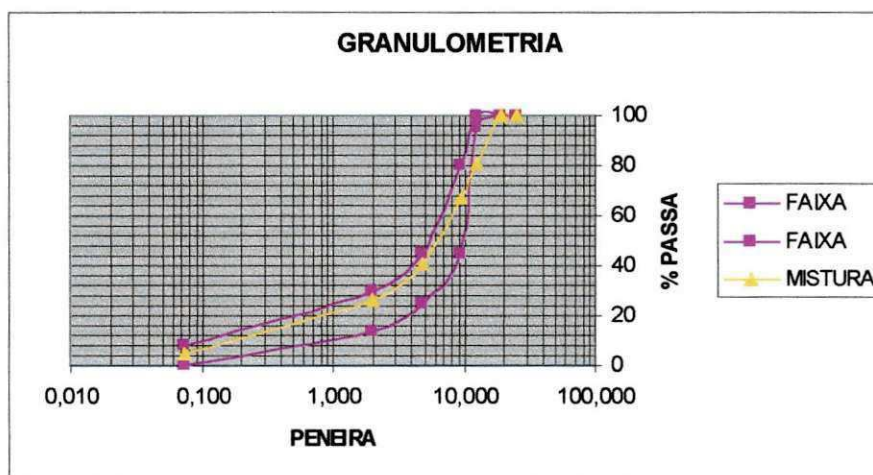
- Material Fresado:

Composições Propostas como alternativa:

GRANULOMETRIA DOS MATERIAIS & DA MISTURA 230/1								
Peneiras		FRESADO		AREIA		FILER		<u>MISTURA</u>
nº	mm	%peso=	0,93	%peso=	0,05	%peso=	0,02	<u>FINAL</u>
1"	25,400	100,00	93,0	100,00	5,3	100,00	2,0	100
3/4"	19,100	100,00	93,0	100,00	5,3	100,00	2,0	100
1/2"	12,700	81,1	75,4	100,00	5,3	100,00	2,0	82,7
3/8"	9,525	73,1	67,9	99,20	5,3	100,00	2,0	75,2
4	4,800	44,0	40,9	96,80	5,1	100,00	2,0	48,1
10	2,000	26,2	24,4	89,70	4,8	99,30	2,0	31,1
200	0,075	0,9	0,9	5,60	0,3	95,60	1,9	3,1



GRANULOMETRIA DOS MATERIAIS & DA MISTURA 073/1								
Peneiras		FRESADO	AREIA		FILER		MISTURA	
n°	mm	%peso=	0,94	%peso=	0,02	%peso=	0,04	FINAL
1"	25,400	100,00	94,0	100,00	2,0	100,00	4,0	100,0
3/4"	19,100	100,00	94,0	100,00	2,0	100,00	4,0	100,0
1/2"	12,700	79,91	75,1	100,00	2,0	100,00	4,0	81,1
3/8"	9,525	65,29	61,4	99,20	2,0	100,00	4,0	67,4
4	4,800	36,80	34,6	96,80	1,9	100,00	4,0	40,5
10	2,000	21,54	20,2	89,70	1,8	99,30	4,0	26,0
200	0,075	0,77	0,7	5,60	0,1	95,60	3,8	4,7



GRANULOMETRIA DOS MATERIAIS & DA MISTURA 073/1

Peneiras		FRESADO		AREIA		FILER		MISTURA
n°	mm	%peso=	0,85	%peso=	0,08	%peso=	0,07	FINAL
1"	25,400	100,00	85,0	100,00	8,0	100,00	7,0	100,0
3/4"	19,100	100,00	85,0	100,00	8,0	100,00	7,0	100,0
1/2"	12,700	88,37	75,1	100,00	8,0	100,00	7,0	90,1
3/8"	9,525	79,29	67,4	99,20	7,9	100,00	7,0	82,3
4	4,800	50,14	42,6	96,80	7,7	100,00	7,0	57,4
10	2,000	30,78	26,2	89,70	7,2	99,30	7,0	40,3
200	0,075	1,89	1,6	5,60	0,4	95,60	6,7	8,7

