

ALINE JÉSSICA AQUINO DE BRITO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO MATERIAL FRESADO NA
COMPOSIÇÃO DO CBUQ**

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

ORIENTADORA: ISA LORENA SILVA BARBOSA

ANÁPOLIS / GO: 2019

ALINE JÉSSICA AQUINO DE BRITO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO MATERIAL FRESADO NA
COMPOSIÇÃO DO CBUQ**

ORIENTADORA: ISA LORENA SILVA BARBOSA

ANÁPOLIS / GO

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

BRITO, ALINE JÉSSICA AQUINO

Análise da influência do material fresado na composição do CBUQ.

79P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|---------------------|--|
| 1. Pavimentação | 2. Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) |
| 3. Material fresado | 4. Ensaio Dnit |
| I. ENC/UNI | II. Bacharel (10 ^o) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BRITO, Aline Jéssica Aquino. Análise da influência do material fresado na composição do CBUQ. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 79p. 2019.

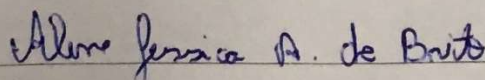
CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Aline Jéssica Aquino de Brito

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Análise da influência do material fresado na composição do CBUQ.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2019

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



Aline Jéssica Aquino de Brito

alinejessika@hotmail.com

ALINE JÉSSICA AQUINO DE BRITO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO MATERIAL FRESADO NA
COMPOSIÇÃO DO CBUQ**

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

APROVADO POR:



**ISA LORENA SILVA BARBOSA, Mestra (UniEvangélica)
(ORIENTADORA)**



**EDUARDO DOURADO ARGOLO, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**ELKE DIAS DE SOUSA, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 30 de maio de 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por tanta graça concedida a mim durante todo o processo que passei para chegar até aqui. Agradeço aos meus pais por todo apoio e incentivo para nunca desistir de lutar por meus sonhos. Agradeço ao meu esposo que não mediu esforços para me ajudar e teve muita paciência e compreensão durante todo esse tempo.

Agradeço ao pessoal do laboratório Engetec Controle Tecnológico Ltda pelo suporte na realização dos ensaios e por todo conhecimento transmitido. Agradeço também a todos que de forma direta ou indireta colaboraram na minha caminhada.

Aline Jéssica Aquino de Brito

RESUMO

O presente estudo teve como finalidade a análise comparativa do Concreto Betuminoso Usinado a Quente com adição de material fresado. O material fresado é obtido através da fresagem que é uma técnica constantemente utilizada para processo de manutenção e restauração de rodovias, pois possibilita intervenções apenas nos locais onde necessitam de restaurações, podendo solucionar problemas como: elevação, rebaixamento ou manutenção no greide original da pista; inclinação da pista com relação aos dispositivos de drenagem superficial; propagação de trincas, entre outros. Geralmente o material resultante da fresagem é descartado, se tornando um dos maiores poluentes na manutenção das vias, por conter o cimento asfáltico de petróleo. O objetivo deste trabalho foi a análise da composição do concreto betuminoso usinado a quente comumente fabricado no país seguindo as normas específicas e a análise de diferentes porcentagens de substituição dos agregados pelo uso do material fresado na composição do CBUQ, faixa C do DNIT. Essa análise foi realizada em laboratório, seguindo as diretrizes do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte. A metodologia utilizada neste trabalho foi através de análises teóricas e experimentais, estudo de caso e dosagem da mistura asfáltica pelo método Marshall, ensaio mais utilizado no Brasil. Como resultado obteve-se que a substituição de até 15% de material fresado na composição do CBUQ apresenta resultados dentro dos parâmetros especificados por norma, podendo ser utilizado na pavimentação diminuindo o custo e o impacto causado por esse material no meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE

Pavimentação. Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ). Material Fresado. Ensaio Dnit.

ABSTRACT

The present article aimed at a comparative analysis of the Hot Used Bituminous Concrete with the addition of milled material. The milled material is obtained by milling one of the most used techniques for the process of maintenance and recovery of highways, since the possibility of resorting only to the places where most of the reforms can be improved; that of the runway in relation to surface drainage devices; crack propagation, among others. The materials resulting from the refrigeration are discarded, being better than the pollutants in the maintenance of the roads, as it contains asphaltic oil cement. The objective of this work was the analysis of the composition of the hot - machined bituminous concrete commonly manufactured in the country following the specific norms and the analysis of different percentages of substitution of the aggregates by the use of the milled material in the composition of the CBUQ, track C of the DNIT. This was a laboratory analysis, following as a guideline of the National Department of Infrastructure and Transportation. The methodology used in this study was through theoretical and experimental analyses, case study and dosage of the asphalt mixture by the Marshall method, Most used test in Brazil. The result was obtained during the replacement of 15% in the milled material of the CBUQ in which the results were compared through a set of data, which reduced the cost and impact caused by this material in the environment.

KEY WORDS

Paving. Hot-Rolled Bituminous Concrete. Material Milling. Dnit Assays.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Via Ostiene	12
Figura 2 - Via urbana em Pompéia, Itália.....	13
Figura 3 - Caminho do mar, no Alto da Serra	14
Figura 4 - Rancho da maioria, 1940	14
Figura 5 - Esquema das camadas do pavimento flexível.....	17
Figura 6 - Usina de asfalto.....	17
Figura 7 - Pavimentadora de asfalto	18
Figura 8 - Fresagem de pavimento	19
Figura 9 - Esquema de fresagem	20
Figura 10 - Tipos de fresagem quanto à rugosidade da pista	23
Figura 11 - Máquina fresadora de pequeno porte.....	23
Figura 12 - Máquina fresadora de médio porte	24
Figura 13 - Máquina fresadora de grande porte	24
Figura 14 - Cilindro fresador	26
Figura 15 - Dentes de corte.....	27
Figura 16 - Aparelhagem - Equivalente de areia.....	35
Figura 17 - Aparelhagem método Anel e Bola.....	41
Figura 18 - Determinação do Ponto de Amolecimento	42
Figura 19 - Aparelho do ensaio de pontos de fulgor e de combustão.....	43
Figura 20 - Determinação da penetração	45
Figura 21 - Aparelho viscosímetro Saybolt-Furol.....	46
Figura 22 - Análise granulométrica - agitação mecânica	51
Figura 23 - Curva granulométrica - Brita 1	52
Figura 24 - Curva Granulométrica - Brita 0	53
Figura 25 - Curva Granulométrica - Pó de brita.....	54
Figura 26 - Curva Granulométrica - Material Fresado.....	55
Figura 27 - Curva traço ideal - CBUQ comum	57
Figura 28 - Curva traço ideal - CBUQ com 15% de material fresado.....	58
Figura 29 - Curva traço ideal - CBUQ com 20% de material fresado.....	59
Figura 30 - Curva traço ideal - CBUQ com redução de pó de brita	60
Figura 31 - Curva traço ideal - CBUQ com 30% de material fresado.....	61

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Fresadoras com cilindros de 2 metros de largura	25
Tabela 2 - Fresadoras com cilindros de 1 metro de largura.....	25
Tabela 3 - Fresadoras com cilindros de 0,50 metros de largura	26
Tabela 4 - Graduação para Ensaio Los Angeles.....	30
Tabela 5 - Carga Abrasiva Ensaio Los Angeles	31
Tabela 6 - Determinação do solo quanto ao equivalente de areia	36
Tabela 7 - Abrasão "Los Angeles" - Brita 0	48
Tabela 8 - Abrasão "Los Angeles" - Brita 1	49
Tabela 9 - Equivalente de areia	50
Tabela 10 - Granulometria - Brita 1	51
Tabela 11 - Granulometria - Brita 0	52
Tabela 12 - Granulometria - Pó de brita	53
Tabela 13 - Granulometria - Material Fresado	54
Tabela 14 - Resultados ensaio com CAP	56
Tabela 15 - Traço para CBUQ comum.....	56
Tabela 16 - Traço para CBUQ com 15% de material fresado.....	57
Tabela 17 - Traço para CBUQ com 20% de material fresado.....	58
Tabela 18 - Traço para CBUQ com redução de pó de brita	59
Tabela 19 - Traço para CBUQ com 30% de material fresado.....	60
Tabela 20 - Preparação C.P. Marshall - CBUQ comum.....	61
Tabela 21 - Preparação C.P. Marshall - CBUQ com 15% de material fresado.....	62
Tabela 22 - Preparação C.P. Marshall - CBUQ com 20% de material fresado.....	62
Tabela 23 - Preparação C.P. Marshall - CBUQ comum com redução de pó de brita	63
Tabela 24 - Preparação C.P. Marshall - CBUQ com 30% de material fresado.....	63
Tabela 25 - Ensaio de estabilidade e fluência Marshall	65
Tabela 26 - Características do traço	66
Tabela 27 - Ensaio de tração por compressão diametral	67
Tabela 28 - Traço Final	68

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Deficiência nas rodovias brasileiras em 2018.....	15
Gráfico 2 - Deficiência no pavimento das rodovias brasileiras em 2018.....	16

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CNT	Confederação Nacional do Transporte
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
ES	Especificação de serviço
FRN	Fundo Rodoviário Nacional
KGF	Quilograma-força
ME	Método de ensaio
N	Newton
NBR	Norma Brasileira
RAP	Resíduos Asfálticos de Pavimentação
RBV	Relação Betume/Vazios
VAM	Vazios do agregado mineral
SSF	Segundos <i>Saybolt-Furol</i>
CP	Corpo de prova
MS	Massa seca
MSsub	Massa submersa em água
GMB	Massa específica aparente
DMT	Massa específica teórica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	JUSTIFICATIVA	9
1.2	OBJETIVOS	9
1.2.1	Objetivo geral.....	9
1.2.2	Objetivos específicos.....	9
1.3	METODOLOGIA.....	9
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	10
2	CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE	11
2.1	HISTÓRICO	11
2.2	DEFINIÇÕES	16
2.3	FRESAGEM A FRIO	19
2.3.1	Classificação dos tipos de fresagem.....	21
2.3.1.1	Quanto à espessura de corte.....	21
2.3.1.2	Quanto à rugosidade resultante na pista	22
2.3.2	Principal equipamento utilizado na fresagem: Máquina fresadora	23
2.3.3	Principais componentes.....	26
2.3.3.1	Cilindro fresador.....	26
2.3.3.2	Dentes de corte	27
2.4	INTERFERÊNCIAS COM O MEIO AMBIENTE.....	27
3	ENSAIOS - NORMAS	29
3.1	COLETA DAS AMOSTRAS.....	29
3.1.1	Método de Ensaio 035 (DNER, 1998) – Agregados – determinação da abrasão “Los Angeles”	29

3.1.2	Método de Ensaio 043 (DNER, 1995) – Ensaio Marshall.....	31
3.1.3	Método de Ensaio 053 (DNER, 1994) – Misturas betuminosas – porcentagem de betume	34
3.1.4	Método de Ensaio 054 (DNER, 1997) – Equivalente de areia.....	35
3.1.5	Método de Ensaio 055 (DNER, 1995) – Areia – Determinação de impurezas orgânicas.....	36
3.1.6	Método de Ensaio 078 (DNER, 1994) – Agregado graúdo – adesividade a ligante betuminoso	37
3.1.7	Método de Ensaio 083 (DNER, 1998) – Agregados – análise granulométrica	38
3.1.8	Determinação do índice de forma	38
3.1.9	Método de Ensaio 117 (DNER, 1994) – Mistura betuminosa – determinação da densidade aparente.....	39
3.1.10	Método de Ensaio 131 (DNIT, 2010) – Determinação do Ponto de Amolecimento – Método do Anel e Bola	40
3.1.11	Método de Ensaio 136 (DNIT, 2018) – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral.....	42
3.1.12	Método de Ensaio 148 (DNER, 1994) – Material betuminoso – determinação dos pontos de fulgor e de combustão (vaso aberto Cleveland).....	43
3.1.13	Método de Ensaio 155 (DNIT, 2010) – Determinação da Penetração.....	44
3.1.14	Viscosidade	45
4	ESTUDO DE CASO	47
4.1	ORIGEM DOS MATERIAIS.....	47
4.2	PROCEDIMENTO PRÁTICO.....	47
4.2.1	Agregados – determinação da abrasão “Los Angeles”.....	47
4.2.2	Equivalente de areia	49

4.2.3	Areia – Determinação de impurezas orgânicas.....	50
4.2.4	Agregado graúdo – adesividade a ligante betuminoso	50
4.2.5	Agregados – análise granulométrica	50
4.2.6	Agregado – determinação do índice de forma	55
4.2.7	Material betuminoso – determinação da penetração, do amolecimento, do ponto de fulgor e de combustão e da viscosidade.	55
4.3	CÁLCULO DA DOSAGEM.....	56
4.4	ENSAIOS DE ESTABILIDADE E FLUÊNCIA MARSHALL, DENSIDADE, TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL E PORCENTAGEM DE BETUME 64	
4.5	TRAÇO FINAL.....	67
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
	REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

Quando se trata da história da pavimentação podemos dizer que ela está diretamente ligada à história da humanidade. A pavimentação foi de extrema importância para o povoamento dos continentes, as conquistas territoriais e o intercâmbio comercial, cultural e religioso entre os povos da antiguidade (BERNUCCI *et al.*, 2008).

No Egito, umas das primeiras estradas pavimentadas não se destinaram a veículos com rodas, mas a trenós para o transporte de cargas. Muitas das estradas que foram construídas antigamente se transformaram em estradas asfaltadas na modernidade. Já havia o entendimento, na época áurea de Otávio Augusto em Roma, de que as rodovias faziam parte de sociedades desenvolvidas, sofriam degradação ao longo dos anos e sua manutenção era inevitável (BALBO, 2007).

Semelhante aos dias de hoje as estradas romanas eram compostas por fundação e uma camada de superfície que variavam de acordo com a matéria prima disponível e com a qualidade do terreno natural (BERNUCCI *et al.*, 2008).

No Brasil, uma das primeiras estradas que se tem registro foi construída em 1560, se tratava de um caminho aberto para ligar São Vicente ao Planalto Piratininga em São Paulo. Durante o Império o investimento no transporte rodoviário foi bem escasso. Ainda no século XX havia poucos quilômetros de estradas no Brasil, e o tráfego era restrito a veículos de tração animal (PREGO, 2001 *apud*, BERNUCCI *et al.*, 2008).

O grande impulso na construção rodoviária brasileira ocorreu nas décadas de 1940 e 1950, graças à criação do Fundo rodoviário Nacional (FRN) em 1946, oriundo do imposto sobre combustíveis líquidos (BERNUCCI *et al.*, 2008).

O asfalto é um dos mais antigos e versáteis materiais de construção utilizado pelo homem. Dentre as mais de 100 principais aplicações, o uso na pavimentação é uma das mais antigas e mais utilizadas.

A pavimentação é um processo composto por várias camadas, sendo o revestimento a camada superficial que se destina a receber a carga dos veículos e diretamente a ação climática. Dessa forma, o revestimento deve garantir a impermeabilidade, flexibilidade, durabilidade, resistência à derrapagem, entre outros, de acordo com o tráfego e o clima do local onde será construído.

O tipo de revestimento que será tratado aqui é o fabricado em usina específica fixa a quente com uso de CAP, também conhecido como concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ). Esse revestimento é o mais empregado no Brasil e se trata do produto da mistura

proporcionada de agregados de inúmeros tamanhos e cimento asfáltico, ambos aquecidos a temperaturas previamente determinadas em função da característica viscosidade-temperatura do ligante.

1.1 JUSTIFICATIVA

O concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) na sua composição requer o uso de materiais que muitas vezes não são encontrados muito facilmente nas proximidades da localidade onde será aplicado. Uma alternativa de substituição desses materiais é a utilização de material fresado na composição do novo revestimento. Aqui será analisado o resultado que o uso desse tipo de material produz na composição do CBUQ.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Estudar as reações positivas e negativas que o uso de material fresado produz na composição do CBUQ.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar a composição do concreto betuminoso usinado a quente;
- Realizar experimentos utilizando o material fresado como matéria prima do CBUQ;
- Analisar os resultados dos experimentos;
- Fazer a análise comparativa entre o uso dos materiais.

1.3 METODOLOGIA

O método de pesquisa utilizado foi o explicativo, que tem como principal objetivo explicar fenômenos e gerar hipóteses. Os dados foram obtidos com levantamento teórico e a

análise feita com estudo de caso realizado em laboratório. A metodologia será baseada em uma pesquisa laboral.

Os principais ensaios que serão feitos para composição do CBUQ com o material fresado estão descritos abaixo:

- DNER-ME 35/98 – Agregados – Determinação da Abrasão “Los Angeles”;
- DNER-ME 43/95 – Ensaio Marshall.
- DNER-ME 53/94 – Misturas Betuminosas – Porcentagem de Betume;
- DNER-ME 54/97 – Equivalente de Areia;
- DNER-ME 55/95 – Areia – Determinação de Impurezas Orgânicas;
- DNER-ME 78/94 – Agregado graúdo – Adesividade e Ligante Betuminoso;
- DNER-ME 83/98 – Agregados – Análise Granulométrica;
- DNER-ME 86/94 – Agregado – Determinação do Índice de Forma;
- DNER-ME 117/94 – Mistura Betuminosa – determinação da densidade aparente;
- DNER-ME 148/94: ABNT NBR 11341/2008 – Derivados de Petróleo – determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto de Cleveland;

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho abrange cinco capítulos distintos:

- O primeiro capítulo é composto pela introdução ao tipo de pavimentação mais utilizado no Brasil;
- O segundo é formado por um estudo dos pavimentos existentes e sua trajetória, com foco no Concreto Betuminoso Usinado à Quente e as suas interferências com o meio ambiente;
- O terceiro capítulo aborda as normas e ensaios que devem ser feitos na composição do CBUQ;
- O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos com os ensaios, seguindo as especificações das normas do DNIT;
- No quinto capítulo estão descritas as considerações finais e sugestões para futuros trabalhos.

2 CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE

2.1 HISTÓRICO

Quando se trata da história da pavimentação pode-se dizer que ela está diretamente ligada à história da humanidade. A pavimentação foi de extrema importância para o povoamento dos continentes, as conquistas territoriais e o intercâmbio comercial, cultural e religioso entre os povos da antiguidade.

No Egito, uma das primeiras estradas pavimentadas não se destinaram a veículos com rodas, mas a trenós para o transporte de cargas. Durante a construção das pirâmides as vias eram feitas com lajões justapostos em base com boa capacidade de suporte. Muitas das estradas que foram construídas antigamente se transformaram em estradas asfaltadas na modernidade. Já havia o entendimento, na época áurea de Otávio Augusto em Roma, de que as rodovias faziam parte de sociedades desenvolvidas, sofriam degradação ao longo dos anos e sua manutenção era inevitável (BALBO, 2007).

Mesmo que seja reconhecida a existência de diversas estradas em várias partes do mundo, foi atribuída aos romanos a arte maior da construção viária e do planejamento. O sistema viário romano teve sua existência anteriormente à instalação do Império, porém adquiriu grande desenvolvimento a partir de então. Os romanos possuem há mais de 2.000 anos um sistema de planejamento e manutenção resultando em uma boa malha viária.

As estradas romanas possuíam características de construção comuns, porém não havia padrão (CHEVALLIER, 1976 *apud*, BERNUCCI *et al.*, 2008). As informações que se tem hoje em dia sobre as estradas romanas provém fundamentalmente das vias remanescentes. Análogo aos dias de hoje as estradas romanas eram compostas por fundação e uma camada de revestimento, que variavam em conformidade com a matéria prima disponível e com a qualidade do terreno natural.

A fundação das vias romanas era formada, em geral, por grandes pedras dispostas em linha de modo a propiciar uma boa plataforma e ainda proporcionar a drenagem. Com o objetivo de promover resiliência ao pavimento era comum encontrar areia, misturada ou não com pedregulho ou argila na camada intermediária, colocada sobre a fundação sólida (MARGARY, 1973 *apud*, BERNUCCI *et al.*, 2008). A figura 1 exibe uma foto da Via Ostiene que ligava Óstia a Roma.

Figura 1 - Via Ostiense



Fonte: Bernucci *et al.* (2007)

A última camada de superfície apresentava uma grande variedade de materiais, porém a maioria possuía pedras nas bordas formando uma espécie de meio-fio. A variação da disponibilidade de materiais disponíveis promovia uma grande inconstância das estradas romanas (ADAM, 1994 *apud*, BERNUCCI *et al.*, 2008). A figura 2 expõe uma via urbana em Pompéia, no sul da Itália, nota-se através dessa foto que as vias eram pavimentadas com pedras devidamente intervaladas com o objetivo de permitir a circulação dos veículos rodantes.

Figura 2 - Via urbana em Pompéia, Itália



Fonte: Bernucci *et al.* (2007)

A França foi uma das primeiras nações a admitir o efeito do transporte no comércio, dando relevância à velocidade da viagem (MASCARENHAS NETO, 1790 *apud*, BERNUCCI *et al.*, 2008). O mesmo autor aponta que observando a forma como os caminhos da França eram calçados, os ingleses passaram então a construir vias mais cômodas, velozes e duráveis na Europa, garantindo assim o progresso da indústria de comércio do país.

Já na América Latina, as vias construídas pelos incas foram qualificadas pelo cientista e viajante Alexander Von Humboldt como “os mais úteis e estupendos trabalhos realizados pelo homem”. O sistema de estradas construídas pela avançada civilização inca abrangia terras hoje da Colômbia até o Chile e a Argentina, cobrindo a região árida do litoral, florestas, até grandes altitudes da Cordilheira dos Andes (BERNUCCI *et al.*, 2007).

Em conformidade com Bernucci (2007), no Brasil uma das primeiras estradas que se tem registro foi construída em 1560, se tratava de um caminho aberto para ligar São Vicente ao Planalto Piratininga em São Paulo. O governo da Capitania de São Vicente recuperou esse caminho em 1661, o transformando em Estrada do Mar e permitindo o tráfego de veículos. Atualmente a estrada também é conhecida como Estrada Velha do Mar (Figura 3).

Figura 3 - Caminho do mar, no Alto da Serra



Fonte: Sampa Histórica (2014)

A estrada do mar foi recuperada em 1789, a pavimentação no trecho da serra foi feita com lajes de granito, e ficou conhecido como a Calçada de Lorena. Em homenagem à maioridade de D. Pedro II, que teve seu início em 1837 e conclusão em 1844, a Estrada do Mar emprestou parte do seu traçado para construção da Estrada da Maioridade conforme apresentado na figura 4 (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Figura 4 - Rancho da maioridade, 1940



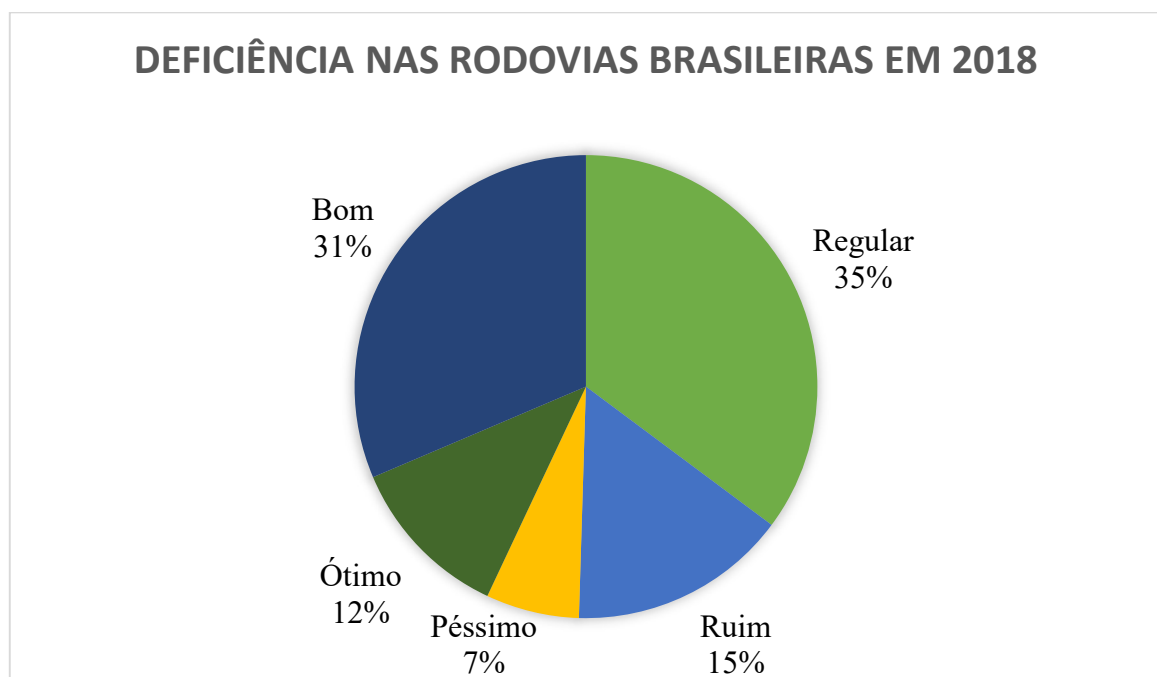
Fonte: Sampa Histórica (2014)

Durante o Império o investimento no transporte rodoviário foi bem escasso. Ainda no século XX havia poucos quilômetros de estradas no Brasil, e o tráfego era restrito a veículos de tração animal (PREGO, 2001 *apud*, BERNUCCI *et al.*, 2008).

O grande estímulo na construção rodoviária brasileira ocorreu nas décadas de 1940 e 1950, proveniente da criação do Fundo Rodoviário Nacional (FRN) em 1946, oriundo do imposto sobre combustíveis líquidos (BERNUCCI *et al.*, 2008). Em 1950 foi dado o início da execução de pavimentos em escala industrial e da organização de grandes firmas construtoras conforme citado por Prego (2001). Ainda na década de 1950 foi criado um programa de melhoria das vias vicinais, abrangendo a abertura e melhoramento de estradas no Nordeste com o objetivo de amenizar a situação precária da região reprimida por secas periódicas.

Em conformidade com a pesquisa CNT de Rodovias brasileiras 2018, dentro dos 107.000 km de rodovias avaliadas, 57,0% possuem algum tipo de deficiência (35,2% encontram-se em estado regular; 15,3%, ruim; e 6,5%, péssimo, conforme indicado no gráfico 1) seja no pavimento, na sinalização ou na geometria da via.

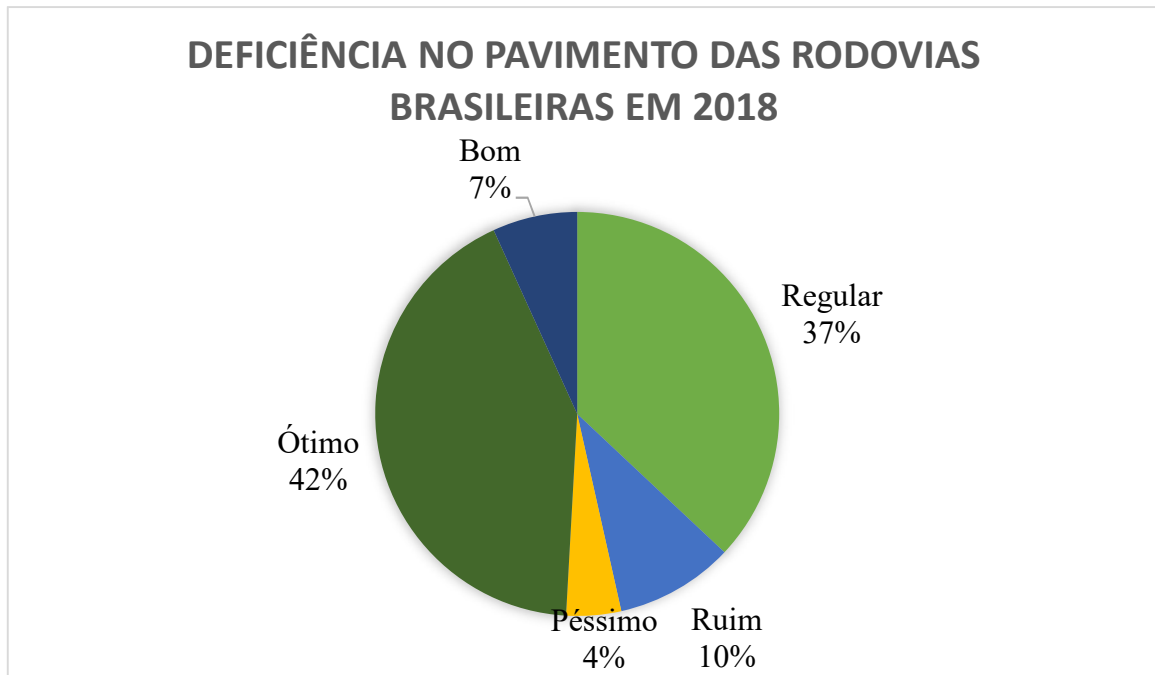
Gráfico 1 - Deficiência nas rodovias brasileiras em 2018



Fonte: Autor (2018)

Se tratando do pavimento, ainda de acordo com a CNT, a manutenção preventiva deve ser realizada sempre que necessária para alongar a vida útil da infraestrutura. Quando não é feita em tempo hábil, de forma correta e contínua, pode resultar em problemas que reduz sua vida útil. De acordo com a pesquisa, em 2018 foram identificados 54.635 km com defeitos no pavimento, sendo que 37,0% encontram-se regular; 9,5%, ruim e 4,4% péssimo, totalizando 50,9% da extensão total analisada (gráfico 2).

Gráfico 2 - Deficiência no pavimento das rodovias brasileiras em 2018



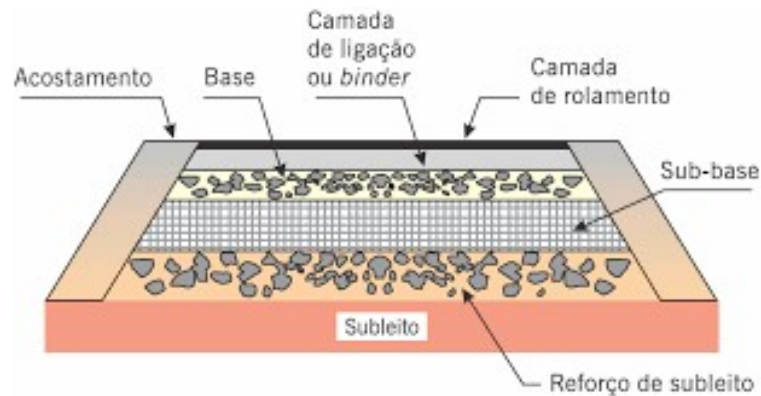
Fonte: Autor (2018)

2.2 DEFINIÇÕES

A pavimentação é uma estrutura construída sobre a superfície final da terraplanagem, destinada a receber a carga dos veículos e a ação climática diretamente na camada superficial, conhecida como revestimento. Por sua vez, o revestimento deve garantir a impermeabilidade, conforto, economia e segurança. O pavimento é um arranjo composto por múltiplas camadas de espessuras finitas e pode ser classificado em basicamente três tipos de pavimentos: rígidos, semirrígidos e flexíveis. Os vários tipos de pavimentos diferem entre si, essencialmente, na sua composição e no modo de funcionamento (GOMES, 2015).

De acordo com o Manual de Pavimentação IPR – 719 (DNIT, 2006b) o tipo de pavimento mais utilizado no Brasil é o flexível, que é formado por uma mistura sobretudo de agregados e ligantes asfálticos. Todas as camadas deste pavimento sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas. Esse modelo de pavimentação é composto por quatro camadas principais, sendo elas: reforço do subleito, sub-base, base e revestimento asfáltico (Figura 5). De acordo com o tráfego e materiais disponíveis, as camadas podem sofrer alteração. O revestimento asfáltico pode ser formado por camada de rolamento e por camadas intermediárias ou de ligação.

Figura 5 - Esquema das camadas do pavimento flexível



Fonte: Gomes (2015)

Os revestimentos asfálticos são formados por materiais asfálticos e associação de agregados, podendo ser de duas maneiras principais, por penetração ou por mistura. No revestimento por mistura, o agregado é pré-envolvido com o material asfáltico, antes da compressão, que é o caso do CBUQ, o pré-envolvimento é feito na usina e denominado pré-misturado (BERNUCCI *et al.*, 2008).

O CBUQ é o concreto betuminoso usinado a quente que provém de uma mistura de agregados (miúdo e graúdo), material de enchimento (Filler-cimento ou pó de calcário) e ligante (CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo). Essa mistura entre agregados e ligante é feita antes da compressão em uma usina de asfalto (Figura 6) e é realizada em altas temperaturas, logo após é transportada por caminhões basculantes até o local onde será aplicado (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Figura 6 - Usina de asfalto



Fonte: Catálogo Ciber (2018)

O CBUQ é lançado na via por meio de um equipamento apropriado chamado de vibroacabadora (Figura 7), assim que o material é lançado ele deve ser compactado por rolos (liso e de pneu) até atingir a densidade requerida no projeto.

Figura 7 - Pavimentadora de asfalto



Fonte: Catálogo Caterpillar (2018)

De acordo com a graduação dos agregados com que são executados, os revestimentos podem ser de graduação aberta ou densa. Em geral, os de graduação densa não necessitam de capa selante, já para os de graduação aberta a capa selante é obrigatória. O concreto betuminoso usinado a quente é classificado como de graduação densa, e possui rigorosas exigências no que diz respeito a equipamentos de construção e índices tecnológicos – como granulometria, teor de betume, estabilidade, vazios, etc.

Os agregados utilizados para compor o CBUQ podem ter porcentagens substituídas por outros materiais, aumentando a resistência, diminuindo o custo, preservando o meio ambiente e não afetando a qualidade final do revestimento. Um dos possíveis substitutos é o material fresado que resulta da fresagem (Figura 8) que consiste na remoção da camada superficial do pavimento já existente (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Figura 8 - Fresagem de pavimento



Fonte: Autor (2018)

De acordo com o Manual de Pavimentação IPR – 720 (DNIT, 2006c) a fresagem é uma técnica constantemente utilizada para processo de manutenção e restauração de rodovias, pois possibilita intervenções apenas nos locais onde necessitam de restaurações, podendo solucionar problemas como:

- a) Elevação, rebaixamento ou manutenção no greide original da pista;
- b) Inclinação da pista com relação aos dispositivos de drenagem superficial;
- c) Propagação de trincas;

Geralmente o material resultante da fresagem é descartado, se tornando um dos maiores poluentes na manutenção das vias, por conter o cimento asfáltico de petróleo – CAP. Esse material pode ser reutilizado em várias camadas da terraplenagem e da pavimentação, entre elas: base e/ou sub-base, camada de rolamento ou substituição na porcentagem de agregados utilizados no CBUQ. A reutilização do material fresado produz benéficamente uma redução no impacto causado ao meio ambiente, pois permite a preservação das jazidas locais e garante uma melhor qualidade de vida tanto para geração atual quanto para gerações futuras. (GOMES, 2015).

2.3 FRESAGEM A FRIO

Segundo a norma ES 159 (DNIT, 2011), fresagem a frio é definida como uma técnica de reciclagem de pavimentos que provoca a retirada da camada asfáltica superficial através do corte, podendo ser feito por processo mecânico a quente ou a frio. Esse processo ocorre quando

o revestimento apresenta defeitos significativos que não podem ser recuperados com restaurações locais.

O início do processo de reciclagem de pavimentos ocorreu na década de 1970, no entanto o material era extraído da pista por meio de escarificação, o que gerava um material de grandes dimensões que necessitava ser rebitado para posteriormente ser possível a sua reutilização. À vista disso, a técnica foi considerada imprópria.

Já na segunda metade da década de 1970 a máquina fresadora foi desenvolvida e considerada útil na realização do corte do pavimento com profundidades pré-determinadas, o que antes era impossível (BONFIM, 2007).

A primeira obra no Brasil, que contou com o uso de uma fresadora, foi em 1980 na restauração da via Anchieta em São Paulo. Dessa maneira, o serviço de fresagem pode ser considerado recente.

Para execução da fresagem a frio, o desbastamento ocorre de maneira abrasiva na superfície e em temperatura ambiente, com espessura previamente determinada, por intermédio das lâminas de corte da máquina fresadora (Figura 9). Já na fresagem à quente, o pavimento deve ser previamente aquecido para só depois ser removido mecânicamente (BARROS, 2013).

Figura 9 - Esquema de fresagem



Fonte: Blog Asfalto de qualidade (2017)

A fresagem é uma técnica utilizada tendo em vista a manutenção do greide da pista, pois permite a substituição do material asfáltico danificado por novo, possibilitando assim um aumento na vida útil do pavimento além de melhorias no rolamento (BONFIM, 2011 *apud*, MOLZ, 2017).

Em função da área a ser fresada e do objetivo da fresagem, podem ser empregadas, de acordo com o projeto, cinco modalidades, dentre elas:

- a) Fresagem contínua: é a fresagem executada na largura total da pista com a utilização predominante de equipamento de grande porte, podendo ser utilizados equipamentos de pequeno e médio porte para acabamentos.
- b) Fresagem descontínua: é a fresagem aplicada em pequenos trechos com largura e comprimentos variáveis, podendo atingir a largura total de uma ou mais faixas de tráfego.
- c) Fresagem para correção da inclinação do pavimento: mais frequente nas obras de duplicação de rodovias, é aplicada para correção ou alteração das inclinações longitudinais ou transversais do pavimento já existente.

Após a fresagem deve haver o controle da execução onde tem que ser verificado a textura rugosa e uniforme da superfície fresada e a ausência de desníveis entre uma passada e outra da máquina fresadora, entre outros.

A composição granulométrica do material fresado depende do grau de oxidação do revestimento asfáltico, do estado de degradação do pavimento, da temperatura ambiente, da espessura do corte e da condição dos dentes que provocam os cortes (BALBO, 2007 *apud*, MOLZ, 2017).

Para verificação do produto quanto ao controle geométrico deve ser analisado a profundidade do corte verificada nas bordas com auxílio de régua ou trena, no centro por levantamento topográfico e nas faixas exclusivas, por meio de uma linha ou uma régua conforme descrito na ES 159 (DNIT, 2011).

2.3.1 Classificação dos tipos de fresagem

De acordo com Bonfim (2007), a fresagem de pavimentos pode ser classificada, de maneira resumida, quanto à espessura de corte e à rugosidade resultante na pista.

2.3.1.1 Quanto à espessura de corte

A fresagem quanto à espessura de corte é fragmentada em fresagem superficial, rasa e profunda.

- a) Fresagem superficial: é indicada apenas na correção de defeitos na superfície do pavimento e é conhecida como fresagem de regularização.

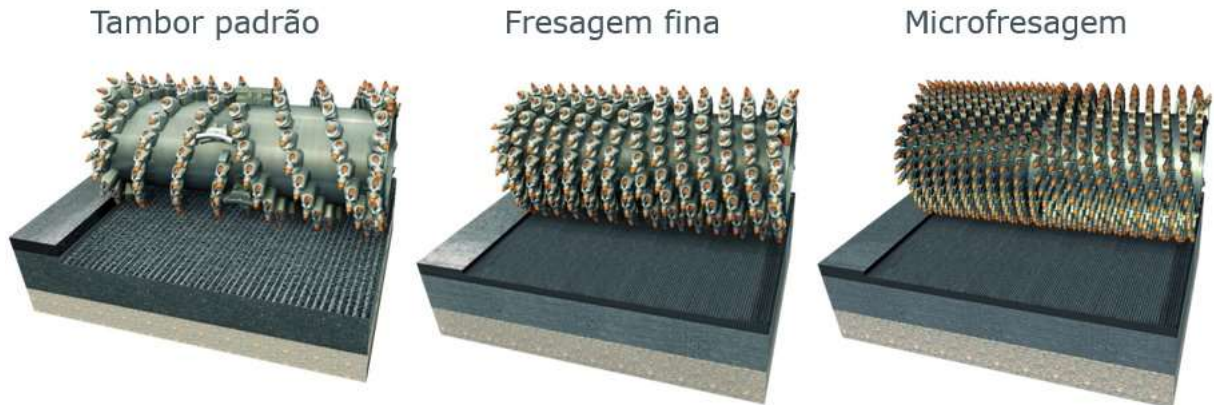
- b) Fresagem rasa: esse processo possui uma intervenção média de 5cm, atingindo normalmente as camadas superiores do pavimento, às vezes podendo chegar até a camada de ligação. É empregado na reparação de defeitos funcionais e em restaurações superficiais.
- c) Fresagem profunda: é a fresagem onde o corte atinge não só a camada superficial, como também as camadas de ligação e de base, podendo chegar até a camada de sub-base do pavimento.

2.3.1.2 Quanto à rugosidade resultante na pista

A rugosidade resultante na pista varia de acordo com o tipo de cilindro utilizado na fresagem, além da velocidade de operação. Segundo Bonfim (2007) a fresagem quanto à rugosidade da pista pode ser dividida como fresagem padrão, fresagem fina e micro fresagem (Figura 10).

- a) Fresagem padrão: classifica-se como fresagem resultante do cilindro originalmente ofertado nos equipamentos. A distância lateral entre os dentes de corte do cilindro é de aproximadamente 15mm.
- b) Fresagem fina: resultado da aplicação de cilindros fresadores com distância lateral entre os dentes de corte de aproximadamente 8mm, o que garante fissuras menores e menor rugosidade na pista, possibilitando melhores condições de trafegabilidade aos usuários. Podendo, em alguns casos, dispensar o posterior recapeamento da pista.
- c) Microfresagem: promove a remoção de uma camada muito esguia do revestimento, tendo em vista a adequação do perfil longitudinal ou retirada de faixas de sinalização horizontal das pistas, para modificação do layout viário. A distância lateral dos dentes de corte é de aproximadamente 2 a 3 mm.

Figura 10 - Tipos de fresagem quanto à rugosidade da pista



Fonte: Blog Asfalto de qualidade (2017)

2.3.2 Principal equipamento utilizado na fresagem: Máquina fresadora

Este é o principal equipamento utilizado na realização da fresagem. Através do movimento de rotação do cilindro é feito o corte da camada superficial do pavimento. Existem várias técnicas de fresagem que são definidas de acordo com a configuração do equipamento utilizado.

Segundo Bonfim (2007), os equipamentos para fresar se dividem em:

- a) de pequeno porte (Figura 11): indicados para arremates junto às diversas interferências existentes nos pavimentos, serviços de remendos, acabamentos ao redor de tampões de ferro, entre outros;

Figura 11 - Máquina fresadora de pequeno porte



Fonte: Catálogo Wirtgen (2018)

- b) de médio porte (Figura 12): destinados para fresagens tanto de pequenas quanto de grandes áreas, seus cilindros de fresagem possuem entre 1 e 1,5 metros de largura;

Figura 12 - Máquina fresadora de médio porte



Fonte: Catálogo Wirtgen (2018)

- c) de grande porte (Figura 13): indicados para fresagens de grandes áreas e em locais que ofereçam boas condições de trabalho, sem muitas interferências, como em ruas largas, rodovias e grandes avenidas. Os cilindros podem variar de 1,5 até 4 metros de largura.

Figura 13 - Máquina fresadora de grande porte



Fonte: Catálogo Wirtgen (2018)

A produtividade da fresagem pode variar de acordo com as condições impostas à execução. A fresagem dentro dos centros urbanos apresentam empecilhos maiores do que a fresagem em trechos contínuos. Além disso a produtividade pode variar de acordo com o tipo

do pavimento existente, a espessura da fresagem, o estado dos dentes de corte e a temperatura ambiente (BONFIM, 2007).

Bonfim (2007) relaciona valores de produtividade média baseados em resultados obtidos em várias obras com características semelhantes, com o objetivo de estabelecer parâmetros para escolha do tipo de equipamento de fresagem. Esses valores se referem a uma jornada média de trabalho de 8 horas, incluindo todo o tempo utilizado na sinalização da pista, abastecimento de água e óleo, entre outros. A tabela 1 apresenta valores para fresadoras com cilindros de 2 metros de largura.

Tabela 1 - Fresadoras com cilindros de 2 metros de largura

TIPO DE SERVIÇO	MODELO DE FRESADORA		
	2000VC	2000DC	W1900
Fresagem de áreas contínuas sem vinculação à aplicação do revestimento	5.000,00 m ²	8.000,00 m ²	10.000,00 m ²
Fresagem de áreas descontínuas sem vinculação à aplicação do revestimento	3.500,00 m ²	4.000,00 m ²	5.000,00 m ²
Fresagem de áreas descontínuas com vinculação à aplicação do revestimento	1.800,00 m ²	2.000,00 m ²	3.500,00 m ²

Fonte: Bonfim (2007)

Na tabela 2 os valores apresentados são para fresadoras com cilindros de 1 metro de largura.

Tabela 2 - Fresadoras com cilindros de 1 metro de largura

TIPO DE SERVIÇO	MODELO DE FRESADORA		
	1000 C	W 2000 L	W 1000
Fresagem de áreas contínuas sem vinculação à aplicação do revestimento	1.800,00 m ²	4.000,00 m ²	5.000,00 m ²
Fresagem de áreas descontínuas sem vinculação à aplicação do revestimento	1.500,00 m ²	3.000,00 m ²	3.500,00 m ²
Fresagem de áreas descontínuas com vinculação à aplicação do revestimento	1.000,00 m ²	2.000,00 m ²	2.500,00 m ²

Fonte: Bonfim (2007)

Por fim, a tabela 3 apresenta valores para fresadoras com cilindros de 0,50 metros de largura.

Tabela 3 - Fresadoras com cilindros de 0,50 metros de largura

TIPO DE SERVIÇO	MODELO DE FRESADORA
	W 50
Fresagem de áreas contínuas sem vinculação à aplicação do revestimento	1.5000,00 m ²
Fresagem de áreas descontínuas sem vinculação à aplicação do revestimento	1.200,00 m ²
Fresagem de áreas descontínuas com vinculação à aplicação do revestimento	900,00 m ²

Fonte: Bonfim (2007)

2.3.3 Principais componentes

O presente item apresenta uma breve abordagem dos principais componentes da máquina fresadora.

2.3.3.1 Cilindro fresador

O cilindro fresador (Figura 14) é um tambor rígido onde os dentes de corte são fixados para realizar o desbaste do pavimento. Também é conhecido como tambor fresador ou rolo fresador. São acionados por meio de correntes, correias ou motores hidráulicos, o que varia de acordo com o fabricante e modelo de equipamento (PINTO, 2010).

Figura 14 - Cilindro fresador



Fonte: Catálogo Wirtgen (2018)

2.3.3.2 Dentes de corte

Os dentes de corte, também conhecidos no Brasil como bits, são as pontas de ataque que agem diretamente no pavimento provocando o desgaste do mesmo. Bonfim (2007) ressalta que:

Os dentes de corte possuem um anel cilíndrico que envolve sua base para que os mesmos sejam fixados sob pressão no interior do suporte, possibilitando girarem livremente durante o processo de fresagem, de forma a desgastá-los por igual. (BONFIM, 2007)

Os dentes de corte (Figura 15) são fixados no tambor fresador através de suportes, os quais possuem posições em ângulos de ataque estabelecidos de maneira a resultar, no pavimento, uma superfície de textura rugosa, porém plana e sem desníveis (BONFIM, 2007).

Figura 15 - Dentes de corte



Fonte: Catálogo Wirtgen (2018)

2.4 INTERFERÊNCIAS COM O MEIO AMBIENTE

Segundo o Manual de Pavimentação IPR – 719 (DNIT, 2006b) o impacto ambiental é definido como qualquer alteração significativa causada pela ação humana em um ou mais componentes do meio ambiente. Entende-se por meio ambiente o espaço onde são desenvolvidas as atividades humanas e a vida dos animais e vegetais – envolvendo, assim, todo

o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite abrigar e reger a vida em todas as suas formas.

Degradação ambiental ou poluição é qualquer alteração das qualidades físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente que possam:

- a) Prejudicar a saúde ou o bem estar da população;
- b) Criar condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- c) Ocasionalmente danos relevantes à flora, à fauna e a qualquer recurso natural;
- d) Ocasionalmente danos relevantes aos acervos histórico, cultural e paisagístico.

A disposição inadequada de resíduos ocasiona impactos ambientais, que vão além do comprometimento do solo e corpos de água. Pode haver proliferação de vetores de importância sanitária.

As obras rodoviárias tem significativa contribuição na geração de Resíduos Asfálticos de Pavimentação (RAP) , pois está fortemente ligada ao desenvolvimento econômico e integração nacional através do setor de transporte (SCHNEIDER *et al.*, 2015). Embora seja responsável pela ligação de zonas produtoras e consumidoras, o setor rodoviário possui forte potencial na geração de resíduos, uma vez que as rodovias brasileiras são projetadas e implantadas sem ênfase nas questões ambientais em todas as suas fases (SCHNEIDER *et al.*, 2015).

Segundo dados da Confederação Nacional de Transportes (2018), o Brasil possui 1.720.701 km de rodovias pavimentadas e não pavimentadas, sendo que 87,6% são de estradas não pavimentadas e apenas 12,4% de rodovias pavimentadas. Ainda que em minoria, a pavimentação das estradas possui grande potencial gerador de resíduo tanto durante sua execução tanto na sua manutenção periódica.

3 ENSAIOS - NORMAS

Para fazer a análise comparativa entre o CBUQ comum e o CBUQ com adição de material fresado é necessário submeter todos os materiais que serão utilizados a testes tecnológicos e emitir relatórios que atestem a qualidade e as características adequadas de cada tipo de Concreto Betuminoso Usinado à Quente. No Brasil atualmente, seguem-se os parâmetros dos métodos de ensaio e procedimentos disponibilizados pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte, já que este departamento é responsável pela parametrização e fiscalização das estradas de tráfego. A seguir serão apresentados as diretrizes aplicadas no traço de asfalto e seus componentes, conforme indicados pelo DNIT:

3.1 COLETA DAS AMOSTRAS

As amostras de brita 1, brita 0 e pó de brita foram coletadas na Pedreira Anápolis, no dia 21 de fevereiro de 2019 às 13:00hrs e se deu conforme a norma de Procedimento 120 (DNIT, 1997). A norma determina que, para o agregado graúdo seja coletado uma amostra de 50kg e para o agregado miúdo a amostra seja de 20kg. As amostras foram utilizadas para os ensaios de caracterização como granulometria, los angeles, índice de forma, massa específica e equivalente de areia.

A amostra do material fresado foi colhida na sede do DNIT em Anápolis, no dia 28 de março de 2019, e como não existe norma para coleta desse tipo de material, foi seguido a norma de Procedimento 120 (DNIT, 1997), coletando 50kg de amostra.

3.1.1 Método de Ensaio 035 (DNER, 1998) – Agregados – determinação da abrasão

“Los Angeles”

A resistência ao desgaste está inteiramente ligada à ação do tráfego (GOMES, 2018 *apud* PINTO, 2018. *reimp*) e é avaliada pelo ensaio de abrasão “Los Angeles”. Esse método determina o desgaste sofrido pelo agregado, quando colocado na máquina “Los Angeles” juntamente com uma carga abrasiva, submetido a um determinado número de revoluções desta máquina à um velocidade de de 30 rpm a 33rpm.

É importante averiguar também a norma NBR 12948 - Materiais para concreto betuminoso usinado a quente (ABNT,1993), que apresenta algumas características quanto ao resultado do ensaio de abrasão. Segundo a norma, é permitido a utilização do agregado que

obtiver um desgaste de até 40%. O mesmo parâmetro é acrescentado na Especificação de Serviço 147 – Pavimentação Asfáltica: Tratamento Superficial Duplo (DNIT,2012), onde os agregados da mistura também só são aceitos nessa porcentagem.

Quanto à execução do ensaio, ocorre da seguinte forma: O agregado utilizado pode ser a pedra britada, o pedrisco ou o pedregulho. A massa da amostra deve acompanhar a graduação determinada pela Tabela 4.

Tabela 4 - Graduação para Ensaio Los Angeles

Peneiras Abertura em mm		Amostra – Massa parcial em gramas						
Passando em	Retido em	Grad. A	Grad. B	Grad. C	Grad. D	Grad. E	Grad. F	Grad. G
76	63	-	-	-	-	2500±50	-	-
63	60	-	-	-	-	2500±50	-	-
50	38	-	-	-	-	5000±50	5000±50	-
38	25	1250±25	-	-	-	-	5000±50	5000±50
25	19	1250±25	-	-	-	-	-	5000±50
19	12,5	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-
12,5	9,5	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-
9,5	6,3	-	-	2500±10	-	-	-	-
6,3	4,8	-	-	2500±10	-	-	-	-
4,8	2,4	-	-	-	5000±10	-	-	-
Massas totais (g)		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±100	10000±75	10000±50
Nº de rotações do tambor		500	500	500	500	1000	1000	1000

Fonte: ME 035, Abrasão " Los Angeles" de agregados (DNIT, 1998).

Referente ao procedimento: Após fixar a granulometria (faixa do DNIT), o material é lavado e seco em estufa, com a temperatura em torno de 105°C e permanece na estufa até atingir peso constante. Depois de seco é peneirado e dividido em porções conforme as amostras passadas na peneira para fornecer a graduação do material, afim de definir a quantidade e o peso das esferas. Então é determinada a massa seca das porções (mn) antes do ensaio. A carga abrasiva deve ser aplicada conforme a Tabela 5:

Tabela 5 - Carga Abrasiva Ensaio Los Angeles

Graduação	Número de esferas	Massa de carga (g)
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3330±25
D	6	2500±25
E	12	5000±25
F	12	5000±25
G	12	5000±25

Fonte: ME 035, Abrasão " Los Angeles" de agregados (DNIT, 1998).

Em seguida deve-se averiguar a limpeza do tambor, girar as amostras com as esferas (carga abrasiva) com velocidade de 30 a 33 RPM até completar 500 rotações, retirar todo o material do tambor e guardar as esferas separadamente. As esferas devem ser limpas com escova. A amostra então deve ser passada na peneira de 1,7 mm, ser lavada e seca a temperatura em torno de 105°C, por 3 horas. Verifica-se a massa da amostra lavada e seca (Mn).

Quanto aos resultados, a abrasão é determinada pela fórmula:

$$An = \frac{mn - Mn}{Mn} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

An = Abrasão "Los Angeles" (com aproximação de 1%);

n = graduação (A, B, C, D, E, F ou G);

mn = massa seca da amostra antes do ensaio;

Mn = massa seca da amostra após o ensaio.

3.1.2 Método de Ensaio 043 (DNER, 1995) – Ensaio Marshall

O objetivo do ensaio Marshall é determinar a estabilidade e a fluência de misturas betuminosas de cimento asfáltico, a quente, para uso em pavimentação, com agregado de tamanho 25,4 mm máximo, por intermédio da aparelhagem Marshall.

A estabilidade Marshall é a resistência máxima à compressão radial, apresentada pelo corpo de prova, quando moldado e ensaiado de acordo com a norma, expressa em N (kgf). A

fluência Marshall é a deformação total apresentada pelo corpo de prova, desde a aplicação da carga inicial nula até a aplicação da carga máxima, expressa em décimos de milímetro.

O Método de Ensaio 043 (DNIT, 1995) Ensaio Marshall é um dos ensaios mais utilizados no Brasil no meio rodoviário e tem como finalidade indicar a qualidade e a resistência, além de ser executada para a determinação da dosagem de concreto betuminoso usinado a quente. Inicialmente o ensaio permite conhecimento da granulometria e posteriormente será determinado o teor de ligante, a fim de atingir os requisitos do projeto de mistura. O ensaio procede-se da seguinte forma conforme Bernucci et.al.(2006):

Primeiramente faz-se a seleção da faixa granulométrica a ser utilizada de acordo com os limites das normativas do DNIT e faz-se a escolha da composição dos agregados de forma a enquadrar a sua mistura, ou seja, é escolhido o percentual em massa de cada agregado para formar a mistura. Em seguida, faz-se a determinação das massas específicas reais do cimento asfáltico de petróleo e dos agregados disponíveis.

Então escolhe-se as temperaturas de mistura e de compactação, a partir da curva viscosidade-temperatura do ligante. A temperatura do ligante na hora de ser misturado ao agregado deve ser equivalente para que a sua viscosidade esteja entre 75 e 150 SSF (Segundos Saybolt-Furol). A temperatura do ligante não deve ser inferior a 107 °C e nem superior a 177° C, e a temperatura dos agregados devem ser de 10 a 15°C acima da temperatura definida para o ligante sem ultrapassar 177°C. A temperatura de compactação deve ser equivalente para que o ligante apresente viscosidade na faixa de 125 a 155 SSF;

Em seguida é possível determinar e adotar os teores de asfalto para os diferentes grupos de CP a serem moldados, e cada grupo deve ter no mínimo três CPs: é sugerido um teor de asfalto em % para o 1º grupo e os outros grupos terão o teor de asfalto acima (sugestão: T+0,5% e T+1%) e abaixo (sugestão: T-0, 5% e T-1%).

A montagem dos corpos de prova se dá nas seguintes etapas: adição de asfalto aos agregados, homogeneização, colocação da mistura no molde, compactação da mistura e extração do CP. Após o resfriamento e desmoldagem dos CPs, verifica-se as dimensões do mesmo (diâmetro e altura) e é determinada a sua massa seca (MS) e submersa em água (MSsub). Com esses valores obtém-se a massa específica aparente (GMB) e em comparativo com a massa específica teórica (DMT) é possível obter as relações de volume típicas da dosagem. A partir do teor de asfalto do grupo dos CPs, em questão (%A) ajusta-se o percentual em massa de cada agregado, ou seja:

$$\%n = \%n \times (100\% - \%a) \quad (2)$$

Em que:

$\%n$ é o percentual da massa do agregado 'n' na mistura asfáltica.

Com base em $\%n$, $\%a$ e nas massas específicas reais constituintes, obtém-se a DMT correspondente ao teor de asfalto considerável ($\%a$), usando-se a equação:

$$DMT = \frac{100}{\frac{\%a}{G_a} + \frac{\%Ag}{G_{Ag}} + \frac{\%Am}{G_{Am}} + \frac{\%f}{G_f}} \quad (3)$$

Em que:

$\% a$ = percentagem de asfalto;

$\%Ag$, $\%Ame$, $\%f$ = percentagem do agregado graúdo, agregado miúdo e filer, respectivamente;

G_a , G_{Ag} , G_{Am} e G_f = massas específicas reais do asfalto, do agregado graúdo, do agregado miúdo e do filer.

O cálculo dos parâmetros de dosagem para cada corpo de prova é dado através da equação 4:

$$V = M_s - M_{Ssub} \quad (4)$$

A massa específica aparente da mistura é obtida pela equação 5:

$$G_{mb} = \frac{M_s}{V} \quad (5)$$

Os valores volumétricos a seguir dever ser sempre calculados com valores GMB médio, de três corpos de prova:

Calcula-se o **volume de vazios**, através da equação 6:

$$V_v = \frac{DMT - G_{mb}}{DMT} \quad (6)$$

Calcula-se a porcentagem em **massa dos agregados** pela equação 7:

$$\sum \%n = 100 - \%a \quad (7)$$

Os **vazios do agregado mineral** são obtidos pela equação seguinte:

$$VAM = 100 - (Gmb \times \sum \frac{\%n}{Gsb}) \quad (8)$$

Finalmente a relação **betume/vazios** é calculada através da equação 9:

$$RBV = 100 \times \left(\frac{VAM - Vv}{VAM} \right) \quad (9)$$

Após as medidas volumétricas, os CPs são imersos em banho-maria a 60°C em torno de 30 a 40 minutos. Cada CP deve ser retirado e colocado rapidamente dentro do molde de compressão, então se determina por meio da prensa Marshall, os seguintes fatores mecânicos:

Estabilidade (N): definida pela carga máxima a qual o CP resiste antes da ruptura, como um deslocamento ou rompimento de agregado de modo a causar diminuição da carga necessária para manter o prato da prensa se deslocando a uma taxa constante de 0,8 mm/s;

Fluência (mm): É o deslocamento na vertical apresentado pelo CP correspondente a aplicação da carga máxima.

Teor de ligante asfático: Determinado fazendo o uso de dos parâmetros volumétricos Vv e RBV.

3.1.3 Método de Ensaio 053 (DNER, 1994) – Misturas betuminosas – porcentagem de betume

Através do extrator centrífugo nesse método se determina a porcentagem de betume extraído de misturas betuminosas.

O ensaio resulta da seguinte forma: A mistura betuminosa deverá descansar por 1 hora em temperatura de 120°C e logo após será desmanchada para obter-se uma amostra com cerca de 1 kg. Então é colocada em um prato, coberto com um filtro de papel e depositado dentro do centrifugador e este é tampado seguramente. Será colocado então 150 ml de solvente no prato e a amostra é deixada para descansar por 15 minutos, então se ativa o dispositivo centrifugador. A velocidade é aumentada de forma crescente até que a solução de betume venha a diluir-se. Quando a primeira porção de solvente acabar, o aparelho é parado e acrescenta-se uma nova porção. Este procedimento deve ser repetido até o solvente começar a sair claro. Quando esta situação for atingida, toda a amostra deverá ser guardada na estufa até atingir peso constante.

Depois de seco a amostra será pesada novamente e assim é obtido o valor do peso de betume extraído. A porcentagem de betume é dada por:

$$P = \frac{\text{Massa inicial} - \text{massa final}}{\text{Peso total da amostra}} \times 100 \quad (10)$$

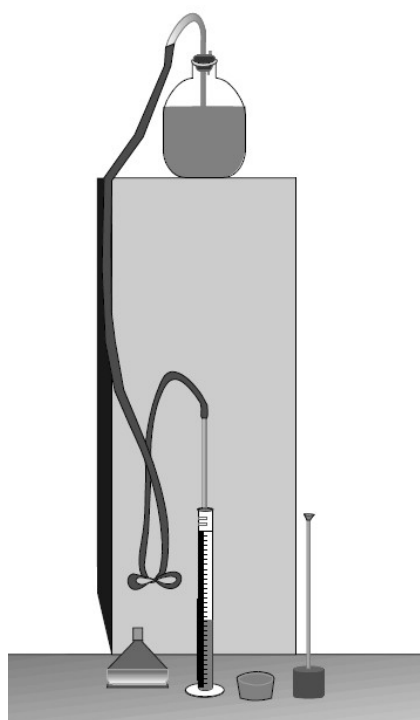
3.1.4 Método de Ensaio 054 (DNER, 1997) – Equivalente de areia

A norma tem por finalidade determinar a presença de finos plásticos nos agregados miúdos. Esses finos provocam retração e inchamentos nas misturas betuminosas (BERNUCCI, et. al. 2006).

O ensaio ocorre da seguinte forma: A amostra é obtida através do material que passa na peneira de 4,8mm, que deve ser umidecida antes do peneiramento e unida com o agregado graúdo que apresenta finos aderentes.

De acordo com as especificações da norma, após ser acionado o sifão através de um pequeno tubo, a pinça aberta é assoprada no topo do garrafão, onde a solução está contida e observa-se o escoamento durante o fechamento da pinça conforme a figura 16:

Figura 16 - Aparelhagem - Equivalente de areia



Fonte: ME 054, Equivalente de areia (DNER, 1997).

Então, deve-se transferir a solução de trabalho para proveta, até que o menisco de 10 cm seja atingido e, com o auxílio de um funil, deve-se transferir também o conteúdo de um recipiente de medida cheio de amostra preparada e rasada na superfície;

Após o período de 10 minutos, a proveta é tampada com a rolha de borracha e agitada vigorosamente, num movimento alternado, horizontalmente. Executam-se 90 ciclos em aproximadamente 30 segundos, então é retirada a rolha e introduzido o tubo lavador e repousado por 20 minutos sem perturbação;

Após período de 20 minutos, é determinado o nível superior da suspensão argilosa, efetuando a leitura com precisão de 2 mm; Então o pistão é introduzido cuidadosamente na proveta até assentar completamente na areia. Gira-se a haste ligeiramente, sem empurrá-la para baixo, até que um dos parafusos de ajustagem torne-se visível, fixando-o à haste. Determina-se o nível do centro de um dos parafusos de ajustagem e adota-o como leitura correspondente ao nível superior da areia. Este nível pode ser determinado medindo-se a distância entre o topo do disco que se apoia na boca da proveta e a base inferior do peso cilíndrico, e subtraindo-se desta, a mesma distância, medida quando a sapata está assentada no fundo da proveta. Com os dados obtidos, calcula-se o equivalente de areia da seguinte forma:

$$EA = \frac{\text{Leitura no topo da areia}}{\text{Leitura no topo da argila}} \times 100 \quad (11)$$

O resultado do ensaio é apresentado na forma de média aritmética de três repetições do ensaio com a mesma amostra, onde deve ser observada a Tabela 6:

Tabela 6 - Determinação do solo quanto ao equivalente de areia

Equivalente de Areia	Classificação
E.A > 30	Solo satisfatório
E.A < 20	Solo ruim
20 > E.A > 30	Recorrer aos ensaios clássicos de caracterização

Fonte: ME 054, Equivalente de areia (DNER, 1997).

3.1.5 Método de Ensaio 055 (DNER, 1995) – Areia – Determinação de impurezas orgânicas

Essa norma determina o procedimento para a estimativa, pela colorimetria, da presença de compostos orgânicos nocivos em areias que podem interferir no desempenho da massa asfáltica. O método não determina substâncias orgânicas como óleos, graxas, parafinas, glucose e outras.

A norma determina a estimativa da quantidade de compostos orgânicos presentes no agregado miúdo que será utilizado na argamassa asfáltica. Para a realização deste ensaio deve-se colher uma amostra com cerca de 200g de areia. O experimento ocorre da seguinte forma: colocar em um frasco elenmeyer 200g de areia seca ao ar e adicionar 100 ml de solução de hidróxido de sódio e então agitar rigorosamente o frasco até que o ar seja completamente removido, deixando-o em repouso por 24 horas. Em outro frasco elenmeyer colocar 100 ml de solução preparada (3 ml da solução de ácido tânico a 2% com 97 ml da solução de hidróxido de sódio a 3%), agitar e deixar em repouso por 24 horas, e então filtrar cada uma das soluções recolhendo cada uma delas em um tubo Nessler.

Após o procedimento avaliar o índice de cor, se a solução apresentar cor mais escura que a solução padrão, existe a possibilidade de a areia ser portadora de compostos orgânicos nocivos, e para se conseguir um melhor resultado, orienta-se realizar ensaios posteriores para a aprovação ou rejeição da areia utilizada.

3.1.6 Método de Ensaio 078 (DNER, 1994) – Agregado graúdo – adesividade a ligante betuminoso

Ao aumentar consideravelmente o teor de ligante betuminoso, atinge-se um crescimento da resistência coesiva, até que as partículas estejam totalmente recobertas. Entretanto não é necessário acrescentar os ligantes de forma indevida, pois, após determinado momento estes acréscimos não produzirão variações consideráveis na resistência (PINTO, 2018. reimp).

Essa norma contém um método para determinar a propriedade do agregado de ser aderido pelo material betuminoso, verificando assim a adesividade do agregado graúdo ao ligante betuminoso. O ensaio procede-se da seguinte forma: a amostra de agregado com massa de 500 g é lavada e imersa em água destilada por 1 minuto e logo após descansa em estufa por 2 horas com temperatura em torno de 120°C. O ligante betuminoso também deve estar nessa temperatura, caso seja cimento asfáltico. Para de fato realizar o ensaio, a amostra deve estar a 100°C e é envolvida pelo ligante betuminoso por uma espátula que após secar/curar é colocada

em um vidro, imersa em água destilada e descansa por 72h a 40°C. O resultado é aceitável caso não haja nenhum descolamento da película betuminosa no tempo de descanso.

3.1.7 Método de Ensaio 083 (DNER, 1998) – Agregados – análise granulométrica

A granulometria do agregado é uma das características mais importantes no estudo de dosagem do concreto betuminoso, pois asseguram estabilidade aos pavimentos, em consequência do maior atrito interno obtido pelo ajustamento das partículas, entre variadas graduações: da mais graúda até a mais fina (GOMES; SILVA, 2018). As amostras são divididas em porções de 1kg que em seguida são levadas à estufa e secas a temperatura em torno de 110°C e são esfriadas a temperatura ambiente afim de se determinar a massa total. Após o esfriamento as amostras passam por peneiramento mecânico ou manual e são pesadas, considerando o material pulverulento e o que tenha ficado preso nas malhas, o material retido em cada peneira.

Para o resultado é necessário calcular a porcentagem de material passando em cada peneira e a porcentagem acumulada de material seco em cada peneira. No final é possível determinar o módulo de finura e a classificação do agregado.

3.1.8 Determinação do índice de forma

A finalidade desse ensaio é medir a forma do grão. É possível determinar o índice de forma tanto pelo Método de Ensaio 086 (DNIT, 1994), quanto pelo Método Paquímetro – NBR 7809 (ABNT, 2006).

Quando o resultado é igual a 1, diz-se que o agregado é de ótima cubicidade; quando for igual a 0, ele é classificado como lamelar (achatado ou alongado). Os agregados caracterizados como lamelares são facilmente quebrados pela aplicação das cargas de tráfego, acelerando a criação de buracos na pista da rodovia (PINTO, 2018 reimp.).

Para a determinação do índice de forma foi utilizado o método da NBR7809 que é obtido pela utilização do paquímetro e realizado para agregados graúdos com dimensão maior que 9,5 mm. O paquímetro utilizado para realização do ensaio tem resolução de 0,1 mm, devidamente aferido, uma estufa capaz de estabelecer sua temperatura entre $(105 \pm 5^\circ\text{C})$ e peneiras de ensaio das séries normal e intermediária. A preparação da amostra dá-se pela secagem na estufa e análise granulométrica, de forma que divida a amostragem em frações e seja desprezado todo o material passante na peneira de 9,5 mm e também aqueles que possuem

massa inferior a 5% do que foi retido. Quanto ao procedimento experimental, cada fração obtida deve ser quantizada até o número de grãos obtidos, dado pela seguinte equação:

$$N_i = \frac{200}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (12)$$

Em que:

200 = Número de grãos a serem analisados;

N_i = Número de grãos a serem medidos na fração i ;

F_i = Porcentagem de massa retida na fração i ;

Após o cálculo de todas as frações, com o auxílio de um paquímetro, é necessário aferir o comprimento e espessura de cada um dos grãos. Para obtenção dos resultados deve-se calcular o índice de forma através da média ponderada da relação entre comprimento e espessura (c/e) de todos os grãos da fração.

3.1.9 Método de Ensaio 117 (DNER, 1994) – Mistura betuminosa – determinação da densidade aparente

O objetivo desse método é determinar a densidade aparente em corpos de prova preparados em laboratório ou obtidos na pista. A densidade aparente de uma mistura betuminosa é a relação entre o peso da mistura ao ar e a diferença entre o peso ao ar e o peso da mistura em suspensão na água.

A norma estabelece a densidade de corpos de prova moldados em laboratório. Para a realização deste ensaio deve-se analisar a porcentagem de vazios, pois para os CPs com até 7%, pesa-se o corpo de prova ao ar e imerso em água. Já para os CPs com porcentagem de vazios de 7% a 10%, pesa-se o corpo de prova ao ar, aplica-se parafina fluidificada com um pincel, e pesa-se novamente o corpo de prova parafinado ao ar e imerso na água. Os corpos de prova com porcentagem de vazios superior a 10%, o CP é pesado ao ar, envolvido totalmente em fita adesiva, determinado o peso da fita adesiva, então é aplicada parafina fluidificada ao CP adesivado, por fim, é pesado o corpo de prova com parafina e adesivo ao ar e imerso na água e anota-se a densidade da fita adesiva. Após levantar os dados, calcula-se a densidade aparente do corpo de prova através das seguintes expressões:

No caso de CP com 7% de vazios calcula-se:

$$d = \frac{Par}{Par - Pi} \quad (13)$$

Para CP com 7% a 10% de vazios, calcula-se conforme a equação 6:

$$d = \frac{Par}{Pp - Pi - \frac{Pp - Par}{dp}} \quad (14)$$

E nos corpos de prova com mais de 10% de vazios:

$$d = \frac{Pa}{P3 - P4 - \frac{P2}{df} - \frac{P3 - P1}{dp}} \quad (15)$$

Em que:

d = Densidade aparente do CP;

Par = Peso do CP, determinada ao ar;

Pi = Peso do CP imerso em água;

Pp = Peso do CP recoberto com parafina, ao ar;

Ppi = Peso do CP recoberto com parafina, imerso em água;

dp = Densidade aparente da parafina empregada;

P1 = Peso do CP com fita adesiva;

P2 = Peso da fita adesiva;

P3 = Peso do CP, com fita adesiva e recoberto com parafina;

P4 = Peso do CP com fita adesiva recoberto com parafina imerso em água;

df = Densidade aparente da fita adesiva;

Os resultados obtidos devem corresponder a dois ou mais corpos de prova.

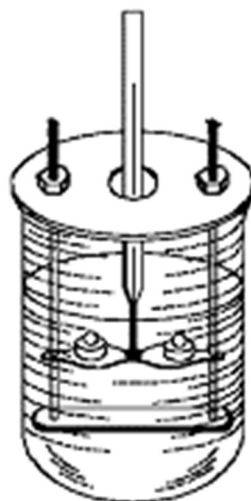
3.1.10 Método de Ensaio 131 (DNIT, 2010) – Determinação do Ponto de Amolecimento

– Método do Anel e Bola

Segundo a norma ME 131 (DNIT, 2010), para que seja determinado o ponto de amolecimento dos materiais asfálticos na faixa de 30°C a 157°C, utiliza-se a aparelhagem anel e bola, conforme figura 17. Esse ensaio tem por definição o uso de uma bola de aço, com

dimensão e peso especificados por norma, no centro de uma amostra do material que está condicionado, dentro de um anel também padronizado. O conjunto que envolve o anel e a bola é colocado dentro de um recipiente com glicerina para um banho conforme figura 17, que é aquecida a uma taxa de temperatura controlada que gira em torno de 5°C/min.

Figura 17 - Aparelhagem método Anel e Bola



Fonte: ME 131, Determinação do ponto de amolecimento (DNIT, 2010).

Quando ocorre o deslocamento da amostra de asfalto juntamente com a bola para o fundo da placa, devido ao amolecimento do asfalto e ao peso que a bola possui, é anotada a temperatura em que se encontra o material nesse exato momento para que se tenha a medida do ponto de amolecimento e esse mesmo teste é feito com duas amostras do material (figura 18). A diferença entre os resultados de ensaios sucessivos, obtidos pelo mesmo operador, com a mesa aparelhagem, sob condições constantes de operação em amostras do mesmo material, só pode ser superior a 2°C um caso em vinte.

Figura 18 - Determinação do Ponto de Amolecimento



Fonte: Autor (2019)

3.1.11 Método de Ensaio 136 (DNIT, 2018) – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral

Para a realização deste ensaio são necessários uma prensa mecânica com sensibilidade igual ou inferior a 19,60 N, um sistema de refrigeração e um paquímetro. Para a preparação da amostra, deve ser moldado um corpo-de-prova de forma cilíndrica, com altura entre 3,50 cm e 6,50 cm e diâmetro de $10 \pm 0,2$ cm. Então deve-se medir a altura e o diâmetro do corpo-de-prova, colocá-lo num compartimento com a temperatura controlada de $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$ por um período de 4 (quatro) horas, antes da realização do ensaio. Em seguida, o corpo de prova deve ser posicionado no dispositivo centralizador, com sua superfície cilíndrica entre os dois frisos metálicos, curvos em uma das faces. Deve-se então aplicar a carga vertical de compressão progressivamente, com uma velocidade de deformação de $0,8 \pm 0,1$ mm/s, até que se dê a ruptura, por separação das duas metades do corpo-de-prova, segundo o plano diametral vertical e anota-se o valor da carga de ruptura. Com o valor obtido é calculada a resistência à tração do corpo-de-prova rompido através da equação:

$$\sigma_r = \frac{2F}{\pi \times D \times H} \quad (16)$$

Em que:

σ_r – resistência à tração, em kgf/cm²;

F – carga de ruptura, em kgf;

D – diâmetro de corpo-de-prova, em cm;

H – altura do corpo-de-prova, em cm.

3.1.12 Método de Ensaio 148 (DNER, 1994) – Material betuminoso – determinação dos pontos de fulgor e de combustão (vaso aberto Cleveland)

Essa norma técnica define o procedimento a ser utilizado para a determinação dos pontos de fulgor e de combustão de produtos de petróleo e estabelece valores quanto a repetibilidade e reprodutibilidade. Esta metodologia de ensaio acontece com um considerável aumento de temperatura e é utilizado para materiais viscosos com ponto de fulgor igual ou maior do que 79°C.

O ensaio se inicia pelo enchimento da cuba de ensaio com 70 ml de amostra e colocação da mesma no centro do aquecedor, conforme figura 19.

Figura 19 – Aparelho do ensaio de pontos de fulgor e de combustão



Fonte: Autor (2019)

Caso aconteça de o líquido escorrer pelo externo da cuba, a mesma deve ser retirada, lavada, seca e o ensaio é iniciado novamente, por questões de segurança. Toda e qualquer espuma ou bolha de ar na superfície deve ser desfeita ou retirada sem alterar o nível da amostra.

Seguindo com o ensaio, primeiramente deve-se aquecer a amostra de forma constante de 14-17°C/min. Quando a temperatura da amostra estiver a 56°C abaixo do ponto de fulgor

esperado deve-se abaixar a temperatura para que a taxa de aumento nos últimos 28°C antes do ponto de fulgor seja em torno de 5-6°C/min. Quando a temperatura chegar ao ponto de 28°C antes do ponto de fulgor esperado deve-se passar a chama de ensaio através do centro da cuba em ângulo reto com movimentos contínuos e suavemente, de forma que se aplique em linha reta ou ao longo de uma circunferência de um círculo com raio mínimo de 150 mm (± 1).

O centro da chama de ensaio é movido em apenas uma direção e na próxima aplicação da chama, deve ser passada na direção oposta à da aplicação anterior. O tempo consumido na passagem da chama pela cuba em cada caso deve ser de $1,0 \pm 0,1$ s, Considera-se que o ponto de fulgor é a menor temperatura do líquido em que uma chama larga aparece e se propaga acima da superfície da amostra e se esvai rapidamente.

3.1.13 Método de Ensaio 155 (DNIT, 2010) – Determinação da Penetração

A penetração do CAP é determinada pela distância que uma agulha penetra verticalmente em uma amostra de cimento asfáltico. Quanto maior for a penetração, mais “mole” será o cimento asfáltico.

O ensaio é regido pela norma ME 155 - Determinação da penetração do material asfáltico (DNIT, 2010), onde é determinada e avaliada a consistência do asfalto, que é a resistência a fluir dependendo da temperatura (estado de fluidez). Para a execução deste ensaio são necessários, um recipiente de penetração, um penetrômetro, agulhas, cuba de transferência, cronômetro graduado e termômetros de imersão total. O experimento procede-se pela medida da penetração da agulha (100 g) no recipiente de penetração após 5 segundos a 25°C (figura 20). O resultado é obtido pela penetração em décimos de milímetro e deve ser a média obtida de no mínimo três determinações.

Figura 20 - Determinação da penetração



Fonte: Autor (2019)

3.1.14 Viscosidade

O ensaio de viscosidade tem como objetivo medir a consistência dos materiais betuminosos em estado líquido. Definindo a relação entre a viscosidade e temperatura é possível, em laboratório e em campo, quantificar de forma prática as temperaturas adequadas para a mistura, espalhamento e compactação da massa asfáltica. As curvas de temperatura \times viscosidades são de extrema importância para que não ocorra o aquecimento inadequado do ligante, evitando desperdícios e acidentes (PINTO, 2018 reimp.).

Conforme a ES 031 (DNIT, 2006a), a viscosidade pode ser obtida pelo Método de Ensaio 004 (DNIT, 1994) que determina que sejam utilizadas as referências da norma NBR 14950 - Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade Saybolt Furol (ABNT, 2003). O ensaio da norma é dividido em dois procedimentos, onde no procedimento A a temperatura analisada varia de 21°C e 99° C e no procedimento B a temperatura varia de 120° C e 240°C. Procedese ainda de forma simples e rápida e é medido em segundos onde o asfalto flui no orifício (Furol), nas temperaturas descritas na norma, preenchendo um frasco de 60 cm³ (viscosímetro), conforme figura 21.

Figura 21 - Aparelho viscosímetro Saybolt-Furol



Fonte: Autor (2019)

4 ESTUDO DE CASO

4.1 ORIGEM DOS MATERIAIS

Os ensaios foram executados com materiais obtidos dentro das recomendações do DNIT, para composição de mistura Marshall para concreto asfáltico camada de rolamento, conforme diretrizes preconizadas pela norma ES 031 – Especificação de Serviço (DNIT, 2006a). Em conformidade com a norma PRO 120 – Coleta de amostras de agregados (DNIT,1997) utilizou-se 50 kg de amostra de agregado graúdo, classificados como brita 0 e brita 1 da pedra de granito. Por motivos de disponibilidade de materiais, o pó de brita foi utilizado como fíler (amostra de 20 kg). Os agregados foram disponibilizados pela Pedreira Anápolis com mina localizada no próprio município. O material fresado foi coletado no pátio do DNIT, localizado na BR-153, também em Anápolis-GO. Depois de tomadas as quantidades requeridas conforme a norma, as amostras foram levadas ao laboratório e, após serem submetidas a um quarteamento, cada amostra foi reduzida para o tamanho apropriado aos ensaios específicos.

O Cimento Asfáltico de Petróleo que foi cedido pela empresa Engetec Controle Tecnológico Ltda é do tipo 50/70, e não possui aditivo em sua composição.

4.2 PROCEDIMENTO PRÁTICO

4.2.1 Agregados – determinação da abrasão “Los Angeles”

O ensaio foi realizado pela empresa Carlos Campos Consultoria e Construções limitada e o estudo foi cedido pela Pedreira Anápolis, a tabela 7 indica os resultados obtidos com o ensaio da Brita 0.

Tabela 7 - Abrasão "Los Angeles" - Brita 0

Peneiras Abertura em mm		Frações da amostra de Brita 0 antes do ensaio						Frações da amostra de Brita 0 após o ensaio
Passando em	Retido em	Grad. A	Grad. B	Grad. C	Grad. D	Grad. E	Grad. F	Grad.C
76	63	-	-	-	-	2500±50	-	-
63	60	-	-	-	-	2500±50	-	-
50	38	-	-	-	-	5000±50	5000±50	-
38	25	1250±25	-	-	-	-	5000±50	-
25	19	1250±25	-	-	-	-	-	-
19	12,5	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-
12,5	9,5	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-
9,5	6,3	-	-	2500±10	-	-	-	419
6,3	4,8	-	-	2500±10	-	-	-	1216
4,8	2,4	-	-	-	5000±10	-	-	1572
1,7						-	-	620
Carga abrasiva		12 esferas 5000±25	11 esferas 4584 ±25	8 esferas 3330 ±25	6 esferas 5000±25	12 esferas 5000±25	12 esferas 5000±25	Massa retida na #1,7mm – Pn (g)
Massas totais (g)		5000	-	-	-	-	-	3827
Cálculo da abrasão		$An = (mn - Mn)/Mn \times 100 = 23,5\%$						

Fonte: Pedreira Anápolis, 2019.

Os resultados obtidos para a Brita 1 estão na tabela 8.

Tabela 8 - Abrasão "Los Angeles" - Brita 1

Peneiras Abertura em mm		Frações da amostra de Brita 1 antes do ensaio						Frações da amostra de Brita 1 após o ensaio
Passando em	Retido em	Grad. A	Grad. B	Grad. C	Grad. D	Grad. E	Grad. F	Grad.A
76	63	-	-	-	-	2500±50	-	-
63	60	-	-	-	-	2500±50	-	-
50	38	-	-	-	-	5000±50	5000±50	-
38	25	1250±25	-	-	-	-	5000±50	458
25	19	1250±25	-	-	-	-	-	1076
19	12,5	1250±10	2500±10	-	-	-	-	891
12,5	9,5	1250±10	2500±10	-	-	-	-	414
9,5	6,3	-	-	2500±10	-	-	-	506
6,3	4,8	-	-	2500±10	-	-	-	256
4,8	2,4	-	-	-	5000±10	-	-	390
1,7								121
Carga abrasiva		12 esferas 5000±25	11 esferas 4584 ±25	8 esferas 3330 ±25	6 esferas 5000±25	12 esferas 5000±25	12 esferas 5000±25	Massa retida na #1,7mm – Pn (g)
Massas totais (g)		5000	-	-	-	-	-	4112
Cálculo da abrasão		$An = (mn - Mn)/Mn \times 100 = 17,8\%$						

Fonte: Pedreira Anápolis, 2019.

De acordo com a NBR 12948 – Ensaio de Abrasão Los Angeles (ABNT,1993), o índice de desgaste por abrasão deve ser inferior a 40% em massa do material para uso em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ). O índice obtido também atende ao disposto na ES 031 (DNIT, 2006a).

4.2.2 Equivalente de areia

O equivalente de areia foi obtido, seguindo o Método de Ensaio 054 (DNIT, 1979), através da média da porcentagem das três provetas ensaiadas. Este ensaio não deve ser realizado

apenas com o agregado miúdo de areia, sendo necessário realizá-lo também com o pó de brita. Os resultados obtidos estão descritos na tabela 9.

Tabela 9 - Equivalente de areia

	Leitura no topo da areia	Leitura no topo da argila	Resultado	Média
Equivalente de areia (1)	11,0	15,5	71,0%	70,3%
Equivalente de areia (2)	10,8	15,5	69,7%	

Fonte: Autor (2019)

Segundo a norma ES 031 (DNIT, 2006a), o equivalente de areia deve ser igual ou superior a 55%, portanto o agregado atende às especificações pois o resultado obtido foi 70%.

4.2.3 Areia – Determinação de impurezas orgânicas

Não houve obrigatoriedade de realizar este ensaio pois o material escolhido para trabalhar foi o pó de brita, que não tem contato com material orgânico considerável em sua produção. Considerando ainda que nas misturas betuminosas a quente, os agregados são aquecidos a elevadas temperaturas, em torno de 160 °C, o material orgânico será queimado e não causará danos a mistura (PINTO, 2018. reimp).

4.2.4 Agregado graúdo – adesividade a ligante betuminoso

O ligante utilizado é cimento asfáltico de petróleo e por isso foi necessário aquecer o agregado a 100°C e o ligante a 120°C. O ensaio foi realizado com amostras de Brita 0 e Brita 1 separadamente. O resultado deste ensaio é totalmente visual e após 72 horas de repouso imerso em água destilada, na estufa a 40°C, foi constatado que não houve nenhum deslocamento da película betuminosa, obtendo resultado satisfatório, para ambos agregados. Os ensaios já realizados na empresa Engetec verificaram que essa proporção é a ideal para o agregado da região, e foi obtido por tentativas anteriores.

4.2.5 Agregados – análise granulométrica

No ensaio de Brita 1 a amostra foi seca na estufa e em seguida colocada na peneira de 3/4” e agitada mecanicamente durante 10 minutos (figura 22).

Figura 22 - Análise granulométrica - agitação mecânica



Fonte: Autor (2019)

Após a agitação, o material retido em cada peneira foi pesado e anotado na tabela 10.

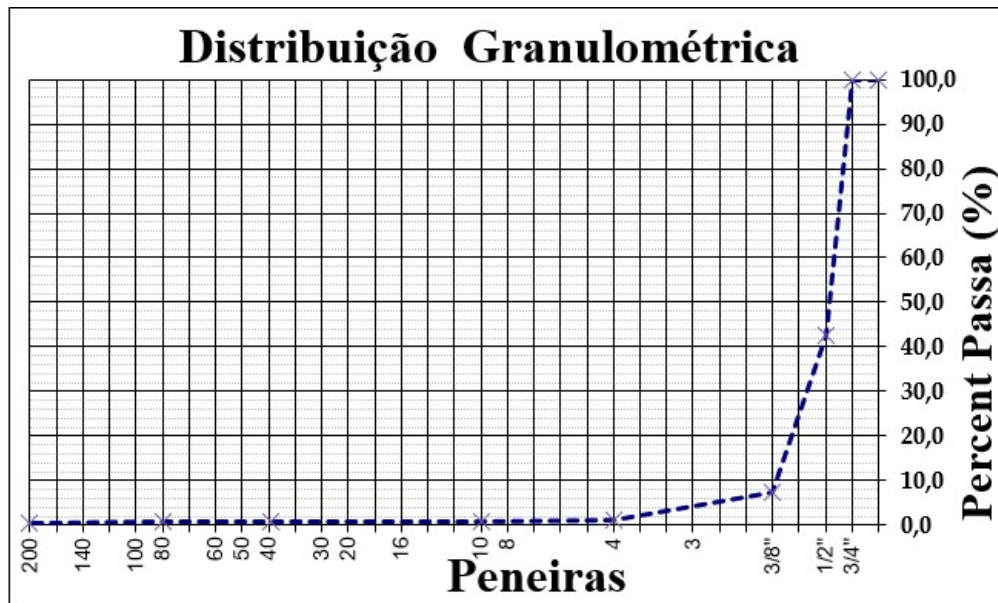
Tabela 10 - Granulometria - Brita 1

Material:		Agregado Graúdo - Brita 1			
Peneiras		Análise Granulométrica			
Pol.	mm	Retido	% Retido	% Acumulado	% Passado
1"	25,4	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	19,05	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,5	574,77	57,4	57,4	42,6
3/8"	9,52	351,27	35,1	92,6	7,4
4	4,76	63,34	6,3	98,9	1,1
8	2,36	0,00	0,0	98,9	1,1
10	2,00	3,70	0,4	99,3	0,7
40	0,42	0,25	0,0	99,3	0,7
80	0,177	0,25	0,0	99,3	0,7
200	0,075	0,91	0,1	99,4	0,6
FUNDO		6,00	0,6	100,0	
TOTAL		1000,5			

Fonte: Autor (2019)

A partir dos dados anotados na tabela 10 foi feita a curva granulométrica da Brita 1 (figura 23).

Figura 23 - Curva granulométrica - Brita 1



Fonte: Autor (2019)

No ensaio com a Brita 0 o material foi seco em estufa e colocado na peneira de 1/2". A amostra foi agitada manualmente. O material retido foi pesado e anotado na tabela 11.

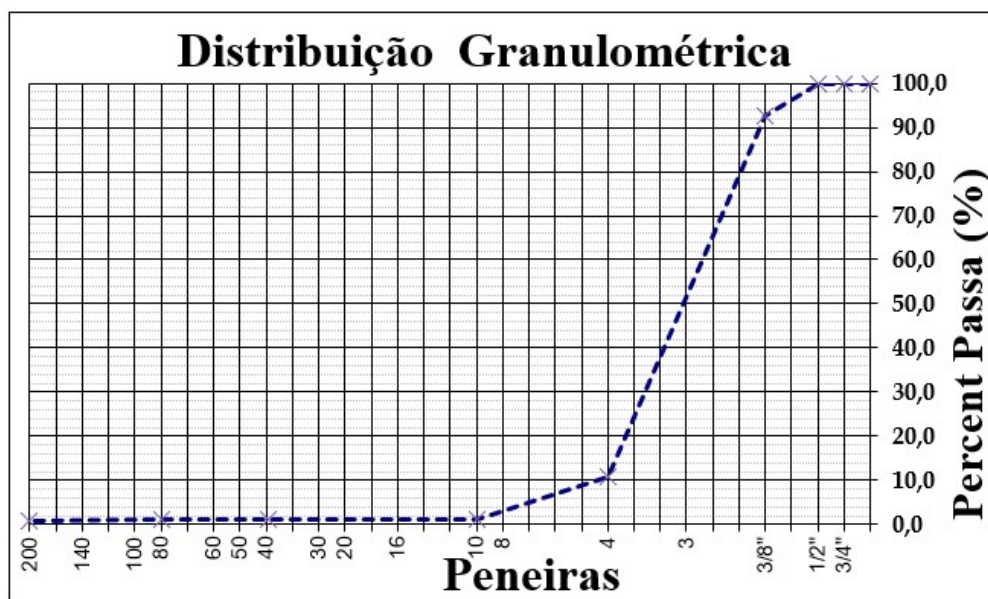
Tabela 11 - Granulometria - Brita 0

Material:		Brita 0			
Peneiras		Análise granulométrica			
Pol.	mm	Retido	% Retido	% Acumulado	% Passado
1"	25,4	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	19,05	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,5	0,0	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,52	72,4	7,2	7,2	92,8
4	4,76	819,4	82,0	89,3	10,7
8	2,36	0,0	0,0	89,3	10,7
10	2,00	95,7	9,6	98,8	1,2
40	0,42	0,5	0,1	98,9	1,1
80	0,177	0,3	0,0	98,9	1,1
200	0,075	1,8	0,2	99,1	0,9
FUNDO		9,0	0,9	100,0	
TOTAL		999,0			

Fonte: Autor (2019)

A partir dos dados da tabela 11 foi criada a curva granulométrica (figura 24) da Brita 0.

Figura 24 - Curva Granulométrica - Brita 0



Fonte: Autor (2019)

Para o ensaio com o Pó de brita o material foi colocado na peneira de 3/8" e a amostra foi agitada manualmente. Os resultados estão anotados na tabela 12 a seguir.

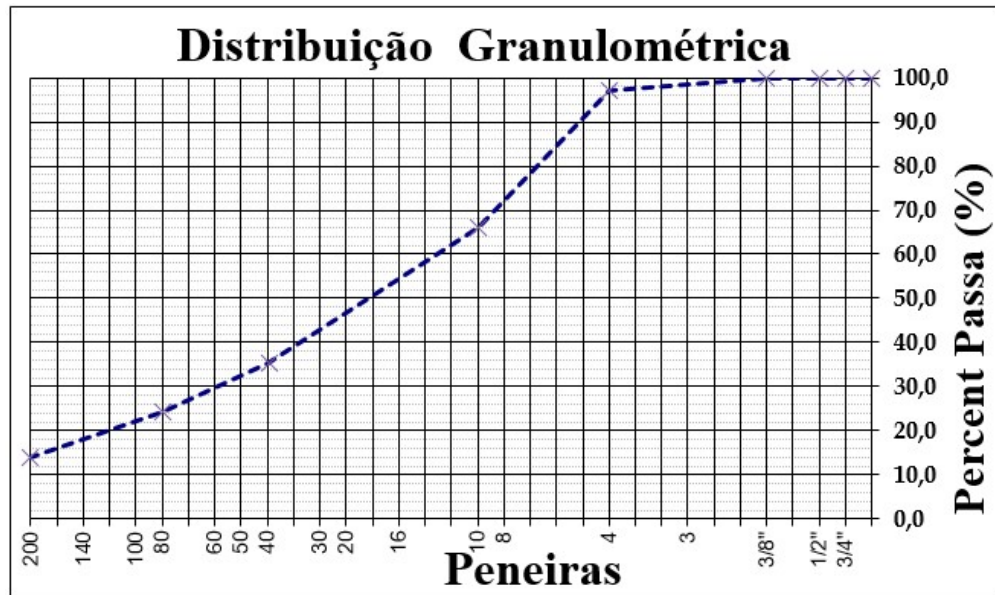
Tabela 12 - Granulometria - Pó de brita

Material:		Pó de pedra			
Peneiras		Análise granulométrica			
Pol.	mm	Retido	% Retido	% Acumulado	% Passado
1"	25,4	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	19,05	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,5	0,0	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,52	0,0	0,0	0,0	100,0
4	4,76	30,8	3,1	3,1	96,9
8	2,36	0,0	0,0	3,1	96,9
10	2,00	308,9	30,9	34,0	66,0
40	0,42	305,6	30,6	64,5	35,5
80	0,177	112,1	11,2	75,7	24,3
200	0,075	104,6	10,5	86,2	13,8
FUNDO		138,0	13,8	100,0	
TOTAL		1000,0			

Fonte: Autor (2019)

A figura 25 mostra a curva granulométrica formada à partir dos dados da tabela 12.

Figura 25 - Curva Granulométrica - Pó de brita



Fonte: Autor (2019)

O ensaio também foi realizado para determinar a granulometria do material fresado que foi adicionado ao CBUQ (tabela 13), obtendo os seguintes resultados:

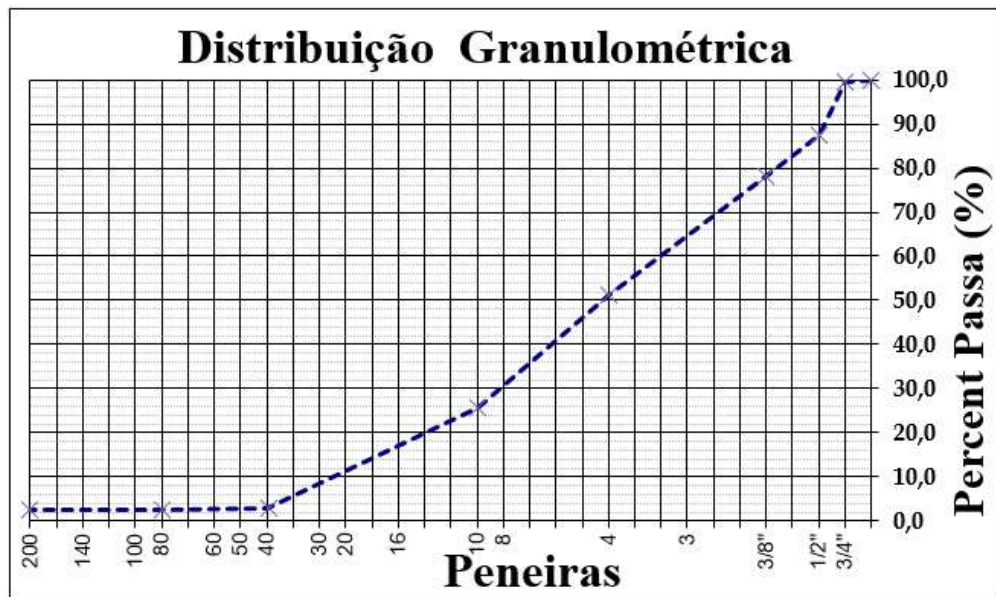
Tabela 13 - Granulometria - Material Fresado

Material:		Fresado			
Peneiras		Análise granulométrica			
Pol.	mm	Retido	% Retido	% Acumulado	% Passado
1"	25,4	13,4	1,3	1,3	100,00
3/4"	19,05	18,6	1,9	0,5	99,48
1/2"	12,5	120,13	12,0	12,5	87,47
3/8"	9,52	93,17	9,3	21,8	78,15
4	4,76	269,58	27,0	48,8	51,19
8	2,36	0,00	0,0	48,8	51,19
10	2,00	254,13	25,4	74,2	25,78
40	0,42	227,25	22,7	96,9	3,05
80	0,177	3,28	0,3	97,3	2,72
200	0,075	0,35	0,0	97,3	2,69
FUNDO		0,00	0,0	97,3	
TOTAL		1000,0			

Fonte: Autor (2019)

A curva granulométrica (figura 26) do material fresado foi criada a partir dos dados obtidos na tabela 13.

Figura 26 - Curva Granulométrica - Material Fresado



Fonte: Autor (2019)

4.2.6 Agregado – determinação do índice de forma

Para realização desse ensaio foi seguido o que diz a NBR 7809 – Índice de forma determinado pelo método do paquímetro (ABNT,2006) respeitando os parâmetros e sem anormalidades. O resultado encontrado para amostra ensaiada é indicado abaixo:

- Índice de forma = 0,64
- Classificação da forma = cúbica
- Origem: Pedreira Anápolis

Esse valor foi calculado pela média ponderada das relações entre comprimento e espessura de todos os grãos medidos. Atende ao disposto no item 5.1, da ES 031 (DNIT, 2006a), item Materiais.

4.2.7 Material betuminoso – determinação da penetração, do amolecimento, do ponto de fulgor e de combustão e da viscosidade.

Os ensaios com o CAP devem ser realizados com extremo cuidado, haja vista que ele só possui trabalhabilidade em altas temperaturas. A tabela 14 apresenta os resultados obtidos com os ensaios.

Tabela 14 - Resultados ensaio com CAP

Característica	Método	Especificação	Resultado	Unidade
Penetração a 25°C, 5s, 100g	ME 155/10	50 a 70	51	mm
Ponto de amolecimento	ME 131/10	Mínimo 46	47,5	°C
Ponto de Fulgor	ME 148/94	Mínimo 235	310	°C
Viscosidade	NBR 14950	Mínimo 141	153	s

Fonte: Autor (2019)

4.3 CÁLCULO DA DOSAGEM

Dado o adicional positivo de aceitação dos componentes pelos ensaios executados, prossegue-se com a definição da dosagem do CBUQ comum inserindo os dados de granulometria conforme a tabela 15, para verificação dos limites da faixa escolhida.

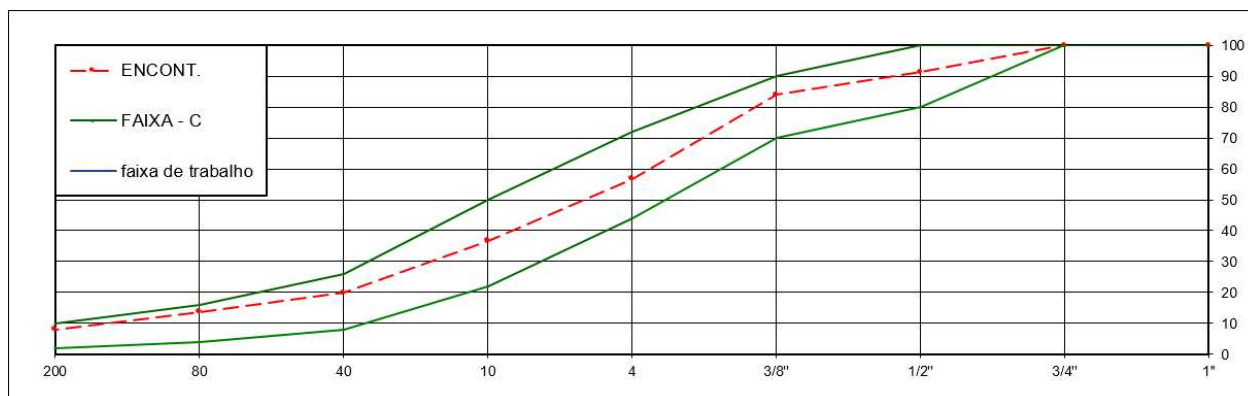
Tabela 15 - Traço para CBUQ comum

Cálculo do traço do CBUQ comum								
Peneiras		Brita 1	Brita 0	Pó de Pedra	Traço	Faixa média	Faixa C	
POL.	mm	15,0%	30,0%	55,0%			Mín.	Máx.
1"	25,40	15,00	30,00	55,00	100,0	100	100	100
3/4"	19,05	15,00	30,00	55,00	100,0	100	100	100
1/2"	12,70	6,38	30,00	55,00	91,4	90	80	100
3/8"	9,52	1,12	27,83	55,00	83,9	80	70	90
4	4,76	0,17	3,22	53,31	56,7	58	44	72
10	2,00	0,11	0,35	36,32	36,8	36	22	50
40	0,42	0,11	0,33	19,51	19,9	17	8	26
80	0,177	0,10	0,32	13,34	13,8	10	4	16
200	0,075	0,09	0,27	7,59	8,0	6	2	10
Fundo		Desprezado						

Fonte: Autor (2019)

A determinação das porcentagens a serem utilizadas, é obtida através de tentativas para alcançar o mais próximo da média dos limites da faixa. Por exemplo, quanto mais baixa a curva da granulometria estiver, mais “grosso” o agregado e a mistura estarão e, só será aceitável se permanecer dentro dos limites do DNIT. A figura 27 apresenta a curva considerada do traço ideal.

Figura 27 - Curva traço ideal - CBUQ comum



Fonte: Autor (2019)

A partir do traço ideal do CBUQ comum, foi proposto a substituição de parte dos agregados pelo uso do material fresado. A tabela 16 indica o novo traço ideal, utilizando 15% de material fresado na composição do CBUQ.

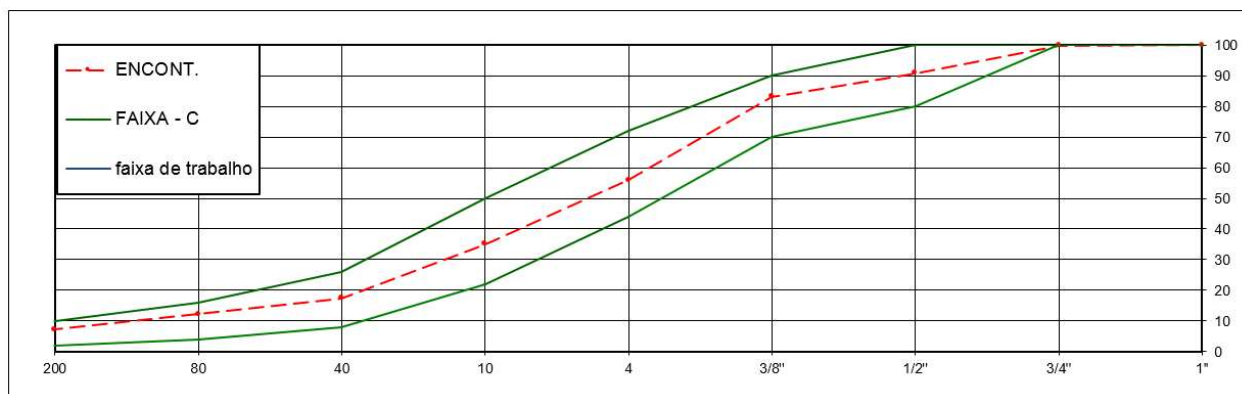
Tabela 16 - Traço para CBUQ com 15% de material fresado

Cálculo do traço do CBUQ com com 15% de material fresado							
Peneiras		Composição CBUQ comum	Material Fresado	Traço	Faixa média	Faixa C	
POL.	mm	85,0%	15,0%			Mín.	Máx.
1"	25,40	85,00	15,00	100,0	100	100	100
3/4"	19,05	85,00	14,92	99,9	100	100	100
1/2"	12,70	77,68	13,12	90,8	90	80	100
3/8"	9,52	71,35	11,72	83,1	80	70	90
4	4,76	48,19	7,98	55,9	58	44	72
10	2,00	31,26	3,87	35,1	36	22	50
40	0,42	16,96	0,46	17,4	17	8	26
80	0,177	11,71	0,42	12,1	10	4	16
200	0,075	6,76	0,40	7,2	6	2	10
Fundo		Desprezado					

Fonte: Autor (2019)

A curva média do DNIT para o CBUQ modificado com a substituição de 15% de material fresado é exemplificada na figura 28.

Figura 28 - Curva traço ideal - CBUQ com 15% de material fresado



Fonte: Autor (2019)

Foi realizado também o estudo para a substituição de 20% dos agregados por material fresado na composição do CBUQ comum. Desta forma, o traço ideal está descrito na tabela 17.

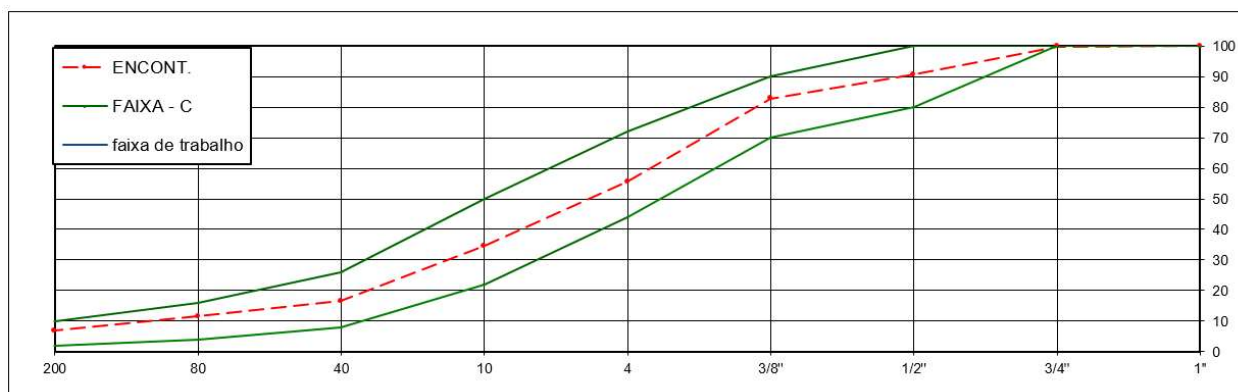
Tabela 17 - Traço para CBUQ com 20% de material fresado

Cálculo do traço do CBUQ com com 20% de material fresado							
Peneiras		Composição CBUQ comum	Material Fresado	Traço	Faixa média	Faixa C	
POL.	mm					Mín.	Máx.
		80,0%	20,0%				
1"	25,40	80,00	20,00	100,0	100	100	100
3/4"	19,05	80,00	19,90	99,9	100	100	100
1/2"	12,70	73,11	17,49	90,6	90	80	100
3/8"	9,52	67,15	15,63	82,8	80	70	90
4	4,76	45,36	10,24	55,6	58	44	72
10	2,00	29,42	5,16	34,6	36	22	50
40	0,42	15,96	0,61	16,6	17	8	26
80	0,177	11,02	0,54	11,6	10	4	16
200	0,075	6,36	0,54	6,9	6	2	10
Fundo		Desprezado					

Fonte: Autor (2019)

A curva do traço ideal utilizando 20% de material fresado na composição do CBUQ comum se dá conforme figura 29.

Figura 29 - Curva traço ideal - CBUQ com 20% de material fresado



Fonte: Autor (2019)

Também foi proposto a substituição de 30% de material fresado na composição do CBUQ, porém após várias análises foi constatado que o uso de 30% de material fresado produziria um CBUQ com muito material fino, o que resultaria num traço fora da faixa C do DNIT. Como solução foi sugerido a diminuição do uso de pó de pedra na composição, garantindo que o traço com 30% de material fresado encaixasse na faixa C do DNIT.

A tabela 18 indica o novo traço do CBUQ comum com uma redução do uso de pó de brita, aumentando, conseqüentemente, o uso de Brita 0.

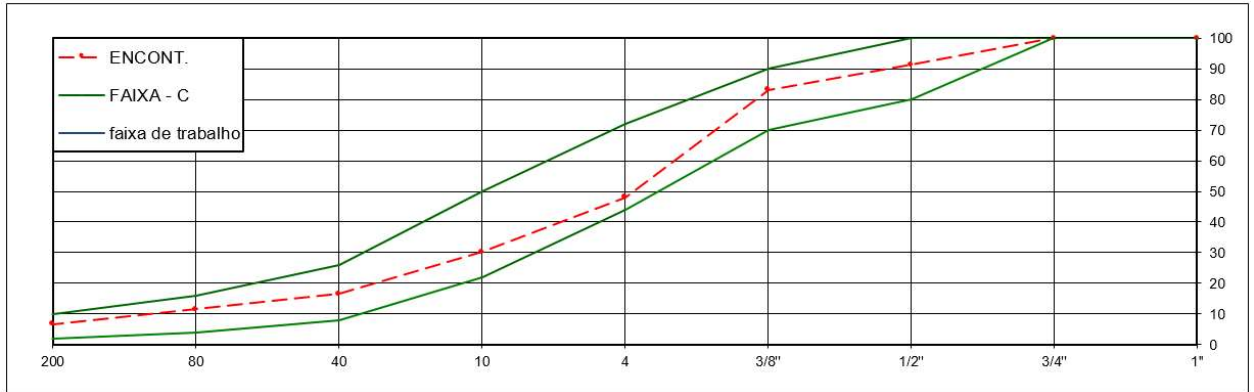
Tabela 18 - Traço para CBUQ com redução de pó de brita

Cálculo do traço do CBUQ com redução de pó de brita								
Peneiras		Brita 1	Brita 0	Pó de Pedra	Traço	Faixa média	Faixa C	
POL.	mm	15,0%	40,0%	45,0%			Mín.	Máx.
1"	25,40	15,00	40,00	45,00	100,0	100	100	100
3/4"	19,05	15,00	40,00	45,00	100,0	100	100	100
1/2"	12,70	6,38	40,00	45,00	91,4	90	80	100
3/8"	9,52	1,12	37,10	45,00	83,2	80	70	90
4	4,76	0,17	4,29	43,62	48,1	58	44	72
10	2,00	0,11	0,46	29,72	30,3	36	22	50
40	0,42	0,11	0,44	15,96	16,5	17	8	26
80	0,177	0,10	0,43	10,92	11,5	10	4	16
200	0,075	0,09	0,36	6,21	6,7	6	2	10
Fundo		Desprezado						

Fonte: Autor (2019)

A curva do traço ideal da nova composição com uma redução do pó de brita corresponde á figura 30.

Figura 30 - Curva traço ideal - CBUQ com redução de pó de brita



Fonte: Autor (2019)

Após a redução do pó de pedra no CBUQ comum, foi feito um novo traço substituindo 30% da composição de agregados pelo material fresado, formando um novo traço ideal, conforme tabela 19.

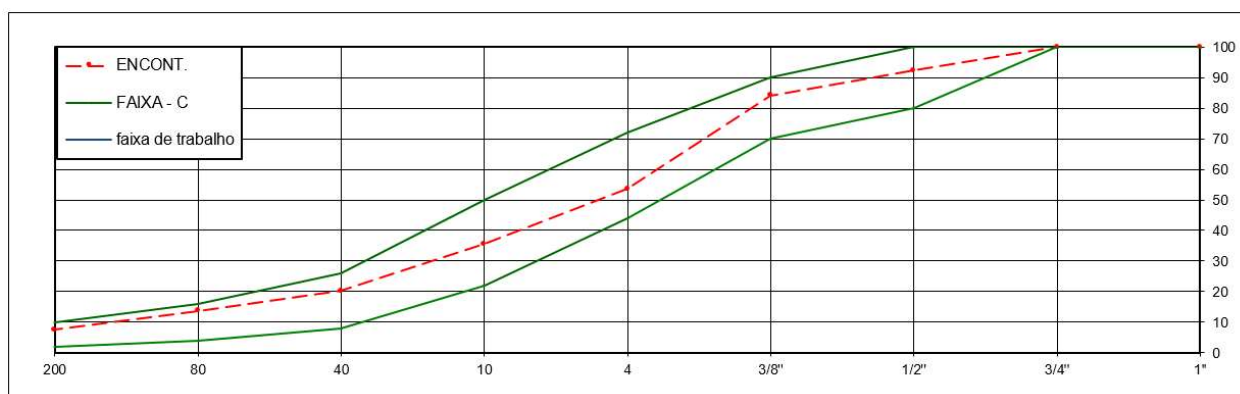
Tabela 19 - Traço para CBUQ com 30% de material fresado

Cálculo do traço do CBUQ com com 30% de material fresado							
Peneiras		Composição CBUQ comum com redução do pó de pedra	Material Fresado	Traço	Faixa média	Faixa C	
POL.	mm					Mín.	Máx.
		70,0%	30,0%				
1"	25,40	70,00	30,00	100,0	100	100	100
3/4"	19,05	70,00	30,00	100,0	100	100	100
1/2"	12,70	63,97	28,36	92,3	90	80	100
3/8"	9,52	58,25	25,96	84,2	80	70	90
4	4,76	33,65	19,97	53,6	58	44	72
10	2,00	21,20	14,43	35,6	36	22	50
40	0,42	11,56	8,72	20,3	17	8	26
80	0,177	8,02	5,60	13,6	10	4	16
200	0,075	4,66	2,90	7,6	6	2	10
Fundo		Desprezado					

Fonte: Autor (2019)

A curva do traço ideal, segundo as especificações do DNIT, para o CBUQ com substituição de 30% de material fresado se dá conforme a figura 31.

Figura 31 - Curva traço ideal - CBUQ com 30% de material fresado



Fonte: Autor (2019)

Calcula-se a quantidade necessária para montar um CP e a partir da dosagem da tabela, são calculados três traços para cinco variações de porcentagem de betume, afim de se determinar o teor ótimo para o projeto, ou seja, qual a porcentagem de CAP deve ser aplicada para o melhor desempenho de resistência e tração da massa asfáltica. Estipulou-se um valor inicial de 4,00%, e aumentou gradativamente em 0,50% até chegar a 6,00%, como costume do laboratório. A Tabela 20 indica a quantidade em peso de agregado para um corpo de prova para composição de CBUQ comum.

Tabela 20 - Preparação C.P. Marshall - CBUQ comum

Preparação C.P. Marshall – CBUQ Comum					
Peso amostra total (g)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00
% CAP- 50/70 (g)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
Peso do CAP. (g)	48,0	54,0	60,0	66,0	72,0
Brita 1 (g)	172,8	171,9	171,0	171,1	169,2
Brita 0 (g)	345,6	343,8	342,0	340,2	338,4
Pó de pedra (g)	633,6	630,3	627,0	623,7	620,4
Peso Amostra sem CAP. (g)	1152,0	1146,0	1140,0	1134,0	1128,0

Fonte: Autor (2019)

Para o CBUQ com adição de 15% de material fresado, mantendo a mesma porcentagem de cimento asfáltico, o peso dos agregados se dá conforme tabela 21.

Tabela 21 - Preparação C.P. Marshall - CBUQ com 15% de material fresado

Preparação C.P. Marshall – CBUQ com 15% de material fresado					
Peso amostra total (g)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00
% CAP- 50/70 (g)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
Peso do CAP. (g)	48,0	54,0	60,0	66,0	72,0
Material fresado (g)	172,8	171,9	171,0	171,1	169,2
Composição de CBUQ comum (g)	979,2	974,1	969,0	963,9	958,8
Peso Amostra sem CAP. (g)	1152,0	1146,0	1140,0	1134,0	1128,0

Fonte: Autor (2019)

A tabela 22 indica o peso dos agregados para o CBUQ com 20% de material fresado.

Tabela 22 - Preparação C.P. Marshall - CBUQ com 20% de material fresado

Preparação C.P. Marshall – CBUQ com 20% de material fresado					
Peso amostra total (g)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00
% CAP- 50/70 (g)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
Peso do CAP. (g)	48,0	54,0	60,0	66,0	72,0
Material fresado (g)	230,4	229,2	228,0	226,8	225,6
Composição de CBUQ comum (g)	921,6	916,8	912,0	907,2	902,4
Peso Amostra sem CAP. (g)	1152,0	1146,0	1140,0	1134,0	1128,0

Fonte: Autor (2019)

Para o CBUQ com composição de 30% de material fresado foi necessário alterar o CBUQ comum, reduzindo a porcentagem de pó de brita, conforme a tabela 23.

Tabela 23 - Preparação C.P. Marshall - CBUQ comum com redução de pó de brita

Preparação C.P. Marshall – CBUQ Comum com redução de pó de brita					
Peso amostra total (g)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00
% CAP- 50/70 (g)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
Peso do CAP. (g)	48,0	54,0	60,0	66,0	72,0
Brita 1 (g)	172,8	171,9	171,0	171,1	169,2
Brita 0 (g)	460,8	458,4	456,0	453,6	451,2
Pó de pedra (g)	518,4	515,7	513,0	510,3	507,6
Peso Amostra sem CAP. (g)	1152,0	1146,0	1140,0	1134,0	1128,0

Fonte: Autor (2019)

Finalmente, para o CBUQ com substituição de 30% dos seus agregados por material fresado, o peso se dá conforme a tabela 24.

Tabela 24 - Preparação C.P. Marshall - CBUQ com 30% de material fresado

Preparação C.P. Marshall – CBUQ com 30% de material fresado					
Peso amostra total (g)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00
% CAP- 50/70 (g)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
Peso do CAP. (g)	48,0	54,0	60,0	66,0	72,0
Material fresado (g)	345,6	343,8	342,0	340,2	338,4
Composição de CBUQ comum (g)	806,4	802,2	798,0	793,8	789,6
Peso Amostra sem CAP. (g)	1152,0	1146,0	1140,0	1134,0	1128,0

Fonte: Autor (2019)

Os agregados foram pesados conforme as tabelas acima, colocados em recipientes e posteriormente aquecidos em estufa a uma temperatura média de 150°C, próxima da temperatura do ligante. Foi adicionado à cada amostra a quantidade de CAP pré-estabelecida e rapidamente misturado até a completa cobertura dos agregados. Logo após, foram levados novamente para estufa, afim de manter a temperatura estável. Os CPS foram moldados e obedecendo o parâmetro da norma foram levados para compactação, sofrendo 75 golpes cada molde. Após a compactação os CPS foram mantidos na estufa a 150°C. Cerca de 30 minutos antes do rompimento, cada corpo de prova foi resfriado em banho maria a 60°C.

4.4 ENSAIOS DE ESTABILIDADE E FLUÊNCIA MARSHALL, DENSIDADE, TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL E PORCENTAGEM DE BETUME

A tabela 25 apresenta os resultados com os corpos de prova de CBUQ comum produzidos para o ensaio de estabilidade e fluência Marshall. Assim, a partir desses dados, é possível determinar o teor ótimo de CAP para a mistura calculada. Para produção da camada de revestimento de pavimento flexível deve-se observar os seguintes parâmetros, considerando uma média dos resultados de 03 corpos de prova (PINTO, 2018. reimp):

- Estabilidade Marshall: > 500 kgf.
- Fluência: 2,0 mm – 4,6 mm.

Tabela 25 - Ensaio de estabilidade e fluência Marshall

Betume (%)	4,0			4,5			5,0			5,5			6,0		
Corpos de prova	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CBUQ COMUM															
Peso ao ar (g)	1193,24	1192,42	1190,69	1129,76	1182,54	1178,42	1178,03	1165,89	1190,17	1175,78	1180,30	1177,32	1189,15	1190,52	1187,78
Peso na água (g)	687,28	682,03	671,01	627,12	689,42	687,04	681,70	683,28	680,12	684,22	686,91	681,53	689,31	687,28	691,34
Est. Corrig (kgf)	801			1127			1419			1823			1171		
Fluência (mm)	1,7			2,7			3,0			3,7			5,3		
CBUQ COM 15% DE FRESADO															
Peso ao ar (g)	1190,20	1171,70	1191,50	1186,30	1188,50	1187,40	1191,70	1180,90	1180,40	1188,20	1194,80	1193,50	1180,80	1165,70	1168,30
Peso na água (g)	689,20	680,40	687,60	689,20	690,00	689,20	694,20	687,80	688,20	689,70	696,10	695,40	686,10	679,20	678,20
Est. Corrig (kgf)	1404			1406			1423			1384			1325		
Fluência (mm)	3,0			3,3			4,3			6,3			9,3		
CBUQ COM 20% DE FRESADO															
Peso ao ar (g)	1182,40	1190,60	1188,30	1191,90	1198,00	1196,24	1193,00	1190,60	1188,40	1183,30	1197,50	1199,20	1193,90	1178,10	1184,70
Peso na água (g)	683,80	689,90	687,40	690,30	694,60	695,50	688,20	694,80	691,50	680,90	694,10	696,30	688,10	680,90	686,40
Est. Corrig (kgf)	1468			1626			1664			1423			1354		
Fluência (mm)	3,0			4,0			5,5			6,0			6,7		
CBUQ COM 30% DE FRESADO															
Peso ao ar (g)	1206,50	1183,10	1185,40	1186,10	1183,70	1185,20	1191,90	1184,00	1185,60	1198,00	1194,70	1196,30	1181,70	1173,60	1177,40
Peso na água (g)	691,60	678,70	679,20	683,90	682,60	683,40	693,30	689,40	690,50	699,10	696,10	697,20	686,40	682,70	684,30
Est. Corrig (kgf)	1351			1395			1535			1614			1532		
Fluência (mm)	3,3			5,7			7,0			8,0			9,0		

Fonte: Autor (2019)

Assim, a partir desses dados, é possível determinar o teor ótimo de CAP para a mistura calculada, conforme tabela 26. Para produção da camada de revestimento de pavimento flexível deve-se observar os seguintes parâmetros, considerando uma média dos resultados de 03 corpos de prova (PINTO, 2018. reimp):

- Porcentagem de Vazios: 3 % a 5%.
- Relação Betume/Vazios (R.B.V.): 75 % a 82 %.
- Estabilidade Marshall: > 500 kgf.
- Fluência: 2,0 mm – 4,5 mm.
- % CAP: 4,5 % a 9%
- Vazios do agregado mineral (V.A.M): > 15.

Tabela 26 - Características do traço

Densidade		Vazios	R.B.V.	Estabilidade	Fluência	% CAP	V.A.M.
Aparente	Teórica						
Características do traço – CBUQ comum							
2,385	2,459	3,0	81,0	1831	3,5	5,4	15,89
Características do traço – CBUQ com 15% de material fresado							
2,396	2,475	3,2	79,0	1418	4,3	5,0	15,12
Características do traço – CBUQ com 20% de material fresado							
2,386	2,481	3,8	75,1	1689	5,1	4,8	15,34
Características do traço – CBUQ com 30% de material fresado							
2,393	2,513	4,8	71,5	1629	7,0	5,0	16,72

Fonte: Autor (2019).

A tabela 27 apresenta os resultados do ensaio de tração por compressão diametral realizados no CBUQ com adição de material fresado.

Tabela 27 - Ensaio de tração por compressão diametral

Tração por compressão diametral					
Betume (%)	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
CBUQ COM 15% DE FRESADO					
Corpos de prova	2	4	9	10	13
Tração por compressão Diametral (kgf)	1404	1406	1423	1384	1325
CBUQ COM 20% DE FRESADO					
Corpos de prova	1	5	7	10	13
Tração por compressão Diametral (kgf)	1182,40	1191,90	1193,00	1183,30	1193,90
CBUQ COM 30% DE FRESADO					
Corpos de prova	1	4	7	10	13
Tração por compressão Diametral (kgf)	1206,50	1186,10	1191,90	1198,00	1181,70

Fonte: Autor (2019)

4.5 TRAÇO FINAL

Depois de finalizados os ensaios e consequentemente a apresentação e análise dos resultados, é possível estabelecer o traço ideal. Esse dado é passado em porcentagens e será calculado em peso a partir da quantidade a ser produzida. Com os dados apresentados nesse estudo, a dosagem de melhor desempenho teórico seria com o ajuste dos agregados de acordo com a tabela 28.

Tabela 28 - Traço Final

Agregados	CBUQ comum		CBUQ com material fresado					
			15%		20%		30%	
	% sem CAP	% com CAP	% sem CAP	% com CAP	% sem CAP	% com CAP	% sem CAP	% com CAP
Brita 1	15,00	14,19	12,75	12,11	12,00	11,42	10,50	9,98
Brita 0	30,00	28,38	25,5	24,23	24,00	22,84	28,00	26,60
Pó de Brita	55,00	52,03	46,75	44,41	44,00	41,87	31,50	29,92
Material fresado	-	-	15,00	14,25	20,00	19,03	30,00	28,50
CAP	-	5,4	-	5,0		4,84		5,00

Fonte: Autor (2019).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados apresentados, é possível afirmar que para cada tipo de material a ser utilizado para o investimento de um pavimento de qualidade, haverá um estudo a ser feito, considerando a origem dos materiais e a finalidade da produção. Assim, é apresentado todos os ensaios necessários para uma determinação eficaz de traço de CBUQ. Para os ensaios executados, observa-se a ES 031 norma do Departamento Nacional de Infraestrutura e Trânsito (DNIT, 2006a), que estabelece os limites e parâmetros necessários para avaliação dos resultados.

Os ensaios de caracterização dos agregados como granulometria, abrasão, de índice de forma foram satisfatórios em relação ao material disponível na região. Quanto ao clima da região, o CAP utilizado atende aos padrões da norma e também possui o ponto de amolecimento e penetração condizentes e necessários para aumentar a durabilidade da massa asfáltica. Deve-se também considerar que os CPs podem sofrer alterações dependendo da forma de compactação (compactação mecânica ou manual) e podem não obter resultados eficientes caso ocorram bruscas variações de temperatura durante o preparo e manuseio dos corpos de prova.

De acordo com os resultados dos ensaios, apenas a substituição de 15% de material fresado na composição do CBUQ apresentou resultados dentro das especificações, ficando a substituição de 20% de material fresado com fluência igual a 5,1 e com 30% igual a 7,0, resultados estes que estão acima do recomendado em norma. Portanto para a composição do CBUQ utilizando os mesmo materiais usados neste estudo, não é recomendado a substituição de mais que 15% dos agregados por material fresado na composição do CBUQ, pois a fluência foge do padrão estabelecido apresentando valor superior a 5mm. Ainda assim, o material fresado apresentou um resultado melhor que o esperado para este estudo, possibilitando o uso na composição do CBUQ, evitando o descarte no meio ambiente e diminuindo o custo da pavimentação.

Considerando também que há pouco material como referência para pesquisa, no estudo e análise do CBUQ com adição de fresado, esta pesquisa busca instigar novos estudos sobre o destino do material fresado no Brasil, para aumentar o conhecimento na área e diminuir os impactos causados ao meio ambiente.

Para a realização de futuros experimentos na área de pavimentação com a reutilização do material fresado, se possível, sugere-se que sejam utilizados materiais de diferentes fontes, afim de que, com uma maior quantidade de materiais e tipos de agregados, seja possível determinar qual a porcentagem de substituição ideal para melhor desempenho do CBUQ.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7809: Agregados Graúdos - Determinação Do Índice De Forma Pelo Método Do Paquímetro**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14950: Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade Saybolt Furol**. Rio de Janeiro, 2003.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BARROS, R. F.; **Utilização do revestimento fresado da BR-104 como material de reforço da camada de base e/ou sub-base**. 2013. 54p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil)-Universidade federal de Pernambuco, Caruaru, 2013.

BERNUCCI, Liedi Bariani; CERATTI, Laura Maria Goretti; CERATTI, Jorge Augusto Pereira. **Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobrás, 2008. 488 p.

BONFIM, Valmir. **Fresagem de pavimentos asfálticos**. 3. ed. São Paulo: Exceção, 2007. 128 p.

DNER ME (1998). ME – 035/98. Agregados – determinação da abrasão “Los Angeles”. Departamento Nacional de Estradas e Rodagens.

DNER ME (1995). ME – 043/95. Ensaio Marshall. Departamento Nacional de Estradas e Rodagens.

DNER ME (1994). ME – 053/94. Misturas Betuminosas – Porcentagem de Betume. Departamento Nacional de Estradas e Rodagens.

DNER ME (1997). ME – 054/97. Equivalente de Areia. Departamento Nacional de Estradas e Rodagens.

DNER ME (1995). ME – 055/95. Areia – Determinação de Impurezas Orgânicas. Departamento Nacional de Estradas e Rodagens.

DNER ME (1994). ME – 078/94. Agregado graúdo – Adesividade e Ligante Betuminoso. Departamento Nacional de Estradas e Rodagens.

DNER ME (1998). ME – 083/98. Agregados – Análise Granulométrica. Departamento Nacional de Estradas e Rodagens.

DNER ME (1994). ME – 086/94. Agregado – Determinação do Índice de Forma. Departamento Nacional de Estradas e Rodagens.

DNER ME (1994). ME – 089/94. Agregados – Avaliação da Durabilidade pelo Emprego de Soluções de Sulfato de Sódio e Magnésio. Departamento Nacional de Estradas e Rodagens.

DNER ME (1994). ME – 117/94. Mistura Betuminosa – determinação da densidade aparente. Departamento Nacional de Estradas e Rodagens.

DNER ME (1997). PRO – 120/97. Coleta de amostras de agregados. Departamento Nacional de Estradas e Rodagens.

DNER ME (1994). ME – 148/94. ABNT NBR 11341/2008 – Derivados de Petróleo – determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto de Cleveland. Departamento Nacional de Estradas e Rodagens.

DNIT (2006a). **Pavimentos flexíveis** – Concreto asfáltico – ES 031. Diretoria de Planejamento e Pesquisa.

DNIT (2006b). **Manual de Pavimentação.** Publicação IPR – 719. Ministério dos transportes. Departamento Nacional de infra-estrutura de transportes, Instituto de pesquisas rodoviárias.

DNIT (2006c). **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos.** Publicação IPR – 720. Ministério dos transportes. Departamento Nacional de infra-estrutura de transportes, Instituto de pesquisas rodoviárias.

DNIT (2006d). **Manual para atividades ambientais rodoviárias.** Ministério dos transportes. Departamento Nacional de infra-estrutura de transportes, Instituto de pesquisas rodoviárias.

DNIT (2011). **Fresagem a frio – Especificação de serviço.** Publicação IPR – 159. Ministério dos transportes. Departamento Nacional de infra-estrutura de transportes, Instituto de pesquisas rodoviárias.

GEWEHR, Juliano. **Asfalto de qualidade.** 2017. Disponível em: <<http://asfaltodequalidade.blogspot.com/search?q=fresagem>>. Acesso em: 10 out. 2018.

GOMES, Luiz Fernando Trindade. **Estudo da viabilidade do uso de material fresado com adição de cimento como opção de base e sub-base em pavimentos.** 2015. 75 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2015.

GOMES, Kamilla Souza; SILVA, Renato Leite Martins da. **Estudo de dosagem para definição do traço do CBUQ faixa C ideal com materiais da região de Anápolis - Goiás.** 2018. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Unievangélica, Anápolis, 2018.

HERCULANO, Felipe. **Sampa histórica.** 2014. Disponível em: <<https://sambahistorica.wordpress.com/2014/10/27/caminho-do-mar/>>. Acesso em: 5 nov. 2018.

MOLZ, Carine. **Viabilidade da utilização do material fresado estabilizado granulometricamente em base de pavimentos.** 2017. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

PINTO, Cléber da Silva. **Reutilização de material asfáltico fresado: avaliação da potencialidade de utilização em aterros rodoviários.** 2010. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

PINTO, Salomão, PINTO, Isaac Eduardo. **Pavimentação asfáltica - conceitos fundamentais sobre materiais e revestimentos asfálticos.** 1. Ed. - [Reimpr.]. - Rio de Janeiro: LTC, 2018.

PREGO, Atahualpa Schmitz da Silva. **A memória da pavimentação no brasil:** fatos históricos, recordações, depoimentos. Rio de Janeiro: Abpv, 2001. 640 p.

SCHNEIDER, Emanuelle Dayane; PORFÍRIO, Maria Aparecida Silva; SCHROH, Mariana Reinert. **Investigação do potencial de contaminação ambiental associado à disposição em solo de resíduos asfálticos.** 2015. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.