

**14ª ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA
25 A 28 AGOSTO 2009)
BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS BRASIL**

O CONCEITO E A PRÁTICA DO TEOR ÓTIMO DE ASFALTO



Autor: Cristiano Costa Moreira, Técnico Químico – Eng. Civil – RT da Empresa Solocap-Tecnologia e Serviços de Engenharia Ltda – Av. dos Açudes, 99 – CEP 30.530-720 – Belo Horizonte – MG Brasil - solocap@solocap.com.br

RESUMO

O trabalho mostra que a definição do teor ótimo de asfalto em dosagens de misturas densas tipo CBUQ, deve ser função do menor VAM (volume de vazios do agregado mineral). O teor ótimo assim definido pode ou não estar alinhado com as máximas: densidade, resistência à tração ou estabilidade, no entanto, “é necessário” estar alinhado com valores de Vv (%vazios reais), e a valores de RBV (% da relação betume/vazios), dentro do intervalo especificado; caso contrário, deve-se recompor a curva granulométrica da mistura, para alterar a % de filler, ou a % de argamassa (\emptyset da areia), ou a % de pedregulho, e refazer nova série de corpos de prova.

Esta interpretação do comportamento das misturas betuminosa, destinadas a pavimentos rodoviários, difere das práticas recomendadas pelo ABNT – NBR 12891(1993), Soares (2000) Instituto de Asfalto dos EUA (1998), e em especial - USACE (2000), de se definir o teor ótimo em função da média dos teores correspondentes a densidade máxima, estabilidade máxima, e a média dos valores de Vazios reais (% Vv) e da relação betume\vazios (%RBV), fixando-se a energia de compactação em 75 golpes\face.

A experiência demonstra que fatores ligados principalmente à mineralogia, a geomorfologia e outras características geotécnicas das rochas e dos fragmentos, inclusive à curva granulométrica, indicam que cada rocha tem sua capacidade própria de absorver energia de compactação, e, portanto, fixar o número de golpes, resulta com frequência em obter teores de ligante menores, gerando revestimentos menos flexíveis e certamente com vida de fadiga menores.

Sabe-se que o Método Marshall originalmente criado pelo corpo de engenheiros do exército americano, destina-se a atender a revestimentos destinados a pouso e decolagem de aeronaves durante a segunda guerra mundial, onde as condições de impacto, atrito e deformações são bastante diferentes daquelas solicitadas para revestimentos destinados a tráfego urbanos e rodoviários.

PALAVRAS-CHAVE: Teor ótimo, Dosagem Marshall, Energia de compactação.

CONCEPT END THE PRACTICE FOR DETERMINING THE OPTIMUM ASFHALT RATIO IN MIXTURES

ABSTRACT

Nº do trabalho

**14ª ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA
25 A 28 AGOSTO 2009)**

BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS BRASIL

The present paper aims to show that the definition of Optimum Asphalt Content in dense Hot Mix Asphalt should be adopted regarding the minimum value of the Voids in the Mineral Aggregate VMA. The optimum asphalt content so defined may or may not be coherent with maximum values for: density, Indirect Tensile Strength or stability, but it is “mandatory” that it is coherent with the percentage between Voids in Total Mix (VTM) and the percentage relationship between asphalt binder content versus air voids, within specified limits, otherwise the aggregate gradation curve should be altered by changing the percentage of mineral filler, or the percentage of slurry seal (sand diameter) or the percentage of coarse aggregate and a new series of specimens for testing has to be molded.

This assessment of the behavior of bituminous mixes for high volume highway traffic differs from the recommendations derived from the Brazilian National Highway and Infrastructure Department, ABNT – NBR 12891, from the Asphalt Institute, particularly, from USACE in what concerns the definition of the optimum asphalt binder content relative to the average value of air voids (%Va) and the relationship between the percentage of asphalt binder content versus air voids, making the compaction energy constant at 75 blows per specimen face.

Experience has shown that mineralogical, geomorphological and other geotechnical aspects of rocks, there included its granular distribution curve, indicate that each rock has its own capacity to absorb energy, and, therefore, the arbitrary establishment of a certain number of blows will result, frequently, in lower asphalt binder contents, which, in its turn, will yield less flexible mixes and certainly with shorter service lives.

It is known that the Marshall methodology, originally created within USACE, was conceived to withstand the effect of landing and taking off of aircrafts during World War II, which effect, concerning the impact, friction and deformations, is very different than that offered to wearing courses built nowadays on actual urban and highway pavements.

KEY WORDS: Content great, Marshall Strength, energy compaction.

Nº do trabalho

**14ª ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA
25 A 28 AGOSTO 2009)**

BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS BRASIL

14ª ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA 25 A 28 AGOSTO 2009)

BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS BRASIL

APRESENTAÇÃO

Após décadas de práticas em laboratório e campo, com dosagens e com controles de produção de misturas betuminosas do tipo densas, entre AAUQ – Areia Asfalto Usinada a Quente, e em especial de CBUQ, destinados a revestimentos “rodoviários” em obras no território nacional; e ainda, conhecer, dosar e controlar misturas tipo CBUQ densas, para revestimentos de Aeroportos, foi possível identificar, sob o ponto de vista físico, geotécnico e mecânico, as metodologias das dosagens, os comportamentos e os objetivos destas misturas, seus respectivos desempenhos, e, sobretudo, a possibilidade de distingui-las, tornando possível elaborar este trabalho de forma simples e rápida, divulgar, expor o ponto de vista para os técnicos militantes. Esta concepção metodológica elimina o parâmetro subjetivo e freqüentemente inadequado, de que: O TEOR ÓTIMO, deve ser determinado pelas máximas características físicas, quando se fixa a energia e o volume de vazios.

INTRODUÇÃO

O fato notável para esta interpretação ocorreu em 1985, quando durante uma dosagem de mistura densa tipo AAUQ – Areia Asfalto Usinada a Quente, utilizando areia procedente do Rio Araguaia, próximo a Santana do Araguaia - PA, rodovia estadual PA-150. Por mais tentativas que realizasse, o teor de ligante encontrado era da ordem de 9,6%, atingido somente, quando a mistura continha cerca de 8% de cimento (filler). A areia disponível além da granulometria pouco graduada, continha grãos de forma arredondada, produzindo misturas com alto teor de vazios, baixos valores de estabilidade, e comportamento frágil, sob ponto de vista do atrito entre das partículas.

Tal dosagem se mostrou inviável, face ao alto custo do cimento, obrigando pesquisar jazidas de areias de sequeiro (de campo) para ser adicionada, de modo que mistura destas, apresentasse maior percentagem passando na peneira nº 200, e porcentagem de grãos de formas cúbicas e/ou arestas facetadas, capazes de reduzir volume de vazios na mistura, e os corpos de provas resultantes com maior atrito interno e maior coesão, em especial do mastique, dando lugar a maiores valores de estabilidades.

Para definir a relação ideal da mistura entre as areias – areia do Rio Araguaia + areia do sequeiro, foi utilizada a metodologia da compacidade relativa, determinando o menor índice de vazios mínimos de cada mistura, sob duas condições de adensamento – 1º adensamento hidráulico + vibração mecânica, e 2º - adensamento úmido por impacto + vibração mecânica, com utilização da mesa vibratória. Para tanto, foram experimentadas as misturas variando o percentual – 90/10, 80/20, 70/30, 60/40 e 50/50 entre as areias.

O próximo passo foi identificar o menor teor de cimento capaz de produzir mistura de AAUQ, com teor de ligante ótimo apresentando % de volume de vazios, relação betume vazios, estabilidade, dentro do intervalo de aceitação das especificações.

Identificou-se que os teores ótimos de ligante para todas as composições granulométricas com adição de cimento variando de 8% até 2%, ocorreram somente quando a curva definia com precisão o V.A. M mínimo para uma mesma energia de compactação.

A partir desta bem sucedida experiência com AAUQ, de definir o teor ótimo somente no VAM mínimo, posteriormente, a mesma filosofia foi confirmada para misturas tipo CBUQ destinadas a revestimentos rodoviários.

Nº do trabalho

**14ª ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA
25 A 28 AGOSTO 2009)**

BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS BRASIL

14ª ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA 25 A 28 AGOSTO 2009)

BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS BRASIL

Depois de tornar-se rotina o procedimentos para definição do teor ótimo, e ainda, várias experiências nas décadas de 80 e 90, o autor publicou de forma simples alguns trabalhos relativos ao assunto, em 1995 – na 28ª RAP- ABPv, e, no 12º Encontro de Asfalto em 96 – IBP – Comissão de Asfalto, intitulados: 1º - PROPOSIÇÃO DE MÉTODO DE DOSAGEM MARSHALL PARA MISTURA BETUMINOSA TIPO C.B.U.Q.2º - INTERDEPENDÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS MISTURAS BETUMINOSAS TIPO C.B.U.Q.3º - ANÁLISE E DESCRIÇÃO DE PROCEDIMENTOS DA PROPOSIÇÃO DE MÉTODO DE DOSAGEM MARSHALL PARA MISTURAS BETUMINOSAS TIPO C.B.U.Q.

FILOSOFIA DO MENOR V.A.M.

O conceito do menor V.A.M, associado ao índice de vazios mínimos é análogo e inverso ao conceito da densidade máxima na umidade ótima, quando se observa o comportamento da curva de compactação em solos, conforme ilustra o gráfico abaixo:

Figura 1

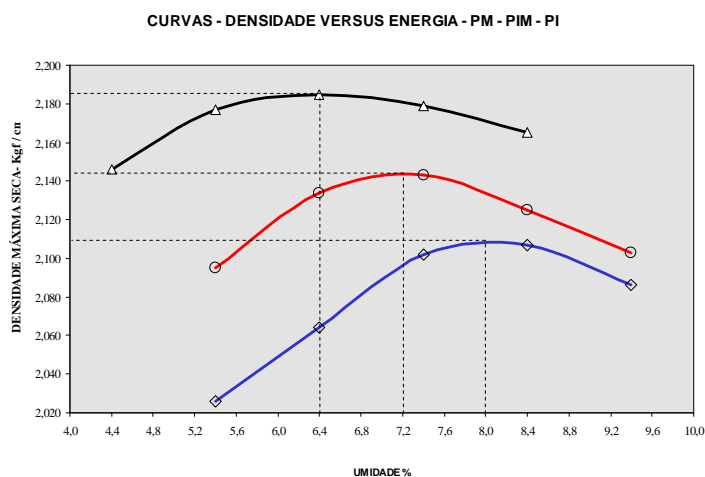


Figura 2

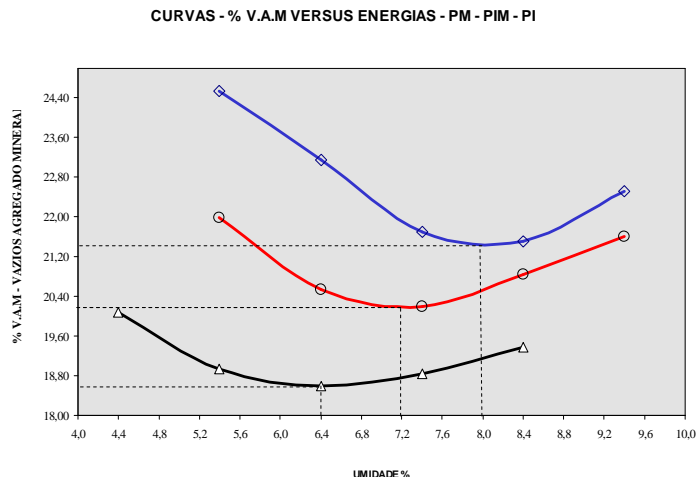


Figura 1 – As três curvas de compactações acima são reais e utilizam brita graduada procedente da rocha gnáissica, (características mostrada na tabela 1 – curva granulométrica enquadrada na Faixa “D” – DNER – ES - 303/97, selecionada propositalmente, por enquadrar-se também na Faixa “C” – Concreto Betuminoso – especificações DNER-ES-313/97), adotando energias compactações – PM – Proctor Modificado, PIM – Proctor Intermodificado e PI – Proctor Intermediário –

Figura 2 – As três curvas de V.A.M – Vazios do Agregado Mineral, são reais, e foram calculadas com as densidades úmidas, correspondem às curvas de compactações mostradas na figura 1. O cálculo do VAM foi análogo aos das misturas tipo CBUQ, para calcular as densidades máximas teóricas foi utilizada a densidade real da mistura de agregados igual a 2,685 g/cm³.

Da simples análise das curvas dos gráficos das figuras 1 e 2, constata-se que a hót (umidade ótima) e o VAM são funções das energias de compactações, para composições de misturas de agregados de mesma natureza mineralógica.

Nº do trabalho

14ª ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA
25 A 28 AGOSTO 2009)

BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS BRASIL

14ª ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA 25 A 28 AGOSTO 2009)

BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS BRASIL

OBJETIVOS DO TRABALHO

Demonstrar que o parâmetro VAM é uma variável dependente da umidade ou do teor ótimo de ligante, da curva granulométrica, da mineralogia, para uma determinada energia de compactação. Tal afirmativa é a tradução do comportamento de densificação / redução de volume, que ocorre no solo; e o autor, mostra nas dosagens seguintes que a mesma afirmativa deverá ser válida para misturas asfálticas densas, tipo, CBUQ.

Sob o ponto de vista filosófico, são dois objetivos – **principal e secundário**, sob o ponto de vista geotécnico poderão ser vários:

Objetivo Principal

1. “Mostrar que o teor ótimo de ligante deve ser definido pelo menor V.A.M, estando as demais características de acordo ao especificado”, para a energia de máxima densificação.

Objetivos secundários: (adotando as mesmas ferramentas para apresentar o principal)

1. “Agregados de procedências e naturezas mineralógicas diferentes, com a mesma curva granulométrica, exigem energias de compactações diferentes”;
2. “Mesma curva granulométrica, diferentes naturezas mineralógicas e geomorfológicas apresentam diferentes características Marshall, especialmente os volumes de vazios (% V.A.M, % Vv e % R.B.V) – (É freqüente ser necessário recompor uma mistura de agregados, para que nas curvas, o menor VAM corresponda ao teor ótimo de ligante, estando a % VV – Vazios reais, e a % RBV – Relação Betume/Vazios, de acordo ao especificado)
3. Evidenciar aspectos não explícitos no método ABNT – NBR 12.891/93;
4. Durante a dosagem, a variação percentual entre dois teores de CAP, deve ser menor ou igual ao intervalo de confiança do Teor ótimo;

PROCEDÊNCIA E CARACTERIZAÇÕES DOS AGREGADOS

Para este estudo foram utilizados agregados procedentes de rocha gnáissica da pedreira da Mineração Santiago situada em Santa Luzia - MG, e outro procedente de rocha calcária da pedreira da Ical – Indústria de Calcinação Ltda., em Vespasiano – MG.

Nº do trabalho

14ª ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA
25 A 28 AGOSTO 2009)

BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS BRASIL

**14ª ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA
25 A 28 AGOSTO 2009)
BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS BRASIL**

Tabela 1. Quadro de caracterizações dos agregados.

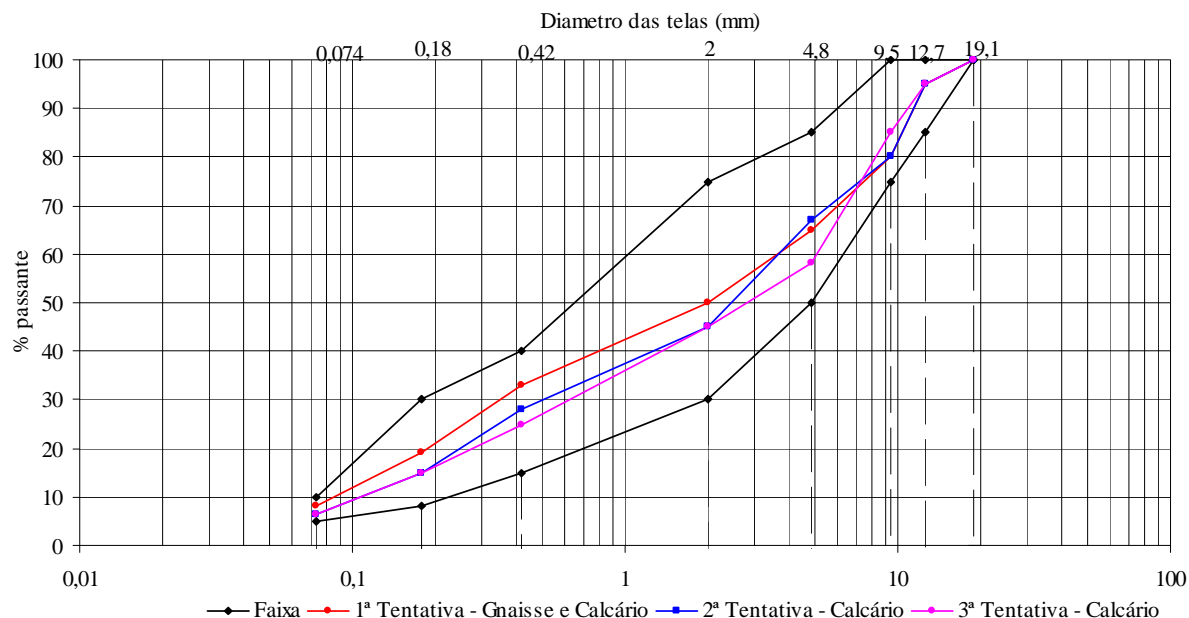
Ordem	Característica	Unid	Gnaisse			Calcário		
			Br.1	Br.0	Pó	Br. 1	Br.0	Pó
1	Abrasão Los Angeles	%	22	24	-	44	46	-
2	Degradação do Estado Washington		85		-	30		-
3	Índice de forma		88	74	-	80	68	-
4	Durabilidade a sulfatos	%	0,7		1,0	1,2		1,4
5	Adesividade	-	Satisfatória - 0,4% Dope			Satisfatória		
6	Porosidade aparente	%	0,7	0,8	-	1,0	1,1	-
7	Absorção d'água	%	0,6	0,7	-	0,9	0,8	-
8	Resistência ao esmagamento	%	10,0		-	16,0		-
9	Resistência ao choque	%	12,0		-	18		-
10	Densidade real	g\cm ³	2.685			2,716 e 2,720		
11	Densidade aparente	g\cm ³	1,385	1,378	1,536	1,415	1,408	1,565
12	Materiais carbonosos	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	Impurezas orgânicas	ppm	-	-	<300	-	-	<300

Nota - Densidades reais determinadas com utilização de vácuo

COMPOSIÇÕES DAS MISTURAS

Foram adotadas as seguintes curvas granulométricas, mostrado no quadro abaixo;

Figura 3 – Composições das Misturas – Curva Granulométrica



Nº do trabalho

**14ª ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA
25 A 28 AGOSTO 2009)**

BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS BRASIL

Tabela 2 – Composições das Misturas de Agregados

COMPOSIÇÕES E CURVAS DAS MISTURAS DE AGREGADOS								
PENEIRAS		PORCENTAGENS PASSANDO						
		CBUQ					BASE ESTABILIZADA	
		TENTATIVAS			Faixa "C" DNER-ES 313/97	COMBINAÇÃO	Faixa "D" DNER-ES 303/97	
POL.	mm	Gnaisse	Calcário					
			1ª	2ª	3ª			
1"	25,4							100
3/4"	19,1	100	100	100	100	100	100	
1/2"	12,7	95	95	95	95,0	85 - 100	95	
3/8"	9,52	80	80	80	85	75 - 100	80	60 - 100
4	4,76	65	65	67	58,0	50 - 85	65	50 - 85
10	2,0	50	50	45	45,0	30 - 75	50	40 - 70
40	0,42	33	33	28	25,0	15 - 40	33	25 - 45
80	0,18	19	19	15	15,0	8 - 30	--	--
200	0,074	8	8	6,5	6,5	5 - 10	8	10 - 25

Nota – Conforme mostrado adiante, para a composição utilizando o Gnaisse, foi necessário somente uma tentativa para definir o teor ótimo em função do menor VAM, enquanto que para o calcário, foram três tentativas, com alterações significativas entre a 1ª e 3ª composição, ou seja, variação de + 32% na fração pedregulho, redução de - 26% na fração de areia, mantendo a mesma fração de filer = 6,5%.

DEFINIÇÃO DA ENERGIA DE COMPACTAÇÃO – 1º PASSO

Para definir a energia de compactação, arbitrou-se, o intervalo de golpes/face de 55, 65, 75 e 85, e um teor de ligante e capaz de produzir misturas sob o ponto de vista geotécnico e tátil visual, rico em ligante, igual 5,7% de CAP-50/70, sobre o peso da mistura de agregado.

Os pontos de inflexões das curvas de densidades de cada agregados – gnaisse e calcário, apresentaram valores diferentes de energia (diferentes números de golpes).

Gráfico da Densidade Aparente versus N° de Golpes

Nº do trabalho

**14ª ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA
25 A 28 AGOSTO 2009)**

BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS BRASIL

**14ª ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA
25 A 28 AGOSTO 2009)
BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS BRASIL**

Figura 4 – Calcário

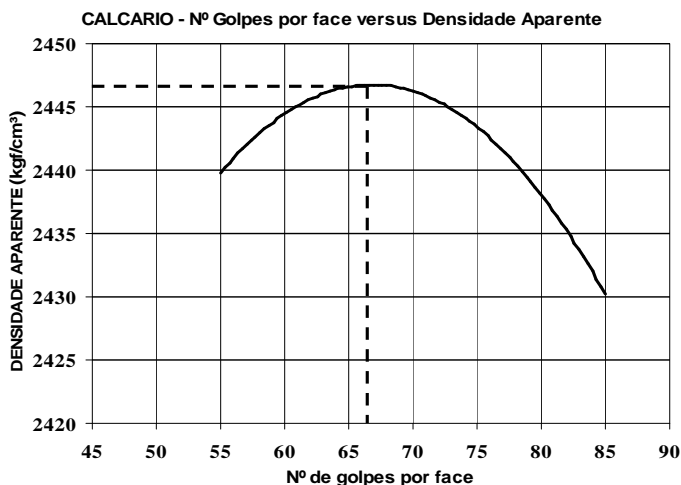
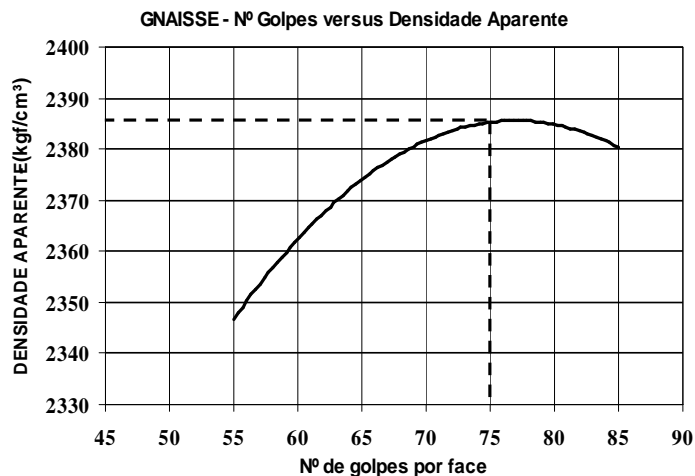


Figura 5 – Gnaisse



Como segunda ferramenta para definir com segurança o número de golpes por face, a ser aplicado em cada corpo de prova, foram determinadas as resistências a tração por compressão diametral, para cada energia, conforme mostram os gráficos abaixo

Gráfico da Resistência à Tração versus Nº de Golpes

Figura 6

CALCÁRIO

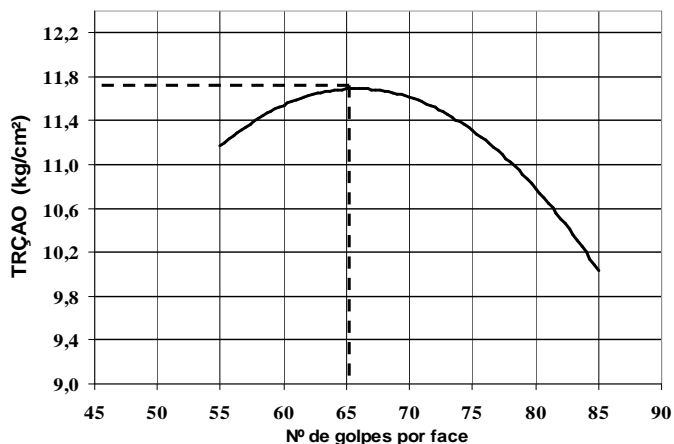
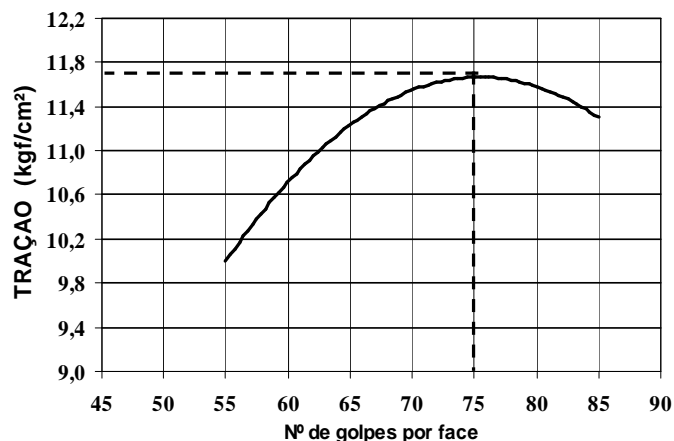


Figura 7

GNAISSE



Da simples análise das figuras 4, 5, 6 e 7, é possível definir que as energias de máximas densificações são:

- Para agregados gnáissicos – 75 golpes / face
- Para agregados calcários – 65 golpes / face.

DEFINIÇÃO DA VARIAÇÃO DO TEOR DE LIGANTE A SER DOSADO - 2º PASSO

Nº do trabalho

**14ª ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA
25 A 28 AGOSTO 2009)**

BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS BRASIL

Para a definição dos teores de CAP-50/70, foi adotado a variação de $\pm 0,25\%$; $\pm 0,50\%$ e $\pm 0,75\%$ em relação ao Teor Teórico, calculado a partir da equação do Prof. Duriez,

$$\% \text{ CAP} = K \sqrt[5]{\frac{\sum S . esp}{100}}$$

Onde CAP = % de cimento asfáltico em relação ao peso total da mistura

K = coeficiente denominado módulo de riqueza; (é função da ação combinada dos fatores: forma, densidade real, absorção dos agregados, viscosidade e densidade real do asfalto, tráfego e tipo da camada do revestimento), variando de 3,5 a 4,0; sendo o que o autor adota = 3,75 para misturas destinadas a revestimento de rodovias, com utilização de CAP-50/70.

$\sum S. esp$ = somatório da superfície específica de cada fração do agregado – em m^2/kg .

A S. esp (superfície específica = \sum da área superficial dos fragmentos das frações da mistura, é calculada com base nas porcentagens retidas multiplicadas por índices relativos aos diâmetros). Estes índices foram calculados originalmente pelo francês Duriez, posteriormente por Vogt, e recentemente pelo autor deste trabalho:

Tabela 3 – Cálculo da Superfície Específica

CÁLCULO DA SUPERFÍCIE ESPECÍFICA				
GRADUAÇÃO	FRAÇÃO		ÍNDICES	
	PASSADO	RETIDO	VOGT	C. MOREIRA
G – 4	1	19,1	0,04	0,04
G – 3	19,1	12,7	0,07	0,07
G – 2	12,7	9,5	0,14	0,14
G – 1	9,5	4,8	0,33	0,33
M – 4	4,8	2,0	0,81	0,72
M – 3	2,0	0,42	2,7	2,36
M – 2	0,42	0,18	9,15	8,10
M – 1	0,18	0,074	21,9	19,28
F	0,074	Fundo	135	108,72

Nota 1 - Os índices são validos para densidade real das partículas = $2,65 \text{ g/dm}^3$, para outras densidades utilizar o fator Fc da tabela abaixo.

Nota 2 – A prática indica que os teores calculados com índices de C.Moreira são próximos dos reais.

Tabela 4 – Quadro Densidade Real X Fator de Correção

Densidade real	FATOR – Fc.
2,35	1,13

Nº do trabalho

**14ª ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA
25 A 28 AGOSTO 2009)**

BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS BRASIL

**14ª ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA
25 A 28 AGOSTO 2009)**

BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS BRASIL

2,45	1,08
2,55	1,02
2,65	1,00
2,75	0,97
2,85	0,93
2,95	0,90

MOLDAGEM DOS CORPOS DE –PROVAS – 3º PASSO

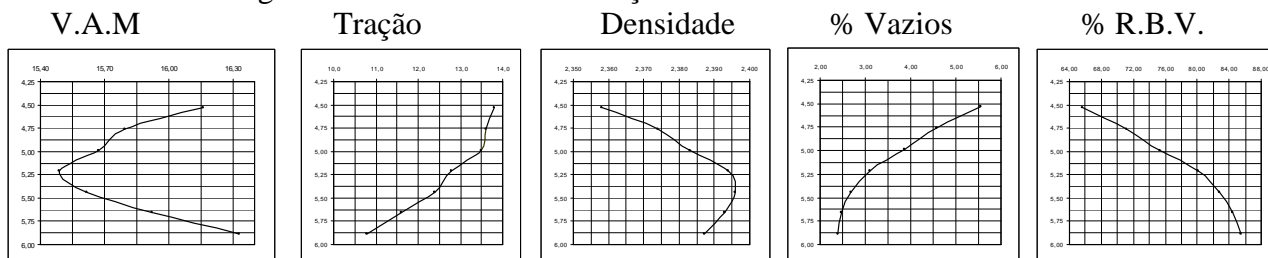
Foram adotadas práticas preconizadas pelos métodos dos ensaios DNER - ME-43/95 e ABNT – NBR-12891/93, obedecendo todas as demais recomendações contidas - Proposição de Método Marshall para misturas betuminosas tipo CBUQ – Moreira, (1995)

RESUMOS DAS CARACTERÍSTICAS MARSHALL -4º PASSO

Tabela 5 – Resultados Encontrados - Agregados Gnáissico

AGREGADO GNAISSICO – Densidade Real 2,685 g/cm ³								
Nº	% CAP		DENSIDADES		VAZIOS			Resistência Tração kgf/cm ²
	S\Agregado	S\Mistura	Aparente	Teórica	Reais	VAM	RBV	
	%	%	g\cm ³	g\cm ³	%	%	%	
1	4,75	4,53	2,358	2,496	5,54	16,2	65,7	13,80
2	5,00	4,76	2,374	2,488	4,57	15,8	71,1	13,6
3	5,25	4,99	2,383	2,479	3,87	15,7	75,3	13,50
4	5,50	5,21	2,394	2,470	3,09	15,5	80,0	12,80
5	5,75	5,44	2,396	2,462	2,68	15,6	82,8	12,40
6	6,00	5,66	2,393	2,454	2,47	15,9	84,5	11,60
7	6,25	5,88	2,387	2,445	2,38	16,3	85,4	10,8

Figura 8 - Gráficos VAM / Tração / Densidade / % Vazios / % RBV



COMENTÁRIOS

- a) A curva do VAM juntamente com a curva da densidade, apresentam pontos de inflexões bem definidos e correspondentes ao teor de 5,21% de CAP., as demais características, densidade,

Nº do trabalho

**14ª ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA
25 A 28 AGOSTO 2009)**

BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS BRASIL

**14ª ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA
25 A 28 AGOSTO 2009)**

BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS BRASIL

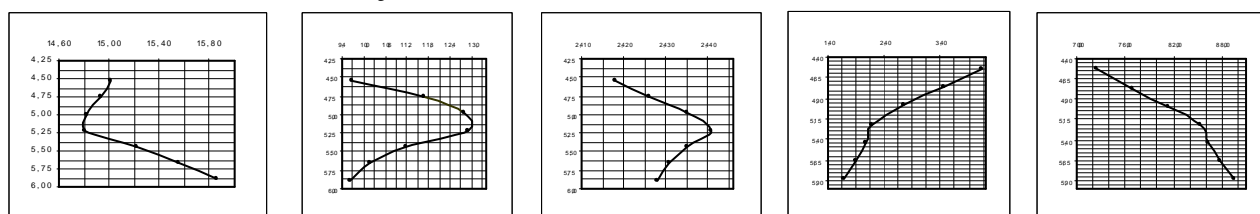
Vazios (Vv) e Relação betume/Vazios (RBV) situam-se dentro dos intervalos especificados, respectivamente de 3,0% a 5,0% para %Vv e de 75,0% a 82,0%, para %RBV, exceto a curva de resistência a tração que apresentou-se decrescente em função do teor.

- b) Devido ao reduzido prazo disponibilizado para execução dos ensaios tempo, não foi possível pesquisar as razões da curva de resistência a tração apresentar-se contraditória.
- c) A partir dos gráficos acima, é possível definir que: O TEOR ÓTIMO PARA ESTA MISTURA É IGUAL 5,21%, QUANDO O V.A.M É IGUAL 15,5%

Tabela 6 – Resultados Encontrados Agregado Calcário – 1ª tentativa

AGREGADO CALCARIO – 1ª COMPOSIÇÃO - Densidade Real 2,716 g/cm³								
Nº	% CAP		DENSIDADES		VAZIOS			Resistência Tração kgf/cm²
	S\Agregado	S\Mistura	Aparente	Teórica	Reais	VAM	RBV	
	%	%	g\cm³	g\cm³	%	%	%	
1	4,75	4,53	2,418	2,522	4,12	15,01	72,55	9,70
2	5,00	4,76	2,426	2,513	3,46	14,93	76,83	11,70
3	5,25	4,99	2,435	2,504	2,76	14,82	81,4	12,80
4	5,50	5,21	2,441	2,495	2,17	14,81	85,32	12,90
5	5,75	5,44	2,435	2,487	2,07	15,22	86,38	11,20
6	6,00	5,66	2,431	2,478	1,90	15,56	87,82	10,20
7	6,25	5,88	2,428	2,469	1,68	15,86	89,41	9,6

Figura 9 - Gráficos VAM / Tração / Densidade / % Vazios / % RBV – Calcário – 1ª Tentativa



Comentários da 1ª tentativa - Calcário

- a) A curva do VAM apresenta ponto de inflexão bem definido e igual a 14,81%, pontos análogos para as curvas de densidade e resistência tração, todos correspondente ao teor de 5,21% de CAP., porém, as % VV e % RBV, “situam-se “FORA” do intervalo de aceitação. Foi necessário recompor a curva, alterar as frações – filler – areia e pedregulho,.

Tabela 7 – Resultados Encontrados Agregado Calcário – 2ª tentativa

AGREGADO CALCARIO – 2ª COMPOSIÇÃO - Densidade Real 2,716 g/cm³								
Nº	% CAP		DENSIDADES		VAZIOS			Resistência Tração
	S\Agregado	S\Mistura	Aparente	Teórica	Reais	VAM	RBV	

Nº do trabalho

**14ª ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA
25 A 28 AGOSTO 2009)**

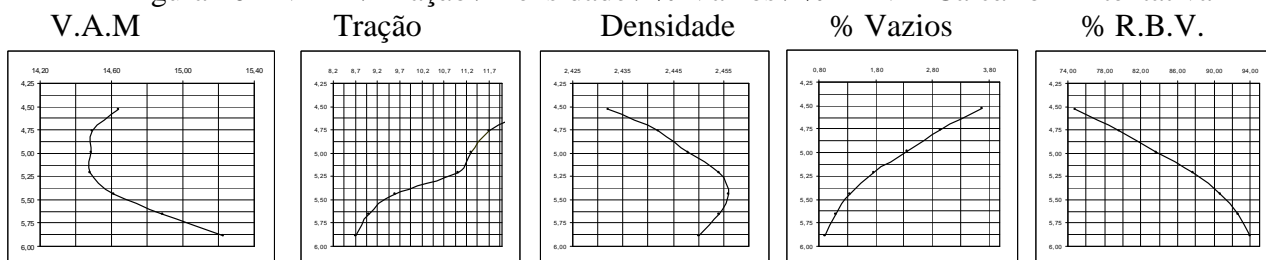
BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS BRASIL

**14ª ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA
25 A 28 AGOSTO 2009)**

BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS BRASIL

	%	%	g/cm ³	g/cm ³	%	%	%	kgf/cm ²
1	4,75	4,53	2,432	2,525	3,69	14,64	74,79	12,70
2	5,00	4,76	2,442	2,517	2,95	14,50	79,66	11,70
3	5,25	4,99	2,448	2,507	2,36	14,49	83,69	11,30
4	5,50	5,21	2,454	2,498	1,78	14,48	87,72	11,00
5	5,75	5,44	2,456	2,490	1,35	14,62	90,73	9,60
6	6,00	5,66	2,454	2,481	1,09	14,89	92,66	9,00
7	6,25	5,88	2,450	2,473	0,91	15,22	94,00	8,70

Figura 10 – VAM / Tração / Densidade / % Vazios / % RBV – Calcário - 2ª tentativa



Comentários – 2ª Tentativa – Calcário

- a) A curva do VAM apresenta ponto de inflexão bem definido, com o menor valor igual a 14,48%, pontos análogos para as curvas de densidade, tração, todos correspondente ao teor de 5,21% de CAP., porém, a % VV e % RBV, “continuam a situar-se “FORA” do intervalo de aceitação. Foi necessário recompor novamente a curva, alterar as frações – filler – areia e pedregulho.

Tabela 8 – Resultados Encontrados Agregado Calcário – 3ª tentativa

AGREGADO CALCARIO – 3ª COMPOSIÇÃO - Densidade Real 2,716 g/cm ³								
Nº	% CAP		DENSIDADES		VAZIOS			Resistência Tração kgf/cm ²
	S\Agregado	S\Mistura	Aparente	Teórica	Reais	VAM	RBV	
	%	%	g/cm ³	g/cm ³	%	%	%	
1	4,75	4,53	2,398	2,525	5,04	15,84	68,19	8,80
2	5,00	4,76	2,408	2,516	4,30	15,69	72,59	9,60
3	5,25	4,99	2,431	2,507	3,04	15,08	79,84	10,20
4	5,50	5,21	2,430	2,498	2,74	15,32	82,12	10,40
5	5,75	5,44	2,425	2,490	2,60	15,69	83,44	10,20
6	6,00	5,66	2,418	2,481	2,54	16,13	84,24	10,0
7	6,25	5,88	2,414	2,473	2,37	16,47	85,61	9,60

Figura 11 – VAM / Tração / Densidade / % Vazios / % RBV – Calcário – 3ª Tentativa

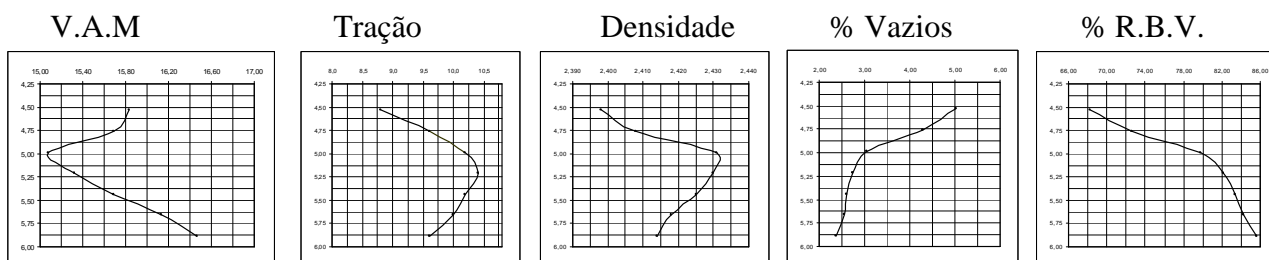
Nº do trabalho

**14ª ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA
25 A 28 AGOSTO 2009)**

BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS BRASIL

14ª ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA 25 A 28 AGOSTO 2009)

BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS BRASIL



Comentários – 3ª Tentativa – Calcário

- A curva do VAM apresenta ponto de inflexão bem definido, com o menor valor igual a 15,08% juntamente com as curvas de densidade, tração, todos correspondente ao teor de 4,99% de CAP., e as demais características, Vazios (Vv) e Relação betume/Vazios (RBV) – situam-se respectivamente dentro dos intervalos de 3,0% a 5,0% para Vv, 75,0% a 82,0%, para %RBV.
- A partir da 3ª tentativa, mostrada nos gráficos acima, pode-se definir com precisão que: O TEOR ÓTIMO PARA ESTA MISTURA É 4,99%.

CONCLUSÃO

1º - Com base no texto, o autor procura mostrar que o Teor ótimo de CAP deve ser definido em função do menor VAM.

2º - Com base no texto, nas tabelas e figuras apresentadas, é possível afirmar que todas as características físicas das misturas betuminosas são interdependentes entre si a partir da definição da energia de máxima densificação.

3º - Com base no texto, agregados de mineralogias diferentes – no caso presente, Gnaiss e Calcário, demonstram e requerem diferentes energias para a sua melhor estabilização mecânica.

4º – O autor acusa a falta de ensaios dinâmicos “Resiliência” e “Vida de Fadiga” para auxiliar no objetivo principal deste trabalho definição do TEOR ÓTIMO DE ASFALTO EM MISTURAS BETUMINOSAS TIPO CBUQ.

4º - Este trabalho procurou fornecer parâmetros para auxiliar o Engenheiro ou técnico responsável pela qualidade da dosagem, na definição / aprovação do teor ótimo de CAP de dosagens de misturas tipo CBUQ, destinadas a revestimento de pavimentos rodoviários.

5º - O autor esclarece que nos últimos 20 anos, tem aplicado com sucesso “O Conceito e a Prática em definir o TEOR ÓTIMO DE CAP DE MISTURAS BETUMINOSAS TIPO CBUQ, da forma como mostrou a seqüência entre o 1º ao 4º passo”.

6º - A definição do intervalo de confiança do teor ótimo, a partir das dosagens, ilustra com mais segurança que as demais características físicas da mistura estarão dentro dos intervalos de aceitação durante a produção e controle na usina de asfalto, considerando a variável Teor de Ligante.

7º - Como o objetivo deste trabalho é realçar e alterar a metodologia original do Método Marshall, no que diz respeito à “Definição do Teor ótimo de Ligante”, e os procedimentos descritos vem sendo aplicado com grande coerência e aceitação nos últimos 23 anos pela equipe da Solocap, o autor sugere que este procedimento receba o nome de **Método Marshall Mineiro**.

AGRADECIMENTOS

Nº do trabalho

14ª ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA
25 A 28 AGOSTO 2009)

BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS BRASIL

**14ª ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA
25 A 28 AGOSTO 2009)**

BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS BRASIL

Registro a contribuição e a experiência da equipe Técnica da Solocap, em especial do encarregado do laboratório Paulo Roberto, do laboratorista Ricardo Soares, na preparação e execução criteriosa das composições, moldagem e rompimento dos corpos de prova e finalmente nas discussões internas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 – DNIT –Ensaio Marshall Para Misturas Betuminosas - DNER ME – 43\94 –
- 2 – DENIT – Determinação da Resistência a Tração por Compressão Diametral ME – 138\94
- 3 – DNIT – Solos – compactação utilizando amostras não trabalhadas – DNER-ME-129/94
- 4 – Moreira. C.C – Proposição de Método De Dosagem Marshall Para Misturas Betuminosas TIPO CBUQ – ABPv - 28ª RAP – B.Hte- 1995
- 5 – MOREIRA C.C – Interdependência Das Características Físicas Das Misturas Betuminosas Tipo CBUQ - ABPv - 28ª RAP – B.Hte – 1995.
- 5 – Moreira. C.C - Análise e Descrição de Procedimentos da Proposição De Método De Dosagem Marshall Para Misturas Betuminosas Tipo CBUQ – IBPg - 12º E.A – 1.996 – RJ.
- 6 – Bernucci, Motta, Ceratti, Soares – Pavimentação Asfáltica – Petrobrás – Abeda – 2.008.
- 7 – The Asphalt Intitute – Manual Del Asfalto, 1.969.
- 8 - The Asphalt Intitute – Manual Del Asfalto, 1.998.
- 9 – Castro, Pery C G; Felipe, Ligia T.P – Concreto Asfáltico – Separata do boletim do DAER – RGS - nº 101-102-103-104-1970 – Ano XXXIII.
- 10 - Firms De Carreteras Y Autopistas – Editores Técnicos Associados S.A. – 1970 – Espanha
- 11 – Soares, J.B; Freitas, F.A.C., Branco.J.V.C., Motta,L.M.G- 32a RAP-Brasília- 2000, Método De Previsão Do Teor Ótimo De Ligante EmMisturas Asfálticas Tipo Cbuq
- 12 – G.Jeufrroy – 1973 – Proyeto e Construccion de Carretas – Tomo II – Capitulo IX
- 13 – Souza. M.L. - Misturas betuminosas associadas dos ligantes betuminosos aos agregados – DNER 1961
- 14 – Mota – L.M. G – Aspectos do comportamento de misturas asfálticas – IBP - 1993.
- 15 – Souza – M.L. – Pavimentação rodoviária – vol. 1 – IPR – 1976.
- 16 - ABNT - NBR –12891/95 – Dosagem de Mistura Betuminosa pelo Método Marshall.
- 17 – Santana, H. – Manual de Pré-misturado a Frio – IBP – 1992.
- 18 - Campos, R.A.B: Portilho M; Figueiredo, M.A.A; Moreira, Cristiano C. – Um caso de Fissuração Precoce de Reforço de Pavimento da BR – 153 em CBUQ Executado com Rocha de Micaxisto da Região de Goiânia – GO – 2º Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projeto de Reforço – Vol II – 1989
- 19 - Santana, H.; Gontijo, PRA – A Filosofia dos Pré-misturados a Frio Abertos – 8º encontro de Asfalto – IBP – 1986
- 20 - Junior, F.A.; Giampaglia, H.R. – Análise de um Programa Interlaboratorial Referente a Cimentos Asfálticos de Petróleo – 9º Encontro de Asfalto – IBP – 1988
- 21 - Medina, J. Mota, L.M.G.; Pinto, S.; Leite, L.M. – Um Estudo de Fadiga de Misturas Asfálticas com Seis Cimentos Asfálticos da Petrobrás – 10º Encontro de Asfalto – 1990
- 22 - Carneiro, F.B.L.B.; Silva. H.C.M. – Degradação dos Agregados nas Camadas de Base de Brita Graduada e de Revestimento de Concreto Asfáltico – análise da Validade do Ensaio Los Angeles – 4º Encontro de Asfalto – IBP – 1979.

Nº do trabalho

**14ª ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA
25 A 28 AGOSTO 2009)**

BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS BRASIL

**14ª ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA
25 A 28 AGOSTO 2009)**

BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS BRASIL

- 23 - Mardi, J.V.; Butzez – Cálculo analítico dos Parâmetros Definidores de um Projeto de Concreto Asfáltico – 1º congresso Latino Americano de Asfalto – 1981
- 24 - The Asphalt Intitute – Antecedentes Del Diseño y Analisis de Mezclas Asfalticas de Superpave. - 1996.
- 25 – Vasconcelos. K.L; Soares. J.B; Leite. L.M - Influência da Densidade Máxima Teórica na Dosagem de Misturas Asfálticas – UFC - Laboratório de Mecânica dos Pavimentos – LMP

Nº do trabalho

**14ª ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA
25 A 28 AGOSTO 2009)**

BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS BRASIL