	TRABALHOS TÉCNICOS	Nº TTG-003
		DATA DEZ/94
DISCIPLINA GEOTECNIA	ATIVIDADE INTERDEPENDÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS MISTURAS BETUMINOSAS TIPO C.B.U.Q.	REVISÃO 01/03
		FOLHA 01 / 07

SINOPSE

O trabalho apresenta aspectos conceituais do comportamento das relações físicas envolvidas no sistema, e misturas tipo C.B.U.Q., levando em consideração as características físicas rotineiras determinadas à luz da especificação de serviço DNER – ES – P – 22/77.

1 - GENERALIDADES

Concreto betuminoso usinado a quente, é a mistura íntima entre um cimento asfáltico, agregado mineral graduado e material de enchimento (filler), executada sob rigoroso controle de dosagem, usinada, espalhada e comprimida a quente, numa massa densa e uniforme.

2 - CARACTERÍSTICAS


2.1 - COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

A especificação DNER – ES – P – 22/71, define (03) três faixas.

PENEIRAS		PORCENTAGEM PASSANDO EM PESO		
		A	B	C
2	50,8	100	-	-
1 ½	38,1	95-100	100	-
1	25,4	75-100	95-100	-
¾	19,1	60-90	80-100	100
½	12,7	-	-	85-100
3/8	9,5	35-65	45-80	75-100
4	4,8	25-50	28-60	50-85
10	2,0	20-40	20-45	30-75
40	0,42	10-30	10-32	15-40
80	0,18	5-20	8-20	8-30
200	0,074	1-8	3-8	5-10
Aplicação		Camada de rolamento	Ligação ou rolamento	Rolamento

NOTA: A curva granulométrica indicada no projeto, poderá apresentar as seguintes tolerâncias máximas:

PENEIRAS	% PASSANDO
3/8 – 1 ½	+ ou – 7
Nº 40 – Nº 4	+ ou – 5
Nº 80	+ ou – 3
Nº 200	+ ou – 2

	TRABALHOS TÉCNICOS	Nº TTG-003
		DATA DEZ/94
DISCIPLINA GEOTECNIA	ATIVIDADE INTERDEPENDÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS MISTURAS BETUMINOSAS TIPO C.B.U.Q.	REVISÃO 01/03
		FOLHA 02 / 07

2.2 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS (MARSHALL) ESPECIFICADAS PARA A MISTURA

Características	Camada	
	Rolamento	Ligação
Vv - Vazios	3 a 5	4 a 6
RBV - Relação Betume / Vazios Totais	75 a 82	65 a 72
Estabilidade Kg	350	
- Mínima - 75 golpes/face	250	
- 50 golpes/face	8 a 18	
Fluência - 1"/100	Função do diâmetro	
V.A.M. - Vazios do Agregado Mineral	Máximo do agregado	

2.3 - CONDIÇÕES DE TEMPERATURA

- Para mistura - CAP apresentar viscosidade de 85 + ou - 10 SSF
- Agregado: 10/15°C acima do CAP
- Para compactação - CAP apresentar viscosidade de 140 + ou - 15 SSF
- Para rompimento - (Estabilidade e fluência) CP a 60°C durante 30' em banho-maria

3 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS ENVOLVIDAS NO SISTEMA LIGANTE / AGREGADO / MISTURA

3.1 - LIGANTE


- Composição química
- Consistência (penetração, viscosidade, IST)
- Efeito do calor e do ar
- Temperatura de mistura
- Tempo de mistura

3.2 - AGREGADOS

- Granulometria fração graduada
- Granulometria do Filler (Superfície específica)
- Características mineralógicas
- Dureza
- Tenacidade
- Forma
- Porosidade
- Durabilidade
- Diâmetro máximo

3.3 - MISTURA

- Teor de ligante
- Composição granulométrica - % Filler
- Estabilidade
- Fluência
- Vazios
- Relação Betume/Vazios - R.B.V.
- Vazios do Agregado Mineral - V.A.M.
- Grau de compactação

	TRABALHOS TÉCNICOS	Nº TTG-003
		DATA DEZ/94
DISCIPLINA GEOTECNIA	ATIVIDADE INTERDEPENDÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS MISTURAS BETUMINOSAS TIPO C.B.U.Q.	REVISÃO 01/03
		FOLHA 03 / 07

- Energia de compactação
- Temperatura de compactação
- Resistência à tração e/ou coesão

4 - INTERDEPENDÊNCIA

As misturas betuminosas devem ser consideradas como estruturas formadas por um esqueleto pétreo, composto pelos agregados grossos, devidamente adensados numa argamassa de agregados miúdos, em que os vazios aí formados estão preenchidos em parte pelo mastique betuminoso (filler + betume) responsável pela coesão da mistura.

A partir desta conceituação, podemos associar às misturas, comportamentos e características decorrentes de seus componentes ou da união destes.

Com base nos parâmetros especificados, podemos relacionar:

- Teor de Betume
- Faixa Granulométrica
- Estabilidade
- Fluência
- Vazios
- R.B.V.
- V.A.M.
- Grau de Compactação


4.1 - TEOR DE LIGANTE

O asfalto é o elemento cimentante que também atua como lubrificante, reduzindo o atrito entre as partículas do agregado. Esta redução se acentua com o aumento do número de partículas e com o aumento da espessura de película que a envolve; com o aumento do ligante, até um certo ponto (teor ótimo), há aumento da coesão. Na grande maioria dos materiais, o aumento da coesão é maior que a redução do atrito entre as partículas.

Todas as características da mistura, com exceção da faixa granulométrica, são variáveis interdependentes do teor de ligante. O ponto ótimo, é selecionado em função da média entre:

- Máxima estabilidade
- Máxima densidade
- % de vazios média
- % R.B.V. – média
- Fluência - dentro da faixa

Ocorrendo variação na composição granulométrica além dos limites específicos, ocorrerá variação também no teor de ligante e nas demais características. Podemos dizer que o teor de ligante é função primordial da composição granulométrica. O certo é que cada composição tem uma superfície específica; ocorrendo seu aumento ou diminuição, haverá variação no teor. A variação da superfície específica de uma mistura está ligada mais diretamente à qualidade do filler utilizado. Uma vez definido o teor de ligante, ocorrendo variação na % de Filler, ou na superfície, as demais características variam conforme o quadro seguinte:

	TRABALHOS TÉCNICOS	Nº TTG-003
		DATA DEZ/94
DISCIPLINA GEOTECNIA	ATIVIDADE INTERDEPENDÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS MISTURAS BETUMINOSAS TIPO C.B.U.Q.	REVISÃO 01/03
		FOLHA 04 / 07

Variação na % do S-ESP. do Filler	Para mais	Para menos
Alteração nas características		
Teor de ligante	Aumenta	Diminui
Estabilidade *	Aumenta	Diminui
Fluência	Aumenta	Diminui
% Vazios	Diminui	Aumenta
R.B.V.	Aumenta	Diminui
V.A.M.	Diminui	Aumenta
* Apresenta ponto de inflexão no teor ótimo		

QUADRO 1

4.2 – COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

A composição granulométrica é o principal fator de definição das características das misturas, as quais por sua vez, dependem dos seguintes parâmetros:

- Superfície específica dos agregados
- % de Filler
- Diâmetro máximo do agregado
- Graduação granulométrica (existência ou não de patamares)
- Características físicas dos vários agregados que compõem a mistura

A variação da superfície específica ocorre na maioria das vezes quando se varia a porcentagem e/ou a procedência do Filler e, neste caso, temos as interdependências mostradas no Quadro nº1.

Variação no diâmetro máximo é um fator que gera interdependência nas demais características. Numa analogia grosseira, podemos falar que partindo da areia asfalto usinada a quente, até a faixa "A" do CBUQ, há um crescente aumento no diâmetro máximo; e as respectivas correções nos demais diâmetros. Esta variação desencadeia várias interdependências. De imediato temos:

- Quanto maior o diâmetro máximo, menor será a fração fina e vice-versa, decorre daí que os vazios do agregado mineral, a superfície específica, o teor de ligante são menores.


Como base neste raciocínio, podemos ter as seguintes interdependências nas características físicas com a variação no diâmetro máximo:

Variação no diâmetro máximo	Para mais	Para menos
Características		
Estabilidade *	Aumenta	Diminui
Fluência	Diminui	Aumenta
% Vazios	Diminui	Aumenta
R.B.V.	Aumenta	Diminui
V.A.M.	Diminui	Aumenta
* Esta interdependência tem um limite que é função do Método Marshall além de fatores diversos.		

QUADRO 2

4.3 - ESTABILIDADE

É a carga, expressa em Kg ou Libras, que produz a ruptura diametral do corpo de prova semi-confinado. Em outras palavras, a estabilidade é a soma da resistência ao atrito interno com a coesão propiciada pelo ligante, principalmente do masticue (Filler + Betume).

	TRABALHOS TÉCNICOS	Nº TTG-003
		DATA DEZ/94
DISCIPLINA GEOTECNIA	ATIVIDADE INTERDEPENDÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS MISTURAS BETUMINOSAS TIPO C.B.U.Q.	REVISÃO 01/03
		FOLHA 05 / 07

Fatores procedentes dos agregados, tais como, curva granulométrica bem graduada, inexistência de patamares; fragmentos duros, tenazes e portanto arestas vivas; filler com superfície específica elevada, somadas a fatores procedentes do CAP, como, teor ótimo e consistência, incrementam sobremaneira o valor da estabilidade.

Adiante, temos as interdependências que afetam a estabilidade:

Características	Estabilidade	
	Aumenta	Diminui
Granulometria	Contínua	Uniforme
Teor em Filler	Alto	Baixo
Superfície específica	Alta	Baixa
Absorção d'água/porosidade	Alta	Baixa
Agregados, duros, tenazes, arestas vivas e cúbicas	Aumenta	Diminui
Agregados esféricos	Diminui	Aumenta
Energia de compactação*	Aumenta	Diminui
Temperatura de compactação*	Aumenta	Diminui
Consistência do CAP*	Aumenta	Diminui
Temperatura de mistura*	Aumenta	Diminui
% Vazios	Diminui	Aumenta
% R.B.V.*	Aumenta	Diminui
% V.A.M.*	Diminui	Aumenta
Grau de compactação	Aumenta	Diminui
* Até certo ponto		

QUADRO 3

4.4 - FLUÊNCIA

É a deformação diametral que o corpo-de-prova sofrem expressa em centésimos de polegadas, medida no limite da resistência a ruptura.

Por ser decorrente de um comportamento de visco-elasticidade da mistura, sua ação se dá mais na fração argamassa e fillerizada das misturas. Por tanto, o teor de ligante, a fração arenosa e o filler, afetam sobremaneira seu valor. Abaixo temos as interdependências:


Características	Fluência	
	Aumenta	Diminui
Teor de ligante	Aumenta	Diminui
Fração arenosa	Aumenta	Diminui
Filler	Aumenta	Diminui
% Vazios	Diminui	Aumenta
% R.B.V.	Aumenta	Diminui
Grau de compactação	Diminui	Aumenta
Consistência do CAP	Aumenta	Diminui

QUADRO 4

4.5 - VAZIOS

É uma característica muito importante, quando devidamente definida.

É a porta de entrada dos agentes intempéricos (ar e água) que degradam a película betuminosa. Enquanto bem definido, via curva granulométrica teor de betume, temperatura e energia de compactação, deixa as misturas com flexibilidade adequada.

	TRABALHOS TÉCNICOS	Nº TTG-003
		DATA DEZ/94
DISCIPLINA GEOTECNIA	ATIVIDADE INTERDEPENDÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS MISTURAS BETUMINOSAS TIPO C.B.U.Q.	REVISÃO 01/03
		FOLHA 06 / 07

São fatores de interdependência:

% Vazios	Aumenta	Diminui
Características		
Diâmetro máximo	Diminui	Aumenta
Granulometria	Uniforme	Contínua
Teor de betume	Diminui	Aumenta
% Filler	Diminui	Aumenta
Energia de compactação	Diminui	Aumenta
Grau de compactação	Diminui	Aumenta
Estabilidade (não considerar extremos)	Diminui	Aumenta
Permeabilidade	Aumenta	Diminui
Forma de grãos	Cúbica	Lamelar

QUADRO 5

4.6 - R.B.V.

Relação entre os vazios cheios de betume e o volume total de vazios do agregado.

Devido á grande diferença de coeficientes de dilatações volumétricas entre o asfalto e o agregado, o R.B.V. bem definido impede exsudação. Mantendo a mistura com índices dentro dos limites, asseguramos coesão e resistência sem corrermos riscos à deformação plástica ou fissuração.

Podemos enumerar as interdependências:

R.B.V.	Aumenta	Diminui
Características		
Teor de Betume	Aumenta	Diminui
Granulometria	Contínua	Uniforme
Teor de Filler (finos)	Aumenta	Diminui
Forma dos grãos	Lamelar	Cúbica
Energia de Compactação	Aumenta	Diminui
Grau de Compactação	Aumenta	Diminui

QUADRO 6


4.7 - V.A.M. - VAZIOS DO AGREGADO MINERAL

É o volume de vazios de uma determinada mistura, após a compactação ou compressão. Apesar de existirem parâmetros especificados, erroneamente, permanecem à margem das características essenciais para definir, além da dosagem, se há ou não inadequação de granulometria de teor de ligante ou de energia de compactação.

Podemos relacionar como interdependência:

V.A.M.	Aumenta	Diminui
Características		
Granulometria	Contínua	Descontínua
Teor de Filler (finos) *	Diminui	Aumenta
Energia de compactação *	Diminui	Aumenta
Estabilidade	Diminui	
Fluência	Diminui	Aumenta
Forma de grãos	Cúbica	Lamelar
Densidade de grãos	Diminui	Aumenta

QUADRO 7

	TRABALHOS TÉCNICOS	Nº TTG-003
		DATA DEZ/94
DISCIPLINA GEOTECNIA	ATIVIDADE INTERDEPENDÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS MISTURAS BETUMINOSAS TIPO C.B.U.Q.	REVISÃO 01/03
		FOLHA 07 / 07

4.8 - GRAU DE COMPACTAÇÃO

É a relação determinada entre as densidades aparentes “in situ” e de laboratório de uma mistura.

A temperatura e a energia de compactação são fatores que mais contribuem para ocorrer variações. Depois do teor de ligante e da granulometria, o grau de compactação é o interesse maior para mistura betuminosa.

Podemos relacionar suas interdependências:

G.C.	Aumenta	Diminui
Características		
Energia de compactação	Aumenta	Diminui
Temperatura de compactação	Aumenta	Diminui
Teor de ligante	Ótimo	Fora do ótimo
Granulometria graduada	Graúda	Miúda
% de finos	Diminui	Aumenta
Espessura da camada	Diminui	Aumenta
Pré-adensamento	Aumenta	Diminui
Velocidade de rolagem	Diminui	Aumenta

QUADRO 8

A experiência tem demonstrado que cada 1% que se perde no grau de compactação das misturas betuminosas densas, perdem-se cerca de 10% da sua Estabilidade Marshall, de tal sorte que aos 95% de Grau de Compactação, obtém-se somente cerca de 50% do valor da estabilidade do projeto.

ELABORADO POR: CRISTIANO COSTA MOREIRA
 IPIRANGA ASFALTOS SA
 BELO HORIZONTE – MG
 TÉCNICO QUÍMICO – ENGENHEIRO CIVIL
 BELO HORIZONTE, 03 DE NOVEMBRO DE 1992