

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
GEORGE RICARDO BRANDALIZE DE ALMEIDA

**COMPARAÇÃO DA GRANULOMETRIA DE MATERIAIS FRESADOS NAS
RODOVIAS PR-182 E PR-488**

CASCABEL - PR
2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
GEORGE RICARDO BRANDALIZE DE ALMEIDA

**COMPARAÇÃO DA GRANULOMETRIA DE MATERIAIS FRESADOS NAS
RODOVIAS PR-182 E PR-488**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Professor Orientador: Eng. Civil Esp. Lincoln Salgado.

CASCADEL - PR
2018

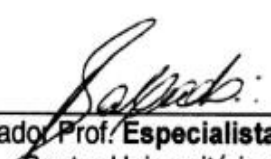
CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

GEORGE RICARDO BRANDALIZE DE ALMEIDA

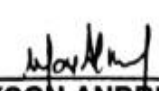
**COMPARAÇÃO DA GRANULOMETRIA DE MATERIAIS FRESADOS NAS
RODOVIAS PR-182 E PR-488**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Professor **Eng. Civil Esp. LINCOLN SALGADO**.

BANCA EXAMINADORA


Orientador Prof. **Especialista LINCOLN SALGADO**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Eng. Civil


Professora **Mestre ANDREA RESENDE SOUZA**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Eng. Civil


Professor **Mestre MAYCON ANDRÉ DE ALMEIDA**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Eng. Civil

RESUMO

Este é um estudo sobre o reaproveitamento de materiais fresados em pavimentos flexíveis. Isto é fundamental para racionalizar a utilização de materiais no âmbito da pavimentação, visando principalmente à reciclagem de materiais que ainda possuem capacidade de resistir a esforços e são descartados. Desejou-se determinar com esta pesquisa se esta reutilização possui viabilidade, se para o material fresado ser usado novamente é necessário adicionar algum outro elemento ou não, por exemplo. Para tanto foi realizada a coleta de amostras do material fresado, sendo estas posteriormente levadas até o laboratório do Centro Universitário FAG para a realização de ensaios experimentais, que forneceram subsídios para a análise granulométrica. Esta pesquisa visou principalmente à comparação da granulometria do material antes e após o processo de fresagem, entretanto também foram comparadas e estudadas as granulometrias provenientes de dois processos distintos de fresagem e com espessuras diferentes fresadas.

Palavras-chave: Reaproveitamento. Pavimento. Granulometria.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fresagem com <i>Bobcat</i> x fresagem com W1000.....	26
Figura 2: Seção transversal típica de pavimento flexível.....	14

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Massa mínima por amostra de ensaio.....	25
Tabela 2: Resultados de umidade das amostras.....	28
Tabela 3: Média das médias do espaço amostral.....	29
Tabela 4: Média das médias do espaço amostral.....	29
Tabela 5: Média das médias do espaço amostral.....	30
Tabela 6: Média das médias do espaço amostral.....	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAP –Cimento Asfáltico de Petróleo

CNT –Confederação Nacional do Transporte

DER-PR – Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

NBR –Norma Brasileira

PMF –Pré misturado a frio

PMFD –Pré misturado a frio denso

PMFSD –Pré misturado a frio semidenso

PMFA –Pré misturado a frio aberto

PR –Rodovia Estadual Paranaense

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	10
1.1 INTRODUÇÃO.....	10
1.2 OBJETIVOS.....	11
1.2.1 Objetivo Geral.....	11
1.2.2 Objetivos Específicos.....	11
1.3 JUSTIFICATIVA.....	11
1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	12
1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE.....	12
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	12
CAPÍTULO 2.....	13
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1.1 Pavimento.....	13
2.1.2 Agregados.....	15
2.1.2.1 Métodos de Classificação dos Agregados.....	15
2.1.4 Classificação dos Revestimentos Asfálticos.....	17
2.1.5 Fresagem.....	18
2.1.6 Classificação dos Tipos de Fresagem.....	19
2.1.7 Aplicações da Técnica de Fresagem.....	21
CAPÍTULO 3.....	23
3.1 METODOLOGIA.....	23
3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa.....	23
3.2 MATERIAIS.....	23
3.2.1 Material fresado.....	23
3.3 METODOLOGIA.....	24
3.3.1 Equipamentos.....	24
3.3.2 Amostragem.....	25
3.3.3 Ensaio.....	25
3.3.4 Cálculos e resultados.....	26
3.4 ANÁLISE DAS CURVAS GRANULOMÉTRICAS.....	26
CAPÍTULO 4.....	27
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	27

CAPÍTULO 5.....	32
5.1CONCLUSÕES.....	32
CAPÍTULO 6.....	33
6.1SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	33
REFERÊNCIAS.....	34
APÊNDICE A.....	35
APÊNDICE B.....	38
APÊNDICE C.....	41
APÊNDICE D.....	44
APÊNDICE E.....	47
APÊNDICE F.....	48

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

O levantamento anual da Confederação Nacional do Transporte – CNT realizado durante o ano de 2016 considerou de baixo conforto ao tráfego a grande maioria dos pavimentos do Brasil. Além disso, apontou que nas últimas décadas, o investimento em infra-estrutura rodoviária está muito inferior ao necessário para o país, causando uma grande perda de competitividade para o setor produtivo do Brasil, em se tratando de infra-estrutura de transportes.

O principal tipo de pavimento utilizado nas rodovias brasileiras é o flexível com revestimento asfáltico. Segundo Senço (1997), pavimentos flexíveis são aqueles que, devido às deformações ocorridas até certo ponto, não levam ao rompimento. São compostos basicamente de agregados minerais e ligantes betuminosos, sendo divididos por camadas, para que assim seja formada uma estrutura.

A pesquisa CNT de Rodovias, realizada anualmente pela CNT durante as últimas duas décadas, aponta para a necessidade de serem priorizados investimentos na infraestrutura rodoviária. A 20ª edição deste estudo sobre as condições das rodovias brasileiras, realizada durante o ano de 2016, ultrapassou os 100 mil quilômetros avaliados. Foram revelados dados sobre diversos fatores sobre as rodovias pesquisadas, quanto ao estado geral a pesquisa aponta que 58,2% da extensão das rodovias analisadas encontram-se em estado regular, ruim ou péssimo. A respeito da pavimentação, especificamente, este índice é de 48,3%, alcançado tanto pela má execução, pela falta de manutenção e quanto pela má fiscalização, que acaba permitindo o excesso de peso dos veículos de carga.

Como a grande maioria das rodovias pavimentadas do Brasil é composta de pavimento flexível, e estes geralmente são dimensionados para uma vida útil em torno de apenas 10 anos, temos uma grande quantidade de pavimento necessitando de reparos em um cenário de escassez de recursos para a manutenção de nossa malha rodoviária. Portanto, é de grande relevância verificar a viabilidade de se reutilizar materiais oriundos de fresagem, principalmente os que ainda possam ter capacidade de resistir a esforços e que, no entanto, vem sendo descartados.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a granulometria de material fresado por diferentes métodos, originário de revestimentos asfálticos envelhecidos ou danificados, para fins de reaproveitamento.

1.2.2 Objetivos específicos

- Comparar a granulometria do material antes e após o processo de fresagem.
- Analisar as curvas granulométricas provenientes de dois processos distintos de fresagem com espessuras diferentes fresadas.
- Classificar o material conforme o método de análise granulométrica.

1.3 JUSTIFICATIVA

O processo de recuperação de pavimentos no Brasil não consegue atender às necessidades do país nos quesitos quantidade e qualidade, devido a fatores como a grande extensão de malha rodoviária que requer serviços de restauração, a falta de fiscalização mais efetiva nas rodovias quanto ao excesso de peso nos caminhões, o subdimensionamento ou até mesmo má execução do serviço de recuperação. Além disso, com as crescentes dificuldades financeiras dos governos estaduais e Federal, são reduzidos os recursos alocados para investimentos em infraestrutura rodoviária, conforme reportagem da BBC NEWS Brasil de novembro de 2017, que afirma que o nível dos investimentos dos governos estaduais teria retornado ao patamar da década de 1990.

Assim, torna-se importante a adoção de medidas que otimizem o uso de matéria prima e recursos financeiros, na realização de melhorias no setor rodoviário. Uma delas é o reaproveitamento de materiais provenientes da fresagem de material asfáltico à frio, cuja análise granulométrica será realizada neste trabalho.

Esta reutilização de asfaltos abrange também a questão ambiental, pois existe uma preocupação crescente com a destinação final dos resíduos de fresagem. Mesmo com esse

apontamento conquistando espaço nas várias áreas da engenharia, constata-se que existe uma pequena quantidade de estudos específicos sobre esta reutilização.

A realização desta pesquisa justificou-se ainda pelo fato de que a fresagem, segundo Bonfim (2007), ser uma novidade na recuperação, manutenção e restauração de pavimentos, sendo que a sua primeira utilização no Brasil foi no ano de 1980, com o emprego de uma fresadora americana nas obras de restauração da rodovia Anchieta no estado de São Paulo.

Por isso pretendeu-se obter com esta pesquisa, informações que são importantes para o reaproveitamento desse material asfáltico atualmente descartado, sendo esclarecidas situações relacionadas à capacidade estrutural deste material, e a sua quantidade de ligantes betuminosos.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

É possível a reutilização de material oriundo da fresagem de pavimento asfáltico para misturas betuminosas?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

A possibilidade de reaproveitamento de materiais asfálticos se dá em função dos materiais removidos, pelos processos de fresagem possuírem curvas granulométricas singulares em razão do método empregado para a obtenção dos materiais.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada com material asfáltico fresado das Rodovias PR-182, trecho Toledo – Palotina e PR-488, trecho Diamante do Oeste – Santa Helena.

A análise granulométrica ocorreu no laboratório de materiais de construção civil do Centro Universitário FAG, posteriormente foram utilizados gráficos e tabelas para a interpretação dos dados obtidos restringindo a pesquisa à verificação e classificação dos grãos das amostras coletadas.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste Capítulo serão abordados os conceitos de pavimento e fresagem, detalhando os elementos que os compõem.

2.1.1 Pavimento

Bernucci *et.al.*(2007), define pavimento como uma estrutura composta de diversas camadas de espessuras finitas, construídas sobre a superfície final de terraplenagem, que possuem a função primordial de resistir aos esforços verticais e horizontais oriundos do tráfego de veículos e do clima, oferecendo assim, melhores condições de conforto e segurança para os usuários.

Ainda de acordo com a fonte citada anteriormente, essas estruturas são compostas de material granular, divididas em camadas dimensionadas para resistirem às solicitações de carga, em um período determinado, sem que surjam defeitos no pavimento.

Bernucci *et.al.*(2007), classifica os pavimentos rodoviários em dois tipos básicos:

- Pavimento rígido;
- Pavimento Flexível;

O pavimento rígido é comumente ligado ao cimento Portland. Conforme definido pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná (DER-PR), na especificação de serviço nº 35/05, o pavimento rígido possui uma camada constituída por placas de concreto de cimento Portland, não armadas ou eventualmente com armadura que não possua função estrutural, desempenhando ao mesmo tempo as funções de base e revestimento.

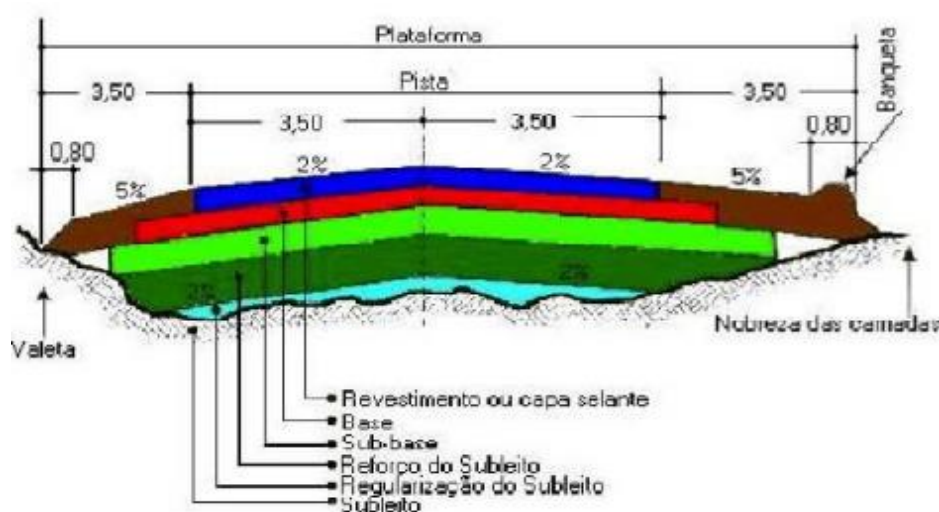
O pavimento flexível é constituído por concreto asfáltico, denominado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, o DNIT, como uma mistura usinada a quente, com características particulares, composta de agregado graduado, material de enchimento (*filler*), se necessário, e cimento asfáltico, sendo espalhado e compactado a quente.

2.1.1.1 Estruturas do Pavimento

Para Senço (1997), são considerados pavimentos flexíveis aqueles que mesmo sofrendo deformações, não levam ao seu rompimento. São projetados para oferecerem resistência à compressão e à tração na flexão, solicitações oriundas das deformações sob as rodas dos veículos, que levam a estrutura a deformar de maneira irreversível, acarretando o rompimento por fadiga.

Segundo o mesmo autor, os pavimentos flexíveis são basicamente constituídos de agregados minerais e ligantes betuminosos, divididos em camadas para a formação de uma estrutura. Assim determina-se um nome para cada camada, conforme apresentado na figura 2 a seguir:

Figura 1: Seção transversal típica de pavimento flexível



Seção Transversal Típica de Pavimento Flexível

Fonte: Lattersolo (2018).

- Sub-leito: Terreno de fundação onde se apoiará todo o pavimento.
- Leito: Superfície do sub-leito (em área) obtida por meio de terraplenagem ou de obra de arte conformada ao greide e seção transversal.
- Reforço do sub-leito: É a camada de espessura uniforme transversalmente e variável longitudinalmente, conforme o dimensionamento do pavimento, sendo parte integrante deste. Devido às circunstâncias técnicas e econômicas, será realizado sobre o sub-leito regularizado. Tem a função de melhorar as qualidades do sub-leito e regularizar a espessura da sub-base.

- Sub-base: Camada de complemento à base. Deve ser utilizada em casos em que não seja aconselhável executar a base diretamente sobre o leito regularizado ou sobre o reforço, por circunstâncias técnico-econômicas. Esta camada pode servir para regularizar a espessura da base.

- Base: Camada com o objetivo de oferecer resistência e distribuir ao sub-leito os esforços provenientes do tráfego e sobre a qual será construído o revestimento.

- Revestimento: Camada que deve possuir maior grau de impermeabilização possível é a que irá receber diretamente a ação do rolamento dos veículos.

- Acostamento: Parte da plataforma contígua à pista de rolamento, usado para o estacionamento de veículos, ao trânsito, em situações de emergência e ao suporte lateral do pavimento.

Ainda de acordo com Senço (1997), os pavimentos rígidos são aqueles de pouca deformação, e são constituídos de concreto de cimento. Seu rompimento ocorre devido à tração na flexão, quando está sujeito a deformações com origem no tráfego. Para o autor, as camadas constituintes das bases rígidas são as seguintes:

- Concreto de cimento: mistura dosada, composta de agregados, areia, cimento e água, de acordo com o projeto especificado.

- Macadame de Cimento: base executada com material graúdo, de diâmetro máximo de 50 mm e 90 mm, cujos vazios são eliminados utilizando um material de granulometria mais fina.

- Solo cimento: mistura de solo escolhido, cimento e água, em proporções previamente determinadas, dando forma a uma mistura uniforme e compacta, atendendo aos requisitos para funcionar como base de pavimentos.

2.1.2 Agregados

Agregados são materiais inertes, granulares, com forma e dimensões indefinidas, que possuem características apropriadas para comporem camadas ou misturas a serem utilizadas em qualquer tipo de obra (SENÇO, (1997)).

Já para Bernucci *et.al.*(2007), agregado é uma expressão que abrange areias, pedregulhos e rochas minerais em seu estado natural ou britadas em seu estado processado.

De acordo com a ABNT NBR 9935(2011), que determina a terminologia dos agregados, o termo agregado é empregado para um material de forma ou volume qualquer, quase sempre inerte, de dimensões e de propriedades compatíveis para produção de argamassas e concreto.

2.1.2.1 Métodos de classificação dos agregados

Segundo Bernucciet.al.(2007), o desempenho do agregado em serviço decorre das características geológicas da rocha de origem. O conhecimento dessas características depende de informações a respeito do tipo de rocha, das suas composiçõesquímica e mineralógica, da sua granulaçãoe tendência a se degradar, sobre seu grau de alteração, abrasão ou fratura sob tráfego e sobre o potencial de adesão do ligante asfáltico em sua superfície. Cada tipo de utilização demanda agregados com características específicas, sendo os agregados classificados quanto a sua natureza, tamanho e distribuição dos grãos.

2.1.2.1.1 Natureza

Os agregados com origem na natureza são classificados por Bernucciet.al.(2007), em natural, artificial e reciclado. Obtém-se o agregado de origem natural por meio de procedimentostradicionais de desmonte, escavação e dragagem em depósitos continentais, marinhos, estuários e rios. Como exemplo de materiais de origem naturaltemos os pedregulhos, as areias, os seixos e as britas. Suautilização na pavimentação ocorre nas formas e tamanhos em que se encontram na natureza, podendo passar por processos como a britagem. Os agregados derivados de rochas naturais são divididos em quatro grupos principais: ígneos, sedimentares, metamórficos, e pedregulhos.

Já os agregados de origem artificial,para Bernucciet.al.(2007), são resíduos de processos industriais, tais como a escória de alto-forno e de aciaria, ou já são fabricados com o objetivo de alto desempenho. Atualmente, os agregados artificiais mais utilizados na pavimentação são os diversos tipos de escória, subprodutos da indústria do aço. Quanto aos agregados de origem reciclada, segundo o autor os mesmos são obtidos por meio do reuso de diversos materiais. Esses materiais podem ser oriundos da reciclagem de pavimento asfáltico ou de resíduos de construção civil.

2.1.2.1.2 Quanto ao tamanho

Segundo Bernucciet.al.(2007), quanto ao seu tamanho são classificados em graúdo, miúdo e material de enchimento (*filler*). O primeiro é de dimensões maiores do que 2,0mm, retido na peneira nº 10, os principais exemplos são as britas, cascalhos e seixos. O segundo tem dimensão maiorque 0,075mm e menor que 2,0mm, é retido na peneira de nº 200, mas que passa na abertura nº 10. São as areias e o pó de pedra. Já o terceiro passa na peneira nº 200.

2.1.3.3 Granulometria dos grãos

Bernucciet.al.(2007),considera a distribuição granulométrica dos agregados como uma de suas principais características que realmente influenciam o comportamento dos revestimentos asfálticos. Nas misturas asfálticas a distribuição granulométrica do agregado exerce influência sobre praticamente todas as propriedades importantes, incluindo rigidez, estabilidade, durabilidade, permeabilidade, trabalhabilidade, resistência à fadiga e à deformação permanente, resistência ao dano por umidade induzida.

Segundo Senço (1997), para se determinar a curva granulométrica dos agregados deve ser seguido o mesmo procedimento, exceto o de sedimentação, utilizado para os solos. Procura-se uma curva, em ordem decrescente de diâmetro de grãos, calculando as proporções das frações de agregado graúdo, fino e (*filler*) ou material de enchimento.

Geralmente a distribuição granulométrica é realizadapor meio de uma análise por peneiramento. Esta acontece pelo fracionamento de uma amostra seca de agregado, usando uma série de peneiras com aberturas de malha progressivamente menores, determinando e comparando a massa da fração de partículas retidas em cada peneira com a massa total da amostra, deve-se expressar a distribuição como porcentagem em massa em cada tamanho de malha de peneira (BERNUCCIet.al., 2007).

2.1.4 Classificações dos revestimentos asfálticos

Bernucciet.al.(2007) também classificaos revestimentos asfálticos, sendo especificados de acordo com o local onde serão empregados, o tipo de material betuminoso utilizado e o tipo de usinagem da mistura, conforme a seguir:

2.1.4.1 Pré-Misturado a frio (PMF)

O pré-misturado a frio, segundo o DER/PR, é uma mistura executada à temperatura ambiente, constituída por agregado mineral e ligante asfáltico, espalhada e compactada a frio. São classificados pela faixa granulométrica adotada, podendo ser densos (PMFD), semidensos (PMFSD) e abertos (PMFA).

2.1.5 Fresagem

A origem do termo fresagem evoca a uma técnica de desbaste ou corte de metais, ou outras peças, por meio de uma engrenagem motora. Desta técnica surgiu o termo “*millingmachine*”, denominando os equipamentos de fresagem de parte de alguma estrutura (BONFIM, 2007).

De acordo com Esteves (2014), a fresagem é uma técnica frequentemente aplicada na restauração de pavimentos deteriorados, que consiste em remover a camada de desgaste, ou seja, a camada superficial de um pavimento betuminoso. Também é utilizada em ações de aplicação de reforço ou de reconstrução total do pavimento através de processos de reciclagem. Nestas situações, a fresagem chega a maiores profundidades.

Bonfim (2007), afirma que a fresagem com foco na restauração de pavimentos, acabou dando origem a dois tipos de equipamentos e procedimentos próprios para este objetivo, conforme a seguir: O primeiro deles, o “*coldmillingmachine*”, realiza o corte da estrutura por meio simples abrasivo; já o segundo é um processo a quente, que usa o pré-aquecimento da estrutura para facilitar o corte da mesma. Assim, a fresagem do pavimento pode ocorrer de duas formas quanto à temperatura: tanto a frio, quanto a quente.

O autor detalha estes dois modos de fresagem, como vemos a seguir:

- Fresagem a frio: o processo é executado em temperatura ambiente, não havendo o pré-aquecimento do pavimento. Embora exista um aquecimento, em virtude da energia liberada pelo impacto dos dentes de corte no pavimento no decorrer da fresagem, o mesmo é considerado desprezível. Ainda na fresagem a frio acontece a quebra de uma parcela dos agregados na profundidade de corte.

- Fresagem a quente: é realizado o pré-aquecimento do revestimento. Entretanto trata-se de uma escarificação, ocorrendo uma espécie de arranhões na camada, pois a mesma possui baixa resistência ao corte, já que a sua estrutura encontra-se aquecida. Nesse tipo de fresagem,

não há alteração significativa granulometria do material, sendo gerada apenas a sua desagregação, permitindo assim, a mistura com o material novo oriundo de usina de asfalto.

A partir disso o autor citado conceitua a fresagem de pavimentos como sendo o corte ou desbaste de uma ou mais camadas do pavimento, com espessura determinada previamente, por meio de procedimento mecânico executado a quente ou a frio, utilizado com intervenção objetivando a restauração de pavimentos.

2.1.6 Classificação dos tipos de fresagem

De acordo com Bonfim (2007), a fresagem de pavimentos é classificada quanto à espessura de corte e à rugosidade resultante na pista. Quanto à espessura de corte, pode ser superficial, rasa ou profunda, já no quesito rugosidade, é dividida em fresagem padrão, fresagem fina e microfresagem. Esta segunda classificação depende do tipo de cilindro utilizado na execução da fresagem e da velocidade de operação. Com a evolução dos cilindros fresadores, hoje há uma maior variedade deles à disposição no mercado, com menores espaçamentos entre os dentes, maximizando a aplicabilidade dos equipamentos de fresagem.

2.1.6.1 Fresagem superficial

Também denominada como fresagem de regularização, essa modalidade é destinada somente à reparação de defeitos existentes na superfície do pavimento. Portanto, pode ser desobrigado o consecutivo recapeamento da pista, tendo em vista que a textura obtida possibilita o rolamento de modo seguro, porém de maneira desconfortável. Não deve haver a dispensa de recapeamento em casos onde a fragmentação do material remanescente ocasione a formação de buracos na pista (BONFIM, 2007)

Esteves (2014), afirma que a maioria das operações de fresagem de regularização melhora a textura da superfície da estrada (macrotextura) e da superfície exposta do agregado (microtextura). Sendo a fresagem utilizada também para o tratamento de defeitos como exsudação e deformações plásticas, melhorando as condições de trafegabilidade.

2.1.6.2 Fresagem rasa

Conforme Bonfim (2007), a fresagem rasa geralmente chega somente às camadas superiores do pavimento, podendo alcançar algumas vezes, a camada de ligação. Na maioria das situações, esse tipo de procedimento tem uma profundidade média de corte em torno de cinco centímetros. A utilização deste procedimento se dá na reparação de defeitos funcionais e em remendos superficiais, sendo executado principalmente nas vias urbanas, em locais onde se pretende manter o alinhamento do pavimento com relação aos mecanismos de drenagem superficial e obras de arte correntes. A fonte cita ainda que devido às restrições financeiras para intervenções em pavimentos das rodovias, tanto estaduais como federal, os técnicos rodoviários vêm usando essa ferramenta como forma de assegurar a qualidade ao rolamento para os usuários das vias, em condições econômicas razoáveis, proporcionando o restabelecimento de estados funcionais aos pavimentos.

Esteves (2014), explica que a textura resultante da fresagem aumenta a ligação ou a resistência ao cisalhamento entre o antigo revestimento e a camada de revestimento.

2.1.6.3 Fresagem profunda

A fresagem profunda é aquela em que o corte alcança níveis consideráveis, podendo chegar não somente até a camada de revestimento, mas também às camadas de ligação, às de base e até a sub-base do pavimento. Essa é uma técnica em geral aplicada nas intervenções com foco no aspecto estrutural, tanto para recomposição da estrutura do pavimento, quanto para a reciclagem e integração do revestimento à base (BONFIM, 2007).

Quanto ao quesito funcionalidade, objetivando especialmente a segurança e o restabelecimento das condições plenas de operação dos mecanismos de drenagem superficial, esta técnica é usada para corrigir o perfil original das vias. Acaba sendo um procedimento recomendado especialmente para a execução de pequenos reparos para eliminação da degradação superficial (ESTEVES, 2014).

2.1.6.4 Fresagem padrão

Foi inserida primeiramente no mercado, classificada como fresagem padrão (*standard*) a fresagem derivada do cilindro originalmente disponibilizado nos equipamentos. O

espaçamento lateral entre os dentes de corte possui cerca de 15 milímetros. Este tipo de fresagem é aplicado no desbaste de uma camada definida em projeto, pretendendo a subsequente aplicação de nova camada de revestimento, segundo BONFIM (2007).

2.1.6.5 Fresagem fina

Iniciou-se a fresagem fina (*fine milling*) como consequência do emprego de cilindros fresadores com menor distância lateral, aproximadamente oito milímetros, entre os dentes de corte, resultando em sulcos menores e diminuindo rugosidade na pista, o que permitiu esta nova classificação. Esta técnica é frequentemente empregada na regularização das vias, por propiciar melhores condições de tráfego para os usuários. Em algumas situações, neste tipo de ação, pode ser desnecessário o futuro recapeamento da pista BONFIM (2007).

2.1.6.6 Microfresagem

A microfresagem decorre da fresagem com cilindro equipado com dentes de corte dispostos lateralmente com espaçamento entre dois e três milímetros, segundo Bonfim (2007). O procedimento se baseia na retirada de uma camada mínima do revestimento, com o objetivo de adequar o perfil longitudinal ou de retirar faixas de sinalização horizontal das pistas. Na microfresagem, a execução de nova camada de revestimento é completamente desnecessária.

Bonfim (2007) afirma também que inicialmente os cilindros de microfresagem eram somente para equipamentos de pequeno porte, e os dentes de corte eram de dimensões inferiores em comparação com os dentes usados nas demais modalidades de fresagem.

2.1.7 Aplicações da técnica de fresagem

Dependendo de cada situação, é aplicada uma técnica de fresagem específica, seja para a resolução de defeitos superficiais ou estruturais, para a necessidade de se fresar uma área descontínua, ou contínua de toda a pista ESTEVES (2014).

O surgimento do processo de fresagem foi fundamental para os serviços de restauração de pavimentos, devido especialmente a sua agilidade e sua fácil utilização, viabilizando a execução de reparos apenas nos locais em que realmente eles se fazem necessários. A fresagem permite um grande número de aplicações que, apesar de serem semelhantes, possuem suas particularidades, sendo usada cada qual em uma situação BONFIM (2007).

2.1.7.1 Fresagem para correção de defeitos superficiais

Ainda de acordo com Bonfim (2007), a fresagem pode ser empregada na reparação de defeitos da superfície dos revestimentos, não se limitando à fresagem para a correção de deformações plásticas e exsudações (fenômeno de subida da água existente na composição para a superfície do pavimento).

2.1.7.2 Fresagem de áreas descontínuas

Para Bonfim (2007), esta modalidade é baseada na execução de fresagem de áreas de comprimento e largura variáveis e, frequentemente, atingindo a largura total de uma ou mais faixas de rolamento. Na grande maioria dos serviços esta aplicação acontece nas faixas em que o pavimento tem maior solicitação de esforços.

2.1.7.3 Fresagem contínua de toda a pista

Este procedimento é empregado geralmente em locais onde é necessário manter as cotas do greide após o recapeamento, eliminar problemas de oxidação ou em pavimentos que apresentam elevado desgaste superficial. Ainda serve para minimizar os efeitos de reflexões de trincas do pavimento remanescente à nova camada asfáltica e até mesmo para acabar com defeitos como exsudações e deformações plásticas, que porventura existam na camada de revestimento asfálticoBONFIM (2007).

2.1.7.5 Fresagem para a correção da inclinação do pavimento

Modalidade de fresagem que corrige ou altera a inclinação do pavimento existente longitudinalmente ou transversalmente. Normalmente os locais e espessuras de corte são determinados realizando um levantamento topográfico e seguem o previsto no projeto. Essa modalidade é frequentemente aplicada em projetos de duplicação de estradas e nessas situações a fresagem do pavimento pode reduzir os custos da obra, levando em consideração as adequações geométricas necessárias, segundo BONFIM (2007).

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa

Trata-se de uma coleta de amostras de material fresado das Rodovias PR-182, trecho Toledo – Palotina e PR-488, trecho Diamante do Oeste – Santa Helena.

Foram realizados ensaios experimentais com estas amostras, utilizando o laboratório do Centro Universitário FAG, assim obteve-se subsídios para posterior análise granulométrica, que permitiu uma comparação da granulometria do material antes e após o processo de fresagem.

3.2 MATERIAIS

3.2.1 Coleta e preparação das amostras

A amostra foi coletada a campo, atendendo ao item 4.3.4 do procedimento prescrito na DNER – PRO 120/97, conforme a seguir indicado:

– Amostragem em veículos - Retirar amostras da carga com pá ou enxada;

a) A superfície da área da carga deve ser dividida em seis sub-áreas, formadas por interseção de uma linha mediana, traçada no sentido do comprimento do veículo, com duas linhas transversais que a divida em partes iguais. Retirar de uma só vez amostras da superfície de cada uma das sub-áreas.

A amostra foi preparada segundo a DNER – PRO 120/97, as amostras embaladas em caixas de madeira ou sacos de lona, e remetidas ao laboratório, devidamente identificadas e acompanhadas de ofício, passando assim por um processo de quarteamento para utilização.

Foi necessário, afim de evitar coesão entre as partículas granulares em razão de umidade, determinar o teor de umidade da amostra, o que poderia também interferir na distribuição granulométrica, pois esta se dá em função do peso retido em cada peneira.

Para descobrir a umidade do material fresado, foi separado as amostras e colocadas em estufa com temperatura variando de 105° C a 110° C por 24 horas, ou até obter peso constante da amostra.

Posteriormente foi extraído o betume da amostra, A Extração de betume foi realizada de acordo com a norma do DNIT ME 053/94, onde que foi realizado o procedimento descrito abaixo para obtenção da porcentagem de betume:

- Colocou-se a mistura betuminosa no recipiente e deixa-se em estufa a 100° C – 120° C, por uma hora. Retira-se e desmancham-se os grumos com a colher. Quarteia-se a seguir a mistura até obter-se uma amostra de cerca de 100 g.

a) A amostra é pesada no interior do prato do extrator de betume. Coloca-se a seguir o papel filtro, em posição, no prato centrifugador e atarraxa-se firmemente a tampa.

b) O prato é colocado no interior do aparelho, o bécher vazio sob o tubo de escoamento, e despeja-se no interior do prato 150 ml de solvente. Espera-se cerca de 15 minutos e aciona-se o aparelho.

c) De início o prato é acionado suavemente, aumentando-se a velocidade gradativamente, até que a solução de betume e solvente venha a escoar-se.

d) Quando se esgotar a primeira carga de solvente, o prato com o agregado nele existente e o papel de filtro, sem a tampa, é colocado na estufa, de 80° C a 100° C, até constância de peso, quando o solvente for tetracloreto de cloreto.

f) Quando o solvente for benzol, depois de esgotada a ultima carga, retira-se o prato do aparelho, é destampado e deixado a temperatura ambiente até que a maior parte do solvente tenha se evaporado. Após o que é colocado na estufa, de 80° C a 100° C, até a constância de peso.

g) O agregado assim recuperado, depois de seco será pesado. O peso da amostra antes do ensaio menos o do agregado recuperado, dá o peso do betume extraído.

3.3 MÉTODOS

3.3.1 Equipamentos

Conforme o que está disposto na norma rodoviária de método de ensaio 083/98 do DNIT, para a realização do peneiramento, que é o procedimento a ser realizado para a determinação da composição granulométrica de agregados graúdos e miúdos para concreto, são necessários os seguintes equipamentos: agitador mecânico de peneiras, peneiras de malhas quadradas, balança com capacidade de 20 kg sensível a 1g, estufa com dimensões apropriadas -capaz de manter a temperatura dos agregados em torno de 110°C- escovas

apropriadas para limpeza de peneiras, repartidores de amostra e tabuleiros metálicos com dimensões de 50 cm x 30 cm x 6 cm.

3.3.2 Amostragem

A mesma norma do DNIT mencionada no item anterior determina que após a coleta da amostra de campo, a mesma seja reduzida por quarteamento, ou por meio de repartidores de amostra, nas quantidades indicadas a seguir na tabela 1:

Tabela 1: Massa mínima por amostra de ensaio

Dimensão máxima característica do agregado (mm)	Massa mínima da amostra de ensaio (kg)
Agregados miúdos: 4,8	1
Agregados graúdos: 9,5	5
19	7
25	10
38	15
50	20

Fonte: DNIT (1998).

3.3.3 Ensaio

Ainda seguindo os termos da norma rodoviária de método de ensaio 083/98 do DNIT, foi realizado o ensaio de peneiramento mecânico, sendo descartado o método manual, devido a sua menor praticidade em ser realizado. Para isto, foram seguidas as etapas abaixo:

- Secagem da mostra de ensaio em estufa a uma temperatura de 110°C, sendo toleráveis temperaturas entre 105°C e 115°C.
- Após limpeza das peneiras as mesmas foram encaixadas no agitador de peneiras, formando um único conjunto com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo.
- Colocou-se quantidade de amostra sobre a peneira superior do conjunto, de maneira a se evitar a formação de camada espessa de material sobre qualquer das peneiras. Nesta etapa foi considerado o teor de materiais pulverulentos, que são gerados durante o processo de trituração de rochas para a produção de brita para o cálculo da composição granulométrica.

- Realização de peneiramento na série de peneiras especificadas ao caso pertinente, pela agitação mecânica do conjunto, sendo continuado até que não passasse mais do que 1% da massa total da amostra em qualquer peneira, durante um minuto.

- Em seguida, foi pesado com aproximação de 0,1% sobre a massa da amostra total o material retido em cada peneira, juntamente com a porção que possa ter ficado nas malhas, sendo esta retirada com uma escova apropriada. Quanto ao somatório de todas as massas retidas, este não deve diferir mais que 0,3% da massa seca depositada no conjunto de peneiras com relação ao do início do ensaio.

3.3.4 Cálculos e resultados

De acordo com a mesma norma mencionada nos itens anteriores, para a realização dos cálculos da granulometria, são somadas as massas retidas em cada peneira, comparando este total com a massa inicial da amostra seca, e no caso de se obter diferença superior a 0,5%, será repetido o ensaio. Após, foram realizadas as seguintes etapas:

- Cálculo da porcentagem de massa retida em cada peneira em relação ao total da amostra seca.

- Cálculo do percentual acumulado de material seco retido nas peneiras, por meio da soma da porcentagem retida na peneira com as porcentagens retidas naquelas de aberturas maiores.

- Cálculo do percentual de material seco, passando em cada peneira e subtraindo de 100% a porcentagem acumulada em cada peneira.

Para a realização destes cálculos e posterior análise de dados, não foi necessário a utilização de *softwares* específicos, apenas de planilhas desenvolvidas em *Excel*.

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

Foram analisadas as curvas granulométricas e comparadas em função do tipo de processo de fresagem, além de classificado o material conforme o método de análise granulométrica.

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uma das maiores dificuldades em se reaproveitar o material proveniente de processos de fresagem a frio é estabelecer se o mesmo se enquadra em uma composição granulométrica. Esta dificuldade ocorre devido à existência de diversos fatores que podem influenciar nesta granulometria, como a quantidade de ligante betuminoso na mistura, tipo, faixa e vida remanescente do material fresado, temperatura ambiente, tipo de tráfego incidente sobre o pavimento, grau de compactação, entre outros fatores.

Pela própria delimitação, foram ensaiados materiais de foram coletados por dois métodos diferentes de fresagem a frio em duas rodovias distintas, utilizando a fresadora de asfalto a frio Wirtgen W 1000 L e a fresadora de asfalto para *Bobcat*. O que diferencia a estas duas fresadoras é a proximidade dos bits de fresagem, sendo que na *Bobcat* estes bits estão mais próximos, gerando assim um material fresado com granulometria mais fina. A figura 1 mostra os dois equipamentos promoendo a fresagem dos pavimentos.

Figura 1: Fresagem com *Bobcat* x fresagem com W-1000.



Fonte: Salgado (2018)

4.1.1 GRANULOMETRIAS DOS MATERIAIS FRESADOS

A coleta de amostras de material fresado foram realizadas de acordo com procedimento prescrito na norma do DNER – PRO 120/97, inicialmente foram escolhidos aleatoriamente três locais para os postos de coleta em cada rodovia. Para a realização do estudo, foi coletada uma amostra de 250 kg de material fresado devidamente ensacado conforme determina o procedimento em questão.

Considerando diferentes locais e diferentes tipos de fresadoras utilizadas, os materiais foram recolhidos nas rodovias PR-182 e PR-488, em cada posto de coleta foram quarteadas as amostras e destas ensaiadas três das amostras quarteadas, mantendo a quarta para conferência caso o resultado de alguma delas se demonstrasse discrepante.

O teor de umidade das amostras foi determinado, onde foram separadas duas amostras de cada material fresado e colocado na estufa com temperatura variando de 105° C a 110° C, por 24 horas, os resultados apresentaram uma média de umidade de 0,90% para o material proveniente da PR – 182 e de 2,00% para o material proveniente da PR – 488. Resultados conforme tabela:

Tabela 2: Resultados de umidade das amostras

	PR-182		PR-488	
	Amostra <i>bobcat</i>	Amostra W-1000	Amostra <i>bobcat</i>	Amostra W-1000
Tara (g)	105,00	102,00	104,00	104,00
Tara + Amostra úmida (g)	7112,30	6850,00	6552,00	7125,50
Tara + Amostra seca (g)	7052,20	6788,00	6425,00	6988,60
Amostra úmida (g)	7007,30	6748,00	6448,00	7021,50
Amostra seca (g)	6947,20	6686,00	6321,00	6884,60
Umidade (g)	60,10	62,00	127,00	136,90
Umidade (%)	0,87%	0,93%	2,01%	1,99%
Média	0,90%		2,00%	

Fonte: Autor (2018).

Após, remoção do CAP, as amostras devidamente identificadas foram levadas a estufa por 24 horas, onde ao serem retiradas foi executado o ensaio de granulometria.

O espaço amostral é composto por três amostras de material fresado recolhidas em cada um dos três pontos de fresagem nas duas rodovias onde foi coletado o material asfáltico,

considerando ainda os dois tipos de fresadoras utilizados em cada ponto de fresagem. Assim tem-se o total de 36 amostras e 12 médias granulométricas para os espaço amostral.

O primeiro material ensaiado foi o proveniente da fresadora de asfalto a frio Wirtgen W 1000 L, retirado da PR – 488, onde se obteve os resultados apresentados na tabela 3, sendo as amostras que forneceram os dados para esta tabela, apresentadas no apêndice A.

Tabela 3: Média das médias do espaço amostral

Fresadora: W1000 Local: Rodovia PR-488				
ASTM	Média amostras1	Média amostras2	Média amostras3	Média das médias
3/4"	100,00	100,00	100,00	100,00
1/2"	72,10	75,10	74,90	74,03
3/8"	62,00	64,40	62,60	63,00
4	40,70	40,80	39,80	40,43
10	27,60	29,80	31,80	29,73
40	15,60	16,70	19,50	17,27
80	13,50	11,50	12,60	12,53
200	8,40	8,10	7,10	7,87

Fonte: Autor (2018).

O segundo material ensaiado foi o proveniente da fresadora de asfalto para *Bobcat*, retirado da PR – 488, onde se obteve os resultados apresentados na tabela 4, sendo as amostras que forneceram os dados para esta tabela, apresentadas no apêndice B.

Tabela 4: Média das médias do espaço amostral

Fresadora: <i>Bobcat</i> Local: Rodovia PR-488				
ASTM	Média amostras1	Média amostras2	Média amostras3	Média das médias
3/4"	100,00	100,00	100,00	100,00
1/2"	91,80	91,50	90,80	91,37
3/8"	80,10	80,30	79,70	80,03
4	60,50	62,80	62,40	61,90
10	39,60	39,50	37,20	38,77
40	23,00	23,70	24,90	23,87
80	11,70	12,30	13,10	12,37
200	8,50	8,80	7,40	8,23

Fonte: Autor (2018).

O terceiro material ensaiado foi o proveniente da fresadora de asfalto a frio Wirtgen W 1000 L, retirado da PR – 182, onde se obteve os resultados apresentados na tabela 5, sendo as amostras que forneceram os dados para esta tabela, apresentadas no apêndice C.

Tabela 5: Média das médias do espaço amostral

Fresadora: W1000 Local: Rodovia PR-182				
ASTM	Média amostras1	Média amostras2	Média amostras3	Média das médias
3/4"	100,00	100,00	100,00	100,00
1/2"	72,20	75,10	71,70	73,00
3/8"	63,50	62,70	63,90	63,37
4	37,50	40,20	40,90	39,53
10	29,00	27,90	29,70	28,87
40	18,80	17,90	15,80	17,50
80	14,00	14,70	11,00	13,23
200	4,80	8,40	6,90	6,70

Fonte: Autor (2018).

O quarto material ensaiado foi o proveniente da fresadora de asfalto para *Bobcat*, retirado da PR – 182, onde se obteve os resultados apresentados na tabela 6, sendo as amostras que forneceram os dados para esta tabela, apresentadas no apêndice D.

Tabela 6: Média das médias do espaço amostral

Fresadora: <i>Bobcat</i> Local: Rodovia PR-182				
ASTM	Média amostras1	Média amostras2	Média amostras3	Média das médias
3/4"	100,00	100,00	100,00	100,00
1/2"	90,60	93,50	91,20	91,77
3/8"	79,40	78,00	78,80	78,73
4	61,20	59,20	60,60	60,33
10	38,60	39,40	40,40	39,47
40	24,10	24,60	24,00	24,23
80	11,30	11,90	14,10	12,43
200	8,00	9,20	11,30	9,50

Fonte: Autor (2018).

Com as análises granulométricas efetuadas para as amostras coletadas em campo e conhecendo a granulometria do material aplicado e que foi posteriormente fresado, foi possível averiguar a diferença da granulometria em função do tipo de fresadora e a

comparação com o material primitivo, sendo a curva granulométrica da rodovia PR-488 encontrada no apêndice E, e a curva granulométrica da rodovia PR-182 no apêndice F.

Observa-se que a curva granulométrica representada em azul (material primitivo), é muito singular às curvas dos materiais oriundos dos processos de fresagem, independentemente do tipo de equipamento utilizado, percebe-se também que em ambos os casos houve alteração de granulometria, sendo que a fresadora *Bobcat* (curva em vermelho), apresentou uma granulometria mais fina, isto pode ser resultado do modo como os bits de fresagem estão dispostos no equipamento, bem como porque esta possui menor produção horária, conseqüentemente, deixando menos “torrões” ou partículas maiores no produto de sua fresagem.

A análise da granulometria da PR – 182 apresentou resultados muito próximos aos resultados da PR 488, assim a mesma situação granulométrica pode ser observada neste segundo caso, apresentado uma granulometria mais grossa (linha preta) da fresadora w-1000, provavelmente por sua produtividade, é claro que outros aspectos devem ser considerados como velocidade do equipamento, forma de distribuição do produto da fresagem no veículo até mesmo a forma de estocagem deste produto.

A granulometria obtida com o material fresado na rodovia PR-182 e na rodovia PR-488 permite que o material seja utilizado para reaproveitamento, sendo que em ambos os casos estudados a granulometria do material proveniente da fresadora bobcat apresentou-se com maior quantidade de finos. Isto pode ser resultado da velocidade de fresagem e da disposição dos *bits* de fresagem no equipamento.

CAPÍTULO 5

5.1 CONCLUSÕES

Para fim de utilização deste estudo na reutilização dos materiais, este mostrou-se eficiente, independente do trecho estudado dos materiais coletados e dos processos de fresagem utilizados, através da análise dos gráficos de distribuição granulométrica gerados, todos os materiais ensaiados são possíveis de serem utilizados em recomposição de pavimentos.

Realizando a fresagem em duas rodovias e utilizando dois tipos de fresadoras em cada uma delas, foram geradas quatro curvas granulométricas de material fresado, sendo todas elas semelhantes à curva granulométrica do material anteriormente utilizado para compor a superfície do pavimento.

Entretanto somente a informação da granulometria do material fresado com o seu enquadramento em uma faixa granulométrica, não é suficiente para viabilizar a reutilização, pois existem outros fatores inerentes ao material fresado e que são de vital importância em uma mistura betuminosa, sendo eles:

- A quantidade de Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) remanescente na mistura que ainda tenha capacidade de ligante betuminoso.
- A interferência ou não da quantidade de vida útil remanescente do pavimento na granulometria do material fresado, pois a rigor quanto mais novo o pavimento maior o poder adesivo dos materiais ligantes betuminosos utilizados.
- A avaliação dos custos do transporte dos materiais fresados dos locais de coleta até as usinas de reciclagem, e das usinas até os locais onde o material será empregado; ainda deve ser averiguado os custos totais para a reutilização do material fresado, colocando o mesmo como componente em composições de custo unitário.

As amostras se mostraram passivas de serem reaproveitadas, sendo que para reutilização, há, em ambos os casos necessidade de correção da faixa granulométrica.

Mais estudos devem confirmar estes resultados, e principalmente, diminuir o número de variáveis que dificultam a reutilização destes materiais.

O que é fato e não pode ser ignorado, é que em geral, estes materiais são descartados e sua reutilização vai de acordo com tudo o que a engenharia preconiza nos dias atuais em relação a sustentabilidade e reciclagem, além de ser atendida a questão da economicidade.

CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Analisar as quantidades de Cimento Asfáltico de Petróleo.
- Refazer a análise com materiais retirados um ano após a fresagem.
- Comparativo de material fresado com os mesmos equipamentos com velocidades distintas.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas técnicas. NBR 9935, 2011. Disponível em <<http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-9.935-Agragados-terminologia.pdf>> acesso em: 26abr.2017.

BBC NEWS Brasil. Disponível em < <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-41949948> > acesso em: 27jun.2018.

BERNUCCI, L. B.;MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobrás ABEDA, 2009.

BONFIM, V. **Fresagem de pavimentos asfálticos**. 3.ed. São Paulo: Exceção, 2007.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Especificação de serviço nº 159, 2011. Disponível em <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-servicos-es/dnit159_2011_es.pdf> acesso em: 10mai.2017.

ESTEVES, S. F. **Reciclagem de pavimentos betuminosos**. 2014. Dissertação(Mestrado Integrado em Engenharia Civil) –Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal. Disponível em <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/75363/2/32467.pdf>> acesso em: 01jul.2017.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Norma rodoviária de método de ensaio nº 083, 1998. Disponível em <<http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dner-me083-98.pdf>> acesso em: 10mai.2017.

LaterSolo. **Manual de projetos de estradas**. 2015. Disponível em <<http://www.latersolo.com.br/wp-content/uploads/2015/03/Constru%C3%A7%C3%A3o-de-Pavimentos.pdf>>

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação**.1.ed. São Paulo: Pini, 1997.

APÊNDICE A– GRANULOMETRIA RODOVIAPR-488

Média da granulometria das três amostras do primeiro ponto de coleta na Rodovia PR-488, utilizando a fresadora W1000.

GRANULOMETRIA MATERIAL FRESADO COM FRESADORA W1000

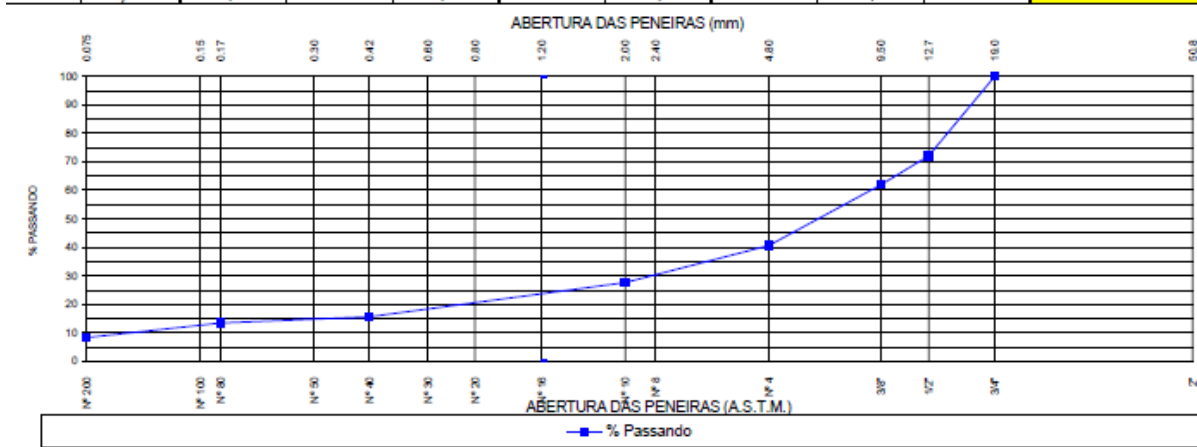
Data : 15/05/2010

Estudo: Projeto de Massa Asfáltica

Obs.: MATERIAL FRESADO EM 14/03/2018

LOCAL: PR - 488

PENEIRAS		AMOSTRA 1 Passando na peneira		AMOSTRA 2 Passando na peneira		AMOSTRA 3 Passando na peneira		MÉDIA Passando na peneira		GRANULOMETRIA
ASTM	mm	Gran.	OBS	Gran.	OBS	Gran.	OBS	Gran.	OBS	
3/4"	19,100	100,00		100,00		100,00		100,0		100,0
1/2"	12,700	72,40		71,92		72,07		72,1		72,1
3/8"	9,520	61,10		63,10		61,79		62,0		62,0
4	4,800	38,70		40,44		42,87		40,7		40,7
10	2,000	28,20		28,29		26,37		27,6		27,6
40	0,420	16,00		16,08		14,77		15,6		15,6
80	0,180	11,70		15,05		13,73		13,5		13,5
200	0,074	5,50		9,14		10,42		8,4		8,4



Fonte: Autor (2018).

Média da granulometria das três amostras do segundo ponto de coleta na Rodovia PR-488, utilizando a fresadora W1000.

GRANULOMETRIA MATERIAL FRESADO COM FRESADORA W1000

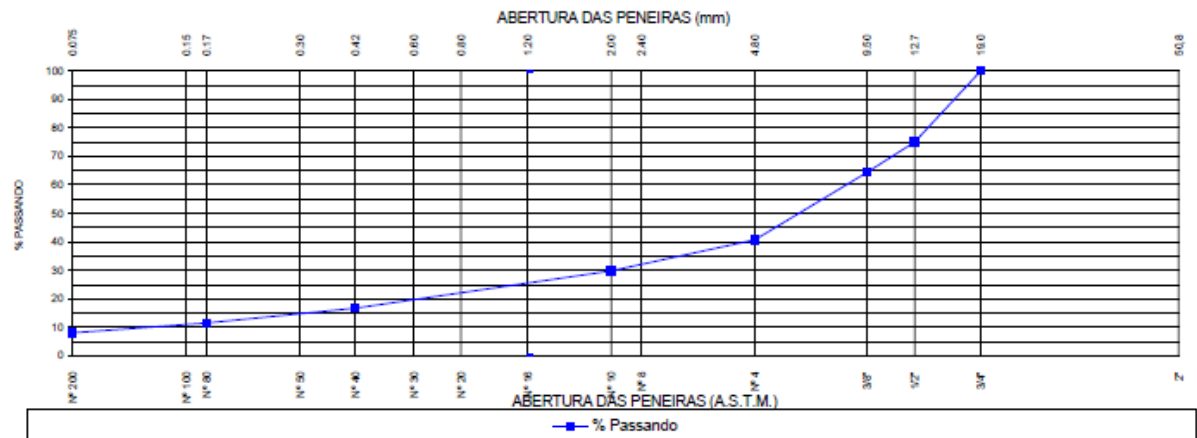
Data : 15/05/2010

Estudo: Projeto de Massa Asfáltica

LOCAL: PR - 488

Obs.: MATERIAL FRESADO EM 14/03/2018

PENEIRAS		AMOSTRA 1 Passando na peneira		AMOSTRA 2 Passando na peneira		AMOSTRA 3 Passando na peneira		MÉDIA Passando na peneira		GRANULOMETRIA
ASTM	mm	Gran.	OBS	Gran.	OBS	Gran.	OBS	Gran.	OBS	
3/4"	19,100	100,00		100,00		100,00		100,0		100,0
1/2"	12,700	72,40		75,19		77,72		75,1		75,1
3/8"	9,520	61,10		64,37		67,72		64,4		64,4
4	4,800	38,70		41,90		41,72		40,8		40,8
10	2,000	28,20		29,16		32,03		29,8		29,8
40	0,420	16,00		17,10		17,04		16,7		16,7
80	0,180	11,70		10,93		11,93		11,5		11,5
200	0,074	5,50		9,39		9,36		8,1		8,1



Fonte: Autor (2018).

Média da granulometria das três amostras do terceiro ponto de coleta na Rodovia PR-488, utilizando a fresadora W1000.

GRANULOMETRIA MATERIAL FRESADO COM FRESADORA W1000

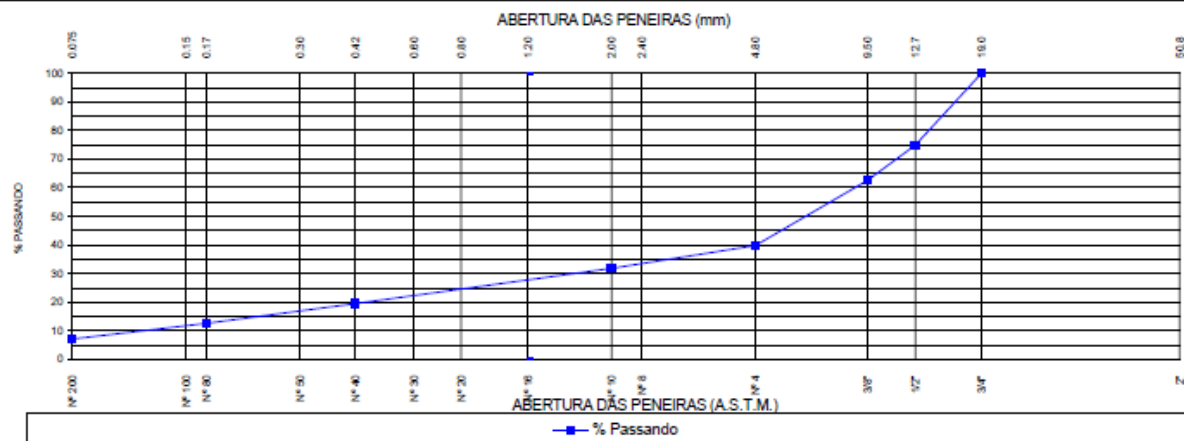
Data : 15/05/2010

Estudo: Projeto de Massa Asfáltica

LOCAL: PR - 488

Obs.: MATERIAL FRESADO EM 14/03/2018

PENEIRAS		AMOSTRA 1 Passando na peneira		AMOSTRA 2 Passando na peneira		AMOSTRA 3 Passando na peneira		MÉDIA Passando na peneira		GRANULOMETRIA
ASTM	mm	Gran.	OBS	Gran.	OBS	Gran.	OBS	Gran.	OBS	
3/4"	19,100	100,00		100,00		100,00		100,0		100,0
1/2"	12,700	72,40		74,94		77,31		74,9		74,9
3/8"	9,520	61,10		62,25		64,36		62,6		62,6
4	4,800	38,70		38,81		41,90		39,8		39,8
10	2,000	28,20		31,70		35,58		31,8		31,8
40	0,420	16,00		19,80		22,71		19,5		19,5
80	0,180	11,70		12,43		13,78		12,6		12,6
200	0,074	5,50		7,97		7,98		7,1		7,1



Fonte: Autor (2018).

APÊNDICE B– GRANULOMETRIA RODOVIA PR-488

Média da granulometria das três amostras do primeiro ponto de coleta na Rodovia PR-488, utilizando a fresadora *bobcat*.

GRANULOMETRIA MATERIAL FRESADO COM FRESADORA BOB CAT

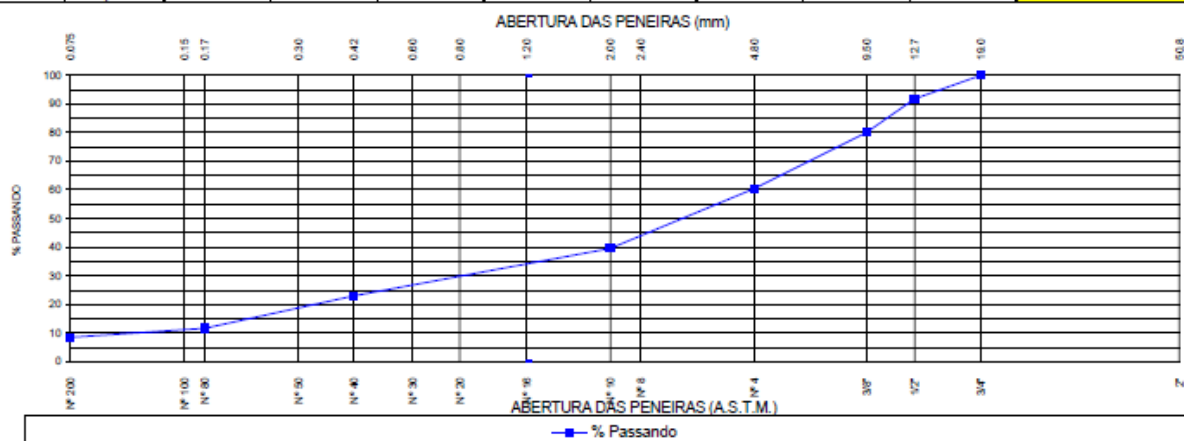
Data : 15/05/2010

Estudo: Projeto de Massa Asfáltica

LOCAL: PR - 488

Obs.: MATERIAL FRESADO EM 14/03/2018

PENEIRAS		AMOSTRA 1 Passando na peneira		AMOSTRA 2 Passando na peneira		AMOSTRA 3 Passando na peneira		MÉDIA Passando na peneira		GRANULOMETRIA
ASTM	mm	Gran.	OBS	Gran.	OBS	Gran.	OBS	Gran.	OBS	
3/4"	19,100	100,00		100,00		100,00		100,0		100,0
1/2"	12,700	89,90		91,58		93,87		91,8		91,8
3/8"	9,520	78,70		80,68		81,04		80,1		80,1
4	4,800	59,90		59,52		62,02		60,5		60,5
10	2,000	38,40		40,32		39,98		39,6		39,6
40	0,420	22,65		22,06		24,30		23,0		23,0
80	0,180	12,40		11,28		11,37		11,7		11,7
200	0,074	7,90		9,11		8,61		8,5		8,5



Fonte: Autor (2018).

Média da granulometria das três amostras do segundo ponto de coleta na Rodovia PR-488, utilizando a fresadora *bobcat*.

GRANULOMETRIA MATERIAL FRESADO COM FRESADORA BOB CAT

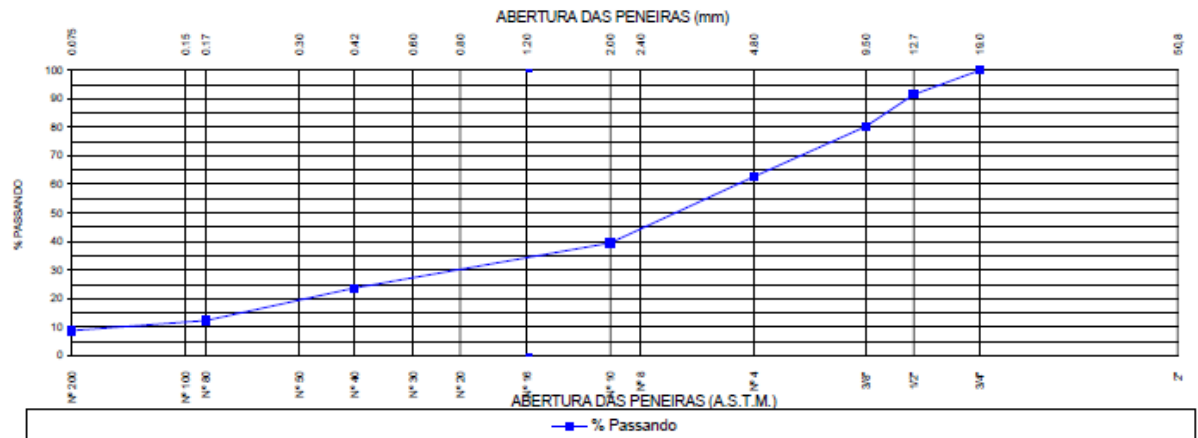
Data : 15/05/2010

Estudo: Projeto de Massa Asfáltica

LOCAL: PR - 488

Obs.: MATERIAL FRESADO EM 14/03/2018

PENEIRAS		AMOSTRA 1		AMOSTRA 2		AMOSTRA 3		MEDIA		GRANULOMETRIA
ASTM	mm	Passando na peneira		Passando na peneira		Passando na peneira		Passando na peneira		
		Gran.	OBS	Gran.	OBS	Gran.	OBS	Gran.	OBS	
3/4"	19,100	100,00		100,00		100,00		100,0		100,0
1/2"	12,700	89,90		92,90		91,72		91,5		91,5
3/8"	9,520	78,70		79,93		82,39		80,3		80,3
4	4,800	59,90		63,20		65,18		62,8		62,8
10	2,000	38,40		38,85		41,30		39,5		39,5
40	0,420	22,65		24,66		23,90		23,7		23,7
80	0,180	12,40		11,77		12,86		12,3		12,3
200	0,074	7,90		8,90		9,56		8,8		8,8



Fonte: Autor (2018).

Média da granulometria das três amostras do terceiro ponto de coleta na Rodovia PR-488, utilizando a fresadora *bobcat*.

GRANULOMETRIA MATERIAL FRESADO COM FRESADORA BOB CAT

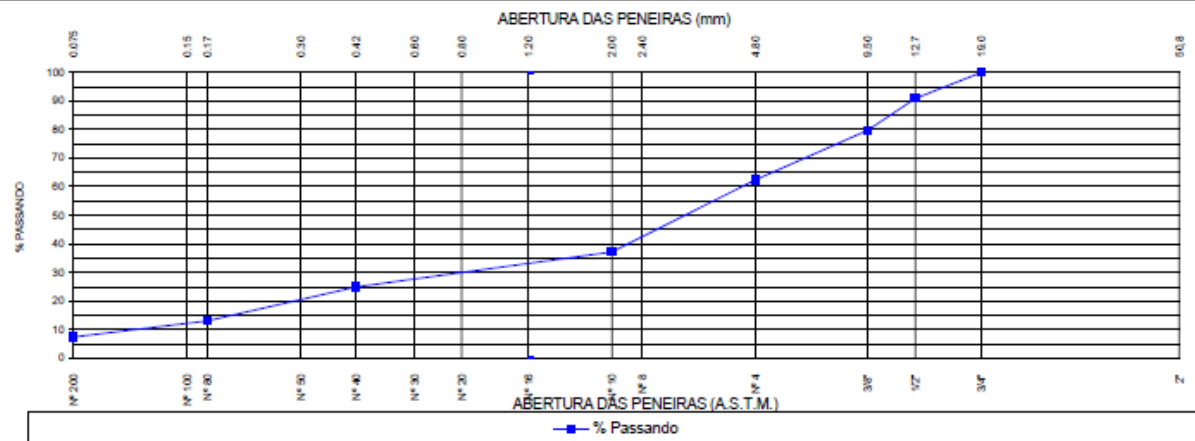
Data : 15/05/2010

Estudo: Projeto de Massa Asfáltica

LOCAL: PR - 488

Obs.: MATERIAL FRESADO EM 14/03/2018

PENEIRAS		AMOSTRA 1		AMOSTRA 2		AMOSTRA 3		MEDIA		GRANULOMETRIA
ASTM	mm	Passando na peneira		Passando na peneira		Passando na peneira		Passando na peneira		
		Gran.	OBS	Gran.	OBS	Gran.	OBS	Gran.	OBS	
3/4"	19,100	100,00		100,00		100,00		100,0		100,0
1/2"	12,700	89,90		91,79		90,82		90,8		90,8
3/8"	9,520	78,70		78,81		81,70		79,7		79,7
4	4,800	59,90		63,38		64,07		62,4		62,4
10	2,000	38,40		37,47		35,79		37,2		37,2
40	0,420	22,65		25,96		26,13		24,9		24,9
80	0,180	12,40		13,03		13,86		13,1		13,1
200	0,074	7,90		7,08		7,32		7,4		7,4



Fonte: Autor (2018).

APÊNDICE C – GRANULOMETRIA RODOVIA PR-182

Média da granulometria das três amostras do primeiro ponto de coleta na Rodovia PR-182, utilizando a fresadora W1000.

GRANULOMETRIA MATERIAL FRESADO COM FRESADORA W1000

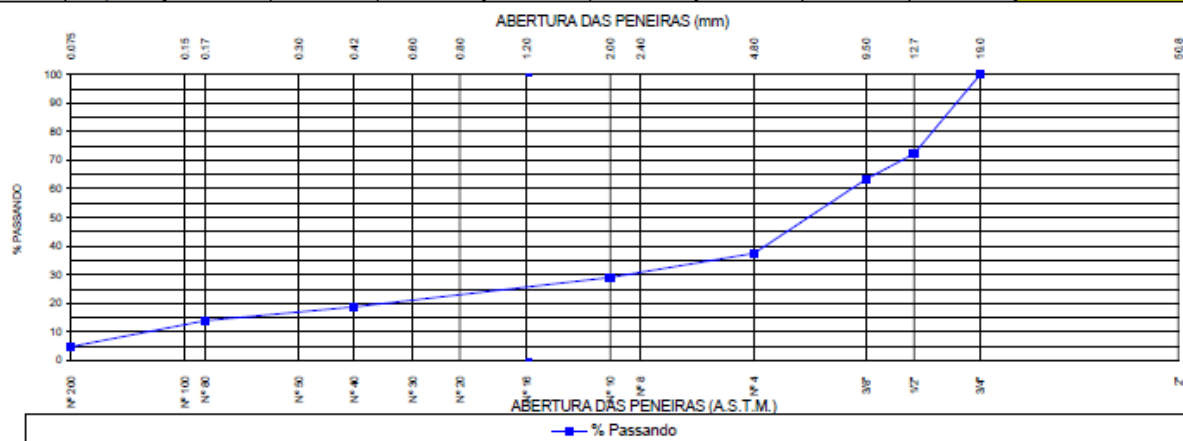
Data : 15/05/2010

Estudo: Projeto de Massa Asfáltica

Obs.: MATERIAL FRESADO EM 08/02/2018

LOCAL: PR - 182

PENEIRAS		AMOSTRA 1 Passando na peneira		AMOSTRA 2 Passando na peneira		AMOSTRA 3 Passando na peneira		MÉDIA Passando na peneira		GRANULOMETRIA
ASTM	mm	Gran.	OBS	Gran.	OBS	Gran.	OBS	Gran.	OBS	
3/4"	19,100	100,00		100,00		100,00		100,0		100,0
1/2"	12,700	72,40		72,78		71,57		72,2		72,2
3/8"	9,520	61,10		63,91		65,38		63,5		63,5
4	4,800	38,70		37,42		36,31		37,5		37,5
10	2,000	28,20		29,97		28,92		29,0		29,0
40	0,420	18,00		18,35		21,97		18,8		18,8
80	0,180	11,70		15,53		14,71		14,0		14,0
200	0,074	5,50		4,37		4,59		4,8		4,8



Fonte: Autor (2018).

Média da granulometria das três amostras do segundo ponto de coleta na Rodovia PR-182, utilizando a fresadora W1000.

GRANULOMETRIA MATERIAL FRESADO COM FRESADORA W1000

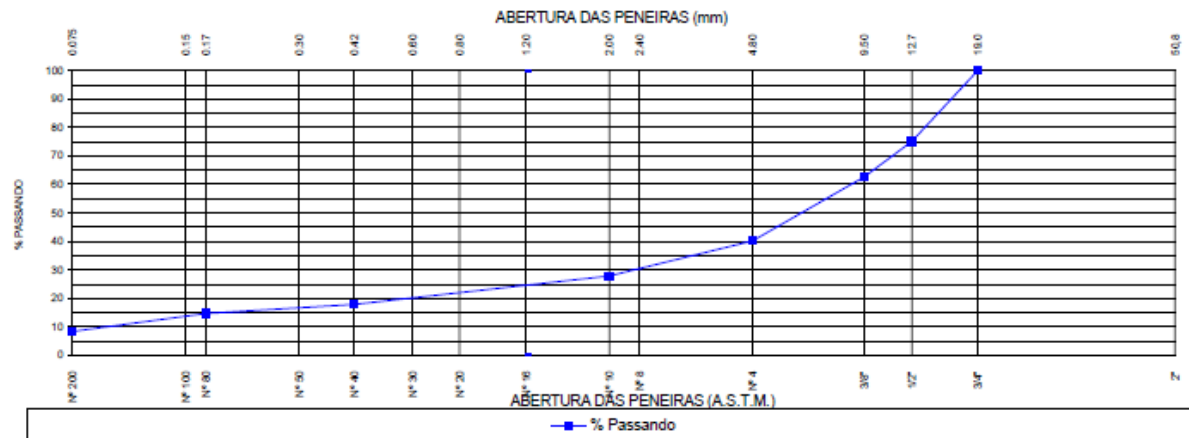
Data : 15/05/2010

Estudo: Projeto de Massa Asfáltica

LOCAL: PR - 182

Obs.: MATERIAL FRESADO EM 08/02/2018

PENEIRAS		AMOSTRA 1 Passando na peneira		AMOSTRA 2 Passando na peneira		AMOSTRA 3 Passando na peneira		MEDIA Passando na peneira		GRANULOMETRIA
ASTM	mm	Gran.	OBS	Gran.	OBS	Gran.	OBS	Gran.	OBS	
3/4"	19,100	100,00		100,00		100,00		100,0		100,0
1/2"	12,700	72,40		75,73		77,26		75,1		75,1
3/8"	9,520	61,10		62,21		64,73		62,7		62,7
4	4,800	38,70		41,93		40,04		40,2		40,2
10	2,000	28,20		27,70		27,70		27,9		27,9
40	0,420	16,00		19,30		18,40		17,9		17,9
80	0,180	11,70		15,08		17,37		14,7		14,7
200	0,074	5,50		8,98		10,65		8,4		8,4



Fonte: Autor (2018).

Média da granulometria das três amostras do terceiro ponto de coleta na Rodovia PR-182, utilizando a fresadora W1000.

GRANULOMETRIA MATERIAL FRESADO COM FRESADORA W1000

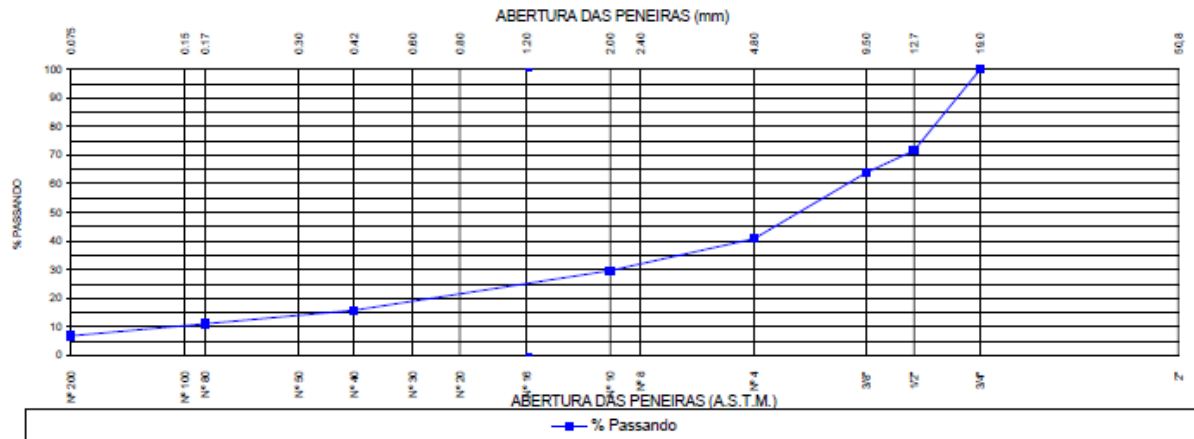
Data : 15/05/2010

Estudo: Projeto de Massa Asfáltica

LOCAL: PR - 182

Obs.: MATERIAL FRESADO EM 08/02/2018

PENEIRAS		AMOSTRA 1 Passando na peneira		AMOSTRA 2 Passando na peneira		AMOSTRA 3 Passando na peneira		MÉDIA Passando na peneira		GRANULOMETRIA
ASTM	mm	Gran.	OBS	Gran.	OBS	Gran.	OBS	Gran.	OBS	
3/4"	19,100	100,00		100,00		100,00		100,0		100,0
1/2"	12,700	72,40		70,85		71,70		71,7		71,7
3/8"	9,520	61,10		64,27		66,40		63,9		63,9
4	4,800	38,70		41,15		42,71		40,9		40,9
10	2,000	28,20		31,37		29,47		29,7		29,7
40	0,420	16,00		16,07		15,42		15,8		15,8
80	0,180	11,70		10,07		11,34		11,0		11,0
200	0,074	5,50		7,14		7,96		6,9		6,9



Fonte: Autor (2018).

APÊNDICE D – GRANULOMETRIA RODOVIA PR-182

Média da granulometria das três amostras do primeiro ponto de coleta na Rodovia PR-182, utilizando a fresadora *Bobcat*.

GRANULOMETRIA MATERIAL FRESADO COM FRESADORA BOB CAT

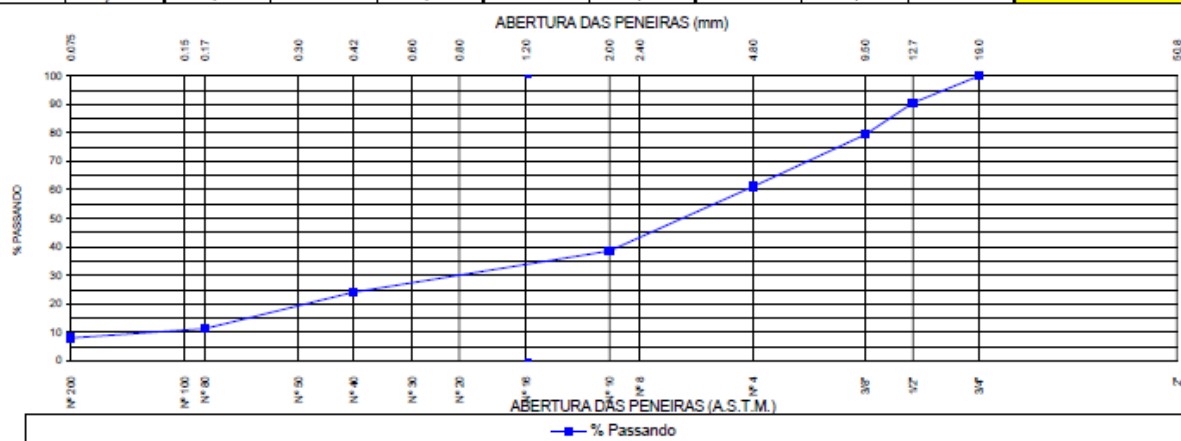
Data : 15/05/2010

Estudo: Projeto de Massa Asfáltica

Obs.: MATERIAL FRESADO EM 08/02/2018

LOCAL: PR - 182

PENEIRAS		AMOSTRA 1 Passando na peneira		AMOSTRA 2 Passando na peneira		AMOSTRA 3 Passando na peneira		MEDIA Passando na peneira		GRANULOMETRIA
ASTM	mm	Gran.	OBS	Gran.	OBS	Gran.	OBS	Gran.	OBS	
3/4"	19,100	100,00		100,00		100,00		100,0		100,0
1/2"	12,700	89,90		88,91		92,85		90,6		90,6
3/8"	9,520	78,70		79,80		79,76		79,4		79,4
4	4,800	59,90		62,22		61,38		61,2		61,2
10	2,000	38,40		37,23		40,03		38,6		38,6
40	0,420	22,65		25,60		24,03		24,1		24,1
80	0,180	12,40		10,92		10,49		11,3		11,3
200	0,074	7,90		7,53		8,64		8,0		8,0



Fonte: Autor (2018).

Média da granulometria das três amostras do segundo ponto de coleta na Rodovia PR-182, utilizando a fresadora *Bobcat*.

GRANULOMETRIA MATERIAL FRESADO COM FRESADORA BOB CAT

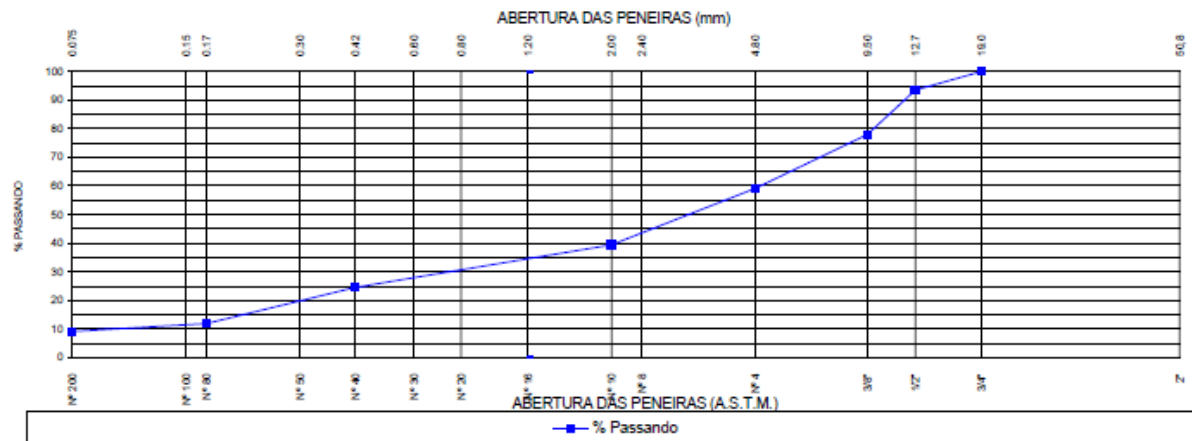
Data : 15/05/2010

Estudo: Projeto de Massa Asfáltica

LOCAL: PR - 182

Obs.: MATERIAL FRESADO EM 08/02/2018

PENEIRAS		AMOSTRA 1 Passando na peneira		AMOSTRA 2 Passando na peneira		AMOSTRA 3 Passando na peneira		MEDIA Passando na peneira		GRANULOMETRIA
ASTM	mm	Gran.	OBS	Gran.	OBS	Gran.	OBS	Gran.	OBS	
3/4"	19,100	100,00		100,00		100,00		100,0		100,0
1/2"	12,700	89,90		93,61		96,91		93,5		93,5
3/8"	9,520	78,70		77,24		78,16		78,0		78,0
4	4,800	59,90		58,97		58,62		59,2		59,2
10	2,000	38,40		38,25		41,54		39,4		39,4
40	0,420	22,65		26,50		24,59		24,6		24,6
80	0,180	12,40		11,87		11,56		11,9		11,9
200	0,074	7,90		10,79		8,88		9,2		9,2



Fonte: Autor (2018).

Média da granulometria das três amostras do terceiro ponto de coleta na Rodovia PR-182, utilizando a fresadora *Bobcat*.

GRANULOMETRIA MATERIAL FRESADO COM FRESADORA BOB CAT

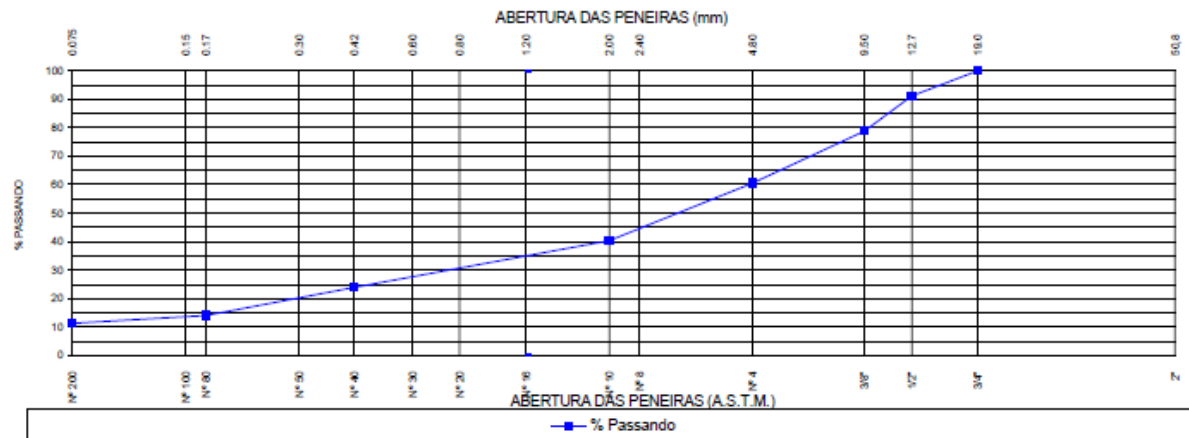
Data : 15/05/2010

Estudo: Projeto de Massa Asfáltica

LOCAL: PR - 182

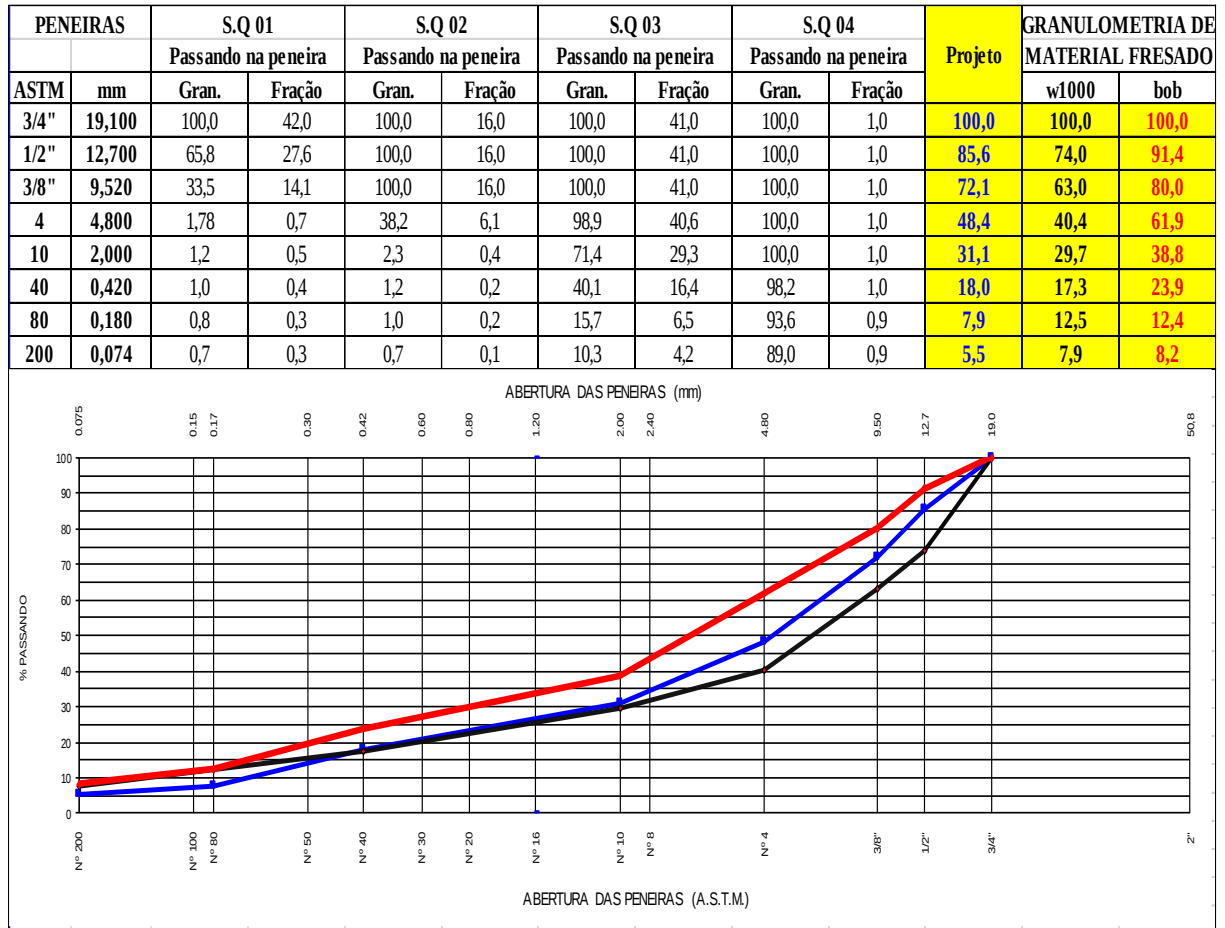
Obs.: MATERIAL FRESADO EM 08/02/2018

PENEIRAS		AMOSTRA 1 Passando na peneira		AMOSTRA 2 Passando na peneira		AMOSTRA 3 Passando na peneira		MEDIA Passando na peneira		GRANULOMETRIA
ASTM	mm	Gran.	OBS	Gran.	OBS	Gran.	OBS	Gran.	OBS	
3/4"	19,100	100,00		100,00		100,00		100,0		100,0
1/2"	12,700	89,90		92,36		91,38		91,2		91,2
3/8"	9,520	78,70		77,09		80,64		78,8		78,8
4	4,800	59,90		59,94		61,84		60,6		60,6
10	2,000	38,40		41,10		41,57		40,4		40,4
40	0,420	22,65		22,81		26,45		24,0		24,0
80	0,180	12,40		15,11		14,89		14,1		14,1
200	0,074	7,90		11,46		14,62		11,3		11,3



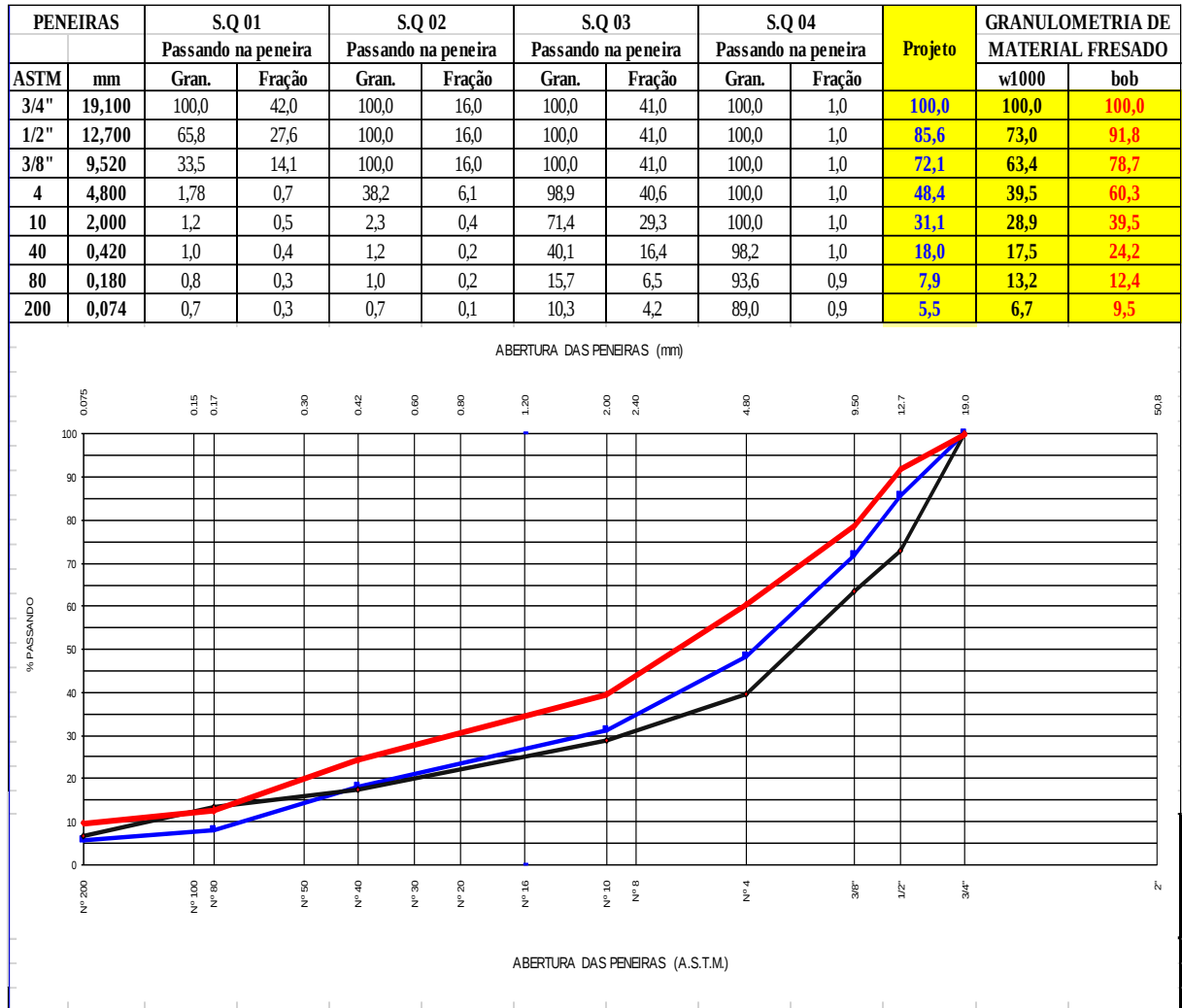
Fonte: Autor (2018).

APÊNDICE E – CURVA GRANULOMÉTRICA RODOVIA PR-488



Fonte: Autor (2018).

APÊNDICE F – CURVA GRANULOMÉTRICA RODOVIA PR-182



Fonte: Autor (2018).