

ESTUDO COMPARATIVO DO COMPORTAMENTO DE CONCRETOS BETUMINOSOS
À QUENTE, FABRICADOS COM AGREGADOS GRAÚDOS CONVENCIONAIS E
NÃO CONVENCIONAIS, QUANDO UTILIZADO O ENSAIO DE ESTABILIDADE
MARSHALL.

FRANCISCO EDMAR BRASILEIRO

ESTUDO COMPARATIVO DO COMPORTAMENTO DE CONCRETOS BETUMINOSOS À QUENTE, FABRICADOS COM AGREGADOS GRAÚDOS CONVENCIONAIS E NÃO CONVENCIONAIS, QUANDO UTILIZADO O ENSAIO DE ESTABILIDADE MARSHALL.

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA, EM CUMPRIMENTO ÀS EXIGÊNCIAS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GEOTECNIA

ORIENTADOR : HEBER CARLOS FERREIRA

CÓ-ORIENTADOR : FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

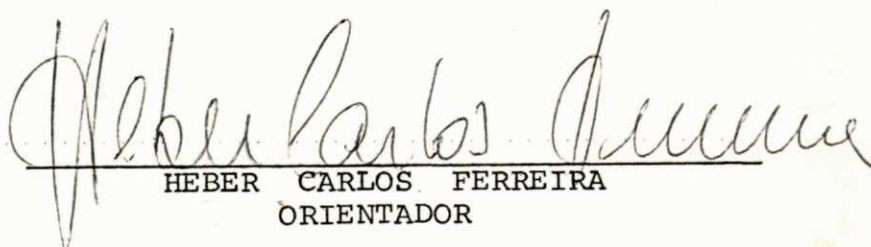
Abril - 1983

ESTUDO COMPARATIVO DO COMPORTAMENTO DE CONCRETOS BETUMINOSOS À QUENTE, FABRICADOS COM AGREGADOS GRAÚDOS CONVENCIONAIS E NÃO CONVENCIONAIS, QUANDO UTILIZADO O ENSAIO DE ESTABILIDADE MARSHALL.

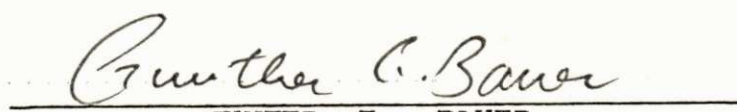
FRANCISCO EDMAR BRASILEIRO


T.A.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 19 de abril de 1983


HEBER CARLOS FERREIRA
ORIENTADOR


FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA
CO-ORIENTADOR


GUNTER E. BAUER
EXAMINADOR


RAIMUNDO LEIDIMAR BEZERRA
EXAMINADOR

CAMPINA GRANDE-PARAÍBA

ABRIL - 1983

Aos meus pais, à minha esposa e aos
meus filhos, pelo incentivo e apoio
que me deram, tornando possível a
realização deste trabalho.

A G R A D E C I M E N T O S

- Ao Dr. Heber Carlos Ferreira, à orientação, confiança e estímulo, e sugestões à pesquisa.
- Ao Mestre Francisco Barbosa de Lucena, pelos ensinamentos e constante apoio, tornando possível a realização deste trabalho.
- Ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba, na pessoa do Professor Ademilson Montes Ferreira, pelo apoio prestado.
- Aos laboratoristas Rui Pereira de Oliveira, Hermenegildo de Sousa e Francisco de Assis e auxiliares de laboratório pela dedicada colaboração.
- Aos Professores da área de geotecnia que contribuíram com sugestões, incentivo e solidariedade nos momentos mais necessários.
- Ao datilógrafo Washington Franklin Pedreira da Silva, pela dedicação e presteza.
- A todos os colegas e funcionários que direta ou indiretamente, contribuíram na execução deste trabalho.

RESUMO

Esta dissertação estuda o comportamento dos concretos betuminosos à quente, fabricados com os agregados graúdos convencionais e não convencionais quando submetido ao ensaio de estabilidade Marshall. Duas misturas de agregados foram usadas, de granulometrias contínua e descontínua, para verificação da influência dessas granulometrias, nos diversos parâmetros obtidos do ensaio Marshall. As misturas de agregados foram compostas de tal maneira a apresentarem as mesmas granulometrias para todos os agregados usados.

Os agregados graúdos utilizados foram os seguintes :

a) agregado graúdo granítico denominado de agregado graúdo convencional por ser de uso comum na região e apresenta características de aceitação em obras de concreto betuminoso;

b) Agregados graúdos provenientes de britagem de concreções lateríticas, rochas calcárias e seixos, por não serem de uso comum na região e apresentarem algumas características não comuns ao agregado graúdo convencional.

Os resultados obtidos, permitem concluir que o comportamento das misturas usando os agregados graúdos convencional e não convencionais foi idêntico. Isto indica que há possibilidade de utilização de agregados graúdos não convencionais em concretos betuminosos à quente.

A B S T R A C T

This thesis studies the behaviour of hot bituminous concrete made with conventional and marginal course aggregates when tested with the Marshall stability test . Two mixtures were used having continuous and discontinuous granulometric curves in order to evaluate the influence of the grain size distribution on the different parameters obtained from the Marshall test. The different mixtures were combined in such a way that they present the same grain size distribution curves for all the aggregates used.

The coarse aggregates used were the following: i) granitic coarse aggregate often named as conventional coarse aggregate due to its common use and its common use in bituminous concrete construction, ii) Coarse aggregates from crushed lateritic concretions, lime stone and pebbles, general not considered conventional aggregates due to its scarce use in our region and some of its characteristics which are different from those of conventional material.

The results obtained allow to conclude that the behaviour of the mixtures using conventional and non conventional aggregates were similar. This indicates that it is therefore possible to use the non conventional aggregates in hot bituminous mixtures.

ÍNDICE

	página
CAPÍTULO I	INTRODUÇÃO..... 1
CAPÍTULO II	OBJETIVO DA PESQUISA..... 3
CAPÍTULO III	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... 4
	3.1 INTRODUÇÃO..... 4
	3.2 UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS GRAÚDOS CONVENCIONAIS NA FABRICAÇÃO DE CONCRETOS BETUMINOSOS À QUENTE..... 4
	3.2.1 Generalidades..... 4
	3.2.1.1 Parâmetros de influência dos agregados graúdos convencionais no comportamento dos concretos betuminosos à quente..... 5
	3.2.1.2 Especificações para agregados graúdos convencionais na fabricação de concretos betuminosos à quente..... 7
	3.3 UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS GRAÚDOS NÃO CONVENCIONAIS NA FABRICAÇÃO DE CONCRETOS BETUMINOSOS À QUENTE..... 9
	3.3.1 Generalidades..... 9
	3.3.1.1 Parâmetros de influência dos agregados graúdos não convencionais, na fabricação dos concretos betuminosos à quente. 10
CAPÍTULO IV	MATERIAIS E MÉTODOS..... 16
	4.1 ESCOLHA DOS MATERIAIS..... 16

	página
4.1.1 Agregados Graúdos	16
4.1.2 Agregado Miúdo.....	16
4.1.3 Material de Enchimento - Filler.	16
4.1.4 Cimento Asfáltico.....	18
4.2 CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS GRAÚDOS, UTILIZADOS NA PESQUISA.....	18
4.3 COLETA E PREPARAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA.....	18
4.3.1 Agregado Graúdo Granítico...	18
4.3.2 Rochas Calcáreas.....	20
4.3.3 Concreções Lateríticas.....	21
4.3.4 Seixos.....	22
4.3.5 Areia.....	22
4.3.6 Cimento Asfáltico.....	23
4.3.7 Filler.....	23
4.4 PREPARAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA.....	23
4.5 MISTURAS DE AGREGADOS UTILIZADAS NA PESQUISA.....	26
4.5.1 Mistura de Agregados de Granulometria Descontínua.....	26
4.5.2 Mistura de Agregados de Granulometria Contínua.....	27
4.6 ESCOLHA DOS TEORES DE LIGANTE ADOTADOS PARA AS MISTURAS BETUMINOSAS.	28
4.7 MÉTODOS DE ENSAIOS.....	28
4.7.1 Introdução.....	28
4.7.2 Análise granulométrica de agregados.....	29

	página
4.7.3 Densidade e absorção de agregado graúdo.....	29
4.7.4 Densidade real de agregado miúdo.....	29
4.7.5 Densidade real do filler....	29
4.7.6 Desgaste do agregado por abrasão.....	30
4.7.7 Índice de forma do agregado.	30
4.7.8 Adesividade do agregado graúdo a ligante betuminoso.....	30
4.7.9 Equivalente de areia.....	30
4.7.10 Limite de liquidez.....	31
4.7.11 Limite de plasticidade.....	31
4.7.12 Penetração de materiais betuminosos.....	31
4.7.13 Viscosidade Saybolt - Furol de materiais betuminosos....	31
4.7.14 Densidade de materiais betuminosos.....	31
4.7.15 Densidade aparente de corpo de prova de mistura betuminosa.....	31
4.7.16 Ensaio Marshall para misturas betuminosas.....	32
CAPÍTULO V - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.	39
5.1 -INTRODUÇÃO.....	39

	página
5.2 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO.....	39
5.2.1 Análise granulométrica.....	39
5.2.2 Densidade real de agregado graúdo.....	40
5.2.2.2 Densidade aparente de agre gado graúdo.....	41
5.2.2.3 Absorção de agregado graúdo	41
5.2.3 Densidade real de agregado miúdo.....	41
5.2.4 Massa específica de mate rial de enchimento-filler	42
5.2.5 Desgaste do agregado por abrasão.....	42
5.2.6 Índice de forma.....	43
5.2.7 Adesividade de agregado graú do a ligante betuminoso....	43
5.2.8 Equivalente de areia.....	44
5.2.9 Limites de liquidez e plasti cidade.....	44
5.2.10 Penetração de materiais betu minosos.....	44
5.2.11 Viscosidade Saybolt-Furol de materiais betuminosos.....	44
5.3 ENSAIO MARSHALL ,.....	46
5.3.1 Ensaio Marshall para mistu ra betuminosa, utilizando a mistura de agregados de granulometria descontínua.	46
5.3.1.1 Porcentagem de vazios da mistu ra betuminosa.....	46

	página
5.3.1.2 Relação betume/vazios.....	49
5.3.1.3 Estabilidade.....	50
5.3.1.4 Fluência.....	54
5.3.1.5 Vazios do agregado mineral....	56
5.3.2 Ensaio Marshall para mistura betuminosa, utilizando a mis- tura de agregados de granulo- metria contínua.....	58
5.3.2.1 Porcentagem de vazios da mistu- ra betuminosa.....	58
5.3.2.2 Relação betume/vazios.....	60
5.3.2.3 Estabilidade.....	61
5.3.2.4 Fluência.....	64
5.3.2.5 Vazios do agregado mineral....	66
 CAPÍTULO VI - CONCLUSÕES	 71
 CAPÍTULO VII - SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	 73
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 75
 APÊNDICE I.....	 81
 APÊNDICE II.....	 96

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

A simples adoção em algumas regiões, de especificações para materiais, tornadas válidas em regiões de determinadas características geológicas, têm levado a rejeição de outros materiais, que sem ou com algum beneficiamento, poderiam apresentar o mesmo, ou até melhor comportamento em serviço, com as vantagens inerentes às facilidades de transporte, obtenção e economia de produção. Alertados por estes fatos e por algumas boas experiências com alguns desses materiais não convencionais, é que órgãos governamentais e pesquisadores de todo o mundo têm envidado consideráveis esforços em pesquisas que visem a utilização desses materiais. Dentre os materiais não convencionais que vem merecendo atenção especial dos estudiosos, pela grande quantidade empregada na execução de obras rodoviárias, merecem destaque, os * agregados graúdos não convencionais e o emprêgo desses agregados, na fabricação de concretos betuminosos.

(*) agregados graúdos não convencionais aqui denominados, são os agregados cujas propriedades físicas ou mecânicas não satisfazem integralmente os requisitos exigidos pelas especificações para determinados tipos de serviços, ou mesmo não ser de uso comum, em algumas regiões.

Algumas experiências mundiais já foram feitas no sentido, um tanto quanto ainda desordenadas, movidas na maioria dos casos, pela imperiosa necessidade de redução do custo das obras. Muito ainda terá que ser feito numa constante tentativa de encontrar soluções criteriosas que permitam a utilização dos agregados graúdos não convencionais em obras de engenharia rodoviária, dentro de padrões técnicos, perfeitamente adequados, no que acarretará em grandes benefícios econômicos para países dotados de extensas regiões desprovidas de agregados graúdos convencionais.

CAPÍTULO II

OBJETIVO DA PESQUISA

O presente trabalho têm como objetivo, um estudo comparativo de comportamento dos concretos betuminosos à quente, fabricados com agregados graúdos convencional e não convencionais, quando submetidos ao ensaio de estabilidade Marshall.

A análise comparativa, será feita com base em duas misturas de agregados propostas, de granulometrias descontínua e contínua, e será referida aos resultados obtidos para porcentagem de vazios, relação betume vazios, fluência, estabilidade e vazios do agregado mineral, estabelecidos pelas especificações brasileiras, para aceitação de concretos betuminosos à quente, quando adotado o ensaio Marshall.

Com a verificação dessas proposições, pretende-se acrescentar ao desenvolvimento dos estudos de alternativas de uso dos agregados graúdos não convencionais na fabricação de concretos betuminosos à quente, uma parcela de contribuição, que possa efetivamente levar ao aprimoramento dos estudos em desenvolvimento.

CAPÍTULO III

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 INTRODUÇÃO

A presente revisão bibliográfica refere-se aos tópicos diretamente relacionados com os objetivos da pesquisa, que prevê um estudo comparativo do comportamento de um concreto betuminoso à quente, quando fabricado com agregados graúdos convencionais e não convencionais.

Para clareza de apresentação, esta revisão bibliográfica abordará os seguintes tópicos:

- Utilização de agregados graúdos convencionais na fabricação de concretos betuminosos à quente;
- Utilização de agregados graúdos não convencionais na fabricação de concretos betuminosos à quente.

3.2 UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS GRAÚDOS CONVENCIONAIS NA FABRICAÇÃO DE CONCRETOS BETUMINOSOS À QUENTE.

3.2.1 Generalidades

A evolução dos estudos feitos em laboratório e algumas observações experimentais em campo, têm comprovado o bom desempenho dos revestimentos betuminosos executados com agregados graúdos convencionais. A partir desses resultados, alguns parâmetros de influência foram definidos, ensaios foram normalizados e especificações de serviços foram criadas, para uma melhor orientação ao engenheiro, na aplica

ção desses materiais.

A seguir apresentar-se-ã, alguns desses parâmetros de um ensaio normalizado e aceito por diversos órgãos, que é o ensaio Marshall, como também algumas especificações de serviços obtidos a partir dos resultados deste ensaio, e por comprovação nas observações de campo.

3.2.1.1 Parâmetros de influência dos agregados graúdos convencionais no comportamento dos concretos betuminosos a quente.

A resistência interna da estrutura dos concretos betuminosos é determinada em sua grande parte, pelos parâmetros : forma, textura, quantidade, tipo e granulometria do agregado utilizado. Com relação a forma e textura do agregado, sabe-se que agregados com formas cúbicas bem definidos e textura rugosa, aumentam a estabilidade das misturas betuminosas e melhoram sua homogeneidade. O contrário se verifica, quando da utilização de agregados com faces polidas e formas arredondadas. Ainda com relação às formas arredondadas e faces polidas, Martin e Wallace (1952) atribuem a queda de estabilidade provocada pela utilização desses agregados na mistura, a não resistência ao movimento, provocada pelo deslizamento das partículas entre si. Experiências de laboratório, realizadas pelo RRL (1962), com a utilização de agregados miudos de textura lisa e forma arredondada indicaram haver um acrêscimo acentuado na estabilidade da mistura areia/filler/betume, quando a fração areia dessa mis

tura, é substituída por agregados miúdos oriundos da britagem de rochas, estendendo este conceito ao agregado graúdo. Birman (1969), destaca que, nas obras executadas pelo DER-GB e pela SURSAN, nunca foi utilizada areia de rio e sim pó de pedra, na fabricação de concretos betuminosos e o comportamento dos revestimentos assim executados têm sido muito bom, apesar de outros autores levantarem a hipótese de que esse procedimento torna a massa de concreto muito rígida, com estabilidade elevadíssima, perdendo assim o concreto, suas características de flexibilidade.

Com relação a quantidade de agregados graúdos na mistura betuminosa, verifica-se que, se aumentada, torna a mistura mais rígida pelo maior contato entre as partículas graúdas, formando um arcabouço estrutural de maior resistência interna. Em experiências realizadas pelo RRL (1962), com aumentos nas quantidades de agregado graúdo em uma mistura areia/filler/betume, verificou-se um acentuado acréscimo de estabilidade da mistura, em torno de 125%, quando se elevou a quantidade de agregado de 0% para 55%, verificando-se também um decréscimo de estabilidade, para maiores quantidades de agregado graúdo.

O tipo de agregado graúdo, também influe na estabilidade da mistura betuminosa. Ensaio executados com argamasas de areia/filler/betume, RRL (1962), com diferentes tipos de materiais, em substituição a fração areia, apresentaram diferentes valores para a estabilidade da mistura.

Griffith e Kallas, citados pelo RRL (1962), afirmam que es se comportamento da mistura é válido também para os dife rentes tipos de agregados graúdos.

Com relação a granulometria do agregado graúdo, Birman (1969) diz não merecer maiores comentários a sua in fluência no comportamento dos concretos betuminosos. O RRL (1962), considera que todas as frações definidas pela gra nulometria têm suas influências nas misturas betuminosas, e chama a atenção para o tamanho máximo do agregado graúdo definido pelo ensaio de granulometria, considerando que quan to maior for o tamanho máximo do agregado graúdo, maior se rá a estabilidade do concreto betuminoso fabricado com es se agregado.

3.2.1.2 Especificações para agregados graúdos conven cionais na fabricação de concretos betuminosos à quente.

A seguir, a título de comparação, apresentar-se-á al gumas especificações de serviços para utilização de agrega dos graúdos convencionais na fabricação de concretos betu minosos à quente, escolhidos por apresentarem diferenças conceituais, quanto as propriedades requeridas pelos agre gados graúdos, e de países distintos tais como Brasil, In glaterra e Japão.

A especificação brasileira, normalizada pelo Departam^{to} Nacional de Estradas de Rodagem - DNER estabe lece que: o agregado graúdo para ser utilizado na fabrica ção de concretos betuminosos à quente, deverá obedecer os

seguintes requisitos: ser constituído de pedra britada, es
cória britada, seixo rolado, britado ou não, ou qualquer ou
tro tipo de material previamente aprovado, devendo ser cons
tituído de fragmentos sãos, duráveis, livres de torrões de
argilas e substâncias nocivas. O agregado graúdo deverá
apresentar um desgaste máximo de 50%, quando medido pelo
ensaio de abrasão Los Angeles, boa adesividade ao ligante,
índice de forma nunca inferior a 0,5, não devendo no en
saio de durabilidade, apresentar perda superior a 12%, em
5 ciclos. Opcionalmente será determinada a porcentagem de
grãos de forma defeituosa, não podendo esta porcentagem ul
trapassar a 20%.

A especificação inglesa para agregados graúdos con
vencionais normalizada pela Bristish Standards Institution,
RRL (1962), estabelece limites para os ensaios de granulo-
metria e índice de forma para os agregados graúdos, indi
cando alguns ensaios que devam ser analisados para defini
ção da utilização ou não dos agregados, baseados em valo-
res tabelados de ensaios, para diversos tipos de rochas. Os
ensaios indicados para os agregados graúdos são: 10% de fi
nos, esmagamento, impacto, abrasão Los Angeles, polimento,
massa específica real e absorção, como os principais.

A especificação japonesa, além de limitar o valor do
ensaio de abrasão Los Angeles em 30%, considera que a ab
sorção da água pelo agregado graúdo, seja inferior a 3%,
a massa específica do agregado superior a $2,45 \text{ g/cm}^3$, a

porcentagem de agregados com partículas alongadas ou lisas seja no máximo 10% e condicionando a existência na fração agregado com 5mm de diâmetro, de 40% de partículas de agregado graúdo, com pelo menos uma face britada.

Como se observa pelo exposto, não há uma unidade na adoção dos conceitos utilizados pelas especificações, com relação as características que devam apresentar os agregados graúdos na fabricação do concreto betuminoso à quente. Enquanto as especificações brasileiras e japonesas fixam limites para as propriedades dos agregados graúdos, a norma inglesa estabelece parâmetros comparativos e deixa a critério dos órgãos a aceitação ou não do agregado graúdo, pela análise comparativa com os diversos valores dos ensaios realizados para diversos tipos de rocha.

Como se observa pelo requerido nas especificações apresentadas, não há uma uniformidade de condições para aceitação ou rejeição dos agregados graúdos em obras de concretos betuminosos à quente.

3.3 UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS GRAÚDOS NÃO CONVENCIONAIS NA FABRICAÇÃO DE CONCRETOS BETUMINOSOS À QUENTE.

3.3.1 Generalidades

Os agregados graúdos não convencionais, sub-normais ou marginais, são materiais que possuem propriedades físicas e/ou mecânicas, que não são comuns aos agregados graúdos convencionais.

No relato a seguir, serão apresentados alguns parâmetros dos agregados graúdos não convencionais e a influência desses parâmetros no comportamento dos concretos betuminosos à quente, em experimento de campo e laboratório.

3.3.1.1 Parâmetros de influência dos agregados graúdos não convencionais, na fabricação dos concretos betuminosos à quente.

Apesar de não se ter ainda estudos mais específicos, individualizados, para os agregados graúdos não convencionais na fabricação de concretos betuminosos à quente, presume-se que, pela própria estrutura do concreto betuminoso e pelos resultados obtidos em testes de laboratório, que alguns parâmetros dos agregados graúdos convencionais e não convencionais são comuns, e de mesma influência nas misturas betuminosas. Esses supostos parâmetros já analisados no parágrafo 3.2.1.1 deste capítulo, seriam: forma, textura, quantidade, tipo e granulometria do agregado graúdo. Com relação a influência desses parâmetros, Birman (s/referência) apresenta estudos feitos para composição do traço de concreto betuminoso com agregado graúdo não convencional apresentando índice de forma de 0,96, com uma proporção na mistura betuminosa de 93% em peso, e os resultados obtidos pelo teste de estabilidade Marshall foram satisfatórios. Britto (1969) utilizando agregados graúdos não convencionais na fabricação de concretos betuminosos à quente, afirma que com

a exceção do desgaste Los Angeles que estava fora dos limites estabelecidos pela especificação, os agregados graúdos utilizados apresentavam, quanto aos ensaios de granulometria, limites físicos, equivalentes de areia, densidades real e aparente, características plausíveis para serem utilizados como agregado graúdo na mistura betuminosa e os resultados de laboratório obtidos com a mistura betuminosa utilizando-se esses agregados graúdos, foram satisfatórios.

Dentre as propriedades não comuns aos agregados graúdos convencionais e não convencionais, pode-se citar: absorção, degradação, resistência ao polimento e massa específica.

Com relação a absorção, tem-se verificado que alguns tipos de agregados não convencionais, apresentam alta absorção de água. Esta propriedade do agregado graúdo, em primeira instância, poderá causar erro no cálculo da determinação dos vazios da mistura betuminosa, pelo emprêgo inadequado da densidade do agregado. Como se sabe, as normas usuais empregadas para determinação da densidade do agregado graúdo utilizado na fabricação de concreto betuminoso, consideram dois tipos de densidade. Uma denominada de densidade real dos grãos do agregado, e outra de densidade aparente dos grãos do agregado, quando se leva em consideração ou não os vazios permeáveis do agregado, determinados pela absorção da água. A adoção de um desses valores no cálculo da densidade teórica da mistura betuminosa, uma vez que o agregado graúdo absor-

ve menor quantidade de cimento asfáltico, poderá acarretar num inadequado conceito do teor de vazios da mistura, com comprometimento da qualidade do concreto betuminoso. Como observa Birman (1969), em agregados graúdos com baixa absorção de água, esta propriedade é de pequena relevância, uma vez que as densidades real e aparente dos grãos do agregado, são de valores relativamente próximos entre si, o que não acontece com agregados graúdos de alta absorção de água. Martin e Wallace (1952), indicam que a utilização de um valor para a densidade do agregado no projeto como sendo compreendido entre as densidades real e aparente, denominada de densidade "efetiva" dos grãos do agregado vai permitir uma aproximação no cálculo da densidade teórica da mistura betuminosa. O RRL (1962) adota para o cálculo da densidade teórica da mistura betuminosa, as densidades reais, das diversas frações do agregado na mistura e chama a atenção para os casos em que os agregados apresentam alta absorção de água. Estudos vêm sendo desenvolvidos para uma perfeita caracterização de densidade "efetiva" dos grãos do agregado e segundo Birman (1969), até então, nenhum método havia sido aceito integralmente, e enquanto isto, adotava nos projetos de misturas betuminosas, um valor para a densidade efetiva dos grãos do agregado, como sendo a média aritmética entre as densidades real e aparente dos grãos do agregado.

Com relação a propriedade de degradação, é desaconsel

lhável o emprêgo de agregados graúdos em misturas betuminosas que apresentam alto grau de degradação. Esta propriedade do agregado graúdo, é caracterizada pela desintegração do agregado na mistura betuminosa, quando submetida aos esforços mecânicos produzidos pela compressão das camadas, pelo tráfego em serviço ou pelo atrito interno entre as partículas do agregado. Alguns agregados graúdos não convencionais, apresentam maiores valores de desagregação, comparados com os agregados graúdos convencionais, quando medidos pelo ensaio de abrasão Los Angeles. Sobre o assunto, Birman (1969) observa que em obras realizadas pelo DER-GB, concretos betuminosos executados com agregados graúdos com valores de abrasão Los Angeles superiores aos máximos permitidos pelas especificações brasileiras, tinham bom comportamento e não apresentavam defeitos após 10 anos de uso, que pudessem ser atribuídos à baixa qualidade do agregado, definida pelo ensaio de abrasão Los Angeles. Ainda sobre a degradação medida pelo ensaio de desgaste Los Angeles, Hveem, citado por Barbosa (1969), afirma que a solução que se propunha na Califórnia era o abandono do ensaio de abrasão Los Angeles, o que efetivamente ocorreu alguns anos depois, e que um concreto betuminoso executado em 1934 com agregado possuindo Los Angeles de 80%, apresentava até então, 1961, bom comportamento.

Há uma tendência mundial em se estabelecer, em função das observações feitas em obras de concretos betuminosos executados com vários tipos de agregados graúdos, limites mais adequados para os valores do ensaio de abrasão Los Angeles. O HHE (1975) relata que há uma preocupação da ASTM no sentido de estabelecer limites para o ensaio de abrasão Los Angeles, em função dos tipos de serviço e dos agregados utilizados.

A propriedade de baixa resistência ao polimento de alguns agregados graúdos não convencionais, se caracteriza pelo excessivo desgaste superficial dos revestimentos betuminosos, provocado pela ação conjunta do tráfego e da água. Segundo Beaton e Asce (1971), este problema é de fundamental importância e requer cuidados especiais nos países onde há predominância de rochas susceptíveis a esse tipo de desgaste, e que por motivos de ordem econômica, sejam utilizados como agregados graúdos nos revestimentos betuminosos.

A experiência Francêsa têm demonstrado, Hettinger (1975), Mourier (1977), que a utilização de agregados graúdos de maior desgaste superficial em concretos betuminosos, têm trazido como consequência, revestimentos muito polidos e que quando molhados, provocam sérios acidentes.

Quanto aos agregados graúdos com baixa massa específica, não é recomendada a sua utilização em concretos betuminosos, pelo baixo valor de suporte produzido nas misturas.

Pelo exposto verifica-se que, o comportamento dos

~~XX~~

concretos
concretos betuminosos à quente, estão atualmente bem caracte-
rizadas, quando se utilizam os agregados graúdos conven-
cionais na fabricação desses concretos e que algumas caracte-
rísticas dos agregados graúdos não convencionais devam ser
analisados mais criteriosamente para que possam ser utiliza-
dos na fabricação de concretos betuminosos à quente.

CAPÍTULO IV

MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ESCOLHA DOS MATERIAIS

4.1.1 Agregados Graúdos

Os agregados graúdos empregados na pesquisa, foram os seguintes: agregado graúdo granítico, por ser de utilização corrente em obras de engenharia e apresentar propriedades físicas e mecânicas aceitáveis de acordo com os critérios estabelecidos nas especificações de serviço, para misturas betuminosas à quente. Esse tipo de material foi designado na pesquisa como agregado graúdo convencional; agregados graúdos provenientes de rochas calcáreas, concreções lateríticas e seixos, por apresentarem características não comuns ao agregado graúdo convencional, alguma propriedade física ou mecânica que não satisfizesse as especificações de serviço para concreto betuminoso à quente, ou mesmo não ser de uso comum em algumas regiões. Esses materiais na pesquisa, foram denominados de agregados graúdos não convencionais.

4.1.2 Agregado Miúdo

O agregado miúdo escolhido foi uma areia de rio, por ser de uso comum em obras de engenharia na região.

4.1.3 Material de Enchimento - Filler

Como material de enchimento ou filler, foi escolhido o calcáreo, por ser um material de comprovada qualidade co



FIG. 4.1 - LOCALIZAÇÃO DAS JAZIDAS DE AGREGADOS GRAÚDOS SELECIONADOS PARA A PESQUISA.

mo tal, industrializado, e de custo inferior em serviço aos seus similares, tais como cimento e cal hidratada, na fabricação de concretos betuminosos.

4.1.4 Cimento Asfáltico

O cimento asfáltico escolhido, foi o de penetração 85-100, por apresentar características de uso, em climas diversos.

4.2 CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS GRAÚDOS, UTILIZADOS NA PESQUISA.

Na Tabela 4.1, são apresentadas as características regionais onde os agregados graúdos foram obtidos, tais como: clima, índice xerotérmico e precipitação média anual, assim como a formação geológica, a pedologia e procedência, desses agregados.

4.3 COLETA E PREPARAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA.

4.3.1 Agregado Graúdo Granítico

O agregado graúdo granítico, já beneficiado foi fornecido pelo Departamento de Estradas de Rodagem da Paraíba, DER, do seu depósito de brita e instalação de britagem, situado na cidade de Queimadas, PB. As amostras de agregados foram obtidas de vários locais, através de processos seletivos, de tal maneira que houvesse uma representatividade significativa do material. A denominação dada a esse agregado

AGREGADO					ÍNDICE		PRECIPITAÇÃO
GRAÚDO	PROCEDÊNCIA	FORMAÇÃO GEOLÓGICA	PEDOLOGIA	CLIMA	XEROTÉRMICO		MÉDIA ANUAL (mm)
Granítico	Queimadas-PB	Plutônicas Ácidas data do precambiano (CD)	Rc 19 - Granito Cataclástico	Quente de <u>sê</u> ca atenuada	40	a 100	769
Laterita João Pes soa	João Pessoa-PB	Formação "Barreiros" data do Terciário	Concreções fer ruginosas de sô lo podzológico vermelho amarelo	Nordestino sub-sêco	0	a 40	1.720
Laterita Sapé	Sapé-PB	Formação "Barreiras" data do Terciário	Concreções fer ruginosas de sô lo podzológico vermelho amarelo	Quente de <u>sê</u> ca atenuada	40	a 100	1.100
Calcáreo João Pes soa	João Pessoa-PB	Formação "Gramame" data do cretácico	Calcáreos compac to intercalados por margas	Nordestino sub-sêco	0	a 40	1.720
Calcáreo Mossorô 1	Mossorô-RN	Grupo APODI calcáreo Jan daira data do cretácico	Calcáreo sobre arenito ou calcá reo dolomítico	Quente de <u>sê</u> ca atenuada	150	a 200	670
Calcáreo Mossorô 2	Mossorô-RN	Grupo APODI calcáreo Jan daira data do cretácico	Calcáreo sobre arenito ou calcá reo dolomítico	Quente de <u>sê</u> ca atenuada	150	a 200	670
Seixo Bri tado	Boa Vista-PB	Gnaisses e Migmatitos data do pré-cambriano (CD)	Calhaus de Quartzo	Quente de <u>sê</u> ca atenuada	150	a 200	415

TABELA 4.1 - Características Regionais dos Agregados Graúdos Estudados.

no estudo foi de brita granítica. Para britagem da rocha granítica foi utilizado um britador de mandíbulas com abertura de 15 pol. por 24 pol. e um rebritador cônico de 24S marca Telsmith da Barber Greene. Deixou-se de tecer maiores detalhes quanto ao processo de extração e beneficiamento do agregado granítico, por se tratar de um sistema inteiramente convencional.

4.3.2 Rochas Calcáreas

Três foram os tipos de agregados graúdos calcáreos empregados na pesquisa, obtidos de rochas calcáreas provenientes dos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, em locais próximos às cidades de João Pessoa, Pb, e Mossoró, RN.

As amostras de rochas calcáreas de Mossoró, RN, foram retiradas em blocos de pedra de jazida já em utilização pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER, como agregado graúdo, na execução do revestimento asfáltico da rodovia BR-110, entre as cidades de Mossoró e Areia Branca, ambas no estado do Rio Grande do Norte.

Os blocos de pedra, eram retirados da jazida, com o auxílio de um trator equipado com um escarificador, após limpeza superficial, e amontoadas em locais para posterior transporte à central de britagem, localizada dentro da área da

própria jazida.

Pela observação visual, após britagem, da rocha calcárea assim extraída, notou-se uma lamelaridade e aparente maior dureza em um determinado tipo de rocha de cor amarela escura, em comparação com outra rocha calcárea de cor amarela clara, que no processo de deposição, para posterior utilização, eram misturadas no mesmo local. A coleta para o estudo, obedeceu então, a um processo de seleção e separadamente pelas colorações apresentadas pelas rochas calcáreas. Na presente pesquisa, a rocha calcárea de cor amarela escura, foi denominada de Mossoró 1 e a de cor amarela clara, de Mossoró 2.

A rocha calcárea proveniente do local denominado de ALHANDRA, região situada próxima à cidade de João Pessoa, PB, foi obtida na pedreira, em blocos de dimensões reduzidas, cedidas pela COMPANHIA INDUSTRIAL GRAMAME-CIGRA-ALHANDRA, PB, que industrializa o calcáreo na fabricação de agregados graúdos para a indústria de construção civil e como material corretivo, para solos agrícolas.

4.3.3 Concreções Lateríticas

As concreções lateríticas, foram provenientes de coleta efetuada em depósitos ao ar livre de solos lateríticos, pertencentes ao Laboratório de Solos, do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, que estuda o solo vermelho tropical, das regiões Norte e Nordeste brasileira.

sileiro. Como ficou definido preliminarmente no estudo, que seriam utilizados 2 tipos de concreções lateríticas, foram coletadas então dos depósitos, as concreções das jazidas situadas nas cidades de João Pessoa, PB e Sapé, PB, por apresentarem características aparente de dureza, de diferentes graus.

As denominações dadas no estudo aos agregados graúdos das concreções lateríticas foram de: laterita João Pessoa e laterita Sapé.

4.3.4 Seixos

Os seixos foram obtidos no seu estado natural, em coleta manual sem classificação, ao longo das margens da roda via BR-412, nas proximidades da cidade de Boa Vista, PB e denominado no estudo, após britagem, de seixo britado.

4.3.5 Areia

O agregado miúdo utilizado utilizado em todas as dosagens estudadas, foi uma areia de rio lavada, cujo areal encontra-se localizado às margens do rio Paraíba, no local denominado de Barra de Santana, no município de Boqueirão, PB. Foi coletada de um canteiro de obras da firma COBRATE Ltda, onde estava sendo utilizada na fabricação de concreto de cimento, nas obras de construção civil da Rede SOMAR de Abastecimento, em Campina Grande, PB. Foi coletada de depó-sito com o auxílio de pás, sem que houvesse preocupação na seleção.

4.3.6 Cimento Asfáltico

O cimento asfáltico foi obtido de depósitos pertencentes a Construtora COBRATE Ltda, material este, em utilização nos revestimentos asfálticos, nas obras do projeto CURA II, em execução na cidade de Campina Grande, PB e proveniente da firma BETUNEL - Ind. e Com. Ltda, sediada na cidade de Salvador, Bahia.

A coleta foi feita diretamente no tubo de descarga do depósito e o cimento asfáltico foi acondicionado em reservatórios apropriados.

4.3.7 Filler

O material de enchimento filler, foi fornecido em sacos fechados provenientes da COMPANHIA INDUSTRIAL GRAMAME-CIGRA, situada na cidade de ALHANDRA, PB, originário da rocha calcárea, cujo agregado graúdo faz parte do presente estudo.

4.4 PREPARAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA.

Os materiais para utilização como agregado graúdo, obedeceram a um mesmo processo de preparação para britagem, com exceção do agregado graúdo granítico obtido já beneficiado. As pedras calcáreas e as concreções lateríticas de grande diâmetro, foram reduzidas por impacto, com o auxílio de um martelo de 5 kg, para facilidade de britagem e por imposição da abertura máxima permitida pelo britador utilizado. Os seixos foram britados no seu estado natural,

sem qualquer alteração na sua estrutura, pois apresentavam diâmetros médios compatíveis com a abertura do britador.

O britador utilizado para confecção dos agregados graúdos provenientes das rochas calcáreas, concreções lateríticas e seixos, foi num britador de mandíbulas BMA 21, fabricado pela Máquinas Renard - Indústria e Comércio Ltda, e pertencente ao Laboratório de Solos do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB.

Nenhum dos materiais sofreu qualquer processo de lavagem e apenas o solo laterítico foi beneficiado com um peneiramento inicial, a seco, para eliminar as frações de solos, de diâmetros inferiores a 19mm.

Após a obtenção dos diversos agregados graúdos, estes foram colocados em estufa a temperatura de 105°C e após secagem, peneirados através da série de peneiras recomendada pelo método e instruções de ensaios do DNER para determinação de granulometria de agregados, do ensaio de estabilidade Marshall. As frações de agregados graúdos retidas nas diversas peneiras foram então separadas e acondicionadas em sacos plásticos ou de rafia, quando necessário, para posterior composição de acordo com as granulometrias estabelecidas para o ensaio.

O mesmo processo de peneiramento, separação e acondicionamento das frações dos agregados graúdos, foi feito para a areia utilizada como agregado miúdo.

O material de enchimento, filler, enviado em embalagem própria, em sacos de papel grosso, foi depositado em local seco e arejado para evitar que a umidade prejudicasse a sua composição.

O cimento asfáltico, como obtido da construtora, em depósitos metálicos com tampa, foi colocado em local adequado no laboratório, e mantido fechado para que não houvesse contaminação proveniente de outros materiais, e somente eram abertos os depósitos metálicos, quando da utilização do cimento asfáltico. A propósito da preparação dos materiais, algumas observações foram feitas. Os agregados graúdos resultantes da britagem das rochas calcáreas de João Pessoa e Mossoró 2, das concreções lateritas de João Pessoa e Sapé e dos seixos, apresentavam após britagem, excessiva quantidade de partículas finas que ficavam aderidas às partículas dos agregados graúdos, principalmente nos agregados de calcáreos e concreções lateritas.

Os agregados graúdos oriundos das concreções lateríticas de João Pessoa e dos seixos apresentavam facilidade de degradação, até mesmo pelo manuseio das amostras preparadas, entendendo-se por degradação do agregado, a desagregação de partículas, provocada pelo choque entre si.

O agregado graúdo proveniente do calcáreo Mossoró 1, apresentava uma maior lamelaridade, comparado com os demais agregados graúdos, e uma superfície muito polida, de textura lisa e sedosa.

Não havia presença de torrões de argila nos agregados graúdos obtidos e na areia utilizada.

Os seixos apresentavam após britagem, algumas partículas parcialmente arredondadas sem arestas.

4.5 MISTURAS DE AGREGADOS UTILIZADAS NA PESQUISA.

A seguir serão apresentadas as misturas dos agregados utilizados na pesquisa, bem como a escolha dessas misturas.

4.5.1 Mistura de Agregados de Granulometria Descontínua.

A mistura de agregados com granulometria descontínua utilizada na pesquisa, foi definida em função das análises granulométricas da brita granítica já beneficiada, da areia no estado natural e do filler industrializado, visando-se com isto, obter uma mistura composta de agregados de uso corrente em obras de engenharia e sem algum beneficiamento. A faixa granulométrica escolhida para enquadramento da mistura de agregados, foi a faixa "B", definida pelas Especificações de Serviços do DNER para concretos betuminosos uzinados à quente, por permitir maior flexibilidade quanto ao uso de concretos betuminosos em camadas de ligação e rolamento. Na realidade, a tentativa de utilização dos agregados da maneira como foram obtidos para o estudo, não permitiu uma mistura totalmente dentro da faixa granulométrica, como mostrado na Figura 4.5.1c, não atendendo na íntegra os requisitos propostos pelas especificações, por mais tentativas que se fi

zesse, devido as granulometrias individuais dos materiais empregados.

Definida então a composição granulométrica da mistura final dos agregados, foram então todos os agregados graúdos e miúdo separados em diversas frações por peneiramento, para posterior composição, ficando esta composição definida como sendo: 55% de agregado graúdo, 40% de agregado miúdo e 5% de filler.

As Figuras 4.5.1a, 4.5.1b e 4.5.1c mostram respectivamente, as granulometrias adotadas para os agregados graúdos, miúdo e para a mistura final de agregados com indicação da faixa granulométrica "B", escolhida.

4.5.2 Mistura de Agregados de Granulometria Contínua.

A mistura de agregados de granulometria contínua, foi obtida de uma tentativa de ajustagem das diversas frações de agregados graúdos, miúdo e filler de modo a proporcionar uma mistura de agregados com mesma composição da mistura de agregados de granulometria descontínua, e de granulometria, situada nos pontos médios da faixa "B", produzindo assim uma mistura totalmente enquadrada na faixa escolhida e atendendo os requisitos propostos pelas Especificações de Serviço do DNER.

As granulometrias dos agregados graúdos e miúdo assim definidas não obedeceram a nenhum critério de escolha, técnico ou comercial, e foram obtidas em função da disponi

bilidade dos agregados graúdos e miúdos.

Definida então a composição e granulometria da mistura de agregados, foram os agregados graúdos e miúdo separados em diversas frações, por peneiramento, para posterior composição. As figuras 4.5.2a, 4.5.2b e 4.5.2c mostram respectivamente, as granulometrias adotadas para os agregados graúdos, miúdo e para a mistura final de agregados com indicação da faixa granulométrica "B", escolhida.

4.6 ESCOLHA DOS TEORES DE LIGANTE ADOTADOS PARA AS MISTURAS BETUMINOSAS

A escolha dos teores de ligante adotados para as misturas betuminosas, foi feita, baseada na fórmula simplificada de M. Duriez, Santana (1970), onde é obtido o teor ótimo aproximado, em função da porcentagem de material que passa na peneira de 0,074mm, da mistura de agregados.

As composições granulométricas de agregados para as duas misturas de agregados escolhidos para a pesquisa, foram realizadas de maneira a permitir misturas de agregados iguais, para todas as misturas betuminosas estudadas.

4.7 MÉTODOS DE ENSAIOS

4.7.1 Introdução

Os métodos de ensaios utilizados no presente trabalho, foram na sua maior parte, os métodos de ensaios propostos pelo Departamento de Estradas de Rodagem, DNER, que estabelece as condições de aceitação dos diversos materiais e serviços para as obras rodoviárias brasileiras.

A seguir serão apresentados os métodos de ensaios uti

lizados com alguns comentários e que serviram para caracterizar os materiais selecionados para a pesquisa e as misturas betuminosas confeccionadas.

4.7.2 Análise granulométrica de agregados

Método DNER - ME 83-63

Como previsto pelo Método do DNER, o peneiramento é feito via seca. Font e Elia (1968) aconselharam a adoção de granulometrias via úmida para agregados graúdos contendo excesso de partículas finas.

4.7.3 Densidade e absorção de agregado graúdo

Método DNER - ME 81-64

A densidade real do agregado graúdo é influenciada pela natureza do seu material constituinte e não são levados em consideração os vazios permeáveis do agregado.

A densidade aparente é influenciada da mesma forma que a densidade real, mas são levados em consideração os vazios permeáveis do agregado.

A absorção da água pelo agregado é normalmente utilizada para definir a quantidade de vazios permeáveis do agregado.

4.7.4 Densidade real de agregado miúdo

Método do DNER-ME 84-64

4.7.5 Densidade real do filler

Método B.S.1377 : 1975 - Test 6 (B)

4.7.6 Desgaste do agregado por abrasão

Método DNER-ME 35-64

O ensaio de desgaste Los Angeles, determina o desgaste que irá sofrer o agregado na estrutura betuminosa pela ação do tráfego ou pelo atrito interno das partículas entre si.

Para todos os agregados graúdos, foi utilizada a faixa "C".

4.7.7 Índice de forma do agregado

Método DNER-ME 86-64

O índice de forma do agregado define a forma dos grãos do agregado, medida por um fator de cubicidade e pode ter bastante influência na estabilidade e homogeneização das misturas betuminosas.

4.7.8 Adesividade de agregado graúdo a ligante betuminoso

Método DNER-ME 78-63

A adesividade se caracteriza pela propriedade do agregado deixar-se envolver por uma película betuminosa e manter essa película impedindo seu deslocamento pela ação da água e do tráfego.

4.7.9 Equivalente de areia

Método DNER-ME 54-63

O equivalente de areia é uma característica do material que define a quantidade de argila contida nesse material, como também pode indicar o grau de atividade dessa argila.

4.7.10 Limite de liquidez

Método DNER-ME 44-71

4.7.11 Limite de plasticidade

Método do DNER-ME 82-63

4.7.12 Penetração de materiais betuminosos

Método DNER-ME 03-73

O ensaio de penetração indica uma característica de consistência do cimento asfáltico.

4.7.13 Viscosidade Saybolt-furol de materiais betuminosos

Método DNER-ME 04-73

A viscosidade de um material betuminoso é uma característica de consistência do material betuminoso, para uma dada temperatura, e determina quais as temperaturas de aquecimento que devam ter o cimento asfáltico e os agregados, para permitir um melhor recobrimento dos grãos do agregado. Determina também na mistura betuminosa acréscimo na estabilidade pelo emprego de cimentos asfálticos mais viscosos.

4.7.14 Densidade de materiais betuminosos

Método DNER-ME 16-64

A densidade de um material betuminoso é expressa pela relação entre a massa de um dado volume de material e a massa de um dado volume de água, à mesma temperatura.

4.7.15 Densidade aparente de corpo de prova de mistura betuminosa.

Método DNER-ME 77-63

A densidade aparente foi obtida sem a utilização de parafina para recobrimento dos corpos de prova, para que todas as misturas betuminosas tivessem as mesmas condições de ensaio.

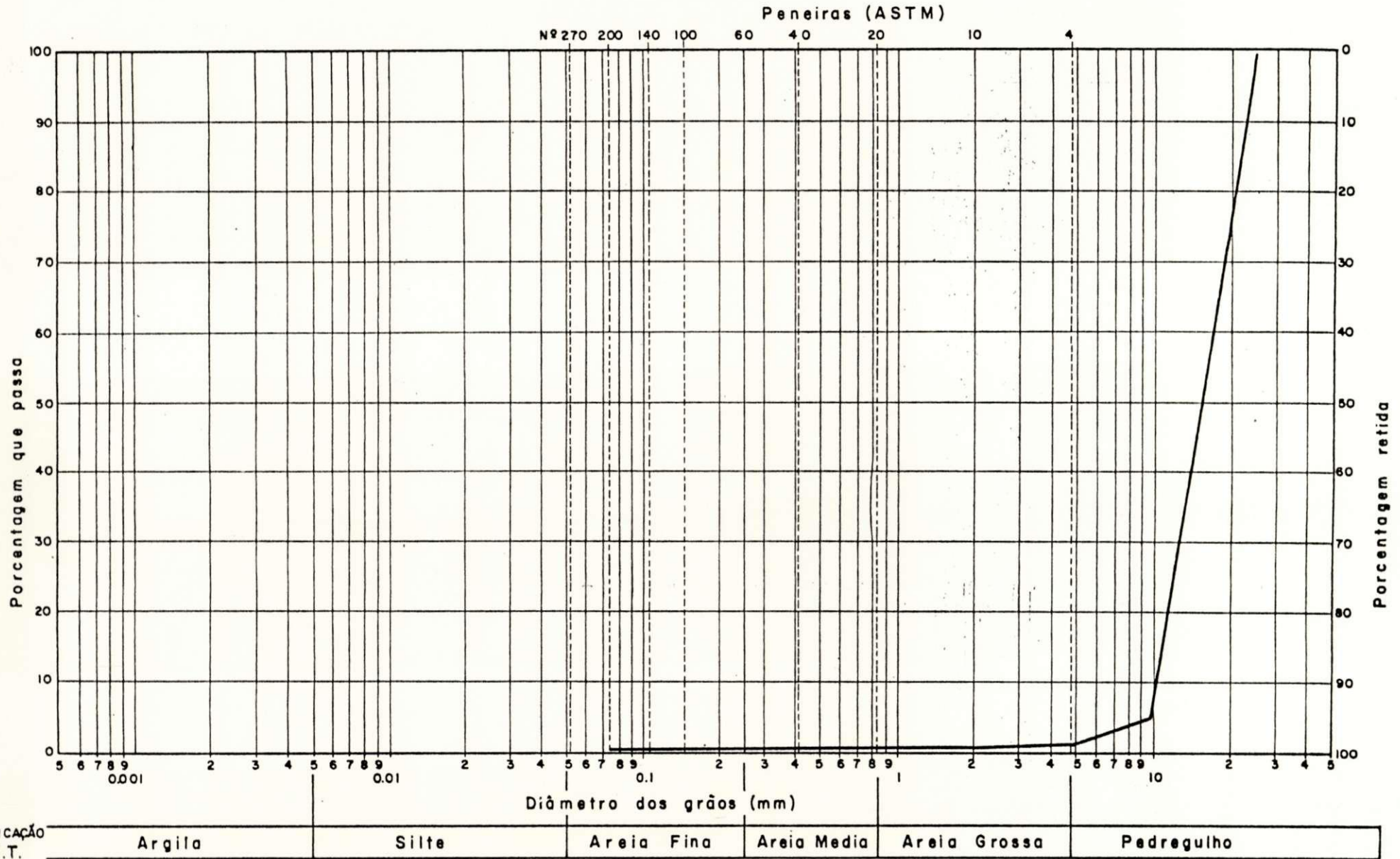
4.7.16 Ensaio Marshall para misturas betuminosas

Método DNER-ME 43-64

Os corpos de prova foram colocados em Banho-Maria à temperatura de 60°C, durante 30 minutos, e o número de golpes aplicados foi de 50, em cada face.

A escolha dos ensaios realizados para caracterização dos materiais selecionados para a pesquisa, foi feita em função de observação de outros estudos e visando obter maiores subsídios para uma melhor análise do conjunto de valores determinantes da qualidade dos concretos betuminosos, através do ensaio Marshall. A não realização de outros ensaios considerados importantes para caracterização dos materiais, principalmente dos agregados graúdos não convencionais, e que poderiam acrescentar maiores referências ao conjunto dos resultados obtidos, foi determinada pela limitação do tempo disponível, para realização do presente trabalho.

GRANULOMETRIA



CLASSIFICAÇÃO B.N.T.

FIGURA 4.5.1a - Granulometria de agregado graúdo na mistura de agregados de granulometria descontínua.

GRANULOMETRIA

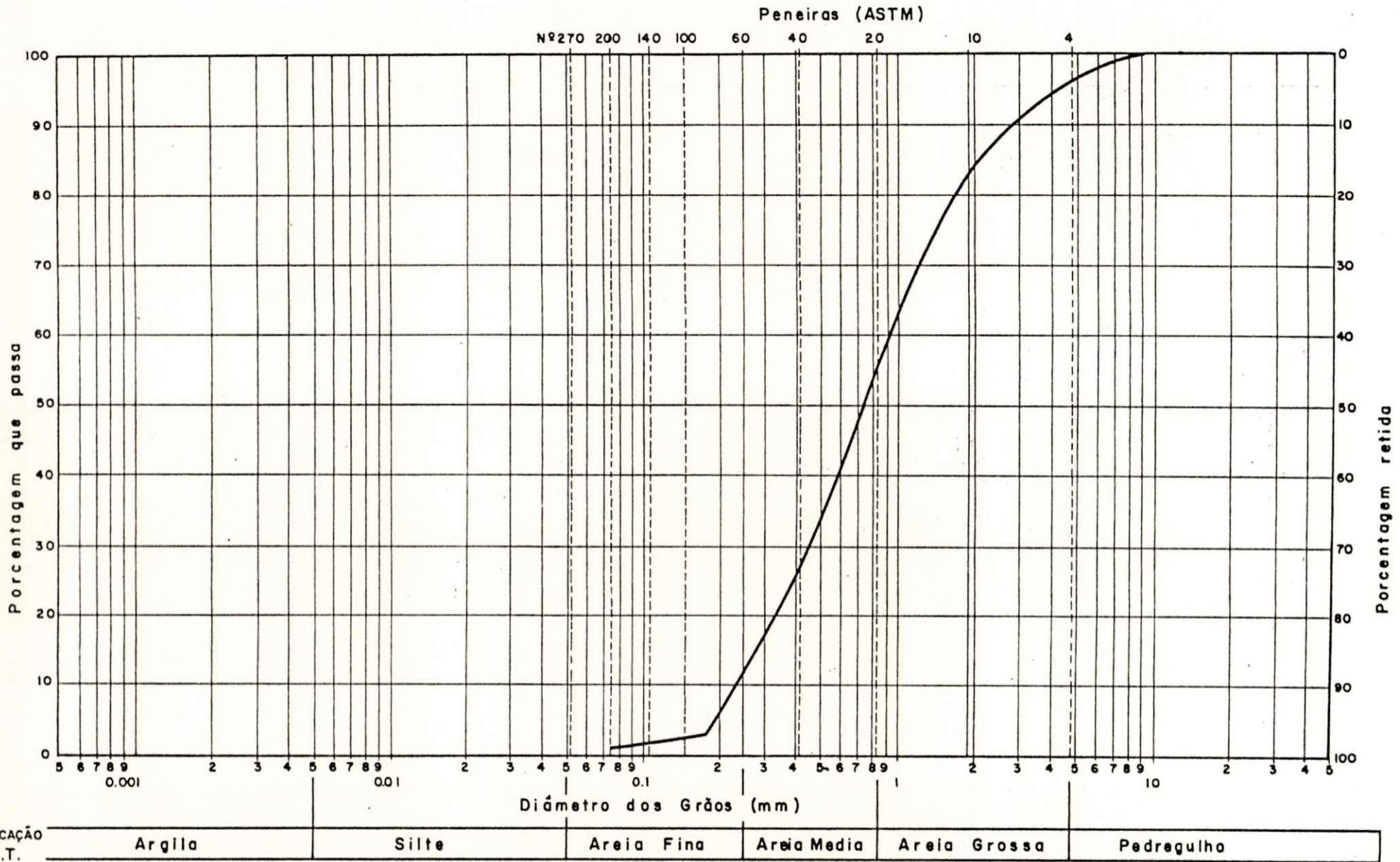
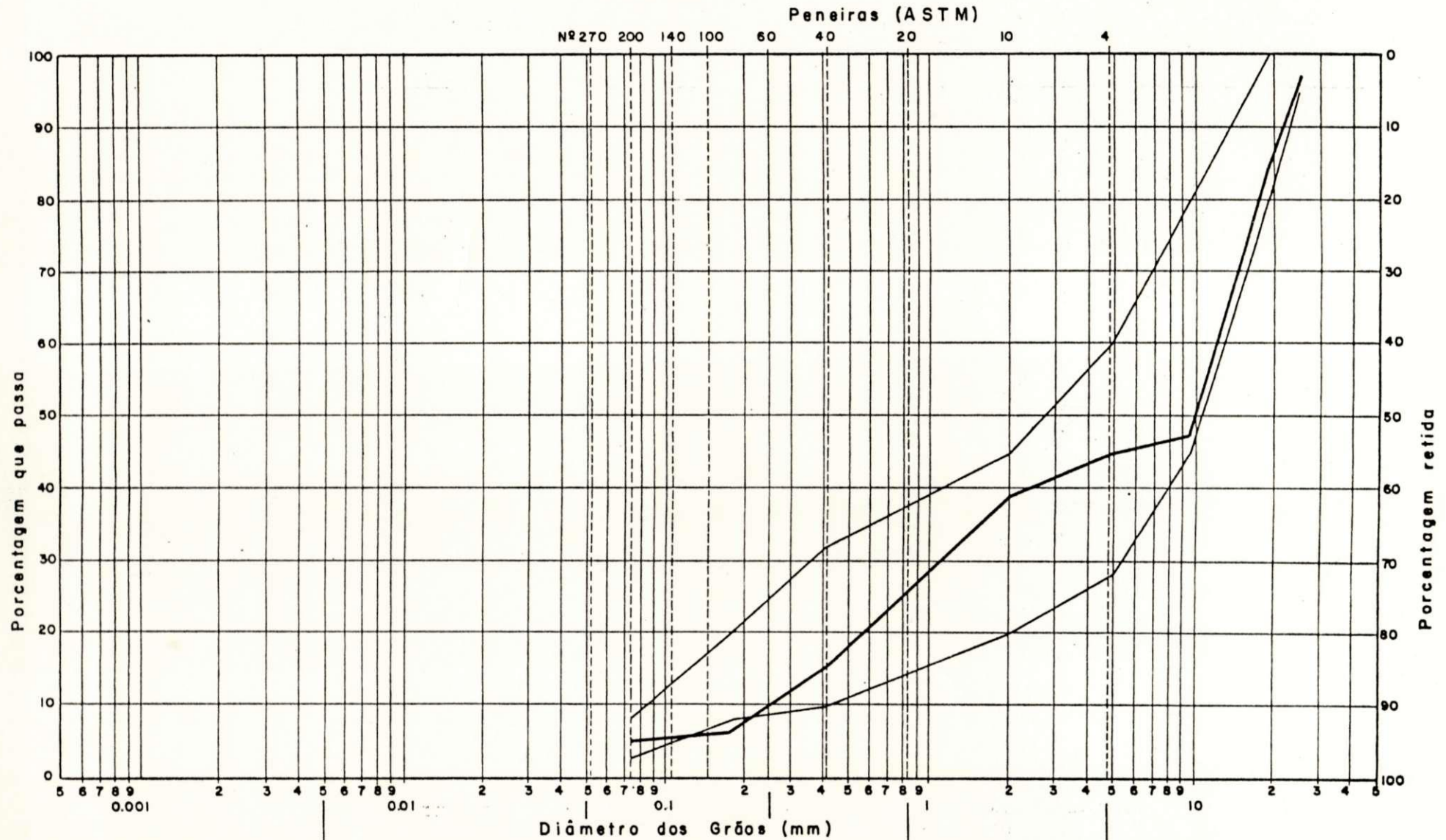


FIGURA 4.5.1b - Granulometria do agregado miúdo na mistura de agregados de granulometria descontínua.

GRANULOMETRIA



Argila	Silte	Areia Fino	Areia Média	Areia Grossa	Pedregulho
--------	-------	------------	-------------	--------------	------------

FIGURA 4.5.1c - Mistura de agregados de granulometria descontínua.

GRANULOMETRIA

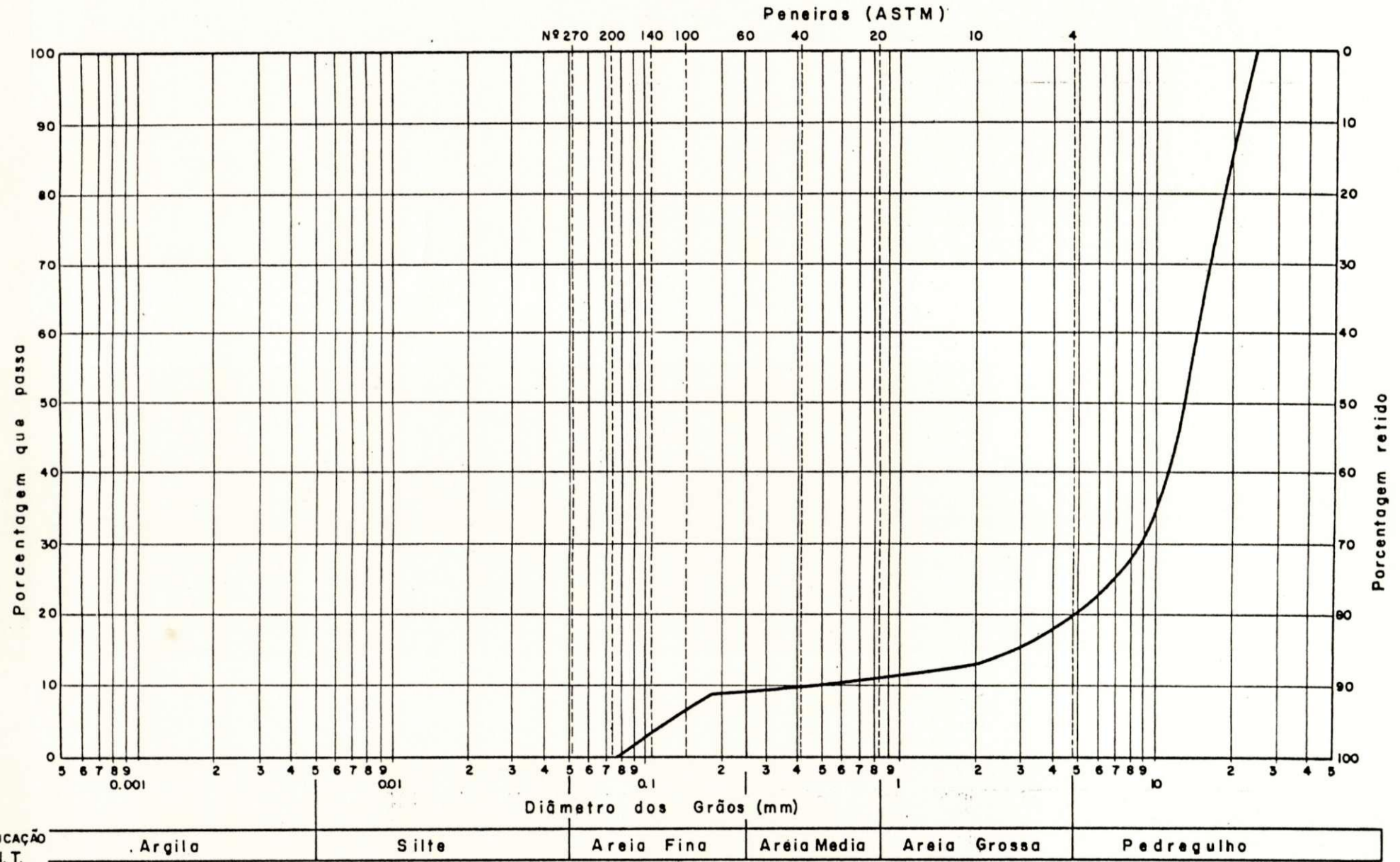
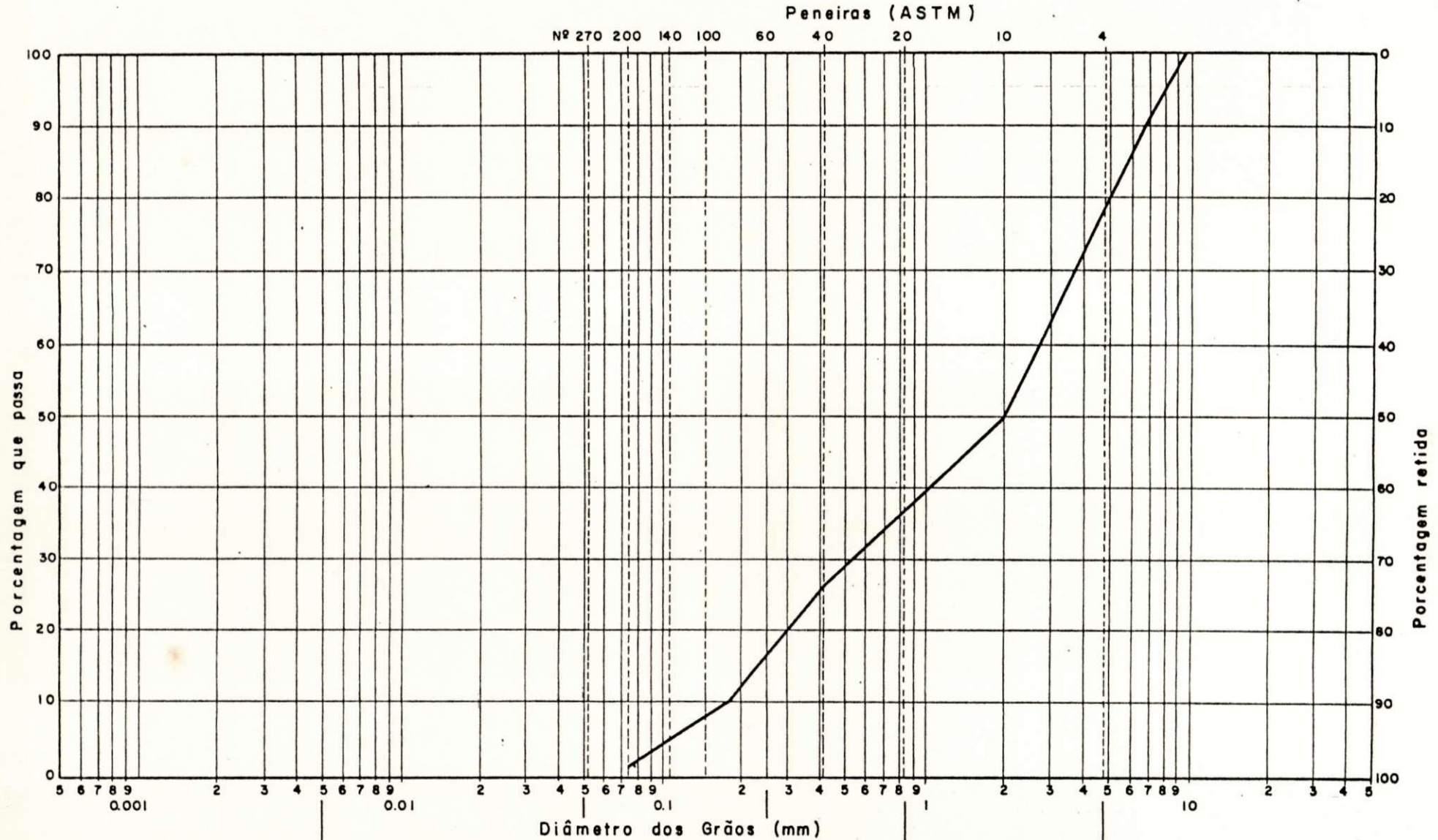


FIGURA 4.5.2a - Granulometria do agregado graúdo na mistura de agregados de granulometria contínua.

GRANULOMETRIA



CLASSIFICAÇÃO B.N.T.	Argila	Silte	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	Pedregulho
-------------------------	--------	-------	------------	-------------	--------------	------------

FIGURA 4.5.2b - Granulometria do agregado miúdo na mistura de agregados de granulometria contínua.

GRANULOMETRIA

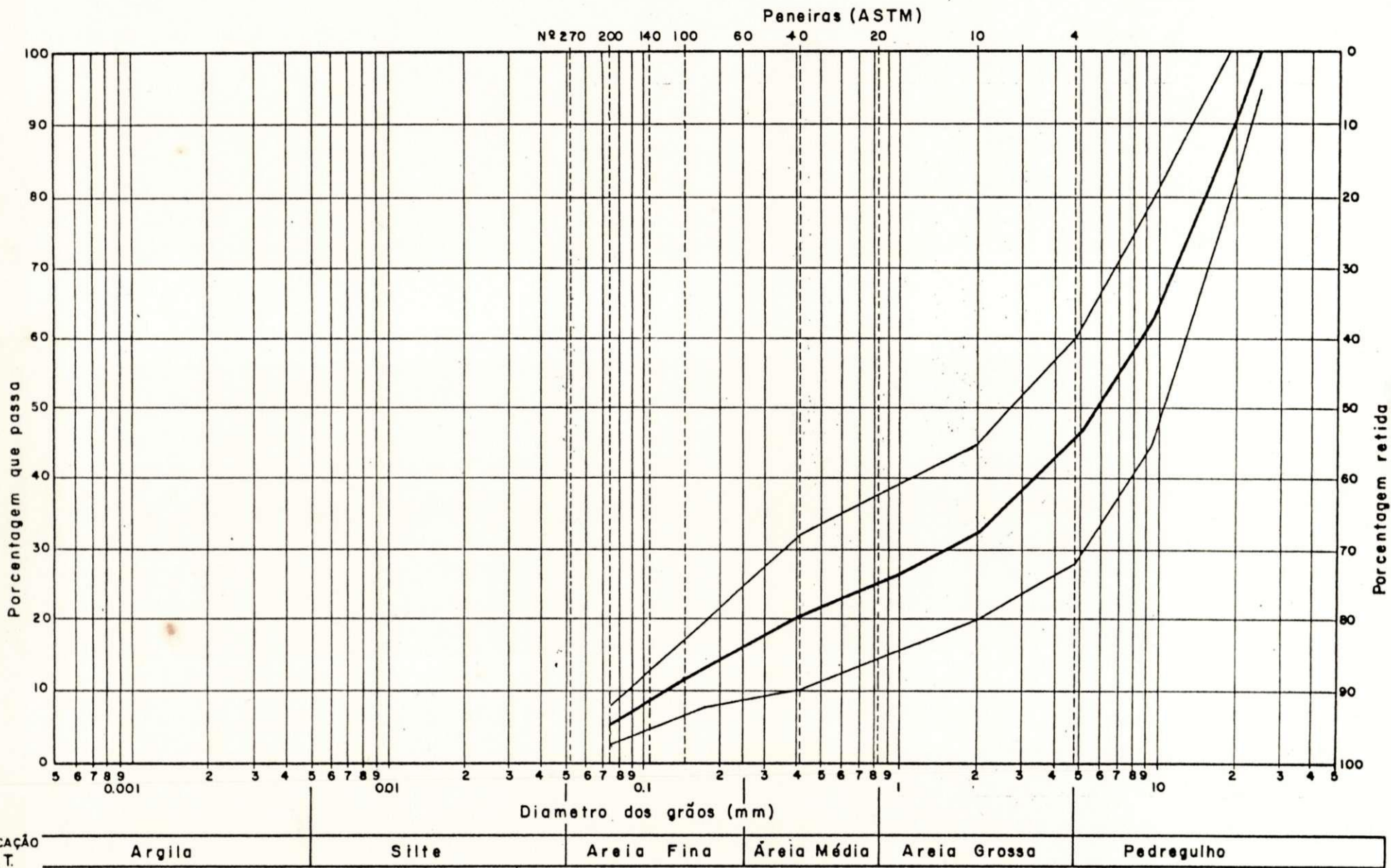


FIGURA 4.5.2c - Mistura de agregados de granulometria contínua.

CAPÍTULO V

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, serão apresentados e discutidos os resultados dos ensaios de caracterização realizados com os materiais selecionados para a pesquisa, e do ensaio Marshall, com as diversas misturas betuminosas.

Para melhor sequência e clareza, a apresentação e discussão dos resultados será feita na seguinte ordem:

- Ensaios de caracterização;
- Ensaio Marshall.

5.2 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Os resultados dos ensaios efetuados para caracterização dos materiais utilizados na pesquisa, são apresentados na Tabela 5.2a e foram obtidos pela determinação de no mínimo dois ensaios.

5.2.1 - Análise Granulométrica

A análise granulométrica foi efetuada com o agregado graúdo (brita granítica), já beneficiada, uma areia no seu estado natural e do filler industrializado. O resultado desses ensaios, obtidos pela média aritmética de nove determinações, são apresentados na Tabela 5.2b, a seguir:

Agregados	Peneiras (mm) - % passando							
	25,4	19,1	9,5	4,8	2,0	0,42	0,18	0,074
Brita granítica	99,6	73,3	4,9	1,4	0,7	0,5	0,4	0,3
Areia	100,0	100,0	100,0	97,2	85,0	26,5	3,3	1,4
Filler	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

TABELA 5.2b - Análises granulométricas da brita granítica, da areia e do filler.

Como se observa, os agregados graúdos e miúdo, apresentam baixa porcentagem de finos, com diâmetros inferiores à 0,074mm. A fração graúda de brita granítica era constituída de 98,6% de material com diâmetro superior à 4,8mm, a areia era constituída de 2,8% de partículas de diâmetros superiores à 4,8mm e o filler se constituía de partículas com diâmetros inferiores à 0,074mm.

Os diâmetros máximos de brita granítica e da areia foram de 25,4mm e 4,8mm, respectivamente.

5.2.2 Densidade real de agregado graúdo

Os resultados de densidade real obtidos para os agregados graúdos empregados na pesquisa, são apresentados na Tabela 5.2a.

Pela observação dos resultados, verificou-se que os agregados graúdos, laterita Sapé e laterita João Pessoa, apresentaram valores de densidade, superiores aos demais agregados estudados, sendo esta uma característica desses tipos de

materiais, observada em vários estudos, Shuster (1970). Os resultados obtidos para os demais agregados graúdos são com patíveis com resultados de outros estudos, para os mesmos tipos de materiais, Salvador e Monteverne (1975), H.H.E(1975).

5.2.2.2 Densidade aparente de agregado graúdo

Pelos resultados obtidos para densidade aparente e apresentados na Tabela 5.2a, observa-se que as densidades aparentes dos agregados graúdos laterita João Pessoa, laterita Sapê e calcáreo João Pessoa, apresentaram diferenças acen tuadas em relação as respectivas densidades reais obtidas para os mesmos agregados, devido a maior quantidade de va zios permeáveis existentes e caracterizada pela absorção a seguir apresentada.

5.2.2.3 Absorção de agregado graúdo

Pelos resultados de absorção apresentados na Tabela 5.2a, observa-se que os agregados graúdos, laterita João Pe soa, laterita Sapê e calcáreo João Pessoa, são os materiais que apresentam maiores valores de absorção e consequentemente, maior quantidade de vazios permeáveis. Os agregados graúdos brita granítica, seixo britado, calcáreo Mossoró 1 e calcáreo Mossoró 2, pela ordem, apresentam menores valores de absorção, indicando possuem menores quantidades de va zios permeáveis.

5.2.3 Densidade real de agregado miúdo

A densidade real obtida para o agregado miúdo estuda-

do, ou seja a areia de rio, composta de partículas de quartzo, está de acordo com as determinações feitas em outros estudos, para material de mesma natureza, H. H. E. (1975), e apresentada na Tabela 5.2a.

5.2.4 Massa específica real de material de enchimento-filler.

Determinado através do picnômetro com utilização de querosene, representa uma característica da fração do agregado grão calcáreo João Pessoa, com diâmetro inferior a 0,074mm e encontra-se representada na Tabela 5.2a.

5.2.5 Desgaste do agregado por abrasão

Pelos resultados apresentados na Tabela 5.2a, observa-se que os maiores desgastes ocasionados pela ação das cargas abrasivas, foram provocados nos agregados grãos, seixo britado, laterita João Pessoa, calcáreo João Pessoa, laterita Sapê e calcáreo Mossoró 2, o que comprova a menor resistência desses agregados, quando sujeitos à ação do desgaste. Os agregados grãos Mossoró 1 e brita granítica apresentaram menores desgastes, com maior resistência à ação dos esforços.

Para utilização em concreto betuminosos à quente, os agregados grãos laterita de João Pessoa e seixo britado não atendem as condições estabelecidas pelo DNER para o desgaste mínimo que deva ser verificado para os agregados.

5.2.6 Índice de forma

De acordo com a Tabela 5.2a, o agregado graúdo calcáreo Mossoró 1, foi o que apresentou menor fator de cubicidade dentre todos os agregados graúdos estudados, mas superior ainda, ao índice de forma estabelecido por norma. Os maiores fatores de cubicidade foram apresentados pela ordem, pelos agregados graúdos laterita de João Pessoa e seixo britado.

5.2.7 Adesividade de agregado graúdo a ligante betuminoso.

Os resultados de adesividade para os agregados graúdos empregados na pesquisa, são apresentados na Tabela 5.2a e mostram que apenas os agregados graúdos, brita granítica e seixo britado, dentre os agregados estudados, não apresentaram adesividade satisfatória. A propósito Reston (1963) observa que essa característica é comum a esses tipos de agregados graúdos.

Os agregados graúdos, calcáreo João Pessoa, calcáreo Mossoró 1, calcáreo Mossoró 2, laterita João Pessoa e laterita Sapê, apresentaram adesividade satisfatória. Wallace (1958), observa que essa é uma propriedade dos materiais calcáreos e Tavares (1973) encontrou adesividade satisfatória utilizando concreções lateríticas.

Birman (1969), observa que a experiência mostrava ser o efeito da adesividade de um agregado graúdo ao ligante betuminoso fortemente abrandado em misturas betuminosas a

quente, ao contrário do que acontecia em misturas betuminosas à frio, onde pela ação da água na superfície, o revestimento se desagregava com mais facilidade.

5.2.8 Equivalente de areia

Na Tabela 5.2a é apresentado o equivalente de areia, da areia utilizada como agregado miúdo, demonstrando ser de valor superior ao valor mínimo estabelecido para aceitação, pelas normas estabelecidas.

5.2.9 Limites de liquidez e plasticidade

Pelos resultados dos ensaios, apresentados na Tabela 5.2a, observa-se que os agregados graúdos empregados na pesquisa, não apresentaram características de plasticidade, indicando serem as frações desses agregados com diâmetros inferiores à 0,042mm, de caráter não plástico.

5.2.10 Penetração de materiais betuminosos

De acordo com o resultado apresentado na Tabela 5.2a, o cimento asfáltico utilizado na pesquisa, está na faixa de penetração, 85-100.

5.2.11 Densidade de materiais betuminosos.

Na Tabela 5.2a é apresentado o resultado de densidade obtida para o cimento asfáltico utilizado na pesquisa, e esse resultado está de acordo com as determinações feitas em outros estudos, para materiais de mesma natureza, RRL(1962).

Métodos	Materials	Brita Granítica	Calcáreo Mossoró 1	Calcáreo Mossoró 2	Calcáreo João Pessoa	Seixo Britado	Laterita João Pessoa	Laterita Sapé	Areia	Filler	Cimento Asfáltico
	Adesividade	não satisfatório	satisfatório	satisfatório	satisfatório	não satisfatório	satisfatório	satisfatório	NR	NA	NA
Abrasão Los Angeles (%)	19,6	17,5	30,1	42,9	66,4	64,2	40,6	NR	NA	NA	
Índice de forma (c)	0,79	0,65	0,79	0,83	0,88	0,94	0,89	NR	NA	NA	
Densidade real	2,73	2,75	2,73	2,67	2,69	3,08	3,15	2,65	2,49	1,02	
Densidade aparente	2,69	2,67	2,65	2,38	2,63	2,43	2,52	NR	NR	NR	
Absorção (%)	0,7	1,5	3,3	6,0	1,2	9,4	7,8	NR	NA	NA	
Limite de liquidez (%)	NL	NL	NL	NL	NL	NL	NL	NR	NA	NA	
Limite de plasticidade (%)	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NR	NA	NA	
Equivalente de areia (%)	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	85,6	NR	NA	
Penetração (1/10mm/5seg)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	87	
Viscosidade Saybolt - furol (seg)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	137	
Espuma	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	não	

TABELA 5.2a - Caracterização dos materiais selecionados para pesquisa.

LEGENDA: NL - não líquido
 NP - não plástico
 NR - não realizado
 NA - não adequado.

Pela observação dos resultados de caracterização apresentados na Tabela 5.2a, verifica-se que, com exceção de alguns agregados graúdos, não convencionais, os demais materiais são aceitáveis para fabricação de concretos betuminosos à quente, atendendo as condições estabelecidas pelas Especificações de Serviço de DNER.

5.3 ENSAIO MARSHALL

O ensaio Marshall a seguir apresentado e discutido, se relaciona com os objetivos da pesquisa e foi realizado com os concretos betuminosos à quente, fabricados com os agregados graúdos convencional e não convencionais, utilizando as misturas de agregados propostos, sendo apresentados e discutidos no presente capítulo, pela ordem:

- Ensaio Marshall para misturas betuminosas utilizando a mistura de agregados de granulometria descontínua.

- Ensaio Marshall para mistura betuminosa utilizando a mistura de agregados de granulometria contínua.

5.3.1 Ensaio Marshall para mistura betuminosa, utilizando a mistura de agregados de granulometria descontínua.

Serão apresentados e discutidos os resultados do ensaio Marshall, na seguinte ordem: porcentagem de vazios, relação betume/vazios, estabilidade, fluência e vazios de agregado mineral.

5.3.1.1 Porcentagem de vazios da mistura betuminosa

Serão apresentados a seguir, na Tabela 5.3.1a, os va

lores das porcentagens de vazios, obtidos para as misturas betuminosas, fabricadas com a mistura de agregados de granulometria descontínua.

A densidade considerada para cálculo da densidade teórica das misturas betuminosas, foi tomada como sendo a média aritmética das densidades real e aparente para todos os agregados graúdos empregados, para uniformidade de tratamento das misturas e por existirem agregados graúdos não convencionais, com valores elevados de absorção.

Agregados graúdos	Teor de Ligante (%)				
	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Brita granítica	4,7	2,8	2,4	1,9	1,7
Calcáreo Mossoró 1	5,1	4,3	3,5	2,5	2,2
Calcáreo Mossoró 2	6,2	4,2	3,7	3,4	3,3
Calcáreo João Pessoa	7,9	6,2	4,8	4,0	3,2
Laterita João Pessoa	11,3	10,2	8,0	6,6	5,7
Laterita Sapé	10,1	8,4	7,1	5,7	4,1
Seixo britado	5,5	4,4	3,2	2,1	1,5

TABELA 5.3.1a - Porcentagem de vazios para as misturas betuminosas, com mistura de agregados de granulometria descontínua.

Pelos resultados das porcentagens de vazios apresentados na Tabela 5.3.1a, observa-se que as misturas betuminosas fabricadas com os agregados graúdos, convencional e não

convencionais, apresentaram o mesmo comportamento, com as porcentagens de vazios decrescendo com o aumento do teor de ligante, tendendo para um valor mínimo.

De uma maneira geral, as misturas betuminosas fabricadas com os agregados graúdos não convencionais, apresentaram porcentagens de vazios, em maior ou menor grau, superiores às porcentagens para as misturas fabricadas com o agregado graúdo convencional, para os diversos teores de ligante utilizado. Essa característica das misturas com agregados graúdos não convencionais, é determinada pela maior quantidade de vazios permeáveis existentes nas partículas dos agregados graúdos não convencionais, em comparação com o agregado graúdo convencional, aliada em alguns casos as diferenças de forma e textura, caso do agregado graúdo Mosso-rô 1, e provável maior degradação do agregado, pela formação de granulometria diferente da adotada, na estrutura da massa de agregados minerais, caso do agregado graúdo seixo britado.

Na Tabela 5.3.1a, observa-se que as maiores porcentagens de vazios, foram verificadas para as misturas betuminosas fabricadas com o agregado graúdo laterita João Pessoa, devido ao mais alto grau de absorção desse agregado, com maior quantidade de vazios permeáveis. Foi constatado em trabalhos realizados pelo P.D.P.W.R.I (1981) utilizando agregado graúdo com absorção de 9,7% em concretos betuminosos à quente, altas porcentagens de vazios para as misturas betuminosas, e na indicação de execução da mistura betuminosa com

esse agregado, foi admitida uma porcentagem de vazios de 7,9%. A propósito, como citado por Birman (1969), no presente trabalho, a natureza do agregado graúdo apresenta característica de alta absorção e sua aplicação na fabricação de concretos betuminosos a quente, é ainda complexa, pela falta de uma metodologia de ensaio que permita uma melhor determinação da densidade dos grãos do agregado graúdo.

5.3.1.2 Relação betume/vazios

Serão apresentados a seguir na Tabela 5.3.lb, os valores da relação betume/vazios, obtidos para as misturas betuminosas fabricadas com a mistura de agregados de granulometria descontínua.

A relação betume/vazios indica a porcentagem de ligante que ocupa os vazios totais da mistura betuminosa e foram calculados pelos resultados das porcentagens de vazios indicados na Tabela 5.3.la, para os correspondentes teores de ligante.

Agregados graúdos	Teor de Ligante (%)				
	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Brita granítica	71,2	82,2	85,4	88,8	90,5
Calcáreo Mossoró 1	69,3	74,7	79,9	85,8	88,0
Calcáreo Mossoró 2	64,6	75,1	78,8	81,4	82,8
Calcáreo João Pessoa	57,7	65,9	73,3	78,1	82,9
Laterita João Pessoa	49,1	54,0	62,4	68,7	73,4
Laterita Sapé	52,3	59,6	65,7	72,3	79,7
Seixo britado	67,4	74,1	81,2	87,7	91,5

TABELA 5.3.lb - Relação betume/vazios (%) para as misturas betuminosas fabricadas com a mistura de agregados de granulometria descontínua.

Pelos resultados apresentados da relação betume/vazios na Tabela 5.3.lb, observa-se que as misturas betuminosas fabricadas com os agregados graúdos convencional e não convencionais mostraram o mesmo comportamento com a relação betume/vazios crescendo com o aumento do teor de ligante, tendendo para um máximo, ficando isso evidenciado na estrutura betuminosa, a medida que os vazios da mistura, vão sendo preenchidos com o ligante betuminoso. Assim as misturas betuminosas que apresentaram maior porcentagem de vazios, Tabela 5.3.la, apresentaram também menor relação betume/vazios para os diversos teores de ligante utilizados, como é o caso da mistura fabricada com o agregado graúdo laterita João Pessoa.

Comparativamente com as misturas fabricadas com o agregado graúdo convencional, todas as misturas betuminosas apresentaram relação betume/vazios inferiores, devido a natureza dos agregados graúdos não convencionais e já discutida no parágrafo 5.3.1.1, do presente trabalho.

5.3.1.3 Estabilidade

A seguir são apresentados na Tabela 5.3.lc, os resultados de estabilidade obtidos para as misturas betuminosas fabricadas com os agregados graúdos convencional e não convencionais, com a mistura de agregados de granulometria descontínua, de nove determinações para cada teor de ligante e pela média dos valores correspondentes aos das densida

des aparentes adotadas para as misturas betuminosas.

Agregados graúdos	Teor de Ligante (%)				
	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Brita granítica	283	344	400	369	304
Calcáreo Mossoró 1	243	250	277	281	260
Calcáreo Mossoró 2	276	325	356	381	347
Calcáreo João Pessoa	276	319	368	445	471
Laterita João Pessoa	421	441	492	533	520
Laterita Sapé	380	407	412	433	445
Seixo britado	254	273	287	321	312

TABELA 5.3.1c - Estabilidade (kg) para as misturas betuminosas fabricadas com a mistura de agregados de granulometria descontínua.

Como se observa na Tabela 5.3.1c, as estabilidades obtidas para as misturas betuminosas fabricadas com os agregados graúdos não convencionais, apresentaram mesmo comportamento comparado com as misturas fabricadas com o agregado graúdo convencional, com a estabilidades crescendo com o teor de ligante até um valor máximo, para depois decrescerem, com exceção das misturas com os agregados calcáreo João Pessoa e laterita Sapé.

As estabilidades das misturas fabricadas com os agregados graúdos não convencionais, apresentaram comparativamente às misturas fabricadas com o agregado graúdo convencional, valores de estabilidades diferentes, que serão dis

cutidos a seguir: as estabilidades das misturas com o calcáreo Mossoró 1, foram menores para todos os teores de ligante utilizados. Essa redução de estabilidade reflete as características de forma e textura, RRL (1962), do agregado graúdo calcáreo Mossoró 1, em relação ao agregado graúdo brita granítica, de forma mais cúbica e textura mais rugosa.

As estabilidades das misturas com o agregado graúdo calcáreo Mossoró 2, que deveriam ser superiores às estabilidades das misturas com o agregado graúdo convencional, por se apresentarem com mesma forma (Tabela 5.2a), mas de textura superficial mais rugosa, o foram somente para os teores de 6,5% e 7,0%. Essa característica para menores teores de ligante, da mistura betuminosa com o agregado graúdo calcáreo Mossoró 2, parece estar relacionada com a maior degradação verificada nesse agregado em relação ao agregado graúdo, brita granítica, pela diminuição do tamanho máximo do agregado. A propósito, durante a preparação dos corpos de prova para realização do ensaio Marshall, observou-se a formação de misturas betuminosas sem a homogeneização necessária, por mais que se tentasse, quando se trabalhava com os agregados graúdos mais degradáveis, e uma melhor trabalhabilidade para essas misturas betuminosas, só se obtinha com maiores teores de ligante. O fato do acréscimo de finos provocada pela maior degradação como também pela não lavagem desses materiais não convencionais, após britagem, ficando partículas finas aderidas à superfície dos agregados graúdos, po

dem contribuir para um aumento de estabilidade, devido ao aumento de finos na mistura de agregados, RRL (1962).

As estabilidades das misturas betuminosas com o agregado grão calcáreo João Pessoa, comparativamente às misturas fabricadas com o agregado grão convencional, apresentaram comportamento idêntico (vide Tabela 5.3.1c), ao das misturas fabricadas com o agregado grão calcáreo Mossoró 2, já discutidas.

As estabilidades das misturas betuminosas fabricadas com os agregados grãos laterita João Pessoa e laterita Sapê, foram superiores para todos os teores de ligante utilizados, às estabilidades das misturas com o agregado grão convencional. Essa característica das misturas betuminosas fabricadas com esses agregados grãos, não convencionais, indicam ser, devido as formas mais cúbicas (Tabela 5.2a) e textura mais rugosa, quando comparados com o agregado grão convencional, e podem também estar associada ao maior grau de degradação dos agregados grãos laterita João Pessoa e laterita Sapê, como já discutido no presente Capítulo. Ainda sobre a aplicação desses materiais em concretos betuminosos à quente, Tavares (1973) encontrou altos valores de estabilidade da ordem de 1.200 kg, para uma porcentagem de vazios da mistura de 7,9% e uma relação betume/vazios de 64% utilizando 56% de concreções lateríticas e 44% de areia, sem entretanto indicar as características de forma e textura dos agregados grãos utilizados, e nem o tipo de areia empregada.

As misturas betuminosas fabricadas com o agregado graúdo seixo britado, apresentou estabilidades inferiores às das misturas fabricadas com o agregado graúdo convencional (Tabela 5.3.1c). Apesar do agregado graúdo seixo britado apresentar forma mais cúbica do que o agregado graúdo convencional, (Tabela 5.2a), a tendência das misturas betuminosas em apresentar menores valores de estabilidade, quando fabricados com o agregado graúdo seixo britado, parece estar correlacionada com a textura superficial e maior degradação desse agregado graúdo. Algumas partículas desse agregado graúdo, após britagem, apresentam-se ainda com faces bastante polidas e sem arestas que pudessem permitir um maior atrito entre as partículas de agregado mineral, na mistura betuminosa. A maior degradação desse agregado graúdo com desagregação das partículas de maiores diâmetros, podem ter ocasionado diminuição do diâmetro máximo do agregado. Não foram encontradas informações sobre o comportamento desses materiais na literatura disponível e por isso deixou-se de tecer maiores considerações.

5.3.1.4 Fluência

A seguir são apresentados na Tabela 5.3.1d, os resultados de fluência, obtidos para as misturas betuminosas fabricadas com os agregados graúdos convencional e não convencionais, com a mistura de agregados de granulometria descontínua, de nove determinações para cada teor de ligante e pela

média dos valores correspondentes aos de densidade aparente adotadas para as misturas betuminosas.

Agregados graúdos	Teor de Ligante (%)				
	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Brita granítica	22,8	21,9	22,8	23,0	27,1
Calcáreo Mossoró 1	19,4	19,6	20,0	21,3	24,4
Calcáreo Mossoró 2	21,3	21,1	22,9	22,0	24,5
Calcáreo João Pessoa	23,0	20,0	22,9	21,8	23,5
Laterita João Pessoa	20,5	22,4	20,4	23,1	21,7
Laterita Sapé	19,7	20,1	21,0	21,2	25,7
Seixo britado	22,0	19,4	20,2	22,7	21,7

TABELA 5.3.1d - Fluência (0,01 pol.) para as misturas betuminosas fabricadas com a mistura de agregados de granulometria descontínua.

Pelos resultados de fluência apresentados na Tabela 5.3.1d, observa-se que de uma maneira geral, os valores de fluência para as misturas betuminosas fabricadas com os agregados graúdos convencional e não convencionais apresentam uma tendência de crescimento com o aumento do teor de ligante. Algumas oscilações nesse crescimento são verificadas (Tabela 5.3.1d) para misturas fabricadas com os agregados graúdos não convencionais, e em particular, as misturas fabricadas com os agregados graúdos calcáreo João Pessoa, laterita João Pessoa e seixo britado, por fatores que poderão ser

atribuídas, aos direntes graus de degradação desses materiais, dentro de uma estrutura de alta complexidade, como é o caso das misturas betuminosas.

De uma maneira geral, as misturas betuminosas fabricadas com os agregados graúdos não convencionais, apresentaram valores de fluência inferiores aos obtidos para as misturas fabricadas com o agregado graúdo convencional, para os diferentes teores de ligante empregos. Essas características de fluência das misturas betuminosas com grandes deformações plásticas são complexas nas zonas de grande influência e esses decréscimos de fluência, se bem que não de grande monta, não foram possíveis de determinação. Sobre o assunto o RRL (1962) observa que ainda não havia sido desenvolvido nenhum método que poudesse caracterizar esse fenômeno da fluência de uma maneira fundamental, mesmo para uma classe restrita de materiais.

5.3.1.5 Vazios do agregado mineral

A seguir são apresentados na Tabela 5.3.1e os resultados dos vazios do agregado mineral, obtidos para as misturas betuminosas fabricadas com os agregados graúdos convencional e não convencionais, com a mistura de agregados de granulometria descontínua, obtidos pela soma da porcentagem de vazios e os vazios com betume das misturas, e já caracterizados.

Agregados graúdos	Teor de Ligante (%)				
	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Brita granítica	16,3	15,7	16,4	17,0	17,9
Calcáreo Mossoró 1	16,6	17,0	17,4	17,6	18,3
Calcáreo Mossoró 2	17,5	16,9	17,5	18,3	19,2
Calcáreo João Pessoa	18,7	18,2	18,0	18,3	18,7
Laterita João Pessoa	22,2	22,2	21,3	21,1	21,4
Laterita Sapé	21,2	20,8	20,7	20,6	20,2
Seixo britado	16,9	17,0	17,0	17,1	17,6

TABELA 5.3.1e - Vazios do agregado mineral (%) para as misturas betuminosas fabricadas com a mistura de agregados de granulometria descontinua.

Como se observa pelos valores apresentados na Tabela 5.3.1e, há uma tendência de mesmo comportamento entre as misturas fabricadas com os agregados convencional e não convencionais, isto é, há um decréscimo com o aumento do teor de ligante, para em seguida haver um acréscimo, para crescentes teores de ligante dos vazios do agregado mineral. Essa característica das misturas betuminosas ficou melhor definida para as misturas fabricadas com os agregados graúdos brita granítica, calcáreo Mossoró 2, calcáreo João Pessoa e laterita João Pessoa. Para as misturas fabricadas com os demais agregados graúdos, não foi possível determinar quais

os fatores que pudessem definir na melhor caracterização do fenômeno. Segundo Barbosa (1962), o teor de ligante que corresponde ao ponto máximo da curva de estabilidade em geral, corresponde ao mínimo da curva representativa da variação dos vazios do agregado mineral e pelos resultados apresentados nas Tabelas 5.3.1c e 5.3.1e não se verificou de uma maneira geral esse comportamento das misturas betuminosas e apenas na mistura fabricada com o agregado graúdo laterita de João Pessoa pode ser observada.

5.3.2 Ensaio Marshall para mistura betuminosa, utilizando a mistura de agregados de granulometria contínua.

Serão apresentados e discutidos os resultados do ensaio Marshall, na seguinte ordem: porcentagem de vazios da mistura betuminosa; relação betume/vazios; estabilidade e fluência.

5.3.2.1 Porcentagem de vazios da mistura betuminosa.

Serão apresentados a seguir, na Tabela 5.3.2a, os valores das porcentagens de vazios, obtidos para as misturas betuminosas fabricadas com a mistura de agregados de granulometria contínua.

A densidade considerada para cálculo da densidade teórica das misturas betuminosas, foi tomada como sendo a média aritmética das densidades real e aparente para todos os agregados graúdos empregados, para uniformidade de tratamen-

to das misturas, e por existirem agregados graúdos não convencionais com valores elevados de absorção.

Agregados graúdos	Teor de Ligante (%)				
	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Brita granítica	2,7	2,3	1,7	1,0	1,1
Calcáreo Mossorô 1	4,0	2,8	1,7	1,3	1,0
Calcáreo Mossorô 2	3,4	2,9	2,6	2,8	2,6
Calcáreo João Pessoa	5,9	4,8	3,9	3,2	3,3
Laterita João Pessoa	7,7	6,4	5,4	4,5	4,1
Laterita Sapé	7,8	4,8	3,9	5,3	3,7
Seixo britado	4,2	2,8	2,2	2,2	1,5

TABELA 5.3.2a - Porcentagem de vazios para as misturas betuminosas, com mistura de agregados de granulometria contínua.

Pelos resultados da porcentagem de vazios apresentados na Tabela 5.3.2a, verifica-se que as observações feitas para as misturas betuminosas fabricadas com a mistura de agregados de granulometria descontínua no presente Capítulo, podem ser consideradas para as misturas betuminosas fabricadas com a mistura de agregados de granulometria contínua. As diferenças encontradas entre as duas misturas betuminosas, como se observa pelos valores das porcentagens de vazios apresentados nas Tabelas 5.3.1a e 5.3.2a, foi um decréscimo para todos os teores de ligante utilizados, proporcionada por uma

melhor distribuição das partículas de agregados na massa da mistura, com maior densificação das misturas betuminosas.

5.3.2.2 Relação betume/vazios

Serão apresentados a seguir na Tabela 5.3.2b, os valores da relação betume/vazios, obtidos para as misturas betuminosas fabricadas com a mistura de agregados de granulometria contínua, calculados pelos resultados das porcentagens de vazios indicados na Tabela 5.3.2a.

Agregados graúdos	Teor de Ligante (%)				
	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Brita granítica	81,4	85,0	89,2	93,9	93,7
Calcáreo Mossoró 1	74,5	82,2	89,2	92,1	94,2
Calcáreo Mossoró 2	77,5	81,5	84,2	84,3	86,0
Calcáreo João Pessoa	65,3	71,8	77,3	81,9	82,3
Laterita João Pessoa	59,5	66,1	71,7	76,8	79,6
Laterita Sapé	59,4	72,9	78,3	73,8	81,4
Seixo britado	73,2	82,0	86,3	87,2	91,5

TABELA 5.3.2b - Relação betume/vazios (%) para as misturas betuminosas, com mistura de agregados de granulometria contínua.

Pelos resultados da relação betume/vazios apresentados na Tabela 5.3.2b, verifica-se que as observações feitas para as misturas betuminosas fabricadas com a mistura de

agregados de granulometria descontínua no presente Capítulo, podem ser considerados para as misturas betuminosas fabricadas com a mistura de agregados de granulometria contínua. As diferenças encontradas da relação betume/vazios, nas duas misturas, como se observa pelos valores apresentados nas Tabelas 5.3.1b e 5.3.2b, foi um acréscimo da relação betume / vazios para todos os teores de ligante utilizados, pela diminuição dos vazios das misturas betuminosas, fabricadas com a mistura de agregados de granulometria contínua.

5.3.2.3 Estabilidade

A seguir são apresentados na Tabela 5.3.4c, os resultados de Estabilidade, obtidos para as misturas betuminosas fabricadas com a mistura de agregados de granulometria contínua, de nove determinações para cada teor de ligante, pela média dos valores correspondentes aos das densidades aparentes adotadas para as misturas betuminosas de acordo com o parágrafo 5.3.1.

Agregados graúdos	Teor de Ligante (%)				
	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Brita granítica	543	510	493	479	424
Calcáreo Mossorô 1	423	441	451	434	417
Calcáreo Mossorô 2	625	610	595	494	452
Calcáreo João Pessoa	536	568	574	617	508
Laterita João Pessoa	750	731	751	725	563
Laterita Sapé	803	811	860	727	573
Seixo britado	499	570	550	522	426

TABELA 5.3.2c - Estabilidade (kg) para as misturas betuminosas fabricadas com a mistura de agregados de granulometria contínua.

Pelos valores de Estabilidade apresentados na Tabela, verificou-se que, de uma maneira geral, as observações feitas para as misturas betuminosas fabricados com a mistura de agregados de granulometria descontínua são válidas para as misturas fabricados com a mistura de granulometria contínua, com algumas variações a seguir discutidos. As misturas fabricados com o agregado grão calcáreo Mossoró 1, continuou o apresentar valores de estabilidade inferiores ao das misturas com o agregado grão convencional, devido ao exposto no parágrafo 5.3.1.3. As misturas betuminosas fabricadas com os agregados grãos calcáreo Mossoró 2 e calcáreo João Pessoa que haviam apresentado estabilidades inferiores às dos misturas fabricadas com o agregado grão convencional para os teores de ligante de 5,0%, 5,5% e 6,0%, na mistura de agregados de granulometria descontínua, apresentaram valores de estabilidade (Tabela 5.3.2c) superiores às das misturas com o agregado grão convencional, para todas os teores de ligante. Essa característica das misturas, como foi discutido no presente Capítulo, pode caracterizar as formas mais cúbicas e textura superficial mais rugosa dos agregados grãos calcáreo Mossoró 2 e calcáreo João Pessoa comparados com o agregado grão convencional. Quanto a maior degradação desses agregados grãos. Silva e Santos (1976), observam que as misturas mais densas de agregados, são menos susceptíveis de degradação dos que às misturas de agregados de tamanho único, parecendo indicar ser essa característica da mis

tura de agregados, que determinou nas misturas betuminosas com misturas de agregados de granulometria descontínua, menores valores de estabilidade para os menores teores de ligante.

Para as estabilidades das misturas betuminosas, fabricas com os agregados graúdos, laterita João Pessoa e laterita Sapê as observações feitas no parágrafo 5.3.2.3, poderão ser tomadas válidas para as misturas betuminosas fabricadas com os mesmos agregados graúdos, com a mistura de agregados de granulometria descontínua, já discutido no presente Capítulo.

As estabilidades das misturas betuminosas fabricadas com o agregado graúdo seixo britado, como se observa na Tabela 5.3.4c, apresentou para quase todos os teores de ligante, valores de estabilidades superiores aos das misturas betuminosas fabricadas com o agregado graúdo convencional, parecendo indicar que o efeito da degradação desse agregado, foi atenuada pela maior densificação da mistura de agregados, e o tamanho máximo e forma desse agregado graúdo foram menos afetados, proporcionando um maior atrito interno na estrutura betuminosa. O efeito da textura superficial lisa do agregado graúdo seixo britado, parece ter evitado maiores valores de estabilidade para as misturas betuminosas com a mistura de agregados de granulometria contí-nua.

As diferenças verificadas entre as estabilidades das misturas betuminosas fabricadas com as misturas de agregados de granulometrias descontínua e contínua, foi um acréscimo de estabilidades para as misturas betuminosas fabricadas com a mistura de agregados de granulometria contínua, por possuir esta uma graduação mais densa.

5.3.2.4 Fluência

A seguir são apresentados na Tabela 5.3.2d, os resultados de fluência, obtidos para as misturas betuminosas fabricadas com a mistura de agregados de granulometria contínua, de nove determinações para cada teor de ligante, pela média dos valores correspondentes aos das densidades aparentes adotadas para as misturas betuminosas, de acordo com o parágrafo 5.3.2.1 do presente Capítulo.

Agregados graúdos	Teor de Ligante (%)				
	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Brita granítica	21,8	24,1	25,7	28,5	32,5
Calcáreo Mossoró 1	23,7	23,0	27,4	29,2	31,7
Calcáreo Mossoró 2	23,7	26,4	29,1	31,9	33,2
Calcáreo João Pessoa	21,7	27,9	24,7	28,0	31,9
Laterita João Pessoa	24,0	22,9	25,0	27,4	31,2
Laterita Sapé	22,3	22,7	27,5	27,4	32,9
Seixo britado	20,3	21,4	22,3	22,2	27,7

TABELA 5.3.2d - Fluência (0,01 pol.) para as misturas betuminosas fabricadas com a mistura de agregados de granulometria contínua.

Pelos valores obtidos de Fluência, para as misturas betuminosas fabricados com as misturas de agregados de granulometria contínua, apresentados na Tabela 5.3.2d, verifica-se que poderão ser consideradas as observações feitas, as misturas betuminosas fabricadas com a mistura de agregados de granulometria contínua, quanto ao comportamento das fluências, não se caracterizando no entanto a diminuição de fluência para as misturas betuminosas fabricados com os agregados graúdos não convencionais e sim oscilações para menos nos valores de fluência comparativamente às fluências obtidas para a misturas betuminosas fabricados com o agregado graúdo convencional para os diversos teores de ligante aplicados. Essas oscilações para as misturas betuminosas mais densas, ocorreram em virtude de fatores não de terminados.

A diferença verificada entre as fluências obtidas para as misturas betuminosas fabricadas com as misturas de agregados de granulometrias descontínua e contínua, foi um acréscimo, quando se utilizou a mistura de agregados de granulometria contínua, para todos os teores de ligante utilizados, dada a maior relação betume/vazios, determinada para a mistura betuminosa com mistura de agregados de granulometria contínua (Tabela 5.3.1b d 5.3.2b), proporcionando um maior deslizamento entre as partículas de agregados, com aumento de deformação plástica na estrutura betuminosa.

5.3.2.5 - Vazios do agregado mineral

A seguir serão apresentados na Tabela 5.3.2e, os resultados para os vazios do agregado mineral, obtidos para as misturas betuminosas fabricadas com a mistura de agregados de granulometria contínua, pela soma das porcentagens de vazios e vazios com betume das misturas, já caracterizados.

Agregados graúdos	Teor de Ligante (%)				
	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Brita granítica	14,5	15,3	15,8	16,3	17,4
Calcáreo Mossoró 1	15,7	15,7	15,8	16,5	17,3
Calcáreo Mossoró 2	15,1	15,7	16,5	17,8	18,6
Calcáreo João Pessoa	17,0	17,0	17,2	17,7	18,7
Laterita João Pessoa	19,0	18,9	19,1	19,4	20,1
Laterita Sapé	19,2	17,7	18,0	20,2	19,9
Seixo britado	15,7	15,6	16,1	17,2	17,6

TABELA 5.3.2e - Vazios do agregado mineral (%) para as misturas betuminosas fabricadas com a mistura de agregados de granulometria contínua.

Observa-se pelos valores apresentados na Tabela 5.3.2e, que os resultados obtidos para as misturas betuminosas fabricadas com a mistura de agregados de granulometria contínua, são de características idênticas aos das misturas be

tuminosas fabricadas com a mistura de agregados de granulometria descontínua e já discutidos, isto é, os vazios do agregado mineral das misturas betuminosas, decrescem para logo em seguida crescerem com os crescentes teores de ligante. Verificou-se também redução nas misturas betuminosas dos vazios do agregado mineral com a melhoria de granulometria da mistura de agregados, para todos os teores de ligante empregados, devido a um maior preenchimento dos vazios entre as partículas minerais, pela melhor distribuição dos grãos na massa de agregados.

Comparando-se os resultados obtidos para máxima estabilidade na Tabela 5.3.2c e os mínimos valores de vazios do agregado mineral na Tabela 5.3.2e, verificou-se que a observação feita por Barbosa e citada no parágrafo 5.3.1.5 do presente Capítulo, foi melhor identificada quando se utilizou a mistura de agregados de granulometria contínua, parecendo indicar que as variações nas granulometrias, previstas para as misturas de agregados, provocadas pela degradação dos agregados, teve um efeito atenuado e os pontos de mínimos relativos e máximas estabilidades foram determinadas para valores mais próximos de teores de ligante.

Comparando os resultados obtidos do ensaio Marshall para os concretos betuminosos à quente, fabricados com o agregado graúdo convencional com os do concretos betuminosos à quente fabricados com os agregados graúdos não convencionais empregados, observa-se que: os maiores problemas

são determinados pela elevada quantidade de vazios permeáveis em alguns dos agregados graúdos não convencionais empregados, e também o grau de degradação desses agregados graúdos, com variáveis indeterminadas ainda, nas misturas betuminosas; os concretos betuminosos à quente que apresentaram valores mais desfavoráveis de estabilidade foram os fabricados, com os agregados graúdos não convencionais, seixo seixo britado e calcáreo Mossoró 1, para os mesmos teores de ligante; os concretos betuminosos à quente, fabricados com os agregados graúdos não convencionais, calcáreo João Pessoa, laterita João Pessoa e laterita Sapê, apresentaram valores mais desfavoráveis para a porcentagem de vazios da mistura betuminosa, com os mesmos teores de ligante; os concretos betuminosos à quente, fabricados com o agregado graúdo Mossoró 2, apresentaram valores favoráveis, para os mesmos teores de ligante em todos os parâmetros do ensaio Marshall.

O emprêgo da mistura de agregados de granulometria contínua, proporcionou uma melhoria em alguns casos, acentuada, em todas as misturas betuminosas fabricadas tanto com o agregado graúdo convencional como também com os agregados graúdos não convencionais.

Os elevados valores de fluência determinados nos concretos betuminosos à quente, para as misturas de agregados de granulometrias contínua e descontínua, parecem ter sido provocados pelo tipo de agregado miúdo empregado, pois a areia era constituída de partículas com forma arredondada e

textura superficial lisa e essas características no agregado miúdo da mistura betuminosa, como já foi observado, RRL (1962), Birman (1969), produzem sistemas betuminosos com menores resistências às deformações plásticas e menores valores de estabilidade.

Para uma melhor complementação de caracterização dos agregados graúdos não convencionais empregados, seriam necessários estudos de durabilidade e desgaste superficial desses agregados, que determinarão as qualidades de durabilidade das massas betuminosas e o grau de polimento das superfícies dos revestimentos betuminosos fabricados com esses agregados graúdos, quando submetidos ao intemperismo e aos esforços oriundos do tráfego. No presente trabalho é indicado como sugestão para futuras pesquisas, o estudo das características de durabilidade e resistência ao polimento para os agregados graúdos não convencionais.

Os valores representativos das estabilidades obtidos através da média aritmética de no mínimo 4 determinações (caso específico da mistura betuminosa com agregados de granulometria descontínua com o agregado graúdo laterita de João Pessoa, para o teor de 5,0% de ligante) e de uma média geral de 7 determinações, podem ser adotados. Segundo Wissa (1973), os valores podem ser representativos a partir de média de 4 determinações e com menor erro ainda, quando se adota 8 determinações, permanecendo constante o erro ao se tomar quantidades de corpos de prova acima de 8.

Nas Figuras II.1, II.2,...II.14, do Apêndice II são apresentadas graficamente os resultados do ensaio Marshall para os concretos betuminosos a quente fabricados com os diversos agregados utilizados, com as misturas de agregados de granulometrias descontínua e contínua.

A representação gráfica dos resultados obtidos confirma a tendência de comportamento das diversas misturas betuminosas ensaiadas e já discutidas no presente Capítulo.

CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos e revisão bibliográfica consultada para o presente trabalho, conclue-se que:

1 - Com relação as características determinadas para os materiais empregados na pesquisa, com exceção dos agregados graúdos, seixo britado e laterita João Pessoa, os de mais podem ser utilizados na fabricação de concretos betuminicos à quente, de acordo com as condições estabelecidas pelas Especificações Gerais para Obras Rodoviais do DNER.

2 - Quanto aos resultados obtidos no ensaio de estabilidade Marshall para os concretos betuminosos à quente fabricados com os agregados graúdos convencional e não conventionais empregados, pode-se obter concretos betuminosos satisfatórios e que atendam as condições requeridas pelas Especificações Gerais para Obras Rodoviárias do DNER.

3 - A adoção de características tais como melhores forma e textura superficial para os componentes da mistura de agregados e de granulometrias mais apropriadas dessa mistura, melhoram bastante a qualidade dos concretos betuminicos à quente, fabricados com os agregados graúdos não conventionais.

4 - Características dos agregados graúdos não convencionais empregados, não comuns ao agregado graúdo conven

vencional empregado, tais como maior absorção e maior de gradação com produção de partículas finas de diâmetros diversos na massa de agregados, podem interferir nos resultados do ensaio de estabilidade Marshall, devendo ser criadas metodologias de ensaio mais adequadas, que possam medir com maior precisão, a influência dessas características dos agregados graúdos não convencionais, na fabricação dos concretos betuminosos à quente.

5 - Um maior valor de desgaste do agregado graúdo, medido pelo ensaio de desgaste Los Angeles, não implica em misturas betuminosas de má qualidade, quando medidas pelo ensaio Marshall.

Estas conclusões apresentadas, referem-se aos resultados obtidos e bibliografia consultada, para condições específicas dos materiais empregados e granulometrias propostas, não podendo ser extrapoladas indefinidamente.

CAPÍTULO VII

SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Dado o caráter limitado deste trabalho, segere-se:

- 1 - O estudo de uma metodologia mais adequada na determinação da densidade dos grãos de agregado, para os agregados graúdos que apresentam maiores quantidades de vazios permeáveis.
- 2 - Utilização da análise granulométrica para a mistura de agregados, após compactação dos corpos de prova das misturas betuminosas, afim de verificar os efeitos provocados nas misturas, pela ação dos esforços durante o ensaio, nos agregados graúdos de mais elevado grau de degradação.
- 3 - Utilização de análises granulométricas por via úmida para melhor identificação da granulometria do agregado graúdo, que apresenta após britagem maior quantidade de partículas finas.
- 4 - Utilização de ensaios de durabilidade já previsto em Norma Brasileira, e resistência ao polimento para os agregados graúdos não convencionais.
- 5 - Utilização de ensaio de estabilidade Marshall em concretos betuminosos à quente, fabricados com produtos totais de britagem, limitando o diâmetro máximo do agregado graúdo de acordo com sugestões das especificações e corri-

gindo-se a granulometria da mistura de agregados com uma areia.

- 6 - Fazer levantamento de rodovias já executadas onde foram empregados agregados graúdos não convencionais em revestimentos asfálticos com avaliação desses revestimentos sob o efeito do tráfego e dos intempéries.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barbosa, M. A. A., Curso de Pavimentação, Associação Brasileira de Pavimentação, Brasil, 1962

Barber Greene, Manual de Pavimentação Betuminosa, São Paulo, Brasil, 1963

* Beaton, J. L. e Asce F., Making Highways Slid-prof. Research Department Califórnia Division of Highways, Sacramento, Califórnia, 1971.

Birman, S., Aplicação de lateritas em concretos asfálticos, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Brasil, (s/referência).

Birman, S., Concreto Asfáltico, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Brasil, 1969.

Bonnot, J., L'emploi des calcaires dans les couches de roulement bitumineuses, Revue Générale Des Routes Et Des Aérodomes, nº 514, Paris, 1975.

④ Britto, W. J., Uso da laterita pisolítica em pavimentação, W. J. Britto - Consultoria Técnica Ltda, Brasil, s/ data de publicação.

Cans, C., Les Chaussées en tout Venants latéritiques, La
Technique Moderne - Construction, Tome X, nº 9, París,
1955.

Carletti, H., Solo laterítico como agregado de pré-mistura-
do à quente, Serviço de Engenharia do Ministério da Aero
nãutica, Serviço Público Federal, Brasil, s/data de pu
blicação.

Carneiro, F.B.L.C., Instituto Brasileiro de Petróleo, 4º
encontro de asfalto, Rio de Janeiro, Brasil, 1979.

De Assunção, R. G., Viagem de estudos na França e África
Ocidental Francêsa, Rev. Rodovia, nº 179, Brasil, 1955.

Department of Scientific and Industrial Research - Road Re
search Laboratory, Bituminous Materials in road construc
tion, Her Majesty's Stationary OFFICE, London, 1962.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Especificações
gerais para obra rodoviárias, DNER, Rio de Janeiro, Bra
sil.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Métodos e
instruções de ensaios, DNER, Rio de Janeiro, Brasil.

Font, J. J. e Elia, M. I., Mezclas calientes de tosca e suelo calcáreo-arena-asfalto, VI Congresso Argentino de Vialidad y Transito, Mar del Plata, Argentina, 1968.

Handbook of Highway Engineering, Robert F. Baker, Editor , L. G. Byrd, D. Grant Mickle, Associate Editors, United States of América, 1975.

Hettinger, M., Le calcaire dur dans les assises de chaussées, Revue Général Des Routes Et des Aérodrames, nº 514, Pa_rís, 1975.

Lanne, A. E. e Marengo, R. R., Experiências sobre el uso de escorias de alto horno en la elaboracion de concreto asfáltico, VI Congresso Argentino de Vialidade y Transito, Mar del Plata, Argentina, 1968.

Machado, J. A., Projeto de revestimentos com o emprêgo de materiais locais, revista Construção, nº 48, Brasil , 1961.

Martin, J. R., and Wallace, H. A., Design and construction of asphalt pavements, McGraw-Hill Book Company, Inc. United States of América, 1958.

Medina, J., O problema das especificações de base estabilizadas de solos lateríticos e a utilização dos lateritos na Região Norte, revista Rodovia, nº 192, Brasil, 1956.

Mourier, D., L'utilisation des granulats calcaires en renforcements coordonnés, Revue Générale Des Routes Et Des Aérodrames, nº 537, Paris, 1977.

Nanda, R. L., and Krishnamachari, R., Study of soft aggregates from different parts of India with a view to their use in road construction, II laterites, Central Road Research Institute, New Delhi.

Pavement Division of Public Works Research Institute Ministry of Construction, Reports for pavement problems in Japan, use of marginal aggregates in pavement constructions in Japan, Japan, 1981.

Restom, M. K., Pavimentos, Associação Brasileira de Pavimentação, Brasil, 1963.

Ribeiro, S. B., e Ramos, H. G., Concreto asfáltico com finos de minério, revista Construção, nº 42, Brasil, 1960.

Rodas, R. V., Correteras Calles y Aeropistas, El Ateneo, Buenos Aires, Argentina, 1970.

Salvador, D. E Monteverde, A., La calidad de los calcareos en las Construcciones Viales, VI Congreso Argentino de Vialidad y Transito, Mar del Plata, Argentina, 1968.

Santana, H., notas de aula, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, 1970.

Secretariat D'Etat Aux Affaires Etrangeres Charge de la Cooperation, Manuel sur les routes dans les zones tropicales et desertiques, Tome 3, 1972.

Shuster, Durability of lateric gravels, Australian Road Research, vol. 4, nº 5, Austrália, 1970.

Silva, A. J. e Santos, J. D., Agregados, Curso de Mestrado em Geotecnia e Transportes, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Brasil, 1976.

SUDENE - Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba, levantamento exploratório, boletim técnico nº 15, Recife, 1972.

SUDENE - Reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Norte, levantamento exploratório, boletim técnico, nº 21, Recife, 1971.

TAVARES, A. W., Pré-misturado   quente de laterita betume,
Belém, Brasil, 1973.

Utilisation des granulats calcaires en construction routiere,
d bats, Revue Générale Des Routes Et Des A rodromes, n 
515, Paris, 1975.

Wissa, A. E. Z. and Garcia, L. O., Statistical evaluation
of the Marshall test for bituminous concrete, Commonwealth
of Massachusetts Department of Public Works, Massachusetts,
1973.

APÊNDICE I

TABELAS DE RESULTADOS DO ENSAIO MARSHALL

Mistura de Agregados de Granulometria descontínua.	Teor de Ligante (%)	ensaios	Nº de Corpos de Prova - Resultados de Ensaio								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
5,0		Densidade Aparente	2,36	2,36	2,35	2,38	2,36	2,35	2,36	2,36	2,40
		Estabilidade (kg)	275	318	251	305	327	276	279	257	355
		Fluência (0,01 pol.)	23	20	22	23	22	25	25	23	20
5,5		Densidade Aparente	2,38	2,39	2,39	2,38	2,38	2,40	2,39	2,42	2,37
		Estabilidade (kg)	275	380	421	298	233	418	285	353	326
		Fluência (0,01 pol.)	19	21	25	21	24	24	19	19	20
6,0		Densidade Aparente	2,38	2,37	2,39	2,37	2,36	2,41	2,39	2,40	2,37
		Estabilidade (kg)	370	425	434	344	300	480	416	602	412
		Fluência (0,01 pol.)	24	22	23	22	22	23	23	24	21
6,5		Densidade Aparente	2,37	2,37	2,38	2,37	2,38	2,40	2,37	2,37	2,38
		Estabilidade (kg)	454	448	337	333	396	496	321	312	354
		Fluência (0,01 pol.)	23	25	22	22	25	24	24	23	22
7,0		Densidade Aparente	2,37	2,36	2,35	2,35	2,37	2,39	2,36	2,36	2,39
		Estabilidade (kg)	360	327	333	312	331	351	239	227	342
		Fluência (0,01 pol.)	24	27	27	28	29	28	25	30	28

TABELA I_a - Ensaio Marshall em concretos betuminosos à quente com o agregado graúdo brita granítica.

Mistura de Agregados de Granulometria descontínua.	Teor de Ligante (%)	ensaios	Nº de Corpos de Prova - Resultados de Ensaio								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
5,0		Densidade Aparente	2,31	2,31	2,32	2,40	2,35	2,35	2,35	2,34	2,34
		Estabilidade (kg)	220	226	247	215	255	202	206	245	305
		Fluência (0,01 pol.)	22	18	19	22	20	20	18	19	20
5,5		Densidade Aparente	2,35	2,34	2,35	2,35	2,36	2,36	2,37	2,34	2,35
		Estabilidade (kg)	261	199	285	250	266	222	303	225	292
		Fluência (0,01 pol.)	20	21	20	21	19	18	19	18	20
6,0		Densidade Aparente	2,33	2,34	2,34	2,36	2,35	2,36	2,36	2,36	2,35
		Estabilidade (kg)	227	296	268	301	278	275	272	271	253
		Fluência (0,01 pol.)	20	21	20	21	19	20	19	20	20
6,5		Densidade Aparente	2,36	2,35	2,35	2,37	2,36	2,37	2,35	2,36	2,36
		Estabilidade (kg)	324	231	275	238	253	263	377	337	231
		Fluência (0,01 pol.)	21	23	20	21	20	19	22	23	22
7,0		Densidade Aparente	2,35	2,34	2,36	2,32	2,35	2,35	2,35	2,34	2,35
		Estabilidade (kg)	204	244	245	142	364	354	241	198	233
		Fluência (0,01 pol.)	26	25	23	22	25	26	24	24	22

TABELA 1_b - Ensaio Marshall em concretos betuminosos à quente, fabricados com o agregado graúdo calcáreo Mossoró 1.

Mistura de Agregados de Granulometria descontínua.	Teor de Ligante (%)	ensaios	Nº de Corpos de Prova - Resultados de Ensaio								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
			5,0	Densidade Aparente	2,32	2,31	2,31	2,30	2,31	2,32	2,32
	Estabilidade (kg)	259	288	283	238	325	247	288	260	297	
	Fluência (0,01 pol.)	19	22	22	22	23	21	20	19	24	
5,5	Densidade Aparente	2,33	2,35	2,35	2,34	2,35	2,35	2,35	2,31	2,33	
	Estabilidade (kg)	264	292	375	283	289	367	356	313	374	
	Fluência (0,01 pol.)	20	19	19	25	20	22	20	20	24	
6,0	Densidade Aparente	2,34	2,33	2,34	2,35	2,34	2,34	2,33	2,34	2,33	
	Estabilidade (kg)	352	229	324	310	361	426	496	351	360	
	Fluência (0,01 pol.)	23	24	21	22	25	22	25	21	23	
6,5	Densidade Aparente	2,34	2,35	2,36	2,32	2,37	2,33	2,32	2,34	2,33	
	Estabilidade (kg)	304	467	366	354	373	379	403	363	486	
	Fluência (0,01 pol.)	23	25	26	23	22	21	22	22	23	
7,0	Densidade Aparente	2,31	2,31	2,30	2,32	2,32	2,32	2,31	2,32	2,32	
	Estabilidade (kg)	276	372	217	387	387	503	258	362	360	
	Fluência (0,01 pol.)	23	29	31	22	23	25	22	23	23	

TABELA IC - Ensaio Marshall em concretos betuminosos à quente fabricados com o agregado graúdo calcáreo Mosso r_ó 2.

Mistura de Agregados de Granulometria descontínua.	Teor de Ligante (%)	ensaios	Nº de Corpos de Prova - Resultados de Ensaio								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
5,0		Densidade Aparente	2,21	2,23	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,25	2,20
		Estabilidade (kg)	313	320	269	255	257	246	271	300	322
		Fluência (0,01 pol.)	23	25	23	25	21	21	23	25	25
5,5		Densidade Aparente	2,21	2,23	2,22	2,23	2,22	2,24	2,22	2,22	2,23
		Estabilidade (kg)	156	250	399	308	267	297	322	320	388
		Fluência (0,01 Pol.)	25	15	22	22	22	20	19	23	17
6,0		Densidade Aparente	2,25	2,24	2,31	2,28	2,25	2,25	2,24	2,24	2,24
		Estabilidade (kg)	400	387	416	404	379	397	338	311	363
		Fluência (0,01 Pol.)	23	23	17	22	23	23	22	21	25
6,5		Densidade Aparente	2,24	2,26	2,25	2,21	2,26	2,24	2,25	2,24	2,24
		Estabilidade (kg)	410	433	467	453	414	411	470	485	471
		Fluência (0,01 Pol.)	20	22	20	22	20	24	25	22	21
7,0		Densidade Aparente	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,24	2,25	2,25	2,25
		Estabilidade (kg)	428	535	457	445	555	383	448	444	539
		Fluência (0,01 Pol.)	20	25	20	21	22	30	26	24	24

TABELA Id - Ensaio Marshall em concretos betuminosos à quente fabricados com o agregado graúdo calcáreo João Pessoa.

Mistura de Agregados de Granulometria descontínua.	Teor de Ligante (%)	ensaios	Nº de Corpos de Prova - Resultados de Ensaio								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
			5,0	Densidade Aparente	2,21	2,23	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
	Estabilidade (kg)	313	320	269	255	257	246	271	300	322	
	Fluência(0,01 pol.)	23	25	23	25	21	21	23	25	25	
5,5	Densidade Aparente	2,21	2,23	2,22	2,23	2,22	2,24	2,22	2,22	2,22	2,23
	Estabilidade (kg)	156	250	399	308	267	297	322	320	388	
	Fluência(0,01 Pol.)	25	15	22	22	22	20	19	23	17	
6,0	Densidade Aparente	2,25	2,24	2,31	2,28	2,25	2,25	2,24	2,24	2,24	2,24
	Estabilidade (kg)	400	387	416	404	379	397	338	311	363	
	Fluência(0,01 Pol.)	23	23	17	22	23	23	22	21	25	
6,5	Densidade Aparente	2,24	2,26	2,25	2,21	2,26	2,24	2,25	2,24	2,24	2,24
	Estabilidade (kg)	410	433	467	453	414	411	470	485	471	
	Fluência(0,01 Pol.)	20	22	20	22	20	24	25	22	21	
7,0	Densidade Aparente	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,24	2,25	2,25	2,25	2,25
	Estabilidade (kg)	428	535	457	445	555	383	448	444	539	
	Fluência(0,01 Pol.)	20	25	20	21	22	30	26	24	24	

TABELA Id - Ensaio Marshall em concretos betuminosos à quente fabricados com o agregado graúdo calcáreo João Pessoa.

Mistura de Agregados de Granulometria descontínua.	Teor de Ligante (%)	ensaios	Nº de Corpos de Prova - Resultados de Ensaio								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
			5,0	Densidade Aparente	2,27	2,25	2,25	2,22	2,19	2,21	2,18
	Estabilidade (kg)	426	296	362	340	413	445	480	406	493	
	Fluência(0,01 Pol.)	19	18	18	18	30	22	25	24	18	
5,5	Densidade Aparente	2,22	2,22	2,21	2,27	2,26	2,22	2,23	2,25	2,23	
	Estabilidade (kg)	351	276	256	630	549	564	448	403	566	
	Fluência(0,01 Pol.)	18	18	18	19	22	25	26	23	25	
6,0	Densidade Aparente	2,28	2,26	2,27	2,58	2,26	2,30	2,26	2,28	2,25	
	Estabilidade (kg)	422	279	356	516	745	561	569	533	510	
	Fluência(0,01 Pol.)	22	20	19	21	23	20	22	21	18	
6,5	Densidade Aparente	2,27	2,27	2,28	2,29	2,29	2,25	2,27	2,27	2,28	
	Estabilidade (kg)	350	484	406	569	531	571	654	527	746	
	Fluência(0,01 Pol.)	19	24	25	22	24	23	22	23	22	
7,0	Densidade Aparente	2,28	2,29	2,29	2,28	2,29	2,28	2,27	2,28	2,27	
	Estabilidade (kg)	347	288	315	420	599	603	684	653	769	
	Fluência(0,01 Pol.)	18	21	19	21	32	34	25	24	32	

TABELA I_e - Ensaio Marshall em concretos betuminosos a quente fabricados com o agregado graúdo laterita João Pessoa.

Mistura de Agregados de Granulometria descontínua.	Teor de Ligante (%)	ensaios	Nº de Corpos de Prova - Resultados de Ensaio								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
			5,0	Densidade Aparente	2,28	2,28	2,27	2,26	2,33	2,26	2,26
	Estabilidade (kg)	354	268	290	351	462	418	521	462	424	
	Fluência (0,01 Pol.)	20	17	18	24	21	21	19	19	22	
5,5	Densidade Aparente	2,29	2,30	2,29	2,29	2,27	2,29	2,30	2,31	2,30	
	Estabilidade (kg)	340	321	397	361	452	466	621	347	401	
	Fluência (0,01 Pol.)	19	19	22	22	21	25	19	18	17	
6,0	Densidade Aparente	2,29	2,30	2,30	2,31	2,41	2,29	2,32	2,32	2,31	
	Estabilidade (kg)	393	373	425	393	498	329	530	428	409	
	Fluência (0,01 Pol.)	22	22	23	23	19	20	19	19	21	
6,5	Densidade Aparente	2,32	2,29	2,30	2,32	2,37	2,33	2,33	2,34	2,25	
	Estabilidade (kg)	417	366	331	461	574	420	369	499	306	
	Fluência (0,01 Pol.)	22	22	21	20	20	18	20	26	29	
7,0	Densidade Aparente	2,34	2,35	2,35	2,36	2,39	2,40	2,35	2,34	2,35	
	Estabilidade (kg)	418	480	382	575	582	429	461	462	337	
	Fluência (0,01 Pol.)	22	24	25	31	27	25	27	26	25	

TABELA If - Ensaio Marshall em concretos betuminosos à quente fabricados com o agregado graúdo laterita Sapé.

Mistura de Agregados de Granulometria descontínua.	Teor de Ligante (%)	ensaios	Nº de Corpos de Prova - Resultados de Ensaio								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
			5,0	Densidade Aparente	2,33	2,30	2,31	2,32	2,32	2,32	2,32
	Estabilidade (kg)	354	241	329	221	243	260	229	248	264	
	Fluência (0,01 Pol.)	19	18	20	23	23	23	21	26	22	
5,5	Densidade Aparente	2,31	2,32	2,32	2,32	2,34	2,32	2,34	2,33	2,32	
	Estabilidade (kg)	260	240	247	298	307	223	267	312	288	
	Fluência (0,01 Pol.)	20	16	17	20	20	23	20	20	19	
6,0	Densidade Aparente	2,34	2,34	2,34	2,35	2,35	2,33	2,33	2,33	2,36	
	Estabilidade (kg)	270	334	298	274	301	235	276	303	417	
	Fluência (0,01 Pol.)	18	18	21	21	22	22	22	18	21	
6,5	Densidade Aparente	2,33	2,33	2,34	2,35	2,35	2,34	2,34	2,36	2,35	
	Estabilidade (kg)	293	260	338	371	333	337	353	321	284	
	Fluência (0,01 Pol.)	19	18	19	22	26	27	29	24	22	
7,0	Densidade Aparente	2,34	2,34	2,34	2,32	2,35	2,35	2,35	2,34	2,35	
	Estabilidade (kg)	237	293	284	255	371	382	239	366	326	
	Fluência (0,01 Pol.)	21	21	19	22	24	24	21	23	21	

TABELA Ig - Ensaio Marshall em concretos betuminosos à quente fabricados com o agregado graúdo seixo britado.

Mistura de Agregados de Granulometria contínua.	Teor de Ligante (%)	ensaios	Nº de Corpos de Prova - Resultados de Ensaio								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
5,0		Densidade Aparente	2,40	2,41	2,41	2,40	2,40	2,40	2,41	2,42	2,41
		Estabilidade (kg)	529	389	452	530	443	482	675	609	778
		Fluência (0,01 Pol.)	20	22	23	21	21	26	22	24	24
5,5		Densidade Aparente	2,40	2,39	2,41	2,39	2,40	2,39	2,39	2,41	2,41
		Estabilidade (kg)	581	428	506	542	530	467	554	472	506
		Fluência (0,01 Pol.)	22	20	24	30	20	23	29	24	18
6,0		Densidade Aparente	2,39	2,39	2,42	2,40	2,40	2,39	2,32	2,40	2,39
		Estabilidade (kg)	385	549	585	440	483	591	468	519	481
		Fluência (0,01 Pol.)	24	23	30	29	24	27	22	28	24
6,5		Densidade Aparente	2,39	2,39	2,39	2,34	2,39	2,39	2,41	2,40	2,40
		Estabilidade (kg)	481	502	406	607	517	429	559	506	435
		Fluência (0,01 Pol.)	26	33	28	30	29	29	29	28	26
7,0		Densidade Aparente	2,38	2,40	2,38	2,37	2,37	2,38	2,37	2,37	2,38
		Estabilidade (kg)	403	403	314	357	532	546	456	320	465
		Fluência (0,01 Pol.)	30	34	35	32	35	33	33	30	32

TABELA I_h - Ensaio Marshall em concretos betuminosos à quente fabricados com o agregado graúdo brita granítica.

Mistura de Agregados de Granulometria contínua.	Teor de Ligante (%)	ensaios	Nº de Corpos de Prova - Resultados de Ensaiois								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
5,0		Densidade Aparente	2,37	2,35	2,37	2,38	2,38	2,38	2,36	2,38	2,39
		Estabilidade (kg)	395	358	370	496	486	413	404	399	476
		Fluência(0,01 Pol.)	26	26	23	20	22	24	26	25	23
5,5		Densidade Aparente	2,34	2,32	2,33	2,39	2,44	2,39	2,39	2,38	2,38
		Estabilidade (kg)	477	438	491	436	435	477	471	443	377
		Fluência(0,01 Pol.)	21	22	26	25	24	23	24	18	25
6,0		Densidade Aparente	2,40	2,40	2,40	2,34	2,39	2,34	2,39	2,34	2,34
		Estabilidade (kg)	454	405	425	393	475	408	497	424	447
		Fluência(0,01 Pol.)	28	26	27	23	27	27	29	25	28
6,5		Densidade Aparente	2,38	2,39	2,39	2,39	2,34	2,34	2,33	2,40	2,38
		Estabilidade (kg)	381	452	364	701	486	516	354	675	641
		Fluência(0,01 Pol.)	27	30	32	27	27	29	28	27	32
7,0		Densidade Aparente	2,36	2,35	2,38	2,37	2,36	2,37	2,39	2,37	2,35
		Estabilidade (kg)	363	354	401	521	452	393	481	373	389
		Fluência(0,01 Pol.)	36	31	31	31	27	28	24	37	34

TABELA Ij - Ensaio Marshall em concretos betuminosos a quente fabricados com o agregado graúdo calcáreo Mosso ró 1.

Mistura de Agregados de Granulometria contínua.	Teor de Ligante (%)	ensaios	Nº de Corpos de Prova - Resultados de Ensaio								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
			5,0	Densidade Aparente	2,37	2,38	2,37	2,37	2,38	2,39	2,39
	Estabilidade (kg)	603	609	625	682	635	635	651	658	526	
	Fluência(0,01 Pol.)	25	21	22	26	24	25	20	23	27	
5,5	Densidade Aparente	2,38	2,37	2,38	2,38	2,38	2,38	2,36	2,37	2,35	
	Estabilidade (kg)	688	655	577	643	609	495	585	625	472	
	Fluência(0,01 Pol.)	27	27	21	27	25	27	23	29	30	
6,0	Densidade Aparente	2,35	2,36	2,37	2,35	2,37	2,38	2,37	2,37	2,37	
	Estabilidade (kg)	635	575	568	585	655	843	585	546	615	
	Fluência(0,01 Pol.)	25	26	24	30	30	30	32	31	35	
6,5	Densidade Aparente	2,34	2,35	2,34	2,35	2,35	2,35	2,35	2,33	2,34	
	Estabilidade (kg)	467	470	452	575	446	511	513	511	506	
	Fluência(0,01 Pol.)	25	29	29	35	33	25	31	39	41	
7,0	Densidade Aparente	2,34	2,33	2,32	2,28	2,32	2,28	2,33	2,35	2,34	
	Estabilidade (kg)	422	397	555	324	428	289	462	455	446	
	Fluência(0,01 Pol.)	27	29	37	39	38	31	35	33	33	

TABELA Ij - Ensaio Marshall em concretos betuminosos à quente fabricados com o agregado graúdo calcáreo Mossoró 2.

Mistura de Agregados de Granulometria contínua.	Teor de Ligante (%)	ensaios	Nº de Corpos de Prova - Resultados de Ensaio								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
			5,0	Densidade Aparente	2,24	2,25	2,24	2,25	2,25	2,28	2,25
	Estabilidade (kg)	471	471	506	595	560	654	611	541	635	
	Fluência (0,01 Pol.)	22	25	24	19	20	21	21	21	22	
5,5	Densidade Aparente	2,25	2,26	2,25	2,27	2,27	2,25	2,30	2,28	2,27	
	Estabilidade (kg)	578	540	566	550	491	619	681	601	635	
	Fluência (0,01 Pol.)	33	26	24	33	24	30	24	30	25	
6,0	Densidade Aparente	2,26	2,23	2,26	2,26	2,27	2,27	2,26	2,27	2,27	
	Estabilidade (kg)	581	515	585	491	550	471	595	635	684	
	Fluência (0,01 Pol.)	28	33	23	30	24	20	25	24	24	
6,5	Densidade Aparente	2,14	2,26	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,25	2,27	
	Estabilidade (kg)	176	600	622	698	691	708	465	571	581	
	Fluência (0,01 Pol.)	28	29	25	27	28	30	26	29	30	
7,0	Densidade Aparente	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,24	2,24	2,25	2,29	
	Estabilidade (kg)	453	566	564	589	536	425	436	496	496	
	Fluência (0,01 Pol.)	25	41	36	31	31	31	31	29	28	

TABELA I k - Ensaio Marshall em concretos betuminosos à quente fabricados com o agregado graúdo calcáreo João Pessoa.

Mistura de Agregados de Granulometria contínua.	Teor de Ligante (%)	ensaios	Nº de Corpos de Prova - Resultados de Ensaio								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
			5,0	Densidade Aparente	2,30	2,31	2,29	2,29	2,30	2,31	2,31
	Estabilidade (kg)	695	764	657	687	774	815	803	784	802	
	Fluência (0,01 Pol.)	24	24	24	30	23	23	23	22	21	
5,5	Densidade Aparente	2,31	2,32	2,35	2,32	2,31	2,32	2,31	2,33	2,31	
	Estabilidade (kg)	855	700	782	710	717	675	749	675	767	
	Fluência (0,01 Pol.)	22	22	22	21	23	25	24	22	24	
6,0	Densidade Aparente	2,31	2,32	2,31	2,33	2,30	2,32	2,33	2,31	2,32	
	Estabilidade (kg)	722	864	702	745	747	756	801	759	664	
	Fluência (0,01 Pol.)	26	25	25	28	21	21	27	25	23	
6,5	Densidade Aparente	2,33	2,33	2,33	2,33	2,32	2,33	2,32	2,32	2,34	
	Estabilidade (kg)	768	797	835	724	642	737	638	680	704	
	Fluência (0,01 Pol.)	30	25	26	25	21	30	25	25	23	
7,0	Densidade Aparente	2,33	2,31	2,33	2,32	2,28	2,32	2,27	2,31	2,32	
	Estabilidade (kg)	638	668	546	546	558	619	468	564	457	
	Fluência (0,01 Pol.)	36	31	34	31	28	26	26	32	31	

TABELA I₁ - Ensaio Marshall em concretos betuminosos à quente fabricados com o agregado graúdo laterita João Pessoa.

Mistura de Agregados de Granulometria contínua.	Teor de Ligante (%)	ensaios	Nº de Corpos de Prova - Resultados de Ensaio								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
			5,0	Densidade Aparente	2,32	2,31	2,32	2,32	2,36	2,33	2,34
	Estabilidade (kg)	729	802	822	830	774	857	799	780	764	
	Fluência(0,01 Pol.)	23	24	22	19	21	25	21	24	25	
5,5	Densidade Aparente	2,28	2,38	2,36	2,39	2,39	2,39	2,40	2,38	2,38	
	Estabilidade (kg)	515	809	797	840	825	804	941	748	711	
	Fluência(0,01 Pol.)	22	25	26	21	21	24	25	21	22	
6,0	Densidade Aparente	2,38	2,40	2,40	2,38	2,39	2,37	2,39	2,39	2,40	
	Estabilidade (kg)	874	748	819	768	857	667	925	913	978	
	Fluência(0,01 Pol.)	27	29	25	29	24	27	28	27	30	
6,5	Densidade Aparente	2,33	2,33	2,33	2,35	2,33	2,33	2,34	2,34	2,35	
	Estabilidade (kg)	570	904	707	534	759	700	693	893	784	
	Fluência(0,01 Pol.)	27	29	29	29	28	29	23	23	30	
7,0	Densidade Aparente	2,35	2,36	2,35	2,36	2,37	2,36	2,36	2,36	2,35	
	Estabilidade (kg)	561	521	534	566	680	602	566	579	548	
	Fluência(0,01 Pol.)	35	34	35	32	30	32	32	29	37	

TABELA I m - Ensaio Marshall em concretos betuminosos à quente fabricados com o agregado graúdo laterita Sapé.

Mistura de Agregados de Granulometria contínua.	Teor de Ligante (%)	ensaios	Nº de Corpos de Prova - Resultados de Ensaio								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
			5,0	Densidade Aparente	2,34	2,35	2,37	2,35	2,35	2,35	2,32
	Estabilidade (kg)	504	566	545	447	523	462	425	536	454	
	Fluência (0,01 Pol.)	22	20	21	19	23	21	25	17	20	
5,5	Densidade Aparente	2,36	2,37	2,36	2,37	2,35	2,37	2,37	2,34	2,37	
	Estabilidade (kg)	481	506	574	591	556	727	589	675	533	
	Fluência (0,01 Pol.)	19	19	22	18	26	25	21	23	21	
6,0	Densidade Aparente	2,37	2,36	2,36	2,37	2,36	2,36	2,36	2,36	2,36	
	Estabilidade (kg)	491	609	559	422	525	568	650	540	585	
	Fluência (0,01 Pol.)	20	21	22	21	26	22	25	21	23	
6,5	Densidade Aparente	2,34	2,35	2,36	2,35	2,34	2,37	2,35	2,34	2,34	
	Estabilidade (kg)	472	539	470	501	611	587	570	516	494	
	Fluência (0,01 Pol.)	21	22	20	23	22	23	23	25	22	
7,0	Densidade Aparente	2,36	2,35	2,32	2,34	2,34	2,35	2,34	2,34	2,34	
	Estabilidade (kg)	360	421	377	475	496	440	432	397	389	
	Fluência (0,01 Pol.)	22	26	28	30	30	28	29	33	29	

TABELA I_n - Ensaio Marshall em concretos betuminosos à quente fabricados com o agregado graúdo seixo britado.

APRÊNDICE II

REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS RESULTADOS DO
ENSAIO MARSHALL

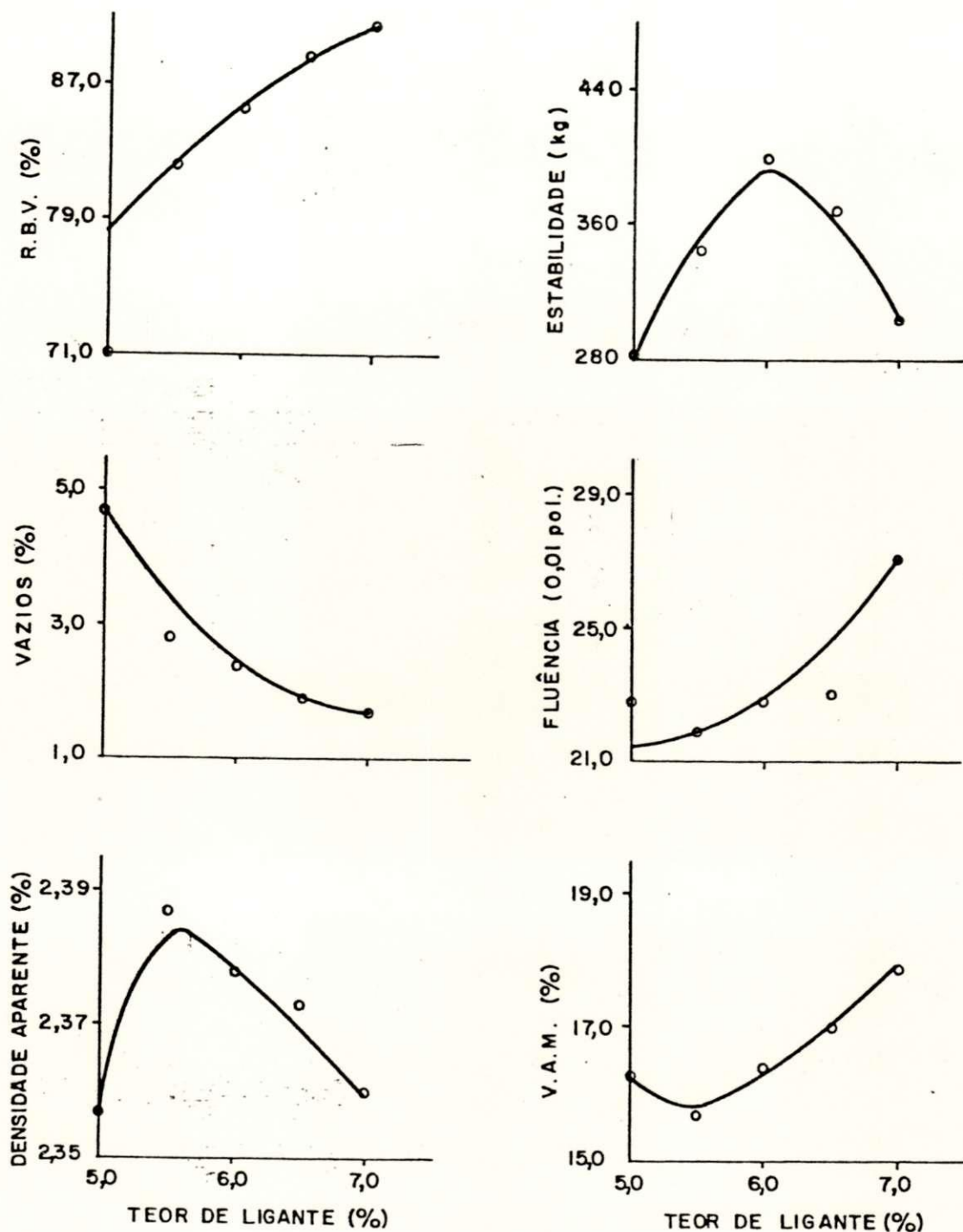


FIGURA II.1 - Resultado do ensaio Marshall para o concreto betuminoso à quente, fabricado com o agregado graúdo brita granítica, e com a mistura de agregados de granulometria descontinua.

LEGENDA : V.A.M. - Vazios de Agregado Mineral
R.B.V. - Relação betume/vazios.

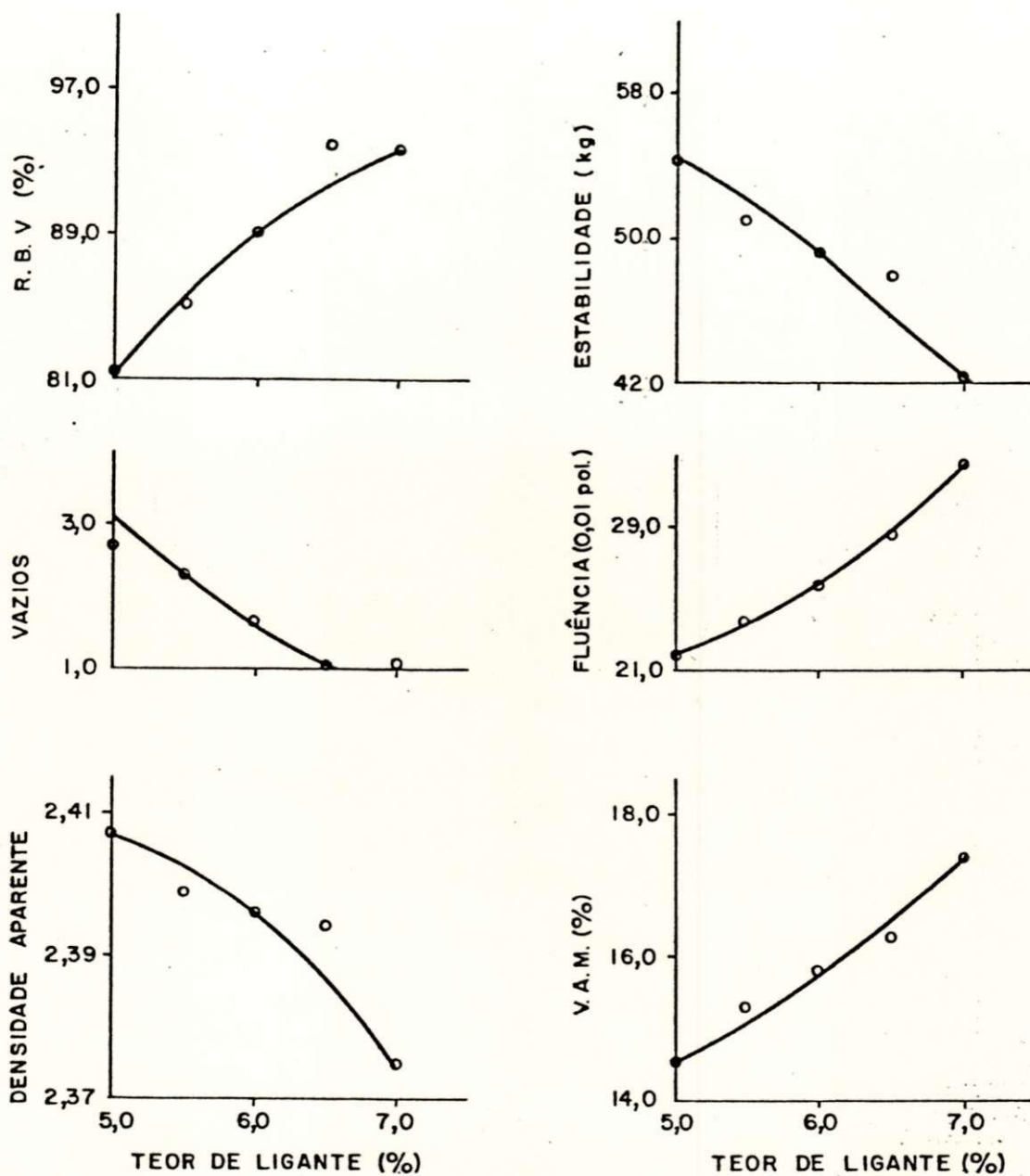


FIGURA II.2 - Resultado do ensaio Marshall para o concreto betuminoso à quente, fabricado com o agregado graúdo brita granítica, e com a mistura de agregados de granulometria contínua.

LEGENDA : V.A.M. - Vazios de Agregado Mineral
R.B.V. - Relação betume/vazios.

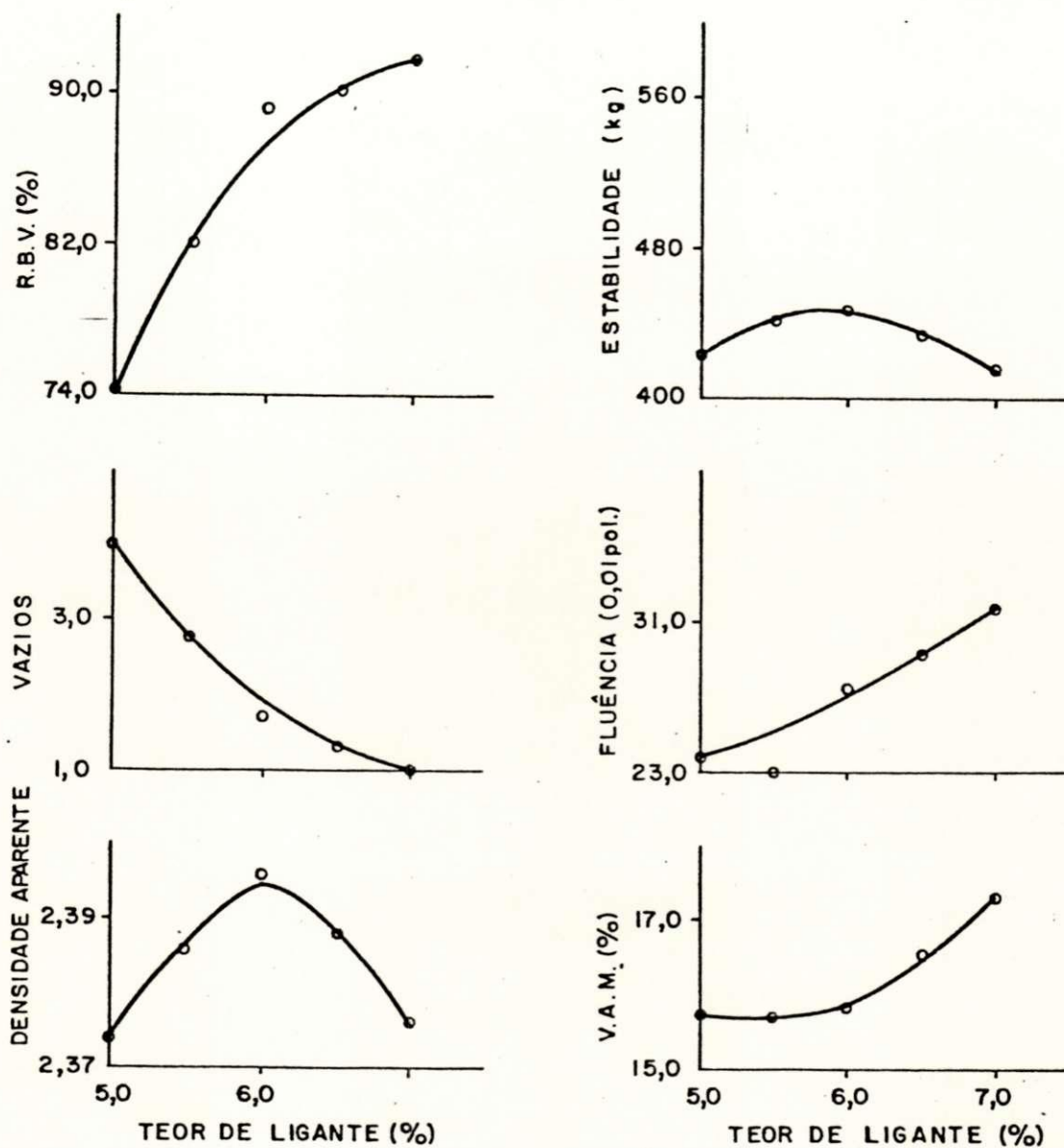


FIGURA II.3 - Resultado do ensaio Marshall para o concreto betuminoso à quente, fabricado com o agregado graúdo calcáreo Mossorô 1, e com a mistura de agregados de granulometria descontínua.

LEGENDA : V.A.M. - Vazios de Agregado Mineral
R.B.V. - Relação betume/vazios.

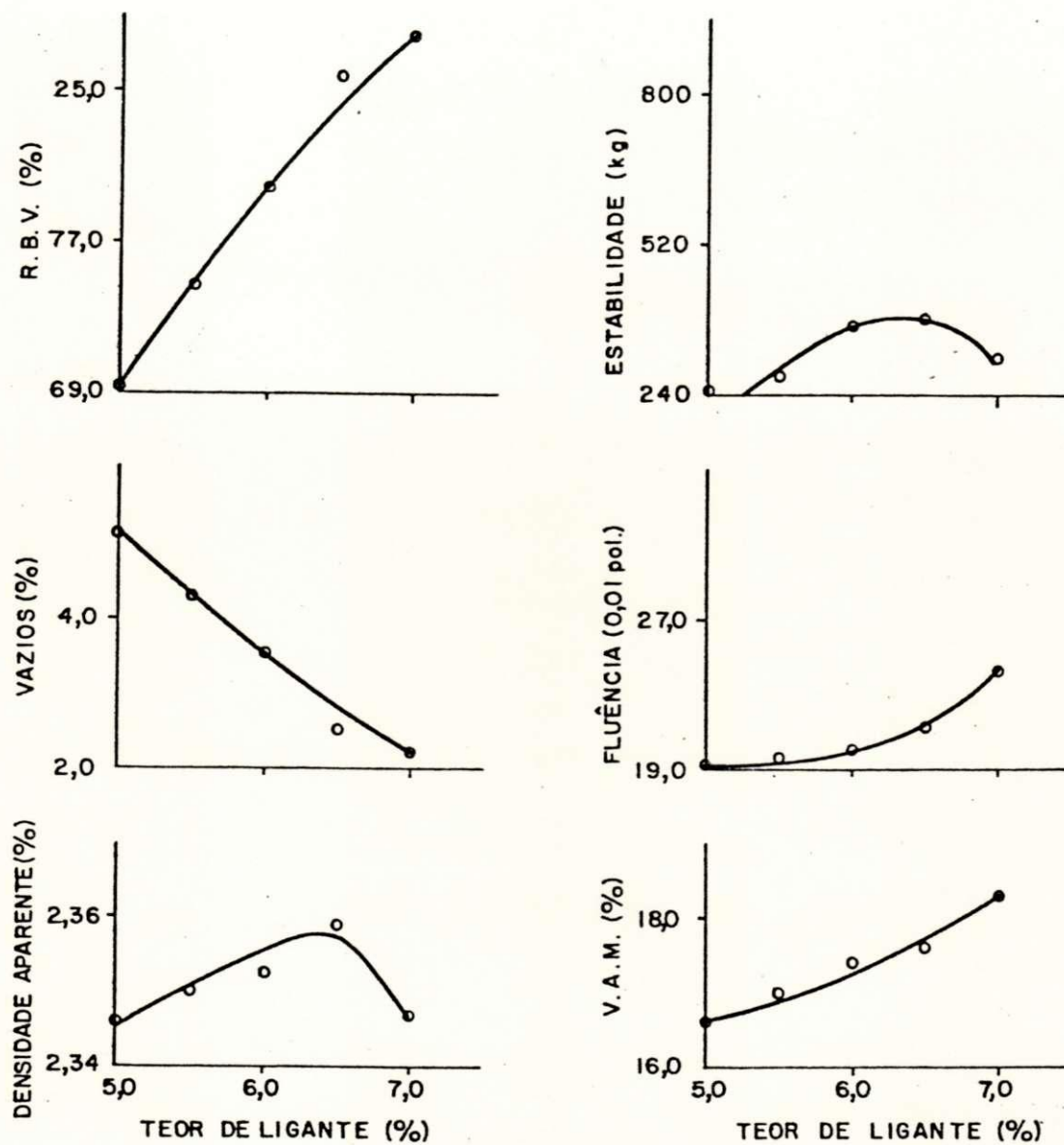


FIGURA II.4 - Resultado do ensaio Marshall para o concreto betuminoso à quente, fabricado com o agregado grão calcáreo Mossorô 1, e com a mistura de agregados de granulometria contínua.

LEGENDA : V.A.M. - Vazios de Agregado Mineral
R.B.V. - Relação betume/vazios.

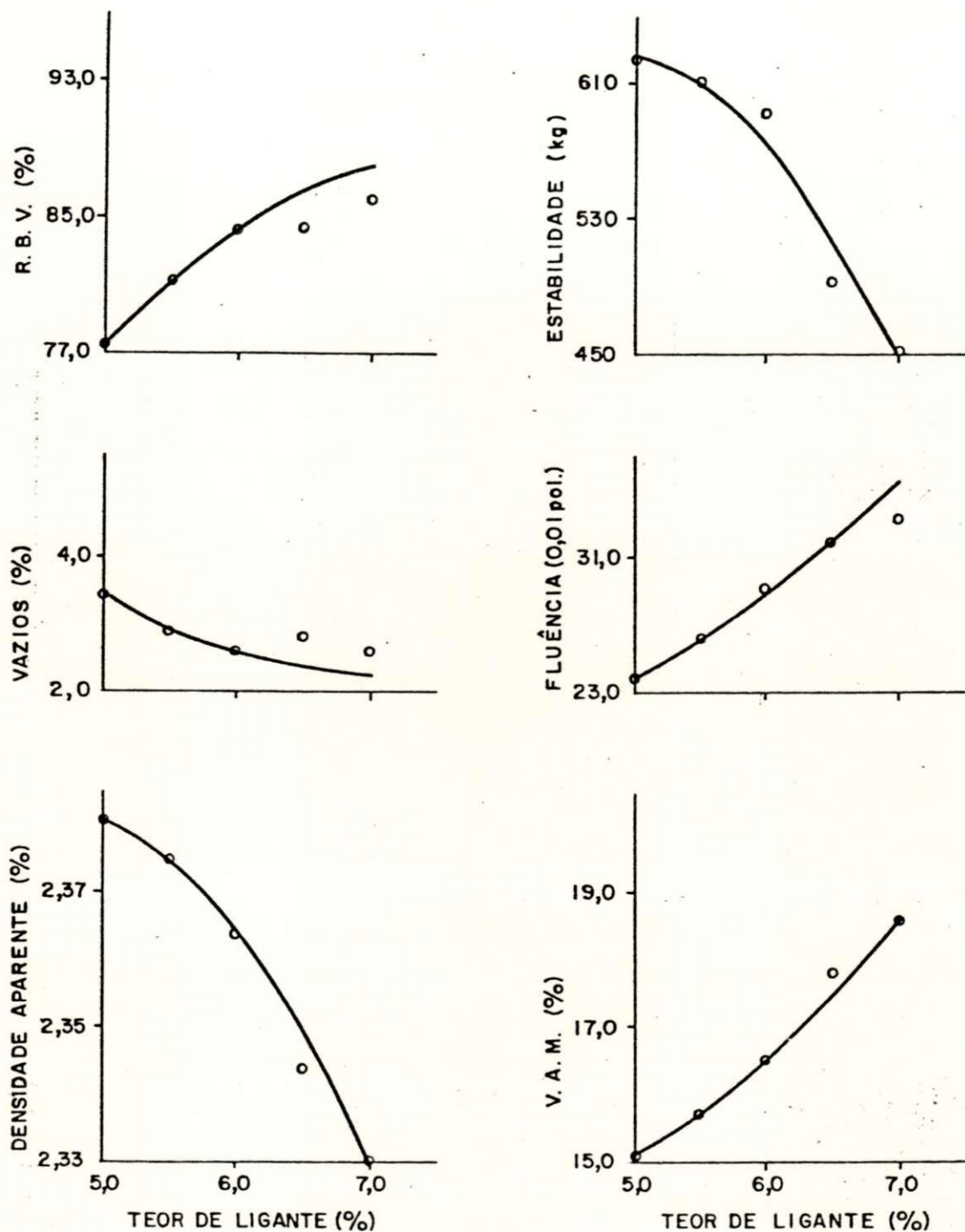


FIGURA II.5 - Resultado do ensaio Marshall para o concreto betuminoso à quente, fabricado com o agregado graúdo calcáreo Mossorõ 2, e com a mistura de agregados de granulometria descontínua.

LEGENDA : V.A.M. - Vazios de Agregado Mineral
R.B.V. - Relação betume/vazios.

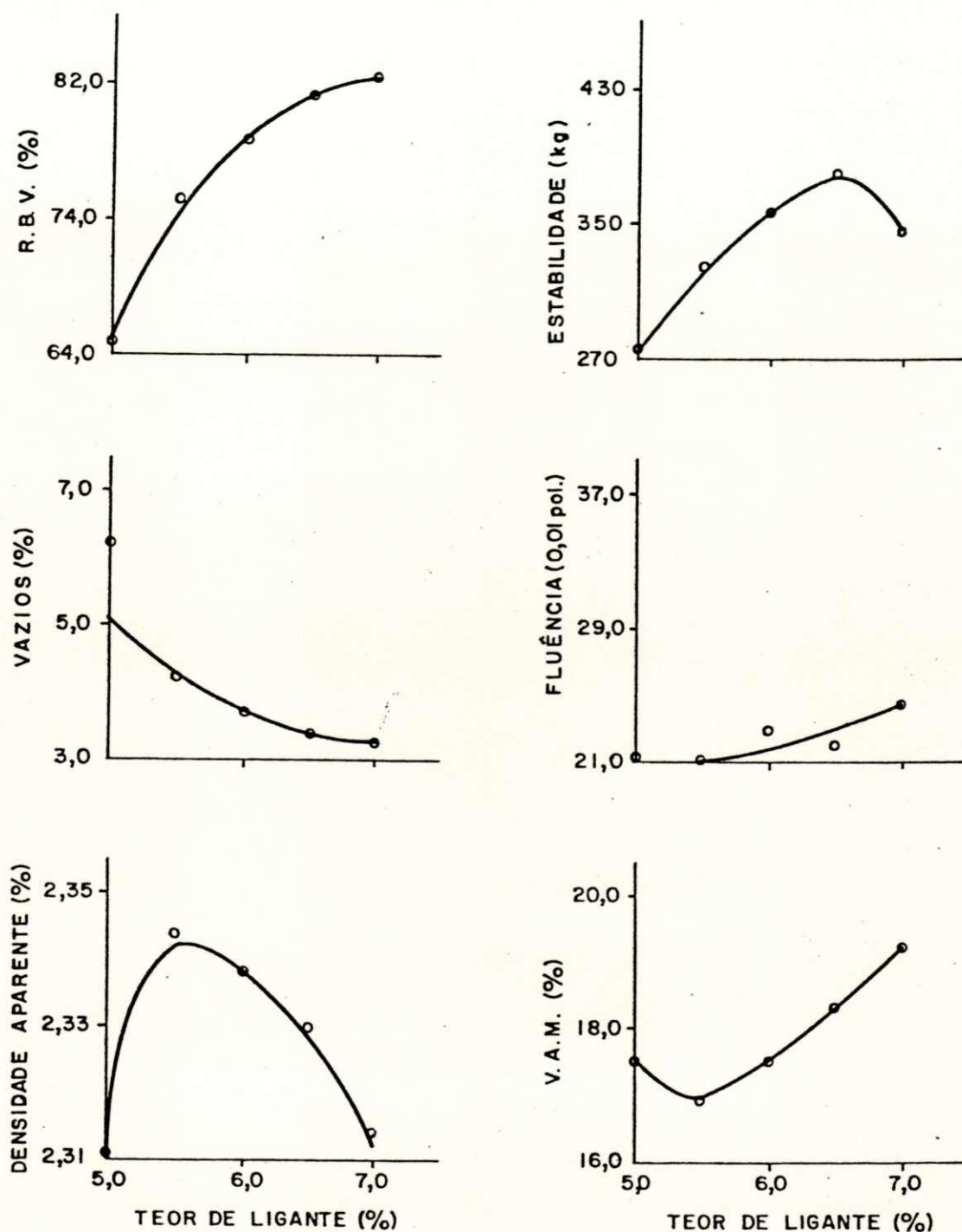


FIGURA II.6 - Resultado do ensaio Marshall para o concreto betuminoso à quente, fabricado com o agregado grão calcáreo Mossoró 2, e com a mistura de agregados de granulometria contínua.

LEGENDA : V.A.M. - Vazios do Agregado Mineral
R.B.V. - Relação betume/vazios.

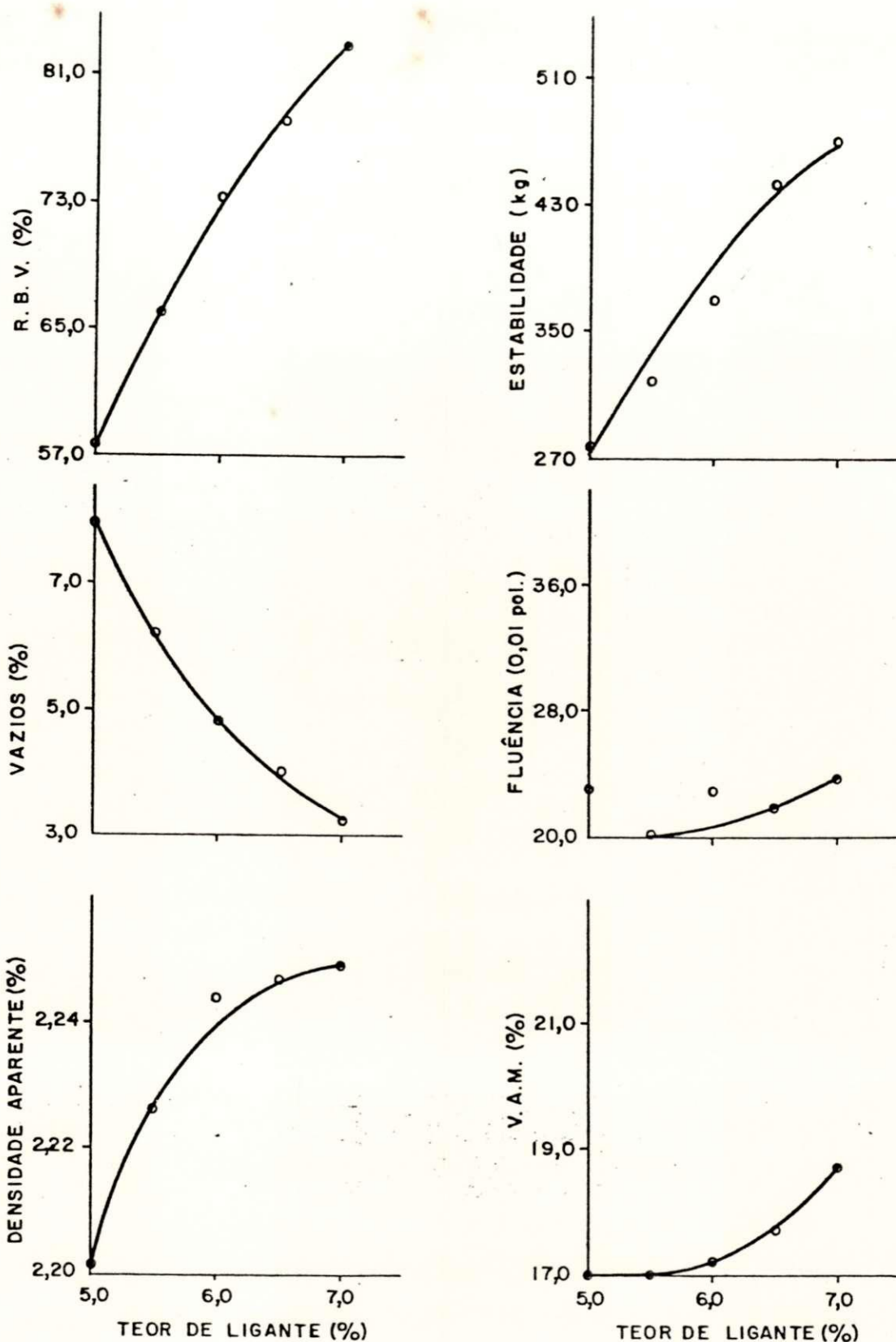


FIGURA II.7 - Resultado do ensaio Marshall para o concreto betuminoso à quente, fabricado com o agregado do grão calcáreo João Pessoa, e com a mistura de agregados de granulometria descontínua.

LEGENDA : V.A.M. - Vazios do Agregado Mineral
R.B.V. - Relação betume/vazios.

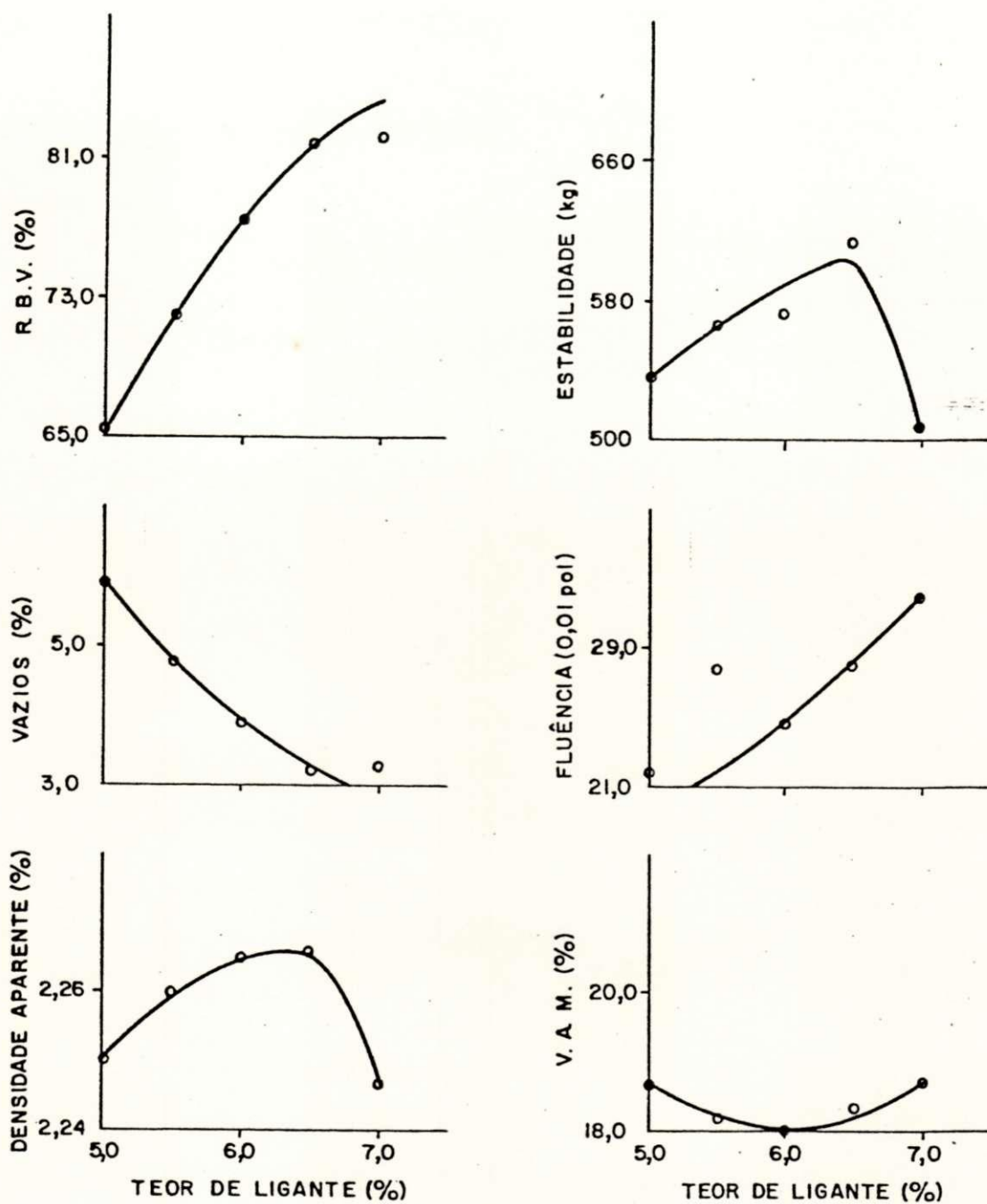


FIGURA II.8 - Resultado do ensaio Marshall para o concreto betuminoso à quente, fabricado com o agregado grão calcário João Pessoa, e com a mistura de agregados de granulometria contínua.

LEGENDA : V.A.M. - Vazios do Agregado Mineral
R.B.V. - Relação betume/vazios.

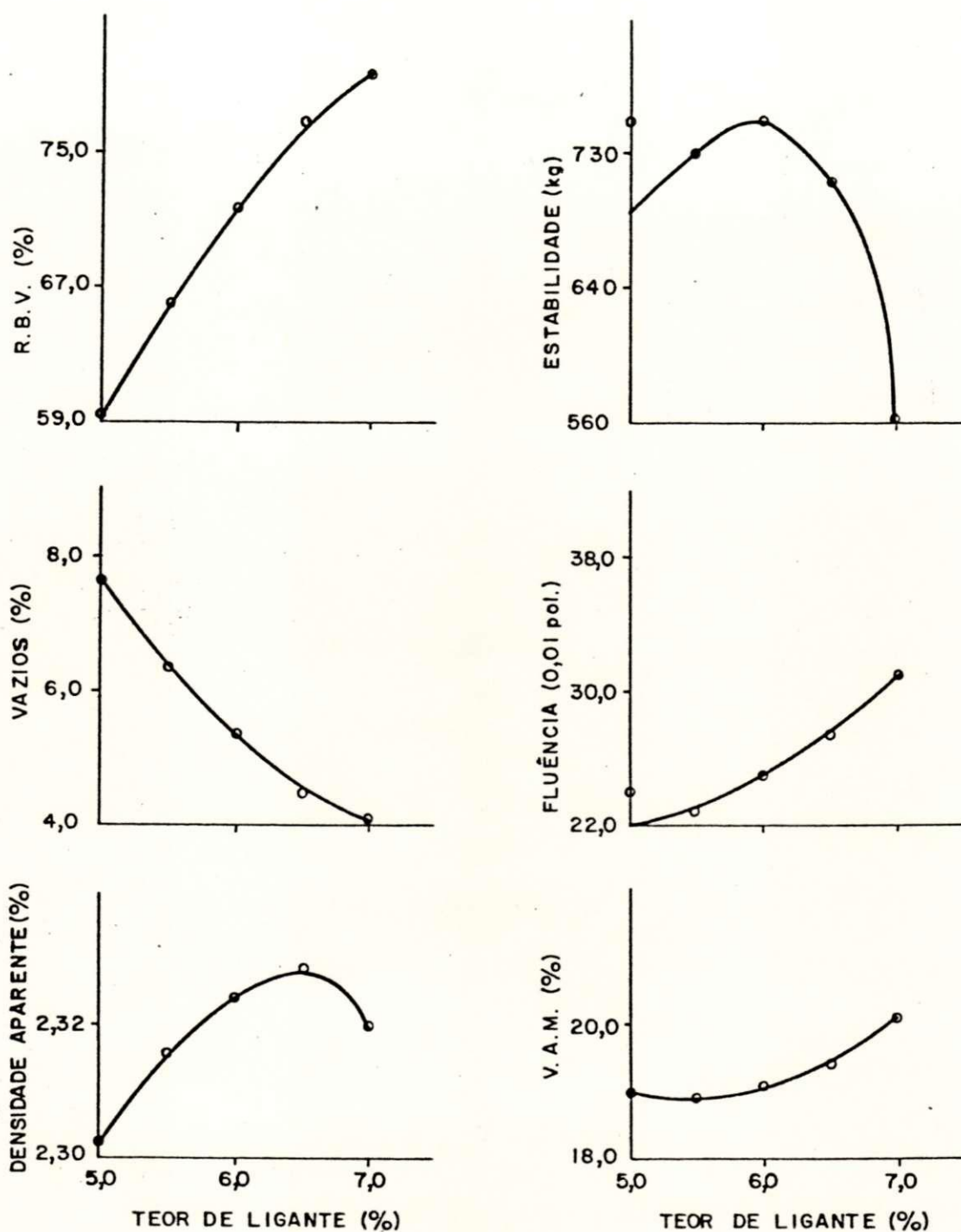


FIGURA II.9 - Resultado do ensaio Marshall para o concreto betuminoso à quente, fabricado com o agregado graúdo laterita João Pessoa, e com a mistura de agregados de granulometria descontínua.

LEGENDA : V.A.M. - Vazios de Agregado Mineral
R.B.V. - Relação betume/vazios.

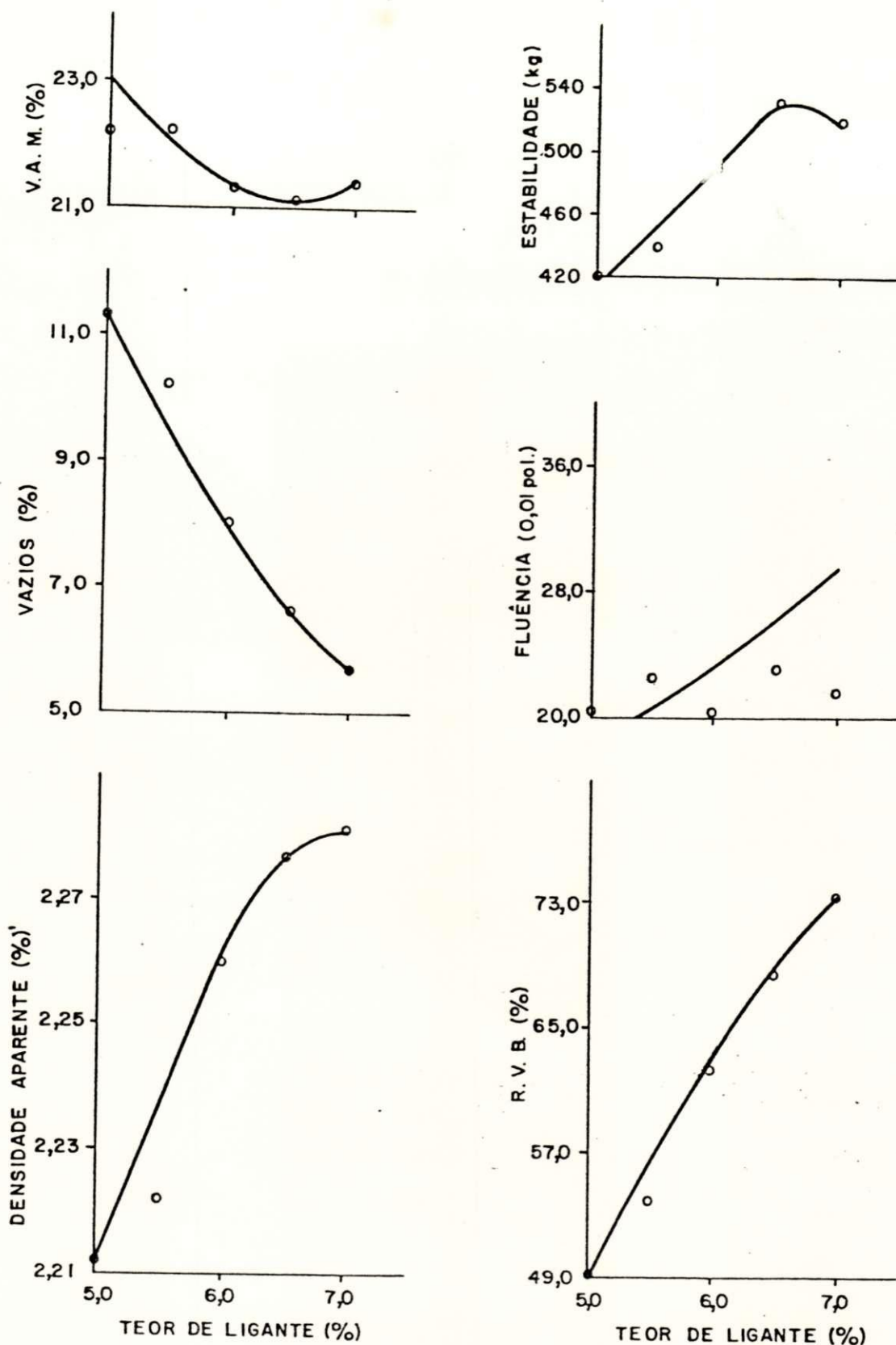


FIGURA II.10 - Resultado do ensaio Marshall para o concreto betuminoso à quente, fabricado com o agregado graúdo laterita João Pessoa, e com a mistura de agregados de granulometria contínua.

LEGENDA : V.A.M. - Vazios de Agregado Mineral
R. V. B. - Relação betume/vazios

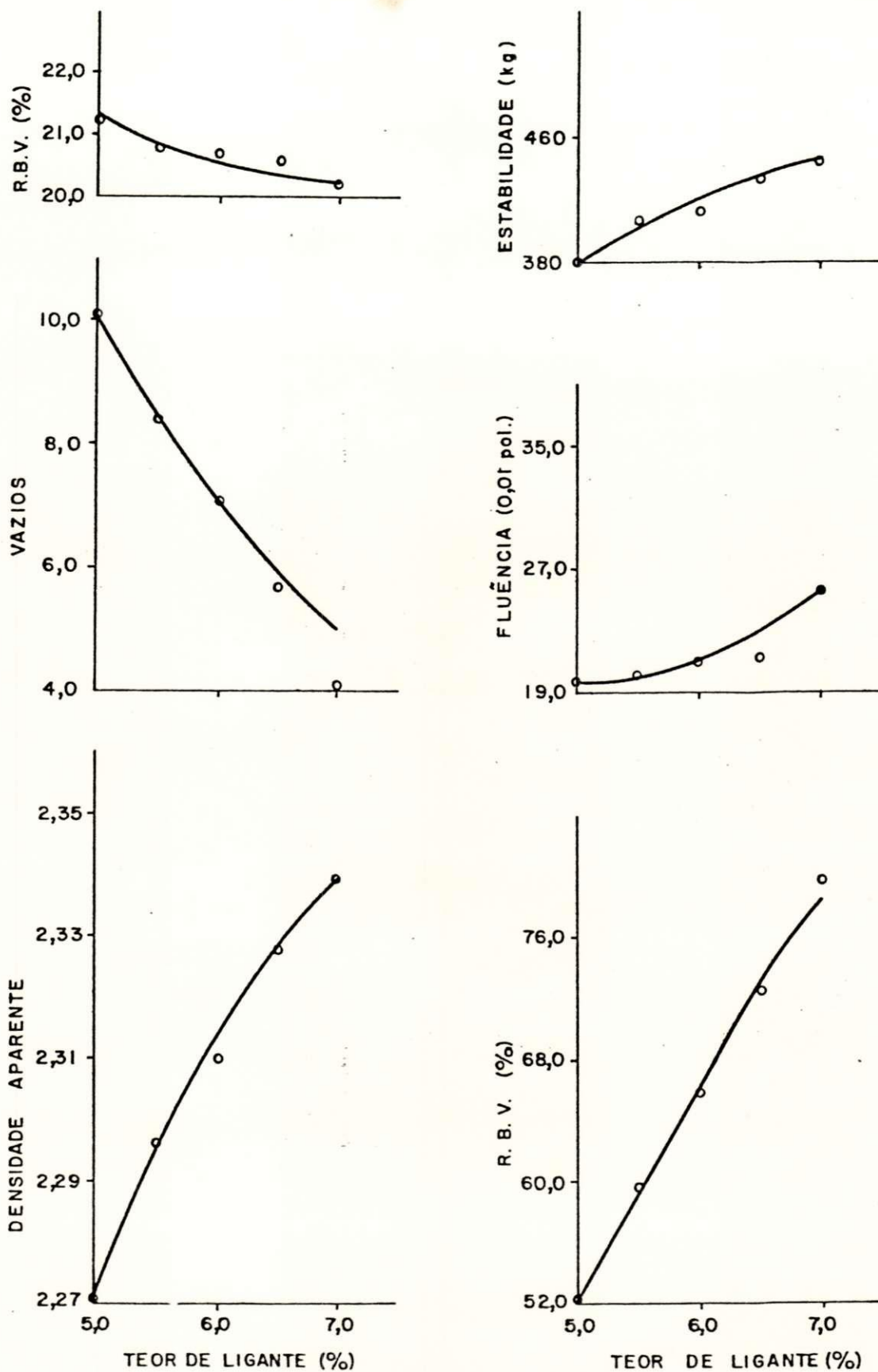


FIGURA II.11 - Resultado do ensaio Marshall para o concreto betuminoso à quente, fabricado com o agregado graúdo laterita Sapé, e com a mistura de agregados de granulometria descontínua.

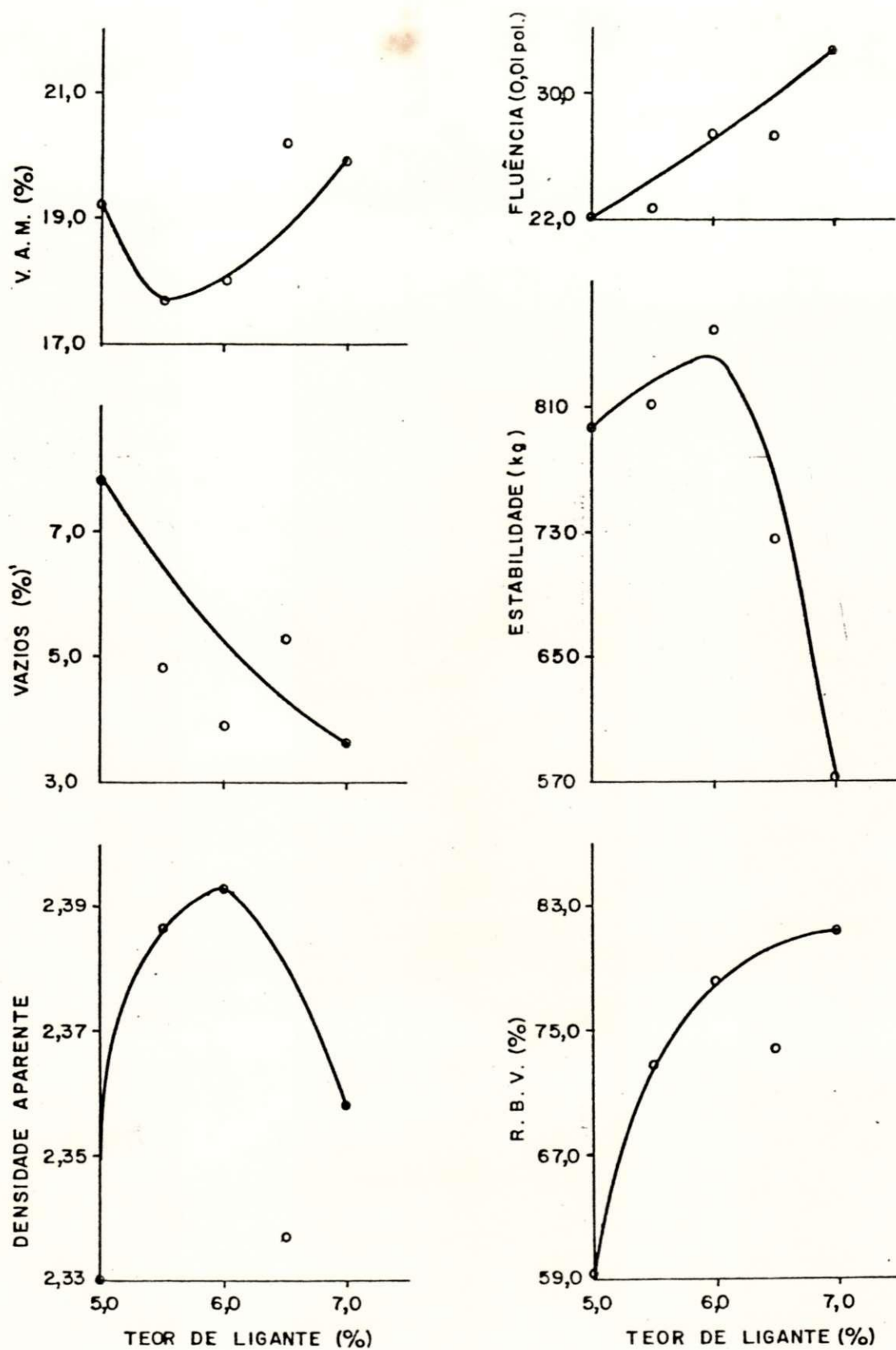


FIGURA II.12 - Resultado do ensaio Marshall para o concreto betuminoso à quente, fabricado com o agregado do grão laterita Sapê, e com a mistura de agregados de granulometria contínua.

LEGENDA : V.A.M. - Vazios do Agregado Mineral
R.B.V. - Relação betume/vazios.

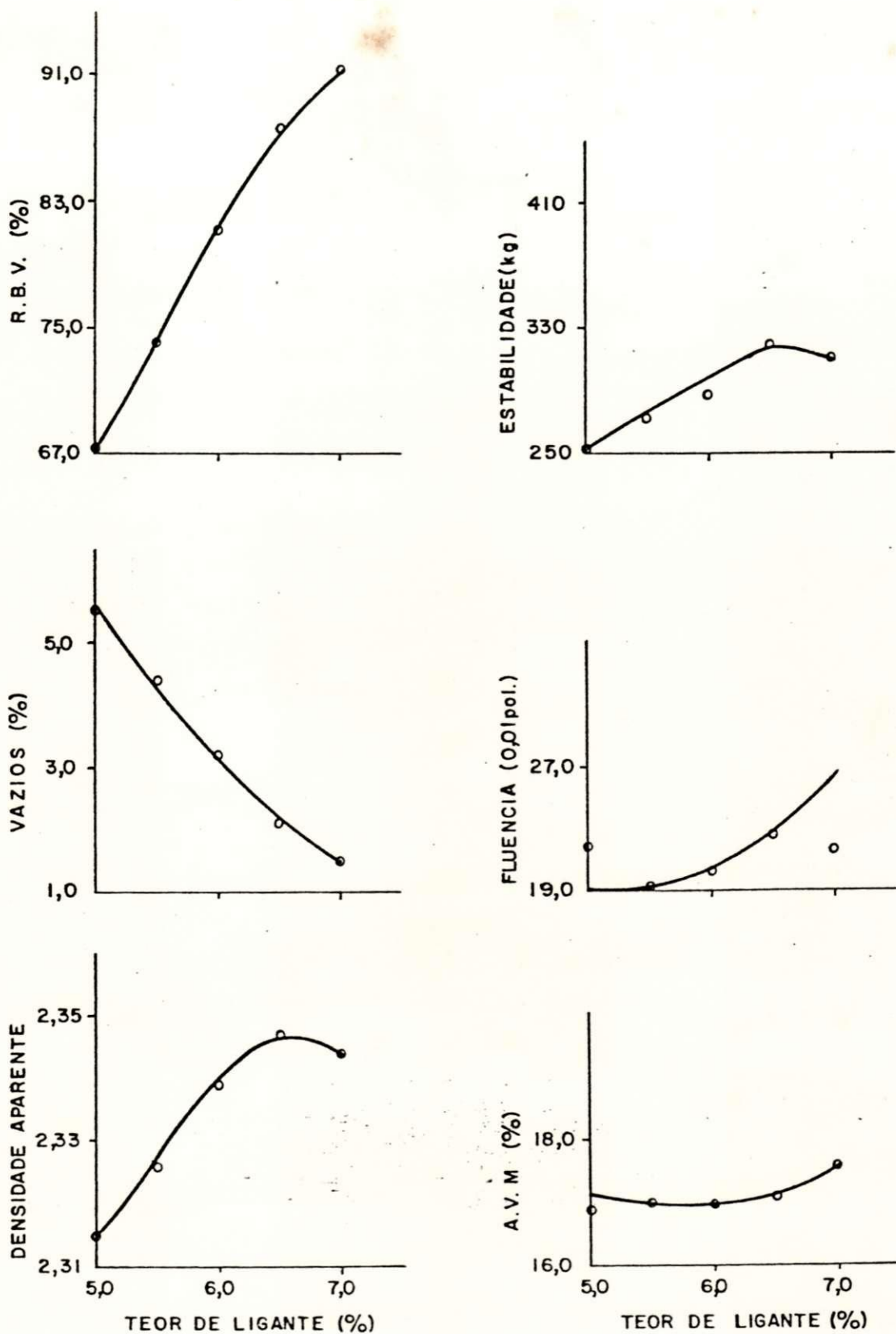


FIGURA II.13 - Resultado do ensaio Marshall para o concreto betuminoso à quente, fabricado com o agregado graúdo seixo britado, e com a mistura de agregados de granulometria descontínua.

LEGENDA : V.A.M. - Vazios do Agregado Mineral
R.B.V. - Relação betume/vazios.

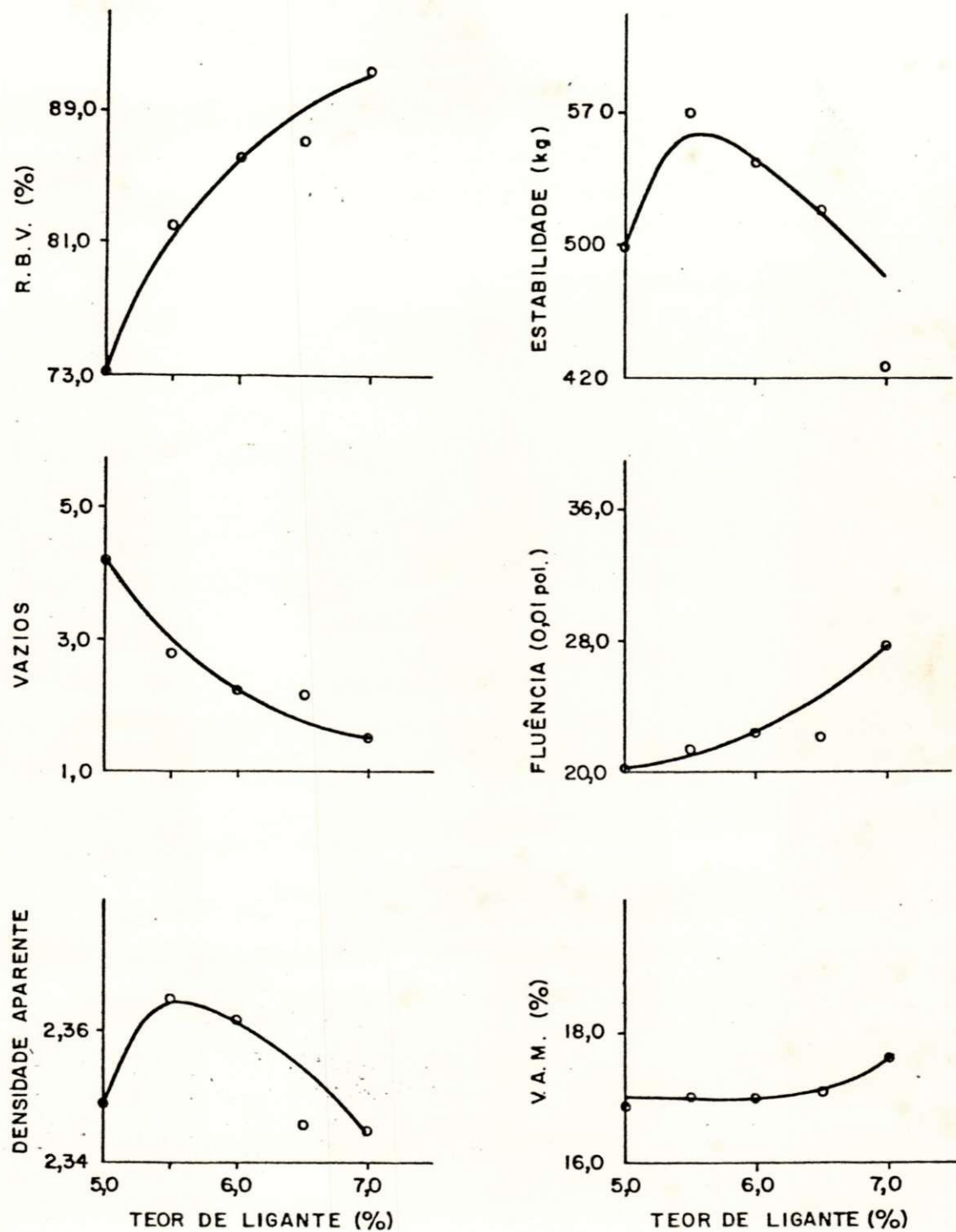


FIGURA II.14 - Resultado do ensaio Marshall para o concreto betuminoso à quente, fabricado com o agregado graúdo seixo britado, e com a mistura de agregados de granulometria contínua.

LEGENDA : V.A.M. - Vazios do Agregado Mineral
R.B.V. - Relação betume/vazios.