	TRABALHOS TÉCNICOS	Nº TTG-004
		DATA DEZ/94
DISCIPLINA GEOTECNIA	ATIVIDADE ANÁLISE E DESCRIÇÃO DE PROCEDIMENTOS DA PROPOSIÇÃO DE MÉTODO DE DOSAGEM MARSHALL PARA MISTURAS BETUMINOSAS TIPO C.B.U.Q.	REVISÃO 01/03
		FOLHA 01 / 14

RESUMO

O trabalho descreve e apresenta a seqüência operacional de procedimentos para execução de uma dosagem Marshall, visto exclusivamente como uma tarefa de laboratório de asfalto. Aborda-se a análise dos parâmetros físicos da mistura frente a algumas características mecânicas das rochas. Finalmente, ordenam-se critérios para a seleção do "Teor Ótimo de CAP", ou de uma possível recomposição da mistura de agregados. Este trabalho também põe em evidência, procedimentos não explícitos no método DNER - ME 43/64, e se fundamenta na experiência do autor em mais de duas centenas de dosagens

ABSTRACT

This paper describes and presents the operational of a Marshall teste procedures, seen exclusively as na laboratory test. The mixture physical parameters are examined face to some rocle mechanical characteristics. Finally, it estabilishes criterio to the "CAP optimum content" determination of a possible aggregates mixture recomposition. This paper also makes evidence no explicit procedures in the DNER - ME 43/64 Method, and it is based on the autor's experience in over two hundred mixture desings.

1 - OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo sugerir alteração no procedimento da análise dos parâmetros físicos definidores do teor ótimo de CAP.

2 - INTRODUÇÃO

Uma dosagem de mistura betuminosa tipo C.B.U.Q. define:


- Composição da mistura
- Curva granulométrica
- Características físicas e mecânicas dos CP's
- TEOR ÓTIMO DE CAP

A composição da mistura compreende a distribuição percentual entre:

- Agregados grossos
- Agregados miúdos
- Agregados finos - (Filler)
- Cimento asfáltico de petróleo - CAP

Sob tais aspectos, o estudo segue um procedimento de modo a compatibilizar a tarefa de laboratório com os objetivos fins da dosagem:

- 1 - Melhor estabilização física da mistura via curva granulométrica
- 2 - Melhor relação espessura do revestimento X Diâmetro efetivo do agregado
- 3 - Composição de menor custo
- 4 - Melhor balanceamento na distribuição das % dos agregados favorecendo a produção fria na usina

	TRABALHOS TÉCNICOS	Nº TTG-004
		DATA DEZ/94
DISCIPLINA GEOTECNIA	ATIVIDADE ANÁLISE E DESCRIÇÃO DE PROCEDIMENTOS DA PROPOSIÇÃO DE MÉTODO DE DOSAGEM MARSHALL PARA MISTURAS BETUMINOSAS TIPO C.B.U.Q.	REVISÃO 01/03
		FOLHA 02 / 14

3 - SELEÇÃO DOS AGREGADOS

Os agregados são inicialmente selecionados pela granulometria em função da possibilidade de participar ou não da composição da mistura de agregados. Posteriormente são avaliados em suas características físicas, químicas e mecânicas, de modo a atender às especificações vigentes.

Todas as frações da mistura dos agregados devem ser avaliadas, principalmente os agregados, miúdos e os finos. Quanto a granulometria, por peneiramento e/ou sedimentação, textura, mineralogia.

A título de exemplo, vejamos a ação dos finos da rocha de Micaxisto sobre o Módulo Resiliente e a Tensão de Tração. (11)

Naquele estudo, a influência maléfica dos finos do micaxisto na rigidez da massa de concreto asfáltico foi constatada através dos ensaios de Módulo Resiliente e Tensão de Tração.

Após as alterações na mistura, com a substituição integral os finos de micaxisto menores que 2 mm por outros como granito, areia quartzosa e filler calcário.

Do traço inicialmente dosado para o CBUQ, reduziu o MR de valores da ordem de 60000 Kgf/cm² e a Tensão de Tração de valores da ordem de 11 Kgf/cm² para 4 Kgf/cm².

4 - COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

A composição granulométrica do CBUQ deve satisfazer as faixas consagradas para misturas deste gênero, de modo que o diâmetro máximo seja igual ou inferior a 2/3 da espessura da camada do revestimento.


A composição da mistura de agregados deve ser, tal que se possa extrair da curva, os diâmetros correspondentes as peneiras que irão classificar os agregados.

A composição da mistura de agregados, sempre que possível deve apresentar as % bem definidas e balanceadas entre Brita 1 + Brita 0, Pó, Areia e Filler abastecimentos dos silos frios de modo a favorecer boa operacionalidade. Caso o nº de silos da usina seja menor que o nº de agregados a utilizar, haverá necessidade de processar mistura de 2 ou mais agregados fora dos silos. E neste caso, seria conveniente que as porcentagens de misturas apresentem relações volumétricas inteiras, como 1:1; 1:2; 1:3 e no máximo 1:4.

A composição da mistura de agregados deve atender de maneira combinada ao melhor desempenho técnico como ao menor custo posto, usina. Em geral, uma mistura apresenta seu custo como sendo:

- Agregados: 30%
- Ligante: 70%

A composição da mistura de agregados muitas vezes valoriza a participação de agregados miúdos ou finos face ao seu baixo custo de obtenção. Sua maior utilização exige maior teor de ligante. Muitas vezes uma redução de 10% relativos; aos agregados, pode onerar o teor nos mesmos 10%, porém, o custo absoluto aumenta em 4%. É o caso de alguns pós e areias.

	TRABALHOS TÉCNICOS	Nº TTG-004
		DATA DEZ/94
DISCIPLINA GEOTECNIA	ATIVIDADE ANÁLISE E DESCRIÇÃO DE PROCEDIMENTOS DA PROPOSIÇÃO DE MÉTODO DE DOSAGEM MARSHALL PARA MISTURAS BETUMINOSAS TIPO C.B.U.Q.	REVISÃO 01/03
		FOLHA 03 / 14

A composição da mistura de agregados deve, sempre que possível, equilibrar o consumo com a produção da britagem (caso em que os materiais são produções próprias).

Neste caso, há situações em que se torna impraticável. Muitas vezes é função das características físicas e mineralógicas da rocha, fraca ou alterada. Há rochas, que após britada se produz grande fração arenosa, falta-lhes finos na categoria filler.

Em fim, a composição da mistura de agregados deve ser tal que produza a melhor estabilização granulométrica possível e compatível com a espessura da camada a utilizar.

5 – DEFINIÇÃO DOS TEORES A SEREM MOLDADOS

É fundamental que os teores utilizados na confecção dos corpos-de-prova, cubram uma escala, onde as características físicas determinadas, possam sofrer variações típicas para misturas deste gênero, tornando assim, mais fácil a identificação do Teor Ótimo. Quando não se conhece bem o intervalo de variação dos teores de CAP a utilizar, pode-se tomar como referência o “Teor Teórico” e distribuir o intervalo. Como segue:

$$(- 1,5\%): - 1,0\%: - 0,5\% \text{ TEOR TEÓRICO } + 0,5\%: + 1,0\%: (+ 1,5\%)$$

Este teor pode ser calculado utilizando-se a fórmula do prof. Duriez:

$$CAP = K \cdot \frac{\sum S_{.esp}}{100} \quad \text{RAIZ!!}$$

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


K = coeficiente denominado módulo de riqueza e é função da ação combinada dos fatores forma, densidade e absorção dos agregados, viscosidade e densidade do asfalto, tráfego e tipo da camada da rodovia, em geral, adota-se K = 3,75

\sum = somatório da superfície específica do agregado – expresso em m²/kg

A S.esp é calculada com base na curva granulométrica, utilizando-se as porcentagens retidas multiplicadas por índices relativos aos diâmetros. Estes índices foram corrigidos por Vogt, e agora também apresentados pelo autor:

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

QUADRO 1

	TRABALHOS TÉCNICOS	Nº TTG-004
		DATA DEZ/94
DISCIPLINA GEOTECNIA	ATIVIDADE ANÁLISE E DESCRIÇÃO DE PROCEDIMENTOS DA PROPOSIÇÃO DE MÉTODO DE DOSAGEM MARSHALL PARA MISTURAS BETUMINOSAS TIPO C.B.U.Q.	REVISÃO 01/03
		FOLHA 04 / 14

Os índices acima foram estabelecidos para densidade real das partículas = 2,65 g/dm³

Como existe faixa de trabalho traçada dentro das tolerâncias máximas para cada curva granulométrica, podemos dizer que os teores teóricos máximos e mínimos devem variar dentro do intervalo aceitável. Como exemplo temos:

PENEIRAS	CURVA	FAIXA DE TRABALHO	FAIXA ESPECÍFICA
3/4	100	100	100
1/2	92,5	85 – 100	85 – 100
3/8	87,5	80,5 – 94,5	75 – 100
4	67,5	62,5 – 72,5	50 – 85
10	55,0	50,0 – 60,0	30 – 75
40	27,5	22,5 – 32,5	15 – 40
80	19,0	16,0 – 22,0	8 – 30
200	7,5	5,5 – 9,5	5 – 10
Σ	11,877	9,346 – 14,408	-
% CAP	6,2	5,9 – 6,4	-

QUADRO 2

Ocorrendo variação na densidade, utilizar o fator para corrigir a Σ Sesp., conforme abaixo (4):

DENSIDADE	FATOR Fc
2,35	1,13
2,45	1,08
2,55	1,02
2,65	1,00
2,75	0,97
2,85	0,93
2,95	0,90

QUADRO 3


6 - SEPARAÇÃO DAS FRAÇÕES DE AGREGADOS

Os corpos-de-prova devem ser moldes, contendo todas as frações representativas da curva granulométrica, principalmente as porcentagens retidas e passando na peneira nº 200 (0,074 mm). Conforme se vê, no quadro do cálculo da Superfície específica, a % passando na peneira 200 é muito representativa e é fator decisivo no teor ótimo, e, por consequência, em todas as variáveis interdependentes (8). O Anexo 2 auxilia esta separação.

Utilizando o anexo 2, compõe-se uma mistura de agregados capaz de produzir no mínimo 15 CP's mais um adicional de 20% em peso, para garantir a separação completa das frações.

Nº de CP x peso x CP x % adicional = peso total

15 1200 1,20 21600

	TRABALHOS TÉCNICOS	Nº TTG-004
		DATA DEZ/94
DISCIPLINA GEOTECNIA	ATIVIDADE ANÁLISE E DESCRIÇÃO DE PROCEDIMENTOS DA PROPOSIÇÃO DE MÉTODO DE DOSAGEM MARSHALL PARA MISTURAS BETUMINOSAS TIPO C.B.U.Q.	REVISÃO 01/03
		FOLHA 05 / 14

MATERIAL	%	PARTICIPAÇÃO	PESO
Brita 1	20	0,2 x 21600	4320
Brita 0	30	0,3 x 21600	6480
Pó	30	0,3 x 21600	6480
Areia	20	0,2 x 21600	4320

QUADRO 4

É fundamental que as amostras estejam secas, e preparadas por quarteamentos sucessivos.

7 – COMPOSIÇÃO DO CORPO-DE-PROVA

O corpo-de-prova padrão Marshall apresenta:

Ø	= 10,16 cm (4")
Altura	= 6,35 cm (2 ½)
Volume	= 514,81 cm ³

Compor a mistura com as frações de agregados com peso suficiente capaz de produzir corpos-de-prova com altura padrão, admitindo uma tolerância da ordem de aproximadamente 2,5%. Em geral, para misturas de agregados com densidade em torno de 2,7 g/dm³, 1200 gr são suficientes para compor um CP. Calculados os teores teóricos, recomenda-se fazer aproximações para múltiplos de 0,5%. A rigor, e para maior precisão na definição do Teor Ótimo de CAP, é recomendável que a variação dos teores em torno deste ótimo teórico seja mesmo de 0,3%, ou seja, aproximadamente 0,3% e seus múltiplos. Mesmo porque, por força da especificação de serviço – DNER-ES-P-22/71, no item 6.3 – Controle da Qualidade de Ligante na Mistura, “A porcentagem de ligante poderá variar no máximo, + ou – 0,3% da faixa de projeto.”

Esta variação é permitida por si só, e também em função da variação normal da curva granulométrica, dentro da faixa de trabalho, que por sua vez, teoricamente, também exige uma variação da ordem de 0,3% em função da variação da superfície especificada, conforme mostrado antes.


8 – ENERGIA DE COMPACTAÇÃO

A energia de compactação é definida pelo método DNER-ME-43/64, em função das pressões dos pneus.

50 golpes para pressão de pneu até 7 Kg/cm² (100 psi)

75 golpes para pressão de pneu de 7 até 14 Kg/cm² (100 até 200 psi)

A especificação de serviço DNER-ES-P-22/71, faz referência a estes n^{os} de golpes e fornece valores mínimos da estabilidade. O mesmo texto esclarece que: “Especificações complementares fixarão a energia de compactação”. O que é raríssimo encontrar energia fora das citadas. A experiência tem mostrado que a energia de compactação e função da ação combinada entre a faixa granulométrica e as características físicas, mecânicas e mineralógicas do agregado preponderante na mistura. Veremos adiante comportamento atípico de características físicas de misturas quando é imposta energia inadequada. É prudente recomendar, um trabalho prévio de energia de compactação x densidade ou tração ou mesmo a estabilidade, para definir o número de golpes que a partir do qual não se verifica variação da característica.

	TRABALHOS TÉCNICOS	Nº TTG-004
		DATA DEZ/94
DISCIPLINA GEOTECNIA	ATIVIDADE ANÁLISE E DESCRIÇÃO DE PROCEDIMENTOS DA PROPOSIÇÃO DE MÉTODO DE DOSAGEM MARSHALL PARA MISTURAS BETUMINOSAS TIPO C.B.U.Q.	REVISÃO 01/03
		FOLHA 06 / 14

Para efeito do trabalho, adota-se uma das energias padronizadas.

No método Marshall, a energia de compactação é definida em nº de golpes sobre as faces do cp padrão, contendo um volume de 514,81 cm³, equivale dizer:

50 golpes = < 10,2 Kgf/dm³ de energia

75 golpes = 60,4 Kgf/dm³ de energia

As energias, quando se expressam em nº de golpes, só se aplicam aos CP's padrão (ø10,16, h = 6,35) seria conveniente expressá-los em Kgf/cm³, por exemplo, conforme quadro abaixo, o que facilitaria estudar CP's de dimensões diferentes daquelas do CP padrão.

$$E = \frac{P \times h \times N \times n}{V}$$

E = Energia de compactação

h = Altura de queda do soquete (45,72 cm)

N = Nº de face (2)

P = Peso do soquete (4,536 Kg)

V = Volume do CP (514,81)

n = Nº de golpes (50 ou 75)

9 – MOLDAGEM DOS CORPOS-DE-PROVA

Os corpos-de-prova são constituídos por:

- Misturas de agregados devidamente selecionados
- Cimento asfáltico
- Condições ótimas de temperatura mistura / compactação
- Energia de compactação

Para executar a moldagem da série de 5 teores com 3 corpos-de-prova por teor (mínimo), é necessário padronizar os procedimentos, ficando somente com a variação dos teores de CAP, ou seja:

- Fixar o peso da mistura dos agregados
- Fixar as temperaturas de aquecimento do agregado
- Fixar as temperaturas de aquecimento do CAP
- Fixar as temperaturas de compactação
- Fixar os tempos de aquecimento / misturas / compactação
- Único operador no preparo dos materiais
- Único operador durante a compactação
- Adotar única base de compactação
- Adotar único soquete
- Moldar todos os corpos-de-prova no mesmo turno (manhã, tarde, ou noite)


NOTA 1 – Caso o primeiro cp e/ou cp teste apresente volume ou altura fora do padrão; com variação maior do que aproximadamente 2,5%, fazer a correção conforme exemplo abaixo:

H ou V (1º CP) Peso da mistura de agregado

H ou V (Padrão) x

$X = \frac{H \text{ ou } V \text{ (Padrão)}}{H \text{ ou } V \text{ (1º CP)}} \times \text{Peso da mistura de agregado}$

NOTA 2 – As misturas de agregados devem ser aquecidas em conjunto de 10 a 15°C acima da temperatura do ligante, utilizando estufa, durante no mínimo 2 horas.

	TRABALHOS TÉCNICOS	Nº TTG-004
		DATA DEZ/94
DISCIPLINA GEOTECNIA	ATIVIDADE ANÁLISE E DESCRIÇÃO DE PROCEDIMENTOS DA PROPOSIÇÃO DE MÉTODO DE DOSAGEM MARSHALL PARA MISTURAS BETUMINOSAS TIPO C.B.U.Q.	REVISÃO 01/03
		FOLHA 07 / 14

NOTA 3 – O processo de homogeneização da mistura de agregado com o CAP, deve ser sobre um colchão de areia, ou seja, um banho maria de areia, procurando manter condições ótimas de mistura e compactação.

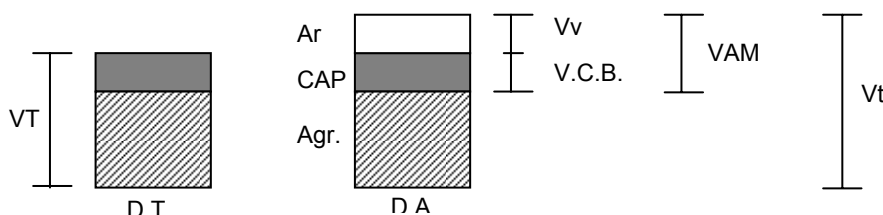
NOTA 4 – As temperaturas de mistura e compactação deverão ser extraídas d curva de viscosidade x temperatura.

NOTA 5 – Durante a aplicação dos golpes, é fundamental manter a haste do soquete na vertical, impedir a elevação do conjunto, evitando assim o efeito de uma sobre compactação. Caso freqüente nos soquetes manuais. Quando a verticalidade é comprometida, toda energia aplicada até então sofre alteração.

NOTA 6 – Após compactado, todo CP deve permanecer em repouso ainda dentro do cilindro até completo resfriamento, antes de ser extraído.

10 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS CP`S

No método Marshall, cada corpo-de-prova compactado é submetido às seguintes determinações:



10.1 – DETERMINAÇÕES E CÁLCULOS

D.A.....	Densidade Aparente	g/dm^3
D.T.....	Densidade Teórica	g/dm^3
V.V.....	Volume de Vazios	%
V.C.B.	Volume de Vazios Cheios de Betume.....	%
V.A.M.....	Volume de Vazios do Agregado Mineral.....	%
R.B.V.	Relação V.C.B. / V.A.M.....	%


10.2 – ENSAIOS DESTRUTÍVEIS

E	Estabilidade.....	Kgf
F.....	Fluência.....	1/100"
T.....	Tração para compressão diametral	Kgf/c m^2
*MR.....	Módulo Resiliente.....	Kgf/c m^2

* Não deformável

11 – DENSIDADE APARENTE (MÉTODO DNER-ME 177/87)

A densidade aparente deve ser realizada tão logo o CP tenha sido extraído do cilindro. Os procedimentos para esta determinação levam em consideração características de porosidade e textura superficial dos mesmos. As densidades das dosagens sofrem influência de vários fatores:

	TRABALHOS TÉCNICOS	Nº TTG-004
		DATA DEZ/94
DISCIPLINA GEOTECNIA	ATIVIDADE ANÁLISE E DESCRIÇÃO DE PROCEDIMENTOS DA PROPOSIÇÃO DE MÉTODO DE DOSAGEM MARSHALL PARA MISTURAS BETUMINOSAS TIPO C.B.U.Q.	REVISÃO 01/03
		FOLHA 08 / 14

- Energia de compactação
- Temperatura de compactação
- Variação da composição granulométrica
 - No diâmetro máximo
 - Na % de finos – Filler
 - Na % da fração arenosa
 - Na % da fração granular
- A mineralogia da rocha
- Resistências físicas e mecânicas dos fragmentos
- Formas das partículas
- Teor de CAP

Em uma dosagem específica, todos parâmetros e procedimentos devem ser pré-fixados, exceto aqueles que se pretende estudar (Teor de CAP ou nº de golpes).

São freqüentes fatores ligados às características da rocha e aos fragmentos, e que são involuntários, atuarem sobre as densidades.

O ponto máximo e o teor ótimo definidos são, na sua grande maioria, teores abaixo do ótimo real. Visto que a energia de compactação foi superior àquela que a mistura de agregado e/ou as suas características suportam. Sendo a energia maior, certamente o teor ótimo será menor. Vale dizer que:

- “Para uma mistura, quanto maior for a energia de compactação, maior será a densidade máxima e menor será o teor ótimo”.
- “Para uma dada mistura, a densidade aparente parece variar linearmente com o logaritmo da energia de compactação”.

Há casos em que a ação combinada de dois ou mais fatores e procedimentos atua sobre a série dos CP's, criando curvas com valores crescentes de densidade em função do teor. Neste caso inexistente o ponto de inflexão, e torna –se difícil a definição da máxima.

12 – ESTABILIDADE MARSHALL


A estabilidade Marshall não representa o comportamento se uma mistura de maneira razoável. A rigor, é um ensaio determinado da maneira não compatível com o regime de trabalho da mistura na pista. O ensaio é realizado em CP moldado por impacto, contra a mistura compactada por amassamento ou vibração / compressão, é avaliado sob a ação de uma força de compressão diametral semiconfinada em regime de deformação controlada, contra a ação de tensões de compressão e/ou tração na pista em regime de tensão dinâmica média controlada.

A resistência à compressão ou à estabilidade nestas condições é resultante da ação combinada de duas forças:

$$\text{Estabilidade} = \text{força de coesão do masticue} + \text{força do atrito na fricção}$$

A força de coesão decorre da mistura íntima entre a fração fillerizada da mistura e o CAP, aumentam expressivamente a viscosidade de masticue. A coesão do masticue é alterada em função de:

- Temperatura do ensaio
- Porcentagem do filler
- Mineralogia
- Superfície específica

	TRABALHOS TÉCNICOS	Nº TTG-004
		DATA DEZ/94
DISCIPLINA GEOTECNIA	ATIVIDADE ANÁLISE E DESCRIÇÃO DE PROCEDIMENTOS DA PROPOSIÇÃO DE MÉTODO DE DOSAGEM MARSHALL PARA MISTURAS BETUMINOSAS TIPO C.B.U.Q.	REVISÃO 01/03
		FOLHA 09 / 14

- Densidade
- Consistência inicial do CAP
- Temperatura de mistura
- Tempo de misturação

A força do atrito na fricção é resultante de fatores ligados à rocha e aos fragmentos. Rocha dura, tenaz, forma cúbica, arestas vivas, textura áspera, associada a uma perfeita composição granulométrica com o \emptyset máximo bem definido, e uma energia adequada, resulta em uma ação favorável a altas forças de atrito.

As ações combinadas de fatores externos favoráveis e procedimentos executivos corretos dão resultados de estabilidade x teor de CAP com comportamentos normais. As curvas apresentam picos máximos bem definidos.

Há casos onde fatores involuntários procedentes das características da rocha e dos fragmentos, associados a procedimentos executivos como energia de compactação, composição granulométrica incorreta ou inadequada, conduzem a resultados de comportamentos atípicos, na série dos CPs moldados. As ações combinadas desfavoráveis apresentam curvas onde não fica bem definidos os picos máximos.

Há casos onde fatores voluntários, procedentes da correção da “estabilidade lida” pelo fator que é função a espessura do corpo-de-prova, conduzem a resultados atípicos. O método de ensaio DNER-ME-43/64, institui esta correção, em função da espessura ou do volume, daí:

<u>MÍNIMO</u>	<u>PADRÃO</u>	<u>MÁXIMO</u>
411,85	514,81	617,78

Pelos valores da tabela, posemos encontrar as seguintes variações de energia quando se fixam os números de golpes.

+ 255 a – 16%

Os limites citados não obrigam, obviamente, que as dosagens sejam executadas dentro destas variações, mas significam que existe a possibilidade de se fazer correção da estabilidade em função da variação do volume do CP sem levar em consideração a significativa variação na energia de compactação (+25% a –16%).


13 – RESISTÊNCIA A TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

O ensaio tem revelado aspectos de resistência de misturas em unidades mensuráveis e de maior representação às solicitações do campo. E a tendência mundial é recorrer a ensaios que reflitam de maneira similar o modelo da mecânica dos pavimentos (7). Os corpos-de-prova são confeccionados da mesma forma como para os ensaios de estabilidade.

A resistência à tração por compressão diametral é a resultante da ação combinada de duas forças:

Tração = Força de coesão do mastique +
 Força do atrito sólido graúdo

A força de coesão predomina em muito sobre o atrito entre as partículas grossas, durante o ensaio. Verifica-se que fatores ligados à rocha e aos fragmentos graúdos têm pouca influência sobre os resultados. A forma cúbica, a textura áspera, o diâmetro máximo até 3/4", a concentração da fração

	TRABALHOS TÉCNICOS	Nº TTG-004
		DATA DEZ/94
DISCIPLINA GEOTECNIA	ATIVIDADE ANÁLISE E DESCRIÇÃO DE PROCEDIMENTOS DA PROPOSIÇÃO DE MÉTODO DE DOSAGEM MARSHALL PARA MISTURAS BETUMINOSAS TIPO C.B.U.Q.	REVISÃO 01/03
		FOLHA 010 / 14

graúda moderada, ou seja, misturas não segregáveis associadas a uma perfeita composição com uma energia adequada, contribuem para a obtenção de curvas bem definidas no ponto de inflexão.

Além dos fatores involuntários e dos procedimentos laboratoriais, o que mais tem contribuído para a dispersão dos resultados é a falta de uniformidade da temperatura e do tempo em estufa enquanto na prática, melhor utilizar 3 horas, a estufa não deve ser a tradicional com termostatos de lâmina ou par termoelétrico, que não consideram a inércia térmica, fazendo a temperatura oscilar muito em relação à fixada. Melhor seria utilizar estufa com lâmpadas incandescentes controladas por reostato (DIMER).

As ações combinadas se fatores externos favoráveis e procedimentos executivos corretos também dão resultados de Tração x Teor de CAP com comportamentos normais. As curvas apresentam-se bem definidas.

De maneira análoga à estabilidade, a resistência à tração sente influência de fatores involuntários e procedimentos executivos incorretos, os quais agem na fração mastique em primeiro plano, e em seguida na fração argamassa e por fim na fração granular.

Fração mastique é a % < # 200 + CAP

Fração argamassa é a # 3/16 > % > # 200 + CAP

Fração granular é # 3/4 > % > # 3/16

Como a unidade da resistência a tração e Kgf/cm^2 , o cálculo é automaticamente corrigido CP a CP. Nem por isso, dispensa-se a uniformidade no volume do CP, evitando efeito da variação excessiva na energia de compactação.

14 – COMENTÁRIOS

1 – Estudos e experiências de laboratório e campo tem demonstrado uma relação biunívoca entre Densidade – Estabilidade / Tração. A ponto de enunciar que:


A variação na densidade está para a estabilidade / tração em uma mesma dosagem ou mistura expressos em valores percentuais na relação da ordem 1:10. Ou seja, para cada 1% na variação da densidade obtém 10% na variação da estabilidade. Esta regra vale para as dosagens como para a avaliação da massa compactada “in situ”.

2 – Baseando-se nos comportamentos das curvas de densidade, estabilidade / tração, verifica-se que toda dosagem utilizando a energia pré-fixada, fica vulnerável a erros na definição do teor ótimo. A condição ideal seria um estudo das sensibilidade da densidade / estabilidade / tração x nº de golpes x Teor de CAP.

Definindo assim o nº de golpes, para cada dosagem, ou melhor dizendo a energia de compactação, de tal forma que fosse possível produzir curvas bem definidas em seus picos máximos para as características de densidade, estabilidade ou tração.

15 – COMPORTAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Em toda dosagem de mistura tipo CBUQ com variação do Teor de CAP, as características deverão comportar-se conforme abaixo:

	TRABALHOS TÉCNICOS	Nº TTG-004
		DATA DEZ/94
DISCIPLINA GEOTECNIA	ATIVIDADE ANÁLISE E DESCRIÇÃO DE PROCEDIMENTOS DA PROPOSIÇÃO DE MÉTODO DE DOSAGEM MARSHALL PARA MISTURAS BETUMINOSAS TIPO C.B.U.Q.	REVISÃO 01/03
		FOLHA 011 / 14

TEOR	FRACO	ÓTIMO	RICO
DENSIDADE	Mínima	Máxima	Mínima
ESTABILIDADE	Mínima	Máxima	Mínima
TRAÇÃO	Mínima	Máxima	Mínima
V.A.M.	Máximo	Mínimo	Máximo
FLUÊNCIA	Mínima	Máxima
V.v.	Máximo	Mínimo
V.C.B.	Mínimo	Máximo
R.B.V.	Mínimo	Máximo

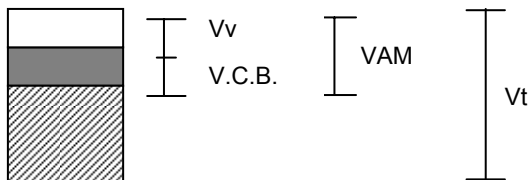
Temos, portanto, quatro características que apresentam picos máximos, e que certamente nos orientam para definir o Teor Ótimo de CAP.

- Densidade
- Estabilidade
- Tração
- V.A.M.

As três primeiras características foram atrás discutidas; vejamos agora o último parâmetro, o V.A.M.

16 – ANÁLISE DOS VAZIOS DO AGREGADO MINERAL – VAM

É a relação entre os vazios totais de uma mistura (vazios reais – V_v + vazios cheios da Betume – V.C.B.) com o volume total do CP.




O comportamento do V.A.M. é função da facilidade ou não de se estabilizar a mistura. Desde que o leque dos teores cubra a sensibilidade da característica. Com o aumento da capacidade lubrificante pela variação do teor de asfalto, o efeito da energia promove melhor acomodação das partículas da mistura de agregado, atingindo um limite máximo de adensamento, ou espessura do filme lubrificante, ponto em que é definido como Teor Ótimo de CAP. E a partir do qual o efeito lubrificante passa a produzir um inchamento da mistura, que muitas vezes coincide também com a redução da densidade aparente da mistura. O filme lubrificante deve ser visto como mastique betuminoso com propriedade de fluxo na temperatura do ensaio. Vale dizer, que não basta uma mistura estar estabilizada granulometricamente, há necessidade da estabilização mecânica. (10)

Diante ao exposto, o trabalho apresenta nova ordem de análise para definir o Teor Ótimo de CAP.

- 1º - V.A.M.
- 2º - DENSIDADE
- 3º - ESTABILIDADE / TRAÇÃO

E considera as demais características como conseqüências subordinadas ou insubordinadas aos fatores e procedimentos voluntários e involuntários.

	TRABALHOS TÉCNICOS	Nº TTG-004
		DATA DEZ/94
DISCIPLINA GEOTECNIA	ATIVIDADE ANÁLISE E DESCRIÇÃO DE PROCEDIMENTOS DA PROPOSIÇÃO DE MÉTODO DE DOSAGEM MARSHALL PARA MISTURAS BETUMINOSAS TIPO C.B.U.Q.	REVISÃO 01/03
		FOLHA 012 / 14

17 – DETERMINAÇÃO DO TEOR ÓTIMO DE ASFALTO

1º CASO

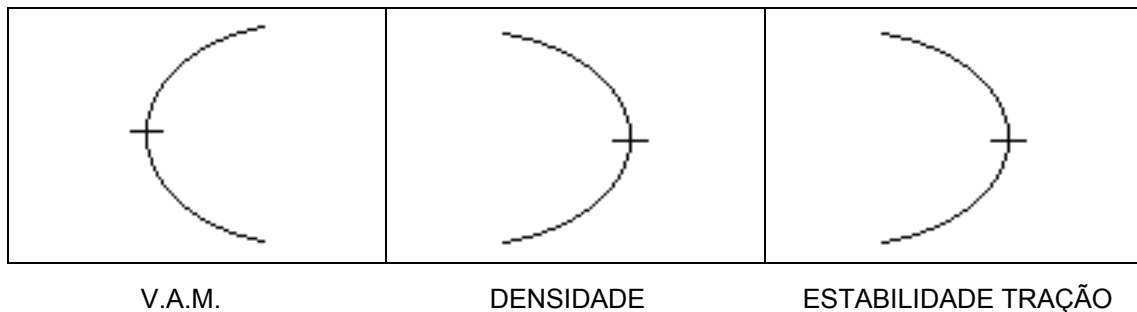
O Teor Ótimo de Asfalto deve ser determinado como sendo a média algébrica dos teores correspondentes aos picos máximos:

Mínima % V.A.M.

Máxima Densidade

Máxima estabilidade > 350 Kg ou máxima tensão de tração

TEOR



NOTA: Para este Teor Ótimo de CAP, os parâmetros de %Vv, % R.B.V. e fluência, devem atender aos limites especificados. Não satisfeita esta condição, deve-se recompor a curva granulométrica tentando ajustar estes parâmetros e remoldar toda dosagem.

As curvas devem ser traçadas após plotagem de todos os pontos resultantes dos ensaios. Não se deve trabalhar simplesmente com a média aritmética dos três valores. É importante a visualização dos valores discrepantes, ajustagens podem ser feitas pelos métodos estatísticos normais. O valor "minimum minimorum" do V.A.M., deve atender a especificação DNER-ES-P-22/71.

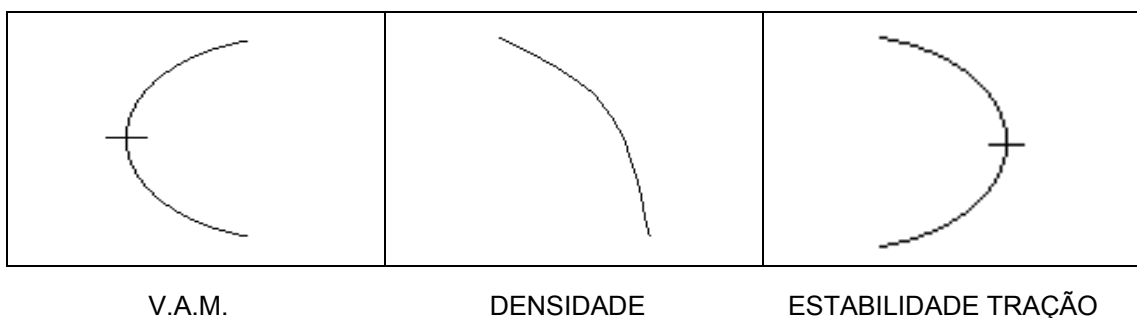
2º CASO

Quando não se obtém o pico máximo bem definido na densidade, o Teor Ótimo de CAP pode ser determinado como sendo a média algébrica dos teores correspondentes aos picos de:


Mínimo % V.A.M.

Máxima Estabilidade e > 350 Kg ou Máxima Tensão de Tração

TEOR



NOTA: idem nota do 1º caso

	TRABALHOS TÉCNICOS	Nº TTG-004
		DATA DEZ/94
DISCIPLINA GEOTECNIA	ATIVIDADE ANÁLISE E DESCRIÇÃO DE PROCEDIMENTOS DA PROPOSIÇÃO DE MÉTODO DE DOSAGEM MARSHALL PARA MISTURAS BETUMINOSAS TIPO C.B.U.Q.	REVISÃO 01/03
		FOLHA 013 / 14

3º CASO

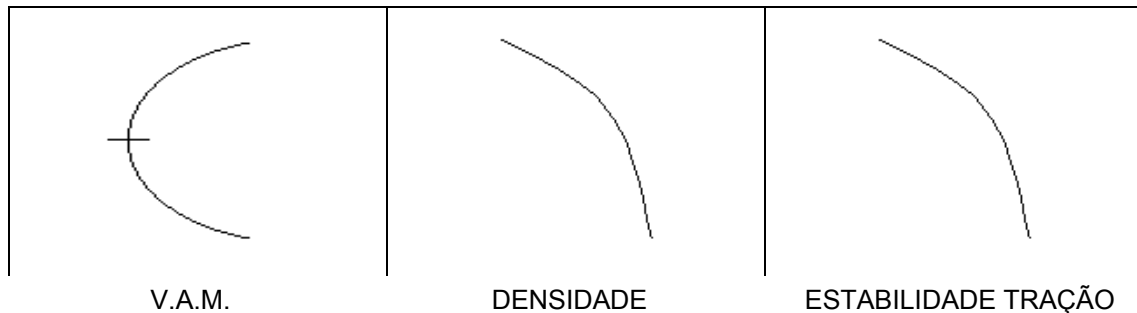
Quando não se obtém picos máximos bem definidos na densidade na estabilidade ou na tração, o Teor Ótimo de CAP pode ser definido como sendo o valor correspondente ao pico de:

Mínimo % V.A.M.

Sendo a Estabilidade > 350 Kg ou a Tensão Tração no intervalo 4 e 10 / no ponto considerado de mínimo V.A.M.

Este caso requer atenção. A curva do V.A.M. deve estar bem caracterizada, apresentando tanto nos cálculos como na representação física do fenômeno o pico mínimo.

TEOR



NOTA: idem nota do 1º caso

4º CASO

Quando não for possível aplicar nenhum dos casos anteriores, pode ser relacionado a:

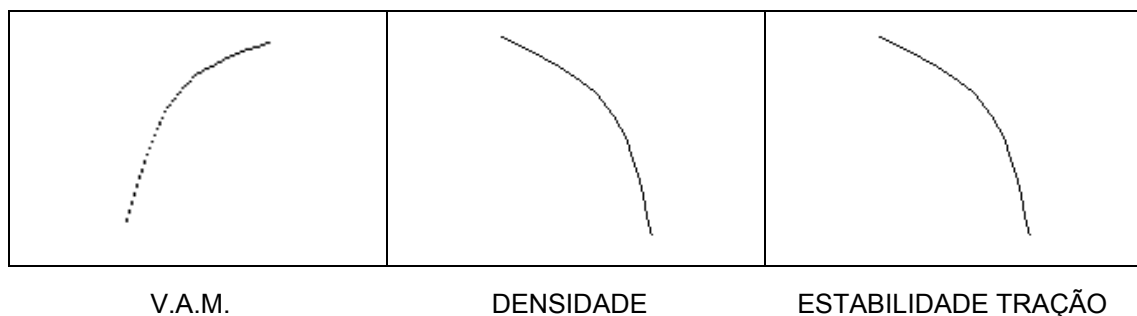
- Energia de compactação excessiva
- Fatores involuntários – ligados à rocha ou aos fragmentos
- Composição granulométrica não estabilizada


Recomenda-se uma análise global a partir das caracterizações dos agregados, aferição dos equipamentos, dos métodos e procedimentos adotados.

NOTA: Neste caso, há necessidade de estudar:

- A composição da mistura;
- O número de golpes;
- Remoldar a dosagem

TEOR



	TRABALHOS TÉCNICOS	Nº TTG-004
		DATA DEZ/94
DISCIPLINA GEOTECNIA	ATIVIDADE ANÁLISE E DESCRIÇÃO DE PROCEDIMENTOS DA PROPOSIÇÃO DE MÉTODO DE DOSAGEM MARSHALL PARA MISTURAS BETUMINOSAS TIPO C.B.U.Q.	REVISÃO 01/03
		FOLHA 014 / 14

18 – BIBLIOGRAFIA

- 1 - DNER – Especificações Gerais para Obras Rodoviárias – ES-P 22/71
- 2 - DNER – Ensaio Marshall para Misturas Betuminosas – ME 43/64
- 3 - SOUZA, MURILO LOPES – Misturas Betuminosas – Associações dos Ligantes Betuminosos aos Agregados – IPR – A-17-59-1961
- 4 - HUMBERTO SANTANA – Manual de Pré-misturado a Frio – IBP – 1992
- 5 - SOUZA, MURILO LOPES – Pavimentação Rodoviária – Vol. I – IPR – 1976
- 6 - G. JEU FFROY - Proyecto y Construccion de Carreteras – Tomo II
- 7 - MOTA, LAURA M.G. – Aspectos do Comportamento das Misturas Asfálticas – IPB – 1993
- 8 - MOREIRA, CRISTIANO C., Interdependência das Características Físicas das Misturas Betuminosas Tipo CBUQ – 28ª RAPV
- 9 - DNER – Resistência a Tração por Compressão Diametral de Misturas Betuminosas – ME – 138/84 – 1994
- 10 - GONTIJO, PRA – Notas de palestras
- 11 - CAMPOS, RAB: POTILHO M; FIGEUIREDO, MAA; MOREIRA, CRISTIANO C. – Um caso de Frissuração 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
- 12 - GONTIJO, PAULO R.A. – Revestimentos Asfálticos de Estruturas Hidrotécnicas – 7º Encontro de Asfalto – IBP – 1984
- 13 - SANTANA, H.; GONTIJO, PRA – A Filosofia dos Pré-misturados a Frio Abertos – 8º encontro de Asfalto – IBP – 1986
- 14 - JUNIOR, F.A.; GIAMPAGLIA, H.R. – Análise de um Programa Interlaboratorial Referente a Cimentos Asfálticos de Petróleo – 9º Encontro de Asfalto – IBP – 1988
- 15 - 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
- 16 - 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
- 17 - MARDI, J.V.; BUTZEZ – Cálculo analítico dos Parâmetros Definidores de um Projeto de Concreto Asfáltico – 1º congresso Latino Americano de Asfalto – 1981
- 18 - FIRMES DE CARRETERAS Y AUTOPISTAS – Editores Técnicos Associados S.A. – 1970 – Espanha
- 19 - MOREIRA, CRISTIANO,C. – Proposição do Método de Dosagem Marshall para Misturas Tipo CBUQ – 28ª RAPV - 1994