

IV Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projetos de Reforço

Fortaleza/CE - BRASIL - 07 a 09 de outubro 2009

INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA NAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DE MISTURAS ASFÁLTICAS PARA AERÓDROMOS

Danilo Fernandes de Medeiros¹; Erinaldo Hilário Cavalcante² & John Kennedy Guedes Rodrigues³

RESUMO

Neste trabalho é analisada a influência da granulometria dos agregados no comportamento físico e mecânico das misturas asfálticas, compreendidas na faixa 2 da Aeronáutica. Além das características físicas das misturas estudadas e dos demais parâmetros do ensaio Marshall, a pesquisa foi concentrada na variação da resistência à tração, RT, e do módulo de resiliência, MR, dentro da faixa considerada. Para alcançar os objetivos propostos, foram utilizadas três misturas granulométricas, duas que se enquadraram próximas aos limites superior e inferior da referida faixa, e uma próxima a linha de máxima densidade da faixa 2. As dosagens da misturas foram realizadas de acordo com a metodologia Marshall. Foram realizados os ensaios de Resistência a Tração por Compressão Diametral, Resistência ao Dano pela umidade induzida e o ensaio de Módulo de Resiliência, nos teores de projeto de ligante determinado para cada mistura. Com base nos resultados obtidos, verificou-se que as três misturas se apresentaram satisfatórias quanto às características volumétricas e de estabilidade Marshall, atendendo aos parâmetros estabelecidos pela norma da aeronáutica. Entretanto, partindo de uma análise conjunta das propriedades mecânicas (MR e RT) das misturas cujas granulometrias se aproximam do limite superior da faixa 2 da Aeronáutica, concluiu-se que estas tendem a se tornar inadequadas para a utilização como revestimento de aeródromos.

PALAVRAS-CHAVE: (Pavimentos de aeroportos, misturas betuminosas, granulometria)

ABSTRACT

In this paper is analyzed the influence of size-distribution of the aggregate in the physical and mechanical behavior of asphalt mixtures, ranging in range 2 of Aeronautic specifications. Besides the physical characteristics of the mixtures studied and the other parameters of Marshall tests, the research was focused on the variation of tensile strength, RT, and the resilient modulus, MR, within the range considered. To achieve the objectives, three bituminous mixtures were used, two that fit near the upper and lower limits of that range, and a forthcoming line of maximum density range of 2. The strengths of the mixtures were performed according to the Marshall method. It has been made the tests of tensile diametral compression, resistance to damage induced by moisture and repeated load tests (resilient modulus test) in levels of project binder for each mixture. Based on the results obtained, it was found that the three mixtures are showed satisfactory on the characteristics and volume of Marshall Stability, given the parameters set by the standard of the Aeronautics specifications. However, based on a joint analysis of mechanical properties (MR and RT) of mixtures whose sizes are approaching the upper limit of the band 2 of the Aeronautic, it was concluded that tend to become unsuitable for use as a covering of airfields.

KEY WORDS: (Pavement of airports, mixtures bituminous, gradation selection)

¹ Engenheiro Civil, Aluno do mestrado em engenharia civil e ambiental, Unidade acadêmica de Engenharia Civil, UFCG, Av. Aprígio Veloso, nº882, Bodocongó, Campina Grande, Paraíba, CEP 58109-970, tele fax (83) 3310-1305, daniolfmedeiros@yahoo.com.br

² Engenheiro Civil, Prof. Doutor, Departamento de Engenharia Civil, UFS, Av. Mal. Rondon, S/N - Jardim Rosa Elze, Cidade Universitária - São Cristóvão - SE, CEP 49100-000, Fone/Fax: (79) 2105-6736, erinaldo@ufs.br

³ Engenheiro Civil, Prof. Doutor, Unidade acadêmica de Engenharia Civil, UFCG, Av. Aprígio Veloso, nº882, Bodocongó, Campina Grande, Paraíba, CEP 58109-970, tele fax (83) 3310-1305, jkennedy@dec.ufcg.edu.br

INTRODUÇÃO

Segundo a ANAC (2008), na região Nordeste há 144 aeródromos, entre públicos e militares. Com o crescimento nessa modalidade de transporte torna-se necessário que os aeródromos apresentem uma maior vida útil e melhor desempenho nas características físicas e mecânicas dos revestimentos utilizados.

Segundo Bezerra Neto (2000), a granulometria dos agregados é um dos elementos de grande influência nas misturas asfálticas, visto que ela afeta quase todas as propriedades físicas e mecânicas da mistura. A escolha adequada da granulometria da mistura pode prover um bom comportamento mecânico em relação à deformação permanente, trincamento e outras patologias prematuras.

Segundo Roberts et al. (1996), são principalmente as propriedades físicas dos agregados que determinam a adequação para o uso em misturas asfálticas, e, em menor extensão, as propriedades químicas, pois essas têm pequenos efeitos sobre o desempenho da mistura, salvo quando afetam a adesividade do ligante asfáltico ao agregado e a compatibilidade com o aditivo (dope) que pode ser incorporado ao ligante.

Devido aos baixos investimentos na infra-estrutura aeroviária no país ao longo de muitos anos, suas normas apresentaram poucas modificações, a respeito das misturas asfálticas para revestimento em aeródromos. Diante deste cenário e sabendo-se da importância do papel da composição granulométrica das misturas nas características físicas e mecânicas das mesmas, foi desenvolvida esta pesquisa visando-se analisar a variação das propriedades de algumas misturas betuminosas usinadas a quente, influenciadas pela granulometria dos agregados, situadas próximos dos limites da faixa 2 preconizada pela Aeronáutica/Infraero.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Pavimentos de Aeroportos

Os pavimentos de aeroportos são construídos para suportar as cargas impostas pelas aeronaves, devendo apresentar um bom desempenho, sendo estáveis e resistentes às intempéries. A camada de revestimento pode ser de Concreto Asfáltico Usinado a Quente, Concreto de Cimento Portland, e Pré-misturado a frio, dependendo do tráfego e da aeronave de projeto (MERIGHI & FORTES, 2006).

O dimensionamento de aeródromos pode apresentar como aeronaves de projeto até três tipos distintos para o seu dimensionamento, sendo: i) um para o dimensionamento estrutural da pista de pouso e decolagem se for construída em pavimento flexível; ii) um para o “táxi way” ou pátio de embarque e desembarque de passageiros e cargas, construída em pavimento rígido; e, iii) um terceiro tipo, aeronave para o projeto geométrico do aeródromo. Sendo a camada de revestimento fixada segundo esse tipo de aeronave.

A camada de revestimento para aeródromos além de atender aos critérios volumétrico e estabilidade Marshall estabelecidos, deve apresentar a composição granulométrica da mistura enquadrada em uma das faixas estabelecidas por norma, segundo o diâmetro máximo dos agregados. A Tabela 1 mostra as faixas granulométricas para revestimento estabelecidas pela Aeronáutica brasileira e adotadas Infraero.

Tabela 1. Faixa de distribuição dos grãos para revestimento asfáltico, segundo a Aeronáutica.

PENEIRAS		PORCENTAGEM PASSANDO, EM MASSA (%)				
mm	nº	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 4	Faixa 5
38,1	1 1/2	100	-	-	-	-
25,4	1	79-89	100	-	-	-
19,1	3/4	-	80-98	100	-	-
12,7	1/2	61-84	68-93	80-98	100	-
9,5	3/8	-	-	-	79-96	100
4,8	nº 4	42-66	45-75	55-80	59-85	75-95
2,0	nº 10	31-55	32-62	40-66	43-70	56-84
0,42	nº 40	16-34	16-37	22-40	23-42	26-50
0,18	nº 80	10-22	10-24	10-26	13-26	14-32
0,074	nº 200	3-7	3-8	3-8	4-8	5-11

Fonte: [Norma NSMA 85-2].

Dosar uma mistura asfáltica significa estabelecer proporções de agregados e ligante, que quando misturados satisfaçam aos requisitos estabelecidos pelas especificações. Assim como em rodovias, os pavimentos dos aeródromos podem ser projetados de acordo com dosagens que utilizam as mesmas metodologias das misturas rodoviárias, respeitando-se as diferenças existentes nas especificações. O projeto de uma mistura asfáltica, segue os mesmos princípios fundamentais da dosagem de uma mistura solo-agregado para bases granulares, com exceção da variável temperatura, visto que a estabilidade da mistura depende da coesão e do atrito interno. No caso da mistura betuminosa, a estabilidade será função da densidade e do teor de asfalto mais adequado para uma determinada composição granulométrica (YODER & WITCZAK, 1975). Além disso, nos dias atuais, para se ter uma boa dosagem, é também necessária uma avaliação não só das características volumétricas e da estabilidade Marshall, mas também é importante realizar uma análise mais ampla, com o estudo das propriedades mecânicas da mistura.

Dentre os métodos amplamente empregados para a dosagem de misturas asfálticas, destacam-se os métodos de Hveem e Marshall (YODER & WITCZAK, 1975). Atualmente, tem se destacado e ganhado espaço, a metodologia SUPERPAVE, mas ainda restrita no Brasil aos centros de pesquisa e a laboratórios de algumas Universidades. A metodologia SUPERPAVE também vem sendo pesquisada para a sua utilização nos projetos de misturas asfálticas de aeródromos (BUNCHER & DURVAL, 2003).

METODOLOGIA

Materiais

Os materiais utilizados desta pesquisa foram: CAP 50/70, a cal hidratada tipo CH-I e areia de campo, disponibilizados pela ATECEL/UFCG, e Brita 25, Brita 19 e Pó-de-Pedra, disponibilizados pela Pedreira BRITEX, localizada na BR-230, na cidade de Campina Grande.

Métodos

A metodologia adotada na pesquisa foi constituída das seguintes etapas:

- Ensaios de caracterização com as amostras de agregados e do ligante usados;

- Ensaios de dosagem das misturas, cujo objetivo foi determinar o teor de projeto para as misturas estudadas, segundo a metodologia Marshall;
- Ensaios mecânicos com as misturas para quantificar suas propriedades de engenharia. Entre estes se destacam os ensaios Resistência à Tração por Compressão Diametral e Módulo de Resiliência.

É importante ressaltar que foi utilizado a técnica da amostragem aleatória e a utilização de réplicas para realização dos ensaios, de modo a diminuir os efeitos dos fatores não-controlados das variáveis respostas nos ensaios realizados.

Caracterização física dos materiais

Agregados

Os métodos de ensaios apresentados na Tabela 2 foram utilizados como referência para alcançar os resultados delineados no objetivo do trabalho.

Tabela 2. Normas utilizadas para caracterização de agregados e filer.

ENSAIOS	METODOLOGIA
Análise granulométrica dos agregados por peneiramento	DNIT - ME 083/98
Massa específica real dos agregados graúdos	DNIT - ME 081/98
Massa específica real dos agregados miúdos	DNIT - ME 084/95
Massa específica real filer	DNIT - ME 093/94
Equivalente de areia	DNIT - ME 054/97
Abrasão Los Angeles	DNIT - ME 035/98

DOSAGEM DAS MISTURAS EM ESTUDO

Nesta pesquisa foram utilizadas três misturas diferentes, tendo como referência a faixa 2 de granulometria preconizada pelo Aeronáutica e como referência auxiliar a faixa 2 da P-401 (FAA). Além dos objetivos iniciais da pesquisa, essas misturas foram determinadas com a preocupação de estudar também os limites dessa faixa e propor prováveis modificações nos intervalos da Faixa 2 da aeronáutica, se necessárias.

A mistura M1 apresenta uma granulometria densa sendo utilizadas as seguintes proporções de agregados em peso: 15% de brita 25, 18% de brita 19, 22% de pedrisco 3/8" e 40% de pó-de-pedra. Como material de preenchimento (filer) foram empregados 5% da cal hidratada CH-I. A Figura 1 mostra o gráfico da curva com os limites da faixa 2 da Aeronáutica, da P-401, bem como os pontos de controle da metodologia SUPERPAVE.

A mistura M2 apresenta uma granulometria próxima do limite superior da faixa, caracterizada pela utilização de uma maior porcentagem de materiais com tamanho de partículas menores, podendo ser considerada uma mistura de "granulometria fina". Nessa mistura foi utilizada a seguinte proporção de agregados em massa: 10% de brita 19, 20% de pedrisco 3/8", 35% de pó-de-pedra, 30% de areia de campo e 5% da cal hidratada CH-I. A Figura 2 mostra o gráfico da curva granulometria da mistura obtida com essas proporções.

Para o caso da mistura M3, a curva granulométrica se encontra abaixo do limite inferior da faixa 2 da Aeronáutica, bem próxima do limite inferior da faixa 2 preconizada pela Agencia Federal Americana de Aeronáutica FAA, sendo utilizada a seguinte proporção de agregados, em massa: 38% de brita 25, 37% de pedrisco 3/8", 20% de pó-de-pedra e 5% de filer. A Figura 3 mostra o gráfico da curva granulométrica obtida para a mistura M3.

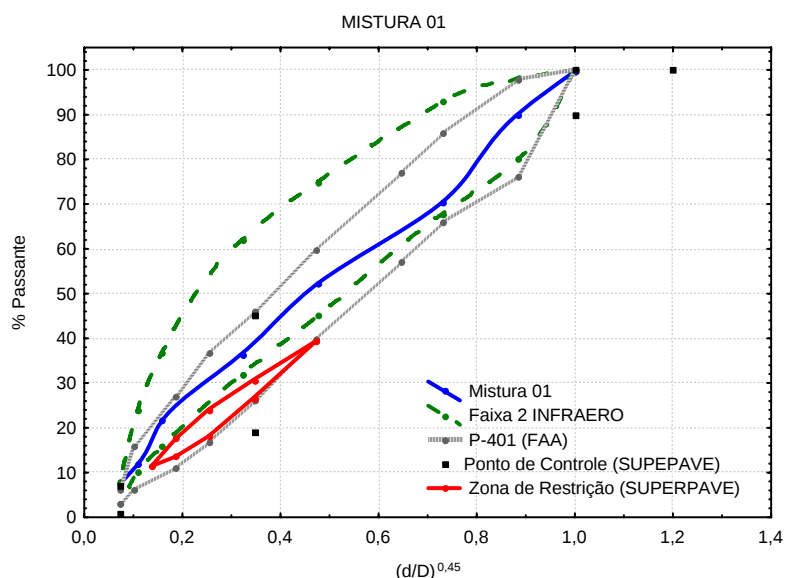


Figura 1. Curvas granulométricas da mistura 01.

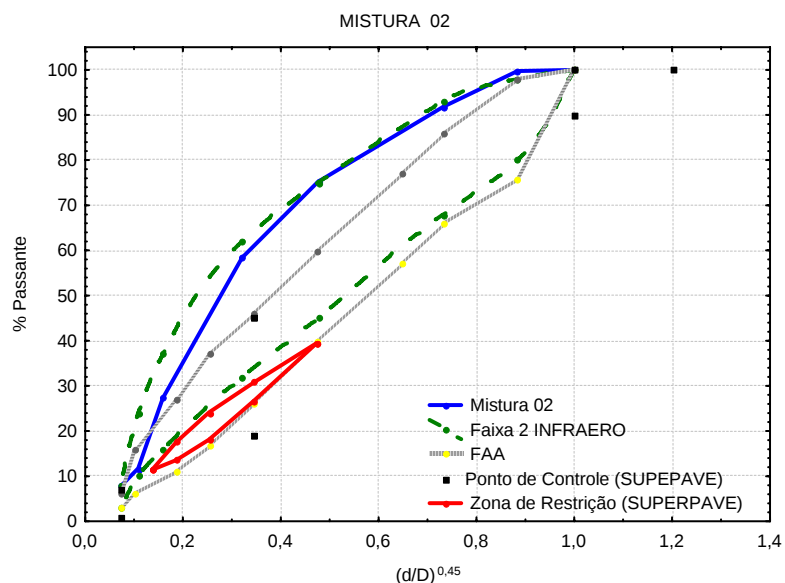


Figura 2. Curvas granulométricas da mistura 02.

Ensaio Marshall

Os ensaios Marshall foram realizados de acordo com a norma ME-043/95, do DNIT, seguindo-se a sistemática de ensaio apresentada no fluxograma 1.

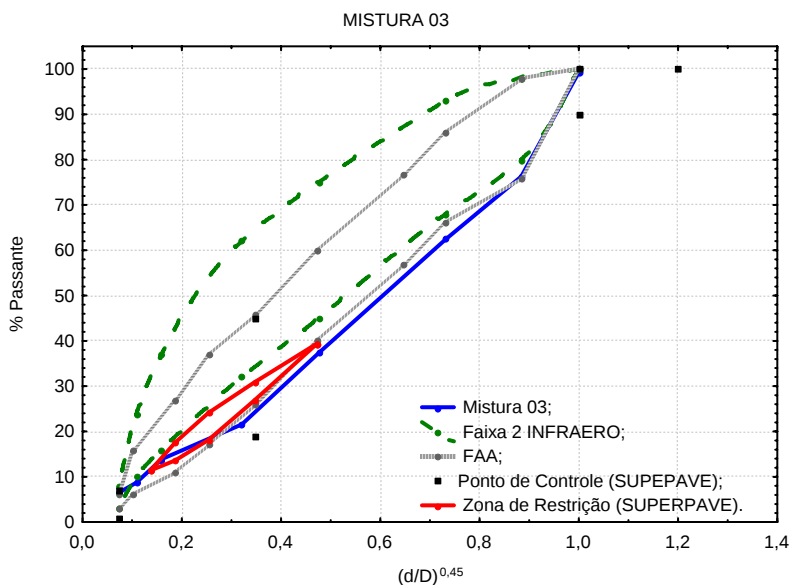
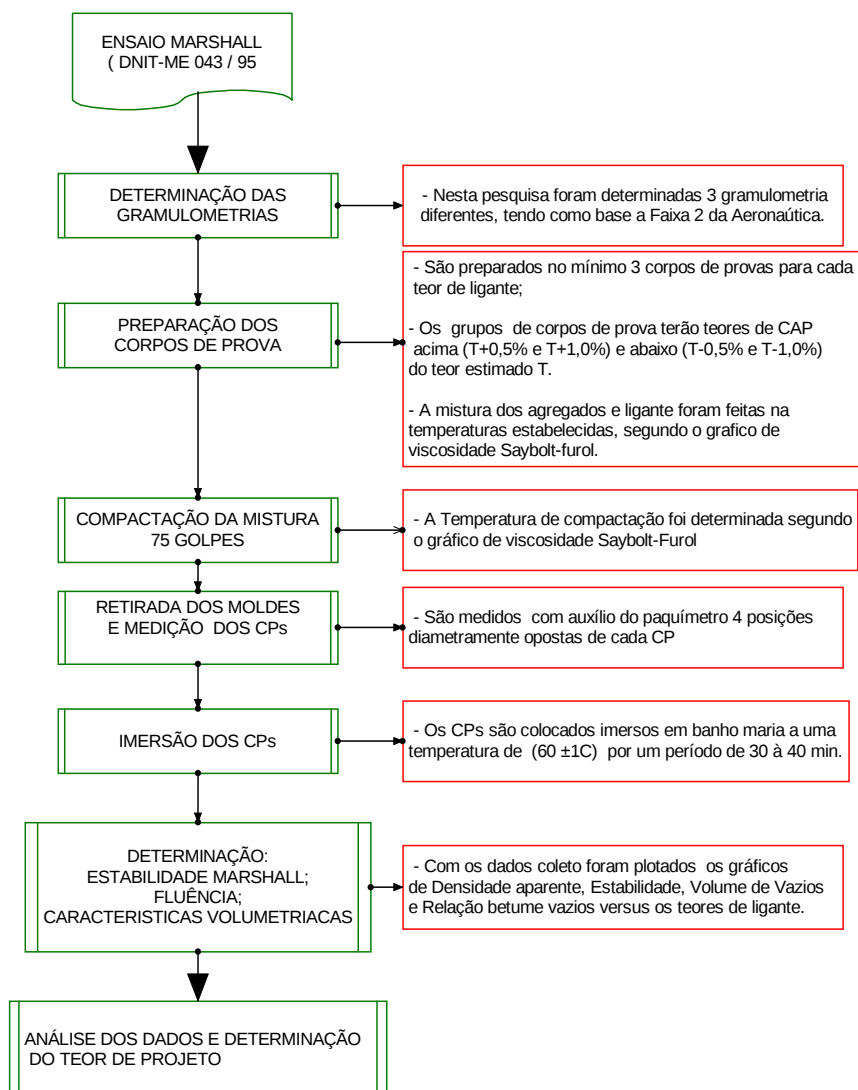


Figura 3. Curvas granulométricas da mistura M3.

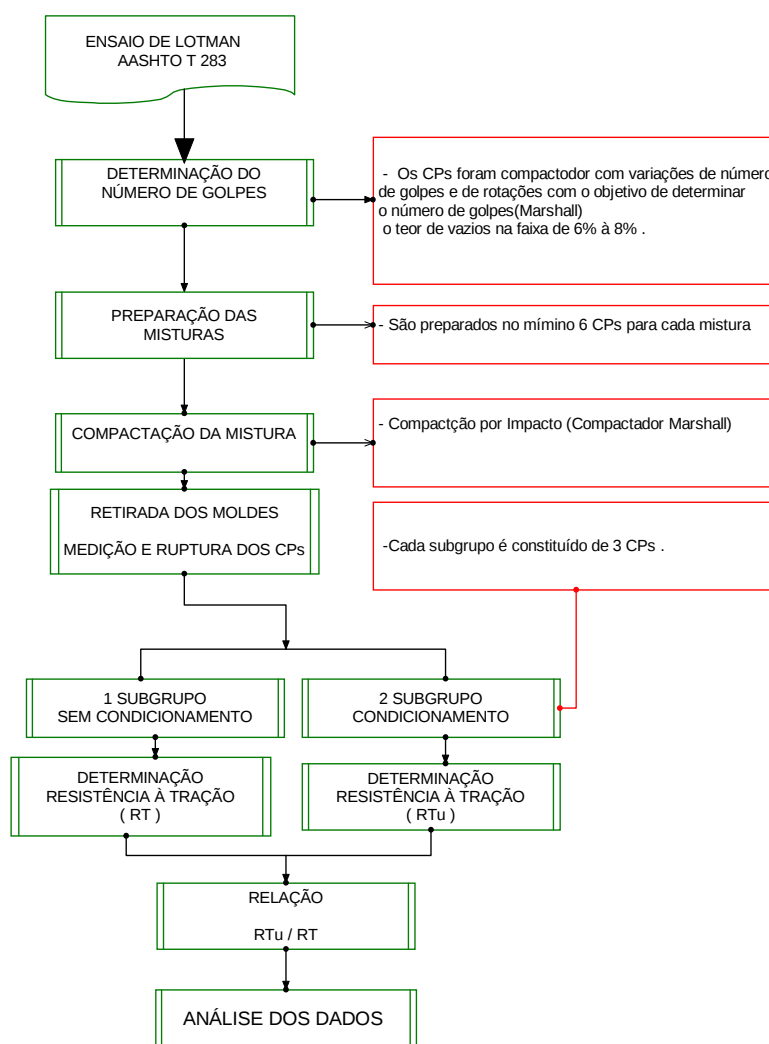


Fluxograma 1. Seqüência do Ensaio de Marshall.

Ensaio de Resistência à Tração, RT

O ensaio de Resistência à Tração pode ser realizado tanto com corpos de prova moldados em laboratório quanto com os extraídos em campo, sendo que nesta pesquisa os CPs foram moldados em laboratório em conformidade com a norma ME 138-94, do DNIT.

Depois da determinação das Resistências à Tração com condicionamento prévio, RTu, e sem condicionamento, RT, foram calculadas a razão entre RTu e RT. O Fluxograma 2 mostra de forma esquemática da sequência utilizada durante a realização desses ensaios.



Fluxograma 2. Sequência adotada para os ensaios de Lotman.

RESULTADOS

Temperatura de trabalho

As temperaturas das misturas utilizadas nesta pesquisa foram determinadas a partir do gráfico viscosidade-temperatura, elaborado com base nos ensaios de viscosidade Saybol-Furol. A Tabela 3 mostra as temperaturas usadas com os materiais empregados na preparação das misturas.

Tabela 3. Temperaturas das misturas.

Temperatura (°C)	Ligante	Agregado	Compactação
	157	167	145

A temperatura do agregado corresponde à temperatura do ligante mais 10 ° C (Pinto, 2003).

Ensaio Marshall

A dosagem do ligante nas misturas foi realizada objetivando estabelecer o teor ótimo de asfalto a ser utilizado para a moldagem dos corpos-de-prova durante a fase experimental. Na Tabela 4 são mostrados os resultados da dosagem Marshall para as misturas em estudo.

Tabela 4. Resultados das características das misturas nos teores de projeto de ligante.

Mistura	Teor de Projeto de Ligante	Massa Específica		VAZIOS	VAM	RBV	Estabilidade
		Aparente	Teórica				
	(%)	g/cm ³	g/cm ³	(%)	(%)	(%)	(kN)
M1	4,9	2,358	2,464	4,20	15,55	72,48	15,93
Desvio Padrão		0,0046	-	0,1879	0,1657	0,9184	0,0069
M2	6,4	2,305	2,403	4,06	18,45	77,98	10,75
Desvio Padrão		0,0027	-	0,1122	0,0953	0,4945	0,0544
M3	4,4	2,390	2,487	3,87	14,13	72,64	16,36
Desvio Padrão		0,0083	-	0,3316	0,2962	1,7550	0,0288

Na Tabela 5 foi feita uma comparação entre os valores encontrados nos ensaios Marshall, com teores de projeto de ligante encontrados com base nos critérios da Aeronáutica e do FAA, para revestimentos destinados à operação de aeronaves de massa bruta superior a 30.000 kg ou dotadas de pneus com pressões de trabalho acima de 0,70 MPa.

Para cada mistura foram realizados 1 ensaio e 2 replicas no teor de projeto.

Tabela 5. Características do revestimento segundo critérios da Aeronáutica e FAA.

CARACTERÍSTICAS	CRITÉRIOS (Aeronáutica)	CRITÉRIOS (FAA)	M1 (Tp 4,9%)	M2 (Tp 6,4%)	M3 (Tp 4,4%)
Estabilidade Marshall (N)	> 8.000	9.555	15.931	10.750	16.358
Volume de vazios (%)	3 à 5	2,8 à 4,2	4,2	4,06	3,87
Relação Betume Vazio (%)	70 à 80	70 à 80	72,48	77,98	72,64
Vazios de Agregados Minerais (%)	> 13	> 14	15,55	18,45	14,13

Resistência a Tração por Compressão Diametral (Tração Indireta)

Os ensaios de Resistência à Tração Indireta foram realizados em número de 3 CPs, no teor de projeto para cada mistura. A Tabela 6 mostra os valores encontrados na temperatura de 30° C.

Tabela 6. Resultados do ensaio de Resistência a Tração (RT) das misturas a 30° C.

	Mistura	Teor de Projeto (%)	RT (MPa)	Desvio Padrão
Compactação por impacto (MARSHALL)	M1	4,9	0,83	0,0684
	M2	6,4	0,63	0,0176
	M3	4,4	0,96	0,0876

Resistência à Umidade Induzida

Com o objetivo de verificar qual das misturas em estudo seria mais susceptível à ação da água, foram realizados os ensaios de Lotman, cujos valores são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Resultados obtidos do ensaio Lotman.

	Mistura	Teor de Projeto (%)	RT (MPa)	RTu (MPa)	RRT= RTu / RT
Compactação por impacto (MARSHALL)	M1	4,9	0,62	0,52	84%
	M2	6,4	0,63	0,42	67%
	M3	4,4	0,48	0,44	92%

Visando-se determinar a variação do Módulo de Resiliência dentro da mesma faixa granulométrica em estudo, foram realizados os ensaios de carga repetida no equipamento SIEMBS, do GeoPav/UFS, cujos resultados estão apresentados na Tabela 8, sendo a média de três corpos de prova para cada mistura. Os valores apresentados na tabela revelam pouca variação nos valores do MR, entre as misturas analisadas, o que remete à continuidade dos estudos para se avaliar com um banco de dados maior se estes primeiros resultados se confirmam.

Tabela 8. Valores médios do Módulo de Resiliência das misturas a 30° C.

Mistura	Teor de Projeto (%)	Módulo de Resiliência (MPa)
M1	4,9	3402
M2	6,4	3369
M3	4,4	3566

CONCLUSÕES

Determinou-se, para as misturas sugeridas neste trabalho, a influência da granulometria enquadrada numa mesma faixa granulométrica e na variação do teor de ligante, bem como as características físicas e mecânicas das misturas asfálticas. Para o comportamento mecânico foram avaliados os valores do Módulo de Resiliência (MR) e da Resistência à Tração por compressão diametral (RT), bem como avaliada a influência da granulometria sobre a resistência ao dano pela umidade induzida. Das análises efetuadas, foi possível extrair as seguintes conclusões:

- a) Quanto às características volumétricas das misturas, todas apresentaram resultados que podem ser considerados satisfatórios tomando-se por base os critérios estabelecidos pela Aeronáutica.
- b) Foi observado que dentro da faixa 2 é possível ocorrer uma variação de ligante na ordem de 2% para as misturas estudadas, sendo que quando a granulometria da mistura se aproxima do limite superior tende a haver elevação no teor de ligante de projeto.
- c) No que se refere à influência da mistura na Resistência à Tração (RT), foi observado que a mistura dosada com granulometria próxima ao limite superior da faixa 2 não apresentou valor aceitável de RT ($< 0,65$ MPa).
- d) Da análise dos dados de Módulo de Resiliência, foi observada uma variação média nos valores de MR na faixa 2 de 164 MPa, sendo verificado um crescimento do MR à medida que a mistura apresenta uma granulometria mais próxima do limite inferior da faixa.
- e) Quanto à susceptibilidade das misturas asfálticas à presença d'água, constatou-se que mesmo com a utilização da cal como filer, o valor da RRT da mistura com granulometria próxima do limite inferior, a mistura M2, não apresentou resultado satisfatório, visto que o valor médio encontrado (67%) foi inferior ao estabelecido pela metodologia SUPERPAVE, que é 80%. As demais misturas apresentaram valores de RRT aceitáveis.
- f) Observou-se que mesmo na mistura M3, ou seja, aquela dosada com granulometria abaixo do limite inferior da faixa 2 da Aeronáutica, as características volumétricas e mecânicas se apresentaram satisfatórias.
- g) Cabe frisar que a partir das análises de comportamento mecânico das misturas estudadas, foi possível observar a marcante influência da escolha da granulometria dentro dos limites de uma mesma faixa granulométrica. Nesta pesquisa, a mistura M2, situada próxima do limite superior da faixa 2 da Aeronáutica, apresentou uma dosagem satisfatória quando observados apenas os critérios volumétricos. Porém, através de uma análise das características mecânicas, essa mistura apresentou valores abaixo dos estabelecidos, o que a torna dentro das misturas estudadas a mais suscetível ao aparecimento de patologias prematuras.
- h) Por fim, ressalta-se que a faixa granulométrica 2 preconizada pela Aeronáutica para misturas asfálticas parece apresentar intervalos de confiança relativamente grandes, o que pode ocasionar misturas que atendam aos critérios volumétricos, mas insatisfatórias quanto aos aspectos relacionados ao seu comportamento mecânico, podendo gerar uma região de desconfiança dentro do intervalo granulométrico estabelecido pela norma.
- i) Os valores do módulo de resiliência obtidos para as misturas preparadas com granulometrias diferentes, mas situadas na faixa 2 da Aeronáutica, praticamente não variam. Isso remete à continuidade dos estudos para se avaliar com um banco de dados mais abrangente se estes primeiros resultados se confirmam.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDIGUERI D. R., SILVEIRA, M.A. e SOARES, J.B. Estudo Comparativo entre Compactação Manual e Automática de Misturas Asfálticas. Anais da 33ª Reunião Anual de Pavimentação, ABPv, Florianópolis, 2001.



BUNCHER, M & DURVAL, J. P. E. Superpave for Airports, Instituto de Asfalto, 2003.

CASTELO BRANCO, V. T. F., Caracterização de Misturas Asfálticas com o Uso de Escória de Aciaria como Agregado. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2004.

MOTTA, L. M. G., TONIAL, I., LEITE, L. M., et al. Princípios do Projeto e Análise SUPERPAVE de Misturas Asfálticas. Tradução comentada, Instituto Brasileiro do Petróleo – IBP, 1996.

PINTO, S. & PREUSSLER, E. S. Pavimentação Rodoviária – Conceitos Fundamentais sobre Pavimentos Flexíveis. 2ª ed. Rio de Janeiro, Copiarte, 2002.

ROBERTS, F.L et al. Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction, Napa Research and Education Foundation, Second Edition, Maryland, USA, 1996.

USACE. Hot-Mix Asphalt Paving. Handbook 2000. American Association of State Highway and Transportation Officials, Federal Aviation Administration, Federal Highway Administration, National Asphalt Pavement Association, US Army Corps of Engineers, American Public Works Association, National Association of County Engineers. USA, 2000.

D'ANGELO, J. D & ANDERSON, R. M. Material Production, Mix Design, and Pavement Design Effects on Moisture Damage. In: Moisture Sensitivity of Asphalt Pavements. San Diego, Transportation Research Board, California, 2003.

BEZERRA NETO, R. S. Análise Comparativa de Pavimentos Dimensionados Através dos Métodos Empírico do DNER e Mecanístico e Proposta de um Catálogo Simplificado de Pavimentos para a Região de Campo Grande (MS). Dissertação de Mestrado, USP, São Carlos, 2004.

MERIGHI, V. G. & FORTES, M. R., Notas de aula: Dimensionamento de Pavimentos Rígido e Flexível para aeroportos. Método FAA, 2006.

NSMA 85-2, Ministério da Aeronáutica, Norma de Infra Estrutura, 1985.

DNIT – Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. Pesquisa de asfaltos modificados por polímeros – Relatório Final. Ministério dos Transportes. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico, 1998. Tomos I e II.

YODER, E. J. & WITCZAK, M. W. Principles of Pavement Design. John Willey & Sons Incorporation, 2nd Edition. 711p. Canadá, 1975.