

Dosagens para Misturas Asfálticas tipo SMA com Resíduos Industriais

André Sales Mendes

Grupo de Geotecnia/UFAM, Manaus, Brasil, andresalesmendes@gmail.com

Jander Joia de Figueiredo Costa Júnior

Grupo de Geotecnia/ UFAM, Manaus, Brasil, jander_junior@hotmail.com

Patrícia de Magalhães Aragão Valença

Grupo de Geotecnia/ UFAM, Manaus, Brasil, patriciamavalenca@hotmail.com

Consuelo Alves da Frota

Grupo de Geotecnia/ UFAM, Manaus, Brasil, cafrota@ufam.edu.br

RESUMO: O revestimento do tipo Matriz Pétreo Asfáltica, ou Stone Matrix Asphalt (SMA), se caracteriza por uma mistura com grande quantidade de agregado graúdo. Acarreta, em geral, alto custo, notadamente no Município de Manaus (AM), onde a escassez de material pétreo eleva consideravelmente os custos logísticos e de extração. Isto posto, neste trabalho analisou-se esse tipo de composição com a participação de resíduos industriais, segundo as especificações descritas pela National Asphalt Pavement Association (NAPA) e Superior Performing Asphalt Pavement (Superpave), e pela norma DNER-ME 43/1995 que, no Brasil, norteia a metodologia Marshall. Utilizaram-se dois materiais alternativos ao agregado pétreo regional (brita), os resíduos de construção e demolição (RCD), e subprodutos cerâmicos (proveniente de tijolos, telhas), além de descartes da fibra do Curauá. É importante salientar que o processo de dosagem relativo à mistura com o RCD seguiu as especificações Marshall, e o compósito com resíduos cerâmicos acompanhou a metodologia Superpave. Também fizeram parte das composições os materiais recentemente empregados na construção das vias públicas de Manaus, quais sejam, o agregado graúdo granítico, o CAP 50/70, a areia residual e o cimento portland. Buscou-se caracterizar os materiais quanto: sua granulometria, densidade e absorção. Analisaram-se os corpos de prova segundo suas densidades – *Maximum Specific Gravity* (Gmm) e *Bulk Specific Gravity* (Gmb); e segundo os parâmetros Volume de Vazios (Vv), Vazios Agregado Mineral (VAM) e Relação Betume Vazios (RBV). Caracterizou-se o cimento asfáltico de petróleo (CAP) de acordo com o prescrito pela Agência Nacional de Petróleo e Biocombustíveis (ANP). Os principais resultados mostraram: a composição com a presença do material RCD apresentou dosagem igual a 75% de agregados graúdos, 15% de miúdos, 10% de fíler e 6,88% de teor de CAP; referente à mistura com resíduos cerâmicos obteve-se 81,35% de agregados graúdos, 9,90% de agregados miúdos, 8,75% de fíler e teor de projeto de 14,9%; e a composição com a brita tendo a mesma dosagem mineral da mistura com o descarte de construção, registrou-se 6,50% para o teor de projeto. Calcularam-se tais dosagens relativas ao volume de vazios igual a 4%.

PALAVRAS-CHAVE: Matriz Pétreo Asfáltica, Resíduos de Construção e Demolição, Resíduos Cerâmicos, Mistura Asfáltica.

1 INTRODUÇÃO

Segundo estudos realizados pela Confederação Nacional dos Transportes (2015), concernente ao

pavimento, 16,7% das rodovias do Estado do Amazonas são classificadas como péssimas, 36,8% como ruins, 32% como regulares, e apenas 14,5% como boas ou ótimas.

Corroborar para tal situação as características geotécnicas da região, que apresenta ínfimos afloramentos rochosos superficiais. Aliado a isso, é importante destacar os custos alusivos aos fatores logísticos, estes associados à extração e transporte das matérias primas utilizadas na confecção de compósitos asfálticos. VALENÇA (2012) ressalta que a jazida de brita mais próxima de Manaus está situada a 180 km da capital do Estado do Amazonas, fazendo com que esse material gráudo seja comercializado a um custo majorado de 76%, devido ao expressivo custo de transporte.

Como consequência dessa conjuntura, os pavimentos de Manaus são, geralmente, constituídos de material argiloso (subleito, sub-base e base), e de um revestimento do tipo AAUQ (areia asfalto usinada a quente). Tal estrutura resulta em falência estrutural precoce, sobretudo em face do acúmulo excessivo de deformações permanentes na camada superficial, ocasionadas, principalmente, pela ausência de agregados gráudos nessas misturas (SILVA *et al*, 2014).

Neste contexto, o Grupo de Geotecnia (GEOTEC) da UFAM vem realizando diversos estudos técnico-científicos relativos ao desenvolvimento e utilização de novas matérias primas a serem utilizadas na confecção de compósitos asfálticos. Dois desses materiais são os resíduos de construção e demolição (RCD) e resíduos cerâmicos descartados por olarias.

O presente trabalho estuda, portanto, a mistura do tipo Stone Matrix Asphalt (SMA), com o diferencial do uso de três materiais alternativos: RCD e resíduos cerâmicos (em substituição ao seixo e brita como agregado gráudo); e resíduos da fibra do curauá (*Ananas Erectifolius*).

O compósito SMA é caracterizado pelo alto percentual de agregado gráudo (entre 70% e 80%), e pela utilização de fibras responsáveis pelo controle do escorrimento do material asfáltico. Devido ao contato maximizado que possui entre os grãos, a mistura possui alto desempenho mecânico em relação à AAUQ e ao concreto asfáltico (CA).

Buscou-se, então, encontrar a dosagem ideal (mineral e para o teor de projeto), concernente ao compósito tipo SMA tendo a participação dos citados materiais alternativos.

2 OBJETIVOS

Pesquisou-se o teor de projeto e a dosagem mineral ideais para o compósito SMA, tendo a presença de subprodutos industriais (RCD, resíduos cerâmicos e resíduos da fibra de Curauá). Buscou-se, também, caracterizar fisicamente os agregados, as fibras e o fíler, bem como contribuir com uma proposta visando à destinação técnica e ambientalmente adequada dos citados resíduos industriais.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Concernente aos resíduos cerâmicos, na etapa de seleção e obtenção de materiais, realizaram-se visitas às olarias do Município de Iranduba, maior polo oleiro da região e responsável por cerca de 80% de toda a produção de cerâmica vermelha do Amazonas. Escolheu-se a empresa denominada Cerâmica Montemar como fornecedora dos mencionados subprodutos, oriundos do descarte de tijolos, telhas, etc. Executaram-se a britagem desse material em uma segunda empresa, equipada para triturar resíduos de concreto provenientes de construção e demolição.

Outros materiais utilizados no processo de dosagem do SMA, foram: areia residual, obtida em jazida localizada em Manaus; cimento *portland* CP II-Z-32, como fíler, adquirido em lojas de materiais de construção; ligante asfático, comercializado pela Refinaria Isaac Sabbá; e o agregado gráudo advindos de resíduos de concreto armado descartado pela indústria da construção civil no Município de Manaus, tendo sido fornecido por uma empresa local (Figura 1).



Figura 1. Agregados de RCD nas frações correspondentes a (a) brita 1 e (b) brita 0.

Os resíduos da fibra do Curauá (Figura 2), participantes em ambos os compósitos alternativos, foram doadas à pesquisa pelo Centro de Biotecnologia do Amazonas (CBA).



Figura 2. Fibras do Curauá

3.2 Caracterização Física

Analisaram-se os agregados graúdos (resíduos industriais e a brita como material referência) quanto à textura, de acordo com o padrão da norma C 136 (ASTM, 2006). Buscou-se o seu enquadramento nas faixas granulométricas, segundo as especificações da National Asphalt Pavement Association (NAPA). Em particular, para a obtenção da granulometria do resíduo cerâmico, este foi triturado em um tambor rotativo (abrasão *Los Angeles*), juntamente com esferas maciças (Figura 3), encontrando-se, assim, a distribuição granulométrica adequada correspondente a um determinado número de giros.

Determinaram-se, ainda, para esses

agregados, os parâmetros densidade real (G_{sa}), densidade aparente (G_{sb}), densidade aparente na condição superfície saturada (G_{sbssd}), e absorção, seguindo-se a norma C 127 (ASTM, 1988).

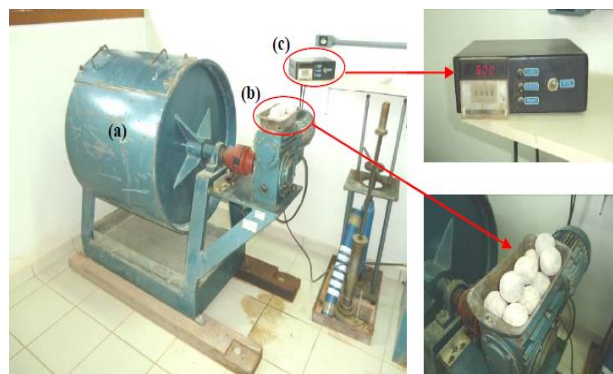


Figura 3. Tambor rotativo de abrasão Los Angeles

A caracterização da areia residual (agregado miúdo) ocorreu segundo: a granulometria (ASTM C 136), massa específica (DNER-ME 084), e os parâmetros G_{sa} e G_{sb} (ASTM C 128/1988). No caso do cimento *Portland*, este foi examinado pela massa específica real (DNER-ME 085/1994) e granulometria (DNER EM 367/1997).

Investigaram-se os resíduos da fibra do Curauá pela densidade real (DNER ME 084/1995), e o ligante asfático de acordo com o prescrito pela Agência Nacional de Petróleo e Biocombustíveis (ANP).

3.3 Dosagem

Concernente a composição com a participação do material cerâmico, na etapa da dosagem mineral empregou-se a metodologia Superpave (Strategic Highway Research Program). Ela estabelece que a distribuição granulométrica deve passar entre os pontos de controle (PCs) e não ultrapassar a zona de restrição (ZR). Tais características constam no gráfico da Figura 4, cuja ordenada, em escala aritmética, representa a porcentagem passando numa peneira (peso), enquanto em abscissa indica-se a abertura das peneiras elevadas à potência de 0,45 (mm).

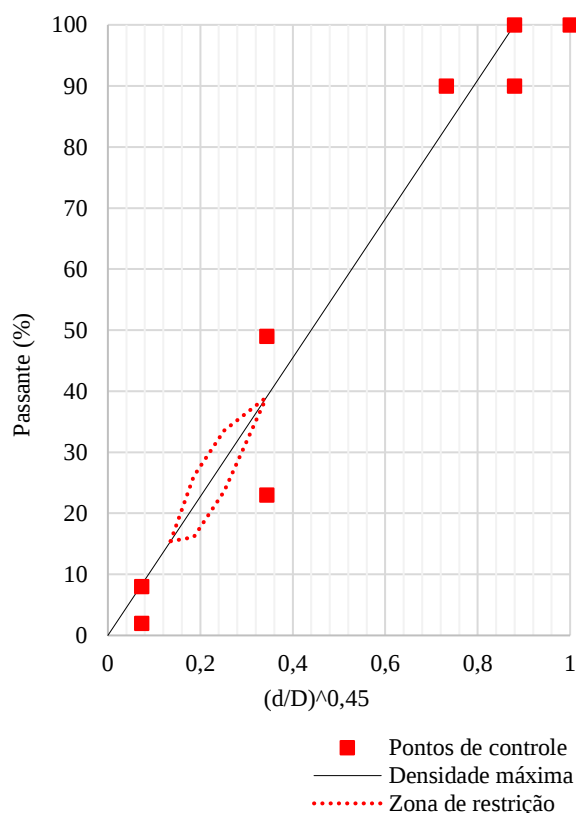


Figura 4. Zonas de restrição e Pontos de Controle

Empregou-se também a citada metodologia para encontrar o teor de projeto. Portanto, conforme recomenda a Superpave realizou-se a compactação da mistura no Compactador Giratório Superpave (CGS), consoante as seguintes etapas: cálculo da massa específica da composição de agregados (G_{se}), cálculo do volume de ligante absorvido (V_{la}), cálculo do volume de ligante efetivo (V_{le}), cálculo da massa de agregado (M_{ag}), e estimativa do teor inicial de ligante.

Isto posto, calculou-se o teor de projeto da seguinte forma: a) escolha de 3 composições granulométricas; b) obtenção das misturas asfálticas; c) permanência dos CPs na estufa por duas horas para simular o envelhecimento; d) compactação (CGS) de 2 corpos de prova para cada teor de ligante inicialmente proposto, função do número de giros ($N_{inicial}$, $N_{projeto}$ e $N_{máximo}$) x tipo de tráfego; e) determinação das densidades *Maximum Specific Gravity* (G_{mm}) e *Bulk Specific Gravit* (G_{mb}) conforme as normas D 2041 (ASTM, 2011) e D 2726 (ASTM, 2014), respectivamente; e f) cálculo dos parâmetros Volume de Vazios (V_v), Vazios Agregado Mineral (VAM) e Relação Betume Vazios (RBV) pela D 6925 (ASTM, 2015), além da

relação pó/asfalto.

Obteve-se a dosagem mineral da mistura com a participação do RCD pelos preceitos da NAPA (2002). Quanto ao cálculo do teor de projeto, acompanhou as especificações definidas pela metodologia Marshall, como aconselha o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), baseando-se na norma ME 43 (DNER, 1995).

Após a determinação da dosagem mineral adicionou-se os teores do cimento asfáltico de petróleo (CAP), variando em 0,5%. Em seguida eram produzidos os corpos de prova Marshall, que permaneciam, no mínimo, 12 horas de repouso. Na sequência calculavam-se os parâmetros V_v , VAM, RBV, Vazios Cheio de Betume (VCB) e Voids in Coarse Aggregates – Vazios da Fração Graúda (VCA). Este podendo se referir ao agregado compactado (VCA_{DRC}) ou ao agregado na mistura compactada (VCA_{mix}).

A Tabela 1 apresenta os limites estabelecidos pela NAPA (2002) para misturas confeccionadas no compactador Marshall, cujo teor de projeto é escolhido para produzir 4% de Volume de Vazios. Tal percentual é sugerido pois, conforme a evolução dos pavimentos de SMA, irá estabelecer e proporcionar melhor resistência a sulcos, particularmente em climas quentes

Tabela 1. Especificações para misturas SMA (Marshall)

Propriedades	Limites
CAP	6% (mínimo)
V_v	4%
VMA	17% (mínimo)
VCA_{mix}	Menor que VCA_{DRC}
Escorrimento	0,30% (máximo)

Fonte: NAPA (2002)

Com relação à participação da fibra, verificou-se por meio de ensaio laboratorial (norma AASHTO T 305/1997) se o teor de fibra considerado no projeto da mistura asfáltica mostrou-se satisfatório em até 0,30%, para evitar o escorrimento do mástique.

4 RESULTADOS

Atinente ao SMA com resíduos cerâmicos, a granulometria dos materiais apresentou: tijolo com 100% das partículas como pedregulho; e areia residual com textura média a fina, sendo

14% de fração grossa, 41% média e 55% fina.

Relativo a composição com RCD, a classificação granulométrica apontou: resíduos da construção civil com 100% das partículas entre 6 a 11mm (pedregulho); areia residual com 81,87% das partículas com diâmetros entre 0,2 a 0,6; e cimento *Portland* com 65% do grãos menores que 0,075mm.

Destaca-se a grande semelhança entre as curvas granulométricas apresentadas pelos materiais alternativos (resíduos industriais) e o agregado graúdo usual (brita 1)

Alusivo aos parâmetros físicos, observou-se, para ambos os agregados-resíduos, densidades menores se comparados à brita, e alto potencial de absorção (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2. Caracterização física (SMA com resíduo cerâmico)

Parâmetro	Unid.	Resíduo cerâmico	Areia	Cimento
Gsa	kg/m ³	1848	2730	3136
Gsb	kg/m ³	1442	2615	-
Gsbssb	kg/m ³	1663	-	-
Absorção	%	15,63	-	-

Tabela 3. Caracterização física (SMA com RCD)

Parâmetro	Unid.	RCD	Areia	Cimento
Gsa	kg/m ³	2550	2650	3010
Gsb	kg/m ³	2200	-	-
Gsbssb	kg/m ³	2340	-	-
Absorção	%	6,25	-	-

Quanto à fibra do Curauá, aferiu-se uma densidade real de 1430 kg/m³. Este valor mostra-se expressivamente maior se confrontando com a fibra de celulose, geralmente utilizada em misturas SMA.

A caracterização do CAP apresentou um valor de 69 décimos de milímetros no ensaio de penetração, sendo classificado, então, como CAP 50/70. O Ponto de Amolecimento e a Solubilidade em tricloroetileno se mantiveram próximos aos valores limites da ANP. O Ponto de Fulgor indicou valor acima do limite, proporcionando, então, maior segurança no manuseio, pela temperatura de combustão ser mais elevada. Concernente à viscosidade, teve-se valores acima do limite para as temperaturas 135°C e 150°C, mas dentro do intervalo para a temperatura de 177°C.

A dosagem mineral da mistura com resíduos cerâmico resultou na seguinte composição:

81,35% de subproduto cerâmico, 9,90% de areia, 8,75% de cimento *Portland*. A Figura 5 expõe o gráfico da curva granulométrica, juntamente com o enquadramento pela NAPA (2002) para o tamanho máximo nominal (TMN) igual a 19 mm (Faixa A). Percebe-se que, apesar de não representar sérios problemas, o limite inferior foi ultrapassado discretamente. Tal fato ocorreu devido à natureza da composição granulométrica com a participação da areia residual, que impossibilitou o perfeito enquadramento da dosagem nos limites impostos.

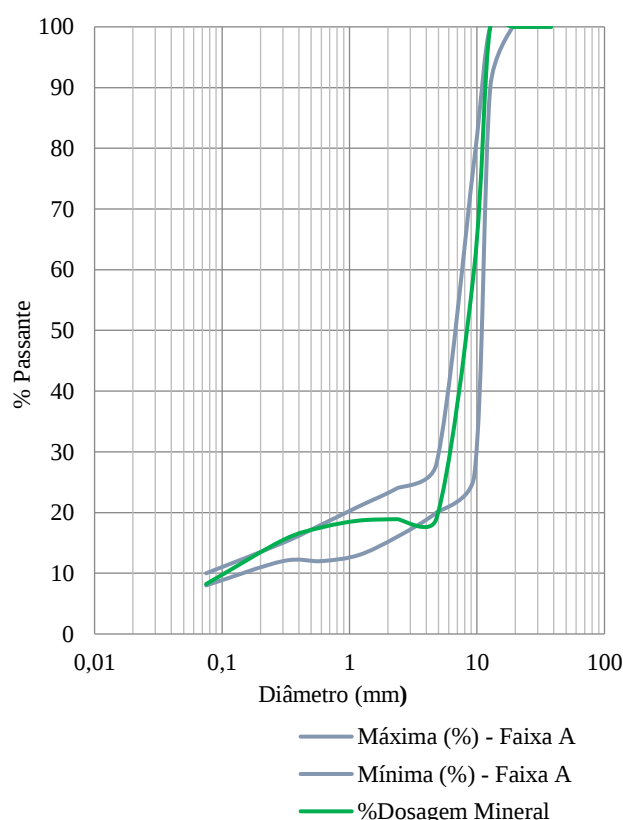


Figura 5. Enquadramento granulométrico da dosagem mineral (material cerâmico)

Os resultados dos teores de ligante para o SMA com resíduo cerâmico são apresentados na Tabela 4. Verifica-se que o teor de ligante (de projeto), correspondente ao volume de vazios igual a 4%, indicou valor igual a 14,9%.

Tabela 4. Vv em função do teor de ligante (mistura com resíduo cerâmico)

Teor de Ligante (%)	Vv (%)
8,7	16,0
9,0	9,3
14,9	4,0

A dosagem mineral referente ao SMA com

RCD apresentou: 75% do resíduo de construção, 15% de agregado miúdo e 10% de cimento *Portland* (fíler). A Figura 4 exibe o enquadramento especificado pela NAPA (2002). Nota-se uma discreta transposição do limite superior entre as aberturas de 0,4 a 3,5 mm.

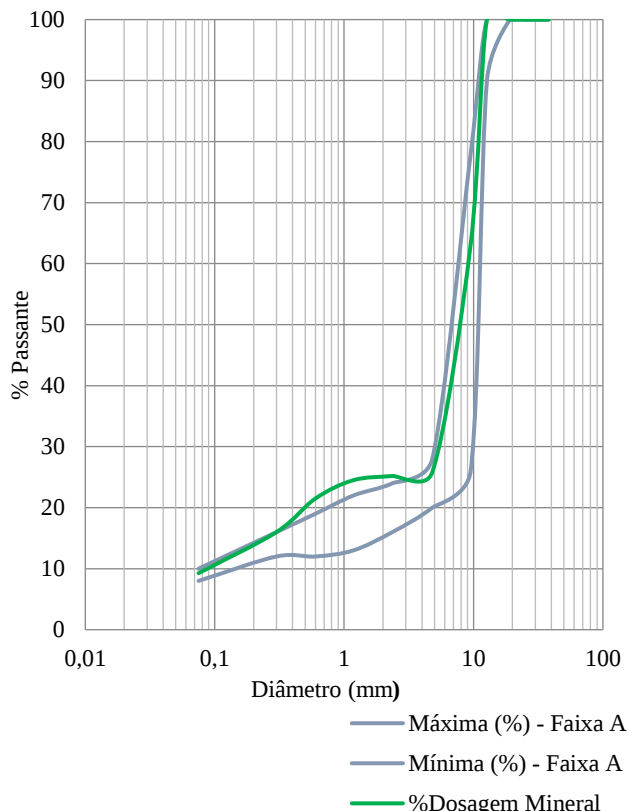


Figura 6. Equadramento granulométrico da dosagem mineral (RCD)

Os teores de ligante relativos às composições com o subproduto da construção civil, são indicados na Tabela 5. A partir de uma regressão linear com os valores obtidos, aferiu-se um teor de projeto igual a 6,88% indicativo ao volume de vazios de 4%.

Tabela 5. Vv em função do teor de ligante (mistura com RCD)

Teor de Ligante (%)	Vv (%)
5,5	6,33
6,0	5,79
6,5	4,57
7,0	4,11
7,5	2,59

A título de comparação, destaca-se que, concernente à dosagem mineral, a mistura granítica apresentou a mesma distribuição granulométrica observada na mistura com RCD.

Relativo ao ligante asfáltico, a mistura apresentou um teor de projeto igual a 6,50%.

5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados, observa-se que: a) nas dosagens minerais ocorreram pequenas transposições dos limites inferior (material cerâmico) e superior (RCD), determinados em norma; e b) os teores de projeto obtidos ficaram acima do mínimo aceitável. Pelo exposto, ressalta-se que o estudo validou os materiais alternativos (resíduos industriais) em substituição ao agregado usual (brita) para futura utilização na confecção de misturas asfálticas regionais.

REFERÊNCIAS

- AASHTO T-305. *American Association of State Highway and Transportation Officials T-305: Determination of Draindown Characteristics in Uncompacted Asphalt Mixtures*, 2009.
- ABNT NBR 6576:2007. *Materiais asfálticos - Determinação da penetração*. Rio de Janeiro, 2007.
- ABNT NBR 6560:2008. *Materiais betuminosos - Determinação do ponto de amolecimento - Método do anel e bola*. Rio de Janeiro, 2008.
- ASTM C127. *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate*. American Society for Testing and Materials, 2012.
- ASTM C136. *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. American Society for Testing and Materials, 2006.
- ASTM D2041. *Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density Bituminous Paving Mixtures*. American Society for Testing and Materials, 20011.
- ASTM D2726. *Standard Test Method for bulk Specific Gravity and Density of Non-Absorptive Compacted Bituminous Mixtures*. American Society for Testing and Materials, 2014.
- ASTM D6925. *Standard Test Method for Preparation and Determination of the Relative Density of Asphalt Mix Specimens by Means of the Superpave Gyratory Compactor*. American Society for Testing and Materials, 2015.
- CNT. Confederação Nacional de Transportes. *Pesquisa CNT de Rodovias: Relatório Gerencial*. Brasília: CNT, 2015.
- DNER-ME 367/97. *Material de enchimento para misturas betuminosas*. Rio de Janeiro, 1997.

- DNER-ME 085/94. *Material Finamente Pulverizado: Determinação da Massa Específica Real*. Rio de Janeiro, 1994.
- DNER-ME 084/95. *Agregado miúdo: Determinação de Densidade Real*. 1995.
- DNER-ME 043/95. *Misturas Betuminosas a quente – ensaio Marshall*. 1995.
- NAPA. National Asphalt Pavement Association. *Designing and Constructing SMA Mixtures – State of the Practice*. Quality Improvement Series 122. EUA, 2002.
- Silva, C. L., da Silva, A. C. L., da Frota, C. A, *Módulo Dinâmico de Compósitos Asfálticos com Agregados Sinterizados de Argila Calcinada*, Cerâmica 60, p. 10-21, 2014.
- Valença, Patrícia de Magalhães Aragão, *Desempenho Mecânico de Misturas Asfálticas do Tipo Stone Matrix Asphalt com Uso de Fibras Amazônicas e Agregados de Resíduos de Construção e Demolição*. 2012. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Amazonas, Manaus 2012.