



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA CIVIL - PPGEC**



**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE PINTURA INDUSTRIAL INCORPORADO NA  
PAVIMENTAÇÃO**

**ILTON ROBERTO KRAMER**

**MANAUS  
2016**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA CIVIL - PPGEC**



ILTON ROBERTO KRAMER

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE PINTURA INDUSTRIAL  
INCORPORADO NA PAVIMENTAÇÃO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Profº Drº Raimundo Kennedy Vieira

MANAUS  
2016

ILTON ROBERTO KRAMER

## **UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE PINTURA INDUSTRIAL INCORPORADO NA PAVIMENTAÇÃO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Aprovado em 11 de agosto de 2016.

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Profº Drº Raimundo Kennedy Vieira - Presidente  
Universidade Federal do Amazonas

---

Profº Drº Nilton Campelo - Membro  
Universidade Federal do Amazonas

---

Profº Drª Ana Cristina Strava Correa - Membro  
Faculdade de Rondônia

MANAUS  
2016

## AGRADECIMENTOS

A Deus por me ter dado a oportunidade e forças e ter permitido a realização de mais este trabalho;

Ao meu pai Ito Kramer in memoriam apesar da distância que nos separa, sei que está presente em minha vida espiritualmente;

A minha querida mãe, Ivone Kramer que com seu imenso amor e rezas constantes, contribuiu para que solidificasse mais uma etapa de minha vida;

Aos meus familiares pelo apoio constante em especial a minha irmã Dione Kramer Spineli pelo seu amor.....um anjo;

A minha querida e amada esposa Letícia Roviana Duarte que me acompanha todos os dias me alegrando e incentivando nessa conquista;

Ao meu orientador, Dr. Raimundo Kennedy Vieira que com grande competência e seriedade contribuiu de maneira fundamental para a realização deste trabalho e para meu crescimento profissional;

Aos professores do curso, sem exceção, que de algum modo me auxiliaram na discussão temática e contribuíram para a elaboração deste trabalho;

A coordenadora do curso de engenharia civil da FARO , Maria Angélica, pelo apoio constante para a conclusão dos trabalhos;

Aos laboratoristas, Roberto e Antonio Reinaldo pelo apoio nos ensaios de laboratório da UFAM;

A Universidade Federal do Amazonas, pela oportunidade a mim concedida na concessão do laboratório de pavimentação;

Aos colegas de turma e colaboradores que de alguma forma me ajudaram na elaboração desta.

*“Não há nada mais vergonhoso do que alguém ser honrado pela fama dos antepassados e não pelo merecimento próprio”*

(Platão)

## RESUMO

A implantação e operação de planta de pintura industrial em Porto Velho, trouxe como consequência a geração de resíduos de complexidade e valor compatíveis com a composição dos revestimentos aplicados no processo. Entretanto o reuso desse material esteve fora de cogitação pela indústria que passou a descartá-lo como lixo. Este trabalho tem por objetivo gerar alternativas para reutilização do resíduo em questão na pavimentação local. A utilização de material residual sólido do setor de pintura industrial e material não convencional na mistura asfáltica, foi avaliada em substituição aos elementos tradicionais na camada do revestimento. Para tanto, utilizou-se o resíduo gerado no setor de pintura industrial de equipamentos hidromecânicos e de levantamento das usinas hidrelétricas na cidade de Porto Velho/RO. A Indústria Metalúrgica e Mecânica da Amazônia (IMMA) é a responsável pela construção completa e instalação dos equipamentos hidromecânicos das UHE Santo Antonio e UHE Jirau, instaladas na localidade de Porto Velho. Atualmente, estes resíduos são destinados para depósito em aterro sanitário no estado de Mato Grosso, ocasionando prejuízos ao meio ambiente e para a própria indústria metalúrgica. O resíduo de pintura industrial foi utilizado como agregado miúdo no concreto asfáltico usinado a quente (CBUQ), em substituição ao material tradicionalmente usado nesta região, ou seja, a areia de jazida. Foi feita uma análise comparativa entre as misturas betuminosas, convencional e alternativa, com os dois tipos de agregados miúdos, utilizando o mesmo teor ótimo da mistura com o CAP-50/70. Foram moldados corpos de prova de CBUQ e analisados os resultados concernentes à estabilidade Marshall, fluência a 60°C. Os resultados dos ensaios mostram que é possível adicionar 15% da mistura confeccionada com o resíduo de pintura industrial como agregado miúdo, sem alterar as propriedades mecânicas do pavimento comparado à mistura convencional, confeccionada com areia.

**Palavras-Chave: Pavimentação, Resíduos sólidos, Asfalto.**

## ABSTRACT

The implantation and operation of an industrial painting plant in Porto Velho resulted in the generation of residues of complexity and value compatible with the composition of the coatings applied in the process. However, the reuse of this material was out of the question by the industry, which discarded it as waste. This work aims to generate alternatives for the reuse of the waste in question in the local paving. The use of solid residual material from the industrial paint sector and unconventional material in the asphalt mixture was evaluated instead of the traditional elements in the coating layer. For that, the residue generated in the industrial painting sector of hydro mechanical equipment and the survey of the hydroelectric plants in the city of Porto Velho / RO was used.

The Metallurgical and Mechanical Industry of the Amazon (IMMA) is responsible for the complete construction and installation of hydro mechanical equipment of the Santo Antonio HPP and Jirau HPP, installed in the town of Porto Velho. Currently, these wastes are destined to landfill in the state of Mato Grosso, causing damages to the environment and to the metallurgical industry itself.

The industrial paint residue was used as a small aggregate in the hot-rolled asphalt concrete (CBUQ), replacing the material traditionally used in this region, that is, the sand of the deposit. A comparative analysis was performed between the conventional and alternative bituminous mixtures with the two types of small aggregates using the same optimum content of the mixture with the CAP-50/70. CBUQ test specimens were cast and the results concerning Marshall stability, flow at 60 ° C, were analyzed. The results of the tests show that it is possible to add 15% of the mixture made with the industrial paint residue as a small aggregate without altering the mechanical properties of the pavement compared to the conventional mixture made with sand.

**Keywords:** Flooring, solid waste, Asphalt

| <b>LISTA DE FIGURAS</b>   | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| Figura 01 - Seção transversal típica de pavimento flexível  | 15            |
| Figura 02 - Fluxograma da coleta das amostras de RPI com definição da reutilização para incorporar ao pavimento asfáltico | 32            |
| Figura 03 - Pórtico Rolante   | 33            |
| Figura 04 - Ponte Rolante   | 33            |
| Figura 05 - Resíduo de pintura industrial   | 34            |
| Figura 06 - Fluxograma da seqüência da metodologia utilizada para caracterização dos corpos de prova a serem ensaiado     | 35            |
| Figura 07 - Agregada graúdo utilizada na presente pesquisa<br>- Laboratório de Pavimentação da UFAM                       | 35            |
| Figura 08 - Agregado miúdo e RPI utilizado na presente pesquisa<br>- Laboratório de Pavimentação da UFAM                  | 36            |
| Figura 09 - Análise granulométrica  | 40            |
| Figura 10 - Análise massa específica pelo frasco Chapman  | 41            |
| Figura 11 - Secagem da amostra a (105 a 110) °C até massa constante e após resfriar em dessecador                         | 43            |
| Figura 12 - Massa do picnômetro cheio d'água, em g  | 43            |
| Figura 13 - Massa do picnômetro da amostra mais água, em g  | 44            |
| Figura 14 - Massa do picnômetro mais amostra, em g  | 44            |
| Figura 15 - Recipiente para amostras de materiais pulverulentos   | 46            |
| Figura 16 - Amostra de material seco no recipiente M <sub>1</sub>   | 46            |
| Figura 17 - Amostra de material seco no recipiente M <sub>2</sub>   | 47            |
| Figura 18 - Recipiente M <sub>1F</sub> e M <sub>2F</sub> de materiais pulverulentos após secagem                          | 47            |
| Figura 19 - Ensaio de viscosidade Saybolt-Furol   | 49            |
| Figura 20 - Corpo de prova rompido no ensaio Marshall   | 50            |
| Figura 21 - Ensaio Marshall   | 50            |

| <b>LISTA DE TABELAS</b>  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| Tabela 01- Tipos de rochas comumente usados como fonte de agregados para pavimentação no país                                  | 18            |
| Tabela 02 - Características do cimento asfáltico de petróleo CAP 50/70 da REMAN  | 38            |
| Tabela 03 - Origem dos materiais utilizados na mistura betuminosa  | 38            |
| Tabela 04 - Métodos utilizados para caracterização do CAP 50/70  | 40            |
| Tabela 05 - Resultados do ensaio de granulometria da brita 1 por peneiramento manual   | 53            |
| Tabela 06 - Resultados do ensaio de granulometria da brita 0 por peneiramento manual   | 54            |
| Tabela 07 - Resultados do ensaio de granulometria da Areia por peneiramento manual   | 56            |
| Tabela 08 - Resultados do ensaio de granulometria do RPI por peneiramento manual   | 57            |
| Tabela 09 - Composição química da amostra de RPI   | 58            |
| Tabela 10 - Resultados do ensaio de granulometria do cimento Portland por peneiramento manual                                  | 61            |
| Tabela 11 - Enquadramento da granulometria dos agregados conforme Norma DNIT 031/2004-ES.                                      | 62            |
| Tabela 12 - Relação temperatura x tempo no ensaio de viscosidade SF do CAP utilizado nesta pesquisa                            | 63            |
| Tabela 13 - Enquadramento da granulometria dos agregados conforme Norma DNIT 031/2004-ES.Utilização do RPI como agregado miúdo | 69            |



| <b>LISTA DE GRÁFICOS</b>   | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| Gráfico 01 - Curva Granulométrica da Brita 1   | 54            |
| Gráfico 02 - Curva Granulométrica da Brita 0   | 55            |
| Gráfico 03 - Curva Granulométrica da Areia   | 56            |
| Gráfico 04 - Curva Granulométrica do RPI   | 58            |
| Gráfico 05 - Curva Granulométrica do Cimento Portland                                | 61            |
| Gráfico 06 - Composição granulométrica dos agregados utilizados nesta pesquisa       | 62            |
| Gráfico 07 - Gráfico da relação temperatura x tempo                                  | 63            |
| Gráfico 08 - Densidade aparente x Teor de CAP  | 64            |
| Gráfico 09 - Volume de Vazios x Teor de CAP  | 64            |
| Gráfico 10 - RBV x Teor de CAP   | 65            |
| Gráfico 11 - Estabilidade x Teor de CAP  | 65            |
| Gráfico 12 - Fluência x Teor de CAP  | 66            |
| Gráfico 13 - Densidade aparente x Teor de CAP com RPI                                | 66            |
| Gráfico 14 - Volume de Vazios x Teor de CAP com RPI                                  | 67            |
| Gráfico 15 - RBV x Teor de CAP com RPI   | 67            |
| Gráfico 16 - Estabilidade x Teor de CAP com RPI                                      | 67            |
| Gráfico 17 - Fluência x Teor de CAP com RPI  | 67            |
| Gráfico 18 - Composição granulométrica dos agregados utilizados juntamente com o RPI | 69            |

## LISTA DE SIGLAS

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AN - Asfalto Natural

AP - Asfalto de Petróleo

ASTM - American Society for Testing

CAP - Cimento Asfáltico de Petróleo

CBUQ - Concreto Betuminoso Usinado a Quente

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo

ICDD - International Center for Diffraction Data

ISC - Índice de Suporte California

MR - Módulo de Resiliência

PETROBRAS - Petróleo Brasileiro S.A.

RBV - Relação Betume/Vazios

REMAN - Refinaria de Manaus

RT - Resistência à Tração

SRN - Sistema Rodoviário Nacional

SSF - Seconds Saybolt Furol

TC - Tensão Controlada

UFAM - Universidade Federal do Amazonas

UNT - Unidade de Turbidez

Vv - Volume de vazios

VAM - Vazios do Agregado Mineral

VCB - Vazios com Betume

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1.INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>12</b> |
| 1.1 Objetivo geral .....  | 14        |
| 1.2 Objetivos específicos .....                                       | 14        |
| <b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>                                 | <b>13</b> |
| 2.1 Pavimentação Asfáltica .....                                      | 13        |
| 2.2 Agregados .....   | 14        |
| 2.3 Concreto asfáltico usinado a quente - CAUQ.....                   | 18        |
| 2.4 Caracterização.....   | 21        |
| 2.5 Ensaio experimentais para avaliação das misturas betuminosas..... | 23        |
| <b>3.PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....</b>                               | <b>24</b> |
| 3.1 Coletas de amostras.....  | 24        |
| 3.2 Caracterização dos materiais.....                                 | 27        |
| 3.3 Caracterização do CAP.....  | 31        |
| 3.4 Ensaio de laboratório.....  | 32        |
| <b>4. RESULTADOS .....</b>  | <b>42</b> |
| 4.1 Agregado graúdo (Brita 0 e 1) .....                               | 42        |
| 4.2 Caracterização agregado miúdo.....                                | 47        |
| 4.3 Caracterização cimento Portland.....                              | 52        |
| 4.4 Ensaio Mecânicos.....   | 54        |
| <b>5. CONCLUSÕES.....</b>   | <b>61</b> |
| <b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                             | <b>62</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

Os projetos de gerenciamento de resíduos são adotados com o objetivo de minimizar seus efeitos negativos no que tange não só ao ambiental e social, como também ao econômico.

Esta pesquisa se iniciou na empresa IMMA - Indústria Mecânica e Metalúrgica da Amazônia. A IMMA foi concebida, originalmente, para fabricar equipamentos hidromecânicos e de levantamento para a usina hidroelétrica de Santo Antônio - RO, no Rio Madeira, e, em seguida, atender a demanda de vários outros importantes projetos, principalmente na região Norte do país.

Os equipamentos hidromecânicos devem ser pintados com tintas especiais anti-corrosivas com várias camadas e espessura de tinta determinada pelo cliente. Neste processo há o setor de pintura onde são gerados resíduos de pintura industrial (RPI) na aplicação de tintas epoxi e tintas especiais. As tintas aplicadas tem em sua base componentes derivados de hidrocarbonetos aromáticos, tais como: negro de fumo, alcatrão de hulha. A deposição deste resíduo no piso do pavilhão da pintura é acumulado ao longo da rotina de atividades do setor juntamente com a poeira e particulados de areia vindos com os ventos locais.

No período de três meses o piso do setor de pintura acumula o equivalente a quinze(15) centímetros de espessura em camada de resíduos de pintura, sendo necessário a retirada deste material somente por meio de retroescavadeira. O volume deste material acumulado a cada trimestre é de 40(quarenta) toneladas de material sólido.

A empresa IMMA destina o RPI para aterro sanitário no estado de Mato Grosso pois no estado de Rondônia não há aterro sanitário adequado e tem o custo trimestral de R\$ 35.000,00.

Os resíduos, quando não são tratados adequadamente, além de constituírem uma permanente ameaça à saúde pública e ao meio ambiente, limitam ainda as potencialidades econômicas locais, podendo concorrer para a perda de atratividade nos investimentos.

Por outro lado, os pavimentos asfálticos são aqueles em que o revestimento é composto por uma mistura de agregados e ligantes asfálticos, com algumas de suas propriedades semelhantes ao resíduo de pintura. Segundo MOTTA et al (2010), “os pavimentos são formados por quatro

camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço de subleito”

Portanto é no revestimento asfáltico onde se encontra a melhor oportunidade para reaproveitamento do resíduo de pintura, uma vez que pode ser aplicado na geração de alternativas para a pavimentação local, na mistura asfáltica, em substituição aos elementos tradicionais.

### **Objetivo Geral**

Analisar o desempenho do reaproveitamento dos resíduos de pintura industrial na pavimentação.

### **Objetivos Específicos**

- Conceituar e descrever sobre os resíduos de pintura industrial;
- Caracterizar o resíduo de pintura industrial visando sua utilização incorporado na pavimentação;
- Caracterização tecnológica do pavimento asfáltico com a utilização de resíduo de pintura em substituição aos materiais granulares convencionais;
- Dosar a quantidade de resíduo a ser adicionado.
- levantamento de custos para beneficiamento dos resíduos

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

O revestimento asfáltico é a camada superior destinada a resistir às ações do tráfego, impermeabilizar o pavimento e melhorar as condições de rolamento.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por intermédio da norma NBR-7207/82 define que:

"O pavimento é uma estrutura construída após terraplenagem e destinada, economicamente e simultaneamente, em seu conjunto :

- resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego;
- melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
- resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento".

### CAMADAS DA SEÇÃO TRANSVERSAL DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS E RÍGIDOS

O DNIT (2004) define que pavimento é como “uma superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assente sobre um semi-espaço considerado teoricamente infinito”, a infra-estrutura ou terreno de fundação, é designada de subleito.

Assim sendo, as camadas típicas são identificadas como:

**Revestimento** - Camada destinada a resistir diretamente às ações do tráfego, a impermeabilizar o pavimento, a melhorar as condições do rolamento, no que se refere ao conforto e à segurança, e a transmitir, de forma atenuada, as ações do tráfego às camadas inferiores;

**Base** – Camada destinada a resistir diretamente às ações dos veículos e a transmiti-las, de forma conveniente, ao subleito;

**Sub-base** – Camada complementar à base, com as mesmas funções desta e executada quando, por razões de ordem econômica, for conveniente reduzir as espessuras da base;

**Reforço do subleito** - Camada existente, no caso de pavimentos muito espessos, executada com objetivo de reduzir a espessura da própria sub-base;

**Regularização do subleito** – Camada de espessura variável, executada quando se torna necessário preparar o leito da estrada para receber o pavimento, pois tem espessura variável, podendo ser nula em um ou mais pontos da seção transversal.

A figura 01 esquematiza a seção transversal de um pavimento flexível e suas camadas componentes.

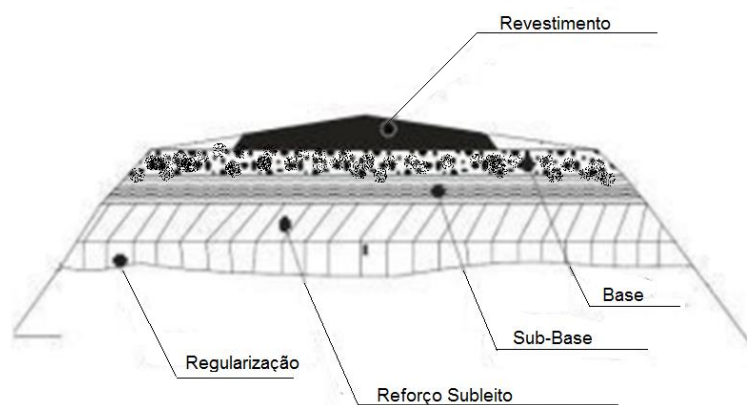


Figura 01: Esquema de seção transversal do pavimento. Fonte: (DNIT, 2006)

### 2.1.2 LIGANTES ASFÁLTICOS

A norma DNIT 031/2006 define o Concreto Asfáltico como mistura executada a quente, em usina apropriada, com características específicas é composta de agregado graduado, material de enchimento (filer) se necessário e cimento asfáltico, espalhada e compactada a quente.

### 2.2 AGREGADOS

CERATTI et al (2010) comenta que a quantidade de agregado mineral em misturas asfálticas de pavimentação é geralmente de 90 a 95% em peso e 70 a 85% em volume, esta parcela mineral é parcialmente responsável pela capacidade de suporte de cargas dos revestimentos, influenciando assim o desempenho dos pavimentos.

A ABNT por meio da NBR 9935/2005 e a ASTM C 125 define "agregado" como material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas à produção de argamassa e concreto.

### 2.2.1 CLASSIFICAÇÃO

Conforme estudos de CERATTI et al (2010) para revestimento asfáltico existe uma grande variedade de agregados utilizados, sendo que para a pavimentação esses agregados são classificados em três grandes grupos: de acordo com a natureza(i) , tamanho(ii) e distribuição dos grãos (iii).

Ainda de acordo com CERATTI et al (2010) quanto a natureza os agregados são classificados como natural, artificial e reciclados.

**Natural** – Para BERNUCCI et al (2006) esses agregados são provenientes de fontes naturais e obtidos por processos convencionais em depósitos convencionais, marinhos, rios, podendo ser aplicados na pavimentação como encontrados na natureza ou após passar por processamento como a britagem. De acordo com BERNUCCI et al (2006) a indicação de presença de minerais com capacidade de fornecer a rocha com maior ou menor polimento, quando utilizadas como agregados, pode ser definida através da norma rodoviária Instrução de Ensaio *DNER-IE 006/94*.

A referida norma apresenta uma metodologia de análise petrográfica para materiais rochosos empregados em rodovias, além de indicar as alterações dos minerais primários, os tipos de microfissuras e suas densidades e a natureza dos materiais.. Essa instrução de ensaio apresenta uma metodologia de análise petrográfica, tanto microscópica como macroscópica, de materiais rochosos empregados em rodovias. A descrição microscópica deve ser feita através da análise em lâmina delgada que deverá indicar características como granulação, textura e estrutura, composição mineralógica, modos de ocorrência e minerais secundários. Também deve indicar o estado e o estágio de alteração dos minerais primários, os diferentes tipos de microfissuras e suas densidades, presença de vazios ou poros, natureza dos materiais, sílica na forma amorfa ou criptocristalina, vidros vulcânicos ricos em sílica, alumina livre, zeólitas, sulfetos e minerais argílicos do tipo expansivo.

Na Tabela 1 são apresentados os principais tipos de rochas utilizados como agregados.



| <b>Denominação Petrológica</b> | <b>Descrição</b>   |
|--------------------------------|--|
| <b>Andesito</b>                | Variedade de diorito vulcânico, de granulação fina   |
| <b>Basalto</b>                 | Rocha básica de granulação fina, usualmente vulcânica  |
| <b>Conglomerado</b>            | Rocha constituída de blocos arredondados ligados por cimento natural   |
| <b>Diorito</b>                 | Rocha plutônica intermediária, constituída de plagioclásio com hornblenda, augita ou biotita                           |
| <b>Gabro</b>                   | Rocha plutônica básica de granulação grossa, constituída de plagioclásio cálcio e piroxênio, algumas vezes com olivina |
| <b>Gnaisse</b>                 | Rocha riscada, produzida por condição metamórfica intensa  |
| <b>Granito</b>                 | Rocha plutônica ácida, constituída principalmente de feldspatos alcalinos e quartzo                                    |
| <b>Calcário</b>                | Rocha ácida, de granulação fina, usualmente vulcânica  |
| <b>Quartzito</b>               | Rocha metamórfica ou sedimentar constituída quase que totalmente por grãos de quartzo                                  |
| <b>Riolito</b>                 | Rocha ácida, de granulação fina, usualmente vulcânica  |
| <b>Sienito</b>                 | Rocha plutônica intermediária, constituída de feldspatos alcalinos com plagioclásios, hornblenda, biotita ou augita    |
| <b>Traquito</b>                | Variedade de sienito de granulação fina, usualmente vulcânico  |

Tabela 1- Tipos de rochas comumente usados como fonte de agregados para pavimentação no país

**Artificial** – Conforme TOFFOLO (2015) o agregado comumente utilizado em rodovias é composto por subprodutos da indústria do aço, fornecendo ao agregado um alto desempenho, como exemplo tem-se a argila calcinada.

**Reciclado** – Aqui se encontram aqueles provenientes de reuso de materiais diversos, incluindo a proposta do presente estudo de aproveitamento do resíduo sólido de pintura industrial. A possibilidade de utilização de agregados reciclados vem crescendo por um lado, devido às restrições ambientais na exploração de agregados naturais e pelo outro, devido ao ônus ambiental do descarte de resíduos. O desenvolvimento de técnicas de reciclagem que possibilitam a produção de materiais reciclados dentro de determinadas especificações existentes para utilização também é um dos fatores que impulsiona a reciclagem.

**(ii) Quanto ao tamanho dos grãos:**

**Agregado graúdo:** material retido na peneira com 2,0 mm de abertura. Podendo-se citar, a pedra britada, o cascalho, a escória de alto forno e o seixo rolado. A norma DNIT 031/2004ES define agregado graúdo, como materiais

granulares comprovadamente inertes e de características semelhantes, de diâmetro superior a 4,8mm.

O agregado graúdo deverá ainda ter as seguintes características:

- a) desgaste Los Angeles igual ou inferior a 50 % ( DNER ME 035); admitindo-se excepcionalmente agregados com valores maiores, caso tenham apresentado desempenho satisfatório em utilização anterior;
- b) índice de forma superior a 0,5 (DNER ME 086/94) e partículas lamelares inferiores a 10 %;
- c) durabilidade, perda inferior a 12 % (DNER ME 089/94).

**Agregado miúdo:** material que passa na peneira com 2,0 mm de abertura e fica retido na peneira com 0,075 mm de abertura. Ainda segundo a norma a norma DNIT 031/2004 - ES, o agregado miúdo pode ser areia, pó-de-pedra ou mistura de ambos ou outro material indicado nas Especificações Complementares. Suas partículas devem ser resistentes individualmente, livres de torrões de argila e de substâncias nocivas. Deve apresentar equivalente de areia igual ou superior a 55 % ( DNER ME 054/97).

### **(iii) Quanto à distribuição ou graduação dos grãos**

**Agregado de graduação densa:** apresenta curva granulométrica de material bem graduado e contínua, com quantidade de material fino, principalmente na peneira com 0,075 mm de abertura, suficiente para encher os vazios entre as partículas maiores.

**Agregado de graduação aberta:** apresenta curva granulométrica de material bem graduado e contínua, com insuficiência de material fino, principalmente na peneira com 0,075 mm de abertura, para preencher os vazios entre as partículas maiores.

Os agregados são os esqueletos da estrutura de um pavimento e a interação entre os grãos deve ser observada. Isto é necessário para se obter o maior atrito interno e maior estabilidade da mistura.

Segundo o Manual de Pavimentação do DNIT (2004), para garantir a distinção dos agregados, visando controlar sua uniformidade e as garantias necessárias do material, deve-se observar sua granulometria, massa específica, absorção, abrasão e a densidade.

## 2.3 CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE-CBUQ

O Concreto Betuminoso Usinado a Quente - CBUQ é composto pela mistura prévia a quente, em usina apropriada, com características específicas, dos agregados graduados, material de enchimento (filer), se necessário, com o CAP, para posterior aplicação na execução da camada de revestimento e base, mediante espalhamento e compressão da mistura a quente. É o tipo de mistura asfáltica mais empregada para tráfego pesado, dando origem ao concreto asfáltico, que tem a seguinte composição, segundo a Especificação de Serviço DNIT 031/2006 - ES:

- Agregado graúdo – material retido na peneira nº 4 (abertura de 4,8 mm);
- Agregado miúdo – material que passa na peneira nº 4 e fica retido na peneira nº 200 (abertura de 0,074 mm);
- “filler” mineral – material que passa na peneira nº 200;
- Cimento asfalto de petróleo (CAP).

### 2.3.1 CONSTITUIÇÃO DA MISTURA CBUQ

É importante compreender que projeto de mistura é um processo volumétrico, com o propósito de determinar o volume de cimento asfáltico e agregado requerido para produzir uma mistura com as propriedades projetadas (Figura 5)

|    |    |                        |      |     |    |
|----|----|------------------------|------|-----|----|
| Mt |    | <b>Vazios</b>          | Vv   | VAM | Vt |
|    | Mc | <b>CAP-20</b>          | Vc   |     |    |
|    | Mm | <b>Agregado miúdo</b>  | Vami |     |    |
|    | Mg | <b>Agregado Graúdo</b> | Vag  |     |    |

Figura 5 - Constituintes da mistura de CAUQ

Mt= Massa total

Vt= Volume total

Mc= Massa do CAP-20

Vc= Volume do CAP-20

Mm= Massa do agregado miúdo

VAM= Volume de vazios nos agregados

Mg= Massa agregado graúdo

Vami= Volume agregado miúdo

Vag= Volume agregado graúdo

Segundo SCHERER (2016) é importante compreender a relação peso-volume da mistura asfáltica compactada do ponto de vista do projeto da mistura bem como da construção em campo.

### 2.3.2 PARÂMETROS IMPORTANTES

a) Densidade aparente da mistura (D):

Tem como objetivos o cálculo da porcentagem de vazios do agregado mineral e controle de compactação durante a construção. É calculada com a equação:

$$D = \frac{M}{(M - Ma)} \quad (\text{Equação 01})$$

Onde:

D= Densidade aparente da mistura

M= massa do corpo-de-prova

Ma= massa do corpo-de-prova imerso em água

b) Porcentagem de vazios na mistura (Vv):

É a relação entre o volume de vazios ocupado pelo ar e o volume total da mistura. Misturas com elevada % Vv podem levar a ocorrência de oxidação excessiva do ligante asfáltico, reduzindo a vida útil do concreto asfáltico, além de proporcionar permeabilidade ao ar e água. Misturas com baixo % Vv provocam a ocorrência do fenômeno da exsudação. É calculada por:

$$Vv = \frac{(D - d)}{D \times 100} \quad (\text{Equação 02})$$

c) Porcentagem de vazios do agregado mineral (VAM):

É o volume total de vazios dado pela soma dos vazios da mistura mais o volume ocupado pelo asfalto. Este parâmetro é de grande interesse. Caso a mistura asfáltica sofrer uma consolidação devido a ação do tráfego, sua plasticidade poderá ficar acrescida, pois a porcentagem de betume que

preenche os vazios dos agregados pode tornar-se excessiva, devido à redução do volume de vazios. Este fenômeno poderá provocar deformações, deslocamentos e rupturas no revestimento.

O volume para as misturas asfálticas (VAM) é dado por:

$$\mathbf{VAM = Vv + Vb} \quad \text{(Equação 03)}$$

$$\mathbf{VAM = \frac{(D - d)}{D \times 100} + \frac{(d \times \%b)}{d_b}}$$

A porcentagem VAM é normalmente fixada em função do diâmetro máximo do agregado da mistura.

d) Densidade máxima teórica da mistura (DMT)

É a densidade da mistura suposta sem vazios e a relação entre a massa total da mistura (100%) e os volumes correspondentes ao cheios da mistura. É calculada por:

$$\mathbf{DMT = \frac{100\%}{\frac{\%b}{D_b} + \frac{\%am}{D_{am}} + \frac{\%ag}{D_{ag}}}} \quad \text{(Equação 04)}$$

Sendo:

$\%b, \%am, \%ag \longrightarrow$  % com que cada componente entra na mistura

$D_b, D_{am}, D_{ag} \longrightarrow$  Densidade (real ou aparente) de cada componente da mistura

e) Relação Betume Vazios (RBV)

A relação indica a porcentagem de vazios do agregado mineral preenchido pelo ligante asfáltico. É calculado por:

$$\mathbf{\% RBV = \frac{VAM - Vv}{VAM}} \quad \text{(Equação 05)}$$

Se  $VAM = 100 \rightarrow$  Todos os vazios da mistura estariam preenchidos com asfalto.

Se  $VAM = 0 \rightarrow$  Mistura sem asfalto.

### **2.3.3 DOSAGEM DO CBUQ**

Para a dosagem do concreto asfáltico devem ser realizadas as seguintes etapas:

- a) Escolha dos agregados, "filler" e ligante asfáltico;
  
- b) Determinação das porcentagens com que os agregados (grosso e fino) e "filler" devem contribuir na mistura, de modo a atender as especificações com relação a granulometria;
  
- c) Determinação do teor ótimo de ligante. Esta operação pode ser feita por tentativas, com variações do teor de asfalto e comparando os resultados de ensaios de estabilidade para vários teores estudados;
  
- d) Comparação da mistura estudada com as exigências das especificações, com relação aos vazios de ar, vazios de agregado mineral, granulometria e estabilidade.

Não sendo satisfeitas as condições exigidas, se refaz a dosagem da mistura.

O Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes - DNIT recomenda o método Marshall para dosagem do concreto asfáltico. Este processo é utilizado tanto para projeto de misturas como para controle de campo.

### **2.4 CARACTERIZAÇÃO**

Os agregados reciclados apresentam grande variação em suas propriedades, dependendo: da composição do resíduo processado, dos equipamentos usados, do teor de impurezas, da granulometria etc. As principais diferenças dos agregados convencionais são:

- a) forma e textura superficial são mais irregulares;

- b) heterogeneidade na composição;
- c) densidade é geralmente inferior devido à alta porosidade;
- d) alta absorção de água;
- e) menor resistência mecânica dos grãos.

#### **2.4.1 ABRASÃO**

A ação do tráfego e a execução do pavimento provocam quebras e abrasão nos agregados. Este efeito é maior nas camadas superiores. Existem diversos ensaios para avaliar a tenacidade e a resistência abrasiva, tais como: índice de degradação Washington (IDW), abrasão Los Angeles (LA), perda ao choque no aparelho TRETON, entre outros.

Destaca-se que na norma ABNT NBR 15116 não consta especificação quanto ao ensaio de abrasão Los Angeles, dentre os requisitos para a utilização de agregado reciclado na pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural.

#### **2.4.2 ABSORÇÃO E POROSIDADE**

De acordo com BALBO(2015), quanto maior a densidade menor a absorção devido aos índices de porosidade menores, sendo que ocorre uma influência positiva na absorção do asfalto pelo agregado, melhorando assim o intertravamento mecânico da mistura.

Conforme os estudos de BALBO(2015) a distribuição da espessura da partícula do asfalto ocorre devido a grande absorção de água pela mistura asfáltica, fazendo com que a mistura esteja submetida a ação destruidora de água.

#### **2.4.3 ÍNDICE DE FORMA**

Os requisitos gerais para o uso de resíduos da construção civil são abordados na NBR 15116 (2004) onde se define que o índice de forma do agregado graúdo deve ter valor inferior a três.

## **2.5 ENSAIOS EXPERIMENTAIS PARA AVALIAÇÃO DAS MISTURAS BETUMINOSAS**

De acordo com NEVES(2013) no Brasil os ensaios mais utilizados para se determinar a fadiga são: ensaio de compressão diametral dinâmica, do qual se obtém o módulo de resiliência, o ensaio de fadiga e o ensaio Marshall.

MIRANDA (2013), afirma que a inclinação do uso da mistura betuminosa no Brasil se deve aos seguintes fatos: preço competitivo, impermeabilidade do ligante, possibilidade de trabalhar em diversas temperaturas, durabilidade e adesividade do ligante.

### **2.5.1 ENSAIO MARSHALL**

A dosagem Marshall, realizada no Brasil, segue as orientações da norma do DNIT e embora parecida com a da American Society For Testing And Materials (ASTM) e com os procedimentos adotados pelo Instituto de Asfalto norte-americano, não foi talvez atualizada conforme as mudanças ocorridas nas citadas normas estrangeiras, em pelo menos dois pontos: absorção de ligante pelos agregados e o uso da massa seca com superfície saturada.

Segundo NEVES (2013) o ensaio de Marshall que determina a quantidade ideal do ligante na mistura betuminosa, foi desenvolvido pelo Departamento de Estrada de Rodagem do Estado de Mississippi nos EUA em 1930.

### **2.5.2 ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL - RT**

Em virtude da dificuldade de se obter a resistência à tração diretamente. Diversos métodos indiretos têm sido desenvolvidos para a sua determinação. De acordo com SOARES et al (2010), um importante ensaio foi desenvolvido no Brasil pelo professor Lobo Carneiro, no Rio de Janeiro, o ensaio diametral para determinação indireta da resistência à tração.

Este ensaio popularizou-se em todo o mundo, pela facilidade e rapidez de execução. O ensaio tem sido adotado desde 1972 para a caracterização de misturas asfálticas, com a aplicação das forças, através de frisos de carga, no corpo-de-prova cilíndrico tipo Marshall convencional, uma vez que estes apresentam superfície lateral irregular e bem deformável.



### **2.5.3 ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA POR COMPRESSÃO DIAMETRAL**

O termo resiliência foi definido como energia armazenada num corpo deformado elasticamente, a qual é devolvida quando cessam as tensões causadoras das deformações. O termo módulo de resiliência ou resilient modulus foi criado para que não se fizesse confusão com o módulo de Young, determinado estaticamente.

Conforme os estudos de PONTE (2014) no início da década de 1930 Francis Hveem iniciou os estudos sobre o comportamento resiliente das misturas asfálticas.

## **3. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS**

Neste capítulo são descritas as técnicas experimentais empregadas na caracterização da amostra de resíduo de pintura industrial - RPI e do CAP.

### **3.1 COLETA DAS AMOSTRAS**

Fizeram-se a caracterização dos materiais utilizados na presente pesquisa a serem utilizados nas misturas betuminosas e executaram-se ensaios mecânicos para avaliação dos corpos-de-prova.

Para se atingir os objetivos propostos, se fez necessário realizar as seguintes atividades:

- a) Coleta, caracterização e preparação dos materiais constituintes das misturas betuminosas a serem avaliadas, as preparadas com agregado miúdo tradicional e as com RPI ;
- b) confecção dos corpos de prova para serem utilizados no ensaio Marshall e nos outros ensaios mecânicos;
- c) realização de ensaios para avaliar as propriedades mecânicas das misturas betuminosas estudadas;
- d) análise dos resultados e conclusões.

Abaixo o fluxograma da coleta das amostras de RPI:

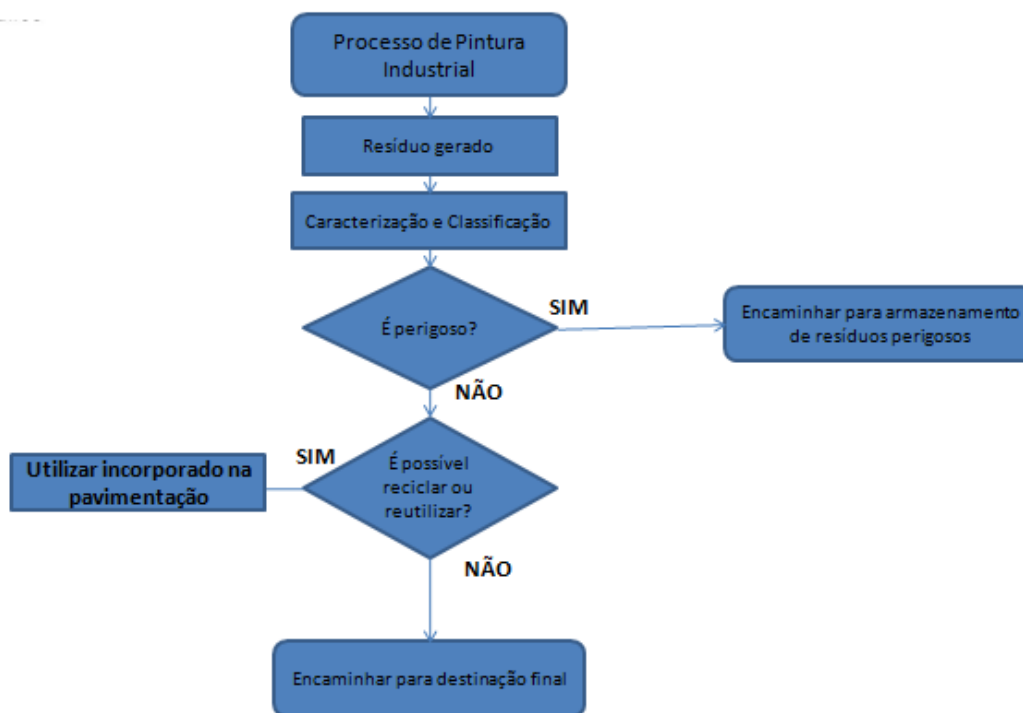


Figura 06 - Fluxograma da coleta das amostras de RPI com definição da reutilização para incorporar ao pavimento asfáltico.

As amostras do RPI foram coletadas na empresa IMMA - Indústria Metalúrgica e Mecânica da Amazônia, seguindo a norma do DNER-PRO 120/97.

A IMMA – Indústria Metalúrgica e Mecânica da Amazônia é a primeira empresa de bens de capital da região Norte do Brasil. A empresa esta localizada em Porto Velho - RO, a empresa foi criada em 2008, fruto de uma joint-venture entre a francesa Alstom e a brasileira Bardella. Conta com cerca de 475 funcionários, 49 aprendizes e produz equipamentos hidromecânicos e de levantamento.

A IMMA fabrica os seguintes equipamentos:

Comporta Segmento;

Comporta Ensecadeira ;

Grades de Tomada D'água;

Comportas Vagão;

Pórtico Rolante;

Ponte Rolante ;



Figura 03 - Pórtico Rolante



Figura 04 - Ponte Rolante

A IMMA foi concebida, originalmente, para fabricar equipamentos para a usina hidroelétrica de Santo Antônio - RO, no Rio Madeira, e, em seguida, atender a demanda de vários outros importantes projetos, principalmente na região Norte do país.

Como o material da amostra será incorporado ao CBUQ sendo empregado como agregado miúdo e material pulverulento adotou-se um pré - peneiramento da amostra.

Para classificar o RPI como perigoso foi adotado como medida a quantidade de solventes líquidos que continha nas amostras. Caso amostra do RPI esteja totalmente encharcada com solventes era descartada como perigoso. Os solventes são (hidrocarbonetos e outros compostos do carbono).

De acordo com a norma DNER – ME 120/97 as amostras de agregado miúdo destinada a todos os ensaios, deve ser de 40 Kg, no mínimo, assim distribuída:

- Para os ensaios de caracterização (granulometria, massa específica, densidade real e material pulverulentos) 20 Kg, no mínimo;

- Para identificação de traço, 20 kg, no mínimo.

A coleta do RPI foi realizada na unidade da IMMA conforme figura 05 abaixo:



Figura 05 - Resíduo de pintura industrial

### **3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS**

Nesta seção serão descritos como as amostras foram preparadas e como foi feita a caracterização dos materiais empregados no estudo.

#### **3.2.1 MATERIAIS EMPREGADOS**

Para selecionar os materiais a serem empregados, teve-se primeiro que definir o tipo de mistura optando-se pela mistura asfáltica a quente a usualmente utilizada na região.

Os materiais empregados foram:

Agregados graúdos e Agregados miúdos, RPI, Material de enchimento ( filer), Ligantes (CAP 50/70).

Abaixo o fluxograma da seqüência da metodologia utilizada para caracterização dos corpos de prova a serem ensaiados;

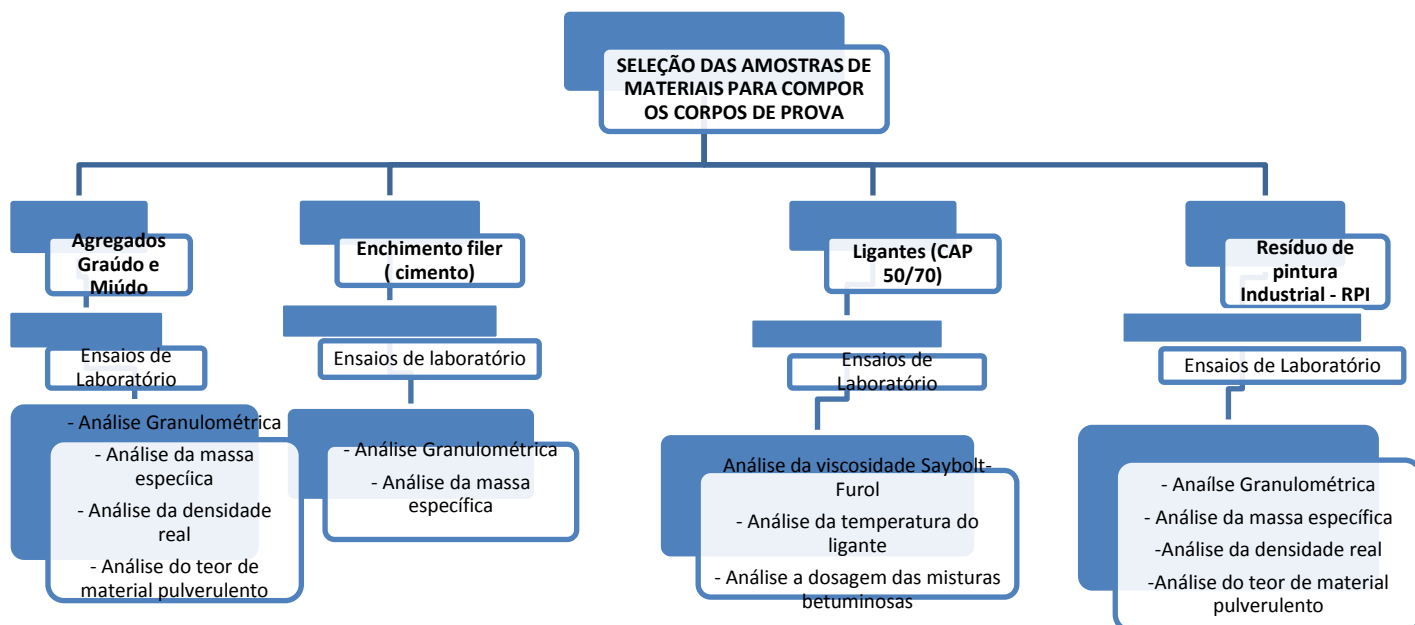


Figura 06 - Fluxograma da seqüência da metodologia utilizada para caracterização dos corpos de prova a serem ensaiados

### AGREGADOS

Tanto o agregado graúdo como o agregado miúdo, foram especificados de acordo com a norma DNIT 031/2004 - ES do Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes (DNIT).

Os agregados utilizados na presente pesquisa como elementos na mistura de concreto asfáltico, têm as seguintes natureza e procedências:

a) agregado graúdo: adquiriu-se a brita do laboratório da UFAM, classificando-o manualmente nas peneiras de 19,1 mm a 0,075 mm. No estado de Rondônia a brita é o material utilizado em larga escala tanto nos concretos asfálticos como também nos concretos de cimento Portland (Figura 07);



Figura 07 - Agregado graúdo utilizado na presente pesquisa - Laboratório de Pavimentação da UFAM

b) agregado miúdo: utilizou-se neste trabalho como agregado miúdo, a areia de rio, obtida do laboratório de pavimentação da UFAM e o Resíduo de Pintura Industrial - RPI coletado como amostra da Indústria da Construção de comportas para as Usinas Hidrelétricas de Porto Velho (Figura08)



Figura 08 - Agregado miúdo e RPI utilizado na presente pesquisa - Laboratório de Pavimentação da UFAM

### **MATERIAL DE ENCHIMENTO (FÍLER)**

Os materiais de enchimento ou fíleres utilizados na mistura de concreto asfáltico da presente pesquisa teve as seguintes procedências:

a) cimento: Portland da marca Nassau obtido no comércio local;

### **LIGANTES**

O cimento asfáltico de petróleo utilizado na presente pesquisa foi o CAP 50/70, obtido na Refinaria de Manaus (REMAN) com as características referenciadas na Tabela 03.

Fez-se no laboratório de pavimentação da Universidade Federal do Amazonas, durante esta pesquisa, o ensaio de viscosidade Saybolt Furol a 177°C para confirmação dos dados fornecidos pela REMAN.

| Característica                                   | Método | Especificação | Resultado | Unidade |
|--|--------|---------------|-----------|---------|
| Penetração                                       | D 5    | 50 a 70       | 65        | 0,1 mm  |
| Ponto de amolecimento                            | D 36   | 4 6 min       | 50,8      | grau C  |
| Viscosidade <i>Saybolt Furol</i> a 135 GC        | E 102  | 141 min       | 282       | S       |
| Viscosidade <i>Saybolt Furol</i> a 150 GC        | E 102  | 50 min        | 121,7     | S       |
| <b>Viscosidade <i>Saybolt Furol</i> a 177 GC</b> | E 102  | 30 a 150      | 37,0      | S       |
| RTFOT penetração retida                          | D 5    | 55 min        | 59        | %       |
| RTFOT aumento do ponto de amolecimento           | D 36   | 8 max.        | 8,0       | grau c  |
| RTFOT ductibilidade a 25 GC                      | D 113  | 20 min.       | 20        | Cm      |
| RTFOT variação em % de massa                     | D 2872 | 0,5 max.      | - 0,027   | %       |
| Ductibilidade a 25 GC                            | D 113  | 60 min.       | 87        | Cm      |
| Solubilidade no tricloroetileno                  | D 2042 | 99,5 min.     | 99,8      | % massa |
| Ponto de fulgor                                  | D 92   | 235 min.      | 330,1     | grau C  |
| Índice de suscetibilidade térmica                | X 018  | -1,5 a 0,7    | - 0,4     |         |
| Densidade relativa a 20/4 GC                     | D 70   | Anotar (1)    | 0,992     |         |
| Aquecimento a 177 GC                             | X 215  | NESP (2)      | NESP      |         |

Tabela 02 Características do cimento asfáltico de petróleo CAP 50/70 da REMAN FONTE:Refinaria de Manaus (REMAN).

O quadro abaixo fornece um resumo dos materiais utilizados na mistura as

| Tipo de material    | Discriminação do Material                 | Procedência  | Características Encontradas  |
|---------------------|---|--|--|
| Agregados           | Graúdo Brita 1 e Brita 0                  | Laboratório UFAM   | Granulometria variando de 19,1 a 0,075mm                               |
|                     | Miúdo Areia do rio                        | Laboratório da UFAM  | Granulometria variando de 4,8 a 0,075mm                                |
|                     | Miúdo RPI - Resíduo de Pintura Industrial | Indústria da Construção de Comportas para UHE de Porto Velho | constituído de areia média, areia fina e resíduo de pintura industrial |
| Filer               | Cimento Nassau                            | Laboratório da UFAM  | Granulometria passando 100% na peneira de abertura 0,075mm             |
| Material Betuminoso | CAP 50/70                                 | REMAN  | Penetração de 65mm   |

Tabela 03 - Origem dos materiais utilizados na mistura betuminosa

### **3.3 CARACTERIZAÇÃO DO CAP**

No presente estudo, foi utilizado o cimento asfáltico de petróleo (CAP-50/70) fornecido pelo Laboratório de Pavimentação da UFAM – Universidade Federal do Amazonas

Os métodos de caracterização do ligante asfáltico são apresentados a seguir.

Os cimentos asfálticos de petróleo (CAP), são preparados especialmente para apresentarem qualidades e consistência próprias, para o uso direto na construção de revestimentos asfálticos, segundo o IBP (1994,. É um material ideal para aplicação em trabalhos de pavimentação, pois além de suas propriedades aglutinantes e impermeabilizantes possui características de flexibilidade, durabilidade e alta resistência á ação da maioria dos ácidos, sais e álcalis . Os cimentos asfálticos de petróleo são classificados segundo a penetração em CAP 30 /45, CAP 50/70, CAP 85/100 e CAP 150/200 conforme a Agência Nacional de Petróleo (ANP).

A determinação das características do Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) foi realizada mediante o emprego de normas brasileiras da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e da norma da American Society for Testing Materials (ASTM).

A análise do produto deverá ser realizada em uma amostra representativa do mesmo segundo método ABNT NBR 14883 Petróleo e produtos de petróleo Amostragem manual ou ASTM D 4057 Practice for Manual Sampling of Petroleum and Petroleum Products.

As características do CAP deverão ser determinadas de acordo com os seguintes métodos de ensaio:



| <b>CARACTERIZAÇÃO DO LIGANTE ASFÁLTICO UTILIZADO</b> |                         |  |
|--|-------------------------|--|
| <b>ENSAIO</b>  | <b>NORMA / MÉTODO</b>   | <b>ESPECIFICAÇÃO</b>   |
| <b>Penetração</b>                                    | NBR 6576 / ASTM D 5     | Determinação de penetração de materiais betuminosos  |
| <b>Ponto de Amolecimento</b>                         | NBR 6560 / ASTM D 36    | Determinação do ponto de amolecimento ( Método do anel e bola)                                   |
| <b>Viscosidade Saybolt-Furol</b>                     | NBR 14950 / ASTM E 102  | Determinação da viscosidade Saybolt Furol de materiais betuminosos a temperaturas elevadas       |
|  | ASTM D 4402             | Determinação da viscosidade do asfalto a temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional |
| <b>Ponto de Fulgor</b>                               | NBR 11341 / ASTM D 92   | Determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto Cleveland                        |
| <b>Solubilidade em Tricloroetileno</b>               | NBR 14855 / ASTM D 2042 | Solubilidade de materiais betuminosos em tricloroetileno   |
|  | NBR 6293 / ASTM D 113   | Dutilidade de materiais betuminosos  |
| <b>Variação de Massa</b>                             | ASTM D 2872             | Efeito do calor e do ar numa película móvel de asfalto   |

Tabela 04 - Métodos utilizados para caracterização do CAP 50/70

### 3.4 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

A caracterização da amostra foi realizada seguindo as normas do DNER, realizadas em laboratório, a fim de obter a qualidade e propriedades desejadas. Na incorporação do RPI na mistura asfáltica é necessário seguir as análises apresentadas na seqüência do texto:

a) Análise Granulométrica:

Este ensaio permite observar a distribuição dos agregados minerais, em uma série de peneiras com aberturas pré-estabelecidas pelo DNIT, permitindo a classificação dos agregados e a definição sobre a quantidade de agregados a ser utilizada.

O método foi baseado na metodologia descrita na norma DNER-ME 083/98. Segundo estabelece 2,500g de agregado graúdo para serem classificados

granulometricamente a seco, por meio da separação das frações numa série de peneiras, variando de 2 a 0,074mm.

A torre de peneiras foi agitada mecanicamente por 10 minutos. Após esse tempo, o material retido em cada peneira foi pesado para calcular a distribuição granulométrica do agregado graúdo. A mesma análise foi repetida para os agregados miúdos, como a amostra apresentou uma quantidade significativa de materiais pulverulentos, foi feito o ensaio segundo a norma DNER – ME 266/97 considerando o teor de materiais pulverulentos no cálculo da composição granulométrica.



Figura 09 - Análise granulométrica

b) Análise da determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman.

Este ensaio permite determinar a massa específica de agregados miúdos e foi seguido de acordo com a norma DNER – ME 194/98.

A execução do ensaio inicia colocando água no frasco Chapman até a marca de 200 cm<sup>3</sup>, deixando-o em repouso, para que a água aderida às faces internas do frasco escorram totalmente; em seguida introduzir, cuidadosamente, 500 g de agregado miúdo seco no frasco, o qual deve ser devidamente agitado para eliminação das bolhas de ar.



Figura 10 - Análise massa específica pelo frasco Chapman

A leitura do nível atingido pela água no gargalo do frasco indica o volume, em  $\text{cm}^3$ , ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo, alertando-se para que as faces internas devam estar completamente secas e sem grãos aderentes.

É usado para calcular a massa específica real do agregado a expressão abaixo:

$$\rho = \frac{500}{(L - 200)}$$

Onde:

$\rho$  = massa específica real da amostra ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

L = leitura no frasco Chapman ( $\text{cm}^3$ ).

c) Análise da determinação da densidade real do agregado miúdo

A densidade determinada por este método é a relação da massa de determinado volume de amostra à  $25^\circ\text{C}$  (exclusive vazios) para a massa de igual volume de água destilada ou deionizada à mesma temperatura de acordo com a norma DNER-ME 084/95.

Separa-se, por quarteamento ou repartidor, uma porção representativa do agregado miúdo, de cerca de 1000g. Após peneirar a porção representativas nas peneiras de aberturas de 4,8 mm e 0,075 mm e tomar cerca de 500g do material retido entre estas peneiras, como amostra a ensaiar. Secar a amostra em estufa a (105 a 110) °C até massa constante e após resfriar em dessecador. Pesar o picnômetro, vazio, seco e rigorosamente limpo. A massa do picnômetro é designada a. Colocar no picnômetro, a amostra obtida após a secagem. A massa do picnômetro mais a amostra é designada b. A seguir, colocar água destilada no picnômetro até cobrir, a amostra de agregado nele contida, sem enchê-lo. Aquecer o picnômetro e o conteúdo até fervura, pelo menos 15 minutos, para expulsar todo o ar existente no conteúdo, agitando-se o para evitar superaquecimento, esfriar o picnômetro em banho d'água à 25°C. Completar o volume vazio restante no picnômetro com água destilada, à temperatura de 25°C. até o seu traço de referência; enxugar bem o picnômetro externamente com um pano limpo e seco. Pesar o picnômetro e o conteúdo. A massa do picnômetro mais amostra mais água, é designada c. Retirar todo o material existente no interior do picnômetro. Lavar e encher com água até o traço de referência com água destilada à temperatura de 25°C. Enxugar externamente o picnômetro com um pano limpo e seco, e pesá-lo a seguir. A massa do picnômetro mais água é designada d.

O resultado é dado pela expressão abaixo:

$$D_{25} = \frac{(b - a)}{(d - a) - (c - b)}$$

Em que:

$D_{25}$  = densidade real de agregado miúdo, a 25/25°C;

a= massa do picnômetro vazio e seco, em g;

b= massa do picnômetro mais amostra, em g;

c= massa do picnômetro mais amostra mais água, em g;

d= massa do picnômetro cheio d'água, em g.

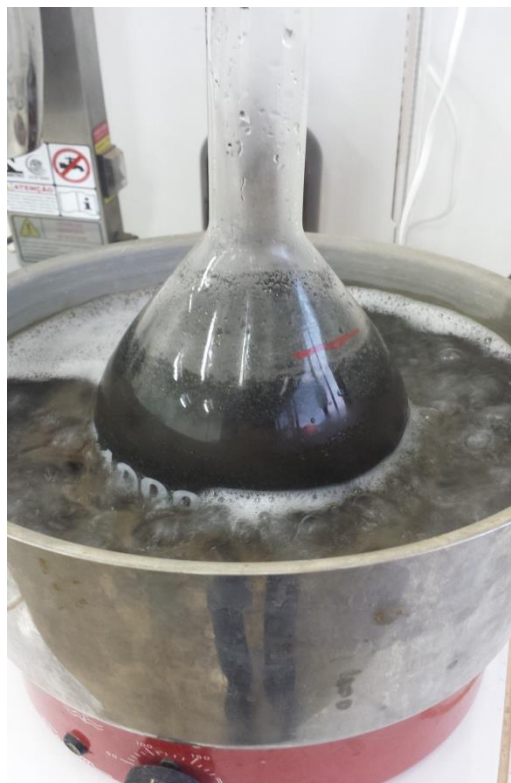


Figura 11 - Secagem da amostra a (105 a 110) °C até massa constante e após resfriar em dessecador

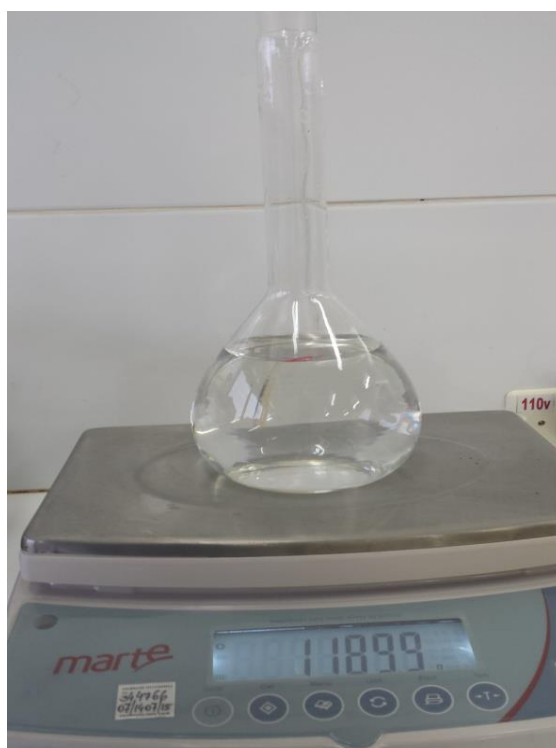


Figura 12 - Massa do picnômetro cheio d'água, em g

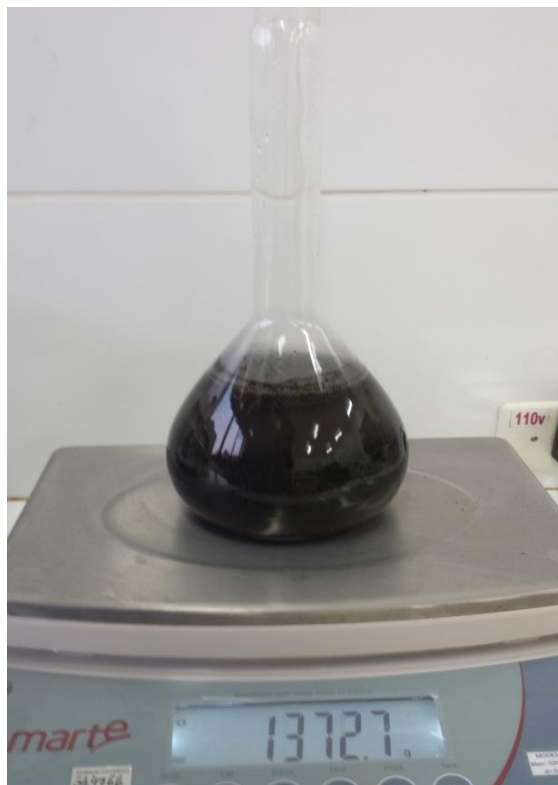


Figura 13 - Massa do picnômetro da amostra mais água, em g



Figura 14 - Massa do picnômetro mais amostra, em g

d) Análise da determinação do teor de materiais pulverulentos

Materiais pulverulentos são partículas com dimensão inferior a 0,075 m, inclusive os materiais solúveis em água, presentes nos agregados e são determinados de acordo com a norma DNER –ME 266/97.

A amostra deve ser coletada de acordo com a norma DNER – ME 120/94, após segregação e formas duas amostras de ensaio conforme norma DNER – ME 199/96. Secar previamente as duas amostras de ensaio em estufa a (105 – 110)°C. Determinar suas massas secas ( $M_1$  e  $M_2$ ). Colocar a amostra  $M_1$  no recipiente com água. Agitar o material, com o auxílio de uma haste, de forma a provocar a separação e suspensão das partículas finais, tomando o cuidado de não provocar abrasão no material. Despejar a água cuidadosamente através das peneiras para não perder material. Lançar o material retido nas peneiras, de volta ao recipiente, e repetir a operação de lavagem, até que a água de lavagem se torne limpa. Fazer a comparação visual de limpeza da água, antes e depois da lavagem utilizando recipientes de vidro transparente com dimensões iguais. Ao terminar a operação de lavagem, recolocar o material em recipiente com dimensão suficiente para reter a amostra de agregado e a água de recolhimento. Deve ser resistente para permitir a agitação vigorosa sem perda de água ou da amostra. Recobrir com água e deixar o conjunto em repouso o tempo necessário para decantar as partículas. Retirar a água em excesso, com o auxílio de bisnaga para facilitar a posterior secagem em estufa, tomando o cuidado de não provocar perda de material. Secar o agregado em estufa a (105 – 110) °C até constância de massa e determinar sua massa final seca ( $M_{1F}$ ). Repetir os procedimentos para a segunda amostra ( $M_2$ ) e determinar o valor da massa final seca da amostra ( $M_{2F}$ ).

O resultado é obtido pela média aritmética das duas determinações pela expressão abaixo:

(caso da 1º amostra)

$$\text{- Teor de materiais pulverulentos} = \frac{(M_1 - M_{1F})}{M_1} \times 100\%$$

(caso da 2º amostra)

$$\text{- Teor de materiais pulverulentos} : \frac{(M_2 - M_{2F})}{M_2} \times 100\%$$



(a)

(b)

Figura 15 - Recipiente para amostras de materiais pulverulentos

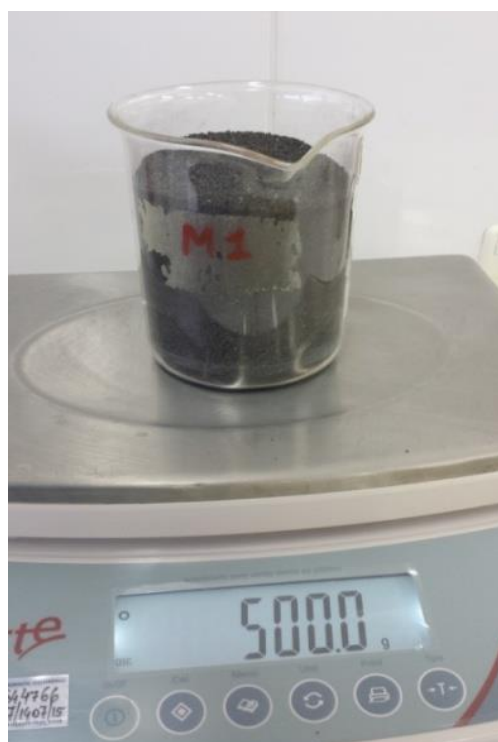
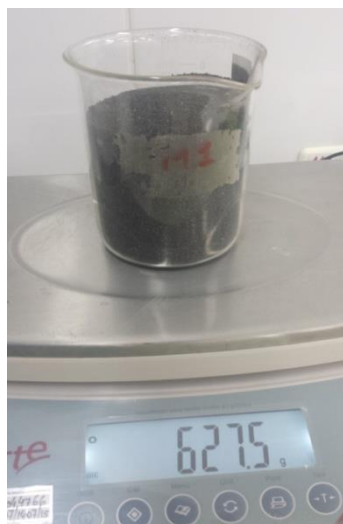
Figura 16 - Amostra de material seco no recipiente M<sub>1</sub>





Figura 17 - Amostra de material seco no recipiente  $M_2$



(a)



(b)

Figura 18 - Recipiente  $M_{1F}$  e  $M_{2F}$  de materiais pulverulentos após secagem

## **ENSAIO MARSHALL**

Realizado no Laboratório de Pavimentação da Universidade Federal do Amazonas, seguindo a determinação estabelecida na norma DNER ME 043/95 do DNIT, que apresenta os procedimentos para a determinação da estabilidade e da fluência de misturas betuminosas, a quente, para uso em pavimentação, com agregado de tamanho de 25,4mm máximo, por meio da aparelhagem Marshall.

A referida norma apresenta definições, o preparo de corpos-de-prova e os procedimentos para a obtenção dos resultados.

A Estabilidade Marshall é a resistência máxima à compressão radial, apresentada pelo corpo-de-prova, quando moldado e ensaiado de acordo com o processo estabelecido neste método, expressa em kgf.

A Fluência Marshall é a deformação total apresentada pelo corpo-de-prova, desde a aplicação da carga inicial até a aplicação da carga máxima, expressa em décimos de milímetro (centésimos de polegada).

O valor da fluência é obtido simultaneamente ao da estabilidade.

### **Procedimentos tomados para determinação do teor ótimo da mistura betuminosa**

O procedimento adotado para a dosagem das misturas betuminosas, foi o método Marshall, para um esforço de compactação de 75 golpes, obedecendo a seguinte ordem:

a) seleção da faixa granulométrica a ser utilizada, de acordo com a composição granulométrica dos agregados, ou seja, o percentual em massa de cada agregado para formar a mistura, sem considerar ainda o teor de asfalto.

b) escolha das temperaturas de mistura e compactação, a partir da viscosidade-temperatura do ligante escolhido;

Segundo SOARES et al (2010), a temperatura do ligante não deve ser inferior a 107°C nem superior a 177°C para todo o processo.

A temperatura dos agregados deve ser de 10°C a 15 °C acima da temperatura definida para o ligante sem ultrapassar 177°C. A temperatura de compactação deve ser tal que o ligante apresente viscosidade na faixa de 125 SSF a 155

SSF (segundos Saybolt-Furol) ou  $0,28 \pm 0,03$  Pa.s. Portanto fez-se o ensaio de viscosidade Saybolt-Furol para se determinar a temperatura da mistura e compactação (Figura 19).



Figura 19 - Ensaio de viscosidade Saybolt-Furol ( Laboratório de pavimentação da UFAM)

c) composição da dosagem das misturas betuminosas com: 4,5 %, 5,0 % e 5,5 %, de teor de CAP, para se determinar a melhor composição para a mistura (Método das Tentativas);

d) a partir do teor de asfalto do grupo de corpos-de-prova estudados, ajustou-se o percentual em massa de cada agregado na mistura asfáltica já contendo o asfalto;

e) moldagem dos corpos-de-prova (três corpos-de-prova para cada teor de CAP);

f) após o resfriamento e desmoldagem dos corpos-de-prova, obtiveram-se as dimensões do mesmo (diâmetro e altura);

g) determinaram-se para cada corpo de prova suas massas seca e submersa em água.

Com estes valores, obteve-se a massa específica aparente dos corpos-de-prova, que, por comparação com a massa específica teórica, permitiu obter-se as relações volumétricas da dosagem;

h) com base na porcentagem de massa de cada agregado, na porcentagem em massa do teor de asfalto e nas massas específicas reais dos constituintes, calculou-se a densidade máxima teórica da mistura correspondente ao teor de asfalto considerado de cada corpo-de-prova;

i) calcularam-se os parâmetros de dosagem para cada corpo-de-prova, que são:

volume ( $V$ ), massa específica aparente da mistura ( $d$ ), volume de vazios ( $V_v$ ), vazios com betume ( $VCB$ ), vazios do agregado mineral ( $VAM$ ) e relação betume/vazios ( $RBV$ ).

j) após as medidas volumétricas os corpos-de-prova ficaram submersos em banho-maria a  $60^{\circ}\text{C}$  por 40 minutos e levados a prensa Marshall e submetidos ao ensaio mecânico à compressão semi-confinada (Figura 22 e Figura 23);



Figura 20 - Corpo de prova rompido no ensaio Marshall (Laboratório de Pavimentação da UFAM)



Figura 21 - Ensaio Marshall (Laboratório de Pavimentação da UFAM)

k) determinaram-se, então, por meio da prensa Marshall os parâmetros mecânicos que são:

Para determinar a estabilidade e fluência, dispôs-se de um anel dinamométrico para leitura da carga aplicada e um medidor de fluência para medir o deslocamento vertical sofrido pelo corpo-de-prova no momento que rompe.

**estabilidade (em kgf):** carga máxima que o corpo-de-prova resistiu antes da ruptura, definido como um deslocamento ou quebra de agregado causando diminuição da carga necessária a fim de manter o prato da prensa em deslocamento a uma taxa constante;

**fluência (em mm):** deslocamento vertical do corpo de prova submetido à aplicação da carga máxima.

l) com os resultados encontrados, verificaram-se quais os teores que mais se aproximavam dos valores estabelecidos pela norma DNER-ME 043/95 do DNIT para o volume de vazios, relação betume/vazios, estabilidade Marshall e fluência.

m) determinação do teor ótimo da mistura ou percentual de ligante na mistura que apresenta os valores mais próximos admitidos na norma anteriormente citada.

Para este processo, o teor de projeto é uma média de três teores, correspondentes aos teores associados à máxima estabilidade, à massa específica aparente máxima da amostra compactada e a um Vv de 4 % (ou média das especificações).

O método de compactação adotado foi a compactação manual com 75 golpes, no qual não se pode evitar influência do operador do compactador durante a aplicação dos golpes.

## 4 RESULTADOS

Neste capítulo, apresentam-se os resultados obtidos desde a caracterização dos materiais utilizados nas misturas asfálticas deste estudo até os ensaios mecânicos.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO AGREGADO GRAÚDO (BRITA 1 e BRITA 0)

#### Granulometria

Os ensaios de granulometria do agregado graúdo (Brita 1) apresentaram os resultados indicados na Tabela 05.

O ensaio de granulometria do agregado graúdo (Brita 1) foi realizado por peneiras de malhas quadradas. Apresentou uma quantidade maior de material retido na peneira de 12,7 mm de abertura, com 66,30 %, seguido de material retido na peneira de 9,5 mm, com 28,01 %, em terceiro de material retido na peneira de 4,8 mm, com 4,06 % e o restante 1,59 % de agregado miúdo. O agregado foi classificado segundo a norma da ABNT, como pedregulho e areia.

| Obra: Dosagem de Concreto Asfáltico - CBUQ |         | Laboratorista: Reinaldo   |          |             |             |
|--|---------|---------------------------|----------|-------------|-------------|
| Local: Laboratório da UFAM                 |         | Data: 25/11/2015          |          |             |             |
| Interessado: Ilton Roberto Kramer          |         | Registro:                 |          |             |             |
| Amostra: Brita 1                           |         | Peso Amostra - g: 5000,00 |          |             |             |
| Granulometria do Agregado - Brita 1        |         |                           |          |             |             |
| Peneira                                    | Peneira | Peso Retido               | % Retido | % Acumulado | % Que Passa |
|  | mm      | g                         |          |             |             |
| 2"   | 50,8    |                           |          |             |             |
| 1 1/2"                                     | 38,1    |                           |          |             | 100         |
| 1"   | 25,4    | 0,00                      | 0,00     | 0,00        | 100,00      |
| 3/4"                                       | 19,1    | 79,39                     | 1,59     | 1,59        | 98,41       |
| 1/2"                                       | 12,7    | 3314,90                   | 66,30    | 67,89       | 32,11       |
| 3/8"                                       | 9,50    | 1400,30                   | 28,01    | 95,89       | 4,11        |
| 4"   | 4,80    | 203,10                    | 4,06     | 99,95       | 0,05        |
| 10"  | 2,00    | 0,70                      | 0,01     | 99,97       | 0,03        |
| 40"  | 0,42    | 0,08                      | 0,00     | 99,97       | 0,03        |
| 80"  | 0,177   | 0,32                      | 0,01     | 99,98       | 0,02        |
| 200"                                       | 0,074   | 0,97                      | 0,02     | 100,00      | 0,00        |

Tabela 05 Resultados do ensaio de granulometria da brita 1 por peneiramento manual

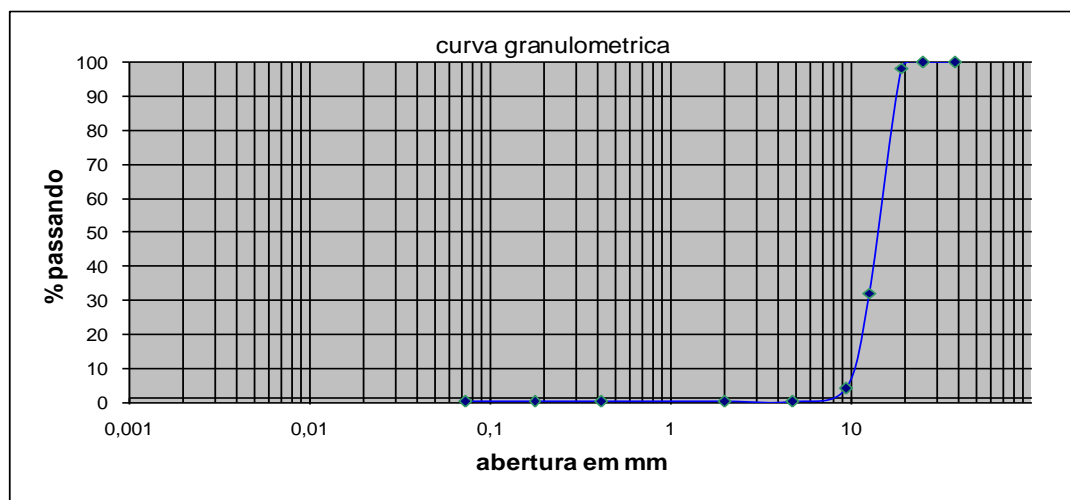


Gráfico 01 - Curva Granulométrica da Brita 1

Os ensaios de granulometria do agregado graúdo (Brita 0) apresentaram os resultados indicados na Tabela 06.

O ensaio de granulometria do agregado graúdo (Brita 0) foi realizado por peneiras de malhas quadradas. Apresentou uma quantidade maior de material retido na peneira de 4,8 mm de abertura, com 67,9 %, seguido de material retido na peneira de 2,0 mm, com 29,47 %, em terceiro de material retido na peneira de 9,5 mm, com 2,13 % e o restante 0,51 % de agregado miúdo. O agregado foi classificado segundo a norma da ABNT, como pedregulho e areia.

| Obra: Dosagem de Concreto Asfáltico - CBUQ |         |             | Laboratorista: Reinaldo   |             |             |
|--|---------|-------------|---------------------------|-------------|-------------|
| Local: Laboratório da UFAM                 |         |             | Data: 25/11/2015          |             |             |
| Interessado: Ilton Roberto Kramer          |         |             | Registro:                 |             |             |
| Amostra: Brita 0                           |         |             | Peso Amostra - g: 3000,00 |             |             |
| Granulometria do Agregado - Brita 0        |         |             |                           |             |             |
| Peneira                                    | Peneira | Peso Retido | % Retido                  | % Acumulado | % Que Passa |
|  | mm      | g           |                           |             |             |
| 2"   | 50,8    |             |                           |             |             |
| 1 1/2"                                     | 38,1    |             |                           |             | 100         |
| 1"   | 25,4    | 0,00        | 0,00                      | 0,00        | 100,00      |
| 3/4"                                       | 19,1    | 0,00        | 0,00                      | 0,00        | 100,00      |
| 1/2"                                       | 12,7    | 0,00        | 0,00                      | 0,00        | 100,00      |
| 3/8"                                       | 9,50    | 63,90       | 2,13                      | 2,13        | 97,87       |
| 4"   | 4,80    | 2037,00     | 67,90                     | 70,03       | 29,97       |
| 10"  | 2,00    | 884,00      | 29,47                     | 99,50       | 0,50        |
| 40"  | 0,42    | 10,30       | 0,34                      | 99,84       | 0,16        |
| 80"  | 0,177   | 0,60        | 0,02                      | 99,86       | 0,14        |
| 200"                                       | 0,074   | 1,20        | 0,04                      | 99,90       | 0,10        |

Tabela 06 Resultados do ensaio de granulometria da brita 0 por peneiramento manual

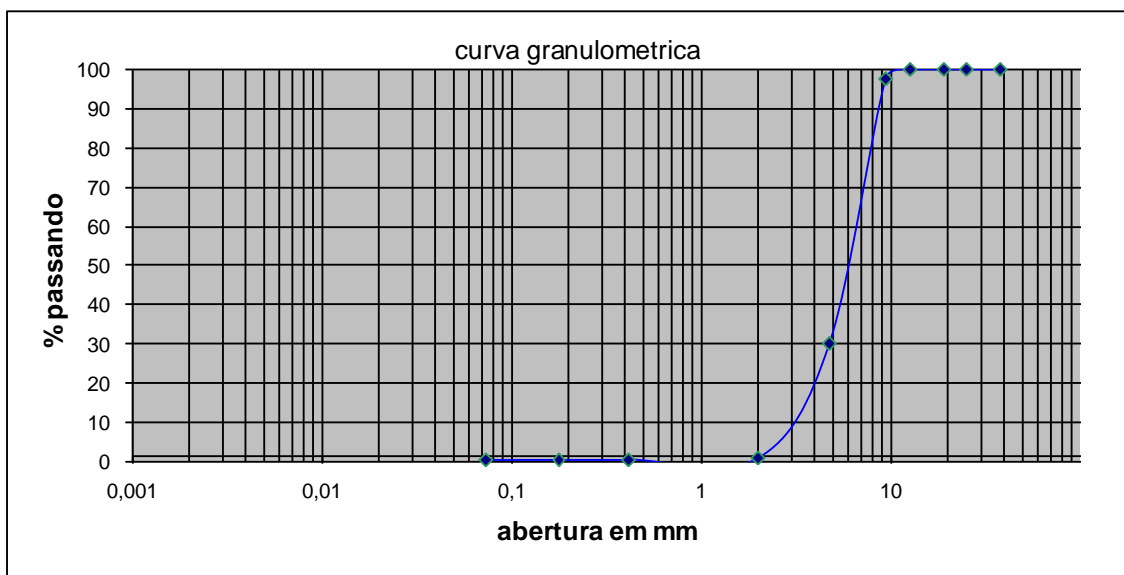


Gráfico 02 - Curva Granulométrica da Brita 0

### Massa específica

#### Método Chapman

Após os procedimentos estabelecidos por norma, obtiveram-se como resultados para a massa específica do agregado graúdo (brita 1) e (brita 0), os seguintes valores: 1  $Y=2,73 \text{ g/cm}^3$  no 1º ensaio, 2  $Y=2,73 \text{ g/cm}^3$  no 2º ensaio e  $Y=2,72 \text{ g/cm}^3$  no 3º ensaio, **tendo-se  $Y_m=2,72 \text{ g/cm}^3$  de massa específica média.**

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO AGREGADO MIÚDO

### Granulometria (areia)

De acordo com a tabela 07 os ensaios de granulometria do agregado miúdo (areia) apresentaram maior quantidade de material retido nas peneiras de 0,18mm, com 41,17 %, seguido de material retido na peneira de 0,42 mm, com 39,14 % e em terceiro de material retido na peneira de 0,075 mm com 12,21 %. Segundo classificação da AASHTO para a granulometria encontrada temos 39,14 % de areia grossa (fração retido na peneira de 0,42 mm) e 55,4 % de areia fina (fração que passa na peneira de 0,42 mm), sendo o restante 5,46 % de finos. Verificou-se também, que a dimensão máxima do agregado corresponde ao material retido na peneira de 4,8 mm, com 1,18 %.



| Obra: Dosagem de Concreto Asfáltico - CBUQ |         |             | Laboratorista: Reinaldo   |             |             |
|--|---------|-------------|---------------------------|-------------|-------------|
| Local: Laboratório da UFAM                 |         |             | Data: 25/11/2015          |             |             |
| Interessado: Ilton Roberto Kramer          |         |             | Registro:                 |             |             |
| Amostra: Areia                             |         |             | Peso Amostra - g: 1500,00 |             |             |
| Granulometria do Agregado - Areia          |         |             |                           |             |             |
| Peneira                                    | Peneira | Peso Retido | % Retido                  | % Acumulado | % Que Passa |
|  | mm      | g           |                           |             |             |
| 2"   | 50,8    |             |                           |             |             |
| 1 1/2"                                     | 38,1    |             |                           |             | 100         |
| 1"   | 25,4    | 0,00        | 0,00                      | 0,00        | 100,00      |
| 3/4"                                       | 19,1    | 0,00        | 0,00                      | 0,00        | 100,00      |
| 1/2"                                       | 12,7    | 0,00        | 0,00                      | 0,00        | 100,00      |
| 3/8"                                       | 9,50    | 0,00        | 0,00                      | 0,00        | 100,00      |
| 4"   | 4,80    | 17,70       | 1,18                      | 1,18        | 98,82       |
| 10"  | 2,00    | 64,30       | 4,29                      | 5,47        | 94,53       |
| 40"  | 0,42    | 587,10      | 39,14                     | 44,61       | 55,39       |
| 80"  | 0,177   | 617,60      | 41,17                     | 85,78       | 14,22       |
| 200"                                       | 0,074   | 183,20      | 12,21                     | 97,99       | 2,01        |

Tabela 07 Resultados do ensaio de granulometria da Areia por peneiramento manual

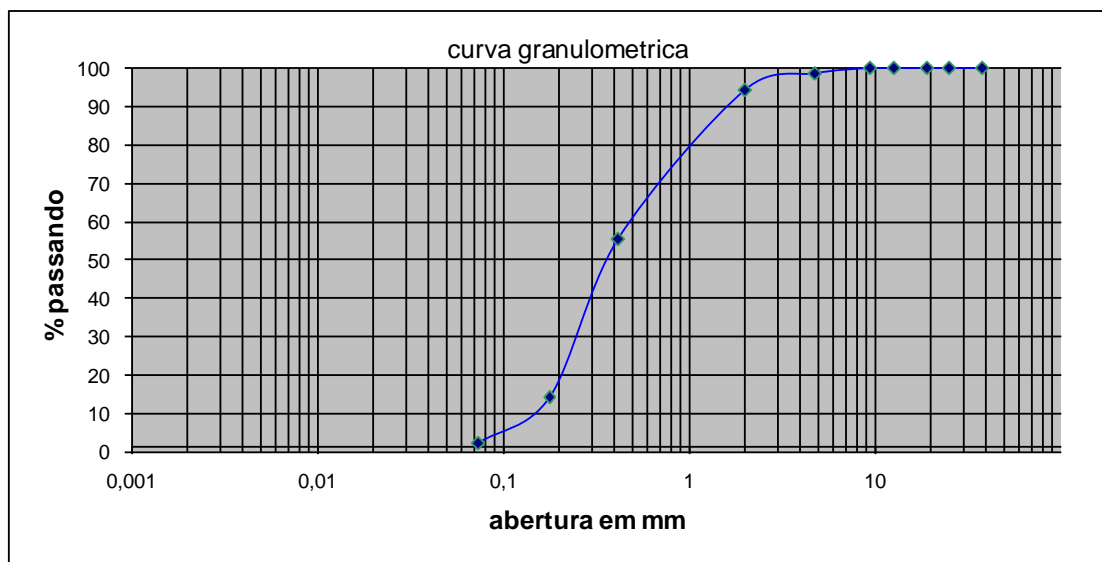


Gráfico 03 - Curva Granulométrica da Areia

### Massa específica

Método Chapman

Após os procedimentos estabelecidos por norma, obtiveram-se como resultados para a massa específica do agregado graúdo (brita 1), os seguintes valores: 1  $Y=2,60$  g/cm<sup>3</sup> no 1º ensaio, 2  $Y=2,60$  g/cm<sup>3</sup> no 2º ensaio e  $Y=2,61$  g/cm<sup>3</sup> no 3º ensaio, **tendo-se  $Y_m=2,60$  g/cm<sup>3</sup> de massa específica média.**

### Granulometria (RPI)

De acordo com a tabela 08, os ensaios de granulometria do agregado miúdo (RPI) apresentaram maior quantidade de material retido nas peneiras de 0,48mm, com 72,78 %, seguido de material retido na peneira de 2,0 mm, com 14,22% e em terceiro de material retido na peneira de 0,18 mm com 7,48 %. Segundo classificação da AASHTO para a granulometria encontrada temos 72,78 % de areia grossa (fração retido na peneira de 0,48 mm) e 13,25 % de areia fina (fração que passa na peneira de 0,48 mm), sendo o restante 13,97 % de finos. Verificou-se também, que a dimensão máxima do agregado corresponde ao material retido na peneira de 4,8 mm, com 1,42 %.

| Obra: Dosagem de Concreto Asfáltico - CBUQ |         | Laboratorista: Reinaldo   |          |             |             |
|--|---------|---------------------------|----------|-------------|-------------|
| Local: Laboratório da UFAM                 |         | Data: 25/11/2015          |          |             |             |
| Interessado: Ilton Roberto Kramer          |         | Registro:                 |          |             |             |
| Amostra: RPI                               |         | Peso Amostra - g: 1000,00 |          |             |             |
| Granulometria do Agregado - RPI            |         |                           |          |             |             |
| Peneira                                    | Peneira | Peso Retido               | % Retido | % Acumulado | % Que Passa |
|  | mm      | g                         |          |             |             |
| 1 1/2"                                     | 38,1    |                           |          |             | 100         |
| 1"   | 25,4    | 0,00                      | 0,00     | 0,00        | 100,00      |
| 3/4"                                       | 19,1    | 0,00                      | 0,00     | 0,00        | 100,00      |
| 1/2"                                       | 12,7    | 0,00                      | 0,00     | 0,00        | 100,00      |
| 3/8"                                       | 9,50    | 0,00                      | 0,00     | 0,00        | 100,00      |
| 4"   | 4,80    | 14,20                     | 1,42     | 1,42        | 98,58       |
| 10"  | 2,00    | 142,20                    | 14,22    | 15,64       | 84,36       |
| 40"  | 0,42    | 727,80                    | 72,78    | 88,42       | 11,58       |
| 80"  | 0,177   | 74,80                     | 7,48     | 95,90       | 4,10        |
| 200"                                       | 0,074   | 35,30                     | 3,53     | 99,43       | 0,57        |

Tabela 08 Resultados do ensaio de granulometria do RPI por peneiramento manual

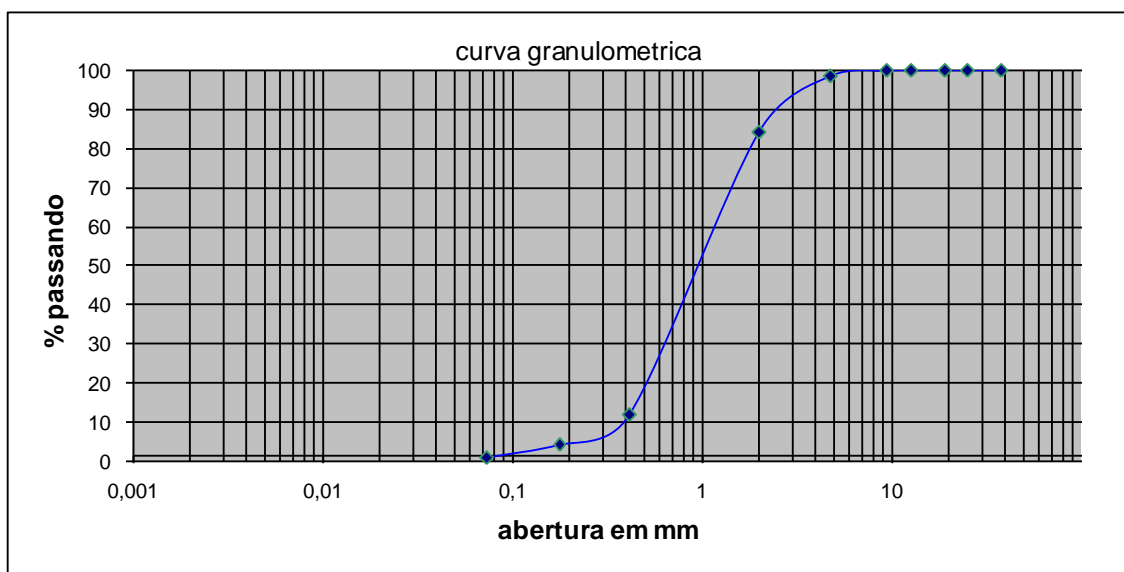


Gráfico 04 - Curva Granulométrica do RPI

### Caracterização química da amostra de RPI

- A amostra foi caracterizada quimicamente de acordo com análise das fichas de informação de produtos químicos - FISPQ dos RPI onde foi verificado o que os resíduos de pintura haviam antes de serem utilizados. Os componentes foram classificados de acordo com a Diretiva 67/548/RRC. Desta forma a concentração dos componentes químicos encontrados foram os seguintes:

| <b>NOME QUÍMICO</b>          | <b>FAIXA DE CONCENTRAÇÃO (%)</b> |
|------------------------------|----------------------------------|
| Negro-de-fumo                | 0,5 - 3,0                        |
| Quartzo                      | 45,0 - 55,0                      |
| Polímero de fenila           | 25,0 - 40,0                      |
| Xilenos mistos               | 10,0 - 30,0                      |
| Álcool                       | 0,5 - 5,0                        |
| Pigmento Verde               | 0,5 - 5,0                        |
| Sulfato de Bário             | 0,1 - 5,0                        |
| Acetona                      | 0,5 - 5,0                        |
| Octoato de Cobalto           | 3,0 - 15,0                       |
| Octoato de Zircônio          | 3,0 - 15,0                       |
| Octoato de Cálcio            | 3,0 - 8,0                        |
| Sulfato de Chumbo            | 1,0 - 15,0                       |
| Pigmento a base de Cromato   | 0,1 - 5,0                        |
| Pigmento a base de Molibdato | 0,1 - 5,0                        |
| Polímero de Propano          | 25,0 - 40,0                      |

Tabela 09 - Composição química da amostra de RPI

Após análise química da tabela 9 verifica-se que os componentes utilizados na pintura industrial são, na sua maioria, metálicos ou derivados da cadeia de hidrocarbonetos, sendo assim, possibilitam a incorporação na mistura do CAP. De acordo com os ensaios de granulometria pode-se verificar que a percentagem de agregado miúdo e de materiais pulverulentos são considerados, sendo este um dos motivos da utilização da amostra como agregado miúdo em primeiro momento.

Foi verificado o teor de materiais pulverulentos de acordo com a norma DNER - ME 266/97 sendo o encontrado abaixo:

Cálculo do teor de materiais pulverulentos

Expressão:

$$\frac{(M_1 - M_{1F})}{M_1} \times 100\% \quad (1^\circ \text{ amostra})$$

$$\frac{(M_2 - M_{2F})}{M_2} \times 100\% \quad (2^\circ \text{ amostra})$$

Onde:

M = Teor de materiais pulverulentos em percentagem;

M<sub>1</sub> = Massa da amostra 1 seca;

M<sub>2</sub> = Massa da amostra 2 seca;

M<sub>1F</sub> = Massa da amostra 1 após lavagem e secagem;

M<sub>2F</sub> = Massa da amostra 2 após lavagem e secagem;

O resultado é obtido pela média aritmética das duas determinações.

**Resultado: M=7,8%**

Foi realizada a determinação da massa específica da amostra de RPI, e o resultado encontrado foi obtido de acordo com a norma do DNER - ME 084/94 sendo o seguinte:

Cálculo da densidade real de agregado miúdo RPI, a 25/25°C

Expressão:

$$D_{25} = \frac{(b - a)}{(d - a) - (c - b)}$$

Onde:

$D_{25}$  = Densidade real de agregado miúdo, a 25/25°C

a = massa do picnômetro vazio e seco, em g;

b = massa do picnômetro mais amostra, em g;

c = massa do picnômetro mais amostra mais água, em g;

d = massa do picnômetro cheio d'água, em g.

**Resultado:  $D_{25} = 2,1947$**

Foi realizado o ensaio de determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman o resultado obtido seguiu a norma DNER -ME 194/98 sendo o resultado exposto abaixo:

Cálculo da massa específica do agregado miúdo RPI:

Expressão:

$$Y = 500 / (L - 200)$$

Onde:

Y = Massa específica do agregado miúdo, expressa em  $\text{g/cm}^3$ ;

L = Leitura no frasco Chapman ( volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo)

**Resultado:  $Y = 1,2738 \text{ g/cm}^3$**

### 4.3 CARACTERIZAÇÃO CIMENTO PORTLAND

#### Granulometria

De acordo com a tabela 10 o ensaio de granulometria acusou 94,36 % do material passando na peneira de 0,48mm, 83,11 % passando na peneira de 0,18mm e 78,96 % passando na peneira de 0,075 mm.

Os ensaios de granulometria do cimento Portland, usado no presente estudo, apresentaram resultado satisfatório atendendo as especificações estabelecidas por norma para fíler.

| Obra: Dosagem de Concreto Asfáltico - CBUQ |         | Laboratorista: Reinaldo  |          |             |             |
|--|---------|--------------------------|----------|-------------|-------------|
| Local: Laboratório de Pavimentação da UFAM |         | Data: 25/11/2015         |          |             |             |
| Interessado: Ilton Roberto Kramer          |         | Registro:                |          |             |             |
| Amostra: Cimento Portland                  |         | Peso Amostra - g: 200,00 |          |             |             |
| Granulometria do Agregado - Cimento        |         |                          |          |             |             |
| Peneira                                    | Peneira | Peso Retido              | % Retido | % Acumulado | % Que Passa |
|  | mm      | g                        |          |             |             |
| 2"   | 50,8    |                          |          |             |             |
| 1 1/2"                                     | 38,1    |                          |          |             | 100         |
| 1"   | 25,4    | 0,00                     | 0,00     | 0,00        | 100,00      |
| 3/4"                                       | 19,1    | 0,0                      | 0,00     | 0,00        | 100,00      |
| 1/2"                                       | 12,7    | 0,00                     | 0,00     | 0,00        | 100,00      |
| 3/8"                                       | 9,50    | 0,00                     | 0,00     | 0,00        | 100,00      |
| 4"   | 4,80    | 0,00                     | 0,00     | 0,00        | 100,00      |
| 10"  | 2,00    | 0,00                     | 0,00     | 0,00        | 100,00      |
| 40"  | 0,42    | 11,28                    | 5,64     | 5,64        | 94,36       |
| 80"  | 0,177   | 168,90                   | 84,45    | 90,09       | 9,91        |
| 200"                                       | 0,074   | 16,66                    | 8,33     | 98,42       | 1,58        |

Tabela 10 Resultados do ensaio de granulometria do cimento Portland por peneiramento manual

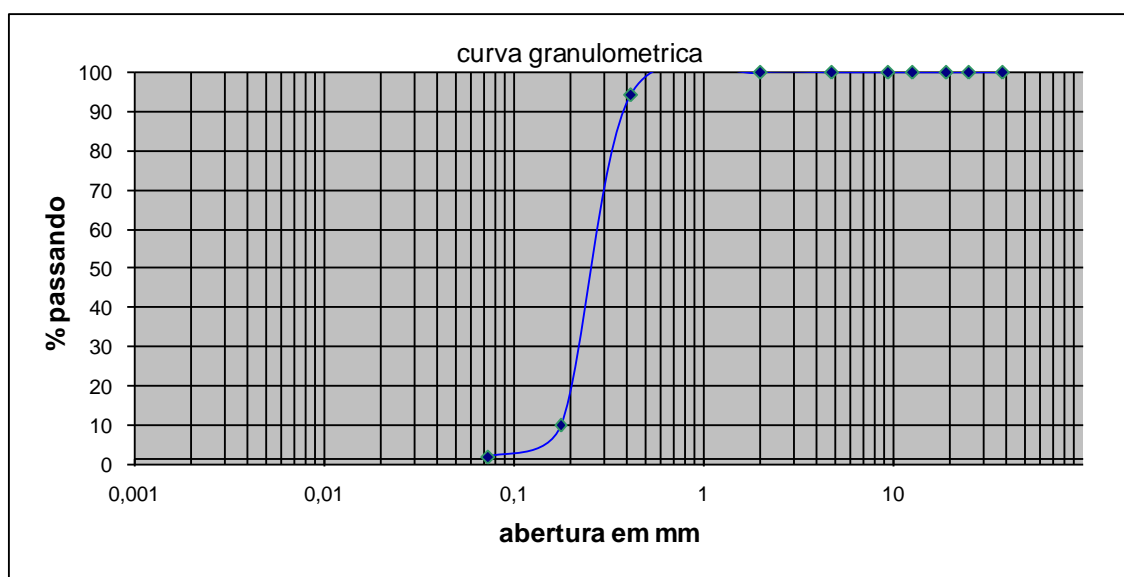


Gráfico 05 - Curva Granulométrica do Cimento Portland

## Massa específica real

Método Le Chatellier

Após os procedimentos estabelecidos por norma, obteve-se a massa específica real de  $Y = 3,08 \text{ g/cm}^3$ , valor este compatível com o tipo de cimento fabricado na região.

## 4.4 ENSAIO MECÂNICOS

### 4.4.1 ENSAIO MARSHALL

Seleção da faixa granulométrica a ser utilizada. Fez-se o enquadramento dentro da faixa C do DNIT, obtendo-se 25 % de brita 1, 35% de brita 0, 35 % de areia e 5 % de cimento(filer), conforme mostram tabela 11 e gráfico 06;

| Composição Granulométrica dos Agregados - (Gran (B1)+Gran(B0)+Areia+Filer) |        |         |         |         |       |         |         |         |            |           |          |
|--|--------|---------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|------------|-----------|----------|
| Peneira  | Brita1 |         | Brita 0 |         | Areia |         | Cimento |         | composição | Faixa C   |          |
| nº   | mm     | % pass. | 0,25    | % pass. | 0,35  | % pass. | 0,35    | % pass. | 0,05       | agregados | (DNIT)   |
| 1"   | 25,4   |         |         |         |       |         |         |         |            |           |          |
| 3/4"   | 19,1   | 98,41   | 24,6    | 100     | 35    | 100     | 35      | 100     | 5          | 99,6025   | 100      |
| 1/2"   | 12,7   | 32,11   | 8,03    | 100     | 35    | 100     | 35      | 100     | 5          | 83        | 80 - 100 |
| 3/8"   | 9,5    | 4,11    | 1,03    | 97,87   | 34,25 | 100     | 35      | 100     | 5          | 75,28     | 70 - 100 |
| 4  | 4,8    | 0,05    | 0,01    | 29,93   | 10,48 | 98,82   | 34,59   | 100     | 5          | 50,08     | 44 - 72  |
| 10   | 2      | 0,08    | 0,02    | 0,46    | 0,161 | 94,53   | 33,09   | 100     | 5          | 38,27     | 22 - 50  |
| 40   | 0,42   | 0,03    | 0,01    | 0,12    | 0,042 | 55,39   | 19,39   | 94,36   | 4,72       | 24,11     | 8 - 26   |
| 80   | 0,18   | 0,02    | 0,01    | 0,1     | 0,035 | 13,65   | 4,778   | 83,11   | 4,16       | 8,97      | 4 - 16   |
| 200  | 0,075  | 0       | 0       | 0       | 0     | 1,44    | 0,504   | 78,96   | 3,95       | 4,45      | 2 - 10   |

Tabela 11 Enquadramento da granulometria dos agregados conforme Norma DNIT 031/2004-ES.

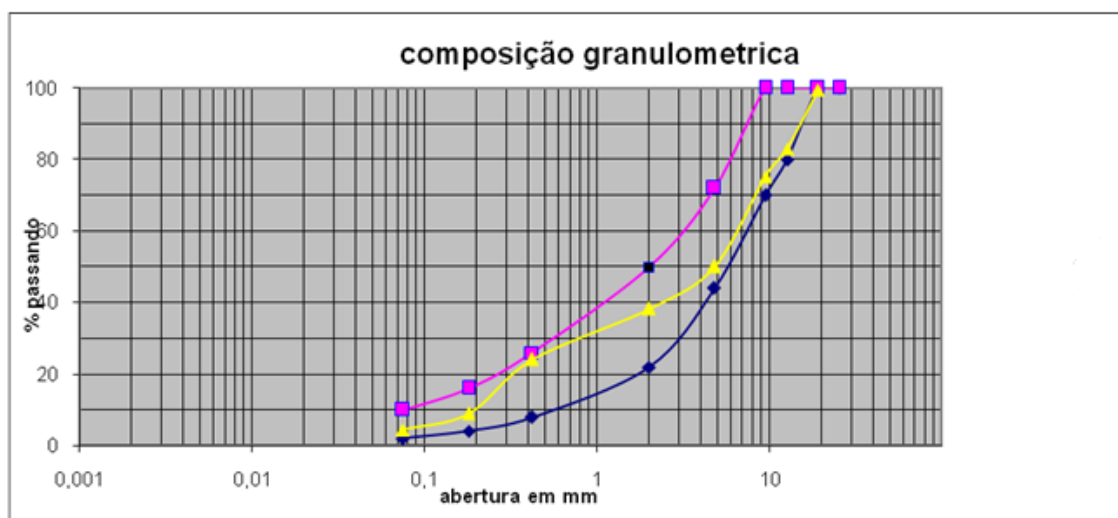


Gráfico 06 - Composição granulométrica dos agregados utilizados nesta pesquisa

#### 4.4.2 Escolha das temperaturas de mistura e compactação

As temperaturas encontradas foram para o CAP de 157°C, para os agregados de 170°C e para a mistura betuminosa de 146°C, conforme tabela 12 e gráfico 07.

| Viscosidade Saybolt Furol |           |
|---------------------------|-----------|
| temperatura (°C)          | tempo (s) |
| 120                       | 466       |
| 135                       | 193       |
| 158                       | 70        |
| 182                       | 30        |

Tabela 12 Relação temperatura x tempo no ensaio de viscosidade SF do CAP utilizado nesta pesquisa

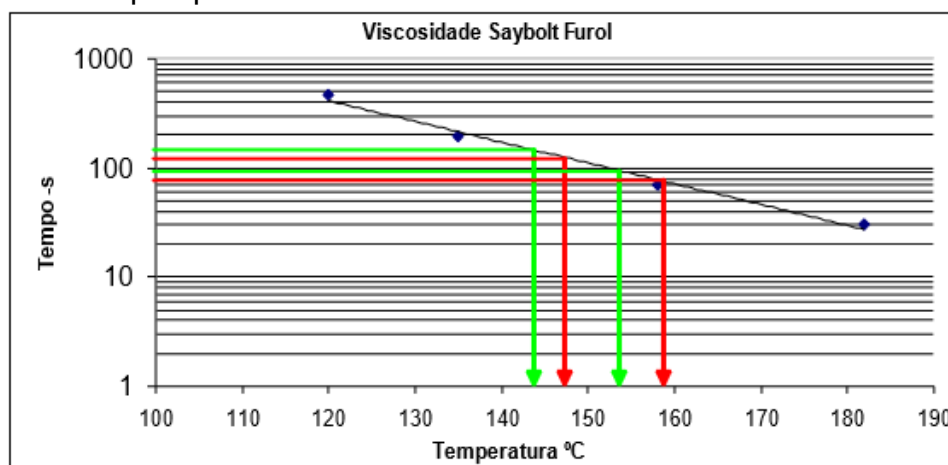


Gráfico 07 - Gráfico da relação temperatura x tempo

#### 4.4.3 Determinação da estabilidade e fluência

Os teores que mais se aproximaram dos valores estabelecidos por norma do DNIT quanto a volume de vazios, relação betume/vazios, Marshall e fluência, encontravam-se na faixa de 4,5 % a 5,5 % de teor de CAP. Fez-se três novas composições com 4,5 %, 5,0 % e 5,5 % de teor de CAP, para se determinar o teor ótimo das misturas com o traço determinado inicialmente.



Os gráficos 08 a 12 mostram os resultados obtidos com a utilização somente de agregado miúdo convencional para os teores de 4,5%, 5% e 5,5% de CAP para fazer a comparação com os resultados da mistura de RPI.

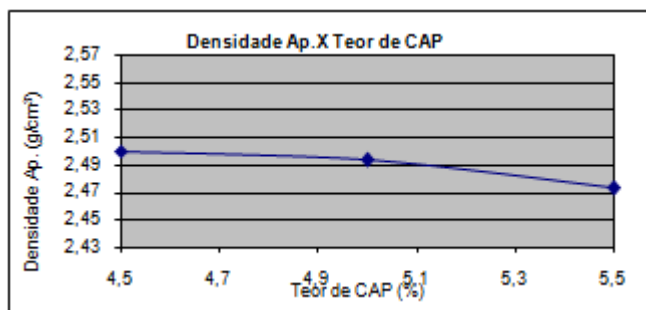


Gráfico 08 - Densidade aparente x Teor de CAP

De acordo com o método de ensaio DNER-ME 117 (1994), os resultados obtidos da densidade aparente de dois ou mais corpos de prova de uma mesma mistura não podem diferir de mais de 0,02, caso isso ocorra, o corpo de prova deve ser descartado, ela ainda diz que para a escolha do teor ótimo de material betuminoso os resultados satisfatórios correspondem a maior densidade aparente. Verificando essa condição o corpo de prova da mistura CAP 50-70 4,5%, foi descartado, sendo a média considerada dos corpos de prova que obtiveram resultado satisfatório em relação a norma.

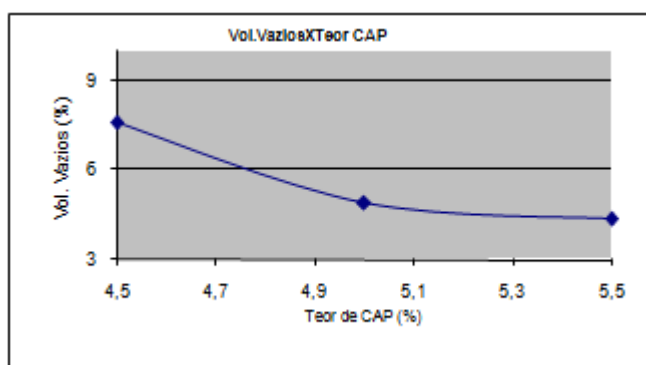


Gráfico 09 - Volume de Vazios x Teor de CAP

A especificação DNIT (2004) indica que a mistura deve ter de 3 à 5% de volume de vazios, no entanto a mistura com CAP 50-70 4,5%, apresenta um volume de vazios fora dos parâmetros indicado na especificação, sendo assim o revestimento não poderá ser executado com esses teores. Misturas com elevado %Vv podem levar a oxidação excessiva do ligante betuminoso reduzindo significativamente a vida útil do pavimento além de proporcionar

permeabilidade ao ar e água. Os restantes das misturas se enquadraram na especificação, então poderão compor um revestimento.

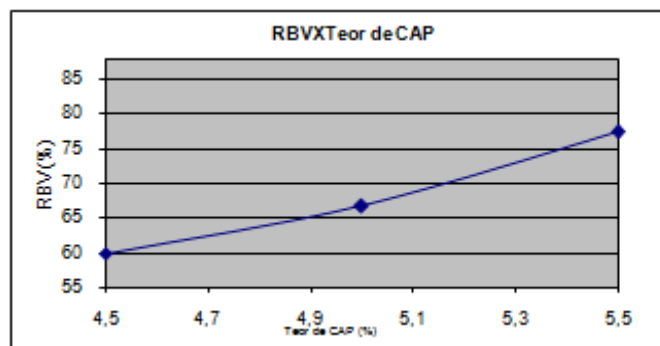


Gráfico 10 - RBV x Teor de CAP

Pode-se observar que a curva típica da porcentagem da relação betume-vazios representada pela Gráfico 10, tem um comportamento crescente com o aumento do teor de betume.

A especificação DNIT(2004) determina que a porcentagem da relação betume-vazios deve estar entre a faixa de 70 a 82%, sendo assim as misturas CAP 50-70 4,5%, CAP 50-70 5,0%, estão abaixo do especificado e a mistura CAP 50-70 5,5% apresentaram valores dentro da faixa de especificação, o que conclui-se que a mistura está com a porcentagem de Cimento Asfáltico de Petróleo(CAP) dentro da faixa.

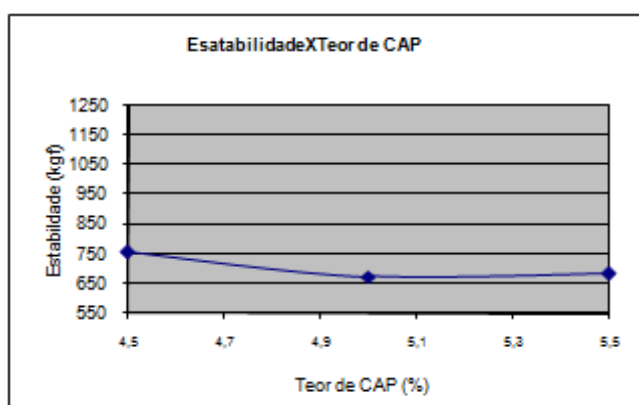


Gráfico 11 - Estabilidade x Teor de CAP

A especificação DNIT (2004) determina que a estabilidade mínima a ser considerada é de 800 Kgf, sendo assim todas as misturas não se enquadraram na recomendação da especificação. Entende-se estabilidade como sendo a grandeza que mede a resistência da massa asfáltica à aplicação da carga

determinando a carga máxima que a massa asfáltica pode suportar, onde o ensaio é feito por cisalhamento e não por compressão.

Observa-se na Gráfico 11 que a curva típica de estabilidade para mistura com CAP 50-70 mostrou-se que se torna decrescente com o aumento da porcentagem de ligante até 5,0%, e após crescente. Para o CAP 50-70 o valor máximo da estabilidade foi atingido com 4,5% de teor de ligante na mistura.

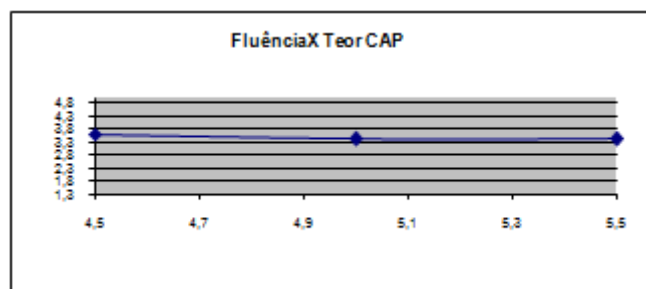


Gráfico 12 - Fluência x Teor de CAP

A especificação DNIT (2004) determina que a fluência deve estar entre a faixa de 3 a 5 centésimos de polegadas, onde todas as mistura CAP 50-70 atenderam a especificação. A fluência é a medida do quanto a massa asfáltica pode andar (esmagar, deformar) sob a ação cisalhante sem se romper. É a medida da elasticidade da massa. Se a massa asfáltica se deformar muito acarretará em esmagamento da mistura assim ocasionando ondulação na pista, é inconveniente também que a massa não se deforme onde sob ação de carregamento elevado sem a deformação ela pode trincar-se.

De acordo com a Gráfico 12 observa-se que nas misturas com CAP 50-70 conforme vai aumentando o teor do CAP a fluência diminui relativamente pouco, mostrando portanto a conservação das propriedades do pavimento.

Os gráficos 13 a 17 mostram os resultados obtidos com utilização de 15 % do RPI como agregado miúdo e 20% de areia, para os teores de 4,5 %, 5 % e 5,5% de CAP, utilizados para se determinar o teor ótimo de CAP.

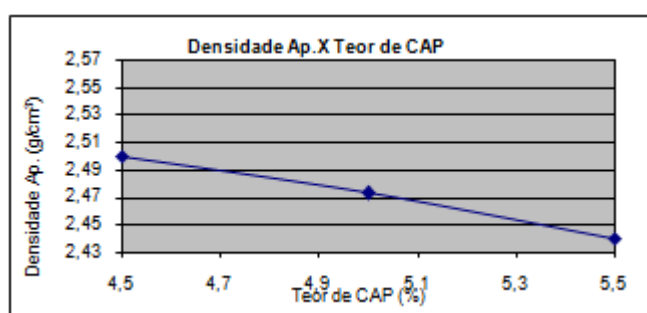


Gráfico 13 - Densidade aparente x Teor de CAP com RPI

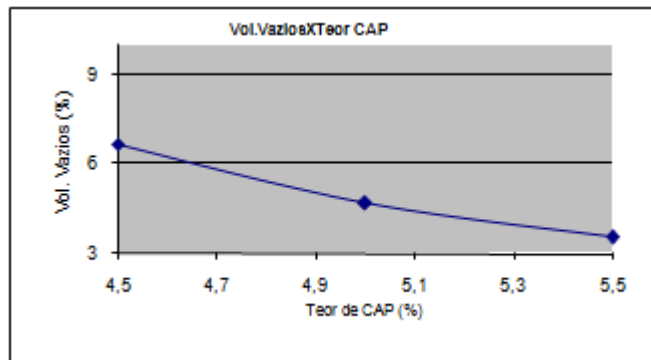


Gráfico 14 - Volume de Vazios x Teor de CAP com RPI

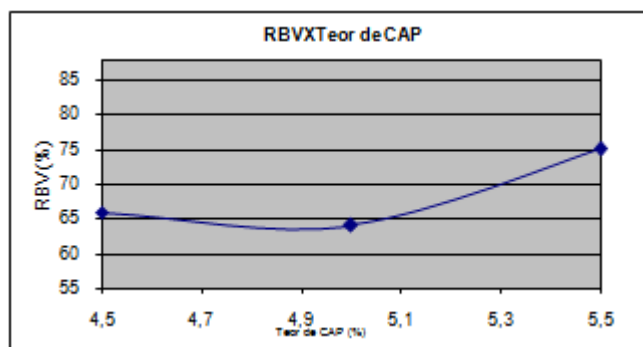


Gráfico 15 - RBV x Teor de CAP com RPI

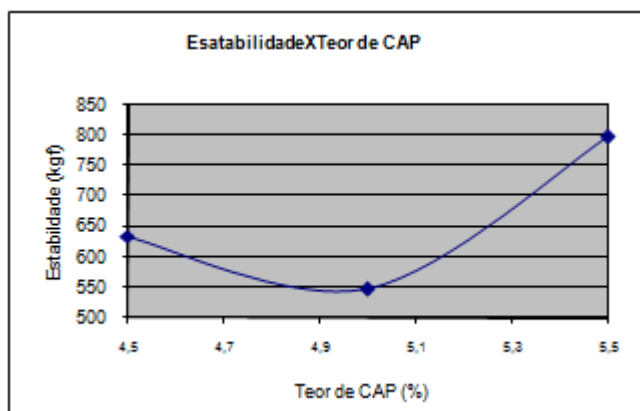


Gráfico 16 - Estabilidade x Teor de CAP com RPI

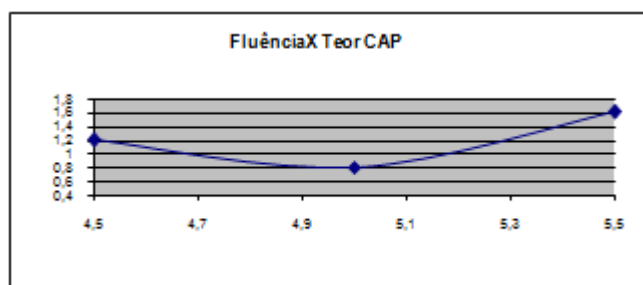


Gráfico 17 - Fluência x Teor de CAP com RPI

#### 4.4.4 Determinação do teor ótimo da mistura

Como as misturas CAP 50-70 4,5%, CAP 50-70 5,0%, apresentaram pelo menos mais de uma desconformidade em relação à especificação, conforme resultados dos gráficos 13 a 17, essas misturas foram descartadas, restando apenas a mistura CAP 50-70 5,5%, atribuindo a ela como sendo o Teor Ótimo de Ligante para misturas com CAP 50-70.

De acordo com o método de ensaio DNER-ME 117 (1994), os resultados obtidos da densidade aparente de dois ou mais corpos de prova de uma mesma mistura não podem diferir de mais de 0,02, caso isso ocorra, o corpo de prova deve ser descartado, ela ainda diz que para a escolha do teor ótimo de material betuminoso os resultados satisfatórios correspondem a maior densidade aparente. Conforme o gráfico 13 a mistura CAP 50-70 4,5% é a que possui a maior densidade aparente porém para os parâmetros de fluência, estabilidade, RBV e volume de vazios com relação ao teor de CAP com 15% de RPI esta mistura não atingiu os valores satisfatórios, portanto adotou-se o CAP 50-70 5,5% como teor de ótimo com densidade aparente de 2,44 b/cm<sup>3</sup>.

A relação Volume vazios e RBV x Teor de CAP com RPI para a mistura CAP 50-70 5,5% (gráfico 14 e gráfico 15 respectivamente), atingiram valores satisfatórios de acordo com a norma para ser definida como teor de ótimo da mistura com RPI.

A especificação determina que a estabilidade é medida pelo cisalhamento devido a cargas horizontais aplicadas no pavimento onde é determinada pela carga máxima que a massa asfáltica pode suportar, sendo assim a mistura com CAP 50-70 e 15% RPI teve um valor recomendado pela especificação comparado com misturas CAP 50-70 convencional (gráfico 16), podendo dizer que o pavimento constituído com mistura RPI tem uma melhor resistência comparada a misturas com CAP 50-70 convencional.

Quanto à fluência a especificação determina como sendo ideal a mistura que se enquadrar na média da especificação, nesse caso a mistura com o teor ótimo de ligante e RPI teve uma ligeira vantagem (gráfico17), comparado a

mistura com teor ótimo de ligante CAP 50-70 convencional, podendo concluir que na fluência a mistura com RPI tem melhores parâmetros comparado com a mistura CAP 50-70 convencional.

Adotou-se este traço para todas as misturas incluindo-se as que continham RPI na composição como agregado miúdo incorporado no conjunto.

| Composição Granulométrica dos Agregados - (Gran (B1)+Gran(B0)+Areia+Filer) |       |         |      |         |       |         |       |         |       |         |      |                      |                |
|--|-------|---------|------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|------|----------------------|----------------|
| Peneira  |       | Brita 1 |      | Brita 0 |       | Residuo |       | Areia   |       | Cimento |      | composição agregados | Faixa C (DNIT) |
| nº   | mm    | % pass. | 0,25 | % pass. | 0,35  | % pass. | 0,15  | % pass. | 0,2   | % pass. | 0,05 |                      |                |
| 1"   | 25,4  |         |      |         |       |         |       |         |       |         |      |                      |                |
| 3/4"   | 19,1  | 98,41   | 24,6 | 100     | 35    | 100     | 15    | 100     | 20    | 100     | 5    | 84,6025              | 100            |
| 1/2"   | 12,7  | 32,11   | 8,03 | 100     | 35    | 100     | 15    | 100     | 20    | 100     | 5    | 68                   | 80 - 100       |
| 3/8"   | 9,5   | 4,11    | 1,03 | 97,87   | 34,25 | 100     | 15    | 100     | 20    | 100     | 5    | 60,28                | 70 - 100       |
| 4  | 4,8   | 0,05    | 0,01 | 29,93   | 10,48 | 98,58   | 14,79 | 98,82   | 19,76 | 100     | 5    | 35,25                | 44 - 72        |
| 10   | 2     | 0,08    | 0,02 | 0,46    | 0,161 | 84,36   | 12,65 | 94,53   | 18,91 | 100     | 5    | 24,09                | 22 - 50        |
| 40   | 0,42  | 0,03    | 0,01 | 0,12    | 0,042 | 13,25   | 1,988 | 55,39   | 11,08 | 94,36   | 4,72 | 15,80                | 8 - 26         |
| 80   | 0,18  | 0,02    | 0,01 | 0,1     | 0,035 | 5,77    | 0,866 | 13,65   | 2,73  | 83,11   | 4,16 | 6,93                 | 4 - 16         |
| 200  | 0,075 | 0       | 0    | 0       | 0     | 0,24    | 0,036 | 1,44    | 0,288 | 78,96   | 3,95 | 4,24                 | 2 - 10         |

Tabela 13 Enquadramento da granulometria dos agregados conforme Norma DNIT 031/2004-ES. Utilização do RPI como agregado miúdo.

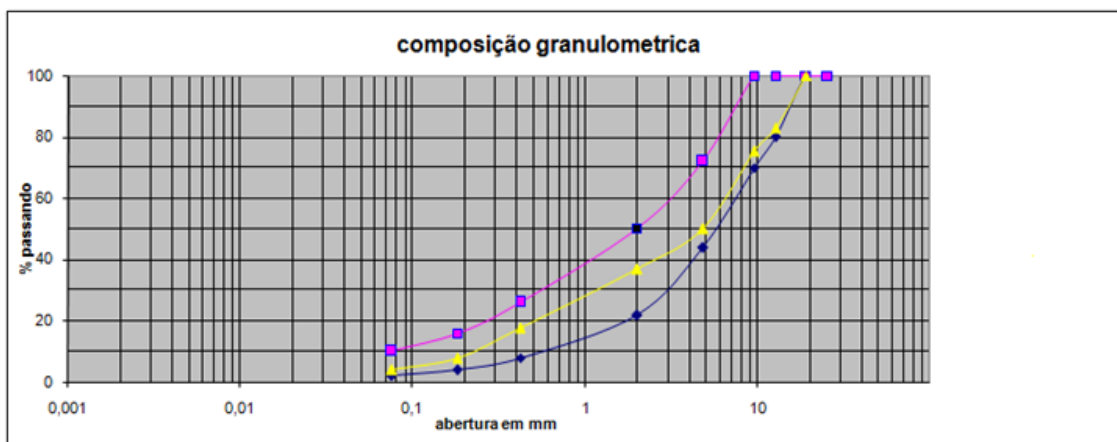


Gráfico 18 - Composição granulométrica dos agregados utilizados juntamente com o RPI

## 5 CONCLUSÕES

Após a análise dos dados gerados pelo ensaio Marshall realizado em cada mistura e a definição do teor ótimo de ligante para cada tipo de ligante, concluiu-se que as misturas com ligante modificado com adição de RPI

(Resíduo de Pintura Industrial) apresentaram resultados de estabilidade e fluência Marshall melhores, comparados aos das misturas realizadas com ligante convencional (CAP50-70).

Espera-se que os resultados obtidos possam contribuir para a utilização deste resíduo de pintura industrial, como matéria prima em aplicações mais nobres, minimizando impactos ambientais e aumentando a lucratividade da empresa que gerar este tipo de resíduo.

Os resultados mostraram que a substituição do agregado miúdo convencional por RPI, proporcionou ganho de resistência mecânica no CBUQ produzido, o que comprova tecnicamente o uso desse material em concreto asfáltico a quente.

## **6 REFERÊNCIAS**

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Método de ensaio. DNER ME 043/95. Misturas betuminosas a quente ensaio Marshall. 11 p. 1995.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Método de ensaio. DNER ME 083/98. Agregados análise granulométrica. 5 p. 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Método de ensaio. DNER ME 084/95. Agregado miúdo determinação da densidade real. 3 p. 1995.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Método de ensaio. DNER ME 085/94. Material finamente pulverizado determinação da massa específica real. 4 p. 1994.

DNER – ME 266/97 – Agregados – determinação do teor de materiais pulverulentos;

DNER – ME 120/97 – Coleta de amostras de agregados;

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Método de ensaio DNER ME 133/94. Misturas betuminosas determinação do módulo de resiliência. 5 p. 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Método de ensaio. DNER ME 194/98. Agregados determinação da massa específica de agregados miúdos por meio de frasco Chapman. 4 p. 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Método de ensaio. DNER ME 195/97. Agregados determinação da absorção e massa específica do agregado graúdo. 6p. 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Especificação de material. DNER EM 367/97. Material de enchimento para misturas betuminosas. 3p.1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Histórico PNV, 2013

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM D 2041.. A Standard test method for theoretical maximum specific gravity and density of bituminous paving mixtures, 2003.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM C 125. American Society for Testing and Materials. Standard Terminology relating to concrete and concrete aggregates, USA, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM D 5876. American Society for Testing and Materials. Standard specification for type I polymer modified asphalt cement for use in pavement construction, USA, 2000.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM D 5840. Standard specification for type II polymer modified asphalt cement for use in pavement construction, USA, 2000.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT NBR 6560 – Materiais betuminosos – Determinação da viscosidade absoluta, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT NBR 7219 – Agregados – determinação do teor de materiais pulverulentos, 2003.

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti; CERATTI, Jorge Augusto Pereira. Pavimento Asfáltico. Formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro, 2010.

SOARES, Jorge Barbosa. Pavimentação asfáltica. Formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro, 2010.

PONTE, Raul Serafim et al. Avaliação de diferentes metodologias para obtenção do Módulo de Resiliência de misturas asfálticas, 2014.

NEVES, José et al. Estudo Experimental Sobre o Desempenho de Misturas Betuminosas Temperadas. 2013.

TOFFOLO, Rodrigo Vicente Machado. Pavimentos sustentáveis. 2015.

BALBO, José Tadeu. Pavimentação asfáltica: materiais, projeto, e restauração. Oficina de Textos, 2015.

COELHO, V. Considerações sobre deformações permanente em camadas asfálticas de pavimentação. 12o Encontro de asfalto..p.179-194,1994.

MIRANDA, Henrique et al. Análise comparativa de métodos de ensaio para avaliação do escorrimento, em misturas betuminosas do tipo Stone Mastic Asphalt, segundo a norma europeia EN 12697-18. 2013.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE .Diretriz de Destinação de Resíduos Industriais, 2004.

GUEDES, Ana Luisa Pires Gouveia et al. Avaliação da geração de resíduos da construção civil e suas implicações em bairros populares. 2014.

LEITE, L. F. M. Misturas Mornas e Reciclagem parecem ser as Tecnologias mais importante para Garantir a Sustentabilidade. Revista Asfalto, p. 15, Nov./Dez. 2012.