

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE RECURSOS
DA AMAZÔNIA (PPG-ENGRAM)

VALIDAÇÃO TECNOLÓGICA DO CAROÇO DO FRUTO DO AÇAÍ COMO
MATERIAL ALTERNATIVO NA PAVIMENTAÇÃO DE BAIXO VOLUME
DE TRÁFEGO.

REGINALDO JOSÉ QUEIROZ DE SOUZA

MANAUS

2013

VALIDAÇÃO TECNOLÓGICA DO CAROÇO DO FRUTO DO AÇAÍ COMO
MATERIAL ALTERNATIVO NA PAVIMENTAÇÃO DE BAIXO VOLUME
DE TRÁFEGO.

REGINALDO JOSÉ QUEIROZ DE SOUZA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos da Amazônia da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Engenharia de Recursos da Amazônia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Consuelo Alves da Frota

MANAUS

2013

Ficha Catalográfica
(Catalogação realizada pela Biblioteca Central da UFAM)

S729v Souza, Reginaldo José Queiroz de
Validação tecnológica do caroço do fruto do açaí como material alternativo na pavimentação de baixo volume de tráfego / Reginaldo José Queiroz de Souza. - Manaus: UFAM, 2013.
108 f. : il. color.
Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos da Amazônia) — Universidade Federal do Amazonas.
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Consuelo Alves da Frota.

1. Pavimentos de asfalto 2. Açaí – Semente 3. Agregados (Materiais de construção) 4. Asfalto I. Frota, Consuelo Alves da (Orient.) II. Universidade Federal do Amazonas III. Título
CDU (1997): 625.8(043.3)

REGINALDO JOSÉ QUEIROZ DE SOUZA

VALIDAÇÃO TECNOLÓGICA DO CAROÇO DO FRUTO DO AÇAÍ COMO
MATERIAL ALTERNATIVO NA PAVIMENTAÇÃO DE BAIXO VOLUME
DE TRÁFEGO.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos da Amazônia da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Engenharia de Recursos da Amazônia.

Aprovada em 30 de Agosto de 2013 pela seguinte Banca Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Consuelo Alves da Frota
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. José Carlos Calado Sales Júnior
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. José Ferreira Junior
Universidade Federal do Amazonas

A Deus nosso criador,

A minha mãe Flora,

Aos meus amados irmãos Helenires e Reinaldo,

A minha amada esposa Andréa, dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela sua imensa fidelidade e por todas as vezes que ele se fez presente no transcorrer desta pesquisa para que a mesma fosse concluída.

À minha amada mãe, Flora, que é o exemplo de pessoa que sigo na vida. Pelas dificuldades que passamos juntos e pelos inúmeros momentos de alegrias do passado, presente e futuro.

Aos meus amados irmãos Helenires e Reinaldo. Por todas as orientações de minha irmã e pelo apoio logístico de meu irmão quando precisei virar noites no laboratório.

À minha amada esposa Andréa, que sempre esteve ao meu lado, nos piores e melhores momentos desta jornada.

À Professora Dra. Consuelo Alves da Frota, por ter sido muito mais que uma orientadora durante todo este tempo de convívio. Pelo trato gentil e amigável, pelas oportunidades que me fez vivenciar e pelos conselhos do dia a dia.

À Professora Dra. Rira Moura Fortes, pelos ensinamentos transmitidos em tão pouco contato, pelo exemplo de pessoa que é.

Ao Professor Dr. Hedinaldo Narciso Lima, por ter acreditado em meu potencial no momento mais difícil da minha vida acadêmica.

Aos meus amigos Cleudinei, Graça, Laury, Carmem, Diego, Eude, Daniela e Tayana.

À minha segunda Família Daiana, Lourdes, Pedro, Bárbara, Rayglon, André, Paula, Lídici, Marcos Raiker e Patrícia. Muito, muito obrigado Doutora.

Aos meus colegas, Maurício, Reinaldo, Zeca, Francivaldo (Chico) e Dona Meire.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos da Amazônia.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de iniciação científica. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa no mestrado. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), pela concessão de passagens aéreas aos colegas durante eventos nacionais. À Petrobras, por ter proporcionado tão bela estrutura de pesquisa para os alunos da UFAM, público interno e externo, que vai se perpetuar ao longo das décadas, mesmo após a nossa partida.

À INFRAERO, na pessoa do Sr. Adélcio Correa Guimarães Filho, pelo acolhimento, por ter me proporcionado a oportunidade de vivenciar uma rotina diária de um grande empreendimento e ter me apoiado na reta final da defesa desta Dissertação.

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM), berço da democracia Amazonense. Local que foi o meu dia-a-dia durante um longo período, agradeço.

RESUMO

Manaus situa-se sobre a formação Alter do Chão constituída principalmente por arenito, aqui denominado de arenito Manaus. Esta formação sedimentar traz enormes dificuldades na obtenção de materiais pétreos na referida região, além de não responder positivamente aos ensaios mecânicos encontra-se a aproximadamente 10 metros abaixo do solo, dificultando sua extração. Como solução tem-se a utilização dos recursos naturais usualmente empregados na execução dos revestimentos das malhas viárias regionais, o seixo rolado de rio, que além de impactar negativamente o ambiente no ato da extração, não é o material mais indicado a ser empregado em misturas asfálticas. Toda esta problemática para a obtenção do agregado graúdo impacta diretamente na qualidade do pavimento, sua ausência provoca a presença excessiva de deformações permanentes e trincas por fadiga na camada superficial dos pavimentos locais. Como possível solução ambiental e economicamente correta para este caso analisa-se aqui a utilização do caroço do fruto do Açaí (*Euterpe Precatória*) como agregado graúdo partícipe de misturas asfálticas na capital Amazonense. O açaí é um fruto largamente consumido pela população, integrante da tradição local, possui forma esférica, 10% de sua constituição é polpa, ficando 90% para o caroço, após a extração da polpa o mesmo constitui-se passivo ambiental. Sua participação na mistura asfáltica foi de forma parcial, não substituiu totalmente o agregado graúdo na mesma. Como agregado graúdo secundário usou-se o resíduo da construção e demolição (RCD), como agregado miúdo optou-se por usar uma areia residual comercializada em Manaus, o cimento *portland* CP II-Z-32 como material de enchimento e o CAP 50/70 fornecido pela Refinaria de Manaus. Os compósitos da mistura foram caracterizados e a análise mecânica foi realizada por meio da Resistência à Tração por Compressão Diametral e do Módulo de Resiliência. Os experimentos foram balizados pelas normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

(DNIT), da *American Society For Testing Materials* (ASTM) e “*American Association of States Highway Officials*” (AASHTO). Os resultados da inserção do caroço de açaí como agregado graúdo na mistura asfáltica se mostraram satisfatórios quando comparados a outros tipos de misturas utilizadas, sendo aplicáveis a vias de baixo volume de tráfego.

PALAVRAS-CHAVE: Mistura asfáltica, agregado graúdo, açaí, baixo volume de tráfego.

ABSTRACT

Manaus is located on the Alter do Chão formation consists primarily of sandstone, sandstone here called Manaus. This sedimentary formation has enormous difficulties obtaining stone material in that region, and does not respond positively to the mechanical tests is approximately 10 feet below ground, making it difficult to extract. As a solution has been the use of natural resources usually employed in running jackets knitwear regional road, the boulder river, which in addition to negatively impact the environment at the time of extraction, is not the best material to be used in mixtures asphalt. All this problematic for obtaining the coarse aggregate directly impacts the quality of the pavement, his absence causes the excessive presence of permanent deformation and fatigue cracking in the surface layer of pavement locations. How can environmentally and economically correct solution for this case is analyzed here using the core of the fruit of the Acai (Euterpe of request) as aggregate in asphalt mixtures participant Amazonian capital. The acai berry is a fruit widely consumed by the population, part of the local tradition, has a spherical shape, 10 % of its constitution is pulp, leaving 90 % for the core, after extraction of the pulp it constitutes environmental liability. Your participation in the asphalt mixture was partially, not totally replaced the coarse aggregate in it. As aggregate secondary used to the construction and demolition waste (CDW) as aggregate opted to use a residual sand sold in Manaus, portland cement CP II - Z - 32 as filler cap and 50/70 provided by Manaus Refinery. The composites were characterized mixing and mechanical analysis was performed by means of Tensile Strength by Diametral Compression Module and Resilience. The experiments were marked by the standards of the National Department of Transport Infrastructure (DNIT), American Society For Testing and Materials (ASTM) and American Association of States Highway Officials (AASHTO). The results of inserting the core of acai as aggregate in asphalt mixture proved satisfactory when compared to other types of mixtures used , applying the process of low traffic volume .

KEYWORDS: Asphalt mixture, coarse aggregate, acai, low traffic volume.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Mapa Geológico do Estado do Amazonas. | 25 |
| Figura 2 – Mapa Geotécnico a 10 m de profundidade (Bento e Frota, 1998)..... | 26 |
| Figura 3 – Painelas na Av. Grande Circular. | 27 |
| Figura 4 – Trincas longitudinais..... | 27 |
| Figura 5 – Escorregamento do revestimento (AAUQ)..... | 27 |
| Figura 6 – Remendo sobre envelhecimento da mistura asfáltica. | 27 |
| Figura 7 – Afundamento de trilha de roda com nível de deterioração alto. | 28 |
| Figura 8 – Trilha de rodas. | 28 |
| Figura 9 – RCD aplicado em revestimento asfáltico..... | 29 |
| Figura 10 – Execução do TSD com RCD. | 30 |
| Figura 11 – Peça estrutural sendo retirada..... | 30 |
| Figura 12 – Sub-base do estacionamento nível 83,10..... | 31 |
| Figura 13 – Sub-base do acesso viário nível 88,61. | 31 |
| Figura 14 – Vista dos açazeiros <i>Euterpe precatória</i> de Codajás localizada na Estrada Codajás-Anori..... | 34 |
| Figura 15 – Extração vegetal: fruto do açaí (tonelada). Fonte IBGE 2009..... | 35 |
| Figura 16 – Aparência das fibras..... | 37 |
| Figura 17 – Fissuras no corpo de prova..... | 37 |
| Figura 18 – Descarte do caroço de açaí no Município de Codajás-Am. | 37 |
| Figura 19 – Aspecto de Um Aterro para Disposição dos Resíduos de Exploração e Beneficiamento da Ardósia em Papagaios/MG..... | 40 |
| Figura 20 – Vista Geral do Primeiro trecho Experimental Realizado com PMF Contendo Agregados de Ardósia..... | 40 |
| Figura 21– Areia descartada de fundição – “Areia Verde”..... | 41 |
| Figura 22 – Obtenção do Teor ótimo de projeto. | 43 |
| Figura 23 – Cozimento das sementes de açaí..... | 44 |
| Figura 24 – Lavagem das sementes de açaí..... | 44 |
| Figura 25 – Inoculo de sementes em meio de cultura. | 45 |
| Figura 26– Aspecto de colônias de fungos e bactérias isoladas das sementes..... | 46 |
| Figura 27 – Aspecto de colônias de fungos e bactérias isoladas das sementes..... | 46 |
| Figura 28 – RCD “1” graúdo (Oliveira <i>et al</i> , 2010)..... | 48 |

| | |
|--|----|
| Figura 29 – RCD “0” graúdo (Oliveira <i>et al</i> , 2010). | 48 |
| Figura 30 – Carço de Açai..... | 48 |
| Figura 31– ASAC(Daiana <i>et al</i> , 2010). | 48 |
| Figura 32 – Seixo(Silva <i>et al</i> , 2010)..... | 49 |
| Figura 33– Areia Manaus(Bertoldo <i>et al</i> , 2010)..... | 49 |
| Figura 34 – Areia de RCD(Bertoldo <i>et al</i> , 2010). | 49 |
| Figura 35– Compactador mecânico Marshall..... | 52 |
| Figura 36 – Ensaio de Resistência à Tração (UTM-14). | 52 |
| Figura 37 – Deformações sob Carregamento Cíclico..... | 54 |
| Figura 38 – Deslocamentos totais, deslocamentos resilientes instantâneos e deslocamentos resilientes totais | 60 |
| Figura 39 – Regressões lineares: a) Regressões das porções de descarregamento do pulso de deslocamento; b) Deslocamento resiliente instantâneo; c) Deslocamento resiliente total | 64 |
| Figura 40 – Ensaio do Módulo de Resiliência (UTM) | 65 |
| Figura 41 – Carço do açai no laboratório de Solos do Grupo de Geotecnia da UFAM..... | 66 |
| Figura 42 – Carço do açai após o tratamento, 5 a 12mm. | 67 |
| Figura 43 – Microestruturas de Zygomycetes (400x). | 68 |
| Figura 44 – Microestruturas de Zygomycetes (400x). | 68 |
| Figura 45 – Carço após o ensaio de Abrasão “Los Angeles” | 71 |
| Figura 46– Ensaio de Adesividade. | 71 |
| Figura 47 – Granulometria dos materiais. (RCD – Oliveira <i>et al</i> , 2010), (Seixo – Silva <i>et al</i> , 2010), (ASAC – Cavalcante <i>et al</i> , 2010), (Areia Manaus e Areia de RCD – Bertoldo <i>et al</i> , 2010).. | 72 |
| Figura 48– Enquadramento da mistura com RCD (Oliveira <i>et al</i> , 2010)..... | 75 |
| Figura 49 – Enquadramento da mistura com açai | 76 |
| Figura 50 – Enquadramento da mistura com seixo rolado(Silva <i>et al</i> , 2010) | 77 |
| Figura 51 – Enquadramento da mistura com ASAC(Daiana <i>et al</i> , 2010) | 78 |
| Figura 52 – Enquadramento da mistura com Areia(Bertoldo <i>et al</i> , 2010) | 79 |
| Figura 53 – Enquadramento da mistura com Areia de RCD(Bertoldo <i>et al</i> , 2010). | 80 |
| Figura 54 – Determinação do teor ótimo RCD (Oliveira <i>et al</i> , 2010)..... | 81 |
| Figura 55 – Determinação do teor ótimo Açai. | 82 |
| Figura 56 – Determinação do teor ótimo Seixo (Silva <i>et al</i> , 2010)..... | 83 |
| Figura 57 – Determinação do teor ótimo ASAC (Cavalcante <i>et al</i> , 2010)..... | 83 |

| | |
|---|----|
| Figura 58 – Determinação do teor ótimo AAUQ (Bertoldo et al, 2010)..... | 84 |
| Figura 59 – Determinação do teor ótimo AAUQ+RCD (Bertoldo et al, 2010).. | 84 |
| Figura 60 – Material em massa de acordo com dosagem..... | 86 |
| Figura 61– Material em massa, 50% de caroço de açai..... | 86 |
| Figura 62 – Valores de RT encontrados (RCD - Oliveira <i>et al</i> , 2010), (AAUQ e AAUQ RCD - Bertoldo <i>et al</i> , 2010; Valença <i>et al</i> , 2011) (Seixo - Silva <i>et al</i> , 2010; Silva <i>et al</i> , 2011) (ASAC - Cavalcante <i>et al</i> , 2010; Cavalcante <i>et al</i> , 2011; Ferreira <i>et al</i> , 2011;)..... | 87 |
| Figura 63– Aspecto do CP após o ensaio de RT. | 88 |
| Figura 64 – Módulo de Resiliência obtido para as misturas. (ASAC - Cavalcante <i>et al</i> , 2011); (Cavalcante <i>et al</i> , 2011); (Frota <i>et al</i> , 2011). | 89 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Especificação Brasileira para cimento asfáltico de petróleo (CAP 50/70 - ANP). | 47 |
| Tabela 2 – Dosagem das misturas asfálticas | 51 |
| Tabela 3 – Características do Cimento Afáltico de Petróleo, CAP 50/70..... | 69 |
| Tabela 4 – Características dos agregados graúdos. | 70 |
| Tabela 5 – Características da areia e do material de enchimento..... | 72 |
| Tabela 6 – Misturas Asfálticas estudadas..... | 73 |
| Tabela 7 – Dosagem estipulada. | 74 |
| Tabela 8 – Dosagem da mistura 2. | 75 |
| Tabela 9 – Dosagem da mistura 3. | 76 |
| Tabela 10 – Dosagem da mistura 4 | 77 |
| Tabela 11 – Dosagem da mistura 5. | 78 |
| Tabela 12 – Dosagem da mistura 6. | 79 |
| Tabela 13 – Parâmetros volumétricos das Misturas Asfálticas. | 85 |
| Tabela 14 – Valores de MR para as Misturas Asfálticas analisadas. | 90 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO – *American Association of State Highway and Transportation Officials*

AAUQ – Areia Asfalto Usinado a Quente

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AM – Amazonas

ANP – Agência Nacional de Petróleo e Gás Natural e Biocombustíveis

ASAC – Agregado Sinterizado de Argila Calcilada

ASTM – *American Society of Testing and Materials*

BDA - Batata-Dextrose-Ágar

CA – Concreto Asfáltico

CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo

CP – Cimento portland

CPs – Corpos de prova

CPRM – Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

DMM – Densidade Máxima Medida

DMT – Densidade Máxima Teórica

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

f_{ck} - resistência característica do concreto

GEOTEC – Grupo de Geotecnia

Gmb = Massa Específica Aparente

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LVDT – do inglês *Linear Variable Differential Transducers*

MR – Módulo de Resiliência

Ms – massa seca do corpo-de-prova compactado

Msss – massa de corpo-de-prova compactado na condição de superfície saturada seca, que corresponde ao corpo-de-prova com os poros superficiais saturados, sendo eliminado o excesso de água

Msss_{sub} – massa de corpo-de-prova compactado na condição de superfície saturada seca e posteriormente submerso em água

NBR – Norma Brasileira Registrada

PIB – Produto Interno Bruto

RBV – Relação Betume Vazios

RCD – Resíduos de Construções e Demolições

REMAN – Refinaria de Manaus/ Refinaria Isaac Sabbá

RL-1C – Ruptura Lenta, baixo resíduo, catiônica

RT – Resistência à Tração

RTFO – do inglês *Rolling Thin Film Oven*

RTFOT – do inglês *Rolling thin film oven test*

RTFOT – do inglês *Rolling Thin Film Oven Test*

SAD - South of American Datum

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SUFRAMA – Superintendência da Zona Franca de Manaus

TSD – Tratamento Superficial Duplo

UFAM – Universidade Federal do Amazonas

UFPA – Universidade Federal do Pará

UTM – Universal Technical Machine

VAM – Vazios do Agregado Mineral

VCB – Vazios Com Betume

Vv – Volume de Vazios

ZFM – Zona Franca de Manaus

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 20 |
| 1.1 Objetivos..... | 22 |
| 1.1.1 Objetivo Geral | 22 |
| 1.1.2 Objetivos Específicos | 22 |
| 1.2 Organização do Trabalho..... | 23 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 24 |
| 2.1 Características Geológicas..... | 24 |
| 2.2 Pavimentação Regional | 26 |
| 2.3 Resíduos da Construção e Demolição (RCD) | 28 |
| 2.4 Fruto da Palmeira do açai (<i>Euterpe Precatória</i>) | 32 |
| 2.5 Fruto do açai como base para pesquisas | 36 |
| 2.6 Materiais Alternativos na Pavimentação | 39 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS | 42 |
| 3.1 Tratamento do caroço do fruto de Açai | 44 |
| 3.2 Isolamento de Microorganismos de sementes de Açai (<i>Euterpe Precatoria</i>)..... | 45 |
| 3.3 Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP 50/70)..... | 46 |
| 3.3.1 Caracterização do ligante..... | 46 |
| 3.4 Agregados e material de enchimento..... | 47 |
| 3.5 Misturas Asfálticas..... | 50 |
| 3.5.1 Misturas utilizadas..... | 51 |
| 3.6 Ensaio Mecânicos..... | 51 |
| 3.6.1 Resistência à Tração por Compressão Diametral (RT)..... | 52 |
| 3.6.2 Módulo de resiliência (MR)..... | 53 |

| | |
|--|----|
| 3.6.2.1 Métodos para Obtenção do Módulo de Resiliência..... | 57 |
| 3.6.2.2 Método ASTM D-4123..... | 57 |
| 3.6.2.3 Método AASHTO TP-31-96..... | 61 |
| 3.6.2.4 Método Utilizado..... | 64 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 66 |
| 4.1 Tratamento do caroço do fruto de Açaí..... | 66 |
| 4.2 Isolamento de Microorganismos de sementes de Açaí (<i>Euterpe Precatoria</i>)..... | 67 |
| 4.3 Caracterização dos compósitos das misturas asfálticas..... | 68 |
| 4.3.1 Ligante Asfáltico..... | 68 |
| 4.3.2 Agregados e material de enchimento..... | 70 |
| 4.4 Misturas Asfálticas..... | 73 |
| 4.4.1 Dosagens..... | 74 |
| 4.4.1.1 Misturas tipo Concreto Asfáltico..... | 74 |
| 4.4.1.2 Misturas tipo Areia Asfalto Usinado a Quente (AAUQ)..... | 78 |
| 4.4.2 Parâmetros Volumétricos..... | 80 |
| 4.5 Ensaio Mecânicos..... | 86 |
| 4.5.1 Resistência à Tração por Compressão Diametral..... | 86 |
| 4.5.2 Módulo de Resiliência..... | 89 |
| 5 CONCLUSÕES..... | 92 |
| 5.1 Sugestões para trabalhos futuros..... | 93 |
| REFERÊNCIAS | 94 |

1 INTRODUÇÃO

Em um contexto geral, a maioria das vias urbanas de uma cidade é requerida por baixo volumes de tráfego, são pavimentações na periferia que geralmente demandam baixo investimento e proporcionam baixa manutenção. Segundo Muench *et al* (2005), “Esses pavimentos são, frequentemente, de vias rurais ou residenciais urbanas, gerenciados por agências com recursos extremamente limitados e assim tem que empregar o melhor custo efetivo, ter práticas de manutenção e de reabilitação eficientes para manter o nível de serventia.” Desta forma, pode-se considerar que há uma grande quantidade de vias de baixo volume de tráfego dentro de certa localidade.

Manaus, capital do estado do Amazonas, depara-se com expressivo número de patologias nos pavimentos asfálticos, pouco tempo após sua execução ou recapeamento. Tal fato decorre, dentre alguns fatores, como a não participação do agregado pétreo, seja no revestimento asfáltico ou nas subcamadas, motivado pela escassez desse material na região (Cavalcante, 2010).

Por outro lado, a construção civil enquadra-se como uma das atividades que mais produz resíduos não só em Manaus como também nos grandes centros urbanos. No Brasil os estudos indicam algo em torno de 65,8 milhões de toneladas por ano de resíduos de construções e demolições nas grandes cidades. Este número aponta uma contribuição acima de 50% de todos os resíduos sólidos urbanos gerados (Melo, 2009). Tal fato indica o Resíduo da Construção e Demolição (RCD), como provável solução técnica, econômica e ambiental para a região Amazonense (Oliveira 2010).

Outro fator a ser analisado é que a região amazônica apresenta como vocação natural o cultivo e o extrativismo vegetal. Muitas destas plantas são frutíferas e seus frutos pouco conhecidos, ou mesmo desconhecidos, mas apresentam-se com potencial econômico importante tendo em vista sua utilização na cultura local e na indústria de produtos

alimentícios. Dentre estas frutas destaca-se o açaí, fruto do açazeiro (*Euterpe Precatória*), palmeira típica da Amazônia. Muito apreciado pelo excelente sabor de sua polpa, o açaí é uma das frutas amazônicas atualmente mais conhecidas fora da região, e com perspectivas muito interessantes quanto à conquista de novos mercados. A polpa do açaí corresponde a apenas 10% do fruto, 90 % do fruto é descartado, caroço, como ração para animais, artesanato ou vai para o lixo causando um passivo ambiental. Dados de 2011 indicam que a produção de açaí no Amazonas superou 89 mil toneladas, ficando atrás apenas do estado do Pará com 109 mil toneladas, gerando uma receita Regional de R\$ 102 milhões. Os maiores cultivadores de açaí do Estado do Amazonas são: Codajás, Anori, Coari, Itacoatiara, Parintins e Manaquiri(IBGE, 2011).

Em face às dificuldades enfrentadas para a construção de revestimentos duradouros que compõem o sistema viário de Manaus, o presente trabalho explora alternativas à substituição parcial de agregados granulares utilizados nesta cidade (Seixo), (Silva, 2010) por meio do emprego de agregados alternativos (RCD), (Oliveira 2010) e agregados naturais (Açaí) que também são materiais alternativos. Os materiais empregados neste trabalho foram submetidos aos métodos preconizados pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT), Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), “*American Society for Testing and Materials*” (ASTM) e “*American Association of States Highway Officials*” (AASHTO).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Estudar a utilização do caroço de açaí como agregado alternativo na pavimentação de baixo volume de tráfego, substituindo parte do agregado graúdo (Brita “0”) da mistura asfáltica pelo caroço de açaí.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar a caracterização física do caroço de açaí.
- Realizar estudo biológico acerca da presença de fungos e bactérias no caroço de açaí.
- Caracterizar as propriedades físicas dos participantes das misturas.
- Caracterizar o Cimento Asfáltico de Petróleo, CAP 50/70.
- Confeccionar uma mistura asfáltica tipo Concreto Asfáltico (CA) envolvendo o RCD tipo Brita “1” (Faixa Granulométrica: 12,5 a 22mm) e o caroço de açaí tipo Brita “0” (Faixa Granulométrica: 5 a 12mm) para balizamento dos estudos da dissertação.
- Confeccionar outras 3 (três) misturas asfálticas tipo CA (RCD, Seixo e ASAC).
- Confeccionar 2(duas) misturas tipo AAUQ (Areia e Areia de RCD).
- Enquadrar as dosagens tipo CA na Faixa C da Norma DNIT 031/2006-ES.
- Enquadrar as dosagens tipo Areia Asfalto Usinado a Quente (AAUQ) na Norma DNIT 032/2005-ES.
- Caracterizar mecanicamente as misturas asfálticas por meio do ensaio de resistência à tração por compressão diametral (RT) e pelo ensaio de módulo de resiliência (MR) adotando os procedimentos especificados na ASTM D-4123/95 e AASHTO TP-31/96.
- Buscar condições mecânicas para a utilização do caroço do fruto do açaí na pavimentação em vias de baixo volume de tráfego.

1.2 Organização do Trabalho

O trabalho atual está estruturado nos seguintes capítulos:

O Capítulo 1 aborda o tema da Dissertação e seus objetivos, geral e específico.

O Capítulo 2 apresenta a Revisão Bibliográfica dos assuntos elencados no presente trabalho, como a problemática da pavimentação em nossa região e os materiais utilizados em sua execução. Aborda também o fruto do açazeiro, o açáí, largamente produzido e consumido na região, assim como a possibilidade de utilização do seu caroço como material alternativo na pavimentação.

O Capítulo 3 aborda os Materiais e Métodos, caracterização da mistura asfáltica, caracterização do caroço do açáí, dosagem e os ensaios mecânicos durante a fase experimental.

O Capítulo 4 aborda os resultados alcançados ao longo da pesquisa.

O Capítulo 5 aborda as conclusões finais e as sugestões de continuidade do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Estado do Amazonas constitui-se na mais extensa unidade federativa do Brasil, abrangendo uma área de 1.559.161,682 km², com sessenta e dois municípios, totalizando 3.483.985 habitantes (IBGE, 2010). Globalmente conhecido por seu potencial turístico, suscitado pela biodiversidade da floresta amazônica, se destaca por deter o maior bioma da Amazônia. A capital do mencionado Estado, também desponta como centro financeiro e econômico da região norte do país, creditado, principalmente pela Zona Franca de Manaus (ZFM), que promove a integração produtiva e social dessa região, cujas indústrias que compõem o Polo Industrial de Manaus (PIM) movimentam expressivamente a economia do presente Estado, sendo o principal contribuinte para o Município de Manaus deter o sexto maior Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil (IBGE, 2011).

2.1 Características Geológicas

O mais importante centro financeiro do Estado amazonense e da Região Norte, Manaus, bem como expressivo número de seus municípios, localizam-se em uma faixa de formação geológica que não contempla materiais rochosos em superfície. Na Figura 1 observam-se no sentido Andes/Foz do rio Amazonas, três grandes formações geológicas. A primeira denomina-se Formação Solimões, pertence à era Cenozoica, período Neógeno, época Plio-ceno, com 5,3 milhões de anos, constituída por: arenito, argilito e linhito. A segunda denomina-se de Formação Iça, pertence à era Cenozoica, período Neógeno, época Pleistoceno, com 1,8 milhões de anos, constituída por: arenito, argilito, siltito e turfa. A terceira trata-se da região onde está localizada Manaus, denomina-se de Formação Alter do Chão, pertence à era Mesozoica, período Cretáceo, com 65,5 milhões de anos, constituída por:

quartzo arenito, arenito arcoseano, arenito caulínico e caulim. Nota-se a predominância na região de material constituído por arenito, rocha sedimentar, aqui chamado de Arenito Manaus (Albuquerque, 1922).

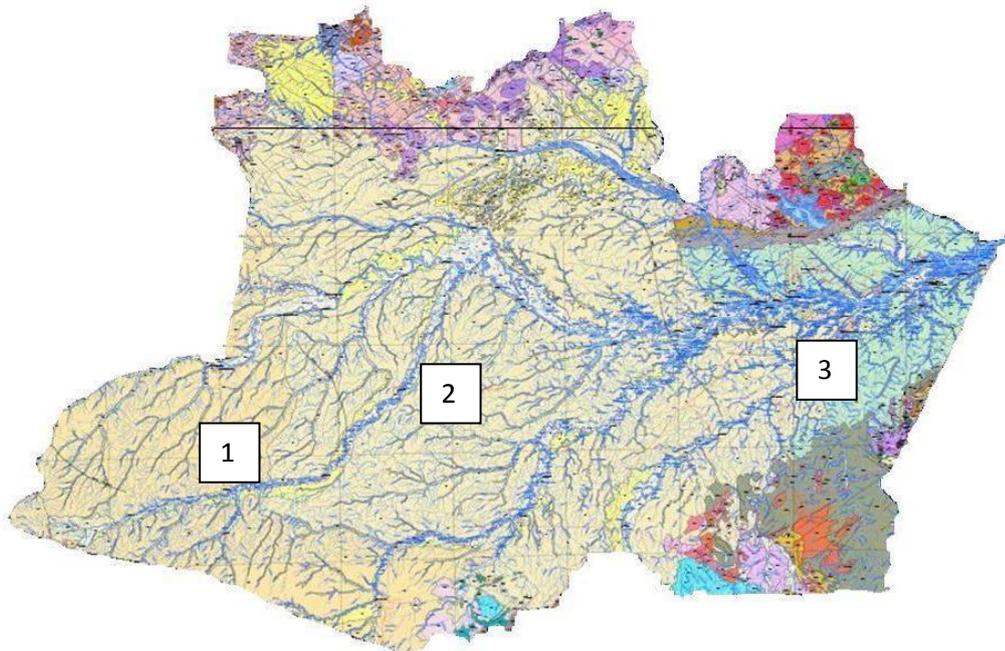


Figura 1 – Mapa Geológico do Estado do Amazonas.

FONTE: Base Cartográfica digital obtida pela CPRM, a partir da base cartográfica integrada digital do Brasil ao milionésimo elaborado pelo IBGE. Atualização realizada através dos dados disponíveis no site do IBGE em 2005. Projeção Cartográfica Policônica, Sistema Geodésico de Referência, South of American Datum - SAD 69, Meridiano central 54°, falso norte 0° e falso leste 0°.

Estudos do Grupo de Geotecnia da Universidade Federal do Amazonas (GEOTEC) para Manaus apontam que o Arenito Manaus encontra-se a profundidades superiores a 10 metros e o subsolo mostra predominância de solo fino na camada superficial e material arenoso aumentado com a profundidade. Dessa forma, inviabilizando econômica e ambientalmente a exploração de material pétreo para as obras civis, em conformidade com o Mapa Geotécnico da Figura 2 (Bento e Frota, 1998).

Outra opção para tentar sanar o problema da pavimentação em Manaus trata-se de adquirir o material granular de jazidas — brita originária das chamadas rochas duras, explorado de regiões como os municípios de Presidente Figueiredo e Barcelos, localizadas a distância de 150 km e 255 km de Manaus, respectivamente, tornado a sua utilização onerosa devido ao transporte. Segundo Soares (2010) duas fontes de seixo extraído de regiões longínquas predominam no Amazonas, o Rio Novo Aripuanã, cujo período de transporte até a capital ocorre em 10 dias (ida/volta), sendo realizado por balsas; e o Rio Japurá, afluente do Rio Solimões, onde o deslocamento tem duração de 16 dias (ida/volta), encarecendo ainda mais o agregado.



Figura 3 – Painéis na Av. Grande Circular.



Figura 4 – Trincas longitudinais.



Figura 5 – Escorregamento do revestimento (AAUQ).



Figura 6 – Remendo sobre envelhecimento da mistura asfáltica.



Figura 7. Afundamento de trilha de roda com nível de deterioração alto.



Figura 8. Trilha de rodas.

2.3 Resíduos da Construção e Demolição

Os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) constituem-se em um vasto material a ser analisado em pesquisas, principalmente, objetivando propiciar não apenas alternativa à questão técnica (material granular para emprego na pavimentação) como também ao problema ambiental da disposição final desses resíduos produzidos pela indústria da construção civil (RIBAS, 2008). Como exemplo tem-se os trabalhos publicados pelo Grupo de Geotecnia da UFAM (Frota *et al.*, 2003a; Frota *et al.*, 2003b; Frota *et al.*, 2004a; Frota *et al.*, 2004b; Frota *et al.*, 2005a; Frota *et al.*, 2006; Frota *et al.*, 2007a; Melo, 2010; Bertoldo *et al.*, 2010; Oliveira *et al.*, 2010 e Silva *et al.*, 2011). Ressalta-se aqui, que o material partícipe deste trabalho é oriundo da britagem de peças de concreto armado, com fck igual ou superior a 25 MPa.

Exemplo de utilização do RCD na composição de mistura asfáltica encontra-se no revestimento da denominada “Bola do Produtor”, localizada na zona leste da capital Amazonense. Trata-se de um pavimento em uma rotatória de grande solicitação de tráfego, confeccionado em 2008, próximo a feiras, terminal de ônibus e empresas, possuindo uma seção tipo da seguinte forma:

- 1) Concreto Asfáltico (CA) – Material granular de RCD.
- 2) Base – Solo-cimento com teor de 4%, espessura de 20cm.

Até o presente momento a via está em perfeitas condições de uso, não apresentando patologias graves, como trilhas de rodas, afundamentos ou trincas, conforme Figura 9.



Figura 9 – RCD aplicado em revestimento asfáltico.

Outro exemplo de utilização de material reciclável na pavimentação está na execução de Tratamento Superficial Duplo no estacionamento de veículos da Superintendência Regional Norte Nordeste da Infraero, Figura 10, tendo como matéria prima brita “1” e brita “0” provenientes de concreto estrutural fck 45MPa.



Figura 10 – Execução do TSD com RCD.

Atualmente, as peças estruturais, 45 MPa, provenientes da demolição da obra de Ampliação e Reforma do Terminal de Passageiros 1 do Aeroporto Internacional de Manaus Eduardo Gomes, estão sendo retiradas por meio de disco de corte diamantado e posteriormente britadas, tipo bica corrida, Figura 11. O referido material está sendo utilizado como sub-base do novo Estacionamento nível 83,10 e do novo acesso viário ao Aeroporto, nível 88,61, conforme Figuras 12 e 13.



Figura 11 – Peça estrutural sendo retirada.



Figura 12 – Sub-base do Estacionamento nível 83,10.



Figura 13 – Sub-base do acesso viário nível 88,61.

Este procedimento fez com que aproximadamente 4.000 m³ de concreto armado deixassem de serem lançados ao meio ambiente, esta atividade proporcionou economia para o empreendimento, não adquirindo brita “4” no mercado local, desta forma, comprovando as qualidades técnica, econômica e ambiental do Resíduo da Construção e Demolição (RCD).

2.4 Fruto da palmeira do açai (*Euterpe Precatória*)

Verifica-se que a exploração sustentável da floresta amazônica oferece uma gama de possibilidades na obtenção de novos materiais que podem ser empregados como alternativas à construção civil. Dentre as disponíveis nesse bioma amazônico, têm-se as palmeiras, que se apresentam em muitos municípios, como principal atividade econômica, fato ocorrente com os açazeiros, palmeira tipicamente amazônica, de cujos frutos se obtém um líquido popularmente denominado vinho, nome que designa a polpa do açai diluída em água, tradicional na cultura dos povos da referida região (Ribeiro, 2008). O suco do açai (vinho) vem sendo consumido no Brasil (Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte, etc.) e internacionalmente (Estados Unidos, Holanda, etc.) pelo seu alto valor energético, proporcionando alta rentabilidade às regiões produtoras. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2011), a região Norte contempla os 20 maiores municípios produtores de açai, 12 se encontram no Pará e oito no Amazonas. Essas cidades concentram 71,4% da produção nacional. O Amazonas registrou em 2011 um aumento de 2.648% na produção do referido fruto, proporcionando R\$ 102 milhões de reais em receita para as 89 mil toneladas colhidas, ficando atrás apenas do Pará que obteve 109 mil toneladas. Na Amazônia, o açazeiro inicia a produção de frutos num período de quatro a cinco anos de idade, e com seis a sete anos brota em torno de quatro a oito cachos em diferentes estágios de desenvolvimento/estipe/ano, com peso médio de 2,5 kg/cacho, portanto, em torno de dez a vinte toneladas de frutos por hectare/ano (Ribeiro, 2008).

Existem dois tipos de açai na região norte brasileira, um proveniente do açazeiro *Euterpe precatória*, popularmente conhecido como açai-do-amazonas, açai-da-mata, açai-de-terra-firme ou açai solteiro, e outro da origem *Euterpe oleracea*, conhecido como açai-do-pará

ou açáí-de-touceira. O primeiro ocorre principalmente no estado do Amazonas, enquanto este último incide espontaneamente nos Estados do Pará, Amapá, Maranhão e leste do Amazonas (Cunha, 2007). Ambas as plantações produzem curtimento de couro, adubo orgânico, álcool e carburante. Seu estipe (caule) possibilita a extração de palmito e deste pode-se produzir pickles, salada, recheio, cremes e até ração animal. As palmas são destinadas principalmente pelos ribeirinhos para a cobertura de casas, construção de paredes, cestos, tapetes, chapéus, esteiras e celulose. Igualmente do caule obtém-se material para construção de casas, pontes, cercas, currais, lenha, celulose e isolamento elétrico. O cacho pode ser adaptado como vassoura e as raízes servem para produção de vermífugos. Porém, as sementes (caroços), ainda, constituem-se passivo ambiental, conquanto seja matéria-prima para artesanato, tal uso não é suficiente para absorver o expressivo número de tais materiais. Segundo (Ribeiro, 2008) a exploração do fruto do Tipo A, comercializado no Pará, suscita 83% de semente e 17% de polpa e película. No Amazonas o açáí, segundo informações obtidas com a Cooperativa Mista de Produtores de Açáí e Frutas Regionais de Codajás, gera uma quantidade em massa de sementes e polpa igual a 89% e 11% para o Tipo B e 92% e 8% para o Tipo C, respectivamente.

Dessa forma, a presente pesquisa focalizou seus estudos na espécie de açáí típica do Amazonas *Euterpe precatória*, Figura 14, cujas sementes podem ser promissoras para a utilização na pavimentação como uma alternativa técnica — agregado graúdo, e ambiental — um destino ambientalmente correto para os caroços (passivo ambiental).



Figura 14 – Vista dos açazeiros (*Euterpe precatória*) de Codajás localizada na Estrada Codajás-Anori.

No Amazonas diversos municípios cultivam o açazeiro, e segundo assinala o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) o Município de Codajás destacou-se como principal produtor em 2011. Visando subsidiar o quantitativo e a logística disponível para o escoamento dessa produção, além da proximidade com a capital amazonense, o estudo concentrou-se no Município de Codajás que recebe incentivos da SUFRAMA e cooperação técnica do SEBRAE.

O aludido Município do Estado do Amazonas localiza-se a margem esquerda do Rio Solimões nas coordenadas geográficas 3°50'13,88"S e 62°03'27,57"O, com uma população de 23.119 habitantes ocupando uma área de 18.712 km² (IBGE, 2010) e situa-se no primeiro lugar na produção de açaí no Amazonas, conforme se observa na Figura 15. É denominada a terra do açaí, por representar a principal fonte de renda para o citado Município, mostrando três etapas de comercialização: o produtor, o atravessador e a associação, para um mercado local, regional e internacional. O consumo local absorve 40% da produção, tendo uma relação direta produtor-comprador, enquanto a comercialização regional realiza-se pelos atravessadores — comerciantes que comprem o fruto dos produtores e revendem para a capital e outros locais, a revenda nacional e internacional é de exclusividade da Cooperativa do referido município. Igualmente segundo a mencionada Cooperativa: a) foi gerada em 2010

uma quantidade de 110 toneladas, contabilizando-se tão somente três meses de exploração na época da safra (primeiro semestre do ano), sendo excluída a comercialização do açaí sem beneficiamento (sem a extração da polpa), o que suscitaria quantidades superiores de sementes sem destino adequado; e b) o representante dos cento e três (103) cooperados dos produtores de açaí confirmou a capacidade da Cooperativa em produzir pelo menos 360 (toneladas/ano) nos próximos anos, visto que tal quantitativo foi alcançado no ano de 2008, uma vez que os produtores terão os seis meses de safra para explorar o fruto e a indústria é capaz de produzir 4,0 (toneladas/dia). Portanto, têm-se ótimas perspectivas para a produção das sementes — matéria-prima alternativa como agregado graúdo visando à pavimentação.

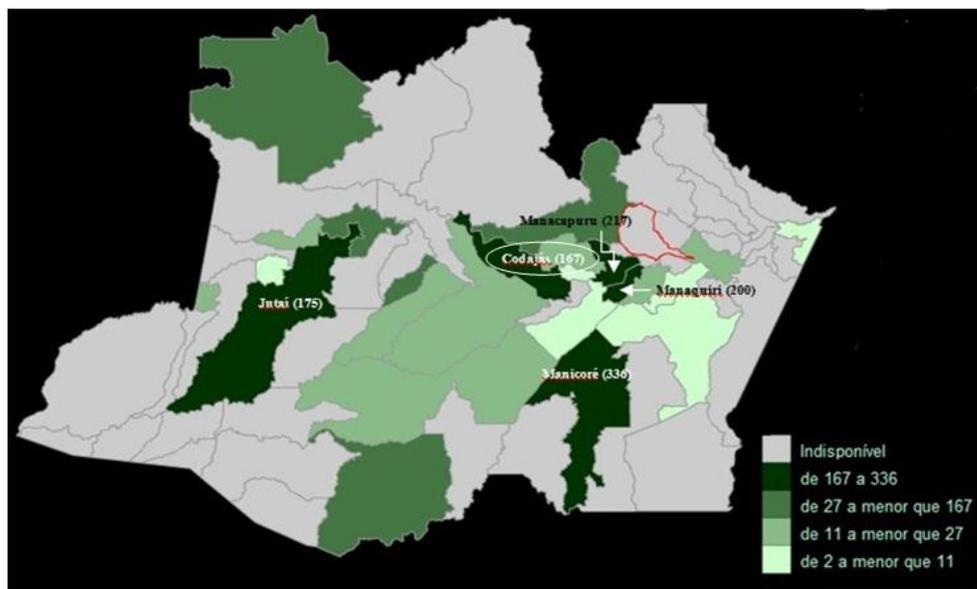


Figura 15 – Extração vegetal: fruto do açaí (tonelada). Fonte: IBGE, 2009.

Deve aqui ser também ressaltado que a fábrica de Codajás possui grande interesse em comercializar as sementes do fruto do açaí, 90% é descartado em sítios dos próprios cooperados, destacando que em 2011 foram aproximadamente 100 toneladas de caroços rejeitados (passivo ambiental), e os 10% restantes aproveitados como parte de ração para porcos, devido à amêndoa que esta semente possui em seu interior. A aludida cidade poderá

fornecer, as possíveis matérias-primas para as misturas asfálticas, sem com isso onerar o valor desse agregado, pois utilizará o mesmo veículo (balsa) que transporta a polpa do açaí até Manaus e Manacapuru — Município que recebe e comercializa para o Rio de Janeiro, Estados Unidos e Holanda. Dessa forma, comprovando-se que o rejeito do fruto do açaí possui propriedades técnicas que o qualifica como agregado graúdo aplicável à pavimentação, podendo não somente contribuir para Manaus e Codajás, bem como aos municípios vizinhos, que sofrem com os mesmos problemas nos pavimentos locais.

Igualmente, contribuir na minimização da liberação do carbono para a atmosfera, porquanto este elemento químico presente nesses caroços ficará confinado no interior da camada asfáltica, permanecendo também confinado o carbono nele contido, evitando-se que retorne à atmosfera em forma de CO₂.

2.5 Fruto do açaí como base para pesquisas

Pesquisando a literatura sobre trabalhos relativos ao fruto do açaizeiro, encontram-se trabalhos que citam o referido assunto na construção civil, passando pela medicina até produtos farmacêuticos.

Junior (2007) analisou as fibras do caroço de açaí como reforço de compósitos fibrocimentícios. Uma taxa de 0,3% desta fibra não apresenta perda significativa de resistência à compressão. Contudo, as fibras incrementam de forma satisfatória a resistência à tração (aproximadamente 13% em média). Na Figura 16 visualizam-se as fibras no caroço do açaí. Na Figura 17 observa-se uma fissura e três comportamentos distintos das fibras, sejam elas, rompimento, arrancamento e o seu descolamento, respectivamente.



Figura 16 – Aparência das fibras, Junior (2007).

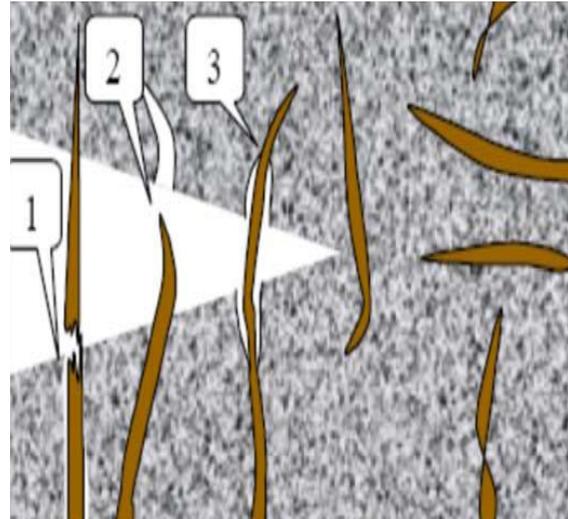


Figura 17. Fissura no corpo de prova, Junior (2007).

Brito (2008), analisou a viabilidade de resíduos urbanos, entre eles o caroço do açaí, Figura 18, como fonte alternativa de matéria orgânica para a compostagem com o propósito de transformá-lo em fertilizante orgânico. O processo de compostagem traz consigo benefícios econômicos e redução do volume dos materiais lançados ao meio ambiente, sendo este processo um dos mais antigos para a reciclagem desses produtos. Ao final do processo de compostagem, os diferentes compostos gerados são analisados em relação as suas propriedades físicas e químicas. Brito (2008) afirma que os compostos gerados apresentaram boa qualidade e bom potencial para ser utilizado como substrato.



Figura 18 – Descarte do caroço de açaí no Município de Codajás-AM.

Luczynski (2008) analisou o do caroço do fruto do açaí como matéria principal na produção de energia alternativa na cidade de Belém-PA. Para a validação técnica da pesquisa foi realizada com esta biomassa os seguintes ensaios relativos às propriedades termogravimétricas das sementes: teor de umidade, teor de voláteis, teor de cinzas, teor de carbono fixo e o poder calorífico superior. As sementes foram conduzidas até a usina de queima da biomassa na UFPA, onde se constatou que as mesmas são economicamente viáveis para suprir toda a demanda de energia da referida Universidade, ocorrendo uma economia no valor final do consumo de energia elétrica com relação ao fornecimento da Concessionária local.

Alves (2011) realizou estudos acerca dos rejeitos do beneficiamento do açaí para a obtenção de aroma de coco por meio de fungos filamentosos *Trichoderma Harzianum*. Os resultados apontaram um bom crescimento do fungo durante o processo de fermentação, indicando que o passivo ambiental (caroço do açaí) pode ser empregado na produção de aroma de coco, além de agregar valor ao resíduo. O caroço do açaí é moído, seco e usado como suporte. É realizada a caracterização físico-química e a granulometria do suporte. Para o sistema fermentador, em condições assépticas, oito gramas do resíduo foram enriquecidas com 15 mL de solução nutritiva e inóculo contendo 4×10^6 esporos/ mL, e mantido a 28 °C, sem agitação por até treze dias.

Junior (2010) analisou as biomassas residuais de frutos amazônicos, entre eles o caroço do açaí, na produção de carvão ativado que pode ser usado no tratamento de efluentes industriais. Os passivos ambientais foram pirolizadas a 800 °C durante 3 horas em mufla e ativadas quimicamente com solução de $ZnCl_2$ a 10%.

O resultado do trabalho apresentou número de iodo de 622 mg/g, indicando elevada microporosidade. O poder calorífico variou entre 29,15 e 30,53 MJ/g.

Jesus *et al* (2012) viabilizaram uma pomada cicatrizante à base do extrato de açaí. Diversos trabalhos apontaram que o açaí caracteriza-se por uma elevada ação antioxidante tanto *in vitro* quanto *in vivo* (Lichtenthaler *et al* 2005) por ser rico em polifenóis (Rodrigues *et al* 2006). Os resultados apontaram que após a mesma ser submetida aos ensaios de controle de qualidade, indicou resultados satisfatórios, apresentando aspecto adequado, cor e odor característicos.

Ferreira *et al* (2010) com o objetivo de contribuir para o fortalecimento da cadeia produtiva da *Euterpe Precatória*, realizaram estudos sobre a germinação de suas sementes assim como as principais dificuldades para que esta atividade aconteça. Segundo o autor a referida espécie é de fácil propagação, tendo alta germinabilidade em curto espaço de tempo. A faixa de temperatura ótima para o sucesso do trabalho está próxima de 25°C (câmara de germinação) e no ambiente (27°C).

2.6 Materiais Alternativos na Pavimentação

A literatura nos mostra diversos tipos de materiais que são comumente envolvidos por pesquisas com o objetivo de aplicá-los na pavimentação. Alguns deles já resultantes de processos industriais, rejeitos industriais e naturais, como veremos a seguir.

Rodrigues (2011) estudou a viabilidade técnica e econômica da utilização de resíduo industrial de ardósia, Figuras 19 e 20, em mistura asfáltica do tipo pré-misturado a frio (PMF).

O referido material mostrou-se adequado para vias de baixo volume de tráfego, suscitando boas características técnicas, diminuição do passivo ambiental e reduzindo o custo do m³ em comparação com o traço usual. O traço padrão apresentava 8,50% de emulsão asfáltica tipo RL-1C (Ruptura Lenta, baixo resíduo, catiônica), 1343 MPa de módulo de resiliência e 0,39 MPa de Resistência à Tração. Valores baixos se comparados com misturas asfálticas tipo Concreto Asfáltico (CA), mas aceitáveis para pré-misturados a frio (PMF).



Figura 19 – Aspecto de Um Aterro para Disposição dos Resíduos de Exploração e Beneficiamento da Ardósia em Papagaios/MG. Fonte: Rodrigues (2011).



Figura 20 – Vista Geral do Primeiro trecho Experimental Realizado com PMF Contendo Agregados de Ardósia. Fonte: Rodrigues (2011).

Costa (2008) estudou o reaproveitamento da areia de fundição de ferro descartada em misturas asfálticas, Figura 21. A Areia Descarta de Fundição (ADF), apresentou ganhos ambientais e mecânicos quando aplicadas na pavimentação, segundo o autor. Os valores de Resistência à Tração para as misturas tipo CA elaboradas estiveram entre 0,92 e 1,84 MPa, para misturas tipo PMF entre 0,29 e 0,54 MPa. Já para o Módulo de Resiliência, os valores para CA estiveram entre 3216 e 7351 MPa, para misturas tipo PMF entre 2409 e 3758 MPa.



Figura 21 – Areia descartada de fundição – “Areia Verde”
Fonte: BINA (2002), Apud Costa (2008).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O dimensionamento correto do revestimento asfáltico aliado ao uso adequado dos materiais constituintes da mistura executada traz consigo durabilidade e conforto para os usuários das vias pavimentadas.

Quando não há um correto dimensionamento da camada asfáltica aliada com a escolha errada ou baixa capacidade técnica dos materiais constituintes da mistura nos deparamos com problemas sérios de desempenho do trecho.

Como foco principal, analisa-se a utilização do caroço do fruto do açaí como agregado graúdo no revestimento da pavimentação em misturas tipo concreto asfáltico (CA). Visando confrontar os resultados foram confeccionadas outras 03 (três) misturas tipo CA, sejam elas, seixo (Silva *et al*, 2010), Agregado Sinterizado de Argila Calcinada-ASAC (Cavalcante *et al*, 2010) e Resíduos da Construção e Demolição-RCD(Oliveira *et al*, 2010) e 02 (duas) misturas tipo Areia Asfalto Usinado a Quente (AAUQ) com areia tradicional e areia de RCD (Bertoldo *et al*, 2010).

Para melhor entendimento do processo de confecção das misturas asfálticas, elaborou-se um organograma, Figura 22, como padrão a ser seguido por todas as dosagens neste trabalho em busca do Teor ótimo de projeto.

Tal organograma mostra claramente o minucioso procedimento a que foram submetidos todos os agregados participantes das misturas asfálticas do presente trabalho, seja da escolha dos mesmos na região até os ensaios mecânicos realizados com os CPs no Laboratório de Misturas Asfálticas do Grupo de Geotecnia da UFAM.

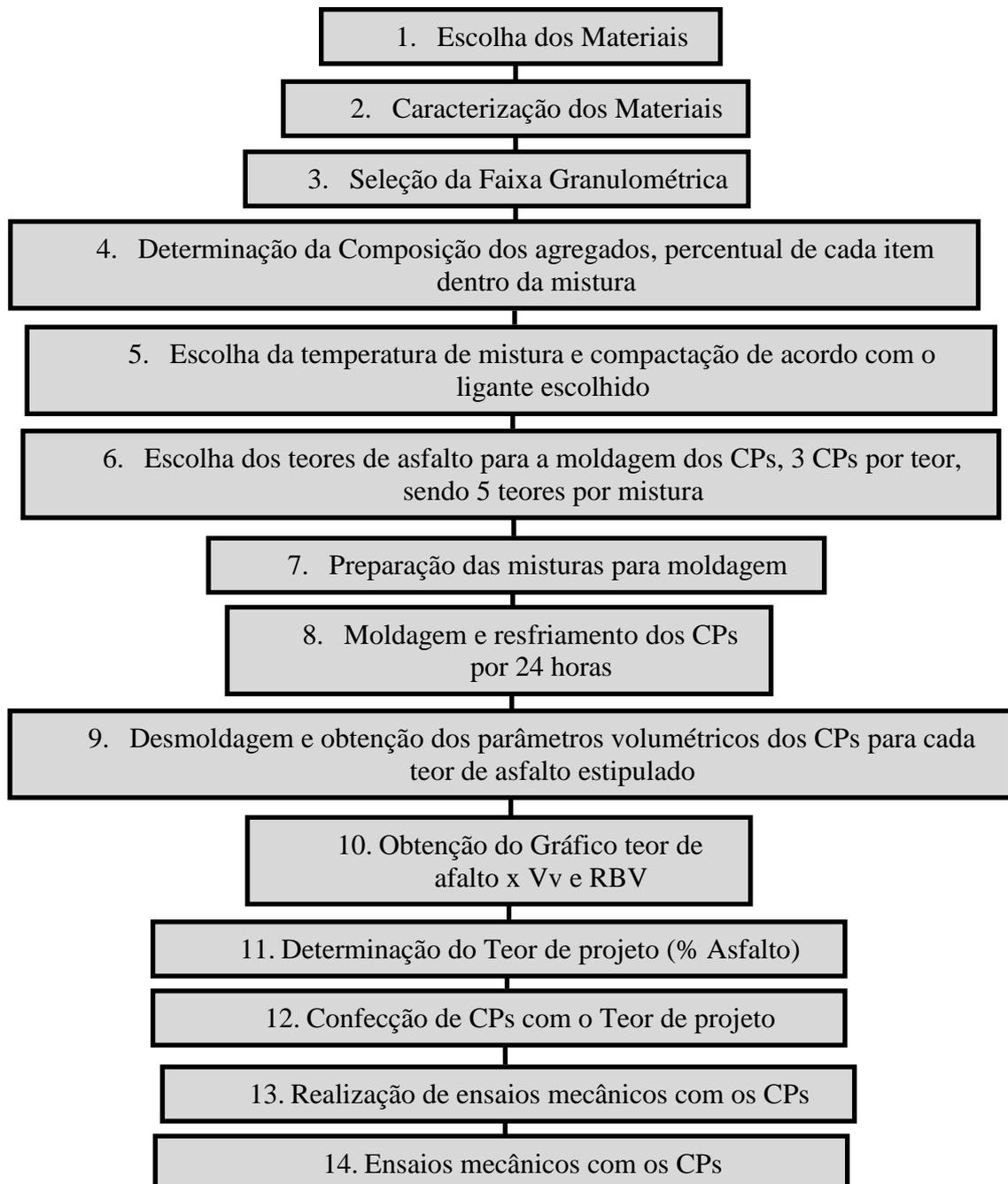


Figura 22 – Obtenção do Teor ótimo de projeto.

3.1 Tratamento do caroço do fruto de Açaí

Ao término do processo de extração da polpa, os caroços foram transportados para o Laboratório de Solos do Grupo de Geotecnia da UFAM, e em seguida realizada uma triagem inicial para retirar o excesso de material orgânico. Posteriormente, são imersas em um recipiente metálico com água e fervidas por um período de 30 minutos, como mostra a Figura 23, tal processo teve como objetivo impedir uma possível germinação do fruto, segundo Ferreira *et al* (2010), as sementes desta espécie de palmeira são altamente germinativas. Na próxima etapa do tratamento, o material é lavado e peneirado, Figura 24, esse procedimento se faz necessário para separar o caroço de possíveis materiais graúdos que ainda possam estar atrelados ao caroço de açaí, assim como eliminar o excesso de fibra.



Figura 23 – Cozimento das sementes de açaí.



Figura 24 – Lavagem das sementes de açaí.

Posteriormente o agregado (caroço de açaí), foi seco ao ar por um período aproximado de uma semana e está pronto para ser caracterizado.

3.2 Isolamentos de Micro-organismos de sementes de Açaí (*Euterpe Precatoria*)

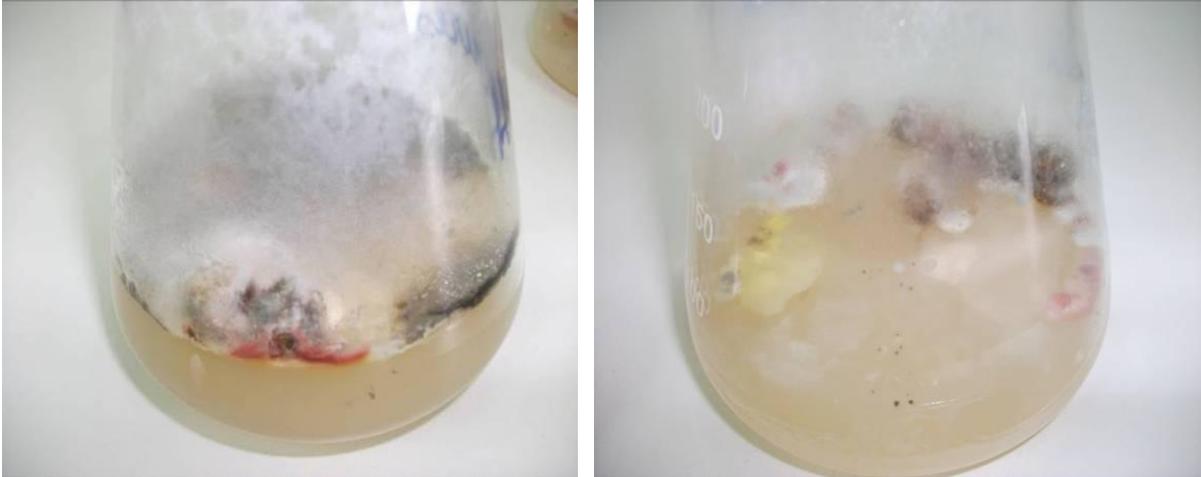
Por se tratar de material orgânico, faz-se necessário a utilização de ensaios biológicos no material em estudo para a completa detecção e elucidação de possíveis agentes nocivos em atividade durante a pesquisa.

O trabalho foi realizado no laboratório de Biologia do Instituto de Natureza e Cultura INC/UFAM, Benjamin Constant. As sementes passaram por processo de inoculação em Erlenmeyers de 250 ml contendo 100 ml de meio de cultura BDA (batata-dextrose-ágar) e incubadas durante uma semana, em temperatura ambiente (28°C), observando-se assim o crescimento de colônias de fungos e bactérias. O experimento foi ensaiado em duplicata, de acordo com as Figuras 25 a 27.

As colônias provenientes das sementes de açaí foram repicadas para meio de cultura BDA e após o seu crescimento retirados fragmentos e confeccionadas lâminas para observação das microestruturas em microscópio.



Figura 25 – Inoculo de sementes em meio de cultura.



Figuras 26 e 27 – Aspecto de colônias de fungos e bactérias isoladas das sementes.

3.3 Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP 50/70)

O ligante é um dos produtos mais importantes na pavimentação, suas principais características são a grande coesão que proporciona entre os agregados, sua flexibilidade na utilização, funciona como impermeabilizante e possui uma boa durabilidade e resistência ao ataque da maioria dos ácidos, álcalis e sais. Nesta pesquisa utilizou-se o cimento asfáltico de petróleo (CAP 50/70) fornecido pela Refinaria Isaac Sabbá (REMAN), cujo petróleo processado é proveniente da mistura dos petróleos Campo Fazenda Alegre (ES) e Ceará-mar.

3.3.1 Caracterização do ligante

Caracterizou-se o ligante, CAP 50/70, de acordo com o requerido pela Agência Nacional de Petróleo (ANP), no Laboratório de Desenvolvimento de Produtos da Refinaria Isaac Sabba (REMAN), seguindo os procedimentos da *American Society for Testing and Materials* – ASTM, por meio dos seguintes ensaios: Penetração, Ponto de Amolecimento,

Solubilidade em Tricloroetileno, Ponto de Fulgor, Ductilidade a 25°C, Densidade Relativa a 25°C, Viscosidade Saybolt Furol e Viscosidade Brookfield (135 °C, 150 °C e 177 °C), Envelhecimento por meio de Estufa de Efeito de Calor e Ar de Filme Fino Rotativo (RTFOT), Variação de Massa, Penetração Retida, Variação no Ponto de Amolecimento e Ductilidade, ensaios realizados após o envelhecimento na estufa RTFOT, conforme Tabela 1.

| Características | Limites | Unidade | Método |
|--|----------|---------|-------------------|
| Penetração (100g, 5s, 25°C) | 50 a 70 | 0,1 mm | NBR 6576 / D5 |
| Ponto de amolecimento, min. | 46 | °C | NBR 6560 / D36 |
| Viscosidade Saybolt-Furol a 135°C, min. | 141 | s | NBR 14950 / E102 |
| Viscosidade Brookfield a 135°C, min. | 274 | cP | NBR 15184 / D4402 |
| Viscosidade Saybolt Furol a 150°C, min. | 50 | s | NBR 14950 / E102 |
| Viscosidade Brookfield a 150°C, min. | 112 | cP | NBR 15184 / D4402 |
| Viscosidade Saybolt Furol a 177°C, min. | 30 a 150 | s | NBR 14950 / E102 |
| Viscosidade Brookfield a 177°C, min. | 57 a 285 | cP | NBR 15184 / D4402 |
| Ductilidade a 25°C, min. | 60 | cm | NBR 6293 / D113 |
| Ponto de fulgor, min. | 235 | °C | NBR 11341 / D92 |
| Solubilidade em tricloroetileno, min. | 99,5 | % massa | NBR 14855 / D2042 |
| RTFOT variação em % massa, max. | 0,5 | % massa | D2872 |
| RTFOT aumento do ponto de Amolecimento, max. | 8 | °C | NBR 6560 / D36 |
| RTFOT penetração retida, min. | 55 | % | NBR 6576 / D5 |
| Densidade relativa a 20/4C | ---- | N/A | D70 |

Tabela 1 – Especificação Brasileira para cimento asfáltico de petróleo (CAP 50/70- ANP).

3.4 Agregados e material de enchimento

O RCD do presente trabalho foi fornecido pela empresa CONCRECICLE, sendo originário de estruturas de concreto armado. É realizada uma triagem nos blocos que chegam à empresa, ela tem como objetivo separar materiais que devem ser aproveitados na britagem daqueles que serão rejeitados (vendidos a terceiros) do material que foi reciclado, não foram utilizados entulhos na pesquisa. Em seguida, realiza-se também um controle de qualidade do material, antes da britagem verificando-se a procedência do mesmo, ou seja, se é originado de concreto armado, de cerâmica ou de qualquer outro tipo de resíduo. Esta atividade tem como

objetivo britar materiais homogêneos, impedindo assim que aconteçam misturas de materiais com alta e materiais com baixa resistência (f_{ck} superiores a 25 MPa e f_{ck} inferiores a 25MPa respectivamente).

Na composição das misturas asfálticas foram empregados os materiais constantes das Figuras 28 a 34: seixo rolado de rio (Silva *et al*, 2010) e ASAC (Cavalcante *et al*, 2010) como agregados graúdos e uma areia comercializada em Manaus de granulometria fina, uma areia grossa oriunda da britagem do RCD como agregados miúdos (Oliveira *et al*, 2010) e o cimento portland (CP II-Z-32) como material de enchimento (Bertoldo *et al*, 2010).



Figura 28 – RCD “1” graúdo (Oliveira *et al*, 2010).



Figura 29 – RCD “0” graúdo (Oliveira *et al*, 2010).



Figura 30 – Carozo de Açai.



Figura 31 – ASAC (Cavalcante *et al*, 2010).

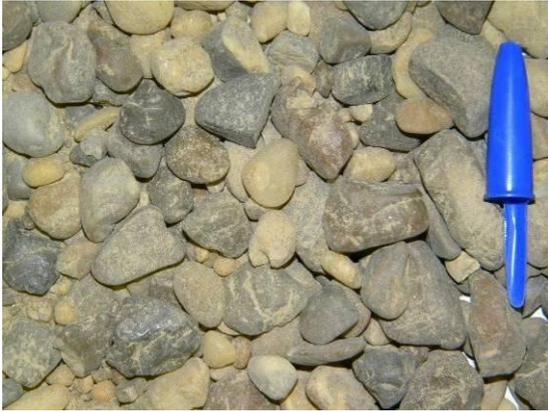


Figura 32 – Seixo rolado (Silva *et al*, 2010).



Figura 33 - Areia Manaus (Oliveira *et al*, 2010).



Figura 34 – Areia de RCD (Oliveira *et al*, 2010).

Ao se preparar uma mistura asfáltica realizam-se ensaios de caracterização de todos os seus materiais constituintes, visando atender as características técnicas exigidas em normas específicas e se possível que se enquadre em parâmetros econômicos propícios para a região. No presente estudo os agregados foram caracterizados segundo: a) *American Society for Testing and Materials – ASTM* pelos ensaios de densidade relativa (efetiva, real e aparente), absorção, massa específica (solta e compactada) e equivalente de areia; b) Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT pelos experimentos granulometria, abrasão *Los Angeles*, índice de forma e adesividade ao ligante betuminoso. Para o *filler* (Material de enchimento), foram encontradas a composição granulométrica e massa específica real seguindo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Visando o

enquadramento da mistura na Faixa C — camada de rolamento referente à Norma DNIT 031/2006-ES e a seleção dos agregados, realizou-se também o ensaio de granulometria por peneiramento seguindo o procedimento descrito na Norma DNER-ME 083/98. Importante salientar que as misturas ora mencionadas, foram dimensionadas utilizando-se a Densidade Máxima Medida (DMM), constantes na ASTM 2041 (2000) ou AASHTO T 209 (1999). Não foi utilizado neste projeto a Densidade Máxima Teórica (DMT), ABNT NBR 12891.

3.5 Misturas Asfálticas

Após o ensaio de granulometria foi calculada a dosagem mineral de cada mistura. Tal quantidade de material é usada sempre se buscando o enquadramento nas faixas estipuladas pelo DNIT. Com esse percentual adotou-se um valor em massa que represente a mistura do material, para então seguir ao preparo da dosagem.

Na mistura os partícipes são separados em um recipiente e aquecidos até a temperatura de 170°C. Em outro recipiente é aquecido o ligante até uma temperatura de 160°C, logo após ambos são misturados até obter-se uma pasta homogênea.

3.5.1 Misturas utilizadas

Devido à falta de misturas asfálticas na literatura que contenha o caroço do fruto do açaí como agregado graúdo, confeccionou-se sete misturas entre Concreto Asfáltico e Areia Asfalto com materiais usuais da região e materiais alternativos para a comparação dos resultados. A determinação da mistura mineral e o teor de projeto seguiram o preconizado nas referências, conforme Tabela 2.

| Mistura | Tipo | Agregado graúdo | Agregado miúdo | Material de enchimento | CAP | Referência |
|---------|------|-----------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------|--------------------------------|
| 1 | CA | RCD "1" e "0" | | | | Oliveira <i>et al</i> , 2010 |
| 2 | CA | RCD "1" e Açai | Areia | | | - |
| 3 | CA | Seixo | Manaus | | | Silva <i>et al</i> , 2010 |
| 4 | CA | ASAC | | Cimento portland (CP II-Z-32) | CAP 50/70 | Cavalcante <i>et al</i> , 2010 |
| 5 | AAUQ | - | | | | Bertoldo <i>et al</i> , 2010 |
| 6 | AAUQ | - | Areia Manaus e Areia de RCD | | | Bertoldo <i>et al</i> , 2010 |

Tabela 2. Dosagem das misturas asfálticas utilizadas.

Na mistura 2, objeto desta pesquisa, visualiza-se a retirada de parte do agregado graúdo e a inserção do material alternativo, o caroço de açai.

3.6 Ensaio Mecânicos

Ao término das etapas da granulometria, os agregados são reunidos em um recipiente metálico e homogeneizados até a temperatura de 170°C, sendo o ligante, aquecido à 160°C. Após essa etapa a mistura é submetida ao aquecimento em estufa seguindo a temperatura de 160°C por duas horas, objetivando o envelhecimento. Esta etapa procura simular o desgaste natural da mistura quando do transporte da mesma até o trecho de aplicação. Em seguida, a mistura é compactada segundo os procedimentos *Marshall*, ficando em repouso por 24 horas até ser desmoldado.

3.6.1 Resistência à Tração por Compressão Diametral (RT)

Analisou-se o comportamento das misturas betuminosas inicialmente por meio da Resistência à Tração por Compressão Diametral (RT). Para tanto, moldaram-se quatro corpos de prova para os teores de projeto encontrados para cada mistura, totalizando vinte e oito corpos de prova para o ensaio de RT, uma vez que o trabalho estudou sete misturas distintas, compactados mecanicamente por meio do compactador *Marshall*, com 75 golpes por face, pressão de pneu de 7 a 14kgf/cm², Figura 35. Realizou-se tal ensaio utilizando a *Universal Technical Machine* (UTM-14) com capacidade de 14kN, pertencente ao Grupo de Geotecnia da UFAM, Figura 36, a uma temperatura de 25 °C. Aplicaram-se as cargas segundo uma taxa de 48 mm/min, em um friso metálico, adjacente ao corpo de prova.



Figura 35. Compactador mecânico Marshall.



Figura 36. Ensaio de Resistência à Tração (UTM-14).

O ensaio de resistência à tração, por compressão diametral, realizou-se conforme o método ME 138/94 do DNIT, e o valor da resistência calculado pela seguinte Equação (I):

$$\sigma_r = \frac{2F}{100.\pi.D.h} \quad (I)$$

Onde:

σ_r – resistência a tração, MPa

F – carga de ruptura, N

D – diâmetro do corpo de prova, cm

h – altura do corpo de prova, cm.

3.6.2 Módulo de resiliência (MR)

A terminologia da palavra resiliência teve início no século xx, entre os anos 1920 e 1930, por estudos desenvolvidos pelo pesquisador Francis Hveem que intuiu a distinção entre deformações elásticas, ocorridas e estudadas nos materiais concreto, aço e os presentes nos pavimentos flexíveis (Medina e Motta, 2005). Verifica-se, em tal literatura, que enquanto os citados materiais da engenharia possuem uma fase puramente elástica, onde a carga estática aplicada deforma o corpo somente em sua atuação, ou seja, ao cessar a carga, o material volta a sua dimensão original, os compósitos constituintes da pavimentação não seguem essa regra, possuindo uma fase elástica, em que ao serem submetidos a uma tensão, deformam-se, não retornando ao estado inicial quando cessar a tensão causadora dessa deformação, resultando nas deformações plásticas, as quais, na pavimentação denominam-se permanentes. O conceito do módulo de resiliência surgiu somente em meados de 1960 por pesquisas realizadas por Seed *et al.* (1962) *apud* Brito (2006), com ensaios desenvolvidos em misturas de concreto

asfáltico e solo-agregados. Os primeiros estudos buscavam alcançar um padrão de comportamento linear que empregasse o módulo de elasticidade (E) e o coeficiente de Poisson (ν), que eram aproximações razoáveis do comportamento em campo (Melo, 2010).

Em estudos de resistência dos materiais, o módulo de elasticidade (E) é definido como a relação entre a tensão aplicada a um corpo e a deformação causada por esta, nos limites do regime elástico linear. O módulo de resiliência é definido da mesma forma, no entanto, ambos distinguem-se no modo de obtenção. Enquanto este é alcançado sob ação de carregamentos cíclicos (dinâmicos), a baixos níveis de tensão, aquele é obtido em ensaio cujo carregamento é estático, sob pequenos deslocamentos, não havendo período de relaxamento.

Analisando-se os materiais da engenharia civil voltados à pavimentação, destarte as misturas asfálticas, observa-se que ao se aplicar uma carga seguida de alívio em corpos de prova, nem toda a deformação é recuperada, acarretando deformações permanentes (plásticas), logo, confirma-se que materiais desse caráter não possuem comportamento elástico, visto que a resposta a um carregamento não depende somente de sua intensidade ou direção, como é o caso dos materiais enquadrados no regime elástico. Dessa forma, tais compósitos asfálticos vêm sendo melhor representados no mundo científico por teorias como a viscoelasticidade (Melo, 2009). A Figura 37 explana o comportamento mencionado.

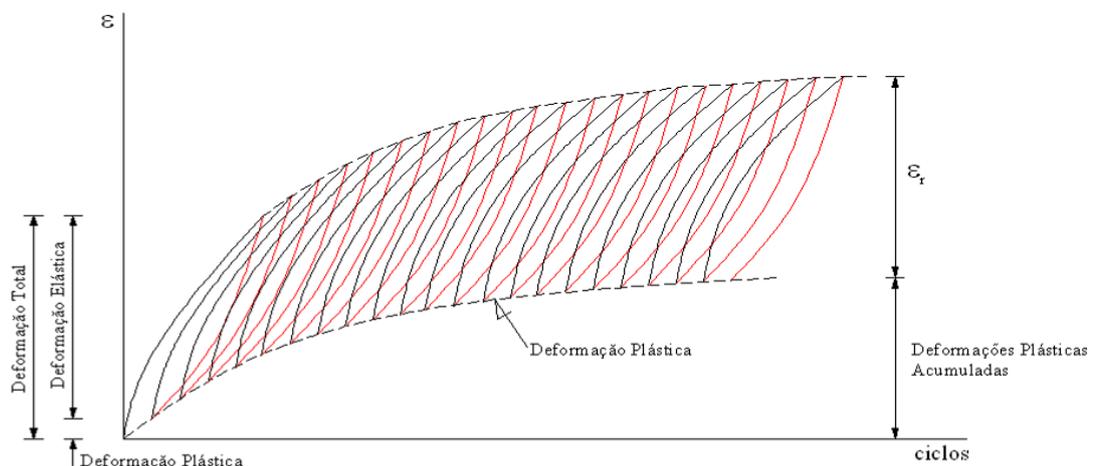


Figura 37 – Deformações sob Carregamento Cíclico.
 FONTE: Huang adaptado (1993) *apud* Melo (2009).

Evidencia-se nas primeiras deformações uma parcela relativamente alta de deformação permanente (plástica). No entanto, conforme a realização dos ciclos aumenta, tais deformações diminuem, tornando-se quase imperceptíveis. Pode-se observar com maior veemência a presença das deformações elásticas nos últimos ciclos, até um nível tal de estabilidade que as deformações são aproximadamente todas recuperáveis, etapa na qual é determinado o Módulo de Resiliência (MR), cuja definição é expressa pela relação entre a tensão de desvio (σ_d) exercida ao material e a deformação elástica resultante (ε_r) desta, segundo Equação (II).

$$\text{MR} = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_r} \quad (\text{II})$$

Pesquisas relatam restrições - atinentes à temperatura e níveis de tensões de tração - para misturas asfálticas se enquadrarem no regime elástico linear, conforme se verifica em Medina e Motta (2005) os quais afirmam que os limites aceitáveis para os compósitos asfálticos comportarem-se como tal, seriam temperaturas abaixo de 40°C e submissão a níveis de tensão de tração abaixo de 40% da resistência de tração dos mesmos. Confrontando-se com Junior (2008) *apud* Pinto e Preussler (1980), que dispõem sobre o mesmo, todavia alegando as temperaturas aceitáveis serem inferiores a 35°C e níveis de tensões de tração abaixo de 50% da resistência do material. Tais investigações contribuíram para que a pesquisa em pauta trabalhasse com estes parâmetros, temperatura e tensões de tração, abaixo do indicado, conforme método AASHTO TP-31-96 e Método ASTM D-4123.

O trabalho realizado empregou como experimento a compressão diametral para a obtenção do módulo de resiliência, método mais utilizado no campo da pesquisa, segundo Brito (2006), a determinação deste, bem como de outros parâmetros utilizando ensaios diametraes oferece as subseqüentes vantagens: a) facilidade de execução do ensaio; b) os

corpos-de-prova podem ser obtidos por compactadores Marshall, bastante difundidos no Brasil, bem como por compactadores giratórios, mais recentes em estudos brasileiros, avantajando a simulação da relação entre a direção de compactação e a direção de tração crítica de campo; c) características superficiais do corpo-de-prova não interferem na ruptura que incide em um plano de tração aproximadamente uniforme; d) dispõe inúmeros parâmetros e representa o estado de tensões nas fibras inferiores da camada de revestimento; e) realiza-se o ensaio com duas naturezas de carga: estática e dinâmica.

Em contrapartida, autores como Kim e Wen (2002) sugerem algumas desvantagens, que apesar de mínimas, despontam significativa importância: a) a ocorrência de deformações permanentes na região dos frisos de carregamento, que pode intervir na avaliação do potencial de fissuração; b) a não linearidade da distribuição das deformações no centro da amostra; c) os ensaios limitam-se, em muitos casos, a realização sob tensão controlada, devido aos equipamentos utilizados. Contudo, uma pesquisa realizada por Bonaquist *et al* (1986) *apud* Brito (2006) que estudou inúmeros métodos para a determinação do módulo de elasticidade, destarte a partir de analogias entre deflexões medidas e previstas para os compósitos estudados, o ensaio de módulo de resiliência por tração indireta é o mais adequado para utilização da teoria de camadas elásticas, o que reafirma a eficiência do método proposto no presente trabalho, onde se aplica reduzidas taxas de tensão de tração em relação à resistência das misturas empregadas.

Brito (2006), afirma que as tensões induzidas por uma carga de roda em uma camada típica de concreto asfáltico, são basicamente quatro tipos:

- Compressão triaxial na superfície e logo abaixo da roda.
- Tração longitudinal combinada com compressão vertical na base da camada de rolamento e logo abaixo da carga.
- Tração longitudinal ou transversal na superfície a alguma distância da carga.

- Compressão longitudinal ou transversal na base da camada de rolamento a alguma distancia da carga.

3.6.2.1 Métodos para Obtenção do Módulo de Resiliência

Propõe-se no referente item uma sucinta explanação das principais normas pesquisadas neste trabalho e umas das mais utilizadas nacionalmente, identificando, dessa forma, as peculiaridades de cada uma, que se diferem principalmente pelos quesitos: a) equipamento solicitado; b) procedimentos de ensaio; e c) critérios de determinação dos deslocamentos resilientes.

As semelhanças existentes nas recomendações que serão abordadas referem-se principalmente: a) à geometria cilíndrica dos corpos-de-prova com diâmetro nominal de 102 ou 152mm; b) à carga aplicada por frisos côncavos com larguras padronizadas de 12,7mm e 19mm para os citados diâmetros respectivamente.

3.6.2.2 Método ASTM D-4123

A recomendação norte-americana ASTM D-4123 não possui alto grau de detalhamento inerente principalmente ao algoritmo que calcula o módulo de resiliência. A primeira versão desta norma é de 1982, com posterior substituição em 1995 a qual ainda orienta os ensaios na atualidade, aguardando-se, todavia, no meio acadêmico-científico, sua reformulação que se encontra em tramitação e gera expectativas de uma maior amplitude da referida norma (Brito, 2006).

A norma preconiza o ensaio a ser realizado sob tensão controlada, aplicando uma ou mais frequências, sugerindo-se 0,33, 0,5 e 1,0 HZ, às temperaturas de 5^oC, 25^oC e 40^oC (acondicionadas em estufas com temperatura controlada).

Recomenda-se um equipamento eletro-hidráulico possuidor de capacidade reprodutora das formas de ondas estabelecidas pela normatização – semi-seno-verso ou outra apropriada, bem como sistemas pneumáticos idealizados em laboratórios ou comercializados. Segundo Bernucci et al (2008), a presunção da forma de pulso apontada nas recomendações, deve-se ao fato de estudos terem mostrado que o formato de onda mencionado é o equivalente ao carregamento proveniente da passagem dos pneus dos veículos.

Indica-se, o uso de sensores do tipo LVDT (*linear variable differential transformers*) com ponta colada no corpo-de-prova ou retrátil ou sistema similar, desde que estejam presos em lados diametralmente opostos no diâmetro horizontal, cuja função é fazer a medição das deformações para determinação do MR. Deve-se proceder a duas medidas de MR por corpo-de-prova, a 0^o e 90^o respectivamente para cada medição.

A informação mais importante do ensaio é a duração da carga de aplicação, a qual a norma orienta estar entre 0,1s e 0,4s, sugerindo-se utilização do menor tempo possível, quando o equipamento for preciso, optar-se-á por 0,1s, que representa melhor o carregamento transiente a que os pavimentos são submetidos (Brito, 2006).

O ensaio preconizado pela citada norma, indica que o carregamento a ser aplicado no corpo-de-prova deve estar compreendido entre 10 e 50% da Resistência à Tração do mesmo, com aplicação mínima de 50 a 200 ciclos de condicionamento, devendo-se, sempre que possível, utilizar o maior, pois fornecerá maior precisão ao resultado, visto que a teoria aludida inerente ao módulo de resiliência aponta que quanto maior o número de ciclos, maior é a tendência às deformações elásticas e menores às plásticas, estabilizando-se, até que às deformações sejam praticamente todas recuperáveis.

A presente norma, não menciona nenhum algoritmo matemático que dê suporte ao entendimento da forma como se calculam os deslocamentos resilientes, existe somente referência gráfica conforme apresentada na Figura 38, de onde segundo Brito (2006), podem-se determinar exclusivamente os deslocamentos resilientes total e instantâneo, as equações para a determinação do MR (E) e do coeficiente de Poisson (ν), fator que indica a linearidade ocorrida na fase elástica de um material, são as descritas nas Equações (III) e (IV) respectivamente, sendo determinado um valor para cada deslocamento resiliente, totalizando dois valores de MR (total e instantâneo) e dois valores de ν (total e instantâneo).

$$E = \frac{P}{t \cdot \Delta U_{2R}} (0,27 + \nu) \quad (III)$$

$$\nu = -3,59 \frac{\Delta U_{2R}}{\Delta V_{2R}} - 0,27 \quad (IV)$$

Onde:

P = carga total aplicada

t = espessura do corpo-de-prova

ΔU_{2R} = deslocamento no diâmetro horizontal

ΔV_{2R} = deslocamento no diâmetro vertical

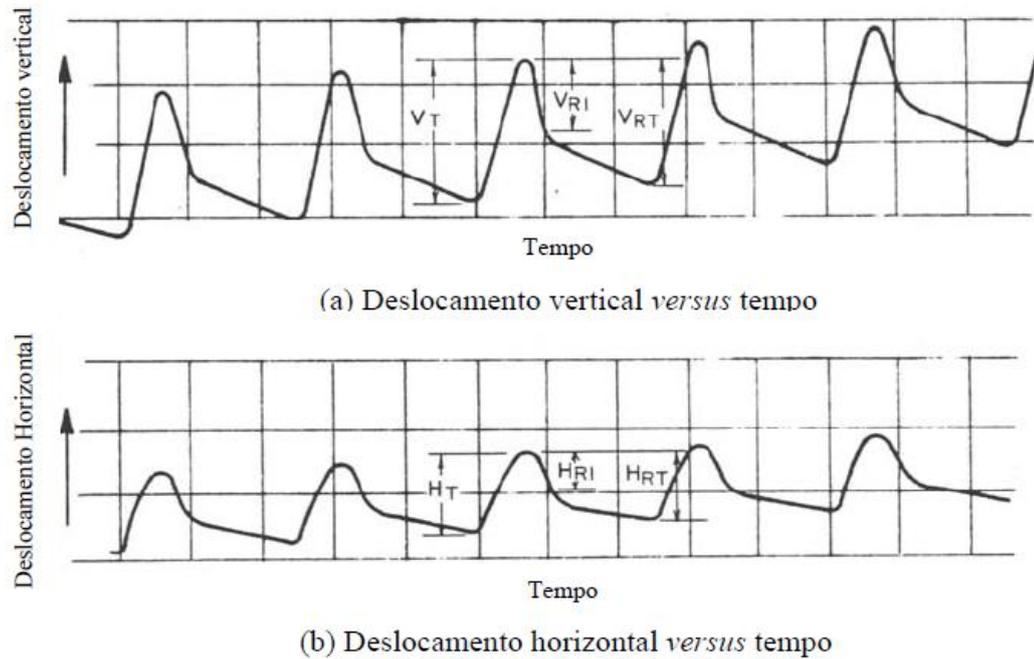


Figura 38 – Deslocamentos totais, deslocamentos resilientes instantâneos e deslocamentos resilientes totais.

FONTE: Adedimila (1975) *apud* Brito (2006).

É importante ressaltar que as referidas equações (III e IV) só são válidas para medições de deslocamentos realizados por meio de LVDT's diametralmente opostos (nos extremos do corpo-de-prova), de forma que os deslocamentos medidos sejam: $(-r, +r)$. Outra ressalva salutar, respeitante ao uso das indicadas equações, deve-se a utilização destas somente nas condições para as quais foram deduzidas, ou seja, empregando corpo-de-prova Marshall, que possui altura desejável para o estado plano de tensões, o qual foi utilizado no equacionamento do módulo e coeficiente de Poisson, sendo deduzida especificamente para uma relação $a/2R = 1/8$ (largura do friso de carregamento / diâmetro do corpo-de-prova) e $m=n=1$ (medida de deslocamento entre os extremos do diâmetro), conforme prever a norma ASTM D-4123 (1995).

Ressalta-se que para este trabalho, obtiveram-se somente as deformações horizontais, conforme formas de ondas apontadas na Figura 38(b), sendo dessa forma o valor do coeficiente de Poisson estipulado, segundo referências bibliográficas citadas na metodologia da pesquisa desenvolvida (Melo, 2009). Portanto, o módulo de resiliência é calculado pelo programa computacional, utilizando a equação (III), de forma que se necessita utilizar somente os deslocamentos no diâmetro horizontal e o coeficiente de Poisson discriminado.

3.6.2.3 Método AASHTO TP-31-96

A presente norma, publicada em 1996 e revisada em 2001, é considerada uma metodologia com alto grau de detalhamento, pois inclui o logaritmo matemático da obtenção do MR. Preconizam ensaios às temperaturas 5⁰C, 25⁰C e 40⁰C e à frequência de 1HZ. O pulso de carga é igual ao da norma ASTM D-4123/95 (semi-seno-verso) com tempo de aplicação de carregamento de 0,1s. O equipamento recomendado é o eletro-hidráulico capaz de produzir a mesma forma de onda.

Este sistema implica em obter tanto os deslocamentos horizontais quanto os verticais por meio de LVDT's que devem estar em contato real com o corpo-de-prova com uso de sensores de ponta retrátil em forma de meio-cilindro com diâmetro de 9,5mm. Para medições horizontais, devem ser posicionados diametralmente opostos e a meia altura do corpo-de-prova. Para os deslocamentos verticais, os sensores devem ser fixados externamente ao corpo-de-prova de forma centralizada, de modo a medir a aproximação dos frisos de contato.

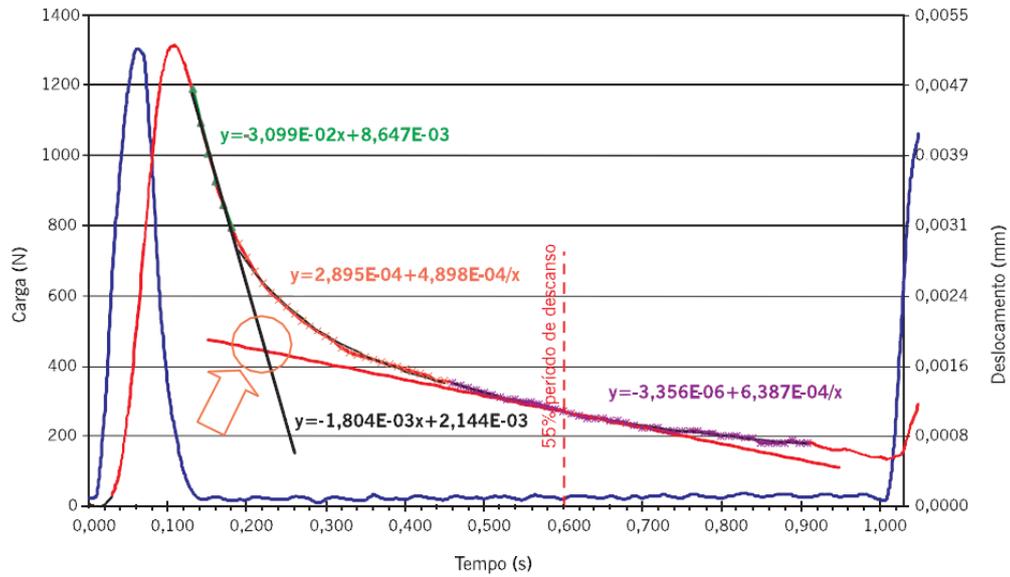
A metodologia de ensaio requer que o módulo seja calculado pela média dos deslocamentos dos cinco pulsos gravados após no mínimo 30 pulsos de carga. Quatro dos cinco pulsos de deslocamento devem estar dentro de uma faixa de 15% da média do módulo

de resiliência. Sugere-se que a carga utilizada seja equivalente a 5, 15 e 30% da resistência à tração à 25 °C, para ensaio às temperaturas de 40°C, 25°C e 5°C respectivamente.

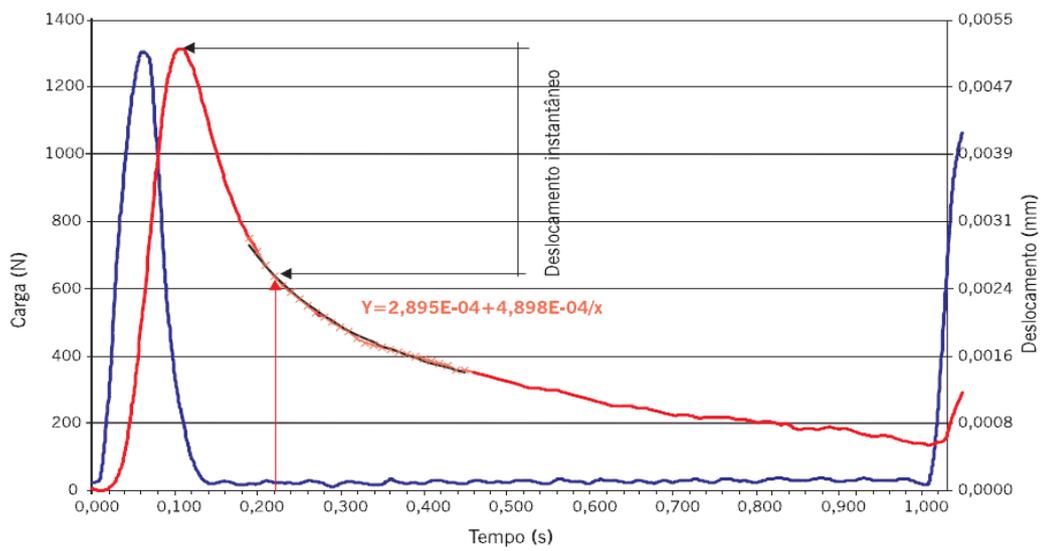
Assim como a norma discriminada anteriormente, devem-se calcular dois valores de módulos de resiliência – utilizando o deslocamento resiliente instantâneo horizontal e o resiliente total horizontal. Segundo Bernucci *et al.* (2008), a norma norte-americana em revisão estuda uma metodologia particular para o cálculo dos deslocamentos instantâneos e deslocamentos totais, subdividindo o pulso de deslocamento. Para aquele, determinam-se as regressões para as três porções da curva de deslocamento: a) porção reta do descarregamento, de modo a se obter uma equação do tipo $y = ax + b$; b) porção curva do caminho de descarregamento, visando-se uma equação hiperbólica do tipo $y = a + b/x$; c) porção de recuperação entre os intervalos de 40% a 90% do período de descanso de modo a reproduzir uma equação hiperbólica. Uma reta tangenciando a esta hipérbole deve ser originada no ponto correspondente a 55% do período de descanso, ilustrações indicadas na Figura 39 (a). A mesma literatura abaliza o ponto na curva hiperbólica, como o correspondente ao tempo coordenado (valor do eixo x) da interseção que é selecionado para determinar o deslocamento instantâneo pela sua subtração do pico de deslocamento (Figura 39 (b)). Destarte o raciocínio com o cálculo do deslocamento total, que consiste em medir o valor da média dos valores de deslocamento no período entre 85% e 95% do período de descanso, pelo pico de deslocamento (Figura 39 (c)).

Com ambos os deslocamentos resilientes calculados, considera-se o deslocamento instantâneo para o cálculo do módulo de resiliência. A norma recomenda também que seja calculado outro módulo de resiliência com o deslocamento total para efeito de comparação, sendo assim, quanto mais próximos forem estes módulos, mais rápida é a recuperação elástica do material submetido à determinada carga (Brito, 2006). Dessa forma, é indicado para vias com alto volume de tráfego, que esses dois resultados de MR sejam o mais próximo possível,

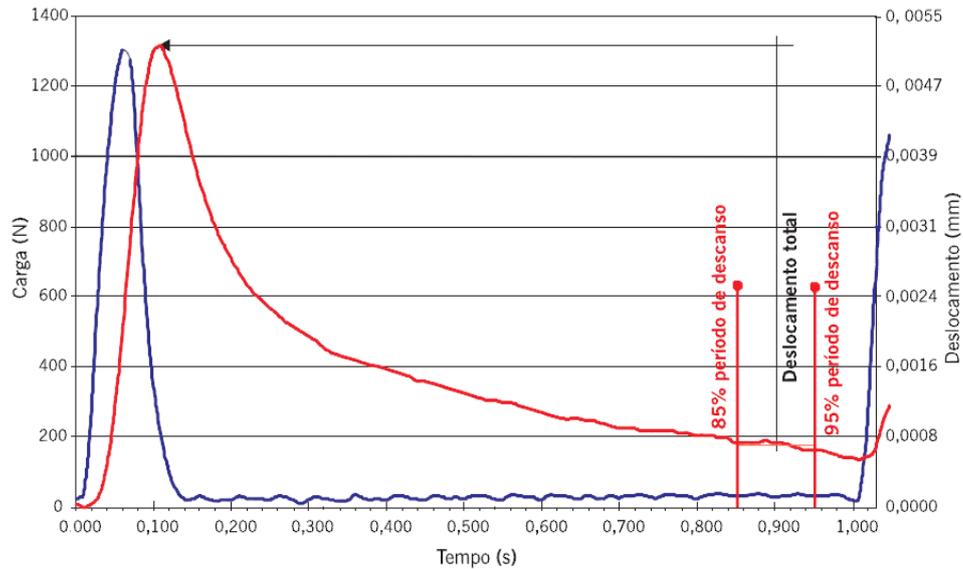
podendo-se modificar o arranjo dos agregados ou a escolha do ligante para atender este requisito (Bernucci *et al*, 2008).



(a)



(b)



(c)

Figura 39 – Regressões lineares: a) Regressões das porções de descarregamento do pulso de deslocamento; b) Deslocamento resiliente instantâneo; c) Deslocamento resiliente total.

FONTE: Bernucci *et al* (2008).

3.6.2.4 Método Utilizado

Para o cálculo do Módulo de Resiliência (MR), serão adotados os procedimentos especificados na ASTM D-4123/95 e AASHTO TP-31/96. Neste experimento, aplicando-se cargas dinâmicas no sentido diametral dos corpos de prova cilíndricos, as deformações diametraais são medidas por meio de dispositivo tipo *Linear Variable Differential Transformers* (LVDT), de acordo com Figura 40. Concentraram-se cargas cíclicas com pico de tensão calculados em múltiplos de 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% e 35% da resistência à tração (RT), este procedimento foi adotado para se obter um padrão dos corpos de prova durante a execução dos ensaios. Os intervalos de aplicação dessa carga serão de 0,1s de carregamento e 0,9s de repouso, relativo a uma frequência de 1Hz. Foi aplicado 100 ciclos de carga para o condicionamento e posteriormente, cinco pulsos para a determinação dos módulos a uma temperatura de 40°C, buscando-se ao máximo se aproximar do ambiente da região, (Picanço *et al*, 2011). O coeficiente de Poisson aplicado foi igual a 0,35 conforme

Brito (2006) que relata que se o referido coeficiente não for determinado, deve ser considerado 0,35 para todas as temperaturas. Em contrapartida, Barksdale *et al* (1997), sugere valores de 0,20 para ensaios realizados a 5°C, 0,35 para 25°C e 0,5 para ensaios a 40°C. Ao término do experimento, foi calculado o valor do MR, por meio da média aritmética dos valores alcançados para os cinco últimos pulsos, e atinentes à média aritmética de quatro corpos de prova, para cada mistura. O MR é um parâmetro essencial no estudo de misturas asfálticas, pois ilustra a rigidez do revestimento asfáltico.



Figura 40. Ensaio do Módulo de Resiliência (UTM), (Cavalcante *et al*, 2010).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são discutidos os resultados dos ensaios biológicos com o caroço do fruto do açaí, da caracterização dos agregados e do ligante, da dosagem e dos ensaios mecânicos.

Por não haver outros trabalhos semelhantes empregando o material (caroço do fruto do açaí) na pavimentação, confrontaram-se os resultados da mistura asfáltica com o citado agregado alternativo, relativos a compósitos asfálticos estudados e publicados com a participação do autor da presente dissertação (Cavalcante *et al*, 2010; Cavalcante *et al*, 2011; Cavalcante *et al*, 2011; Cavalcante *et al*, 2011; Bertoldo *et al*, 2010; Silva *et al*, 2010; Silva *et al*, 2011; Oliveira *et al*, 2010; Ferreira *et al*, 2011; Valença *et al*, 2011; Crisóstomo 2011).

4.1 Tratamento do caroço do fruto de Açaí

Constatou-se que o tratamento inicial realizado com o caroço do açaí foi extremamente importante para a mistura asfáltica, pois eliminaram o excesso de fibras, caroços maduros e outros materiais de menor granulometria, oriundos das ramas da Palmeira do Açaí, conforme Figura 41.



Figura 41 – Caroço do açaí no laboratório de Solos do Grupo de Geotecnia da UFAM.

Finalizado o trabalho de peneiramento, cozimento, lavagem, e secagem do material, o mesmo encontra-se de acordo com a Figura 42, em condições de ser submetido aos ensaios mecânicos.



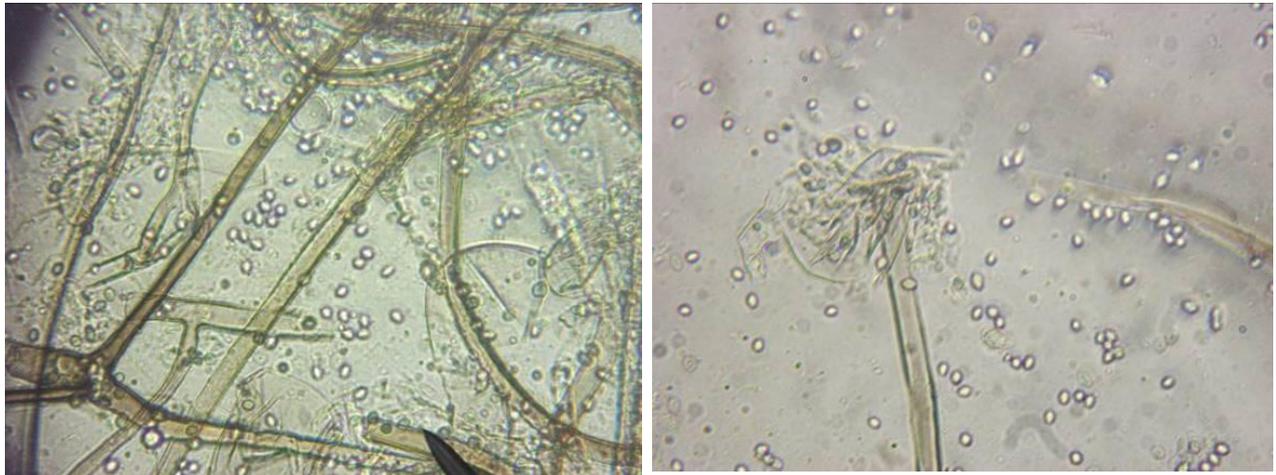
Figura 42 – Carço do açai após o tratamento, 5 a 12mm.

4.2 Isolamento de Microorganismos de sementes de Açai (*Euterpe Precatoria*)

Foram detectadas microestruturas de fungos filamentosos pertencentes aos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* (Deuteromycetes) e *Rhizopus* (Zygomycetes). O micélio de *Aspergillus* aparentou coloração esverdeada, *Penicillium* indicou a cor azulada e *Rhizopus* a coloração negra, Figuras 43 e 44. Visualizaram-se a presença de colônias bacterianas de coloração branca e leveduras de coloração vermelha e amarela.

A presença de diferentes formas de microrganismos nas sementes de açaí pode ter sido ocasionada pelo processo de secagem e armazenamento ao qual essas sementes foram submetidas, pois as mesmas não foram esterilizadas antes do isolamento.

Este procedimento demonstra que como se trata de material orgânico, sua manipulação deve ser realizada o mais rápido possível, desta forma, diminuindo a proliferação de microrganismos no material. Material que permaneça em estoque por um longo período estará mais propenso a proliferação de fungos.



Figuras 43 e 44 – Microestruturas de Zygomycetes (400x).

4.3 Caracterização dos compósitos das misturas asfálticas

4.3.1 Ligante Asfáltico

A Tabela 3 resume os resultados das características do cimento asfáltico de petróleo, padronizada pela Agência Nacional de Petróleo, Gás e Energia (ANP). Destaca-se a importância destes resultados, pois influenciam diretamente no comportamento das misturas asfálticas.

| Características | Método | Unidade | Resultados CAP 50/70 |
|--|---------------|---------|-------------------------|
| Penetração | D5-06 | 0,1 mm | 69 |
| Ponto de amolecimento | D36/D36M-09 | grau C | 49,7 |
| Viscosidade Saybolt Furol a 135 C | E102/E102M-09 | s | 283 |
| Viscosidade Brookfield a 135 C | D4402-06 | cp | 539 |
| Viscosidade Saybolt Furol a 150 C | E102/E102M-09 | s | 140,7 |
| Viscosidade Brookfield a 150 C | D4402-06 | cp | 279,8 |
| Viscosidade Saybolt Furol a 177 C | E102/E102M-09 | s | 50,8 |
| Viscosidade Brookfield a 177 C | D4402-06 | cp | 96,8 |
| Ductilidade | D113- 07 | cm | > 100 |
| Ponto de fulgor | D92-10 | grau C | 318 |
| Solubilidade em tricloroetileno | D2042- 09 | % massa | 99,9 |
| RTFOT variação em % massa | D2872- 04 | % | 0,04 |
| RTFOT aumento do ponto de Amolecimento | D36/D36M-09 | grau C | 7,1 |
| RTFOT penetração retida | D5-06 | % | 63 |
| Densidade relativa a 20/4C | D70-09 | N/A | 0,998 |

Tabela 3 – Características do Cimento Afáltico de Petróleo, CAP 50/70, (Cavalcante *et al*, 2010).

De acordo com a Tabela 3, os ensaios atinentes ao CAP 50/70, apresentaram resultados conforme especificação brasileira regulamentada pela Agência Nacional de Petróleo (ANP). Uma característica importante a ser ressaltada é o ensaio de ponto de amolecimento, que indica que este material é um ligante mole. Destacam-se também as características após envelhecimento em estufa RTFOT, ensaio bastante significativo, uma vez que simula o efeito do envelhecimento do ligante que ocorre durante a usinagem e compactação da mistura (Bernucci *et al*, 2008).

Picanço *et al*. (2011), constatou que a temperatura média superficial foi de 42,56° em revestimentos tipo Concreto Asfáltico e 47,46° para Areia Asfalto, medições estas realizadas na zona Centro-Sul de Manaus. Devido a sua coloração escura, este tipo de pavimento absorve a maior parte da irradiação que lhe incide, desta forma, ficando bem próxima do seu ponto de amolecimento, Tabela 3.

4.3.2 Agregados e Material de enchimento

Após a realização dos ensaios de caracterização conforme o que prescrevem as normas vigentes consolidou-se o resultado na Tabela 4. Nesta tabela tem-se a caracterização do Resíduo da Construção e Demolição (RCD), do açai, do seixo e do ASAC. Tal atividade é de grande importância para a pesquisa, pois, além de relacionar todos os resultados alcançados com os agregados minerais, pode-se também, compará-los com os materiais alternativos (RCD e ASAC), assim como o agregado natural (caroço de açai).

| Ensaio | Método | RCD (Oliveira <i>et al</i> , 2010) | Seixo (Silva <i>et al</i> , 2010) | ASAC (Cavalcante <i>et al</i> , 2010) | Açai |
|---|--------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--|----------|
| Abrasão “Los Angeles” (%) | ME 035/98 | 46,21 | 25,26 | 57,11 | 1,80 |
| Adesividade a ligante betuminoso | ME 078 | Positiva | Positiva | Positiva | Positiva |
| Absorção (%) | | 7,122 | 0,770 | 17,18 | 20,80 |
| Densidade aparente | C 127 e | 2,324 | 2,647 | 2,138 | 0,690 |
| Densidade real | ME 194 | 2,566 | 2,659 | 2,658 | - |
| Densidade efetiva | | 2,170 | 2,639 | 2,170 | - |
| Índice de Forma | ABNT 7809 | Cúbica | Cúbica | Cúbica | Cúbica |
| Massa específica solta - (kg/dm ³) | | 1,171 | 1,790 | 1,466 | 2,100 |
| Massa específica compactada - (kg/dm ³) | C 29 | 1,260 | 1,570 | 1,530 | 2,300 |

Tabela 4 – Características dos agregados graúdos utilizados.

Pode-se observar na Tabela 4, que o seixo atende as especificações com relação ao desgaste por Abrasão “Los Angeles”, porém o RCD obteve baixa resistência ao desgaste, o que não o desqualificou, pois segundo pesquisas realizadas (Oliveira *et al*. 2010) e (Melo, 2009), esse resultado não impede que este material não esteja inserido em misturas asfálticas e não apresente comportamentos mecânico apropriados à pavimentação. Já o caroço de açai, obteve um resultado peculiar quanto ao ensaio de Abrasão “Los Angeles”. No interior do

tambor alguns caroços apenas se partiram, enquanto a sua maioria permaneceu com a sua forma original, mesmo após a sua lavagem na peneira de 1,7mm a sua massa pouco alterou em relação à massa inicial, observa-se essa característica na Figura 45. Ressalta-se também que a absorção do RCD foi elevada em relação ao seixo e o percentual resultante do caroço de açai configurou-se como o mais elevado, indicando possivelmente um maior consumo de asfalto na mistura.

De acordo com a Tabela 4 o ensaio de Adesividade ao ligante Betuminoso obteve resultado satisfatório para todas as amostras, inclusive com o açai. Não houve deslocamento total ou parcial da película betuminosa no agregado natural, conforme Figura 46.



Figura 45 – Caroço após o ensaio de Abrasão *Los Angeles*.



Figura 46 – Ensaio de Adesividade.

Na Tabela 5, tem-se a caracterização da areia, areia Manaus, da areia de RCD e do material de enchimento, Cimento *Portland* Composto – CP II–Z-32. Observa-se que a massa específica dos grãos da areia aproxima-se muito da densidade real do seixo, ambos provenientes do leito dos rios, tendo como seu principal constituinte o quartzo.

| Ensaio | Método | Areia (Bertoldo <i>et al</i> , 2010) | Areia de RCD (Bertoldo <i>et</i> <i>al</i> , 2010) | Cimento (Bertoldo <i>et al</i> , 2010) |
|--|-----------|---|--|--|
| Densidade real | ME 084 | 0,519 | 0,358 | 3,120 |
| Equivalente de areia (%) | D 2419 | 92,80 | 81,30 | - |
| Massa específica solta - (kg/dm ³) | | 1,640 | 1,506 | - |
| Massa específica compactada - (kg/dm ³) | C 29 | 1,814 | 1,656 | - |
| Massa específica dos grãos - (kg/dm ³) | ME 084/95 | 2,606 | 2,370 | - |

Tabela 5 – Características da areia e do material de enchimento.

Na Figura 47, são apresentadas as granulometrias de todos os materiais constituintes das misturas asfálticas, percebe-se que o RCD possui uma graduação uniforme, oriundo do seu processo de britagem e separação nas peneiras do próprio britador. O caroço de açaí seguiu as mesmas características da granulometria do RCD, devido a sua forma esférica e constante, possui uma granulometria uniforme. O seixo usado nas misturas não foi submetido a qualquer tipo de britagem ou acréscimo de material para a sua composição.

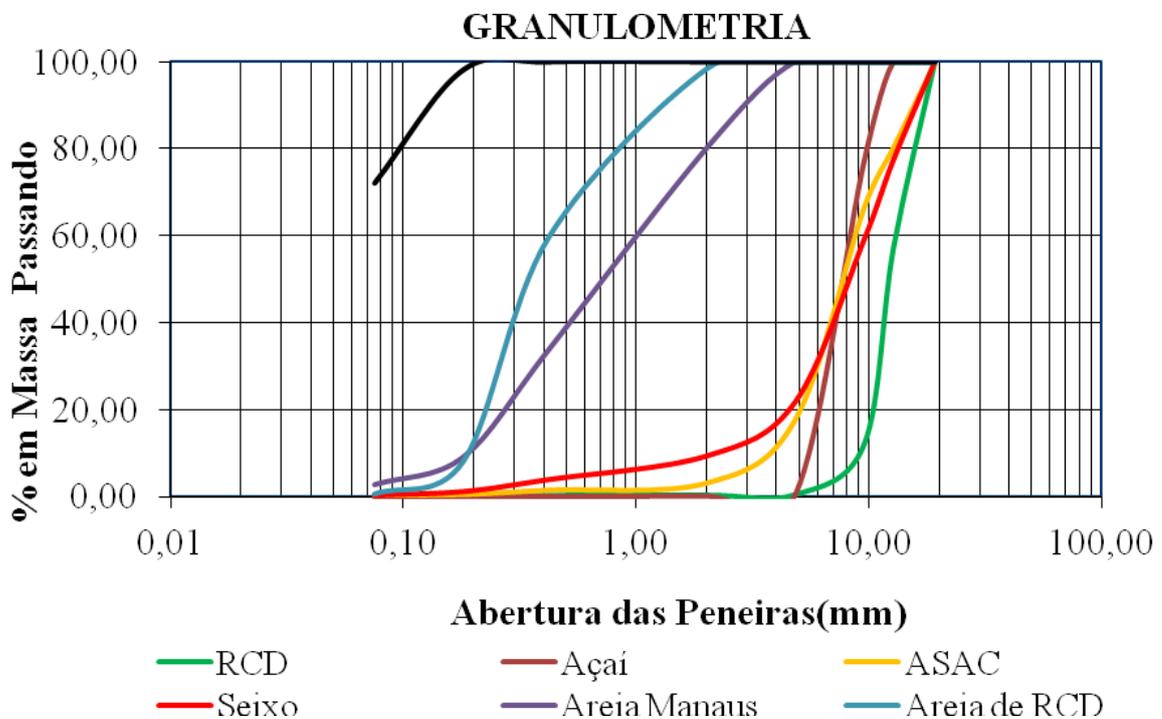


Figura 47 – Granulometria dos materiais. (RCD – Oliveira *et al*, 2010), (Seixo - Silva *et al*, 2010), (ASAC - Cavalcante *et al*, 2010), (Areia Manaus e Areia de RCD – Bertoldo *et al*, 2010).

4.4 Misturas Asfálticas

Neste trabalho serão analisadas misturas asfálticas utilizadas tradicionalmente na cidade de Manaus, sejam elas, Concreto Asfáltico e Areia Asfalto. Como misturas comparativas, escolheram-se 04(quatro) misturas tipo CA e 02 (duas) misturas tipo AAUQ, estudadas e publicadas com a participação do autor do trabalho em pauta. A mistura 02 foi escolhida para ter a inserção do agregado alternativo, caroço do açaí, em substituição de parte do agregado graúdo (RCD “0”). Conforme Tabela 6.

| Mistura | Tipo | Agregado graúdo | Agregado miúdo | |
|---------|------|-----------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 1 | CA | RCD “1” e “0” | | Oliveira <i>et al</i> , 2010 |
| 2 | CA | RCD”1” e Açaí | | - |
| 3 | CA | Seixo | Areia Manaus | Silva <i>et al</i> , 2010 |
| 4 | CA | ASAC | | Cavalcante <i>et al</i> , 2010 |
| 5 | AAUQ | - | | Bertoldo <i>et al</i> , 2010 |
| 6 | AAUQ | - | Areia Manaus e Areia de RCD | Bertoldo <i>et al</i> , 2010 |

Tabela 6 – Misturas Asfálticas estudadas.

A dosagem seguida neste trabalho foi a Dosagem Marshall, método mais usado mundialmente e largamente utilizado na região. A determinação das massas específicas, seleção da faixa granulométrica e a composição dos agregados, seguiram o preconizado (Silva, 2011) para se cumprir os estudos preliminares da referida dosagem.

4.4.1 Dosagens

Após os ensaios de caracterização busca-se o enquadramento das misturas tipo Concreto Asfáltico (CA) na faixa C, camada de rolamento, da Norma DNIT 031/2006-ES, sempre observando suas tolerâncias máximas e mínimas. Segue-se o mesmo procedimento para as dosagens tipo Areia Asfalto Usinado a Quente (AAUQ), busca-se enquadramento na Faixa B, de acordo com Norma DNIT 032/2005-ES.

4.4.1.1 Misturas tipo Concreto Asfáltico

Na mistura 1, tendo como foco principal o Resíduo da Construção e Demolição (RCD), foram utilizados os percentuais indicados na Tabela 7. Os valores foram definidos após o enquadramento da mistura, conforme Figura 48.

| Materiais | % |
|--------------|-------|
| RCD 1 | 30,50 |
| RCD 0 | 35,00 |
| Areia Manaus | 31,00 |
| Cimento | 3,50 |

Tabela 7 – Dosagem da mistura 1(Oliveira *et al*, 2010).

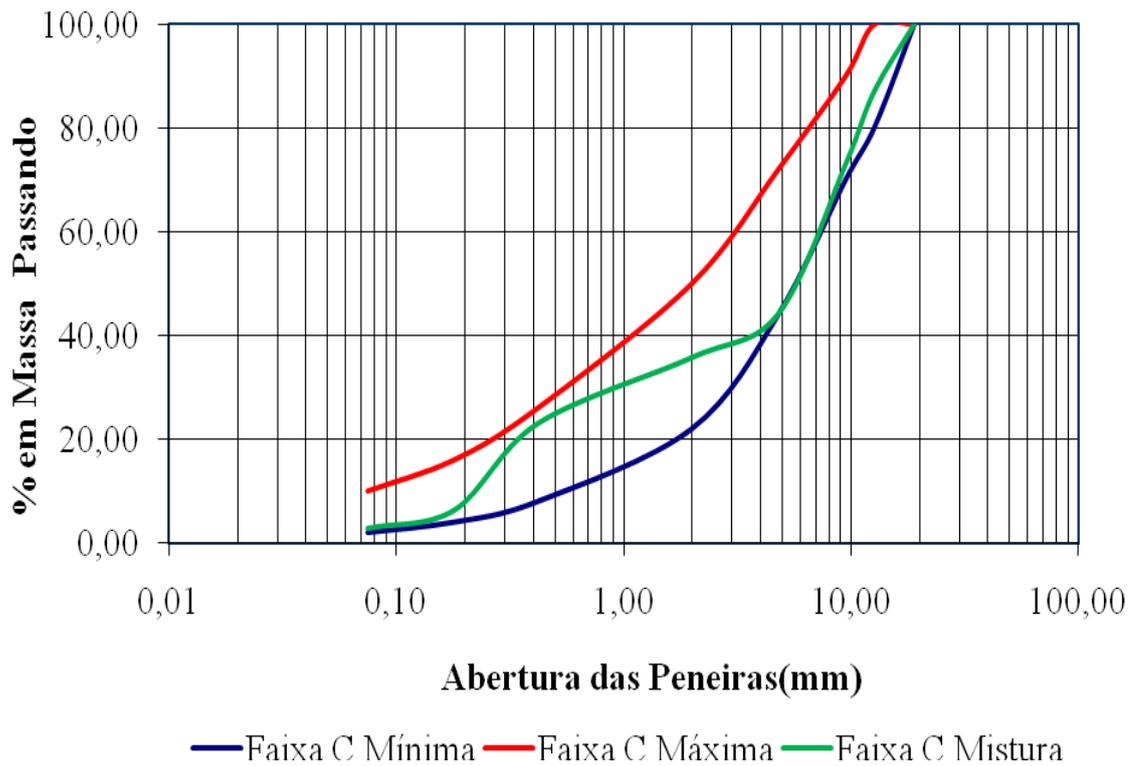


Figura 48 – Enquadramento da mistura com RCD (Oliveira *et al*, 2010).

Na mistura 2, objeto deste projeto, foram utilizados os materiais constantes da Tabela 8, substituindo o material granular, RCD “0”, semelhante ao caroço do açaí pelo mesmo. Em seguida na Figura 49 observa-se o enquadramento da referida mistura.

| Materiais | % |
|--------------|-------|
| RCD | 33,00 |
| Açaí | 25,00 |
| Areia de RCD | 25,00 |
| Areia Manaus | 15,00 |
| Cimento | 2,00 |

Tabela 8 – Dosagem da mistura 2.

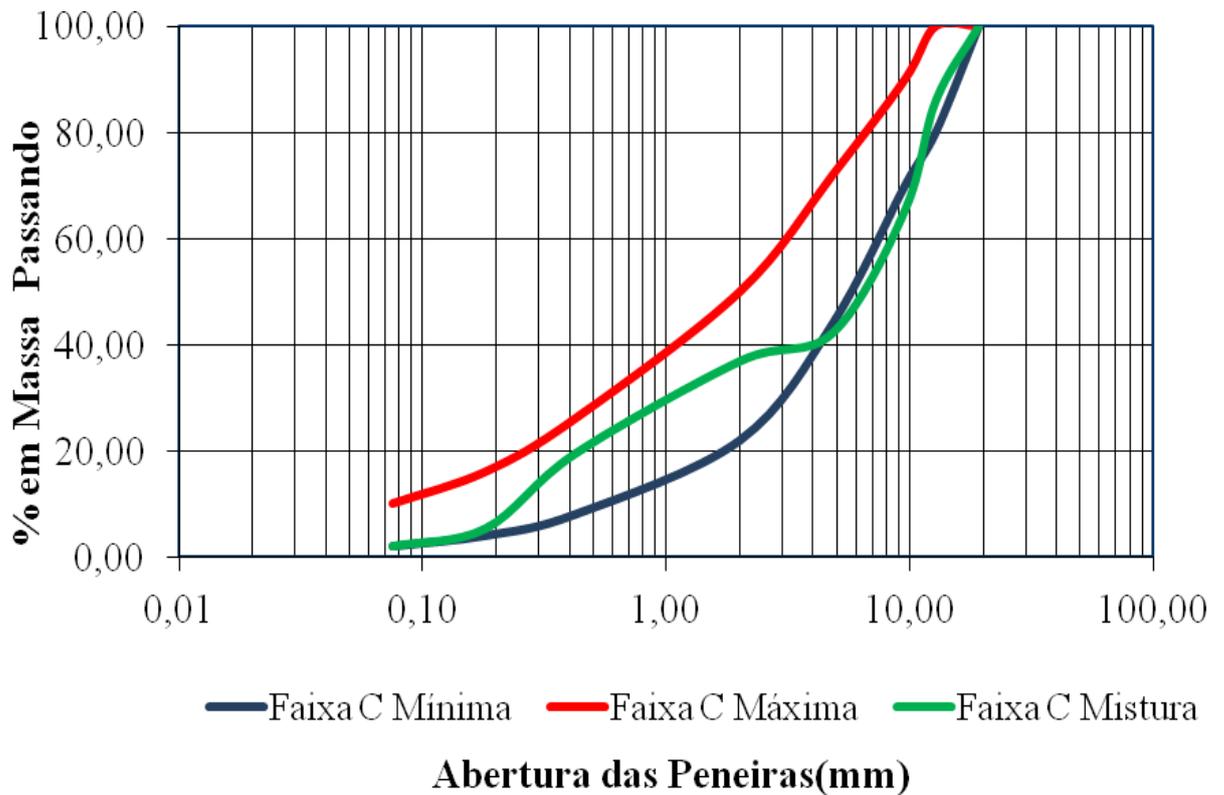


Figura 49 – Enquadramento da mistura com açai.

Na mistura 3, foi utilizado um agregado largamente consumido na cidade de Manaus, seixo rolado. O percentual está indicado na Tabela 9 e seu enquadramento na Faixa C da Norma DNIT 031/2006-ES também está indicado conforme Figura 50.

| Materiais | % |
|--------------|-------|
| Seixo rolado | 66,00 |
| Areia Manaus | 29,00 |
| Cimento | 5,00 |

Tabela 9 – Dosagem da mistura 3. (Silva *et al*, 2010).

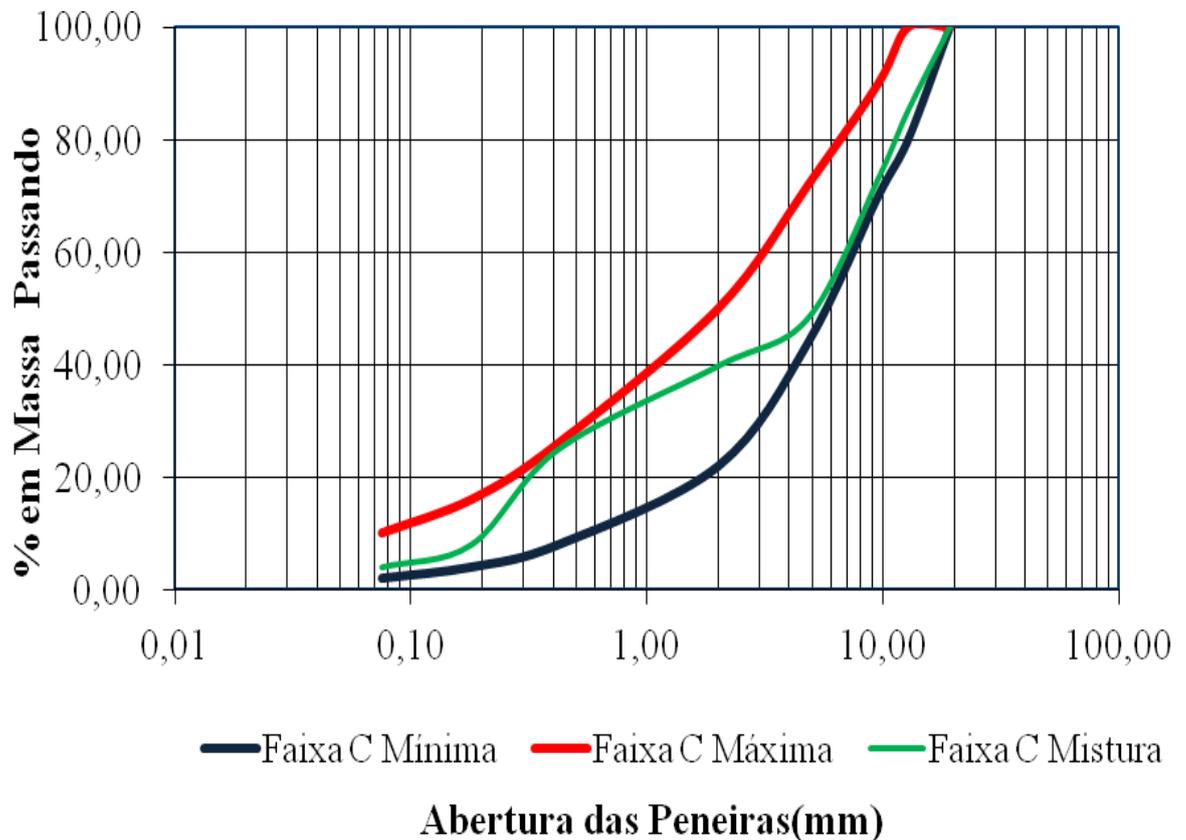


Figura 50 – Enquadramento da mistura com seixo rolado. (Silva *et al*, 2010).

Na mistura 4, foi utilizado um agregado alternativo, Agregado Sinterizado de Argila Calcificada, ASAC. O percentual de cada compósito em sua mistura está indicado na Tabela 10 assim como o seu enquadramento está de acordo com a Figura 51.

| Materiais | % |
|--------------|-------|
| ASAC | 67,50 |
| Areia Manaus | 29,50 |
| Cimento | 3,00 |

Tabela 10 – Dosagem da mistura 4 (Cavalcante *et al*, 2010).

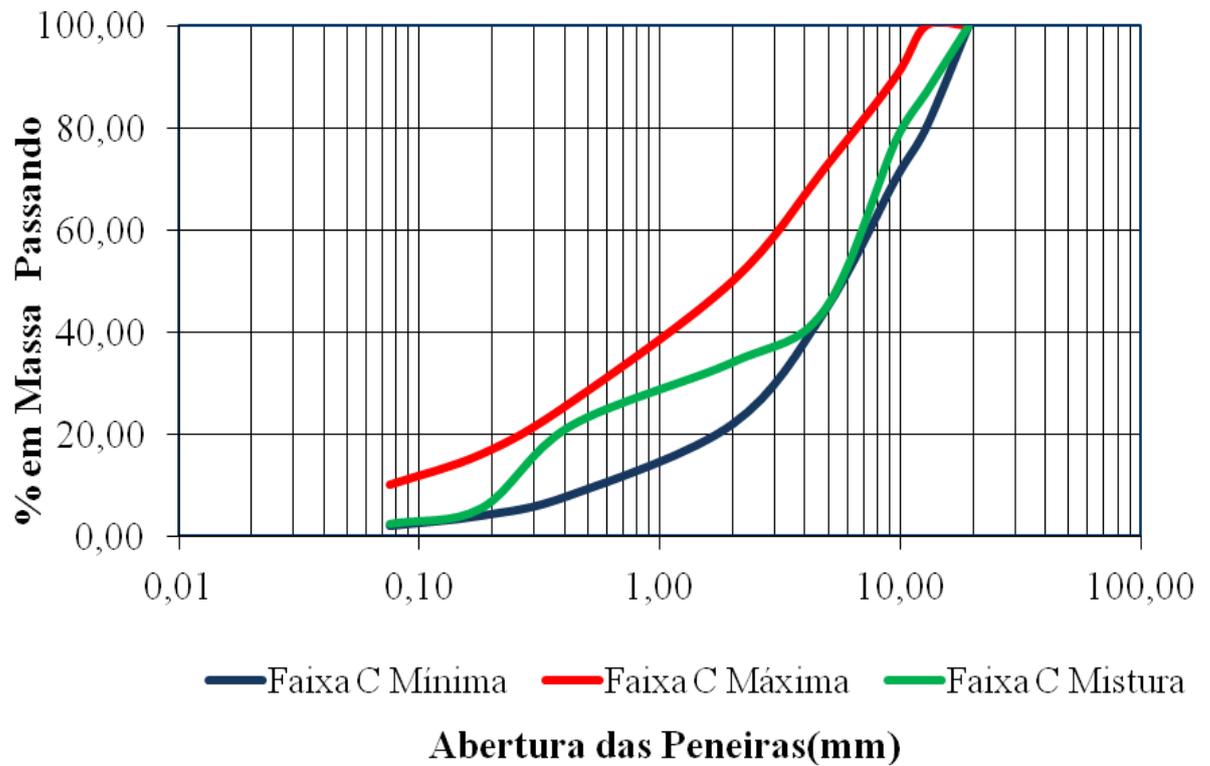


Figura 51 – Enquadramento da mistura com ASAC (Cavalcante *et al*, 2010).

4.4.1.2 Misturas tipo Areia Asfalto Usinado a Quente (AAUQ)

Na mistura 5, o material utilizado foi a areia Manaus com material de enchimento. Este tipo de dosagem é bastante confeccionada na cidade de Manaus, seu percentual está indicado na Tabela 11 e seu enquadramento está de acordo com a Figura 52.

| Materiais | % |
|--------------|-------|
| Areia Manaus | 95,00 |
| Cimento | 5,00 |

Tabela 11 – Dosagem da mistura 5 (Bertoldo *et al*, 2010).

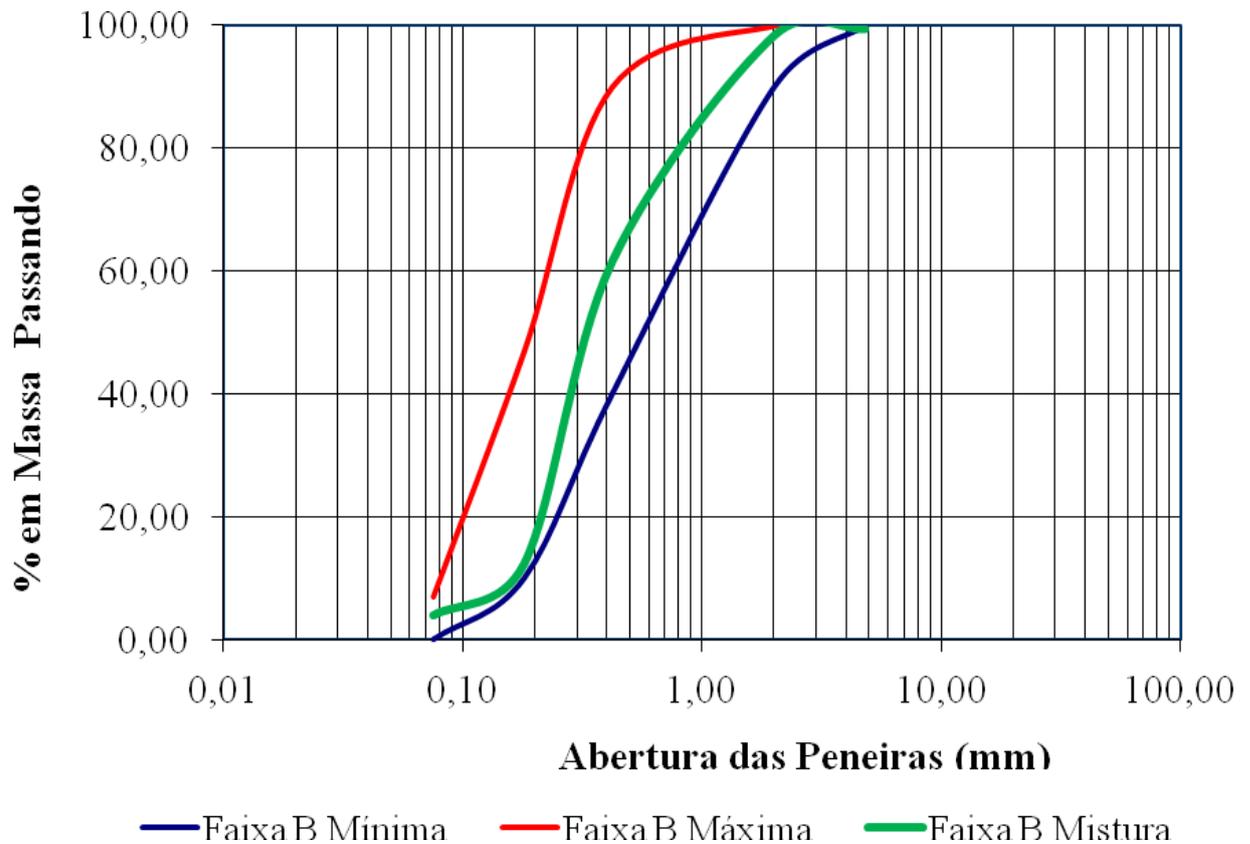


Figura 52 – Enquadramento da mistura com Areia (Bertoldo *et al*, 2010).

Por último, a mistura 6, foi composta de areia de Manaus, areia de RCD e cimento. Seu percentual está indicado na Tabela 12 e seu enquadramento de acordo com a Figura 53. Seu enquadramento somente foi possível na Faixa A da Norma DNIT 032/2005-ES.

| Materiais | % |
|--------------|-------|
| Areia Manaus | 65,00 |
| Areia de RCD | 30,00 |
| Cimento | 5,00 |

Tabela 12 – Dosagem da mistura 6. (Bertoldo *et al*, 2010).

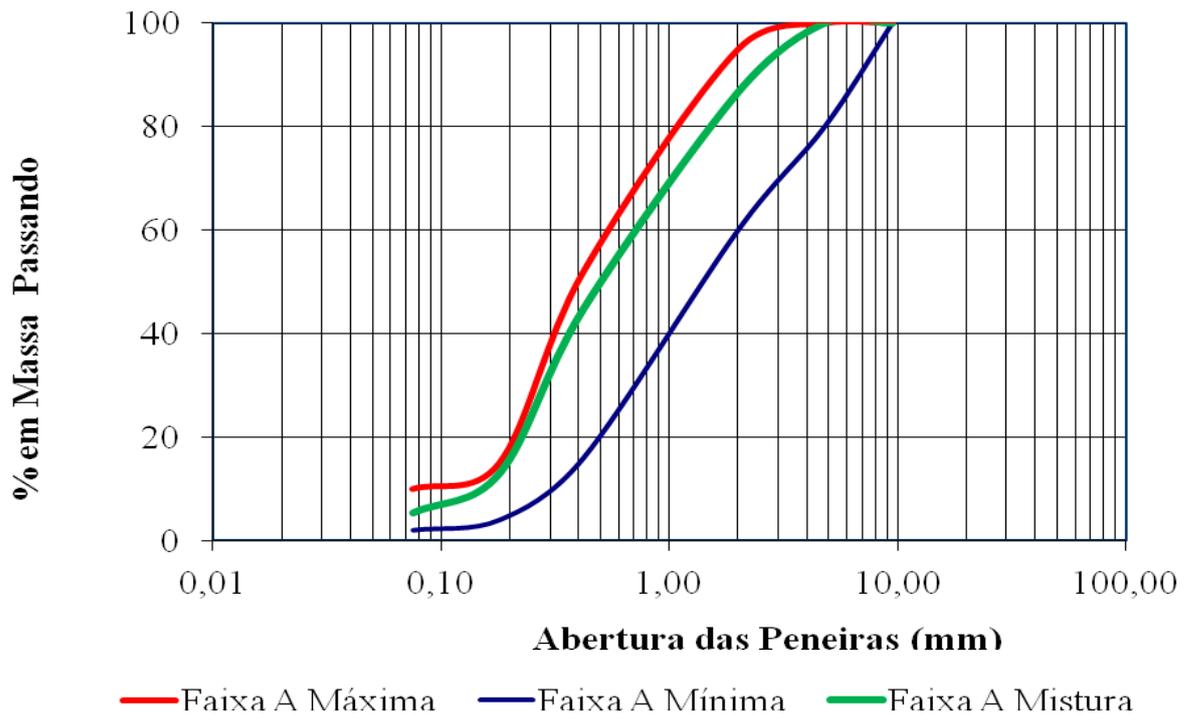


Figura 53 – Enquadramento da mistura com Areia de RCD (Bertoldo *et al*, 2010).

4.4.2 Parâmetros Volumétricos

Após o enquadramento das misturas, partiu-se para a determinação dos teores de ligantes por meio do Método Marshall, Silva (2011) *apud* Soares *et al* (2000). Na dosagem 1, foram calculados 5 teores de asfalto (6,0%, 6,5%, 7,0%, 7,5% e 8,0%), para cada teor de asfalto são moldados 3 corpos de prova, cada um é ensaiado visando a obtenção dos índices físicos: massa seca do corpo-de-prova compactado (M_s), massa de corpo-de-prova compactado na condição de superfície saturada seca, que corresponde ao corpo-de-prova com os poros superficiais saturados, sendo eliminado o excesso de água (M_{ss}), massa de corpo-de-prova compactado na condição de superfície saturada seca e posteriormente submerso em água ($M_{ss_{sub}}$), volume (V), massa específica aparente (G_{mb}), densidade máxima medida (DMM), volume de vazios (VV), vazios com betume (VCB), vazios do agregado mineral (VAM) e relação betume/vazios (RBV), (Bernucci *et al*, 2007). Neste trabalho foi

realizada uma correlação entre os Volumes de Vazios (VV) e as Relações Betume/Vazios (RBV), constantes da Tabela 13. O valor médio da reta do VV (3% e 5%) é rebatido para o eixo das abscissas, da mesma forma para a reta do RBV (75% e 82%), a média dos dois teores centrais de cada reta é o teor de projeto, Figuras 54 a 59. O mesmo procedimento foi adotado para as outras misturas deste trabalho.

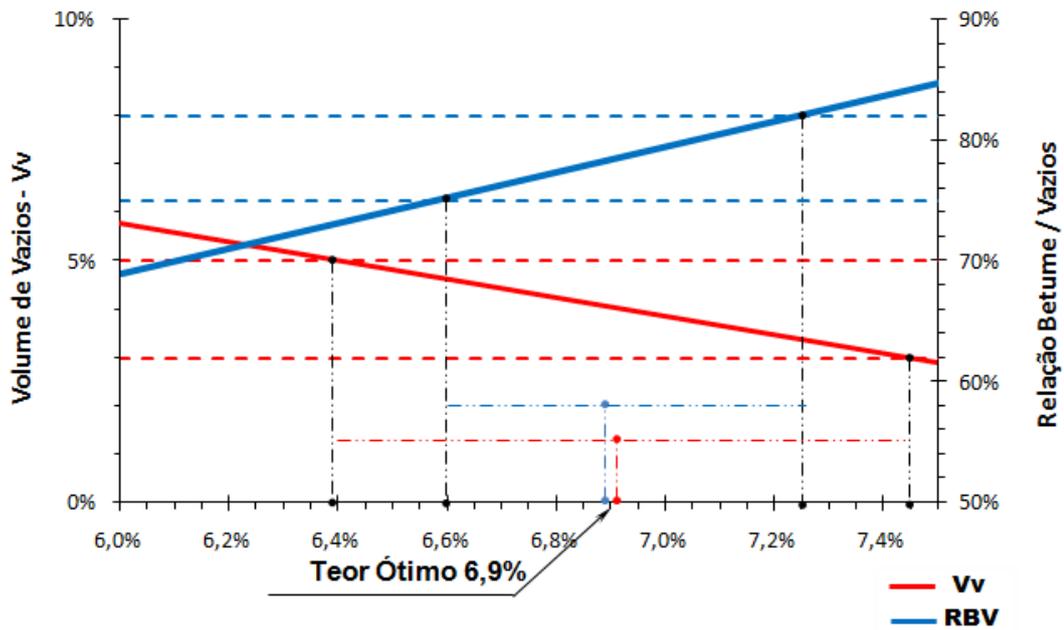


Figura 54 – Determinação do teor ótimo RCD (Oliveira *et al*, 2010).

Na Figura acima está representada a determinação do Teor de ótimo de projeto para a mistura nr 1, com RCD. O teor obtido está dentro do esperado com um valor moderado de ligante asfáltico.

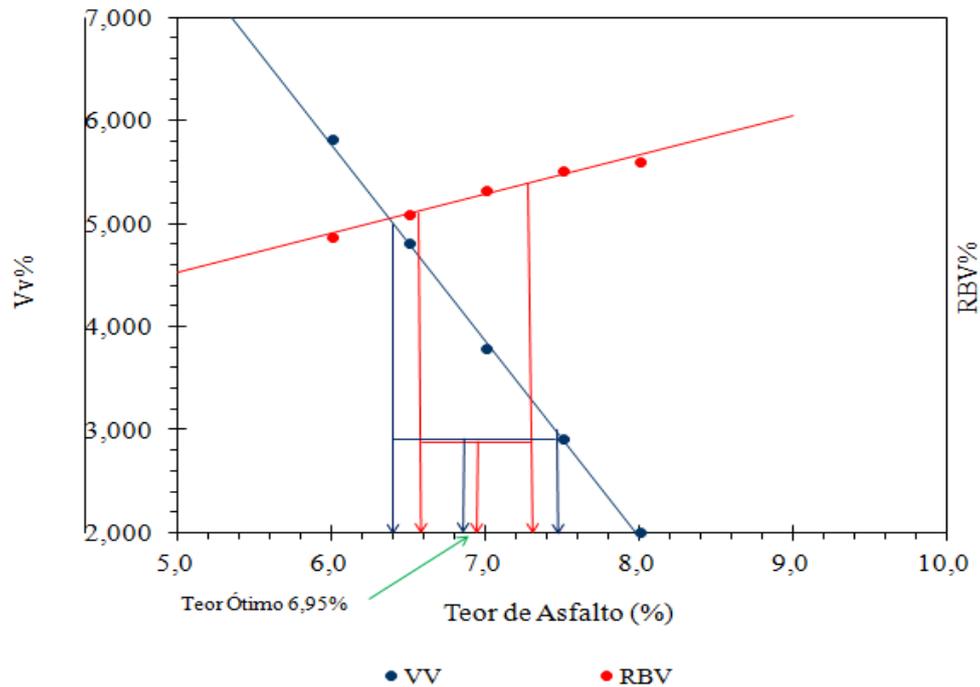


Figura 55 – Determinação do teor ótimo Açai.

Na Figura acima está representada a determinação do Teor de ótimo de projeto para a mistura nr 2, com o material objeto deste trabalho, o açai. Esperava-se obter um valor elevado de ligante, contudo, o valor ficou aproximadamente igual ao da mistura nr 1. Isso demonstra que mesmo se tratando de um material orgânico não houve a absorção de ligante esperada para esta mistura.

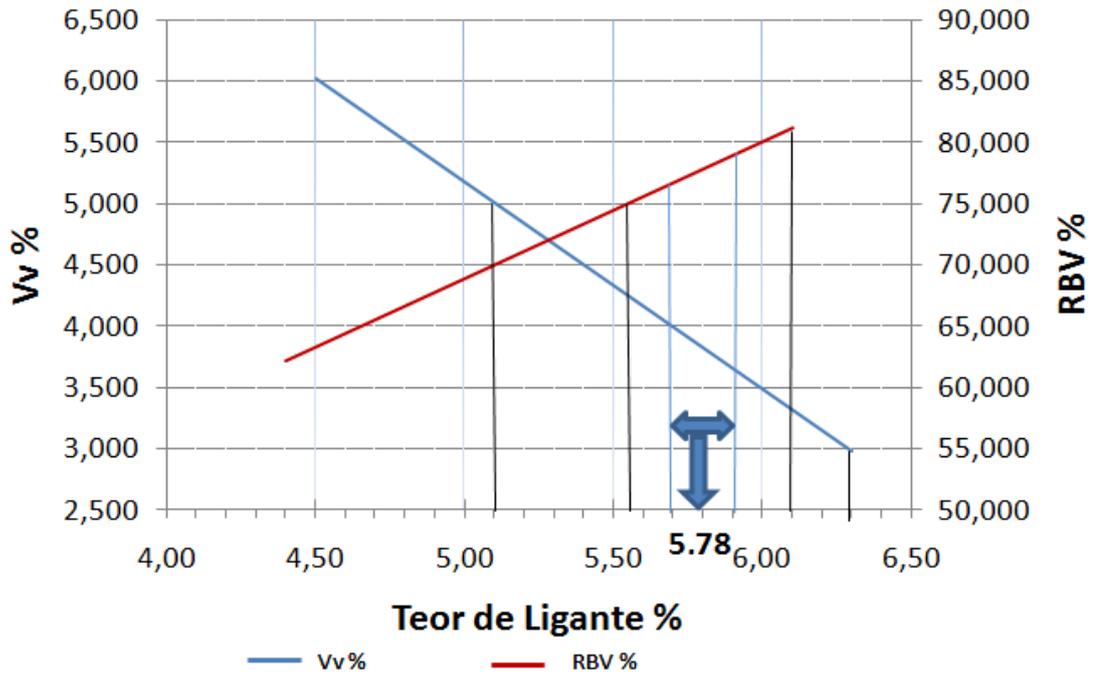


Figura 56 – Determinação do teor ótimo Seixo (Silva *et al*, 2010).

Silva *et al*, 2010, obteve um valor de ligante para a mistura nr 3 considerado normal para o agregado largamente utilizado na região, 5,78%.

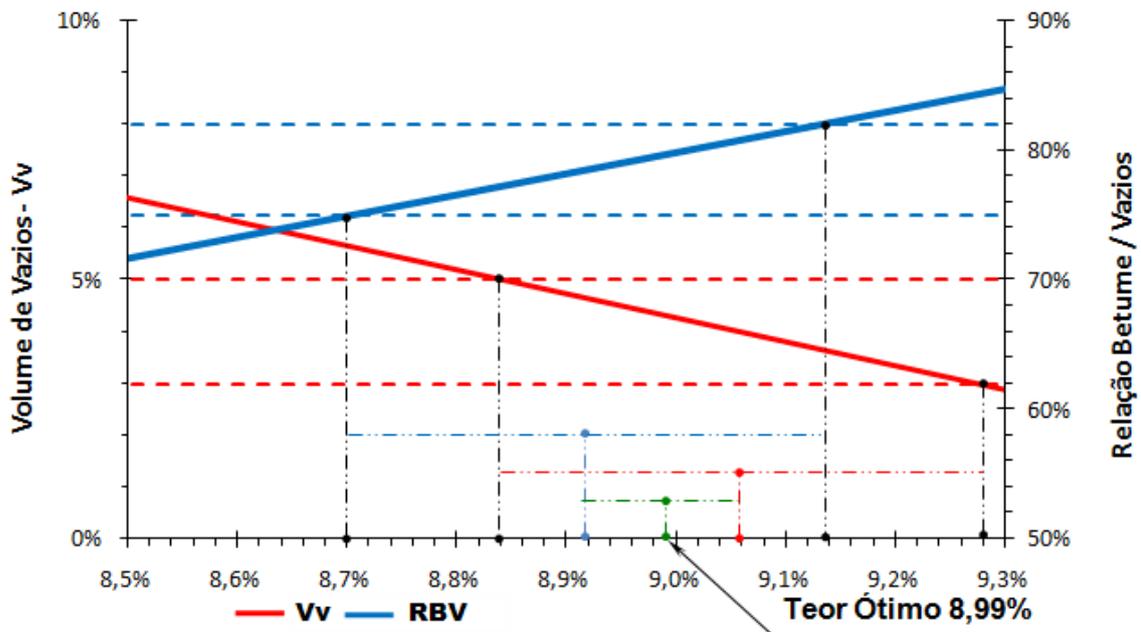


Figura 57 – Determinação do teor ótimo ASAC (Cavalcante *et al*, 2010).

Cavalcante *et al*, 2010, obteve um valor elevado de ligante para o agregado sinterizado de argila calcinada (ASAC), ficando próximo do limite estipulado em norma de 9,0%. Neste caso, o agregado refletiu a alta absorção apresentada nos ensaios de caracterização.

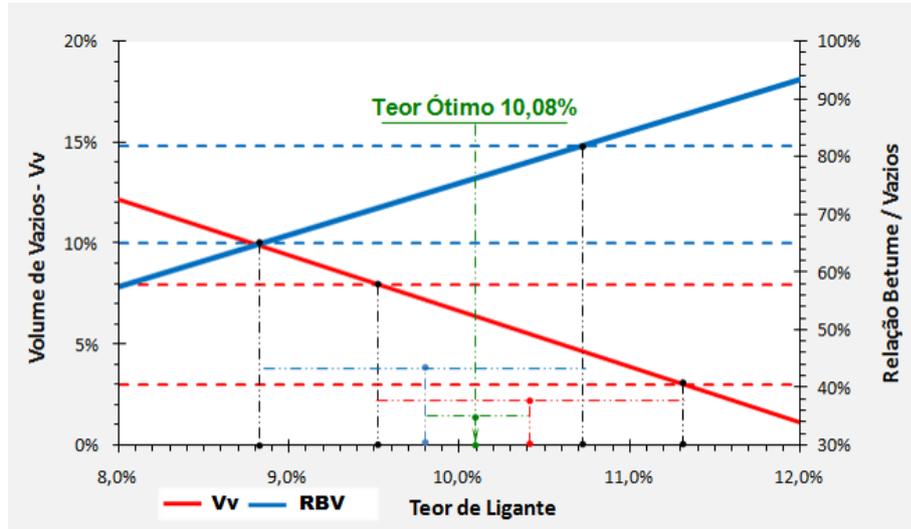


Figura 58 – Determinação do teor ótimo AAUQ (Bertoldo *et al*, 2010).

Nas Figuras 58 e 59, observa-se o alto consumo de ligante proporcionado por misturas asfálticas tipo AAUQ. Este valor já era esperado para estes materiais.

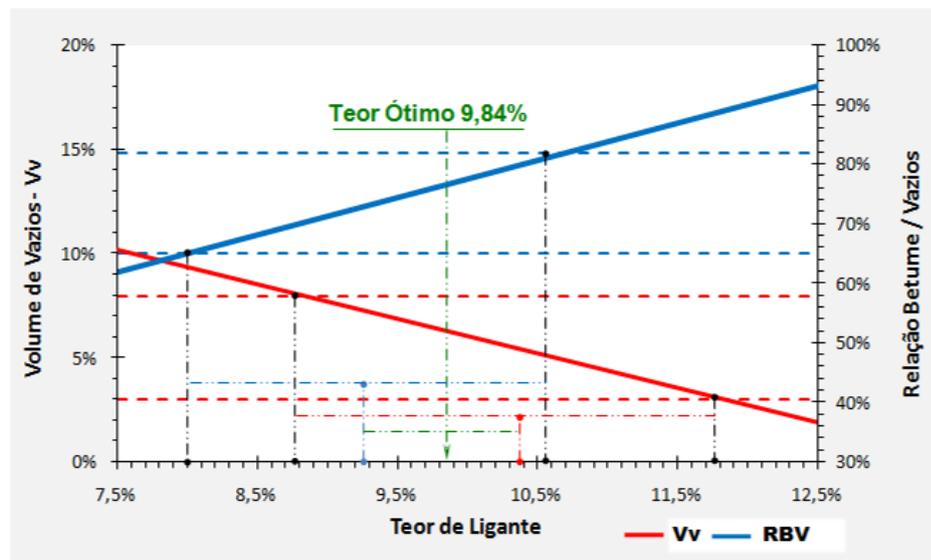


Figura 59 – Determinação do teor ótimo AAUQ+RCD (Bertoldo *et al*, 2010).

| Mistura | Tipo | Teor de Ligante(%) | Vv(%) | RBV(%) | Referências |
|---------|----------|--------------------|-------|--------|----------------------------------|
| 1 | CA | 6,91 | 4,00 | 78,40 | (Oliveira <i>et al</i> , 2010) |
| 2 | CA | 6,95 | 4,04 | 79,30 | - |
| 3 | CA | 5,78 | 3,85 | 77,56 | (Silva <i>et al</i> , 2010) |
| 4 | CA | 8,99 | 4,32 | 79,66 | (Cavalcante <i>et al</i> , 2010) |
| 5 | AAUQ | 10,08 | 6,44 | 76,68 | (Bertoldo <i>et al</i> , 2010) |
| 6 | AAUQ+RCD | 9,84 | 6,35 | 76,60 | (Bertoldo <i>et al</i> , 2010) |

Tabela 13 – Parâmetros volumétricos das Misturas Asfálticas.

A Tabela 13 apresenta resultados satisfatórios em relação aos principais itens da mistura, sejam eles, teor de ligante, Volume de Vazios e Relação Betume Vazios. A Norma DNIT 031/2006-ES estabelece que na Faixa “C”, Concreto Asfáltico, camada de rolamento, os valores de Volume de vazios devem estar compreendidos entre 3 e 5 %, para Relação betume/vazios entre 75 e 82% e o teor de ligante compreendido entre 4,5 e 9,0%. Já a Norma DNIT DNIT 032/2005-ES estabelece que na Faixa “A” ou “B”, AAUQ, revestimento, os valores de Volume de vazios devem estar compreendidos entre 3 e 8 %, para Relação betume/vazios entre 65 e 82% e o teor de ligante compreendido entre 6,0 e 12,0% para a Faixa “A” e 7,0 a 12% para a Faixa “B”. Percebe-se que as misturas tipo AAUQ apresentaram um elevado teor de ligante, característico de suas dosagens. A mistura com ASAC apresentou também um alto consumo, já a mistura 2, objeto da pesquisa, praticamente um teor considerado normal de CAP.

Nesta etapa, durante a moldagem do CPs para a obtenção dos parâmetros volumétricos do caroço de açaí, constatou-se ser inviável moldar os mesmos com os volumes adquiridos na marcha de cálculo da dosagem, pois, o molde Marshall não comporta todo o volume, Figura 60. Para efeito de pesquisa, optou-se em utilizar apenas 50% da massa inicial calculada para o caroço de açaí na moldagem do corpo de prova, Figura 61.



Figura 60 – Material da mistura de acordo com dosagem.



Figura 61 – Material da mistura, 50% de caroço de açaí.

4.5 Ensaios Mecânicos

4.5.1 Resistência à Tração por Compressão Diametral

Para o ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral, Figura 62, todas as misturas obtiveram valores satisfatórios para atendimento aos padrões norteadores utilizados pela Norma DNIT 031/2006-ES, que estabelece um mínimo de 0,65 MPa.

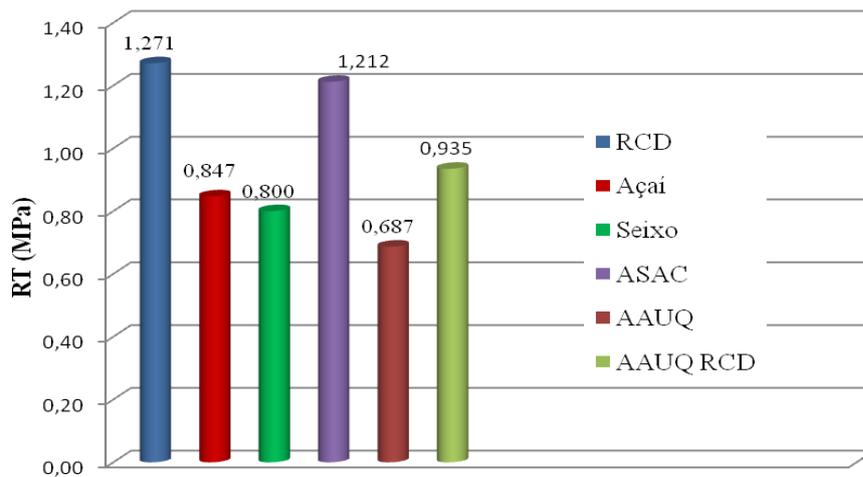


Figura 62 – Valores de RT encontrados (RCD - Oliveira *et al*, 2010), (AAUQ e AAUQ RCD - Bertoldo *et al*, 2010; Valença *et al*, 2011) (Seixo - Silva *et al*, 2010; Silva *et al*, 2011) (ASAC - Cavalcante *et al*, 2010; Cavalcante *et al*, 2011; Ferreira *et al*, 2011;).

De acordo com a Figura 62, o maior índice foi encontrado pela mistura 1, composta de RCD, resultado já aguardado devido ao material possuir em sua composição resíduos de material cimentício. A mistura 4 com ASAC, mostrou um resultado também já esperado, devido à composição de seus agregados e o percentual de cimento em suas misturas, devido à composição interna do corpo de prova e agregados lamelares, há um melhor intertravamentos de seus grãos. A mistura 5 apresentou o menor resultado, devido a sua composição exclusivamente com areia que não propicia um bom desempenho a esforços mecânicos. Com o acréscimo de Areia de RCD na mistura 6, obteve-se um ganho substancial para a referida dosagem, devido este material fino possuir em sua composição material cimentício, proveniente da britagem do concreto armado. O desempenho aqui demonstrado da mistura 2, com parcela de caroço do açai em sua composição, ficou acima do que prescreve a Norma DNIT 031/2006-ES, 0,65 MPa, de Resistência à Tração por compressão diametral, sendo superior inclusive às misturas 3 e 5, composta de seixo rolado e Areia asfalto respectivamente.

Na Figura 63, observamos o comportamento interno do corpo de prova rompido após o ensaio de RT da mistura 2.



Figura 63 – Aspecto do CP da mistura 2 após o ensaio de RT.

De acordo com a Figura 63, podemos analisar os agregados expostos após o término do ensaio de RT, onde nota-se que em “1” o caroço de açai permanece com sua forma original, porém a sua superfície foi descolada quando da realização do ensaio. Vale ressaltar que tal superfície é recoberta por fibras do próprio fruto, indicando que nesta área a semente do fruto do açai foi exposta a tensões. Em “2” nota-se o rompimento do agregado graúdo RCD, indicando que este cisalhou quando da realização do ensaio, ao contrário do seixo rolado de rio, usado atualmente na pavimentação amazense, que possui uma superfície lisa provocando o escorregamento da tensão quando da aplicação do ensaio de RT.

Por fim, em “3” nota-se que diversos caroços de açai suportaram a carga exercida sobre os mesmos, indicando um bom comportamento mecânico para este tipo de esforço mecânico e confirmando os dados do Abrasão *Los Angeles*, quando poucos caroços do fruto

do açaí mantiveram a sua integridade vindo a romper apenas pelo carregamento durante o ensaio.

4.5.2 Módulo de Resiliência

O MR é um parâmetro fundamental no estudo de misturas asfálticas, visto que elucida a rigidez do revestimento. Estudar como um compósito se deforma faz parte do escopo desta pesquisa, sendo a finalidade principal, uma vez que este comportamento (tensão x deformação) dos materiais reflete na durabilidade e vida útil de um pavimento. No ensejo de contribuir com a longevidade dos pavimentos manauenses, apontam-se na Figura 64, resultados do estudo de um dos parâmetros mecânicos que vem sendo apontado pelo meio científico como sugestivo a análise da suscetibilidade ao surgimento das duas principais patologias existentes nas camadas superficiais das vias urbanas locais: a) Trincas por fadiga e b) deformações permanentes excessivas; Com um diferencial que merece destaque, ambas as misturas (1 e 2) utilizam como agregado graúdo, materiais regionais que também se enquadram como passivo ambiental, conforme citado no corpo deste trabalho.

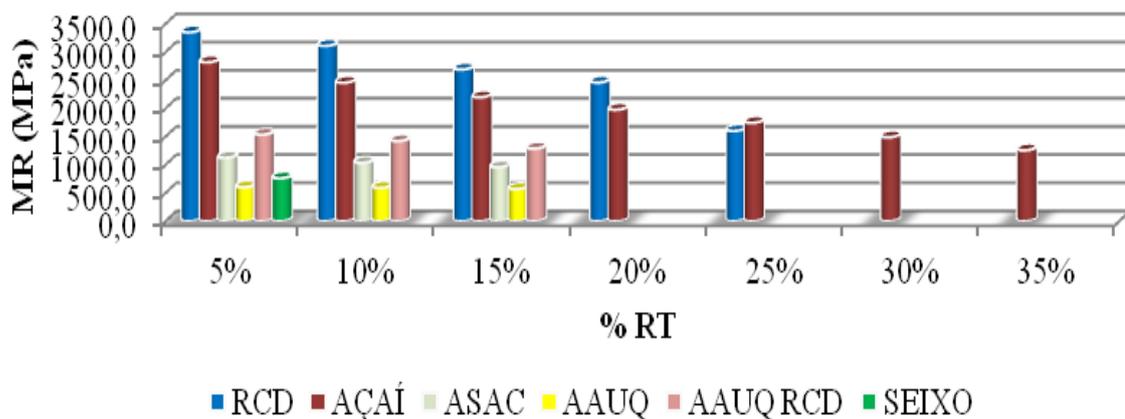


Figura 64 – Módulo de Resiliência obtido para as misturas. (ASAC - Cavalcante *et al*, 2011); (Cavalcante *et al*, 2011); (Frota *et al*, 2011).

A Figura 64 indica que a maioria das misturas suportou apenas 15% de seu RT, já a mistura 2 foi a única a suportar 30% e 35% de seu RT. A mesma mistura 2 com a mistura 1, foram as que obtiveram os maiores valores de módulo, desta forma, sendo menos suscetível à deformações permanentes. “Santos (2007), reporta que quanto maior o nível da tensão aplicada, maior serão as deformações permanentes da amostra” confirmando-se neste trabalho, com a redução do módulo de resiliência percebido em todas as amostras frente ao aumento do percentual de RT aplicado.

Na Tabela 14, observam-se os mesmos resultados agora representados por valores.

| %RT | MR (MPa) | | | | | |
|-----|------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-----------------|
| | RCD (1) | AÇAÍ (2) | SEIXO (3) | ASAC (4) | AAUQ (5) | AAUQ RCD (6) |
| 5 | 3.353,00 | 2.821,00 | 762,33 | 1.126,00 | 604,10 | 1.537,00 |
| 10 | 3.111,70 | 2.458,00 | - | 1.035,25 | 593,30 | 1.424,00 |
| 15 | 2.694,50 | 2.201,00 | - | 959,00 | 570,60 | 1.289,00 |
| 20 | 2.462,00 | 1.980,00 | - | - | - | - |
| 25 | 1.602,30 | 1.747,00 | - | - | - | - |
| 30 | - | 1.490,00 | - | - | - | - |
| 35 | - | 1.260,00 | - | - | - | - |

Tabela 14 – Valores de MR para as Misturas Asfálticas analisadas. (ASAC - Cavalcante *et al*, 2011); (Cavalcante *et al*, 2011); (Frota *et al*, 2011).

A Tabela 14 mostra claramente a baixa capacidade que a mistura 2 possui de se deformar, quando confrontada com as outras misturas. Isto é observado pelo elevado módulo de resiliência que aquela apresenta em relação a esta, nas diferentes taxas de resistência a rupturas aplicadas. No tocante às deformações permanentes, verifica-se que a mistura com o caroço do açaí é mais resistente, uma vez que apresenta rigidez significativa em todos os percentuais de RT estudados. Em contrapartida, pode levar a uma possível tendência à ruptura por fadiga, o que não se verifica nas misturas 3, 4, 5 e 6, que em relação à primeira, possui módulos baixos, configurando-se como ideal aos pavimentos que apresentam prematuras

trincas devido à fadiga (Melo, 2009). É conveniente destacar que a mistura 1, possuindo presença de RCD (Resíduo da Construção e Demolição) que segundo (Melo, 2009), tal agregado reciclado, (a 40 °C) propicia à mistura maior rigidez que os compósitos confeccionados com o seixo (agregado regional). O concreto asfáltico fabricado com o caroço de açai supera em termos de rigidez as demais misturas, configurando-se, dessa forma, uma mistura menos suscetível às deformações plásticas, tornando-se uma opção mais viável a vislumbrar maior vida útil do revestimento na ótica das deformações permanentes.

5 CONCLUSÕES

O Amazonas é o segundo maior produtor de açaí do Brasil. Sua produção cresceu 2.648% em 2011, em breve será o maior produtor, desta forma, contribuindo significativamente com o fornecimento de matéria-prima para a pavimentação.

Por se tratar de material orgânico, o caroço do fruto do açaí apresentou algumas restrições com os ensaios rotineiros na literatura para materiais minerais. Logo, verificou-se que seu manuseio deve ser realizado por pessoas tecnicamente qualificadas.

O emprego do ensaio de Abrasão “*Los Angeles*” não é o mais adequado para caracterizar o caroço do fruto do açaí, o referido ensaio é destinado para materiais minerais.

A retirada de determinado percentual de agregado graúdo (RCD “0”) da mistura asfáltica e, por conseguinte a inserção do caroço do fruto do açaí em sua substituição, não afetou significativamente a resistência mecânica do corpo de prova. Não se tem como objetivo a retirada total do material graúdo dos compósitos e sim a redução de seu percentual.

O caroço do Fruto do Açaí possui uma boa resposta aos esforços mecânicos, considerando que a fibra que o envolve permite melhor aderência, aumentando sua resistência na interface agregado-ligante, por não permitir seu descolamento na presença de esforços mecânicos, além do que apresenta ruptura do mesmo no interior do corpo de prova, indicando que ele foi carregado por tensões. Além dos ganhos já citados, há o valor ambiental, por propiciar a retirada de um material que iria ser lançado ao meio ambiente, agindo desta forma com a preservação do mesmo.

Quanto à presença de diferentes formas de microrganismos nas sementes de açaí credita-se tal fato ao processo de secagem e armazenamento a que essas sementes foram submetidas, pois as mesmas não foram esterilizadas antes do isolamento. Mostrando com isso

que os caroços do fruto do açaí não devem passar um longo período em depósitos antes de serem utilizados.

A Areia de RCD possui um papel fundamental na mistura asfáltica, agindo como material de enchimento. Por ser um material reciclado, diminui o uso da areia convencional extraída dos rios e direciona um material que iria para o descarte e utiliza-o para outro fim.

O emprego do seixo rolado como agregado nas misturas asfálticas implica não apenas impacto ambiental, como também, opção de menor valor técnico.

Misturas asfálticas confeccionadas com agregados sinterizados de argila calcinada (ASAC) apresentam tendência maior ao consumo de ligante, tendo-se em vista seu alto potencial de absorção.

5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Como sugestão para outros trabalhos, indica-se:

- 1) Aplicação do agregado alternativo, caroço de açaí, em conjunto com o seixo rolado.
- 2) Realização dos ensaios de *Creep* estático e dinâmico com a referida mistura asfáltica.
- 3) Verificar o comportamento do caroço de açaí quando utilizado para estabilização de solo, química, com emulsão asfáltica tipo RR-2C.
- 4) Confeção de um trecho experimental com a dosagem do caroço de açaí para obtenções de dados de campo.
- 5) Por meio de convênios, utilizar a referida mistura para pavimentar bosques, praças e locais com baixo volume de tráfego.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, O.R. 1922. Reconhecimento no Vale do Amazonas. *Bol. Serv. Geol. e Mineral.* Rio de Janeiro, 3:1-84.

ALVES, Rafaela Cristina Barata. Utilização de rejeitos do beneficiamento de açaí (euterpe oleracea) para obtenção de aroma de coco por trichoderma harzianum. Rio de Janeiro, 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos). Instituto de Química Universidade Federal do Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregado em estado compactado seco: Determinação da massa unitária, NBR 7.810. Rio de Janeiro, 1983.

_____. Agregado em estado solto seco: Determinação da massa unitária, NBR 7.251. Rio de Janeiro, 1982.

_____. Agregados: Determinação da composição granulométrica, NBR 7.217. Rio de Janeiro, 1987.

_____. Solos e Rochas, NBR 6.502. Rio de Janeiro, 1995.

ASTM. Specif Gravity and Absorption of Coarse Aggregate, T 85. Washington, DC, 1978.

_____. Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, T 27. Washington, DC, 1984.

_____. Bulk Specific Gravity of Compacted Bituminous Mixtures Using Saturated Surface-Dry Specimens, T 166. Washington, DC, 2005.

_____. Bulk specific gravity of compacted hot mix asphalt (HMA) using paraffin-coated specimens, T 275. Washington, DC, 2007.

_____. Determining resilient modulus of bituminous mixtures by indirect tension, TP 31. Washington, DC, 1996.

_____. Ductility of bituminous materials, D 113. Washington, DC, 1999.

_____. Resistance of compacted bituminous mixture to moisture induced damage, T 283. Washington, DC, 1989.

_____. Standard Practice for Unit Weight and Voids in Aggregate, T 19. Washington, DC, 1997.

_____. Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures, T 209. Washington, DC.

_____. Effect of heat and air on a moving film of asphalt (rolling thin-film oven test), D 2872. Washington, DC, 1997.

_____. Flash and fire points by Cleveland open cup tester, D 92. Washington, DC, 2005.

_____. Indirect tension test for resilient modulus of bituminous mixtures, D 4123. Washington, DC, 2002.

_____. Softening point of bitumen: ring-and-ball apparatus, D 36. Washington, DC, 1995.

_____. Solubility of asphalt materials in trichloroethylene, D 2042. Washington, DC, 2001.

_____. Specific gravity and absorption of fine aggregate, T 84. Washington, DC, 1975.

_____. Standard test method for resistance to degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles machine, C 131. Washington, DC, 2001.

_____. Standard test method for penetration of bituminous materials, D 5. Washington, DC, 1997.

_____. Standard test method for Saybolt-Furol viscosity of bituminous materials at high temperatures, E 102. Washington, DC, 2003.

_____. Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures, D 2041. Washington, DC, 2003.

_____. Viscosity determination of asphalt at elevated temperatures using a rotational viscosimeter, D 4402. Washington, DC, 2002.

BARKSDALE, R.D.; ALBA, J.; KHOSLA, N.P.; KIM, R.; RAHMAN, M.S. Laboratory determination of resilient modulus for flexible pavement design. Project 1-28, final Report, Georgia Tech Project E20-634, USA, 1997.

BENTO, A.H e FROTA, C.A. Mapeamento Geotécnico da Área Urbana de Manaus em seu Aspecto Ambiental.. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, 4, 1999, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: ABGE/ABMS, 1999. v. 1, p. 71-77.

BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B. Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros. 1ª. Ed. ABEDA e Petrobras, Rio de Janeiro, 2007.

BERTOLDO, R. A. D. G. SOUZA, R. J. Q. CUNHA, T. M. F. FROTA, C. A. Influência do polímero SBS na resistência à tração de misturas asfálticas utilizando areia de resíduos de construção e areia residual para o município de Manaus-Am. In: 4º CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. São Paulo, SP, 2010.

BRITO, L.A.T. Avaliação e análise paramétrica do ensaio de compressão diametral sob cargas repetidas em misturas asfálticas. 2006. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BRITO, M. J. C. Processo de compostagem de resíduos urbanos em pequena escala e potencial de utilização do composto como substrato. Dissertação de Mestrado. Universidade Tiradentes, UNIT. 20080.

CAVALCANTE, D. G.; SOUZA, R. J. Q.; CUNHA, T.M.F.; FROTA, C. A. Estudo da Resistência à Tração de Misturas Asfálticas utilizando ligante modificado com SBS e agregados sinterizados de argila calcinada para construção das vias urbanas de Manaus-AM. In: 4º CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. São Paulo. CONINFRA 2010.

CAVALCANTE, D. G.; SOUZA, R. J. Q.; CUNHA, T. M. F.; GUIMARÃES, D. M. D.; FROTA, C. A. . Composição de misturas asfálticas com ligante modificado por polímeros (SBS e EVA) e agregados sinterizados de argila calcinada (ASAC) para Manaus-AM. In: REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA. Porto Alegre. 17 RPU, 2011.

CAVALCANTE, D. G.; SOUZA, R. J. Q.; FERREIRA, M. R. P.; FROTA, C. A.; FORTES, R. M.. Avaliação de misturas asfálticas por meio do módulo de resiliência confeccionadas com agregados sinterizados de argila calcinada e ligante modificado com SBS para as vias urbanas de Manaus-AM. In: CONGRESSO IBERO LATINO AMERICANO DE ASFALTO, Rio de Janeiro. XVI CILA, 2011.

CAVALCANTE, D. G.; SILVA, L. C. P.; SOUZA, R. J. Q.; GUIMARÃES, D. M. D.; FROTA, C. A. Efeito da adição do polímero EVA nas propriedades reológicas do cimento asfáltico de petróleo aplicado em Manaus-AM. In: 6º CONGRESSO BRASILEIRO DE P & D EM PETRÓLEO E GÁS. Santa Catarina, 2011.

CAVALCANTE, D. G.; SOUZA, R. J. Q.; SILVA, C. L.; VALENÇA, P. M. A.; FROTA, C. A. Comportamento de misturas asfálticas confeccionadas com agregados sinterizados de

argila calcinada para a construção de pavimentos na Amazônia. In: 5º CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. São Paulo. CONINFRA 2011.

COSTA, Clauber José B. da Mistura Asfáltica com o Uso de Areia de Fundição de Ferro Descartada/ Clauber José B. da Costa – Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2008.

CRISÓSTOMO, P. H. S.; SOUZA, R. J. Q.; FERREIRA, M. R. P.; GUIMARÃES, D. M. D.; FROTA, C. A. A Influência da cal de carbureto nos parâmetros físicos da dosagem Marshall. In: 5º CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2011, SÃO PAULO. CONINFRA 2011.

CUNHA, G. M. Informações de mercado sobre frutas tropicais: Açaí. Unidade de Acesso a Mercados, SEBRAE, 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Agregado graúdo para concreto de cimento, EM 037. Rio de Janeiro, 1997.

_____. Agregado graúdo: Adesividade a ligante betuminoso, ME 078. Rio de Janeiro, 1994.

_____. Agregados: Determinação da abrasão *Los Angeles*, ME 054. Rio de Janeiro, 1998.

_____. Material finamente pulverizado: Determinação da massa específica real, ME 085. Rio de Janeiro, 1994.

_____. Misturas betuminosas: Determinação do módulo de resiliência, ME 133. Rio de Janeiro, 1994.

_____. Misturas betuminosas: Determinação da resistência à tração por compressão diametral, ME 138. Rio de Janeiro, 1994.

_____. Misturas betuminosas a quente: Ensaio Marshall, ME 043. Rio de Janeiro, 1995.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES.
Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico: Especificação de Serviço, ES 031. Rio de Janeiro, 2006.

FERREIRA, A. F. T. A.; MIRANDA, I.P. A.; MELO, Z. L. O.; BARBOSA, E. M. Avaliação da germinação de sementes de *Euterpe precatoria* Martius. XIX JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA PIBIC INPA - CNPq/FAPEAM Manaus – 2010

FROTA *et al.* Utilização de agregado de resíduo de construção civil como substituto do agregado natural para estabilização do solo argiloso superficial de Manaus. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL- REGEO2003, Porto Alegre, 2003.

FROTA, C.A.; NUNES, F.R.G.; MENTA, C.O. Utilização de entulho reciclado em Misturas asfálticas para a região de Manaus-Am. In: REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA, 12. Aracaju. Anais (CD-ROM). Rio de Janeiro: ABPv, 2003a.

FROTA, C.A.; NUNES, F.R.G.; SANTOS, M.G.R.; CANTANHEDE, B.P. Utilização de Agregados de Resíduos da Construção Civil como Substituto do Agregado Natural para Estabilização do Solo Argiloso Superficial de Manaus. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, V. Porto Alegre. Anais (CD-ROM), Rio de Janeiro: ABMS, 2003b.

FROTA, C.A.; NUNES, F.R.G. Estudo da Cal de Carbureto como Filler em Misturas Asfálticas. In: REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA, 12, 2003, Aracaju. Anais (CD-ROM). Rio de Janeiro: ABPv, 2003c.

FROTA, C.A.; ALENCAR, C.L.S.; SILVA, C.P.L. Influência do Tipo de Agregado na Qualidade Técnica de Misturas Asfálticas. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 35, 2004, Rio de Janeiro. Anais (CD-ROM). Rio de Janeiro: ABPv, 2004a.

FROTA, C.A.; SILVA, C.P.L. Estudo de misturas betuminosas com entulho reciclado, fracionado e não fracionado. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 35, 2004, Rio de Janeiro. Anais (CD-ROM). Rio de Janeiro: ABPv, 2004c.

FROTA, C. A. ; MELO, D. M. ; NUNES, F. R. G. . Análise da Influência da Capacidade de Absorção do Resíduo Processado da Construção Civil na Determinação de Índices Físicos de Misturas Asfálticas. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 36, 2004, Curitiba. Anais (CD-ROM). Rio de Janeiro: ABPv, 2005a.

FROTA, C.A.; MELO, D.M.; NUNES, F.R.G. Análise do comportamento mecânico de misturas asfálticas com resíduo processado da construção civil. In: JORNADAS LUSO-

BRASILEIRAS DE PAVIMENTOS, V, 2006, Recife. Anais (CD-ROM). São Paulo: ANDIT, 2006.

FROTA, C.A.; MELO, D.M.; SILVA, C.L.; DANTONA, D.M.; NUNES, F.R.G.; SANTOS, M.G.R. Estudo da resistência à tração de misturas confeccionadas com agregados reciclados. In: CONGRESSO DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES, São Paulo, 2007a.

FROTA, C.A.; MELO, D.M.; SILVA, C.L.; SANTOS, M.G.R. Avaliação da substituição do seixo rolado por agregados alternativos em misturas asfálticas para Manaus. In: JORNADAS LUSO-BRASILEIRAS DE PAVIMENTOS, VI. Porto. Anais (CD-ROM). Porto: FEUP, 2007b.

FROTA, C.A.; MELO, D.M.; SILVA, C.L.; NUNES, F.R.G. Avaliação do atrito em misturas asfálticas utilizando resíduos de construções e demolições em Manaus-AM. In: JORNADAS LUSO-BRASILEIRAS DE PAVIMENTOS, VI. Porto. Anais (CD-ROM). Porto: FEUP, 2007c.

FROTA, C.A.; MELO, D.M.; DANTONA, D.M. Influência da temperatura nas misturas asfálticas com resíduos de vonstrução e demolição. In: JORNADAS LUSO-BRASILEIRAS DE PAVIMENTOS, VI, Porto. Anais (CD-ROM). Porto: FEUP, 2007d.

FROTA, C.A.; NUNES, F.R.G.; SILVA, C.L.; MELO, D.M.; SANTOs, M.G.R. Desempenho mecânico de mistura asfálticas confeccionadas com agregados sintéticos de argila calcinada. Cerâmica, v. 53, p. 255-262, 2007b.

FROTA, C.A.; SOUZA, R.J.Q.; CAVALCANTE, D.G.; VALENÇA, P. M. A. Resíduos da Construção Civil Regional como Agregado para os Pavimentos na Região Norte. Prêmio Prof. Samuel Benchimol, 3º Colocado, Categoria Econômica/Tecnológica, Ed. 2011, Macapá-AP.

HUANG, Y. H.. Pavement Analysis and Design. Prentice Hall, Englewood Cliffs. New Jersey, 1993

IBGE, Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2011. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Posição ocupada pelos 100 maiores municípios em relação ao Produto Interno Bruto a preços correntes e participações percentuais relativas e acumuladas, segundo os municípios e respectivas Unidades da Federação. Disponível:
<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pibmunicipios/2005/tab02.pdf>. Capturado: 07/09/2011.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura. Disponível:
http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1052.
Capturado: 30/09/2011.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2008-2009, Publicado em 2010. Disponível:

(http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1760&id_pagina=1). Capturado: 30/09/2011.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Unidades Da Federação. Disponível: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=am#>. Capturado: 02/10/2011.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Estatística da População, censo 2010. Disponível: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas_pdf/total_populacao_amazonas.pdf. Capturado: 02/10/2011.

JESUS, A.C.S.; Desenvolvimento de pomada cicatrizante à base do extrato de açaí. In: IV Jornada de Ciencia & Tecnologia, 2012, Rio de Janeiro, Centro Universitário Estadual da zona Oeste.

JUNIOR. U.M. L. Fibras da semente do açaizeiro (*Euterpe Oleracea* Mart.): Avaliação quanto ao uso como reforço de compósitos fibrocimentícios. Dissertação de Mestrado. PUC Rio Grande do Sul. 2007.

JUNIOR, O. F. C. Produção de carvão ativado a partir de produtos residuais da espécies nativas da região Amazônica. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2010.

JUNIOR, T. C.; Estudos das propriedades mecânicas de misturas asfálticas convencionais e modificadas. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre-RS, 2008.

KIM, Y.R.; WEN, H. Fracture Energy From Indirect Tension Testing. In THE ASSOCIATION OF ASPHALT PAVING TECHNOLOGISTS, 2002. Proceedings. 2002. 18p.

LICHTENTHALER, R., Rodrigues, R. B., Maia, J. G., Papagiannopoulos, M., Fabricius, H., Marx, F.; Total oxidant scavenging capacities of Euterpe oleracea Mart. (Açaí) fruits. Int J Food Sci Nutr, n.56, p.53-64, 2005.

LUCZYNSKI, M. Estudo da viabilidade econômica para a utilização da semente da Euterpe Oleracea Mart. (Açaí) como recurso energético. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará. 2008.

MELO, D.M. Estudo do resíduo de construção e demolição oriundo do Município de Manaus-AM em misturas asfálticas. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amazonas - UFAM. 238 pg. 2009.

MUECNH, S.T. (2005) *et al.* Maintenance and Rehabilitation of Low-Volume Pavements in Washington State. 84 Annual Meeting. Transportation Research Board of the National Academies. Washington, D.C.

OLIVEIRA, B. C.; BERTOLDO, R. A.; SOUZA, R. J. Q.; GUIMARÃES, D. M. D.; FROTA, C. A. . Utilização de resíduos de construção (RCD) e ligante modificado com SBS em misturas asfálticas para a cidade de Manaus-Am. In: 40a. REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Rio de Janeiro, RJ, ABPV, 2010.

PICANÇO, H.M.; CARTAXO, E.F.; FROTA, C.A.; PEREIRA, P.H.S.; Refletividade, radiação solar e temperatura em diferentes tipos de revestimentos das vias urbanas no Município de Manaus(AM). In: CONINFRA 2011 - 5º Congresso de Infraestruturas de Transportes, São Paulo, 2011.

RIBAS, L.F. Caracterização dos resíduos de construções residencias de multipavimentos da cidade de Manaus. 2008. 127p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

RIBEIRO, G. D. Açaí solteiro, açaí do Amazonas (*Euterpe precatoria*), uma boa opção de exploração agrícola em Rondônia. 2008. Disponível: http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./agropecuario/index.html&conteudo=./agropecuario/artigos/acai_solteiro.html.

RODRIGUES, R. B.; LICHTENTHALER, R.; ZIMMERMANN, B. F.; PAPAGIANNPOULOS, M.; FABRICIUS, H.; MARX, F.; MAIA, J. G.; ALMEIDA, O.; Total oxidant scavenging capacity of *Euterpe oleracea* Mart açaí seeds and indentification of their polyphenolic compounds. *J Agric Food Chem*, v. 54, n. 7, p. 4162, 2006.

RODRIGUES, Wallace da Costa. Estudo sobre a Viabilidade Técnica e Econômica da Utilização de Resíduo Industrial de Ardósia em Misturas Asfálticas do Tipo Pré- Misturado a Frio / Wallace da Costa Rodrigues – Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2009.

SANTOS, M. G. R. Estudo de agregado sintético de argila calcinada para uso em revestimentos asfálticos para Manaus. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Manaus, 2007.

SILVA, C. L. Módulo dinâmico de misturas asfálticas confeccionadas com agregados sinterizados de argila calcinada. Manaus, 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2011.

SILVA, L. C. P.; SOUZA, R. J. Q.; VALENÇA, P. M. A.; SOUZA, A. P. S.; FROTA, C. A. Estudo mecânico por meio do módulo de resiliência de misturas asfálticas confeccionadas com seixo, brita e ligante modificado com SBS aplicados a pavimentação das vias urbanas de Manaus-AM. In: CONGRESSO IBERO LATINO AMERICANO DE ASFALTO, 2011, Rio de Janeiro. XVI CILA, 2011.

SILVA, Lourdes Cristina Porfírio; SOUZA, Reginaldo José Queiroz; CUNHA, Tayana Mara Freitas; FROTA, Consuelo Alves. Avaliação da resistência à tração de misturas asfálticas utilizando agregado regional e ligante modificado com SBS para Manaus-AM - CONINFRA – 4º CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2010,

SILVA, L. C. P.; SOUZA, R. J. Q.; BERTOLDO, R. A.; SILVA, O. C.; FROTA, C. A. Avaliação de misturas para revestimento asfáltico por meio do parâmetro da deformação permanente para o Município de Manaus-AM. In: 5º CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2011, SÃO PAULO. CONINFRA 2011, 2011.

SOUZA, R. J. Q. ; CAVALCANTE, D. G. ; BERTOLDO, R. A. ; VALENÇA, P. M. A.; SILVA, C. L. ; FROTA, C. A. Análise da resistência a compressão triaxial estática de solos para Manaus-AM. In: 5º CONGRESSO DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2011, SÃO PAULO. CONINFRA 2011, 2011.

SEED, H.B.; CHAN, C.K.; LEE, C.E. Resilience characteristics of subgrade soils and their relation to fatigue failures in asphalt pavements. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE STRUCTURAL DESIGN OF ASPHALT PAVEMENTS, 1962. Proceedings. Ann Arbor, USA, 1963. p. 611-36.

ZHANG, W.; DRESCHER, A.; NEWCOMB, D.E. Viscoelastic analysis of diametral compression of asphalt concrete. Journal of Engineering Mechanics, v. 123, n. 6, p. 596-603, 1997.